UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí

Fenologické odezvy vybraných alpínských graminoidů na globální změny prostředí

Adéla Zentnerová

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

© Adéla Zentnerová, 2011

Zentnerová, A. Fenologické odezvy vybraných alpínských graminoidů na globální změny prostředí. Bakalářská práce, Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 50 s., 1 příloha, česky.

Abstrakt

Práce řeší vliv globálních změn prostředí na alpínskou vegetaci v prostředí vrcholových partií Sudetských pohoří. Zájmovými lokalitami byly Jeseníky-Petrovy kameny, Králický Sněžník a Krkonoše-Modré sedlo. Studovány byly čtyři druhy alpínských graminoidů – *Avenella flexuosa*, *Festuca supina*, *Nardus stricta* a *Carex bigelowii*. Tyto rostlinné druhy byly vystaveny uměle pozměněným faktorům prostředí: zvýšené teplotě díky instalaci plastových „skleníčků“ (OTC), zvýšenému množství srážek zaléváním a zvýšené depozici dusíku hnojením NH_4NO_3. Výsledky z dvouletého pozorování průběhu fenologických fází rostlin byly porovnávány mezi jednotlivými pohořími a typy provedených zásahů. Byly zjištěny rozdíly v kvalitativních i kvantitativních rostlinných fenofázích mezi pohořími, jednotlivými sezónami sledování i experimentálními plochami v rámci stejného pohoří.

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

Zentnerová, A. Phenological reactions of selected alpine graminoids under global environmental changes. Bachelor Thesis, Department of Ecology and Environmental Sciencies, Faculty of Science, Palacky University, Olomouc, 50 pp., 1 Appendice, in Czech.

Abstract

This thesis solves the impact of global environmental changes on alpine vegetation in the environment of the highest parts of the Sudeten Mountains. Target areas were Jeseníky Mts.-Peter's Stones, Králický Sněžník Mt. and Krkonoše Mts.-Blue Seat were four species of alpine graminoids were studied, specifically speaking- *Avenella flexuosa*, *Festuca supina*, *Nardus stricta* a *Carex bigelowii*. This plant species were exposed to artificially amended environmental factors: enhancement of temperature by installing plastic „green-house" (OTCs), enhancement of precipitations by watering and enhancement deposition of nitrogen by NH_4NO_3 fertilization. The results from a two-year observation of the phenological stages of plants were compared among the mountains and types of interventions. The differences were detected in both, qualitative and quantitative plant phenological stages among the mountains, during the various seasons and experimental plots within the same mountain.

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

Prohlašuji, že jsem bakalářskou 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 6.5. 2011 .....

podpis

Obsah

Seznam tabulek ..... **vii**
Seznam obrázků ..... **viii**
Poděkování ..... **x**
1. ÚVOD **1**
2. CÍLE PRÁCE **3**
3. MATERIÁL A METODY **4**
3.1. Charakteristika území **4**
3.1.1. Petrovy kameny (Jeseníky) **4**
3.1.2. Králický Sněžník **6**
3.1.3. Modré sedlo (Krkonoše) **7**
3.2. Založení experimentu **9**
3.3. Manipulativní experiment **10**
3.4. Měření fenologických charakteristik **11**
4. TEORETICKÁ ČÁST **13**
4.1. Charakteristika rostlinných druhů a jejich odezvy na vybrané faktory prostředí **13**
4.1.1. Metlička křivolaká **13**
4.1.2. Kostřava nízká **15**
4.1.3. Smilka tuhá **16**
4.1.4. Ostřice tuhá **18**
5. VÝSLEDKY **20**
5.1. Vybrané výsledky fenologického a kvantitativního vývoje graminoidů z r. 2008 a 2010 ..... **20**
5.1.1. Výsledky *Avenella flexuosa* **20**
5.1.2. Výsledky *Festuca supina* **25**
5.1.3. Výsledky *Nardus stricta* – jen Krkonoše **30**
5.1.4. Výsledky *Carex bigelowii* - jen Krkonoše **33**
6. DISKUZE **39**
7. ZÁVĚR **43**
8. REFERENCE **44**
9. OBRAZOVÁ PŘÍLOHA **50**

Seznam tabulek

Tab. 1 Fenologické a kvantitativní fáze vybraných druhů rostlin. 12
Tab. 2 Začátek a konec fenologických fází na zájmových lokalitách v roce 2008 a 2010. 12
Tab. 3 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi první viditelné blizny *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování. 20
Tab. 4 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování. 22
Tab. 5 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování. 23
Tab. 6 Přehled výsledků třícestné analýzy ANOVA s pevnými efekty pro délku kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování. 24
Tab. 7 Přehled výsledků třícestné analýzy ANOVA pro fenofázi první viditelné blizny *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování. 25
Tab. 8 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Festuca supina* a jejich rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování. 26
Tab. 9 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování. 27
Tab. 10 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku kvetoucích stébel *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování. 29
Tab. 11 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Nardus stricta* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování. 31
Tab. 12 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku kvetoucích stébel *Nardus stricta* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování. 32
Tab. 13 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi počátku růstu prvního nového zeleného listu *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování. ... 33
Tab. 14 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi první změny barvy listu *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování. 33
Tab. 15 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování. 34
Tab. 16 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku stonků *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování. 35
Tab. 17 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet listů *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování. 35
Tab. 18 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro nejdelší list *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování. 36
Tab. 19 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku všech listů *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování. 37

Seznam obrázků

Obr. 1 Situační mapa odběru vzorků u Petrových kamenů. 5
Obr. 2 Situační mapa odběru vzorků u vrcholu Králického Sněžníku. 7
Obr. 3 Situační mapa odběru vzorku u Studniční hory. 9
Obr. 4 Schéma přiřazení konkrétního typu zásahu na experimentálních plochách. 10
Obr. 5 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi první viditelné blizny *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami a dobou sledování. 21
Obr. 6 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi první viditelné blizny *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi typem zásahu.. 21
Obr. 7 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami a dobou sledování..... 22
Obr. 8 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typem zásahu a dobou sledování. 23
Obr. 9 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování. 24
Obr. 10 Grafický výstup analýzy ANOVA pro počátek fenofáze první viditelné blizny *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typem zásahu a dobou sledování. 25
Obr. 11 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Festuca supina* a jejich rozdíl mezi zkoumanými lokalitami a dobou sledování.. 26
Obr. 12 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typem zásahu a dobou sledování. 27
Obr. 13 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Festuca supina* v Jeseníkách a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. 28
Obr. 14 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Festuca supina* na Králickém Sněžníku a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. 28
Obr. 15 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Festuca supina* v Krkonoších a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování.. 29
Obr. 16 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku kvetoucích stébel *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typem zásahu a dobou sledování. 30
Obr. 17 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Nardus stricta* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování.. 31
Obr. 18 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku kvetoucích stébel *Nardus stricta* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. 32
Obr. 19 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování.. 34
Obr. 20 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku stonků *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování.. 35

Obr. 21 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet listů *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování.. 36
Obr. 22 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro nejdelší list *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování. 37
Obr. 23 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku všech listů *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. 38

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské 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.

V Olomouci 6.5.2011

1. ÚVOD

Fenologie je obor zabývající se studiem časového průběhu periodicky se opakujících projevů rostlin, které závisí na počasí, podnebí a půdních poměrech (Krška 2006). S očekávanými klimatickými změnami nabývá fenologie stále více na významu. Sledování fenologických fází a jejich vyhodnocení může sloužit jako bioindikátor klimatických změn (Bednářová a Merklová 2007). Výsledky poskytují ekologicky cenné informace o průběhu a délce vegetačního období. Fenologické fáze vyjadřují biologické hranice, v rámci kterých se zkoumají požadavky rostlin na podmínky vnějšího prostředí (Bednářová et al. 2008).

Zpráva IPCC dokládá, že biosféra Země prochází a bude procházet relativně rychlým procesem klimatických změn (McCarhy et al. 2001). Těmto trendům je vystaveno prostředí hor nad horní hranicí lesa po celém světě (Krajick 2004).

Za posledních několik desítek let dochází k trendu stále se zvyšující teploty vzduchu (Krajick 2004). Růst teploty byl zaznamenán i v posledních 50ti letech, kdy teplota byla téměř dvakrát vyšší ve srovnání s předchozím obdobím (0,13 °C ± 0,03 °C proti 0,07 °C ± 0,02 °C) (Trenberth et al. 2007). Podle současných modelů možných změn a dopadů lze odvodit, že nejmenší vlivy klimatických změn budou v tropických oblastech a největší ve vysokých nadmořských výškách (Hall 1988, Körner 1999). Se vzrůstající teplotou bude vegetace migrovat do vyšších nadmořských výšek a dojde k narušení úzkých, teplotou determinovaných vegetačních stupňů. Pokud by rostliny začaly migrovat výše z nižších vegetačních stupňů, byla by vegetace vyšších vegetačních stupňů ohrožena (Peters a Darling 1985, Ozenda a Borel 1991). Pro mnoho alpských vrcholů byla určena průměrná rychlost výškového posunu rostlinných druhů od 1 do 4 m za 10 let (Körner 2000). V oblastech při horní hranici lesa, kde trendy probíhají mnohem pomaleji se posun může projevit až v období okolo 100 let (Holtmeier 1994). Riziko invaze rostlinných druhů se netýká pouze vysokých pohoří, ale vlivem klimatických změn a antropogenních vlivů jsou dotčeny i pohoří Vysokých Sudet (Soukupová 2001).

V horském prostředí jsou za důležitý ekologický vstup vody do vegetace a půdního prostředí považovány nejen srážky vertikální, ale i horizontální, které mohou ovlivnit zastoupení některých látek v prostředí (Elias et al. 1995). Schaer et al. (1996) podle modelu odvodil, že pokud vzroste průměrná teplota o 2 °C, dojde k vyvolání extrémního vzrůstu srážek v Alpách a v jižních oblastech až o 30 %. Extrémní chod

srážek by představoval nepředvídatelné období s nadprůměrnými srážkami a naopak období s absencí srážek (Beniston et al. 1997). Na nadzemní produkci rostlinné biomasy se mohou výrazně projevit experimentální změny ve srážkové činnosti (Knapp et al. 2002, Fay et al 2003). Vlivem globálních změn se bude měnit obsah vody v půdě, a tím i mikrobiologické procesy, které budou mít vliv na společenstva i ekosystémy (Harper et al. 2005). Za klíčové faktory ovlivňující půdní procesy je nutno považovat obsah vody v půdě (Burke et al. 1997, Epstein et al. 2002).

K dalším projevům globálních změn patří větší množství dusíku z atmosféry (Soudzilovskaia et al. 2007). Dostupnost dusíku patří mezi nejčastější živinové omezení v růstu rostlin (Epstein 1972, Chapin 1980). Ve většině ekosystémů má přísun dusík a jeho koloběh v prostředí zásadní význam pro růst rostlin a složení rostlinných společenstev (Lee 1998). Přirozená společenstva alpínské tundry se vyvíjela v podmínkách s nízkou dostupností dusíku, proto zvýšené depozice dusíku je nutné brát jako nepřirozený jev zhoršující životní podmínky těchto rostlinných společenstev (Britton a Fisher 2007). Narušení růstové rovnováhy mezi jednotlivými prvky uvnitř ekosystému vlivem zvýšené dostupnosti dusíku vede u některých organismů k zvýhodnění a naopak u jiných k znevýhodnění (Bobbink et al. 1998, Gebauer et al. 1988).

Problematikou vlivu globálních klimatických změn na arktickou a alpínskou tundru se zabývá projekt International tundra experiment (ITEX) již od roku 1990. Jeho původním cílem je monitorování fenologických fází, růstu a reprodukce cirkumpolárních cévnatých rostlin, v reakci na klimatické změny a manipulace životního prostředí po celém biomu tundry. Následné shromažďování a srovnávání dat vědců z celého světa (Henry a Molau 1997).

Alpínská vegetace vrcholových partií Hrubého Jeseníků, Králického Sněžníku a Krkonoš patří k nejohroženějším ekosystémů pod vlivem probíhajících klimatických změn. Z tohoto hlediska je důležitý fenologický průzkum těchto vysokohorských oblastí, který by mohl předpovědět reakci alpínské vegetace na vliv globálních změn prostředí.

2. CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je zpracování literární rešerše o vlivu globálních změn prostředí na fenologii vybraných druhů rostlin v alpínském a subalpínském stupni. Byla zpracována charakteristika 4 druhů rostlin: metličky křivolaké *Avenella flexuosa* (L.) Drejer., kostřavy nízké *Festuca supina* Schur., smilky tuhé *Nardus stricta* L. a ostřice tuhé *Carex bigelowii* Torrey ex Schweinitz. Dále byla zpracována rešerše literatury na téma vlivu zvýšené teploty, zvýšeného množství srážek a zvýšené depozice dusíku na fenologii metličky, kostřavy, smilky a ostřice. Výzkum probíhal na třech studovaných lokalitách: Jeseníky-Petrovy kameny, Králický Sněžník a Krkonoše-Modré sedlo.

Na základě sesbíraných dat z roku 2008 a 2010 bylo statisticky testováno, zdali existují rozdíly ve fenologických odezvách studovaných rostlinných druhů mezi pohořími i jednotlivými experimentálními plochami (typy zásahů). Testovány byly, jak kvantitativní, tak kvalitativní indikátory jednotlivých fenofází.

Získané výsledky by měly posloužit jako základ pro navazující diplomovou práci.

3. MATERIÁL A METODY

3.1. Charakteristika území

Výzkum probíhal ve 3 sudetských pohořích v alpínského bezlesí, konkrétně ve vrcholové části Jeseníků pod Petrovými kameny, na vrcholu Králického Sněžníku a v Krkonoších v Modrém sedle mezi Luční a Studniční horou. Zájmová oblast se nachází ve vrcholových deflačních partiích anemo-orografického systému (*sensu* Jeník 1961, Jeník 1997). Z vegetačního pohledu se jedná o alpínská vřesoviště svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* (Br.-Bl. in Br.-Bl. et Jenny 1926).

3.1.1. Petrovy kameny (Jeseníky)

Studované území se nachází v Hrubém Jeseníku, v CHKO Jeseníky, vyhlášené r. 1969, v NPR Praděd nedaleko Petrových kamenů ve výšce 1440 m n. m. (Šafář et al. 2003). Trvale založené plochy jsou situovány přibližně 60 m západně od vrcholové skály Petrových kamenů v nadmořské výšce 1430 m n. m. a zaměřeny GPS: 50°4´6´´ N a 17°13´53´´ E (Obr. 1). Oblast spadá do Moravskoslezského kraje, v okrese Bruntál, v katastrálním území Malé Morávky.

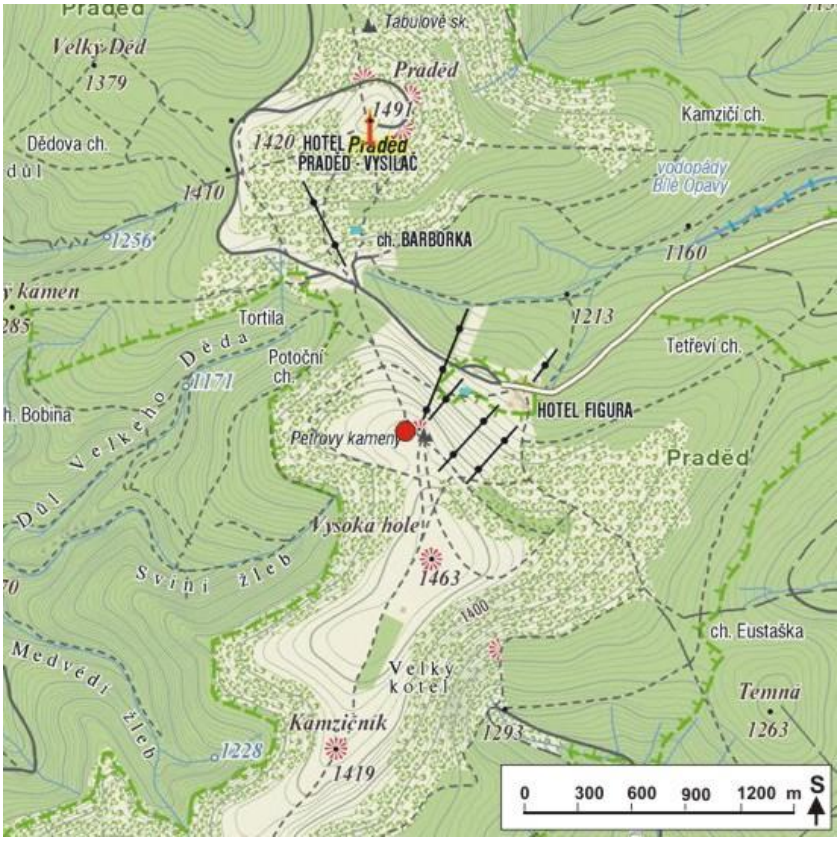
Hrubý Jeseník náleží do moravsko-slezské zóny Českého masivu, jehož centrální část je rozdělena na keprnickou a desenskou klenbu. Jádro keprnické klenby je tvořeno starými sedimentárními horninami, které jsou přeměněny v pararuly, kvarcity, erlány a migmatity. Uvnitř klenby vystupují keprnické ortoruly se střídajícími pararulami a svory. Obal je tvořen devonskými horninami série Branné a Červenohorského sedla. Podle geomorfologického členění patří do Krkonošsko-jesenické soustavy. Nejvyšším vrcholem je hora Praděd (1491,3 m n. m.). Na vrcholech i svazích Hrubého Jeseníku vlivem chladného klimatu vzniklo mnoho periglaciálních útvarů, především polygonální půdy, skalní skupiny, kamenná moře a suťové proudy. V okolí Petrových kamenů se nacházejí polygonální a girlandové půdy (Šafář et al. 2003).

Hlavním typem půd v horských oblastech jsou kambizemní podzoly a železité podzoly. Na kamenitých a skalnatých lokalitách jsou zastoupeny rankery, kambizemě a kryptopodzoly rankerové (Šafář et al. 2003).

Klima se vyznačuje vysokou relativní vlhkostí a převládajícím západním prouděním, které přináší značné množství srážek. Horská část Jeseníků je řazena k oblasti CH4, která je pro Českou republiku nejchladnější. Ve vrcholových částech

panuje drsné, vlhké a větrné klima. Praděd má průměrnou roční teplotu 0,9 °C a roční úhrn srážek 1029 mm (Šafář et al. 2003).

Převažuje zde extrazonální horská vegetace montánního až subalpínského stupně. Petrovy kameny jsou charakteristické deflačními společenstvy alpínské keříčkové 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*. Složení vegetace je charakteristické dominantní metličkou křivolakou (*Avenella flexuosa*), kostřavou nízkou (*Festuca supina),* která je doplněna vřesem obecným (*Calluna vulgaris*), brusnicí borůvkou (*Vaccinium myrtillus*), ostřicí tuhou (*Carex bigelowii*), mechorosty a lišejníky (*Cetraria islandica, Cladonia spp.*) (Kočí 2007). Horské hřbety pokrývají krátkostébelné porosty svazu *Nardo-Caricion rigidae*, které v místech s déle ležícím sněhem přecházejí ve vysokostébelné porosty svazu *Calamagrostion villosae* (Šafář et al. 2003).



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

3.1.2. Králický Sněžník

Studovaná lokalita se nachází v Národní přírodní rezervaci Králický Sněžník, vyhlášené r. 1990 se stejnojmenným nejvyšším vrcholem Králický Sněžník, který je ve výšce 1424 m n. m. (Vágnerová et al. 2003). Tento masiv patří k trojici nejvyšších sudetských pohoří, který sahá až do alpínského bezlesí. Trvale založené plochy leží cca 150 m jihovýchodně od vrcholu Králického Sněžníku v nadmořské výšce asi 1415 m n. m. a zaměřeny GPS: 50°12´25´´ N a 16°50´51´´ E (Obr. 2). Území spadá do Pardubického kraje, okresu Ústí nad Orlicí a do katastrálního území Horní Morava.

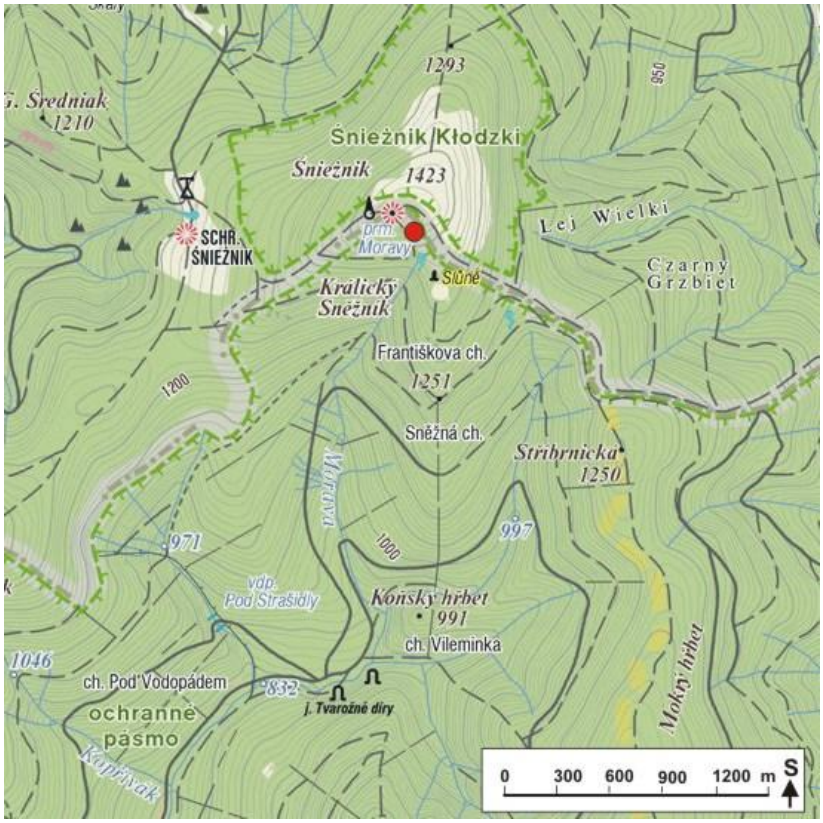
Králický Sněžník je hrástí tvořenou skalními horninami krystalinika orlicko-sněžnické jednotky. Je součástí západosudetské oblasti lugika, které jsou tvořeny krystalickými horninami proterozoického až paleozoického stáří. Na území NPR jsou ve směru S–J dva výrazné hřbety oddělené údolím Moravy. Pohraniční hřbet na západě vrcholí Malým Sněžníkem, Mokrý hřbet na východě Sušinou. Ve vrcholové části pramení v nadmořské výšce 1380 m řeka Morava (Vágnerová et al. 2003). Geomorfologicky Králický Sněžník spadá do Krkonošsko-jesenické (Sudetské) soustavy. Významný vliv na modelaci nejvyšších poloh masivu mělo období pleistocénu s periglaciálními procesy (Demek et al. 1987). Mrazovým zvětráváním vznikly skalní výchozy, mrazové sruby, skalní hradby, kamenná moře a úpady. Na vrcholu se vytvořily kryogenní tvary půdního pokryvu (Vágnerová et al. 2003).

Půdní poměry nejvyšších poloh jsou charakterizovány litozeměmi a případně rankery, dále se zde vyvinuly alpínské půdní formy a rašeliništní vrchovištní půdy (Vágnerová et al. 2003).

Králický Sněžník náleží do chladné klimatické oblasti s průměrnou roční teplotou 5 °C a srážkami kolem 1000 mm, ve vrcholových partiích klesá průměrná roční teplota na 3 až 1 °C, denní teploty v létě jen výjimečně přesahují 25 °C. Roční úhrn srážek je vyšší než 1200 mm. Charakteristickým jevem jsou časté teplotní inverze (Vágnerová et al. 2003). Není zde úplně dokonale vyvinut anemo-orografický systém, jako v Krkonoších a Hrubém Jeseníku. Vítr je k hlavnímu vrcholu usměrňován z různých směrů, proto se sníh nehromadí na jednom místě a nevytváří se pravidelné laviny, které by udržovaly bezlesý charakter (Krahulec 1990).

Rostlinná společenstva alpínské vegetace jsou omezena pouze do širšího okolí Králického Sněžníku v prostoru nad horní hranicí lesa, včetně lavinových drah na jižním úbočí. V těchto místech je vegetace ovlivněna deflací, která způsobuje

nerovnoměrnou distribuci sněhu v alpínské oblasti (Krahulec 1990). Na horských hřbetech nad hranicí lesa se objevují alpínské hole a výsadby borovice kleče (*Pinus mugo*). Ve vrcholové části Králického Sněžníku se vyskytuje charakteristická mozaika alpínské keříčkové vegetace svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion*, vyfoukávaných alpínských trávníků svazu *Juncion trifidi* a zapojených alpínských trávníků svazu *Nardo strictae-Caricion bigelowii*.



Obr. 2 Situační mapa odběru vzorků u vrcholu Králického Sněžníku.
Zdroj: www.mapy.cz

3.1.3. Modré sedlo (Krkonoše)

Zájmové území se nachází v první zóně Krkonošského národního parku, který byl vyhlášen r. 1963 (Sanetřík 2004). Trvalé plochy jsou založeny cca 500 m západně od vrcholu Studniční hory v nadmořské výšce 1495 m n. m. a zaměřeny GPS: 50°43´37´´ N, 15°42´22´´ E (Obr. 3). Geograficky území spadá do Královehradeckého kraje, okresu Trutnov a katastrálního území Pec pod Sněžkou. Pouze Krkonoše a předcházející Hrubý Jeseník výrazně překračují horní (alpínskou) hranici lesa, která se zde pohybuje okolo 1 250 m n. m. Jejich alpínský a subalpínský stupeň vyčnívá jako ostrov nad rozsáhlé sníženiny povrchu okolí. Vysokohorské rysy přírody krkonošských hřbetů podtrhuje a formuje drsné klima s velmi chladnými severními a severozápadními

větry nízkými teplotami vzduchu a vysokými úhrny atmosférických srážek (Faltysová at al. 2002).

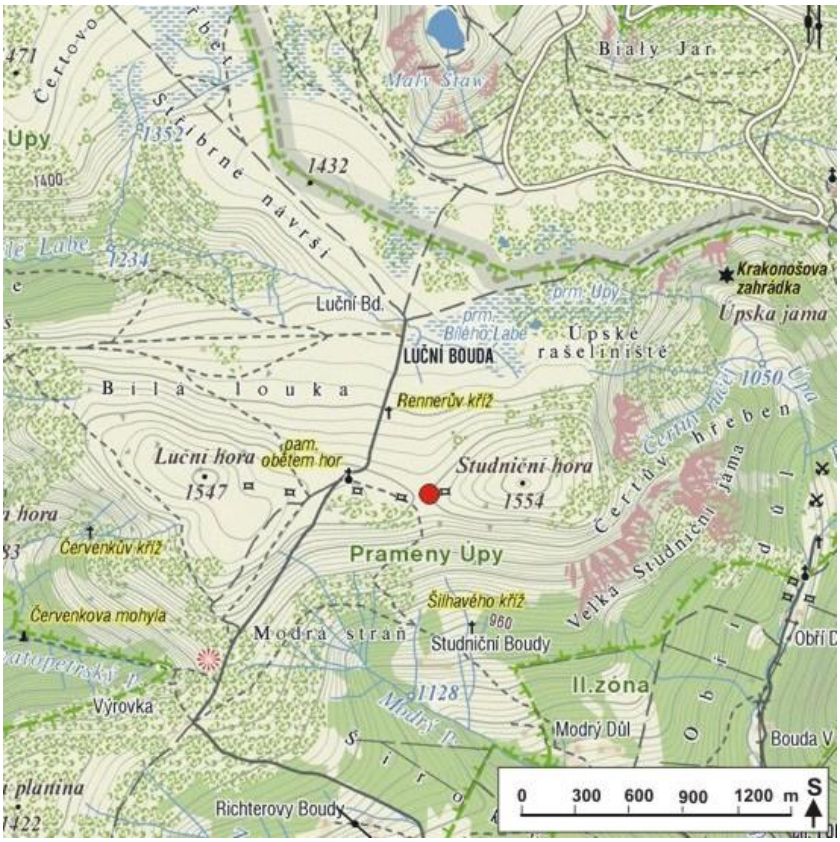
Krkonoše patří do krkonošsko-jizerského krystalinika s převažujícími metamorfovanými horninami doplněné o hlubinné vyvřeliny krkonošsko-jizerského plutonu. Jsou zde zastoupeny zejména krystalické břidlice (svory, fylity, ortoruly), uprostřed nichž se rozkládá žulový masív tvořící především vrcholové partie pohoří (Chaloupský 1983 in Vacek et al. 2006). Ve středním proterozoiku došlo k přeměně mořských sedimentů na krystalické břidlice s vložkami kvarcitů a amfibolů. Tento horninový komplex je označován jako velkoúpská skupina, který zaujímá převážnou část východních Krkonoš. V období staršího paleozoika došlo k poslednímu zalití mořem a z usazených hornin se při kaledonském vrásnění vytvořil mladší komplex krkonošských přeměněných hornin, zvaných ponikelská skupina (Faltysová at al. 2002). V období pleistocenního zalednění se vytvořilo 15 samostatných údolních i karových ledovců (Sanetřík 2004), s jejichž pozůstatky – čelními a bočními morénami pocházejících z posledních dvou glaciálů, můžeme vidět i dnes (Faltysová at al. 2002).

V mělkých výchozech kyselých intruzív, rul a granulitů se vyskytují tzv. alpínské a arktické půdy, které podle půdní klasifikace odpovídají kyselým rankerům resp. typickým litozemím. Dominantními půdami jsou podzoly a na vrcholových plošinách i organozemě. Pozůstatkem náhorního ledovce se zde vytvořily mrazové půdní formy jako např. polygonální a mrazem tříděné půdy nebo kryoplanační terasy (Faltysová at al. 2002).

Klima Krkonoš je značně ovlivňováno anemo-orografickými systémy Mumlavy, Bílého potoka a Úpy (Jeník 1961). Podnebí je zařazeno do chladné klimatické oblasti (CH4), které je charakterizované dlouhou, velmi chladnou a vlhkou zimou s dlouhotrvající sněhovou pokrývkou, chladným jarem, velmi krátkým vlhkým létem a mírně chladným podzimem (Quitt 1971). Je to oblast s vysokým množstvím atmosférických srážek od 700 mm v podhůří po 1400 mm v horských údolích. Průměrná roční teplota vzduchu je kolem 0,2 °C na Sněžce a v montánním stupni (turistická střediska) dosahují 4–5 °C (Faltysová et al. 2002).

Ve vrcholových partiích Krkonoš nese tundra rysy arktické i alpínské tundry. Charakteristická je svým nízkým vzrůstem s vysokým zastoupením lišejníků a mechorostů. Studovaná lokalita náleží do kryo-eolické zóny (Faltysová et al. 2002). Z geobotanického hlediska se jedná o arkto-alpínskou keříčkovou vegetaci svazu

Loiseleurio procumbentis-Vaccinion, vyfoukávané alpínské trávníky svazu *Juncion trifidi* a zapojené alpínské trávníky svazu *Nardo strictae-Caricion bigelowii*.

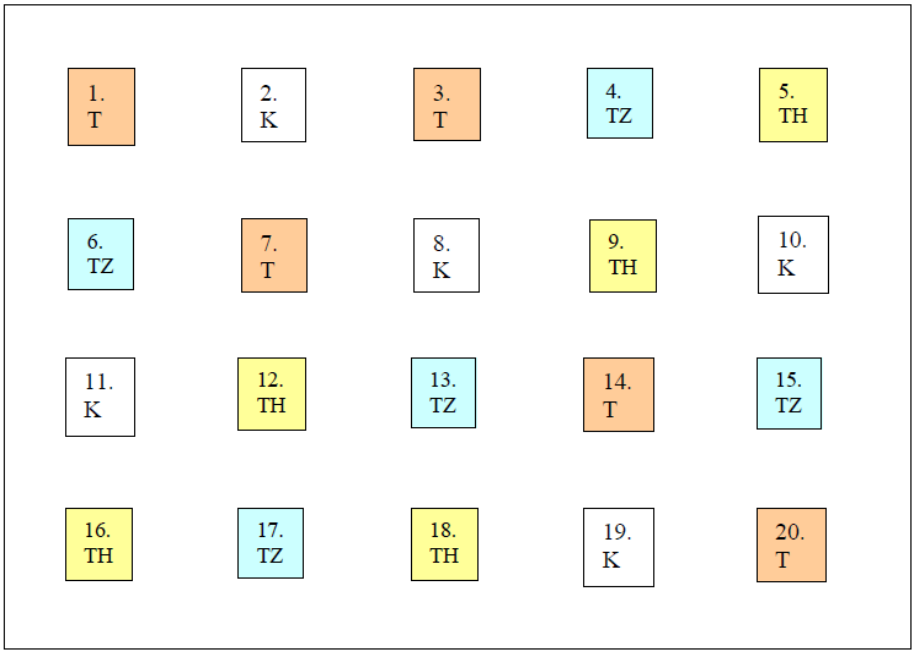


Obr. 3 Situační mapa odběru vzorku u Studniční hory.
Zdroj: www.mapy.cz

3.2. Založení experimentu

Na studovaných plochách (Petrovy kameny, Králický Sněžník, Krkonoše) bylo vybráno 20 čtvercových ploch, které jsou od sebe odděleny minimální pufrační zónou 1,5 m. Každý čtverec měl rozměry 0,5 m (0,25 m^2), v rozích byl vytyčen kovovými kolíky a zaměřen GPS. Každému pohoří bylo přiřazeno určité poznávací číslo. Petrovy kameny 1–20, Králický Sněžník 21–40 a Krkonoše 41–60. 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 zůstala bez zásahu – kontrolní (K). Každé ošetření bylo aplikováno na každé ze tří pohořích v pěti opakováních. Vzhledem k heterogenitě a nerovnosti terénu nebylo možné trvale založené plochy rozmístit do pravidelného geometrického tvaru. Každý zásah odpovídal stejnému číslu ve všech lokalitách (Obr. 4).

Jednotlivé vlivy faktorů byly zkoumány na trsnatých a netrsnatých travách (graminoidech): metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), kostřava nízká (*Festuca supina*), smilka tuhá (*Nardus stricta*) – pouze v Krkonoších, ostřice tuhá (*Carex bigelowii*) – pouze v Krkonoších. U ostřice bylo na každé z dvaceti ploch vybráno a různě barevnými kovovými drátky označeno 5 jedinců. Z toho celkový počet byl 100 jedinců. U zbylých trav byli sledováni všichni kvetoucí jedinci vyskytující se na ploše.



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. Manipulativní experiment

Manipulativní zvýšení teploty je prováděno pomocí otevřených plastových komor – skleníčků, tzv. open-top chambers (OTC), které jsou hexagonálního tvaru. Obdobné komory jsou používány v mezinárodním experimentu v tudře (ITEX-International tundra experiment) (Molau a Mølgaard 1996, Henry a Molau 1997). OTC komory zvyšují teplotu během vegetační sezóny o 1-3 °C (Henry a Molau 1997), která odpovídá hodnotě předpokládané globálnímu oteplování ve vyšších nadmořských výškách (Krajick 2004). Komory jsou vyrobeny z plexiskla lexanu, který propouští okolo 86 % viditelného světla a propustnost pro odražené infračervené vlnové délky je menší než 5 % (Marion et al. 1997). OTC byly instalovány na prvních pěti studovaných plochách (T), hned po odtání sněhu, na jaře v r. 2008 a ponechány po celou dobu experimentu, včetně zimy.

Zvýšené množství srážek bylo aplikováno na 5 pokusných ploch (TZ). Jako zdroj vody se využívala srážková voda, která se jímala do speciálního plastového sudu o objemu 200 l. Před aplikací na plochy se voda nejprve přečerpala speciálním přenosným demineralizačním přístrojem s čerpadlem. Množství dodávané vody odpovídalo zhruba 50 % nárůstu běžných srážek v průběhu vegetační sezóny. Celkové množství dodávané vody za každý rok bylo 175 l, což odpovídá množství 700 mm/m^2. Objem aplikované vody nebyl v jednotlivých termínech na všech studovaných lokalitách stejný, vzhledem k odlišným klimatickým podmínkám. Avšak celkový objem aplikované vody během vegetační sezóny byl na všech pohořích stejný.

Poslední pětice ploch byla vystavena zvýšenému množství dusíku (TH). Na zkoumané plochy byl dusík dodáván ve formě NH_4NO_3 tak, že výsledná dávka činila 2 g/m^2 (N) = 20 kg/ha. Dusík byl do prostředí dodáván jako vodný roztok NH_4NO_3 v objemu 200 ml destilované vody (Britton a Fisher 2007), aby došlo k co nejrychlejšímu rozpuštění do půdního roztoku. Látka byla aplikována ve čtyřech dávkách. První aplikace byla provedena na začátku vegetační sezóny a další tři cca ve čtyř týdenních intervalech.

3.4. Měření fenologických charakteristik

Jednotlivé fenologické fáze (Tab. 1) byly sledovány u všech kvetoucích jedinců metličky křivolaké, kostřavy nízké a smilky tuhé (pouze Krkonoše). U ostřice tuhé (pouze Krkonoše) byly sledovány barevně označení jedinci. Počáteční a konečná data sledování viz. (Tab. 2). Pravidelné kontroly probíhaly do konce června každých 5 dní a od začátku července do poslední fenofáze každých 7 dní.

Tab. 1 Fenologické a kvantitativní fáze vybraných druhů rostlin.

Avenella flexuosa, Festuca supina, Nardus stricta	
Fenologické znaky:	P1- odtání sněhu P2- první viditelná blizna (u kteréhokoliv stébla na celé ploše) P3- první vypadávání semen (u kteréhokoliv stébla na celé ploše)
Kvantitativní znaky:	Q1- počet kvetoucích stébel na celé ploše (zaznamenat jednorázově při fázi P3) Q2- délka kvetoucího stébla při plném květu (zaznamenat jednorázově při fázi P3)
Carex bigelowii	
Fenologické znaky:	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
Kvantitativní znaky:	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)

Tab. 2 Začátek a konec fenologických fází na zájmových lokalitách v roce 2008 a 2010.

	začátek fenofáze		**konec fenofáze**	
	2008	2010	2008	2010
Petrovy kameny	19.4.	24.4.	25.8.	29.8.
Králický Sněžník	19.4.	24.4.	23.8.	30.8.
Krkonoše	10.5.	23.4.	8.9.	12.9.

4. TEORETICKÁ ČÁST

4.1. Charakteristika rostlinných druhů a jejich odezvy na vybrané faktory prostředí

4.1.1. Metlička křivolaká

Základní charakteristika druhu:

Metlička křivolaká *Avenella (Deschampsia) flexuosa* (L.) Drejer. z čeledi lipnicovitých, je trsnatá, našedle nebo svěže zelená trvalka. Tvořící rozsáhlé husté drny. Oddenek je krátce a tence výběžkatý (Dostál 1989), ale pod zemí vytváří rozvětvený systém rhizomů (Scurfield 1954). Kořeny mohou zasahovat až do hlouby 58 cm. Mykorhiza u tohoto druhu není známa. Stébla jsou obvykle hladká, lesklá a přímá, dosahující výšky 20-70 cm. Pochvy listů jsou rovněž hladké, často hnědočervené. Charakteristický je tupý jazýček, který je 1 až 3 mm dlouhý. Čepele šídlovitých listů s délkou až 30 cm jsou štětinovitě složené, s průměrem 0,3-0,8 mm, po celé délce hladké měkké, na konci pak drsné. Květenstvím je vejčitá řídká lata, 5-15 cm, až 8 cm v průměru. Větévky květenství jsou odstálé, hladké a s vřetenem laty charakteristicky vlnovitě křivolaké. Nachové nebo stříbřitě bílé klásky s nestejně dlouhými plevami dorůstají 4-7 mm (Polunin 1943). Ke kvetení dochází v temperátních zónách během června až července. Prašníky jsou pozorovatelné před objevením blizen. Blizny začnou být patrné ještě před tím, než prašníky prasknou. Spodní kvítek klásků se otevírá dříve než horní. Ke kvetení květů jednoho jedince tedy 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 Gilbraltaru po Skadinávii (Dahl 1934 in Scurfield 1954). Výskyt byl zaznamenán i na Sicílii a Korsice. Na východě zasahuje až k Japonsku a Aleutským ostrovům a její přítomnost byla zaznamenána i v Britském severním Borneu (Gibbs 1914 in Scurfield 1954). Západní rozšíření sahá k Islandu a Grónsku. Na východě Severní Ameriky zasahuje až k Severní Karolině, objevuje se na Falklandských ostrovech, v jižní Americe kolem Rio de Janeira (Wright 1911 in Scurfield 1954). Ve Švýcarsku byla zaznamenána až v nadmořské výšce 2740 m n. m. (Braun-Blanquet a Rikli 1932).

Jedná se o travinný druh se širokým ekologickým rozpětím v rámci jediné klimatické zóny. Metlička je běžná na nížinných vřesovištích, kopcovitých pastvinách a subalpínských loukách. Hojně se vyskytuje na sušších rašeliništích, méně na špatně odvodněných místech. Rovněž je v lesích, obvykle s dominantními jehličnany nebo dubem (*Quercus petraea*), jeřábem (*Sorbus aucuparia*) a břízou (*Betula* spp). Často kolonizuje sutě a rozrušenou půdu. Typická jsou rovněž větrem, vodou a ledem erodovaná místa na vrchovinných mokřinách, kopcových pastvinách a vřesovištích. Upřednostňuje dobře odvodněná, sušší, strmá a často exponovaná stanoviště (Scurfield 1954).

Typické substráty pro růst metličky jsou písek, hrubý písek až štěrk, písčité břidlice a půdy s kyselou reakcí. Tento druh je vzácný nebo zcela chybí na píscích, ledovcových nánosech a morénových hlínách, které jsou bohaté na vápenec. Biomasa metličky klesá s rostoucím pH (Scurfield 1954).

Metlička patří mezi světlomilné druhy. Roste a kvete především na plném světle, ale dokáže přežít i nízkou světelnou intenzitu. Růst a struktura stonku a listů je ve stínu různá – v mírném stínu jsou listy relativně dlouhé, zaoblené a propletené, zatímco v hlubokém stínu tenčí, povadlé a skloněné. Nejúspěšněji roste na otevřených místech, kde je trsovitá. K často osídlovaným biotopům patří strmé, exponované a vyfloukané svahy. Navíc je schopna vydržet dlouhou a krutou zimu (Jowett a Scurfield 1954 in Scurfield 1954).

Odezvy druhu na vybrané faktory prostředí:

Při výzkumu bylo zjištěno, že *Avenella* dominovala v porostech se sníženou hladinou N:P poměru. V případě aplikace dusíku a fosforu, dusík nevykazoval žádné zvýšené reakce. Naopak při vyšší fosforové aplikaci došlo k jejímu většímu nárůstu. V porostech, kde je dominantní *Nardus stricta*, ale její N:P poměr je nižší a fosforová dostupnost vyšší, tak převažuje dominance *Avenella* (Klaudisová et al. 2009). Při nedostatku fosforu je růst *Avenella* omezen (Hejcman et al. 2007).

4.1.2. Kostřava nízká

Základní charakteristika druhu:

Kostřava nízká *Festuca supina* Schur. je sivě zelená trsnatá tráva. Svými stébly dosahuje výšky 10-30 cm. Její výběžky mohou být vztyčené nebo rozkladité a vytvářejí kořeny s mykorhizou (Grime et al. 1986). Stébla jsou tuhá, nahoře 4hranná, pýřitá nebo jen slabě drsná (Dostál 1989). Pochvy v dolní čtvrtině až polovině jsou uzavřené, hladké, lysé nebo roztroušeně chlupaté. Jazýček je krátký ouškatý. Čepele jsou ven z trsu ohnuté a delší než stéblo. Sklerenchymatické pletivo tvoří na průřezu listem souvislý nebo přerušovaný prstenec. Lata bývá hustá, 2-5,5 cm podlouhlá, větévky silně drsné a mívá 3-5 nafialovělých květů. Horní pleva je kopinatá, špičatá s osinou kratší než 1/2 pluchy. Vytváří zelené oboupohlavné větrosnubné květy (Snaydon a Bradshaw 1961 in Grime et al. 1986). Kvete od května do července a ke tvorbě semen dochází od června do září. (Grime et al. 1986).

Kostřava patří mezi pomalu rostoucí, trsnaté trávy zimních zelených trávníků. Bývá nalézána v širokém rozsahu neúrodných pastvin a skalnatých lokalit. Ve Velké Británii je součástí neúrodných pastvin. Mezi našimi druhy na pastvinách má jedinečné postavení díky tomu, že dokáže vytvořit vysokou pokryvnost jak na kyselých, tak vápnitých biotopech. Na místech s vyšší produkcí klesá její význam ve prospěch rychleji rostoucích druhů s širšími listy př. *Agrostis capillaris* (Mahmoud a Grime 1976 in Grime et al. 1986). Patří mezi stres tolerující druhy (Grime et al. 1986). Semena nemají období klidu a klíčí v pozdním létě, ačkoli na chladnějších stanovištích setrvávají v dormantním stádiu až do jara (Harmer a Lee 1978 in Grime et al. 1986).

V horách se obvykle vyskytuje na rozsáhlých plochách a zvláště hojně ve vysokohorských pastvinách, vřesovištích a rašeliništích. Běžně se vyskytuje na suťových svazích, skalnatých výchozech a útesech. Hojné a bohaté porosty vznikají na půdách ve velkém rozsahu pH, ale nejvíce kolem pH 5,0-7,5 (Grime et al. 1986).

Odezvy druhu na vybrané faktory prostředí:

V odborné literatuře prakticky nejsou k dispozici informace o působení teploty na *Festuca supina*. V rámci výzkumu, který probíhal na druhu *Festuca ovina*, který má podobné ekologické vlastnosti bylo zjištěno, že schopnost rostlin absorbovat amoniak byla snížena při vyšších teplotách. Výsledek tedy naznačuje, že příjem živin

u studovaného druhu *Festuca* v nepříznivých podmínkách je větší v chladnějších klimatických oblastech (Kachi a Rorison 1990).

Nebyla provedena studie zabývající se působením zvýšeného množství dusíku na *Festuca supina*. Studie podle Kachi a Rorisona (1990) na *Festuca ovina*, zjistila, že absorbovaný dusičnan nevykazoval žádné výrazné změny. Až po 21 dní živinového vyčerpání došlo ke zvýšení relativního růstového poměru. Při živinovém vyčerpání *Festuca* udržela vyšší dusíkovou koncentraci v nadzemních orgánech.

4.1.3. Smilka tuhá

Základní charakteristika druhu:

Smilka tuhá *Nardus stricta* L. je hustě a pevně trsnatá tráva typická velmi krátkými oddenky, ze kterých vyrůstají vlasové kořínky s mykorhizou. Vytváří přímá stébla o výšce 10-40 cm, která jsou dole listnatá a hladká a nahoře drsná. Dolní pochvy listů jsou žlutavé, lesklé, bezčepelné, ostatní zelené a hladké. Uťatý jazýček dosahuje 2 mm. Charakteristické štětinovité tuhé šedozelené drsné čepele dosahují 3-20 cm. Lichoklas je čárkovitý, přímý, jednostranný, nepatrně tlustší než stéblo dosahující 3-8 cm. Jednokvěté klásky jsou uspořádány ve 2 řadách. Plucha je trojžilná, čárkovitě kopinatá, šedomodrá, brvitá, na špičce s 3 mm dlouhou drsnou osinou. Plevy jsou nepatrné. Květy jsou zelené až červené, oboupohlavné, často produkují semena bez oplození. Kvete od června do srpna a šíření semen začíná v červenci (Chadwick 1960).

Smilka se řadí mezi dlouhověké stres tolerantní druhy trav. Většinou tvoří hlavní složku neúrodných pastvin a vřesovištní vegetace na kyselých půdách. Zvláště hojná je v horských oblastech s vysokými dešťovými srážkami. Biomasa je velmi špatně stravitelná pro býložravce (ovce) a je chudá na vápník. Přestože je citlivá vůči vypalování a stříhání, může znovu osidlovat vypálené plochy. Také je tolerantní vůči 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). Schopnost šíření pomocí semen se ukázala být méně důležitá, zvláště v zapojené vegetaci, ale může hrát důležitou roli 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 a rašeliništích. Dále na vřesovištích, kamenných svazích a lehce zastíněných lesích. Je hojná v kyselých horských pastvinách. Chybí na více zastíněných, skeletnatých a zaplavovaných lokalitách. Dává přednost spíše lokalitám s relativně malým podílem nechráněné půdy. Rozšíření bývá navíc silně ovlivněno reakcí stanoviště, zvláště na půdách s pH < 4,0 (Grime et al. 1986).

Vyskytuje se na nevyvinutých půdách, které vznikají z matečné horniny s minimem vápníku. Dále se objevuje na řadě dalších půdních typů včetně hnědozemě, podzolu, glejových půd, rašelinového podzolu a rašeliny, ale mají sklon být nejvíce úrodné, kde substrát je relativně chudý na vápník (Bradshaw 1958). Smilka je součástí mnoha rostlinných společenstev sahajících do jejího areálu rozšíření. Mezi ně patří především biotopy s dlouho ležícím sněhem, případně společenstva nacházejících se na písčinách (Chadwick 1960).

Odezvy druhu na vybrané faktory prostředí:

K rozdílným vlhkostním poměrům substrátu dochází pouze při tvorbě kořenů s hygrofilní nebo xerofilní stavbou. Díky kořenovému dimorfismu je *Nardus* snadno přizpůsobivá různým klimatickým a půdním podmínkám. V horských oblastech není zmíněná heterogenita tak výrazná, vlivem vysoké relativní vlhkosti vzduchu. V oblastech vlhčích stanovišť se smilkové porosty vyznačují pestřejším floristickým složením (Zlatník 1928 in Štursová 1974).

Nardus jako stres tolerantní druh, který je dobře vybavený pro růst v kyselých půdách s nízkou dostupností fosforu (Güsewell et al. 2005), dominoval během třicetileté dusíkové aplikace. To ovšem neplatí v případě, kdy dusík byl aplikován spolu s fosforem z projektu Krinica v Polsku (Kopeć a Gondek 2002). Na rozdíl od fosforu měl dusík viditelný účinek na charakter travního drnu po 37 letech od posledního hnojení. U ploch přijímající dusík byla dominantní *Nardus* (Hejcman et al. 2007). Vysoká proměnlivost minerálního dusíku v travinatých ekosystémech (Schellberg et al. 2006), zvýšila dusíkovou koncentraci díky spolupůsobení vápníku a hospodářského dusíkového hnojiva. Vápník pravděpodobně zvýšil mikrobiální aktivitu v půdě, a tak minerální organická hmota a dusík, mohly být přijaty. Podle této studie část aplikovaného dusíku se může začlenit do houbových proteinů, uchovat se tam, a tak se na dlouhou dobu dotknout funkce ekosystému (Klaudisová et al. 2009). Obecně se

předpokládalo, že dusík nemůže být vyloučen v krátkém časovém období na extrémně chudých a kyselých půdách v chladných podmínkách (Hejcman et al. 2007).

4.1.4. Ostřice tuhá

Základní charakteristika druhu:

Ostřice tuhá *Carex bigelowii* Torrey ex Schweinitz je šedozelená netrsnatá ostřice, která má silný, plazivý oddenek s vystoupavými výběžky. Dospělé rostliny s podzemními, jemně větvenými výhony jsou schopny vytvořit až 27 spojených odnoží, ale mykorrhiza nebyla prokázána (Brooker et al. 2001). Lodyhy jsou ztuha přímé, 10-30 cm, někdy slabě vystoupavé, ostře 3hranné, hladké nebo nahoře slabě drsné. Listy jsou kratší než lodyha, okolo 4-6 mm široké, na líci papilkaté, na kraji nadvinuté, obloukovité a krátce zašpičatělé. Pochvy mají červenohnědé zabarvení, často jsou až téměř černé, lesklé a nerozpadavé. Květenství je chudé, složené ze 3-4 klasů, přičemž samčí je pouze jeden, samičí klasy jsou dva nebo tři. Podlouhlé krátce stopkaté klasy dosahují délky 10-35 mm a často se překrývají. Listeny jsou bezčepelné, jen dolní jsou s krátkou čepelí a na bázi opatřeny tmavohnědými oušky. Plevy samičího květu jsou vejčité, zaokrouhlé, černé, nahoře úzce blanitě lemované. Jedná se o dvoublizný druh ostřice s široce elipsoidními mošničkami 2-3,5 mm, které jsou lysé, bezžilné, zelené, nahoře červenohnědé s nasazeným kratičkým zobánkem (Dostál 1989).

Preston a Hill (1997) klasifikují ostřici tuhou jako cirkumpolární arkticko-montánní druh. Vyskytuje se napříč Evropou, kde má rozšíření zřetelnou vazbu na severní oblasti kontinentu - Německo, Českou republiku, Norsko, Polsko, Finsko a Island. Ostřice se přirozeně vyskytuje na Britských ostrovech se stěžejním místem výskytu ve Skotsku. Dále ji lze nalézt v hornatých oblastech Pennines a Lake District v severní Anglii (Brooker et al. 2001).

Výskyt ostřice není výrazně vázán na konkrétní půdní typ. Zdá se, že jde o druh neutrálních půd. Vyskytuje se na půdě s velkým rozsahem obsahu vápníku i pH, pohybujícího se od půd oligotrofních po eutrofní (Gjaerevoll 1956). Běžný výskyt je na půdách s nižším pH způsobený postupným vznikem těchto půd vlivem podmínek prostředí. Analýza půdních vzorků odebraných z oblastí Skotska ukazuje docela široký rozsah hodnot pH, dostupnosti živin (K) a obsahu organických složek v půdě, za kterých druh roste. Skutečnost, že tato ostřice umí využívat jak amoniakální, tak

dusíkatou formu dusíku (Jónsdóttir a Callaghan 1990), může být spojena s její schopností růstu na kyselých i alkalických půdách.

Odezvy druhu na vybrané faktory prostředí:

Simulace zvýšené teploty pomocí komor open-top chambers (OTC) urychlila fenologické kvetení a délku všech zelených listů. Byla také zaznamenána větší délka v samičích a samčích klasech a zvýšená reprodukce, která může pravděpodobně zvýšit semennou produkci (Stenström et al. 1997). Toto jsou prvotní výsledky z dlouhodobého experimentu a není jisté, že dlouhodobé účinky budou totožné (Chapin et al. 1995).

Podle jiné studie vliv teploty významně snížil dusíkové a fosforové koncentrace v nadzemních výhoncích – 10% snížení v zelených listech dusíkové koncentrace a 18-25% snížení fosforové koncentrace (Jónsdóttir et al. 2005).

Oteplení mělo velice positivní účinky na biomasu guerrilla ramet (pozn. řídké porosty, dlouhé spoje mezi rametami, nízká vytrvalost) než phalanx ramet (pozn. husté porosty, krátké spoje mezi rametami, odolnost v konkurenci). Pro oba tyto typy jsou odezvy prostředí omezené jednotlivými stadii a vyzrálostí vegetativních ramet (Jónsdóttir et al. 2005). Mladá stadia oddenkových ostřic mají vyšší reprodukční hodnotu než starší stadia (Carlsson a Callaghan 1991). Přidělování zdrojů těmto mladším stadiím může být preferováno po celou dobu v období fitness (Jónsdóttir et al. 2005).

Přímá aplikace roztoku NH_4NO_3 k oddenkům *Carex* významně ovlivnila dusíkový obsah rostlinných pletiv. Obohacení dusíkem k oddenkům a přilehlým tkáním ukazují na to, že dusík je přijímán a přemísťován oddenkovým systémem (Brooker et al. 1999). Tento podobný pohyb byl demonstrován Jónsdóttir a Callaghan (1989), kdy uhlíkové sloučeniny jsou přemisťovány do oddenkového systému *Carex bigelowii*. Aplikace dusíku k podzemním orgánům je výrazně vyšší v místě aplikace a se vzdalujícím se odstupem pozvolna klesá jeho obsah (Brooker et al. 1999). Aplikace dusíku ve formě dusičnanového a amonného iontu na jednotlivé starší podzemní výhonky ukázala, že oba ionty byly převzaty ze starších podzemních orgánů, ale amonný dusík byl převzat ve větším množství (Jónsdóttir a Callaghan 1990). Vlivem hnojení dochází ke zlepšení živin v rostlině, které se projevuje větší délkou listů a jejich zvýšeným počtem (Shaver a Laundre 1997).

5. VÝSLEDKY

5.1. Vybrané výsledky fenologického a kvantitativního vývoje graminoidů z r. 2008 a 2010

5.1.1. Výsledky *Avenella flexuosa*

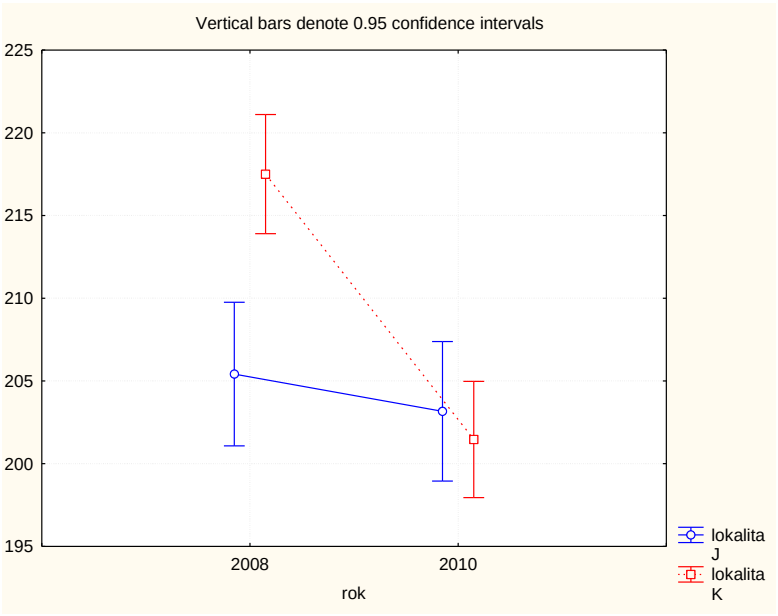
První viditelná blizna (fáze P2)

Analýzou variance byl zjištěn signifikantní rozdíl mezi lokalitami, typy zásahů a roky (Tab. 3). Lokalita Králický Sněžník byla z analýzy vyjmuta vzhledem k nedostatku kvetoucích jedinců. Z výsledků je patrné, že v r. 2008 začala fenofáze P2 v Krkonoších a v Jeseníkách v odlišnou dobu, zatímco v r. 2010 téměř identicky v obou pohořích (Obr. 5). Dále je viditelný rozdíl v termínu zahájení fenofáze P2 na kontrolních plochách ve srovnání s ostatními typy zásahů - pozdější zahájení fenofáze na kontrolních plochách (Obr. 6). Interakce typu (zásah-rok) byl těsně nesignifikantní.

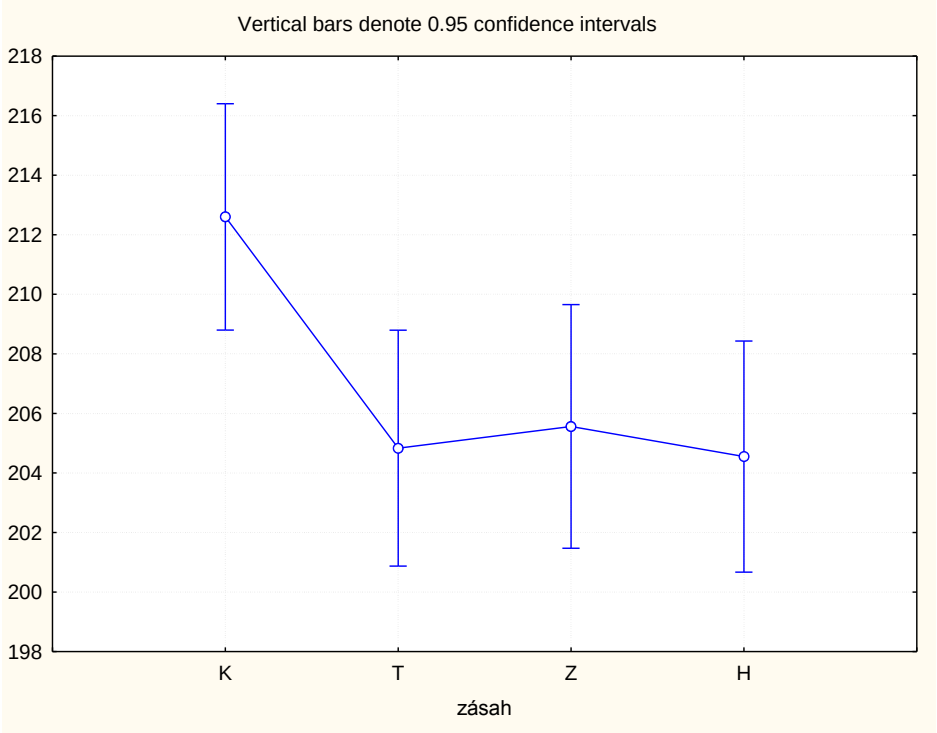
Tab. 3 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi první viditelné blizny *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	**Počet stupňů volnosti DF**	**Testovací kritérium F**	**Hladina pravděpodobnosti**
A: lokalita	1	7.11	0.011029*
B: zásah	3	4.08	0.012867*
AB	3	2.78	0.053586
C: rok	1	22.06	0.000031*
AC	1	12.54	0.001029*

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 5 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi první viditelné blizny *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K). Lokality: Jeseníky (J), Král. Sněžník (S), Krkonoše (K). Osa „y“ vyjadřuje počet dní od začátku roku.



Obr. 6 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi první viditelné blizny *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi typem zásahu. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K). Osa „y“ vyjadřuje počet dní od začátku roku.

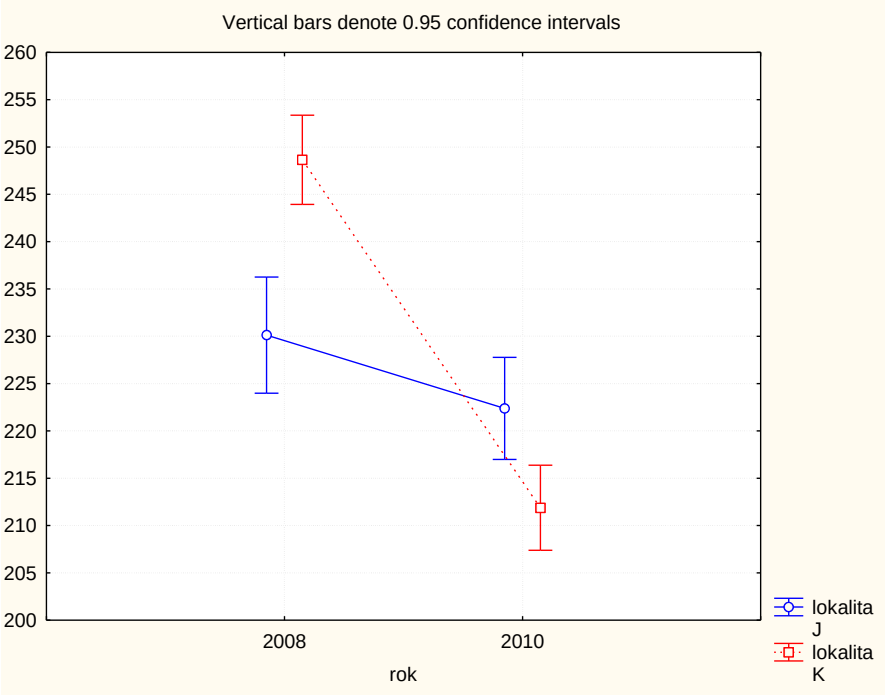
První vypadávání semen (fáze P3)

Analýzou byl zjištěn signifikantní rozdíl mezi jednotlivými roky sledování a lokalitami (Tab. 4). Typ zásahu nemá žádný vliv na vypadávání semen. Lokalita Králický Sněžník byla vyřazena z analýzy z důvodu nízkého počtu kvetoucích jedinců. Z výstupů je patrný pozdější nástup fenofáze P3 v Jeseníkách i Krkonoších v r. 2008 oproti r. 2010 - v Krkonoších výraznější (Obr. 7).

Tab. 4 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	**Počet stupňů volnosti DF**	**Testovací kritérium F**	**Hladina pravděpodobnosti**
A: lokalita	1	2.42	0.128095
B: zásah	3	0.70	0.556815
AB	3	2.14	0.111272
C: rok	1	74.55	0.000000*
AC	1	31.68	0.000002*

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 7 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K). Lokality: Jeseníky (J), Král. Sněžník (S), Krkonoše (K). Osa „y“ vyjadřuje počet dní od začátku roku.

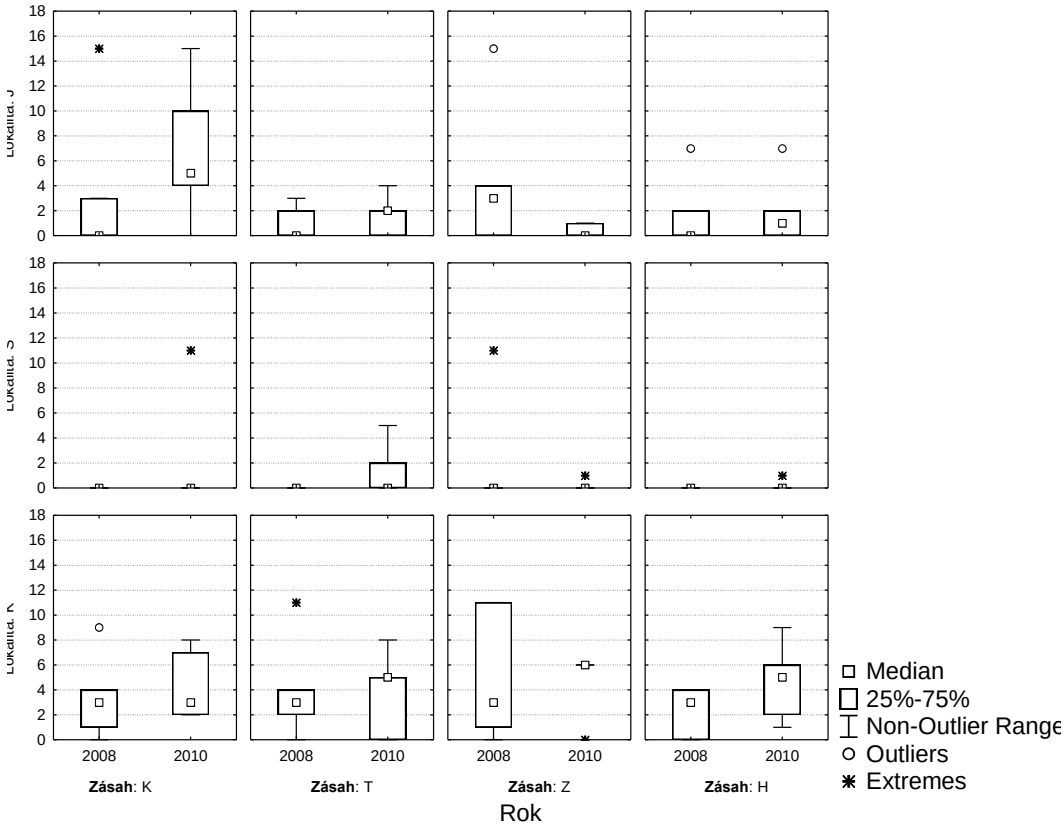
Počet kvetoucích stébel (fáze Q1)

Analýzou variance byl zjištěn signifikantní rozdíl mezi lokalitami. V ostatních testovaných faktorech, jako je zásah a rok, nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly (Tab. 5). Na Králickém Sněžníku byl v obou letech a ve všech typech zásahů zjištěn minimální počet kvetoucích stébel *Avenella*. V Jeseníkách je pozorovatelný relativně významnější nárůst počtu stébel *Avenella flexuosa* mezi léty 2008 a 2010. U ostatních lokalit a typů zásahů jsou rozdíly (i meziroční) nevýrazné (Obr. 8).

Tab. 5 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	**Počet stupňů volnosti DF**	**Testovací kritérium F**	**Hladina pravděpodobnosti**
A: lokalita	2	18.96	0.000001*
B: zásah	3	1.01	0.394378
AB	3	0.60	0.725948
C: rok	1	1.67	0.202391

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 8 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K). Lokality: Jeseníky (J), Král. Sněžník (S), Krkonoše (K).

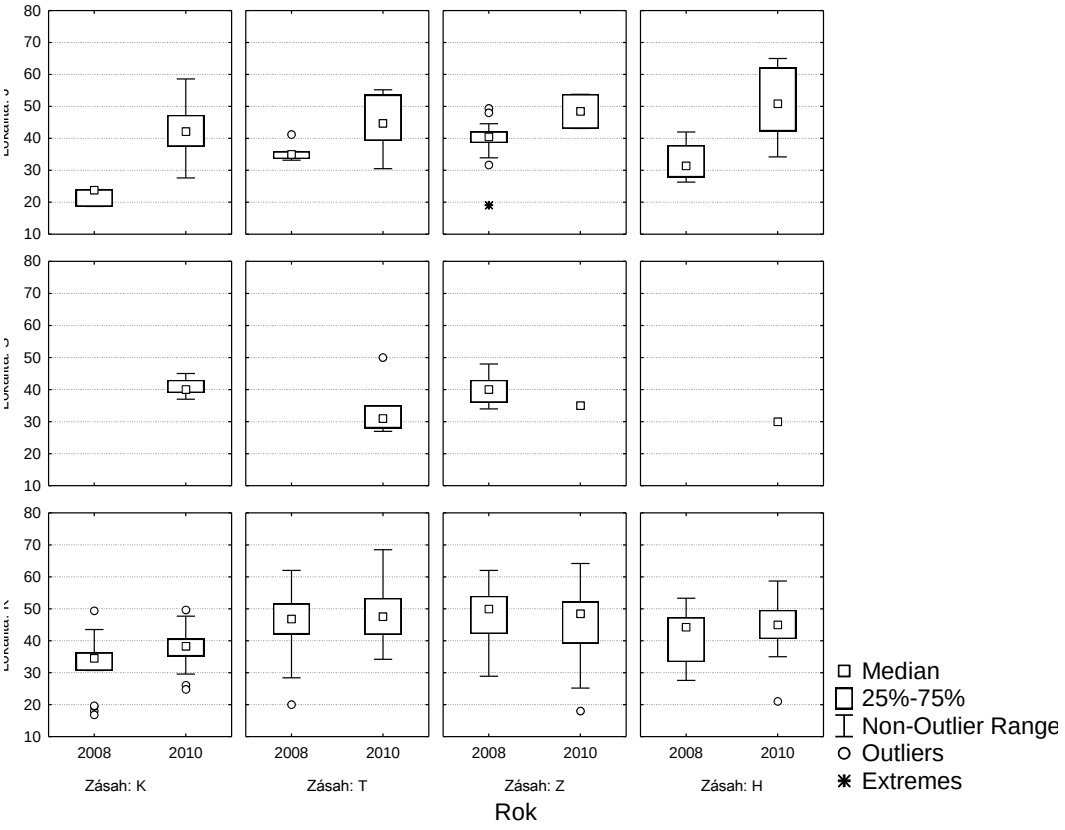
Délka kvetoucích stébel (fáze Q2)

Analýzou variance byl zjištěn signifikantní rozdíl opět pouze mezi lokalitami a roky sledování. Vliv typu zásahu nebyl shledán průkazným (Tab. 6). Králický Sněžník nebyl podrobněji analyzován z důvodu nedostatku dat (minimální počet kvetoucích jedinců *Avenella*). Zajímavý je rozdíl v délce kvetoucích stébel mezi Jeseníky a Krkonošemi v čase. V Jeseníkách byl zjištěn relativně výrazný rozdíl v délce stébel (nárůst délky) mezi léty 2008 a 2010, a to ve všech typech zásahů (nejvýrazněji u kontrolních ploch). V Krkonoších jsou meziroční rozdíly v délce stébel nevýznamné (Obr. 9).

Tab. 6 Přehled výsledků třícestné analýzy ANOVA s pevnými efekty pro délku kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	Počet stupňů volnosti DF	Testovací kritérium F	Hladina pravděpodobnosti
A: lokalita	1	5.22	0.023225*
B: zásah	3	13.43	0.000000*
AB	3	0.93	0.428630
C: rok	1	33.52	0.000000*
AC	1	16.89	0.000054*

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 9 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování.

5.1.2. Výsledky *Festuca supina*

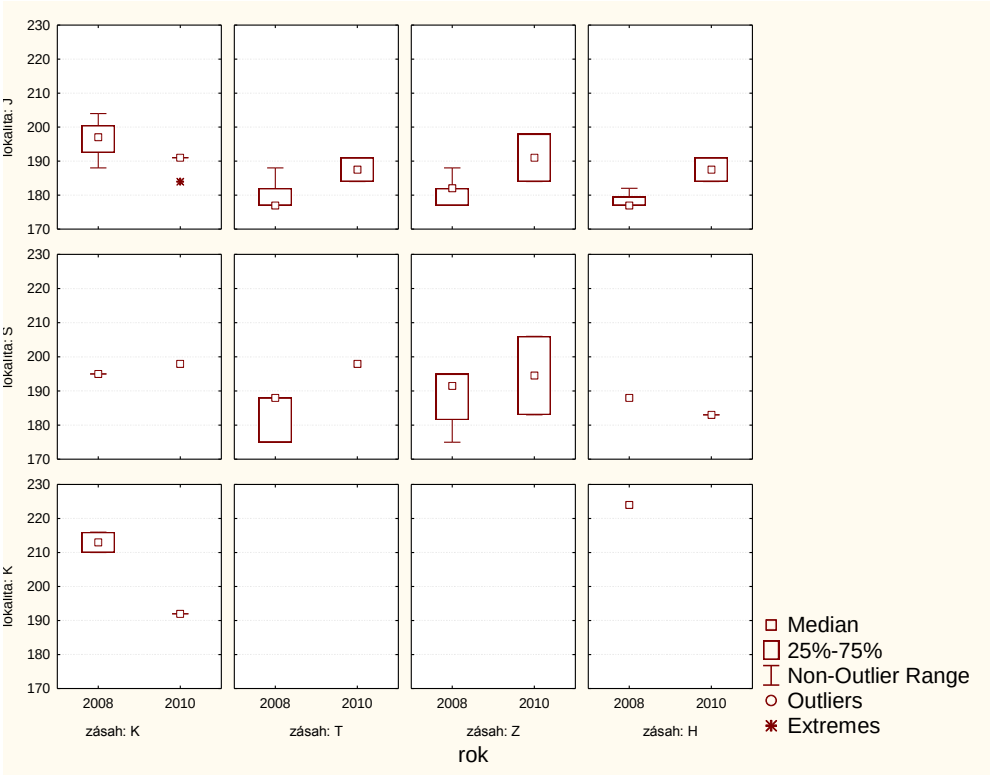
První viditelná blizna (fáze P2)

Třícestnou analýzou byl zjištěn signifikantní rozdíl mezi lokalitami a rokem sledování (Tab. 7). Pro analýzu nemohla být použita ANOVA s opakovanými měřeními, protože v některých čtvercích chyběly jedinci kostřavy nízké. Nebyl zjištěn průkazný rozdíl mezi jednotlivými typy zásahů (Obr. 10).

Tab. 7 Přehled výsledků třícestné analýzy ANOVA pro fenofázi první viditelné blizny *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	Počet stupňů volnosti DF	Testovací kritérium F	Hladina pravděpodobnosti
A: lokalita	1	5.41	0.000376*
B: zásah	3	4.54	0.462134
AB	3	0.23	0.874235
C: rok	1	5.82	0.021393*

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 10 Grafický výstup analýzy ANOVA pro počátek fenofáze první viditelné blizny *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K). Lokality: Jeseníky (J), Král. Sněžník (S), Krkonoše (K). Osa „y“ vyjadřuje počet dní od začátku roku.

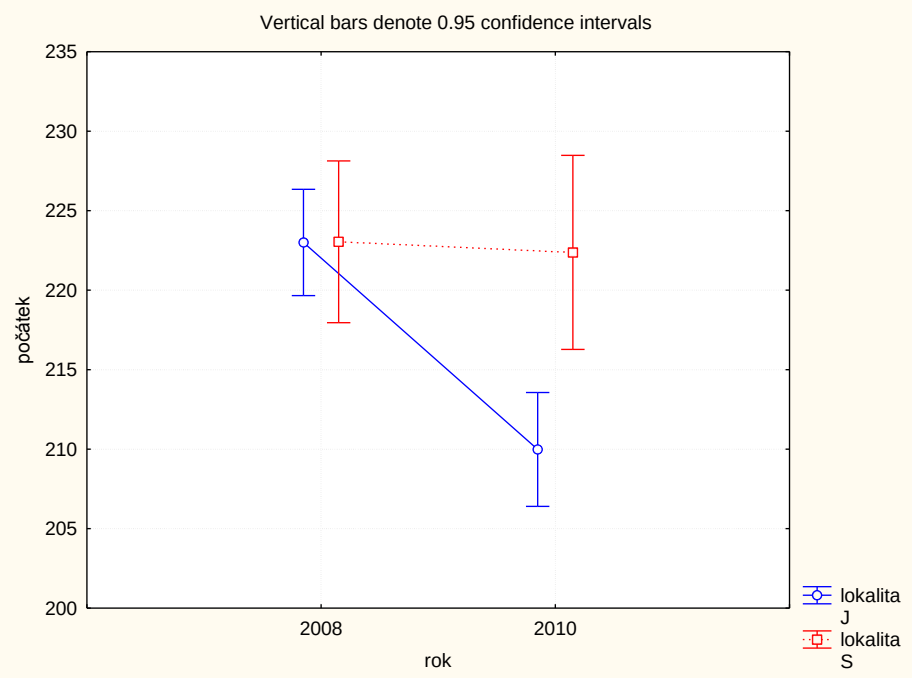
První vypadávání semen (fáze P3)

Analýzou variance byl zjištěn signifikantní rozdíl pouze mezi lokalitami a rokem sledování (Tab. 8). U lokality Jeseníky a Králický Sněžník je dobře vidět, jak se lišily nástupy fenofáze prvního vypadávání semen – v Jeseníkách v r. 2008 došlo k pozdějšímu vypadávání semen než v r. 2010 (Obr. 11). U Králického Sněžníku byly rozdíly mezi roky téměř nepatrné. Krkonoše byly opět vyjmuty z analýzy vzhledem k nedostatečnému počtu kvetoucích jedinců (Obr. 12).

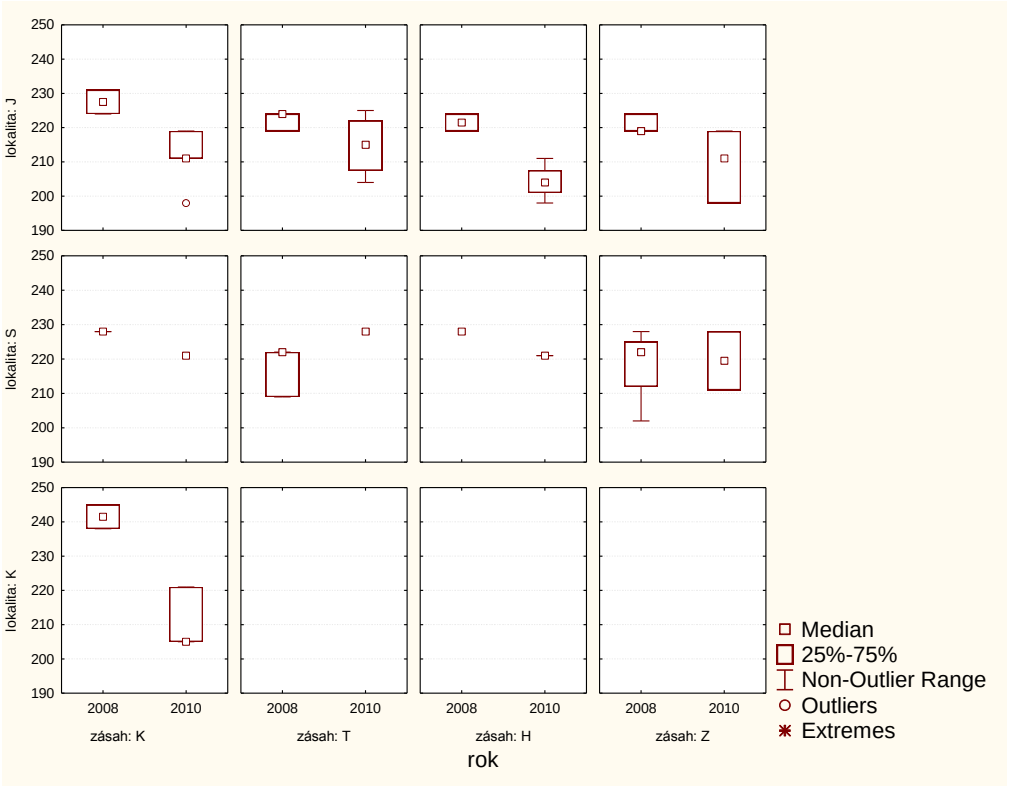
Tab. 8 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Festuca supina* a jejich rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	**Počet stupňů volnosti DF**	**Testovací kritérium F**	**Hladina pravděpodobnosti**
A: lokalita	1	7.33	0.010543*
B: zásah	3	0.97	0.416906
AB	3	0.59	0.624769
C: rok	1	8.88	0.005303*
AC	1	7.23	0.011025*

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 11 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Festuca supina* a jejich rozdíl mezi zkoumanými lokalitami a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K). Lokality: Jeseníky (J), Král. Sněžník (S), Krkonoše (K). Osa „y“ vyjadřuje počet dní od začátku roku.



Obr. 12 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K). Lokality: Jeseníky (J), Král. Sněžník (S), Krkonoše (K). Osa „y" vyjadřuje počet dní od začátku roku.

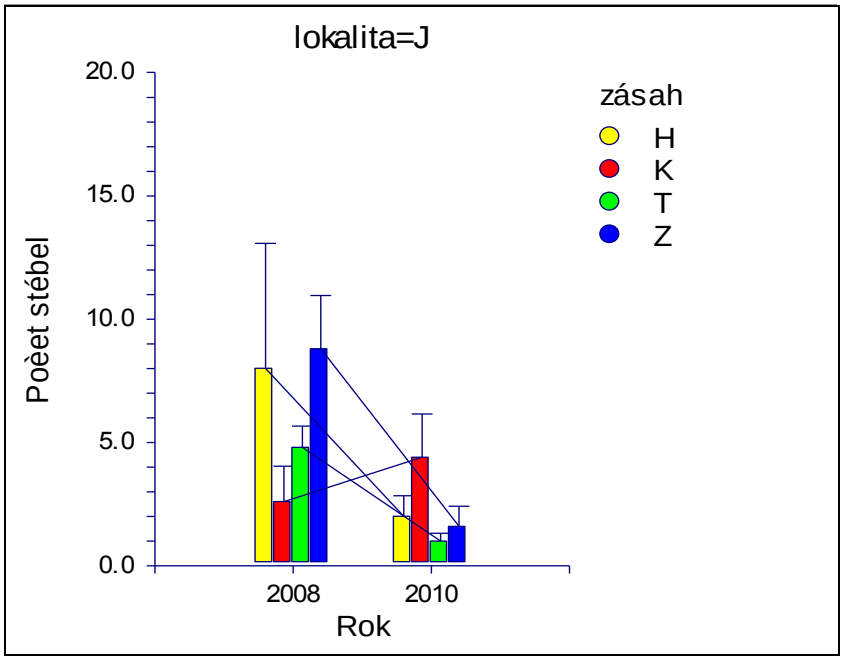
Počet kvetoucích stébel (fáze Q1):

Analýzou variance s opakovanými měřeními bylo zjištěno, že není rozdíl mezi typy zásahu. Signifikantní rozdíl byl zjištěn mezi lokalitami a roky sledování (Tab. 9). Z grafů je možno zjistit rozdíly v počtu kvetoucích stébel *Festuca supina* mezi roky 2008 a 2010 (Obr.13, Obr. 14). Nejednoznačná odezva na jednotlivé typy zásahů v obou sezónách je z grafů zřejmá. V Krkonoších nebylo možno testovat vliv zásahu zahřívání-teplota (T), zalévání (Z) a hnojení (H) z důvodu nízkého počtu dat - počtu kvetoucích stébel (Obr.15).

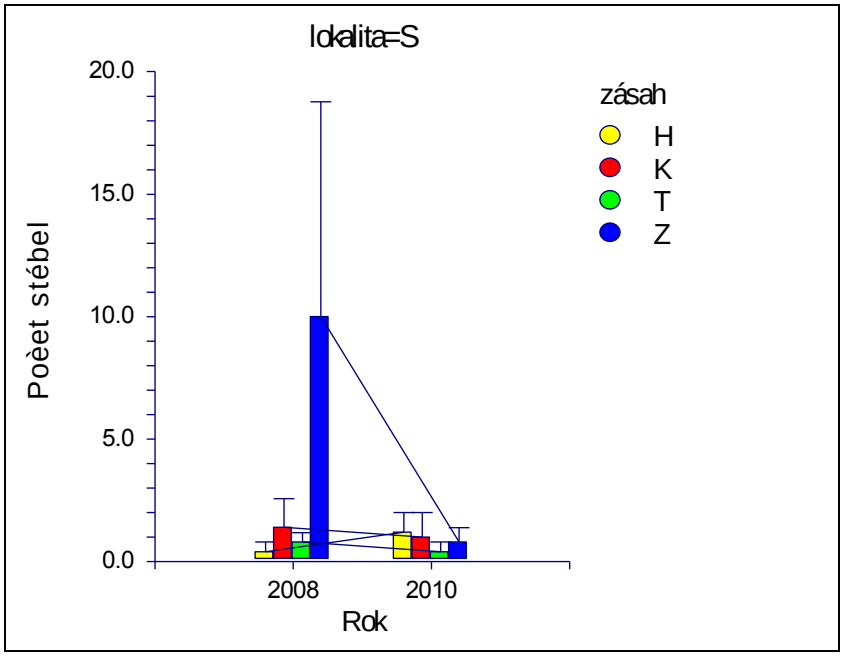
Tab. 9 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	**Počet stupňů volnosti DF**	**Testovací kritérium F**	**Hladina pravděpodobnosti**
A: lokalita	2	12.90	0.000033*
B: zásah	3	1.23	0.309489
AB	6	1.16	0.345031
C: rok	1	5.90	0.018943*
AC	3	3.08	0.036287*

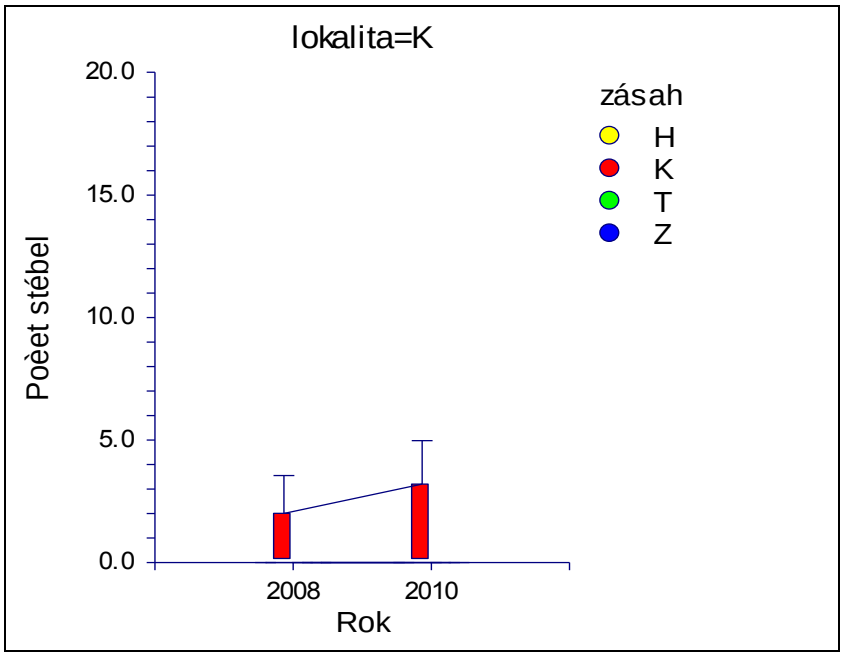
* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 13 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Festuca supina* v Jeseníkách a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K).



Obr. 14 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Festuca supina* na Králickém Sněžníku a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování**.** Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K).



Obr. 15 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Festuca supina* v Krkonoších a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K).

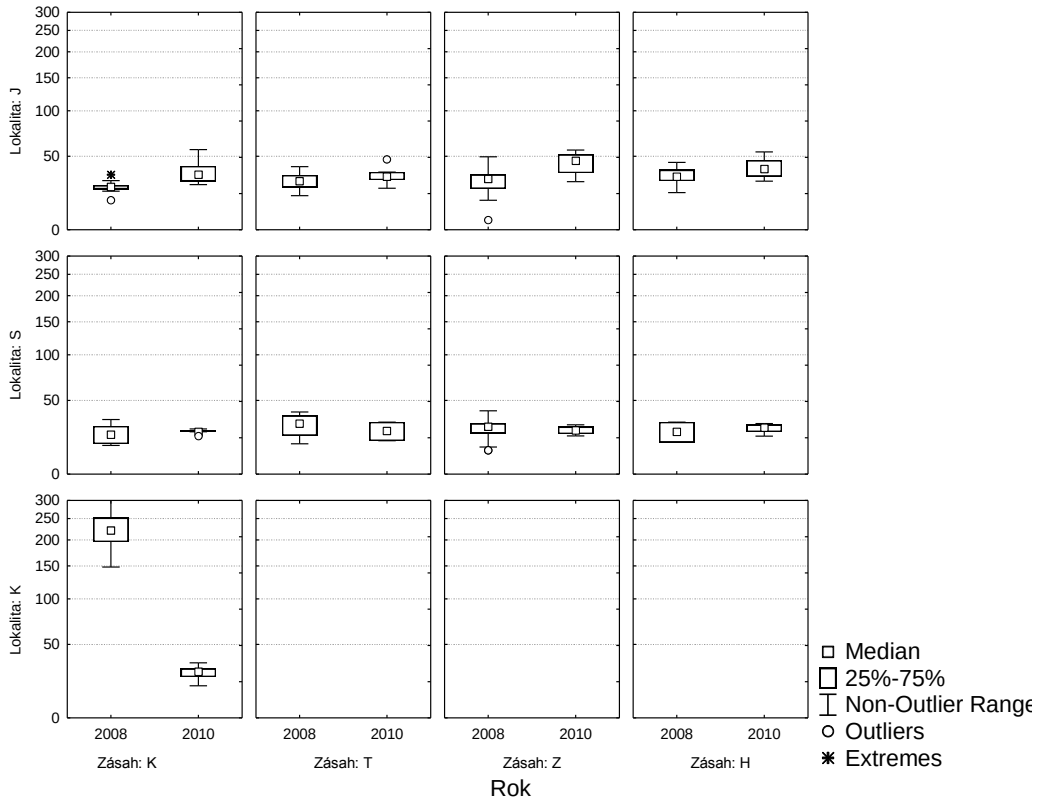
Délka kvetoucích stébel (fáze Q2)

Z důvodu nízkého počtu dat v Krkonoších byla statistická analýza provedena pouze v Jeseníkách a na Králickém Sněžníku. Byl zjištěn signifikantní rozdíl mezi lokalitami a termínem sledování, ale vliv zásahu nebyl prokázán (Tab. 10). Z grafu jsou patrné nevýrazné rozdíly mezi jednotlivými typy zásahů a lokalitami. Výjimkou je situace na kontrolních plochách v Krkonoších, kde byl mezi léty 2008 a 2010 zaznamenán prudký pokles délky stébel *Festuca* (Obr. 16).

Tab. 10 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku kvetoucích stébel *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	**Počet stupňů volnosti DF**	**Testovací kritérium F**	**Hladina pravděpodobnosti**
A: lokalita	2	11.27	0.002434*
B: zásah	3	0.75	0.532444
AB	3	0.25	0.860514
C: rok	1	20.05	0.002062*
BC	1	20.57	0.001910*

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 16 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku kvetoucích stébel *Festuca supina* a rozdíl mezi zkoumanými lokalitami, typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K). Lokality: Jeseníky (J), Král. Sněžník (S), Krkonoše (K). Osa „y" vyjadřuje počet dní od začátku roku.

5.1.3. Výsledky *Nardus stricta* – jen Krkonoše

První viditelná blizna (fáze P2)

Na sledovaných plochách nekvetli téměř žádní jedinci *Nardus* a to bez ohledu na typ zásahu. Nebyla proto provedena další podrobnější analýza.

První vypadávání semen (fáze P3)

Na sledovaných plochách nekvetli téměř žádní jedinci *Nardus* a to bez ohledu na typ zásahu. Nebyla proto provedena další podrobnější analýza.

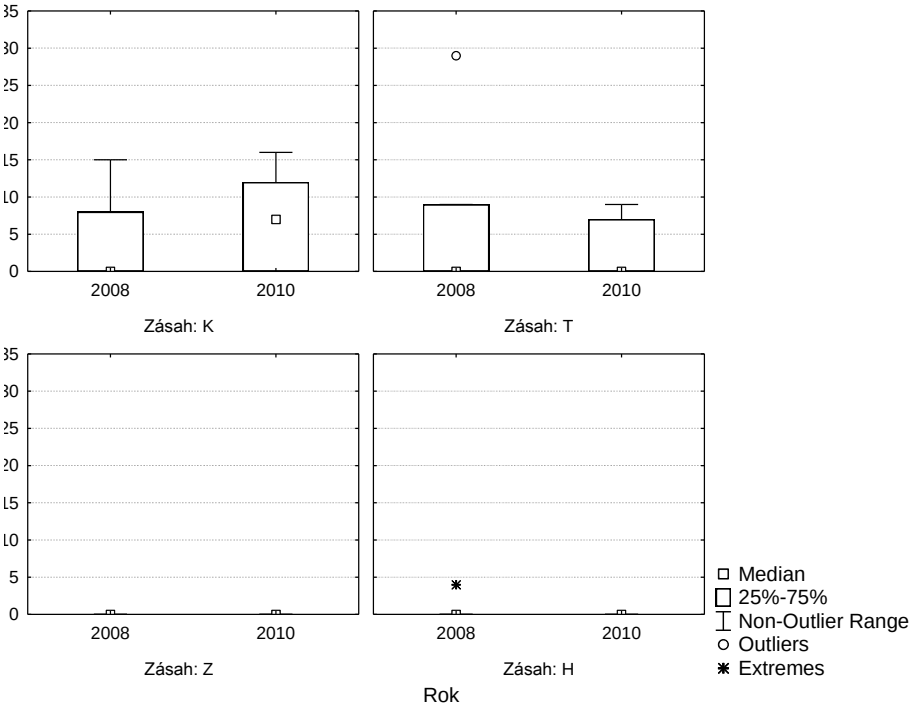
Počet kvetoucích stébel (fáze Q1)

Analýzou variance nebyl zjištěn signifikantní rozdíl v testovaných faktorech (Tab. 11, Obr. 17).

Tab. 11 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Nardus stricta* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	Počet stupňů volnosti DF	Testovací kritérium F	Hladina pravděpodobnosti
A: zásah	3	2.04	0.148612
B: rok	1	0.10	0.753776
AB	3	1.27	0.319162

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 17 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet kvetoucích stébel *Nardus stricta* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K). Lokality: Jeseníky (J), Král. Sněžník (S), Krkonoše (K).

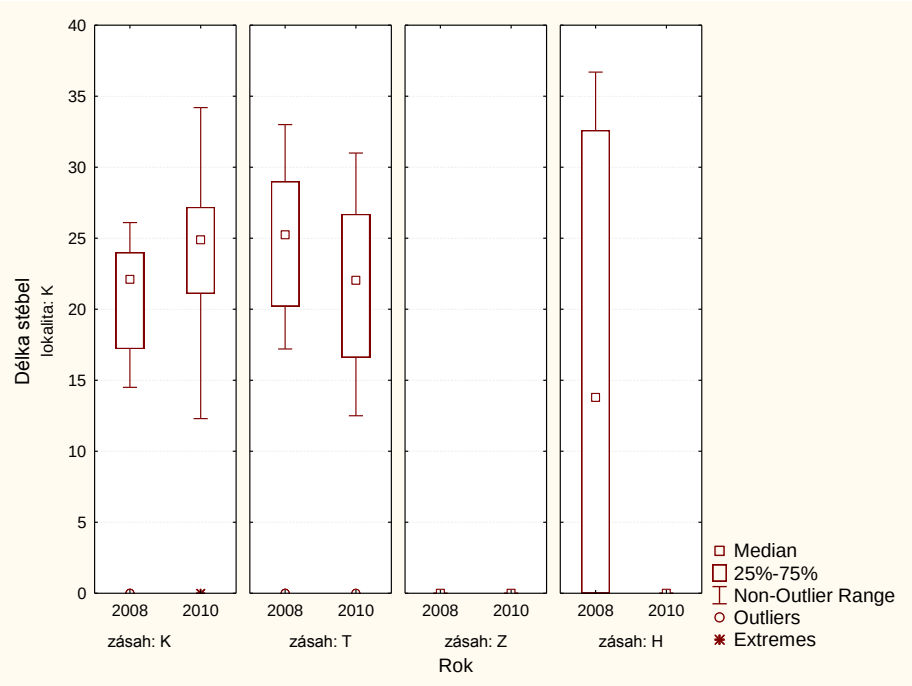
Délka kvetoucích stébel (fáze Q2)

V případě délky stébla byl prokázán signifikantní rozdíl mezi typem zásahu a rokem pozorování (Tab. 12). Na zalévaných plochách (Z) se nenacházelo žádné stéblo, proto byla tato skupina dat vyjmuta z následné analýzy. Kontrolní plocha (K) jako jediná vykazovala průkazně delší stébla v r. 2010 oproti r. 2008 (Obr. 18.).

Tab. 12 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku kvetoucích stébel *Nardus stricta* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování**.**

Testované faktory	**Počet stupňů volnosti DF**	**Testovací kritérium F**	**Hladina pravděpodobnosti**
A: zásah	1	0.45	0.504948
B: rok	1	0.01	0.911931
AB	1	10.81	0.001417*

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 18 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku kvetoucích stébel *Nardus stricta* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K).

5.1.4. Výsledky *Carex bigelowii* - jen Krkonoše:

Počátek růstu prvního nového zeleného listu (fáze P2)

Analýzou variance nebyl zjištěn žádný rozdíl mezi jednotlivými testovanými faktory (Tab. 13).

Tab. 13 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi počátku růstu prvního nového zeleného listu *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování**.**

Testované faktory	Počet stupňů volnosti DF	Testovací kritérium F	Hladina pravděpodobnosti
A: zásah	2	2.09	0.131317
B: rok	1	0.03	0.857183
AB	2	0.17	0.840342

***** statisticky významná hodnota, hladina α=0.05

První viditelná blizna v květenství (fáze P3)

Vzhledem k tomu, že na plochách nebyli zjištěni prakticky žádní kvetoucí jedinci a to bez ohledu na typ zásahu, nemohla být provedena podrobnější statistická analýza.

První viditelný prašník v květenství (fáze P4)

Vzhledem k tomu, že na plochách nebyli zjištěni prakticky žádní kvetoucí jedinci a to bez ohledu na typ zásahu, nemohla být provedena podrobnější statistická analýza.

První změna barvy listu (fáze P5)

Analýzou variance byl zjištěn signifikantní rozdíl mezi jednotlivými roky sledování (Tab. 14). V r. 2010 došlo ke změně barvy listu výrazně dříve než v r. 2008, což se projevilo prakticky stejně na všech sledovaných typech zásahů.

Tab. 14 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi první změny barvy listu *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	Počet stupňů volnosti DF	Testovací kritérium F	Hladina pravděpodobnosti
A: zásah	3	1.41	0.241689
B: rok	1	446.79	0.000000*
AB	3	0.83	0.480118

***** statisticky významná hodnota, hladina α=0.05

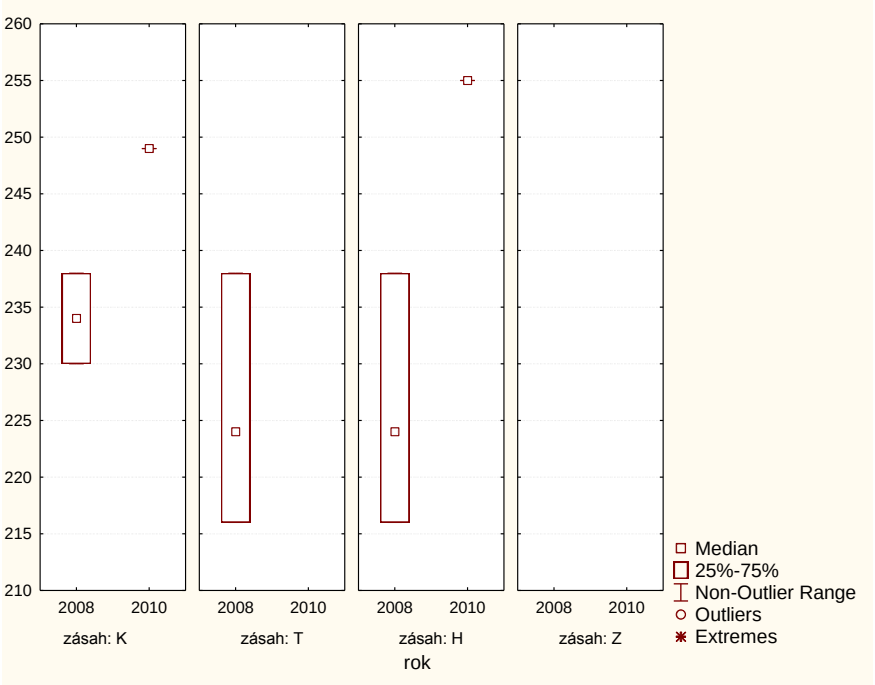
První vypadávání semen (fáze P6)

Analýzou variance nebyl zjištěn žádný rozdíl mezi testovanými faktory (Tab. 15). K dispozici bylo velmi málo dat (plodících jedinců). Zalévané plochy byly vyřazeny z analýzy vzhledem k faktické absenci údajů plodících jedinců (Obr. 19).

Tab. 15 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	**Počet stupňů volnosti DF**	**Testovací kritérium F**	**Hladina pravděpodobnosti**
A: zásah	2	0.01	0.987483
B: rok	1	0.00	1.000000
AB	2	0.64	0.545680

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 19 Grafický výstup analýzy ANOVA pro fenofázi prvního vypadávání semen *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K). Osa „y“ vyjadřuje počet dní od začátku roku**.**

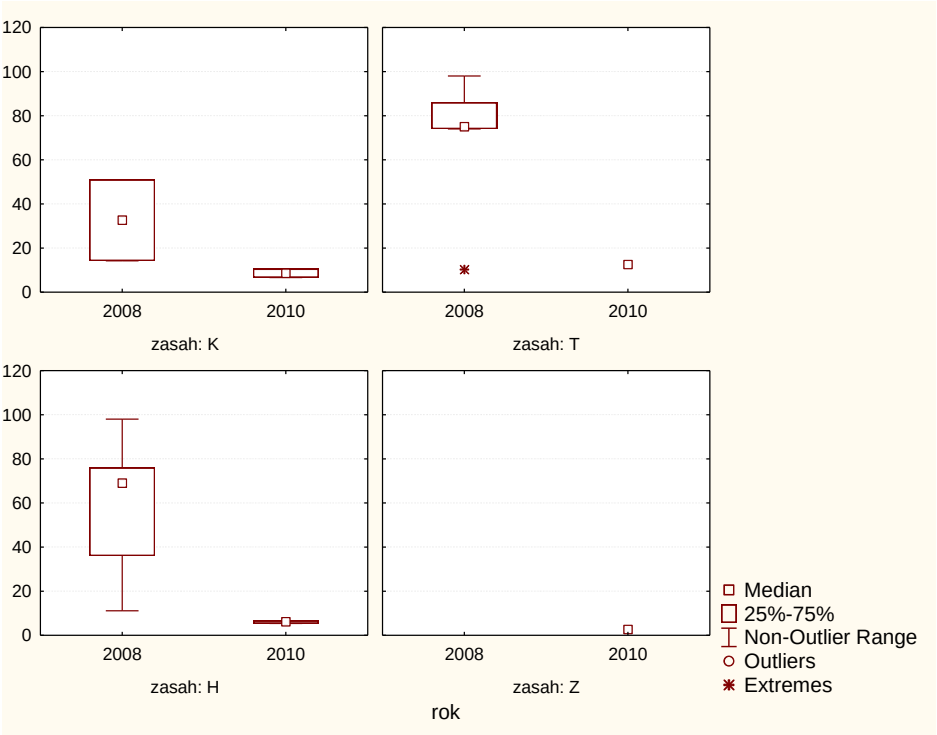
Délka stonků (fáze Q1)

Analýzou variance byl zjištěn signifikantní rozdíl v délce stonků v čase (Tab. 16). Bylo prokázáno, že v r. 2008 byly stonky delší než v r. 2010. Z důvodu nedostatku dat (jedinců ostřice) na zalévaných plochách, nebyla tato skupina dále testována (Obr. 20).

Tab. 16 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku stonků *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	Počet stupňů volnosti DF	Testovací kritérium F	Hladina pravděpodobnosti
A: zásah	2	0.49	0.624829
B: rok	1	8.46	0.012222*
AB	2	0.44	0.653882

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 20 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku stonků *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K).

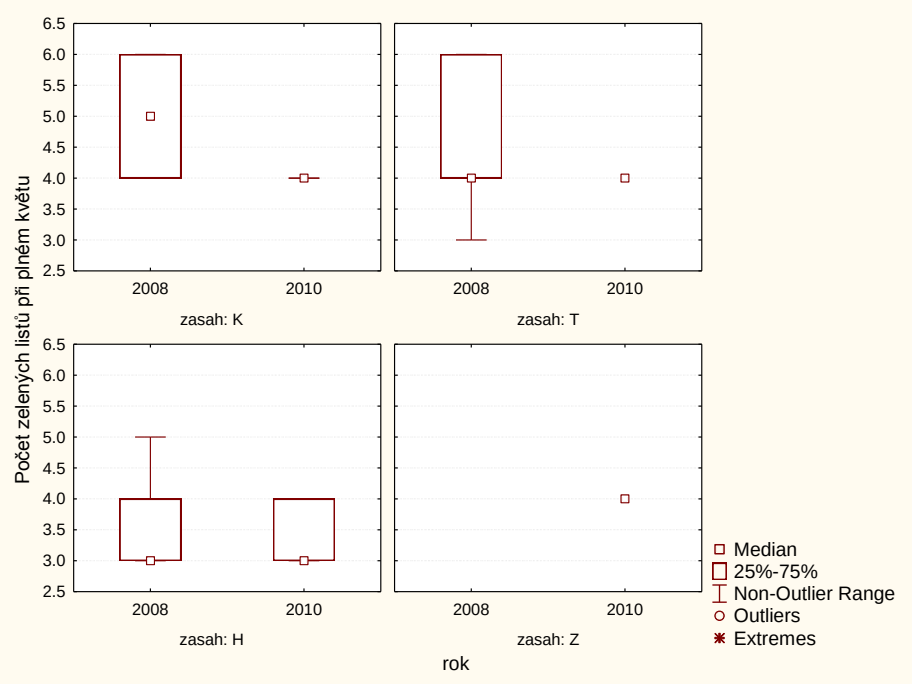
Počet listů (fáze Q2)

Analýzou variance nebyl zjištěn žádný rozdíl v počtu listů mezi jednotlivými typy zásahů ani v čase (Tab. 17, Obr. 21).

Tab. 17 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet listů *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	Počet stupňů volnosti DF	Testovací kritérium F	Hladina pravděpodobnosti
A: zásah	2	1.87	0.193619
B: rok	1	1.12	0.308307
AB	2	0.23	0.795541

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 21 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro počet listů *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K).

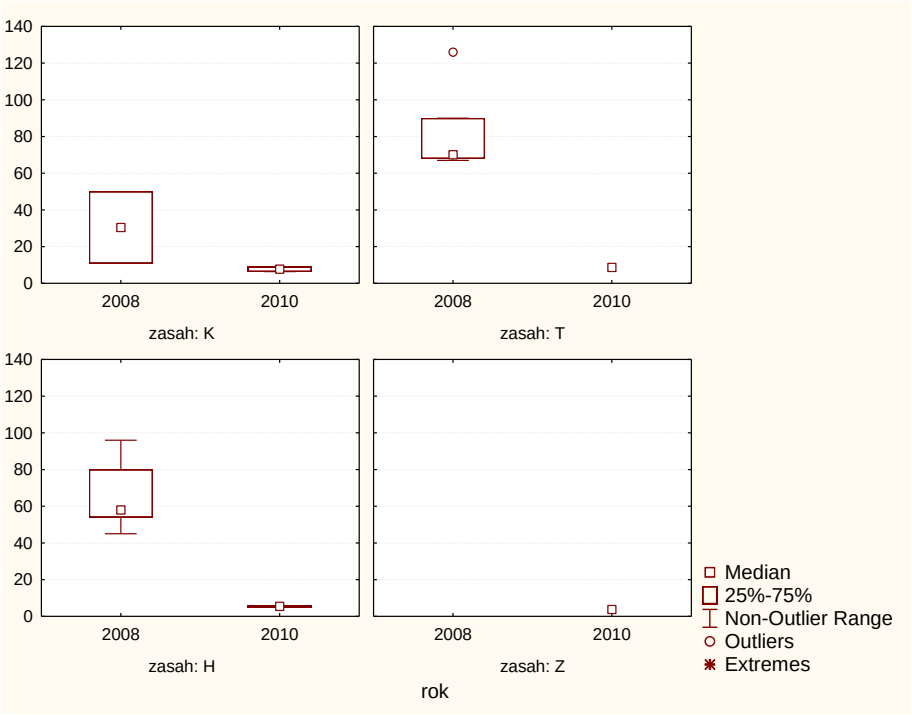
Nejdelší list ve fázi plného květu (fáze Q3)

Analýzou variance bylo zjištěno, že je signifikantní rozdíl mezi roky sledování (Tab. 18). Celkově byly nejdelší listy zaznamenány v r. 2008 a to na všech typech zásahů. Zalévané plochy byly vyřazeny z analýzy, protože se na nich nevyskytovali prakticky žádní jedinci (Obr. 22).

Tab. 18 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro nejdelší list *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování**.**

Testované faktory	**Počet stupňů volnosti DF**	**Testovací kritérium F**	**Hladina pravděpodobnosti**
A: zásah	2	1.80	0.204454
B: rok	1	23.47	0.000320*
AB	2	1.81	0.202299

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 22 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro nejdelší list *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování.

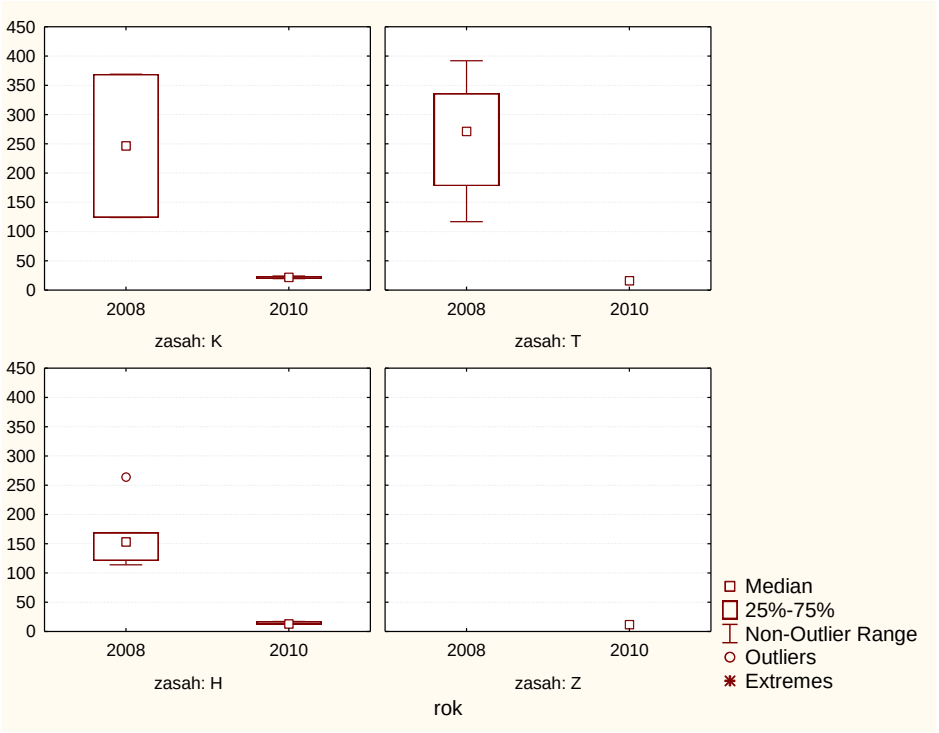
Délka všech listů (fáze Q4)

Stejně jako u předchozí fenofáze byl i zde zjištěn signifikantní rozdíl mezi roky sledování (Tab. 19). Délka všech listů byla větší v r. 2008 ve srovnání s r. 2010 (Obr. 23).

Tab. 19 Přehled výsledků analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku všech listů *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typy zásahů a dobou sledování.

Testované faktory	**Počet stupňů volnosti DF**	**Testovací kritérium F**	**Hladina pravděpodobnosti**
A: zásah	2	0.59	0.568706
B: rok	1	19.18	0.000745*
AB	2	0.48	0.630190

* statisticky významná hodnota, hladina α=0.05



Obr. 23 Grafický výstup analýzy ANOVA s opakovanými měřeními pro délku všech listů *Carex bigelowii* a rozdíl mezi typem zásahu a dobou sledování. Typy zásahů: zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H), kontrola (K).

6. DISKUZE

Nástup jednotlivých fenologických fází se vzájemně odlišoval mezi zkoumanými lokalitami. Rozdíly byly, jak v kvalitativních, tak v kvantitativních měřeních. Začátky vegetační sezóny se lišily v rámci každého pohoří, a to díky vlivům různých klimatických charakteristik a různou délkou trvání sněhové pokrývky. V roce 2008 v Jeseníkách a na Králickém Sněžníku došlo k odtání sněhu 19.4., zatímco v Krkonoších až 10.5. V roce 2010 bylo odtání sněhu posunuto o několik dní. V Jeseníkách a na Králickém Sněžníku sníh odtál 24.4. a v Krkonoších 23.4.

Avenella flexuosa

První viditelná blizna (fáze P2) nastala v roce 2008 nejprve v Jeseníkách, a pak s několika denním zpožděním v Krkonoších. Pravděpodobně je to dáno odlišnými klimatickými podmínkami a také tím, že v Jeseníkách sníh odtál dříve, než v Krkonoších. Toto způsobilo pozdější nastartování fenologických fází v Krkonoších. Oproti roku 2010 nastal začátek fenofází na obou pohořích zhruba ve stejnou dobu. V tomto případě by opět hrála roli doba odtání sněhu, která na obou lokalitách byla pouze s jednodenním zpožděním Jeseníků před Krkonošemi.

Doba odtání sněhu je velmi důležitým faktorem ve vývoji rostlinných společenstev v alpínské a arktické zóně (Wipf 2010). Mezi jednotlivými typy zásahů (teplota, teplota-zalévání, teplota-hnojení) se žádný z nich neprojevoval ve výraznější převaze nad ostatními. Byl však zaznamenán výrazný rozdíl mezi plochami se „skleníky“ OTC a kontrolou. Nezáleželo na tom, jestli plochy byly podrobeny zalévání nebo hnojení. Vliv měla pouze teplota, která urychlila fenologické fáze oproti plochám kontrolním, kde fenofáze začala s týdenním zpožděním. OTC způsobuje zvýšení povrchové teploty o 1-3 °C během vegetačního období (Henry a Molau 1997). Králický Sněžník byl zcela vyjmut z dat kvůli nízkému počtu jedinců.

První vypadávání semen (fáze P3) v podstatě odpovídá fázi předchozí. V Jeseníkách v roce 2008 začala semena vypadávat dříve než v Krkonoších. V roce 2010 nastala tato fáze dříve. V Jeseníkách došlo k pozdějšímu propuknutí této fáze než v Krkonoších. Rozdíly mezi roky 2008 a 2010 mohly být způsobeny již nainstalovanými skleníky OTC. V roce 2008 se plochy zakládaly až po odtání sněhu a nepřetržité dvouleté působení vlivu zvýšené teploty se mohlo v menší míře projevit právě v uspíšeném zahájení vegetačního období.

V kvantitativních měřeních nebyly zaznamenány příliš velké rozdíly, ať už mezi lokalitami nebo typy zásahů. V Jeseníkách byla pouze zjištěna větší délka kvetoucích stébel v roce 2010 oproti roku 2008. I přesto, že tady hrála velkou roli zvýšená teplota je zajímavé, že podobné zvětšení délky stébel nastalo i na kontrolní ploše (bez zásahové). V Krkonoších se mezi sebou nelišily sledované roky, ale bylo patrné působení teploty na plochách s OTC oproti kontrolním plochám.

Festuca supina

Počátek první viditelné blizny (fáze P2) nastala v Jeseníkách v roce 2008 na konci června a v roce 2010 druhý týden v červenci. Na Králický Sněžníku panuje nejmírnější klima ze tří studovaných lokalit (Piasecki 1993). Začátek vegetačního období se zde zpozdil v roce 2008 o dva týdny za Jeseníky. V roce 2010 bylo zpoždění o týden. V Jeseníkách neměly jednotlivé zásahy mezi sebou vliv. Pouze se projevila zvýšená teplota, která uspíšila fenofázi ve srovnání s kontrolou. Ovšem na Králický Sněžníku tato závislost prokázána nebyla. Krkonoše byly vyjmuty z dat vzhledem k nízkému počtu kvetoucích jedinců, kteří rostli pouze na kontrolní ploše.

I přesto, že v Jeseníkách začalo vegetační období dříve, tak k vypadávání semen (fáze P3) došlo v roce 2008 na obou pohořích zhruba ve stejnou dobu. V roce 2010 již byly rozdíly viditelné. V Jeseníkách došlo k vypadávání semen dříve než, na Králický Sněžníku vlivem opožděného začátku fenologické fáze. Tedy v tomto směru nedošlo k žádnému vychýlení.

Kvantitativní měření neprokázala rozdíly mezi lokalitami ani zásah neměl vliv na *Festuca*. Jedinci v Jeseníkách dosáhli většího počtu v roce 2008 oproti roku 2010.

Nardus stricta

Vzhledem k nízkému počtu kvetoucích jedinců a na některých plochách pouze k jednomu opakování nebylo možno z analýzy vyvodit trendy fenologických fází. *Nardus* je ze všech tří lokalit sledována pouze v Krkonoších a vyskytuje se jen na kontrolní a teplotou ovlivněné ploše. Na hnojené ploše se vyskytovali v roce 2008 jen čtyři jedinci a v roce 2010 se již znovu neobjevili. Zalévané plochy byly zcela bez tohoto jedince. Díky nerovnosti a neuspořádanosti terénu nebylo možno *Nardus* obsadit do všech zkoumaných ploch. *Nardus* se totiž většinou vyskytovala mimo požadované experimentální plochy. V důsledku eutrofizace, změn klimatu, ukončení pastvy a travaření došlo k šíření některých konkurenčně silných rostlin jako např. *Avenella*

flexuosa (Chytrý et al. 2010). Domnívám se, že vlivem šíření *Avenella* byla potlačena dominance *Nardus*, a proto je její výskyt omezen.

Carex bigelowii

Sledování *Carex* probíhalo pouze v Krkonoších a vzhledem k nedostatku kvetoucích jedinců nebylo možné u některých fenofází provést analýzu dat. První změna barvy listu (fáze P5) nastala v roce 2010 třetí týden v červnu, zatímco v roce 2008 začala o dva týdny později. Patrné zpoždění odpovídá době odtání sněhu, kdy v roce 2008 sníh odtál později, a tím došlo k pozdější změně barvy listu. Vypadávání semen mohlo být zaznamenáno pouze u jedinců, kteří kvetli. Z celkového počtu sta sledovaných jedinců, kvetlo v prvním sledovaném roce pouze třináct a u nich došlo k vypadávání semen. V dalším srovnávaném roce už kvetlo jen sedm jedinců, z nichž vypadávala semena čtyřem.

Otázkou zůstává, proč nevypadávala semena všem rozkvetlým jedincům? Jednou z možností mohou být intervaly kontrol, které probíhaly jednou za týden. Semena mohla vypadnout během šesti dnů, kdy se neprováděla kontrola. Jedinci možná ukončili vegetační období a k tvorbě semen nedošlo.

V kvantitativních měřeních převládaly vyšší hodnoty v roce 2008 ve srovnání s rokem 2010. Typy provedených zásahů neměly na fenologické reakce průkazný vliv. Plochy se zaléváním byly zcela vyjmuty z analýzy dat, protože se tam nevyskytovali žádní jedinci.

Provedený výzkum mohl být ovlivněn mnoha faktory. Vhledem k tomu, že experiment byl založen na alpínských vyfoukávaných vřesovišťích s heterogenním terénem, muselo dojít k několika opatřením. Při nedokonalém doléhání skleníků k povrchu dochází ke snižování teploty o 2-3 °C (Körner 2000). Proto bylo nezbytné utěsnění skleníků u základny, aby byl tento negativní vliv odstraněn.

Důležitou roli hraje i ochrana před větrem. V OTC je vliv rychlosti větru snížen, a tím je i zvýšena teplota. Zvýšená rychlost větru má obecně negativní dopad na průměrnou denní teplotu. Většina pasivních „zahřívacích“ zařízení (např. OTC) může způsobit zvýšení teploty během dne nad okolním terénem, a naopak snížení nočních teplot v okolí (Marion et al. 1997).

Ve sklenících probíhá fotosyntéza zhruba o 5-10 % pomaleji, vlivem změněné propustnosti světla (Debevec a McLean 1993).

Díky otevřenosti skleníků OTC, které mají tvar pravidelného hexagonu, nedochází ke změně srážkového úhrnu a ani opylovači nemusejí překonávat velké překážky. Účinky komor na sněhovou akumulaci jsou v mnoha studiích rozdílné. Datum odtání se liší v závislosti na množství sněhu. V oblastech s větší akumulací sněhu mají komory větší vliv a urychlují vegetační sezónu o 1-2 týdny oproti oblastem s nižší zásobou sněhu (Marion et al. 1997).

Kontroly jednotlivých vegetačních fází probíhaly jednou za 5 dní, v jarním a začátkem letního období, kdy dochází k rychlému rozvoji rostlin. V letním a podzimním období se tyto periody protáhly na jedenkrát za 7 dní. I když častější návštěvy by určitě lépe zaznamenaly fenologické fáze, tak vzhledem k časové náročnosti to nebylo možné.

Velký podíl na výsledcích může mít i velikost vzorku. Čím menší vzorek je k dispozici, tím je přesné určení fáze obecně složitější.

7. Závěr

Cílem práce bylo zjistit rozdíly v průběhu fenologických fází vybraných rostlinných druhů alpínského bezlesí. Výzkum probíhal na třech lokalitách vyfoukávaných alpínských vřesovišť: Jeseníky-Petrovy kameny, Králický Sněžník a Krkonoše-Modré sedlo. Sledovanými druhy byly alpínské graminoidy: metlička křivolaká, kostřava nízká, smilka tuhá a ostřice tuhá. Experiment byl prováděn metodou opakovaného pozorování fenologických fází. Rozdíly byly zaznamenány, jak mezi zkoumanými pohořími, tak jednotlivými plochami (typy zásahů) v rámci jednoho pohoří.

Byl prokázán vliv zahřívání ploch pomocí „skleníčků“ OTC, jejichž instalace zvyšovala teplotu uvnitř OTC. Tímto došlo k urychlení fenologických fází oproti plochám kontrolním.

Provést předpověď očekávaných změn alpínské vegetace pod vlivem globálních klimatických změn je obtížné jen na základě krátkodobého výzkumu. Většina studií zabývajících se tímto tématem řeší reakce vegetace na dlouhodobé změny prostředí. Nicméně, jak ukazují výsledky této bakalářské práce, i krátkodobý výzkum může přinést zajímavé výsledky.

Studované lokality alpínských vřesovišť patří mezi přírodovědecky nejcennější a nejohroženější partie alpínského bezlesí, jež jsou nejvíce náchylné na probíhající klimatické změny. Proto je vhodné ve výzkumu dále pokračovat, aby se mohl vliv globálních klimatických změn případně výrazněji projevit v těchto jedinečných ekosystémech. Další studium je také důležité pro nastavení vhodných managementových opatření alpínského bezlesí s cílem zastavit pokles biologické rozmanitosti.

8. REFERENCE

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.

Bednářová, E., Merklová, L. (2007): Vyhodnocení fenologie mladého smrkového porostu v oblasti Drahanská vrchovina. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (ed.): Klima lesa. Dostupný z www.cbks.cz.

Beniston, M., Diaz, H.F., Bradley, R.S. (1997): Climatic changes at high elevation sites: An overview. Climatic Changes 36:233-251.

Bobbink, R., Hornung, M., Roelofs, J.G.M. (1998): The effects of air-borne nitrogen pollutans on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. Journal of Ecology. 86: 717-738.

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-alpíne prostrate *Calluna vulgaris* heathland. Journal of Applied Ecology. 44: 125-135.

Brooker, R.W., Callaghan, T.V., Jonasson, S. (1999): Nitrogen uptake by rhizomes of the clonal sedge *Carex bigelowii*: a previously overlooked nutritional benefit of rhizomatous growth. New Phytologist. 142: 35-48.

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.

Burke, I.C., Lauenroth, W.K., Parton, W.J. (1997): Regional and temporal variation in net primary production and nitrogen mineralization in grassland. Ecology. 78: 1330-1340.

Carlsson, B.A., Callaghan, T.V. (1991): Simulation of fluctuating populations of *Carex bigelowii* tillers classified by type, age and size. Oikos. 60: 231-240.

Debevec, E.M., McLean, S.F. (1993): Design of greenhouses for the manipulation of temperature in tundra plant communities. Arctic and Alpine Research. 25 (1): 56-62.

Demek, J. et al. (1987): Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČSR. Academia. Praha. p. 584.

Dostál, J. (1989): Nová květena ČSSR 2. Academia. Praha.

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., Burke, I.C., Lauenroth, W.K. (2002): Regional patterns of decomposition and primary production rates in the U.S. Great Plains. Ecology. 83: 320-327.

Faltysová, H., Mackovčin, P., Sedláček, M. a kol. (2002): Královehradecko. In: Mackovčin 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.

Gebauer, G., Rehder, H., Wollenweber, B. (1988): Nitrate, nitrite reduction and organicc nitrogen in plants from ecological and taxonomic groups of Central Europe. Oecologia. 75: 371-385.

Gjaerevoll, O. (1956): The Plant Communities of the Scandinavian Alpíne Snow-beds. 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.

Güsewell, S., Jewell, P.L., Edwards P.J. (2005): Effects of heterogeneous habitat use by cattle on nutrient availability and litter decomposition in soils of an Alpine pasture. Plant Soil. 268: 135-149.

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): Increases rainfall variability and reduced rainfall amount decreases soil CO2 flux in a grassland ecosystem. Global Change Biology. 11: 322-334.

Hejcman, M., Klaudisová, M., Štursa, J., Pavlů, V., Schellberg, J., Hejcmanová, P., Hakl, J., Rauch, O., Vacek, S. (2007): Revisiting a 37 years abandoned fertilizer experiment on Nardus grassland in the Czech republic. Agriculture, Ecosystem and Evironment. 118: 231-236.

Henry, G.H.R., Molau, U. (1997): Tundra plants and climate change: the International Tundra Experiment (ITEX). Global Change Biology. 3 (Suppl. 1) 1-9.

Holtmeier, F.K. (1994): Ecological aspects of climatically-caused timberline fluctuations: review and outlook. In Beniston M. (ed.), Mountain environments in changing climates, Routledge, London. 220-233.

Hylander, N. (1953): Forleckning över Nordens Växter. I. Karlvaxter. Lund, C.W.K. Geerups Förlag.

Chadwick, M.J. (1960): The Journal of Ecology. British Ecological Society. 48: 255-267.

Chapin, F.S. (1980): The mineral nutrition of wild plants. Annual Review of Ecology and Systematics. 11: 233-260.

Chapin, F.S., Shaver, G.R., Giblin, A.E., Nadelhoffer, K.J., Laundre, J.A. (1995): Responses of artic tundra to experimental and observed changes in climate. Ecology. 76(3): 694-711.

Chytrý, M., Kučera, T., Kočí, M., Grulich, V., Lustyk, P. (2010): Katalog biotopů České republiky. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Praha. p. 445.

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.

Jeník, J. (1961): Alpínská vegetace Krkonoš, Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku. Naklad. ČSAV. Praha. p. 407.

Jeník, J. (1997): Anemo-orographic systems in the Hercynian Mts. and their effects on biodiversity. Acta Universitatis Wratislaviensis. 1950: 9-21.

Jónsdóttir, I.S., Callaghan, T.V. (1989): Localized defoliation stress and the movement of ^{14}C-photoassimilates between tillers of *Carex bigelowii*. Oikos. 54: 211-219.

Jónsdóttir, I.S., Callaghan, T.V. (1990): Intraclonal translocation of ammonium and nitrate nitrogen in *Carex bigelowii* Torr. ex Schwein. using ^{15}N and nitrate reductase assays. New Phytologist. 114: 419-428.

Jónsdóttir, I.S., Khitun, O., Stenström, A. (2005): Biomass and nutrient responses of a clonal tundra sedge to climate warming. Can. J. Bot. 83: 1608-1621.

Kachi, N., Rorison, I.H. (1990): Effects of nutrient depletion on growth of *Holcus lanatus* L. and *Festuca ovina* L. and on the ability of their roots to absorb nitrogen at warm and cool temperatures. New Phytologist. 115: 531-537.

Klaudisová, M., Hejcman, M., Pavlů, V. (2009): Long-term residual effect of short-term fertilizer application on Ca, N and P concentrations in grasses *Nardus stricta* L. and *Avenella flexuosa* L. Nutr Cycl Agroecosyst. 85: 187-193.

Knapp, A.K., Fay, P.A., Blair, J.M. (2002): Rainfall variability, carbon cycling, and plant species diversity in a mesic grassland. Science. 298: 2202-2205.

Kočí, M. (2007): Acidofilní alpínské trávníky (*Juncetea trifidi*). In: Chytrý, M.editor. Vegetace České republiky 1: Travinná a keříčková vegetace. Academia. Praha. p. 76-83.

Kopeć, M., Gondek, K. (2002): The effect of long-term fertilization on the sulphur content in soil and in the mountain medow sward (Czarny Potok). Rostl Vyr. 48: 525-530.

Körner, Ch. (1999): The alpíne plant life. - Gustav Fisher Verlag, Heidelberg.

Körner, Ch. (2000): The alpine life zone under global change. Gayana Botánica. 57: 1-17.

Krahulec, F. (1990): Alpine vegetation of the Králický Sněžník Mts. (The Sudeten Mts.). Preslia. 62: 307-322.

Krajick, 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.

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 (Suppl. 1): 20-32.

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. Cambrige University Press. Cambridge.

Molau, U., Mølgaard, P. eds. (1996): The International Tundra Experiment Manual. Danish Polar Center, Copenhagen. p. 82.

Ozenda, P., Borel, J.L. (1991): Mögliche ökologische Auswirkungen von Klimaveränderungen in den Alpen. Internationale Alpenschutz-Kommission CIPRA, Kleine Schriften 8/91. p. 71.

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.

Piasecki, J. (1993): Badania klimatyczne w Dolinie Kleśnicy w Masywie Śniźnika Klodzkigo. Acta Univ. Wratislaw. Pr. Inst. Geogr., Ser. C.

Polunin, N. (1943): Contributions to the flora and phytogeography of south-western Greenland. J. Linn. Soc. (Bot.) 52: 149.

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.

Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Brno. Academia. Studia Geographica 16, GgÚ ČSAV. p. 73.

Sanetřík, M. (2004): Evropské národní parky. 1. vydání. Štíty: Pavel Ševčík - Veduta. p. 150.

Scurfield, G. (1954): *Deschampsia flexuosa*. Biological flora of the British Isles. Journal of Ecology 42: 225-233.

Shaver, G.R., Laundre, J. (1997): Exsertion, elongation, and senescence of leaves of *Eriophorum vaginatum* and *Carex bigelowii* in Northern Alaska. Global Change Biology. 3 (Suppl. 1): 146-157.

Schaer, C., Frei, C., Lüthi, C., Davies, H.C. (1996): Surrogate Climate Change Scenarios for Regional Climate Models. Geophys. Res. Lett. 23: 669-672.

Schellberg, J., Lellmann, A., Kuhbauch, W. (2006): Nutrient flows in suckler farm systems under two levels of intensity. Nutr Cycl Agroecosyst. 74: 41-57.

Soudzilovskaia, N. A., Onipchenko, V. G., Cornelissen, J.H.C., Aerts, R. (2007): Effects of fertilisation and irrigation on „foliar afterlife“ in alpíne tundra. Journal of Vegetation Science. 18: 755-766.

Soukupová, L. (2001): Plant Invasions in Central European Middle-Mountains: A Result of Global Change? – In: Visconti, G. et al. (eds.), Global Change and Protected Areas, Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 289-299.

Stenström, A., Jónsdóttir, I.S. (1997): Responses of the clonal sedge, *Carex bigelowii*, to two seasons of simulated climate change. Global Change Biology. 3 (Suppl. 1): 89-96.

Šafář, J. a kol. (2003): Olomoucko. In: Mackovčin, P. a Sedláček, M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek VI., Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Praha. p. 456.

Štursová, H. (1974): Příspěvěk k ekologie porostů smilky tuhé (*Nardus stricta* L.) v Krkonoších. Opera corcontica. 11: 79-129.

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 Assessement 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, NY, USA.

Vacek, S. et al. (2006): Lesy a ekosystémy nad horní hranicí lesa v národních parcích Krkonoš. Lesnická práce. Praha. p. 112.

Vágnerová, I., Šafář, J. a kol. (2003): Chráněná území okresu Šumperk. In: Šafář, J. a kol. Chráněná území ČR – Olomoucko, svazek VI. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Praha. p. 24.

Wipf, S. (2010): Phenology, growth, and fecundity of eight subarctic tundra species in response to snowmelt manipulations. Plant Ecology. 207: 53-66.

Internetové zdroje obrázků:

http://luirig.altervista.org
www.biopix.com
www.mapy.cz

9. Obrazová příloha

Foto 1 *Avenella flexuosa*, fáze P2 .

Foto 2 *Avenella flexuosa*, fáze P3.

Foto 3 *Festuca supina*, fáze P2.

Foto 4 *Festuca supina*, fáze P3.

Foto 5 *Carex bigelowii*, fáze P2.

Foto 6 *Carex bigelowii*, fáze P3 a P4.

Foto 7 *Carex bigelowii*, fáze P5.
Zdroj: www.biopix.com

Foto 8 *Carex bigelowii*, fáze P6

Foto 9 *Nardus stricta*, fáze P2.

Foto 10 *Nardus stricta*, fáze P3.
Zdroj: http://luirig.altervista.org

Foto 11 Lokalita Krkonoše.

Foto 12 Hexagonální„skleník“ OTC.

Foto 13 Zařízení na jímání dešťové vody v Krkonoších.

Foto 14 Přenosné demineralizační zařízení.

Foto 15 Fenologická kontrola v Krkonoších.