

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Zemědělská fakulta

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra: Katedra rostlinné výroby a agroekologie

Vedoucí katedry: prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.

Magisterská diplomová práce

**VLIV SVĚTELNÝCH POMĚRŮ NA VEGETACI
BYLINNÉHO PATRA V HORSKÝCH SMRČINÁCH
KRKONOŠ S VYUŽITÍM GIS**

Autor: Bc. Jan Čihák

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Pavel Cudlín, CSc.

České Budějovice, duben 2010

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta
Katedra agroekologie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan ČIHÁK**

Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**

Studijní obor: **Agroekologie**

Název tématu: **Vliv světelných poměrů na vegetaci bylinného patra
v horských smrččinách Krkonoš s využitím GIS**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíle práce:

Zmapování stavu bylinného a mechového patra na 2 trvalých výzkumných plochách Ústavu systémové biologie a ekologie AV ČR v Krkonoších;

Vytvoření map bylinného patra, jejich digitalizace a srovnání se stavem v roce 1994 pomocí GIS;

Zjištění vlivu světelných poměrů na vegetaci bylinného patra

Postup řešení:

1) Terénní průzkum

a) Bude rozšířeno mapování stavu bylinného a mechového patra na trvalých výzkumných plochách (TVP) Alžbětinka a Modrý důl, reprezentujících různá stadia poškození lesních porostů (Cudlín a kol. 1995).

b) Na ploše Modrý důl bude zjištěno množství dopadajícího světla na světlinách v průběhu vegetačního období.

2) Zpracování dat

a) Stav bylinného a mechového patra na TVP bude zobrazen na vegetačních mapách a srovnán pomocí obrazové analýzy za použití GIS s vegetačními mapami z roku 1994 a 1995, zhotovenými pracovníky BÚ AVČR (Soukupová, Rauch, 1999).

b) Údaje o světelných poměrech na TVP budou dány pomocí vícerozměrné analýzy do souvislosti se stavem bylinné a mechové vegetace a se stavem přirozeného zmlazení na TVP, sledovaných od roku 1994 pracovníky ÚSBE AV ČR (Vávrová et al. 2007).

Rámcová osnova


1. Úvod, 2. Literární rešerše, 3. Cíl a hypotézy, 4. Charakteristika studovaného území, 5. Metody, 6. Srovnání stavu bylinného a mechového patra na TVP s vegetačními mapami z roku 1994 a 1995 pomocí obrazové analýzy za použití GIS. 7. Zjištění závislosti stavu bylinné a mechové vegetace a přirozeného zmlazení na světelných poměrech TVP. 8. Diskuze, 9. Závěr, 10. Summary, 11. Přehled použité literatury, 12. Přílohy.

Rozsah grafických prací: dle potřeby, doporučuje se využití fotografie
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 70 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury: viz příloha

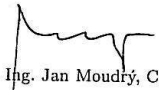
Vedoucí diplomové práce: RNDr. Pavel Cudlín, CSc.
Katedra agroekologie

Datum zadání diplomové práce: 20. února 2009
Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2009

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13 ④
370 05 České Budějovice


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

L.S.


prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. února 2009

Příloha zadání diplomové práce

Seznam odborné literatury:

- Cudlín P., Chmelíková E., Rauch O., 1995: Monitoring of Norway spruce forest stand response to the stress impact in the Krkonoše Mts. In: Proc. Int. Conf. IUCN & MAB, Mountain National Parks and Biosphere Reserves: Monitoring and Management, September 1993, Špindlerův Mlýn, CZ, Office of Krkonoše National Park, Vrchlabí, p.75-80.
- Cudlín P., Novotný R., Moravec I. & Chmelíková E., 2001: Retrospective evaluation of the response of montane forest ecosystems to multiple stress. Ecology (Bratislava), 20: 108-124.
- Cudlín P. a kol., 2002: Biotechnologie pro podporu obnovy lesa v Krkonoších. Závěrečná zpráva projektu EU SUSBIOFOR a MŠMT ČR OK 355. ÚEK AV ČR, České Budějovice.
- Jurásek A., Vacek S., 1994: Stav horských lesů Sudet v České republice. VÚLHM Opočno, 141 p.
- Pretzch H., Biber P., 2005: A re-evaluation of Reinekes rule and stand density index. Forest Science, 51: 304- 320.
- Schwarz, O. 1997: Rekonstrukce lesních ekosystémů Krkonoš. Správa KRNAP, Vrchlabí.
- Soukupová L., Rauch O., 1999: Floor vegetation and soil of acidified *Picea abies* forests in the Giant Mountains (Central Europe). Preslia, 71: 257-275.
- Vacek S., Bastl M., Lepš J., 2000: Vegetation changes in forests of the Krkonoše Mts. Over a period of air pollution stress (1980-1995). Plant Ecology, 143: 1-11.
- Vávrová E., 2003: Přirozená obnova smrku ztepilého (*Picea abies*) a dynamika sukcese dominant bylinného patra v průběhu rozpadu horských smrkových ekosystémů v Krkonoších. Disertační Práce; depon. in: Knihovna ÚŽP PřF UK Praha.
- Vávrová E., Cudlín P., Jonášová M., 2007: Regenerační procesy horských klimaxových smrčín. In: Štursa J., Knapík R. (eds.), Geoekologické problémy Krkonoš. Sborn. Mez. Věd. Konf., říjen 2006, Svoboda n Úpou. Opera Corcontica, 44:437-444.
- Zolnierz L., Wojtun B., Matula J., 2000: Vegetation changes in declining spruce forests of the Karkonosze Mountain and the development of plant communities in deforested areas. Opera Corcontica, 37:378-384.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji magisterskou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 27.04.2010

.....

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat především svému školiteli doc. RNDr. Pavlovi Cudlínovi, CSc. za všestrannou pomoc, cenné rady a materiální zajištění při řešení mé magisterské diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Evě Vávrové, Ph.D. za celkovou pomoc při práci s GIS a statistickém vyhodnocení výsledků, Bc. Františkovi Havlíčkovi za spolupráci při terénním průzkumu, Mgr. Romanovi Gronskému za pomoc při obrazové analýze získaných materiálů a dalším pracovníkům Ústavu systémové biologie a ekologie AV ČR.

Anotace

Vliv světelných poměrů na vegetaci bylinného patra v horských smrčínách Krkonoš s využitím GIS.

Horské lesy jsou významnou krajinnou složkou našeho státu. V uplynulých třech desetiletích byly silně poničeny antropogenními vlivy, zejména pak imisemi. Imisní zátěž zhoršuje zdravotní stav lesa, což má za následek změny ve struktuře vegetace, ve které se zdravotní stav lesa odráží. Hlavními cíly mé práce bylo zmapování stavu bylinného a mechového patra na dvou trvalých výzkumných plochách Ústavu systémové biologie a ekologie AV ČR v Krkonoších (Alžbětinka, Modrý důl), vytvoření map bylinného patra, jejich digitalizace a srovnání těchto map se stavem v letech 1993-1994 za použití vývojové analýzy pomocí GIS a zjištění vlivu světelných poměrů na vegetaci bylinného patra a přirozenou obnovu smrku ztepilého (*Picea abies*).

Jedním z výstupů práce jsou podrobné vegetační mapy obou trvalých výzkumných ploch, jejichž zpracováním (digitalizací a statistickým vyhodnocením) byly prokázány významné změny v pokryvnostech jednotlivých kategorií půdního pokryvu ve srovnání s rokem 1993-1994. Na trvalé výzkumné ploše Alžbětinka byl zjištěn především výrazný ústup třtiny chloupkaté (*Calamagrostis villosa*) a naopak nárůst pokryvnosti brusnice borůvky (*Vaccinium myrtillus*). Na TVP Modrý důl byl zaznamenán pokles obou pozorovaných vegetačních druhů, metličky křivolaké (*Avenella flexuosa*) i třtiny chloupkaté.

Dalším výsledkem je zjištění vlivu světelných poměrů na vegetaci bylinného patra a přirozenou obnovu smrku ztepilého na TVP Modrý důl. Byla prokázána závislost základních kategorií půdního pokryvu na procentickém podílu světelných děr v korunovém zápoji. Hodnocena byla také závislost výšky semenáčků na podílu světelných děr, která nebyla statisticky prokázána. Byla ale prokázána negativní závislost přežívání semenáčků vzešlých v roce 1996 na podílu světelných děr, naopak nebyla prokázána závislost přežívání semenáčků vzešlých v roce 2004.

Klíčová slova: smrk ztepilý, bylinné patro, přirozená obnova, světelné podmínky, mezery ve stromovém zápoji

Abstract

Influence of the light conditions on herbaceous layer in mountain spruce forests in the Giant Mountains using GIS.

Mountain forests are an important part of the landscape in our country. In the last three decades they have been seriously damaged by anthropogenic influence, especially immissions. The immissions make worse the health status of Norway spruce (*Picea abies*) forests, which cause changes in a structure of herbaceous layer, in which the health status of forest stand is reflected. The main goals of my work were to map the cover of herbaceous and mossy layers in two permanent research plots in the Giant Mountains (Alžbětinka, Modrý důl), to create maps of herbaceous cover, to digitize them and to compare these maps with the extent in years 1993-1994 using a developing analysis in GIS and to detect influence of light conditions on herbaceous layer.

Using digitizing and static evaluation of prepared detailed vegetation maps of the both permanent research plots, some important changes were found out in dominant soil cover categories. In the first research plot Alžbětinka, decline of the grass *Calamagrostis villosa* and increasing of *Vaccinium myrtillus* cover were evident. In the second research plot Modrý důl, decline of both investigated species, *Avenella flexuosa* and *Calamagrostis villosa*, was observed.

Another goal of my research was to detect influence of the light conditions on herbaceous layer and nature regeneration of the Norway spruce on permanent research plot Modrý důl. Dependence of the basic categories of the soil cover on the percentual ratio of the light gaps in the crown canopy was proved. Dependence of the height of the seedlings on the ratio of the light gaps was also tested but it was not statistically proved. The negative dependence of survival on the ratio of the light gaps of the seedlings germinated in 1996 was proved, but not of the seedlings germinated in 2004.

The key words: Norway spruce , herbaceous layer, nature regeneration, light conditions, light gaps

Obsah

1. Úvod.....	11
1.1 Horské lesy	11
1.2 Cíle práce	12
2. Literární přehled	12
2.1 Charakteristika zájmového území Krkonoš	12
2.1.1 Obecná charakteristika	12
2.1.2 Přírodní poměry.....	13
2.1.2.1 Geologické a pedologické poměry	13
2.1.2.2 Hydrologické poměry.....	15
2.1.2.3 Klimatické poměry.....	15
2.1.2.4 Flóra	15
2.1.2.5 Fauna	18
2.2 Problematika imisního poškození horských lesů.....	19
2.3 Poškození lesů Krkonoš	22
2.4 Změny ve vegetaci Krkonoš	23
2.5 Vliv světelných podmínek na rostliny.....	24
2.5.1 Vliv světelných podmínek na přízemní vegetaci horských lesů	24
2.5.2 Vliv světelných podmínek na přirozenou obnovu smrku ztepilého.....	26
3. Metodika	27
3.1 Charakteristika zájmových trvalých výzkumných ploch.....	27
3.1.1 Alžbětinka	28
3.1.2 Modrý důl.....	29
3.2 Postup při získávání primárních dat	29
3.2.1 Mapování vegetačního pokryvu	29
3.2.2 Měření světelných podmínek	31
3.3 Zpracování dat.....	32
3.3.1 Zpracování dat získaných při mapování.....	32

3.3.2	Zpracování dat získaných při měření světelných podmínek	34
4.	Výsledky	37
4.1	Výsledky mapování z roku 2007 a 2008	37
4.1.1	Alžbětinka.....	37
4.1.2	Modrý důl	40
4.2	Srovnání současného stavu se stavem v roce 1993-1994	42
4.2.1	Alžbětinka.....	42
4.2.2	Modrý důl	46
4.3	Vliv procentického podílu světelných děr na přízemní vegetaci na TVP Modrý důl.....	48
4.4	Vliv procentického podílu světelných děr na přirozenou obnovu smrku ztepilého	52
5.	Diskuze	58
5.1	Zhodnocení vývoje vegetace	58
5.1.1	Alžbětinka	58
5.1.2	Modrý důl.....	60
5.2	Zhodnocení vlivu procentického podílu světelných děr na přízemní vegetaci a přirozenou obnovu smrku ztepilého.....	61
5.2.1	Vliv na přízemní vegetaci a další kategorie půdního pokryvu.....	61
5.2.2	Vliv na přirozenou obnovu smrku ztepilého	63
6.	Závěr.....	64
7.	Použitá literatura.....	66
8.	Seznam použitých zkratk.....	69
9.	Fotopříloha.....	70

1. Úvod

1.1 Horské lesy

Horské lesy jsou významnou krajinnou složkou našeho státu. Jsou objektem zvláštního významu z hlediska ochrany přírodního prostředí, stabilizace přírodních procesů i celkové homeostáze krajiny. Mimo to plní celou řadu produkčních i mimoprodukčních funkcí. Co se týče produkčních funkcí, jedná se hlavně o výnosy dřevní suroviny, zvěřiny, bylin, hub apod. Mimoprodukční část se skládá z funkce bioprodukční, ekologicko – stabilizační, edaficko – půdochranné, hydricko – hospodářské, sociálně – rekreační a zdravotně – hygienické (Vyskot a kol., 2003).

Stěžejní prvky trvale udržitelného obhospodařování lesů v našich podmínkách jsou:

- hospodaření s lesem jako ekosystémem, tj. přechod od samotné péče o lesní dřeviny a jejich porosty na péči o celé lesní ekosystémy;
- přestavba (přeměny, převody, rekonstrukce) poškozených a chřadnoucích lesů;
- vytvoření optimální struktury lesních ekosystémů (druhovité, genetické, prostorové, věkové) rozdílně podle stanovištních poměrů a cílů hospodaření;
- využívání a podpora spontánních procesů, zejména pak přirozené obnovy, kompetice i dalších principů tzv. biologické automatizace;
- podpora a tvorba pružných víceúčelových způsobů obhospodařování, a to diferencovaně podle funkčního poslání a možností lesních ekosystémů s cílem dosažení jejich přírodní reprodukce a funkční vyrovnanosti (Vacek, 2002).

Tyto stěžejní prvky trvale udržitelného obhospodařování lesů platí pro lesy všeobecně, ale jejich důležitost se výrazně zvyšuje v horských lesích, kde řada druhů přežívá na hranici svých ekologických možností (Vacek, Balcar, 1992). Tyto lesy byly v uplynulých třech desetiletích silně poničeny antropogenními, zejména pak imisně ekologickými vlivy, a proto zde musí hospodářská úprava maximálně usilovat o zajištění jejich ekologické stability, posílení jejich odolnosti i přizpůsobivosti vůči změnám prostředí, vyvolaným imisně ekologickými extrémami (Vacek, 2002).

Z uvedených důvodů tedy vyplývá důležitost výzkumu, ochrany a správného managementu horských lesních ekosystémů, kvůli jejich nenahraditelným produkčním i mimoprodukčním funkcím.

Celkový zdravotní stav horského lesa (zvláště pak stav korunového patra) se výrazně odráží na složení, struktuře a vývoji mechového a bylinného patra, které mohou sloužit jako indikátory stavu poškození lesa (Vávrová a kol., 2009).

1.2 Cíle práce

Hlavními cíli mé práce bylo:

- zmapování stavu bylinného a mechového patra na dvou trvalých výzkumných plochách Ústavu systémové biologie a ekologie AV ČR v Krkonoších (Alžbětinka, Modrý důl);
- vytvoření map bylinného patra, jejich digitalizace a srovnání se stavem v letech 1993-1994 pomocí GIS;
- zjištění vlivu světelných poměrů na vegetaci bylinného patra na TVP Modrý důl.

2. Literární přehled

2.1 Charakteristika zájmového území Krkonoš

2.1.1 Obecná charakteristika

Krkonoše jsou významným přírodním a kulturně historickým regionem na severu České republiky. V roce 1963 zde byl vyhlášen Krkonošský národní park (KRNAP) o celkové rozloze 36 300 ha. Později k němu přibylo i ochranné pásmo o výměře 18 400 ha. Z této celkové plochy zaujímá 67 % porostní plocha lesa. Péči o toto území zajišťuje Správa Krkonošského národního parku se sídlem ve Vrchlabí. V polské části Krkonoš byl národní park zřízen již v roce 1959, a to na ploše 5 560 ha. Od roku 1992 jsou Krkonoše zařazeny do světové sítě biosférických rezervací UNESCO, a to v podobě biosférické rezervace Krkonoše/Karkonosze (Anonymus, 2008).

Zvláštní biogeografická poloha Krkonoš uprostřed střední Evropy zapříčinila, že se Krkonoše staly významnou vývojovou křižovatkou, kde se setkává severská a vysokohorská příroda. To je důvodem neobvykle vysokého výskytu glaciálních reliktních, endemitů a rozdílných horských ekosystémů (Vacek, 2002).

2.1.2 Přírodní poměry

2.1.2.1 Geologické a pedologické poměry

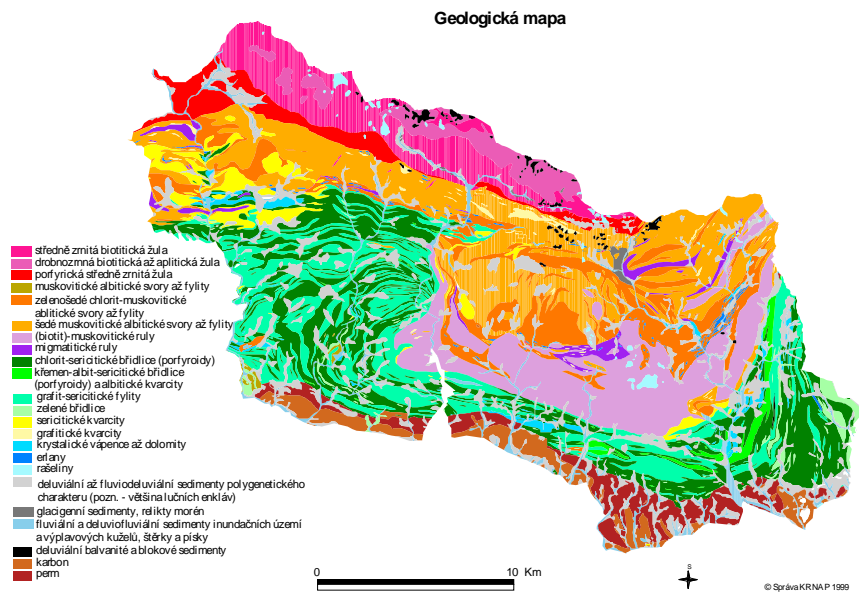
Současný reliéf Krkonoš vyplývá z dlouhodobého působení geologického a geomorfologického vývoje. Z hlediska geologického náleží toto území do krkonoško-jizerského krystalinika. Zastoupeny jsou hlavně krystalické břidlice (svory, fylity, ortoruly o stáří 600 - 1000 milionů let), uprostřed nichž se rozkládá žulový masív, který tvoří především vrcholové partie pohoří. Z dalších podružných hornin jsou tu křemence, čedič a krystalické vápence, které přes plošně menší rozsah mají velký význam pro utváření reliéfu i struktury vegetace. Geologická mapka Krkonoš je zobrazena na obrázku 1.

V druhohorách a první polovině třetihor, kdy panovalo na našem území tropické resp. subtropické klima, byly Krkonoše modelovány chemickým zvětráváním, což vedlo ke vzniku plochého a měkkého reliéfu, tzv. zarovnaných povrchů. K výrazné změně došlo v mladších třetihorách, kdy byly horotvornými pohyby, vyvolanými vrásněním v sousední alpské a karpatské oblasti, etapovitě vyzdviženy i Krkonoše. Dosáhly přitom již přibližně dnešní výšky, což vedlo k prudkému oživení vodní eroze a tím i následnému rozčlenění zarovnaných povrchů do podoby členitého horského reliéfu (Anonymus, 2008).

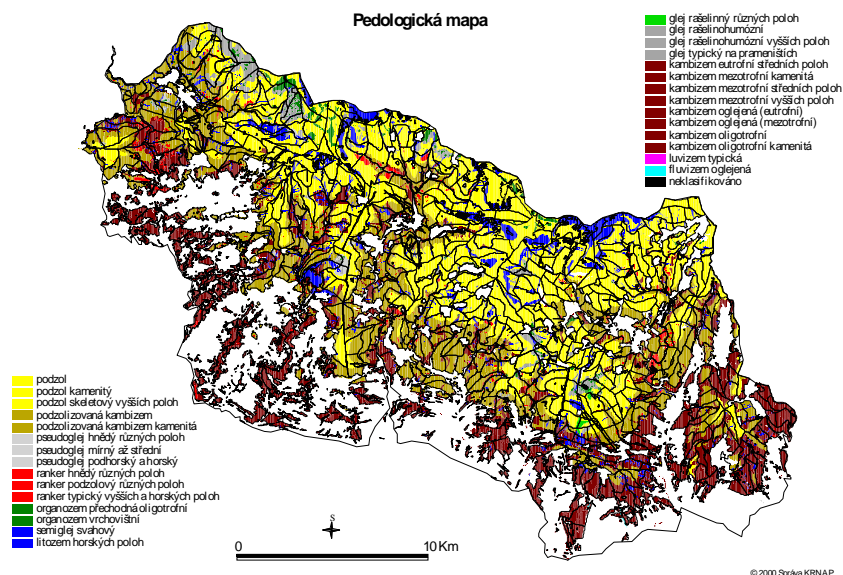
S výjimkou rendzin, na plošně nepatrných ostrůvcích krystalických vápenců, jsou všechny krkonošské půdy kyselé (Němeček, 1984). Anonymus (2008) uvádí, že v nejnižších partiích národního parku převládají hnědé půdy kyselé, výše přecházejí do rezivých půd (hnědé půdy podzolované), které jsou v Krkonoších vůbec nejrozšířenějším typem. Nad 1000 m n.m. nastupují podzolované půdy, které přecházejí ve vrcholových partiích v alpínské půdy, s častým výskytem mrazem modelovaných půd, jejichž výskyt je v rámci Čech krkonošskou zvláštností. Lokálně se vyskytují nivní půdy, provázející údolní nivy, glejové půdy, zvláště na prameništích a ve svahových prohlubních, a rašeliništní půdy v podobě lesních vrchovišť. Výskyt půdních typů je patrný z obrázku 2.

Krkonošská rašeliniště, zvláště vrcholová, jsou převážně vývojově stagnující a jejich mocnost nepřesahuje 2-3 m (většinou je menší než 1-1,5 m). Významným geomorfologickým činitelem bylo i zalednění pohoří, k němuž došlo v ledových dobách ve čtvrtohorách, kdy byl reliéf modelován jak horskými ledovci (vznik karů, jezer, morén atd.), tak mrazovými procesy (vznik kryoplanačních teras, mrazových srubů a sutí) (Anonymus, 2008). Němeček (1984) dále tvrdí, že v poledové době jsou hlavními modelačními činiteli v Krkonoších vodní eroze, svahové

sesuvy a antropogenní vlivy, v méně nápadné formě se uplatňuje i mrazové a biologické zvětvávání a lavinová eroze, ve vápencích přistupuje ještě krasovění.



Obr. 1: Geologická mapa Krkonoš (Schwarz, 2001)



Obr. 2: Pedologická mapa Krkonoš (Schwarz, 2001)

2.1.2.2 Hydrologické poměry

Říční síť Krkonoš vznikla ve třetihorách a čtvrtohorách. Jde o horní úseky toků, které mají charakter bystřin se všemi typickými rysy, jako jsou velký spád koryta, prudkost toku, značné výkyvy stavu vodní hladiny a průtoků, nebo neustálené dno díky velké unášecí síle vody. Na některých místech v subalpínském i v montánním stupni vznikla v terénních depresích nebo na výronech podzemních vod rašeliniště, která jsou většinou hlavními prameništi vodních toků, především Labe, Úpy a Mumlavy na české straně, Lomnice a Kamienniej na polské straně pohoří. Přirozenými vodními nádržemi jsou nevelká jezera ledovcového původu hrazená morénovými valy: Wielki a Maly Staw a jezírka ve Snieznych Kotlach na polské straně a Mechové jezírko na české straně hor (Anonymus, 2008).

2.1.2.3 Klimatické poměry

Krkonoše náleží do klimatického mírného pásma, pro které je typické střídání ročních období. Vzhledem k blízkosti Atlantického oceánu a k převládajícímu západnímu větrnému proudění tvoří hřebeny Krkonoš nejvyšší překážku proudům vlhkého, chladného vzduchu od oceánu, což se projevuje vysokým množstvím dešťových a sněhových srážek a nízkými teplotami. Ve srovnání s ostatními horskými pásmy Sudet mají Krkonoše v celoročním průměru nejdrsnější podnebí.

Průměrná roční teplota v Krkonoších kolísá mezi +6 °C až 0 °C (Žacléř 6,1; Karpacz 5,9; Szklarska Poreba 5,8; Harrachov 4,9; Špindlerův Mlýn 4,7; Szrenica 1,9; Sněžka 0,2 °C). Převládají jihozápadní až severozápadní větry, časté jsou i vichřice o rychlostech přes 150 km/hod. Srážky přibývají s nadmořskou výškou. Na úpatí Krkonoš je roční úhrn zhruba 800 mm, na hřebenech 1200 až 1400 mm. Sníh padá v Krkonoších prakticky po celý rok (alespoň v nejvyšších polohách), trvale zůstává ležet průměrně 7 měsíců (zhruba od poloviny října do poloviny května). Průměrná výška sněhové pokrývky se pohybuje mezi 150 až 200 cm (Anonymus, 2008).

2.1.2.4 Flóra

Krkonoše přes svou malou rozlohu oplývají neobvykle bohatou flórou a v porovnání s ostatními hercynskými pohořími tak zaujímají mimořádně významné místo. Ze současných

poznatků vyplývá, že zde roste více než 1250 taxonů cévnatých rostlin, což je bezmála polovina veškeré původní flóry České republiky, a několikanásobně vyšší počet druhů rostlin výtrusných - mechorostů, lišejníků, řas, dále hub, sinic a hlenek. V diverzitě zdejší vegetace se odráží zvláštní biogeografická poloha Krkonoš - kontakt severské tundry a alpínských trávníků v době zalednění a utváření jejich reliéfu i nadmořská výška, zasahující nad alpínskou hranici lesa, která probíhá ve 1250 až 1350 m n.m. Svědčí o tom již zmíněné glaciální relikty, jako jsou ostružiník moruška (*Rubus chamaemorus*), všivec krkonošský (*Pedicularis sudetica*), lomikámen sněžný (*Saxifraga nivalis*), šídlatka jezerní (*Isoetes lacustris*), rašeliník Lindbergův (*Sphagnum lindbergii*) a další.

V postglaciální době vedla dlouhodobá izolace o mnoho vyšších krkonošských hřebenů, oproti středoevropské lesní krajině, ke vzniku osamocené ostrova vysokohorské přírody. V něm se složitými genetickými pochody začaly vyvíjet nové odlišné druhy, poddruhy a variety - krkonošské endemity. Mezi ně náleží především jeřáb krkonošský (*Sorbus sudetica*), zvonek krkonošský (*Campanula bohemica*), lomikámen pižmový (*Saxifraga moschata* ssp. *basaltica*), bedrník skalní (*Pimpinella saxifraga* ssp. *rupestris*) a téměř tři desítky druhů jestřábníků rodu *Hieracium* (Anonymus, 2008).

Z hlediska vertikálního členění vegetace jsou v Krkonoších čtyři zřetelně vytvořené výškové (vegetační) stupně: submontánní (400 až 800 m n.m.), montánní (800 až 1200 m n.m.), subalpínský (1200 až 1450 m n.m.) a alpínský (1450 až 1602 m n.m.) (Flousek a kol., 2007). Rozložení vegetačních stupňů v rámci KRNAP a jejich charakteristika jsou znázorněny na obr. 3.



Obr. 3: Vegetační stupně v rámci KRNAP (Flousek a kol., 2007)

Přestože byla podoba vegetačních stupňů od středověku velmi narušena a pozměněna antropogenními vlivy, lze je charakterizovat takto:

Submontánní stupeň (podhůří)

Český submontánní stupeň se vyznačuje teplomilnějšími druhy, pronikajícími sem z pahorkatiny, a sestupujícími sem druhy horskými (Flousek a kol., 2007). Listnaté a smíšené lesy jsou tvořené především bukem lesním (*Fagus sylvatica*), javorem klenem (*Acer pseudoplatanus*), jasanem ztepilým (*Fraxinus excelsior*), jeřábem ptačím (*Sorbus aucuparia*), olší šedou (*Alnus incana*) a na polské straně i modřínem opadavým (*Larix decidua*). V minulosti však byly převážně vykáceny a nahrazeny smrkovými monokulturami. Smrk ztepilý (*Picea abies*) proto v současné době zaujímá cca 87,4 % zalesněné plochy (Černý, Pačes, 1995). Bylinné patro tvoří jarní druhy rostlin, jako je česnek medvědí (*Allium ursinum*), dymnivka dutá (*Corydalis cava*), sasanka hajní a pryskyřníkovitá (*Anemone nemorosa*, *A. ranunculoides*), kyčelnice devítilistá a cibulkonosná (*Dentaria enneaphyllos*, *D. bulbifera*), lilie zlatohlavá (*Lilium martagon*) a jiné (Anonymus, 2008).

Montánní stupeň (horský, lesní)

Horní hranice tohoto stupně je dána horní hranicí lesa, probíhající na českém i polském území v průměrné výšce 1250 m n. m. (Flousek a kol., 2007). Horské smrčiny (přirozené i člověkem vysazené) jsou v současné době silně poškozované vlivem průmyslových imisí. Bylinné patro tvoří převážně kaprad'orostry - papratka horská (*Athyrium alpestre*), kaprad' samec (*Dryopteris filix-mas*), žebrovice různolistá (*Blechnum spicant*) a trávy - třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*). Na vlhčích místech převládá nivní vegetace s krabilicí chlupatou (*Chaerophyllum hirsutum*), devětsilem bílým a Kablíkové (*Petasites albus*, *P. kablikianus*) či řeřišnicí hořkou (*Cardamine amara*). Z období budního hospodářství (18. století) se datuje vznik bezlesých enkláv s druhově velmi bohatými horskými loukami s violkou sudetskou (*Viola sudetica*), zvonkem krkonošským (*Campanula bohemica*), jestřábníky rodu *Hieracium*, náholníkem jednokvětým (*Achyrophorus uniflorus*), prhou arnikou (*Arnica montana*) a řadou zástupců čeledi *Orchideaceae* (Anonymus, 2008).

Subalpínský stupeň

Leží nad horní hranicí lesa. V minulosti se vyznačoval skoro souvislými porosty kleče (Flousek a kol., 2007). V tomto stupni, na náhorních plošinách a v jejich okolí, se koncentrují nejcennější ekosystémy Krkonoš - klečové porosty, přirozené i druhotné smilkové louky a severská (subarktická) rašeliniště. V keřovém patru dominuje borovice kleč (*Pinus mugo*), v bylinném patru převládá smilka tuhá (*Nardus stricta*), třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), ostřice rodu *Carex*, keříčky brusnicovitých rostlin – brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), brusnice brusinka (*V. vitis-idaea*), vlochyně bahenní (*V. uliginosum*), klikva drobnoplodá (*Oxycoccus microcarpus*), šicha oboupohlavná (*Empetrum hermaphroditum*) a další. Bohatý je výskyt endemických a reliktních druhů, především již zmiňovaných jestřábníků (*Hieracium* sp.), všivce sudetského (*Pedicularis sudetica*), ostružiníku morušky (*Rubus chamaemorus*) a dalších (Anonymus, 2008).

Alpínský stupeň

Nejvyšší, vzájemně izolované vrcholky Krkonoš (Sněžka, Studniční a Luční hora, Vysoké Kolo, Kotel) jsou pokryté relativně chudou, ale cennou bylinnou vegetací, mechorosty a lišejníky. Oblasti v těchto polohách jsou charakteristické tím, že na nich neroste již ani kleč a vytvářejí se zde tak kamenité holiny s nezapojenými porosty. Z hlavních druhů se zde vyskytuje například sítina trojklanná (*Juncus trifidus*), rozrazil chudobkovitý (*Veronica bellidioides*), bika klasnatá (*Luzula spicata*), endemické jestřábníky rodu *Hieracium* či lišejníky *Thamnotia vermicularis* a *Rhizocarpon geographicum* (Anonymus, 2008). Tyto druhy nejsou vysloveně alpínské, ale jen zřídka sestupují do poloh subalpínských (Flousek a kol., 2007).

2.1.2.5 Fauna

Současná živočišná společenstva se zformovala v závěru poslední doby ledové a především v holocénu. V nižších partiích pohoří představují typický vzorek eurosibiřské fauny z pásma listnatých lesů. V polohách nad 800 m n.m. patří Krkonoše zoogeograficky do provincie variských pohoří (pásmo tajgy) a s přibývajícím nadmořskou výškou narůstá podíl vysloveně horských druhů. Mezi bezobratlými živočichy mají významné postavení vážky (*Odonata*), brouci (*Coleoptera*), dvoukřídlý hmyz (*Diptera*) či vodní roztoči (*Acarina*). Z obratlovců lze připomenout mimo jiné kosa horského severoevropského (*Turdus torquatus torquatus*), čečetku

zimní (*Carduelis flammea*), slavíka modráčka tundrového (*Luscinia svecica svecica*), kulíka hnědého (*Charadrius morinellus*) nebo hraboše mokřadního (*Microtus agrestis*), v současné době dominantního druhu hlodavce v imisemi zasažených porostech. Počet endemitů v krkonošské fauně, především ve srovnání s flórou, je překvapivě malý. V současnosti je popsán pouze jediný endemický druh - jepice krkonošská (*Rhithrogena corcontica*). Dnes známý výčet endemitů, glaciálních reliktních či druhů na okraji svého areálu rozšíření však není úplný (Anonymus, 2008).

2.2 Problematika imisního poškození horských lesů

Zhoršující se stav lesů v horských polohách je dobře patrný už od počátku sedmdesátých let. Poprvé byly důsledky tzv. „kyselých dešťů“ zaznamenány v Německu a Švédsku (Øakland et al., 2004). Dynamický rozpad lesa, snižování jeho produkčních a selhávání ekologických a environmentálních funkcí a mizení genofondu dřevin, má vážné ekologické a celospolečenské dopady. Nejvíce postižené území ve střední Evropě, tzv. "černý trojúhelník", zahrnuje Krušné hory, Jizerské hory a Krkonoše. Poškození těchto horských lesních ekosystémů má zjevné negativní ekologické důsledky i v celoevropském měřítku (Vacek, 2002).

Podle Falty (1999) bylo hlavním problémem horských lesů v od 70. let do první poloviny 90. let minulého století poškození imisemi SO₂ (oxid siřičitý) - průměrné koncentrace SO₂ z roku 1994 jsou pro příklad uvedeny v tabulce 1. Tzv. kyselé deště způsobují snížení pH půd a mají tak negativní vliv na vegetaci. Koncentrace síry v rostlinách se zvyšuje a způsobuje hnědnutí listů a jejich nekrózy s následnou defoliací. Předčasná defoliace jehlic u smrku ztepilého má za následek velmi intenzivní tvorbu náhradních, sekundárních výhonů, která vede k celkovému vyčerpání stromu a v souvislosti s dalšími zátěžovými faktory (žír hmyzem, napadení patogeny apod.) k jeho odumření (Cudlín a kol., 2001).

Po vytěžení poškozených porostů nastupují problémy s obnovou lesa na rozsáhlých kalamitních holinách. Celkově nejhorší situace přetrvává v montánním pásmu horských lesů, které převážně z ekonomických důvodů byly dlouhodobě stranou lesnického hospodářského zájmu (Flousek a kol., 2007).

Tab. 1: Dlouhodobé průměry koncentrací SO₂ (Jurásek, Vacek, 1994).

Oblast	Stanice	Nadmoř. výška	Průměrné koncentrace SO ₂ (μg/m ³) v měsících		
			I. – XII.	X. – III.	IV. – IX.
Jizerské hory	Bedřichov	780	34	46	22
	Jizerka	900	22	28	15
Krkonoše	Harrachov	840	20	25	15
	Labská b.	1310	13	14	13
Sudetské mezihorí	Lanovka	520	56	75	38
	Paseka	665	33	51	15
	Hony	510	36	60	13
Orlické hory	Uhřínov	620	21	34	10
H. Jeseník	Rejvíz	760	19	28	11

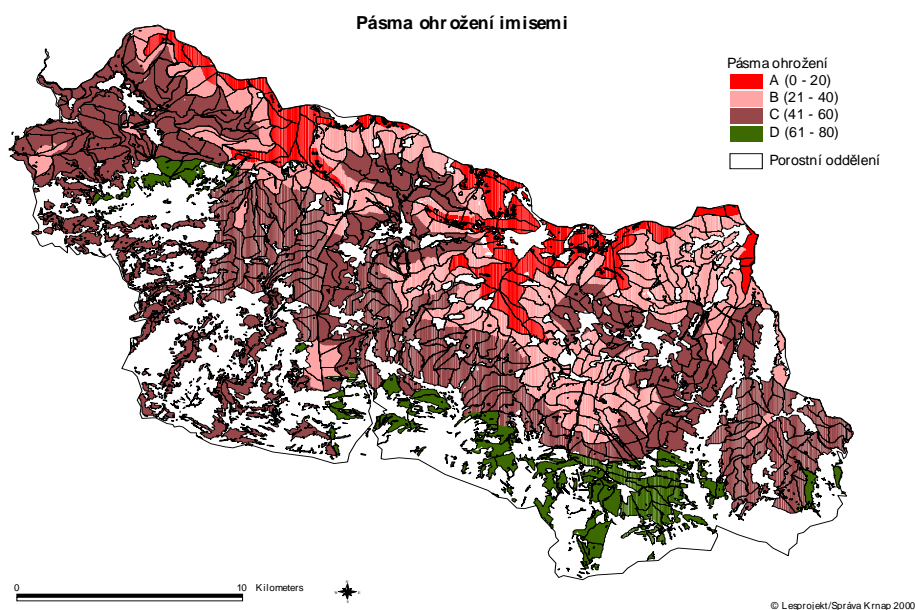
Tím v 70. letech došlo k situaci, že např. ve vyšších polohách Sudet plošně výrazně převládly souvislé staré, převážně smrkové porosty. Takovéto porosty se přirozeně rozpadaly bez dostatečné obnovy, která byla navíc výrazně poškozována nebo až zcela zdecimována neúměrně vysokými stavy spárkaté zvěře (Vacek, Souček, 1995 in Flousek a kol., 2007). V takovémto stavu tyto porosty zastihl vliv imisně ekologických stresů. Velmi rychlá a v některých případech celoplošná destrukce porostů vlivem imisí za spolupůsobení klimatických extrémů, hmyzích škůdců a houbových patogenů a následné těžení odumírajících či odumřelých porostů vytvářely značně nepříznivou ekologickou situaci pro vznik následného lesního porostu. Extrémní imisně ekologické podmínky rozsáhlých holin často dosahovaly parametrů klečového či alpského vegetačního stupně (Vacek, 2002).

V tomto stavu přestává být použitelná většina dosud platných zásad obhospodařování a plánování managementu v horských lesích, ničených imisně ekologickými stresovými faktory. V podmínkách výrazného imisního zatížení a následné rychlé destrukce lesních ekosystémů přestala být klasická hospodářská úprava lesů spolehlivým prostředkem lesnického plánování. Není totiž schopná v takovémto případě zajistit ekologické a hospodářské aspekty a zájmy vlastníků lesa a postupně ztrácí i na kvalitě své informační funkce. Tento stav byl signálem k zakládání četných výzkumných ploch se zaměřením zvláště na výzkum stavu prostředí, obnovy a stabilizace různých stádií rychle odumírajících nebo již odumřelých lesních porostů. Bylo nutné těmito pozorováními získat a poskytnout aplikovatelné poznatky, zejména pak poznání struktury a vývoje horských lesů pod vlivem imisí a prognózy jejich dalšího vývoje, jakožto základních

předpokladů pro stanovení a plánování specifických zásad obhospodařování těchto poškozených lesů (Vacek, 2002). Lesy tak byly rozděleny podle stupně ohrožení na čtyři pásma, popsána v tabulce 2. Mapa pásem ohrožení imisemi v Krkonoších vztažená k roku 1991 je zobrazena na obr. 4.

Tab. 2: Charakteristika a rozlohy pásem ohrožení v horských lesích ČR k r. 1991 (Jurásek, Vacek, 1994).

Pásmo ohrožení	Životnost dospělých smrkových porostů	Plocha		
		V tis. ha	% horských lesů	% z pásma ohrožení v ČR
A	do 20 let	29,0	6,3	100
B	21 – 40 let	129,0	28,1	98
C	41 – 60 let	301,6	65,6	71
D	61 – 80 let	0	0	0



Obr. 4: Mapa pásem ohrožení imisemi (Schwarz, 2001).

2.3 Poškození lesů Krkonoš

Krkonošské lesy jsou ovlivňovány imisně ekologickými stresy již delší dobu, západní část pohoří pravděpodobně od r. 1972 v souvislosti s provozem velkých elektráren v okolí Žitavy. Ve východních Krkonoších se zvýšení zatížení předpokládá od roku 1959, kdy byla uvedena do provozu elektrárna EPO II u Trutnova. Započítány jsou ale i vlivy dalších emisních zdrojů z průmyslových oblastí, ale i jednotlivých podniků v oblasti Krkonoš (Vacek a kol., 2007).

Podle výzkumů na Trutnovsku stačí ke slabému poškození smrkových lesů v příznivých růstových podmínkách koncentrace $20 \mu\text{g SO}_2$ v 1 m^3 vzduchu v letním období a $40 \mu\text{g SO}_2$ v 1 m^3 v období zimním. Ve vyšších polohách Krkonoš vzhledem k drsnějším klimatickým a půdním poměrům dochází ke stejnému poškození i při nižších koncentracích. Nejvíce je v Krkonoších poškozen smrkový vegetační stupeň, přičemž poškození stoupá se vzrůstající nadmořskou výškou (Vacek, 1996).

První výrazné poškození smrkových porostů bylo patrné po klimatickém zvratu v březnu 1977, další pak v roce 1979 v souvislosti s kalamitou obaleče modřínového (*Zeiraphera diniana* /Gn./). Poškození bylo patrné zejména v západních Krkonoších, na lokalitách Mrtvý vrch, Jakšín, Kamenec, Keprník, Plešivec a dalších. Rozloha lesních porostů, vykazujících silný a vyšší stupeň poškození byla v roce 1980 celkem 1355 ha. Vytěženo bylo v této době cca 150 ha lesa. V roce 1983 došlo k prudkému nárůstu plochy poškozeného lesa na 3163 ha, vytěženo bylo 517 ha. Kulminace nastala v roce 1987 stavem 6774 ha poškozeného porostu a vytěžením přibližně 1230 ha. Od této doby se výměra až do roku 1993 mírně snižovala až na 5072 ha (Vacek a kol., 2007).

Do té doby bylo v Krkonoších vlivem imisního poškození kombinovaného hlavně s žírem hmyzu (zejména lýkožrouta smrkového – *Ips typographus* /L./) vykáceno přes 7000 ha poškozených lesních porostů. Většina z nich byla odtěžena holosečně (Jurásek, Vacek, 1994).

V polovině 90. let bylo výrazně poškozeno téměř 80 % porostů smrku ztepilého v nadmořských výškách nad 900 m n.m., přičemž přežívající stromy se vyznačovaly podstatnou defoliací, sníženým tloušťkovým přírůstem, sníženou fruktifikací a klíčivostí semen, ústupem ektomykorhizních hub a rozsáhlým napadením hmyzem. V následném období začaly přežívající stromy postupně regenerovat a v letech 1992 a 1995 byly u smrku ztepilého po velmi dlouhé době zaznamenány dva bohaté semenné roky, z nichž vzešly silné kohorty semenáčků (Vávrová, 2009). Období rozpadu horských smrkových ekosystémů postupně přešlo do přechodového a následně regeneračního období (Vacek a kol., 2007).

2.4 Změny ve vegetaci Krkonoš

Vegetace Krkonoš se vyznačuje rozsáhlými změnami, zapříčiněnými dlouhodobou přítomností a rozsáhlými aktivitami člověka v pohoří, včetně nejrůznějších projevů imisní zátěže. Z celkového počtu cca 1300 taxonů cévnatých rostlin zaznamenaných v Krkonoších je téměř ¼ nepůvodních (Falta, 1999). V některých případech jsou tyto alochtonní druhy silně invazivní a šíří se pohořím podél toků či komunikací, např. pcháč rolní (*Cirsium arvense*), šťovík alpský (*Rumex alpinus*), kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*). Další druhy při vysoké produkci semen nežádoucím způsobem sytí semennou banku okolních půd a podporují projevy stále rozsáhlejšího ekotonového efektu. Jsou to metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*), lipnice roční (*Poa annua*), pryskyřník plazivý (*Ranunculus repens*), šťovík dlouholistý (*Rumex longifolius*) aj. (Vacek, 1996).

Ochuzování přirozeného prostředí původních druhů a společenstev v důsledku acidifikace a eutrofizace, změny v dekompozici biomasy a následné posuny ekologických poměrů stanovišť (mikroklima, hydrologický režim, bilance živin) odstartovaly podle Vacka (1996) rozsáhlé změny ve floristických a vegetačních poměrech Krkonoš. Eutrofizace sama vlivem přísunu dusíku z kyselých srážek a vápníku a hořčíku z nevhodných hornin používaných k úpravám cest podporuje invazní druhy vysokostébelných niv – mléčivce alpského (*Cicerbita alpina*), starčka hajního (*Senecio nemorensis*), rdesna hadí kořen (*Bistorta major*), aj. Problémem je pak také silný nástup trav, jako jsou třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*) a metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), který vede ke změnám ve struktuře společenstev v neprospěch bylinných druhů. To je jeden z důvodů ústupu populací např. lomikámenu sněžného (*Saxifraga nivalis*), koniklece jarního (*Pulsatilla vernalis*) nebo kapradinky alpské (*Woodsia alpina*).

Podle Vacka a kol. (2007) byl velký druhový úbytek pozorován zvláště v mechovém patře, a to průměrně o 44 % (z 4,8 na 2,7) druhů v bukových a smíšených porostech, o 53 % (z 11,6 na 5,5) u smrkových porostů bez rozpadu a o 68 % (z 10,4 na 3,3) u smrkových porostů s pozorovaným rozpadem. V rámci poslední skupiny byly dokonce zaznamenány plochy s úplným vymizením mechového patra. Na trvalých výzkumných plochách obecně platí, že rostlinná společenstva v rámci bukových a smíšených porostů většinou vykazují střední až vysokou změnu druhové struktury, což je způsobeno jejich vyšší počáteční druhovou diverzitou v bylinné etáži. K roku 2000 zde byl pozorován průměrný úbytek 27 % druhů z těch, které byly přítomny v roce

1985. Pokryvnost bylinného patra se ale v bukových a smíšených porostech změnila nevýrazně, ve smrkových porostech je však nárůst pokryvnosti znatelnější.

2.5 Vliv světelných podmínek na rostliny

Světlo je pro rostliny zcela klíčové, protože jim poskytuje energii k výrobě organických látek během fotosyntézy. Je proto jedním z nejdůležitějších faktorů kontrolujících růst a vývoj rostlin (Procházka a kol., 1998). Oproti ostatním faktorům je ale světlo a jeho vliv na rostliny relativně málo prozkoumáno, protože jeho měření je technicky i metodicky náročnější (Balandier et al., 2006).

Požadavky rostlin na světlo závisejí na druhu rostliny a jejím původu. Rostliny se podle požadavků dělí na světlomilné (heliofyty) a stínomilné (sciofyty) (Anonymus, 2009). Dolní úroveň fotosyntetické ozáření, dostačující k růstu rostlin je asi $6 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Pro bližší představu se jedná o osvětlenost kolem 500 lx. Každá rostlina potřebuje během celého roku odpovídající množství a intenzitu slunečního záření, nutného k optimálnímu vývoji, růstu a kvetení. Je-li ho nedostatek, projeví se u rostlin zvýšenou náchylností k chorobám. Výhony se prodlužují, mají světlou barvu (etiolizace). Rostliny se zbavují starých listů, které žloutnou a postupně opadávají. Výrazně se tento účinek projevuje při vyšších teplotách (Matouš, Hutla, 2002).

Listy rostlin část světla propustí (transmitance), část odrazí (reflektance), část pohltí (absorbance). V důsledku toho na povrch půdy, např. v lesích, dopadá jen část světla dopadajícího na povrch korun stromů, tzv. relativní ozáření (Anonymus, 2007). Zachycování světla v různých výškách porostu závisí na architektuře (struktuře) porostu. Nejeefektivnější je komplexní mnohvrstevná architektura tropických lesů a dále jednovrstevná, ale hustá architektura korun např. smrkových porostů. (Roujean, 1999).

2.5.1 Vliv světelných podmínek na přízemní vegetaci horských lesů

Světelnými podmínkami a jejich vlivem na přízemní vegetaci v závislosti na struktuře a stavu lesních porostů se ve svých pracích zabývali např. Leemans (1990), Pitkänen (1997), Ling, Ashmore (1998), Balandier et al. (2006) a další.

Pro tuto práci je stěžejní vliv transmitovaného světla na přízemní vegetaci horských

smrkových porostů. Toto světlo proniklé skrze korunové patro lesa tvoří na povrchu půdy tzv. „světliny“, které svým charakterem (velikost světliny, doba osvětlení v průběhu vegetační sezóny, sklon apod.) určují mikrostanovištní podmínky pro růst a vývoj vegetačního pokryvu (Roujean, 1999). Podle Leemanse (1990) mají pak tyto světliny, vzniklé zejména odumřením dospělého stromu, hlavní vliv na celkovou dynamiku lesa. Na takovýchto plochách mohou pak rostlinné druhy (v závislosti na kombinaci dalších faktorů – vlhkostní podmínky, teplota, půdní vlastnosti apod.) lépe expandovat. Světliny tedy fungují jako tzv. „regenerační niky“ (Drobyshev, 1998; Økland et al. 1999). Podle Vávrové (2009) může být za hlavní faktor, mající vliv na početnost a druhové složení cévnatých rostlin v podrostu jehličnatých lesních ekosystémů, považována, kromě světelných poměrů, především půdní vlhkost. Pro mechorosty je hlavním limitujícím faktorem půdní vlhkost.

V rané fázi svého vzniku jsou světliny kolonizovány nejdříve světlomilnými, rychle rostoucími druhy rostlin. Tento fakt ale závisí na velikosti vzniklé světliny. U malých světlin, do rozlohy několika metrů čtverečních, se v průběhu dne neprojeví výraznější rozdíly v osvětlenosti a proto jsou v takovém případě světlomilné druhy rostlin (heliofyty) ve stejné kompetiční situaci jako stínomilné druhy (sciofyty). U velkých světlin, vzniklých odstraněním většího počtu stromů působením většinou nějaké disturbance (větrný polom, požár apod), je rychlý rozvoj heliofyt zřejmý (Leemans, 1990).

V horských smrkových a bukových lesích Krkonoš byla prokázána souvislost mezi rozvojem bylinného patra a stavem korunového patra. Vacek a kol. (1999) ukázali, že korunové patro vlivem defoliace, způsobené dlouhodobou imisní zátěží, měnilo světelné podmínky v bylinném podrostu. To v kombinaci s dalšími (především mikroklimatickými) faktory vedlo k nárůstu pokryvnosti bylinného patra a k dalšímu šíření již dříve dominantních druhů, jako jsou třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), metlička křivolaká, (*Avenella flexuosa*) a brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*). Snížení pokryvnosti bylo naopak zaznamenáno např. u druhů žebrovice různolistá (*Blechnum spicant*) a kýchavice bílá (*Veratrum album*). Snížení pokryvnosti těchto druhů bylo doprovázeno také úbytkem mechů (Vávrová, 2009). Na mnoha místech byl pozorován též pokles v druhové diverzitě přizemní vegetace (Vacek a kol., 2009).

2.5.2 Vliv světelných podmínek na přirozenou obnovu smrku ztepilého

Přirozená obnova je jedním z klíčových procesů zajišťujících zachování autochtonního charakteru horských smrčín (Vávrová, 2009; Vávrová a kol., 2009;). Světlo má velký význam nejen pro bylinné druhy, ale také pro růst a vývoj většiny dřevin, včetně smrku ztepilého (*Picea abies*), což zvláště platí ve vysokohorských lesích (Balandier et al., 2009). Podle Drobysheva (1998) má světlo pro přirozenou obnovu lesa *zásadní* význam. Nízká intenzita slunečního záření může negativně ovlivnit úspěšnost přirozené obnovy smrku ztepilého. Plný růst semenáčků byl pozorován při 35% osvětlení, zatímco při poklesu osvětlení pod 20 % došlo k omezení jejich růstu (Vávrová, 2009). Přímá radiace do značné míry určuje také teplotu při povrchu půdy. Pro klíčení semen je teplota v kombinaci s vlhkostí důležitým faktorem. Za optimální pro klíčení semen smrku ztepilého je označována teplota mírně přesahující 20°C. Naopak při poklesu teploty pod 15°C bývá klíčení semen a vzcházení semenáčků silně inhibováno (Ohlson, Zackrisson, 1992 in Vávrová, 2009).

K úspěšnému růstu a přežívání semenáčků je ve vyšších polohách nutný přímý dopad slunečního záření na půdní povrch. Difúzní (rozptýlené) světlo, procházející skrze korunové patro, v tomto případě nestačí (Brang, 1998 in Vávrová, 2009). Množství světla dopadajícího do lesního podrostu je ovlivněno nejen mezerami v korunovém zápoji, vzniklými absencí částí korun nebo celých stromů, ale také strukturou (tedy hustotou) korun. Ta je závislá na celkovém zdravotním stavu jednotlivých stromů (Ling, Ashmore, 1998). Tento vztah byl popsán výše v kapitole 2.5.1. Příliš hustý korunový zápoj značně omezuje množství přímého slunečního záření pronikajícího do spodních pater porostu, a tím limituje i přirozenou obnovu smrku (Roujean, 1999). Po uvolnění korunového zápoje se zlepšují podmínky pro fruktifikaci dospělých stromů a šíření semen, dochází k oživení půdní aktivity a je stimulováno klíčení semen a vývoj semenáčků (Vávrová, 2009).

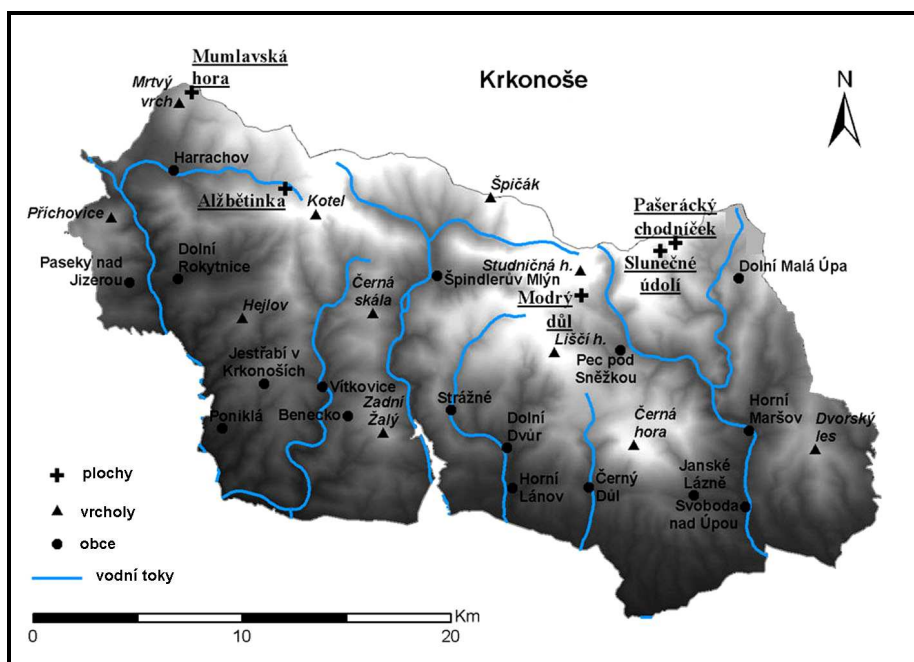
3. Metodika

3.1 Charakteristika zájmových trvalých výzkumných ploch

Podle Falty (1999) se obě mapované plochy (Alžbětinka, Modrý důl) nacházejí v 8. vegetačním stupni, porosty jsou považovány za autochtonní. Dominantní dřevinou v tomto vegetačním stupni je smrk ztepilý (*Picea abies*), z ostatních dřevin jsou v menší míře zastoupeny jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), bříza pýřitá (*Betula pubescens*), buk lesní (*Fagus sylvatica*). V bylinném patře převládají třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*) a papratka horská (*Athyrium distentifolium*).

Vzhledem k rozdílnému postavení v anemo-orografickém systému jsou lokality vystaveny různému stupni působení imisí (Vacek a kol., 2007), z čehož vyplývají rozdíly ve stadiu rozpadu stromového patra a s tím související různý korunový zápoj a různá pokryvnost bylinného patra na sledovaných lokalitách (Vávrová a kol., 2007). Plocha Alžbětinka, která je situována na severozápad, je zřejmě vystavena vyššímu působení kyselých srážek, což má za následek větší rozsah poškození místní vegetace. Lokality odlišují i charakterem geologického podloží. V západní části Krkonoš převažuje granit (Alžbětinka), ve východní části krystalická břidlice a svor (Modrý důl) (Falta, 1999). Rozdílné mineralogické složení půd a rozdílný stupeň zvětrávání minerálního podílu půd, které ovlivňují zásobu živin a jejich dostupnost, mají také značný vliv na zdravotní stav smrkových porostů (Schwarz, 2001).

Umístění TVP v rámci Krkonošského národního parku je zobrazeno na obr. 5.



Obr. 5: Lokace TVP Modrý důl a Alžbětinka (a dalších TVP ÚSBE AV ČR) v rámci KRNAP (Vávrová, 2009)

3.1.1 Alžbětinka

Trvalá výzkumná plocha Alžbětinka leží ve výšce 1192 - 1220 m n. m, na severozápadním svahu Lysé hory (1344 m). Toto území je historicky nejvíce zatíženou částí pohoří Krkonoš imisemi (Vávrová a kol., 2007). Svažitosť se pohybuje kolem 14° (Falta 1999). Průměrná roční teplota je $3,1^\circ\text{C}$, srážky 1450 mm. Roční koncentrace SO_2 koncem 80. let byla $14\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Cudlín a kol., 1995). Falta (1999) uvádí ve srovnání s ostatními TVP v Krkonoších vyšší obsah vodíkových iontů ($74\ \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) a dusičnanových iontů ($8\ \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) ve srážkách zachycených na otevřených stanovištích (podle údajů z r. 1995).

Les, starý přibližně 215 let s korunovým zápojem 35 %, se na této ploše rozpadá. Podle údajů z poloviny 90. let bylo 41 % stromů částečně poškozeno (50% defoliace), tvar korun byl většinou nepravidelný, mnoho vrcholů bylo zlomených. Výška přeživších stromů kolísala mezi 15 a 25 metry, průměr kmenu mezi 30 a 60 centimetry (Cudlín a kol., 1995). Fytocenologická asociace zde náleží do *Athyrio alpestre-Piceetum typicum* (Vávrová, 2009). Podloží tvoří porfyritický granit, půda je chudá, podzolová, místy oglejená se značně kyselou reakcí (pH 3,26 - 3,60). Dominantními minerály jsou křemen a ortoklas (Cudlín a kol., 1995).

3.1.2 Modrý důl

Tato TVP leží na příkrém jižním svahu Studniční hory (1554 m) ve výšce cca 1240 m n. m. Svažitosť je poměrně vysoká (22°) (Falta, 1999). Průměrná roční teplota činí 3,8 °C, srážky okolo 1500 mm. Roční koncentrace SO₂ byla koncem 80. let stejně jako na Alžbětině 14 µg/m³ (Cudlín a kol., 1995). Obsah toxických látek ve srážkových vodách se zde v roce 1995 pohyboval v rozmezí průměrných nebo nižších hodnot v rámci krkonošských lokalit. Výjimkou byl pouze vyšší obsah dusičnanových iontů, zjištěný ve spadových nádobách umístěných pod korunami stromů (16,3 µmol.l⁻¹) (Falta, 1999).

S 59 % živých stromů s 35% defoliací patřil v polovině 90. let tento dnes přibližně 135 let starý porost k nejlépe zachovaným horským lesům Krkonoš. Výška stromů se pohybovala okolo 22 metrů, průměr kmenů okolo 40 centimetrů. Koruny byly většinou široké, pravidelné, vrcholy nepoškozené, zápoj byl poměrně hustý (65 %) (Cudlín a kol., 1995). Fytocenologická asociace je opět klasifikována jako *Calamagrostio villosae-Piceetum fagetosum* (Vávrová, 2009). Matečnou horninou jsou zde krystalické břidlice, nejrozšířenějším minerálem křemen a muskovit, přítomné je i menší množství ortoklasu (Falta, 1999). Půdu tvoří humusové a leptické podzoly, s také značně nízkým pH v humusovém horizontu (3,70 – 3,74) (Cudlín a kol., 1995).

3.2 Postup při získávání primárních dat

3.2.1 Mapování vegetačního pokryvu

Průzkum jsem prováděl během vegetačních období v letech 2007 a 2008 na dvou trvalých výzkumných plochách (dále jen TVP) Ústavu systémové biologie a ekologie AV ČR v klimaxových smrčínách Krkonoš, reprezentujících různá stadia poškození lesních porostů (Cudlín a kol., 1995). Toto mapování proběhlo v obdobích od července do září 2007 a od srpna do září 2008 a jeho hlavním cílem bylo získat data pro srovnání se stavem vegetace, zjištěným pracovníky Botanického ústavu AV ČR již na podzim roku 1993 a na jaře roku 1994.

Samotné mapování bylo provedeno podle stejné metodiky jako v letech 1993-1994 (Soukupová, Rauch, 1999). Každá TVP (50 x 50 m) byla už při zakládání trvale rozdělena hraničními kolíky na 25 čtvercových sektorů o rozměrech 10 x 10 m (dále jen sektory). Tyto sektory byly dále během mapování rozděleny pomocí pásma na čtverce o rozměrech 2 x 2 m, a ty

pro snazší orientaci dále pomocí geodetických výtyček na jednotlivé čtvereční metry. Na těchto ploškách byly typy vegetace se souvislou plochou minimálně 20 x 20 cm zakresleny na milimetrový papír s přesností 20 cm (čtverec 10 x 10 mm na milimetrovém papíru odpovídal 4 m² ve skutečnosti). Každému rostlinnému druhu odpovídala barva nebo styl šrafování. Roztroušená vegetace nebo plochy menší než 20 x 20 cm byly zapsány do poznámek. Roztroušená vegetace, s přepočtenou plochou do 400 cm² měla index 1, plocha do 800 cm² měla index 2. V roce 2008 byl navíc pro upřesnění použit index 3, kterému odpovídala přepočtená plocha roztroušené vegetace 1200 cm². Na druhy, vyskytující se na menších plochách, nebyl brán zřetel.

Dále byly zakresleny padlé suché stromy, pařezy, stromy, semenáče, kameny, vodní plochy, spadové rámy a ostatní významnější plochy a předměty. Nomenklatura rostlin je sjednocena podle Klíče pro určování rostlin (Kubát, 2002).

Dalším krokem bylo vytvoření nových vegetačních map pro studované TVP v elektronické podobě. Zákresy byly s pomocí kolegů z ÚSBE AV ČR zdigitalizovány a srovnány s vegetačními mapami z let 1993-1994 pomocí vývojové analýzy za použití GIS, programu ArcGis 9.0 a zjištěné změny byly statisticky vyhodnoceny pomocí programu Canoco 4.5.

TVP Alžbětinka byla v letech 1993 - 1994 i 2007 zmapována celá, tj. 25 sektorů (A1 – E5) o celkové ploše 2500 m². TVP Modrý důl byla zmapován v letech 1993 - 1994 odlišnou metodou, kdy byly zakresleny pouze v té době dominantní druhy trav, tedy metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*) a třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), a mapování bylo provedeno pouze v 15 sektorech (A3 – E5) (3/5 plochy), o celkové ploše 1500 m². V roce 2005 bylo provedeno mapování v horních sektorech A4 až E5 metodou (2/5 plochy), kdy se na plochách 20 x 20 cm odhadoval dominantní a subdominantní druh vegetace. V následném mapování v roce 2007 byly zakresleny sektory A3 – E3 (1/5 plochy), použita byla již stejná metodika jako na TVP Alžbětinka. V roce 2008 bylo mapování provedeno stejnou metodou i v sektorech A4 – E5 a A1 – E2 (4/5 plochy).

Kvůli odlišnému způsobu mapování v letech 1993 – 1994 byl ve výsledcích na TVP Modrý důl srovnán jen vývoj dominantních druhů trav – třtiny chloupkaté a metličky křivolaké, na TVP Alžbětinka byl porovnán vývoj i dalších významných druhů.

3.2.2 Měření světelných podmínek

Měření světelných podmínek bylo provedeno na obou TVP metodou zjišťování procentuálního podílu tzv. „světelných děr“ v korunovém zápoji. Získaná data byla dána do vzájemné souvislosti s výsledky mapování vegetačního pokryvu z roku 2006 a výzkumu přirozené generativní obnovy smrku ztepilého (Vávrová, 2009) a vyhodnocena.

Pro měření světelných podmínek bylo použito stejné rozdělení TVP na jednotlivé sektory, jako při mapování vegetace, tj. rozdělení na 25 sektorů (A1 – E5) o rozměrech 10 x 10 metrů. Tyto sektory byly pro potřeby výzkumu přirozené obnovy lesa (Vávrová a kol., 2007) rozděleny pomyslnou čtvercovou sítí s počtem 100 polí (po 1 m²) a pomocí generátoru náhodných čísel vybrány v každém sektoru čtyři plošky. Celkově tedy bylo na obou TVP zkoumáno 100 plošek o velikosti 1 m². Hranice těchto plošek byly v terénu vyznačeny pomocí plastových a dřevěných kolíků. Náhodný výběr generátorem umožnil podle Vávrové (2010) zachytit případnou nehomogenitu lokalit.

Měření pro zjištění procentuálního podílu světelných děr v korunovém zápoji jsem prováděl na obou TVP. Na TVP Modrý důl ve všech náhodně generovaných metrových ploškách (tj. 100 ploch po 1 m²), na ploše Alžbětinka z časových důvodů jen ve 3/5 plošek (tj. v sektorech C, D, E). Měření bylo provedeno pomocí slunečního kompasu. Kompas byl připevněn prostřednictvím speciálního nástavce na fotografický stativ s buzolou (obr. 7). Sluneční kompas má speciální stupnici, na které se promítá struktura korun stromů a průměty volných míst (tzv. světelné díry) v korunovém zápoji tvoří světlé plochy na stupnici (obr. 6). Stupnice je sestavena tak, aby se dal zjistit denní čas, ve kterém je měřené místo osvětleno v jednotlivých měsících v roce (pro potřeby této práce bylo použito hodnocení měsíců vegetačního období, tedy březen až září). Pomocí fotoaparátu Panasonic LUMIX DMC-TZ4 a Olympus D-595 ZOOM byly pořízeny vertikální záběr horizontálně umístěné stupnice kompasu ze severní strany kompasu a přibližně z výšky 30 cm. Pořízené fotografie byly následně vyhodnoceny pomocí analýzy obrazu programem ACC 6.0, pomocí něhož lze přesně vypočítat podíl světelných děr na stupnici kompasu.



Obr. 6: Výsledná fotografie slunečního kompasu (foto: autor)



Obr. 7: Sluneční kompas upevněný na stativu (foto: autor)

3.3 Zpracování dat

3.3.1 Zpracování dat získaných při mapování

Data byla zpracována v programu ArcGIS 9.0 a výsledná statistická analýza provedena v programu Canoco 4.5. Uvedeny jsou hlavní nástroje a postupy při zpracování a vyhodnocení dat.

Mapy obou TVP, Modrého dolu i Alžbětinky, byly zdigitalizovány a pomocí nástrojů „Spatial Adjustment“ prostorově rektifikovány metodou „Rubbersheet“. Jako lícovací body byly použity kolíky označující rozdělení TVP na jednotlivé sektory a dále pak dospělé stromy. Tím bylo docíleno co nejpřesnějšího přeložení map z dvou hodnocených let přes sebe. Pomocí nástroje „Calculate Areas“ byly pro každou vegetační mapu spočítány obsahy jednotlivých polygonů a s využitím nástroje „Summary Statistics“ byly pro každou mapu vypočteny součty obsahů polygonů za jednotlivé kategorie pokryvu půdy.

Ke zjištění změn ve vegetačním pokryvu na TVP Alžbětinka, tj. ke zjištění vzájemného nahrazování jednotlivých druhů, byl použit nástroj „Tabulate Area“. Jako vstupní vrstvy byly použity vegetační mapy ze začátku a konce hodnoceného období a jako „class field“ a „zone field“ byly zvoleny sloupce obsahující číselně kódované typy vegetačního pokryvu. Výstupem

této operace je křížová tabulka s číselnými údaji vyjadřujícími plochy v m², na kterých došlo ke změně z daného typu vegetačního pokryvu na jiný a plochy, na kterých daný typ vegetačního pokryvu zůstal beze změny.

K prostorovému znázornění změn ve vegetačním pokryvu na TVP Alžbětinka byla vytvořena pomocí nástroje „Intersect“ výsledná syntetická GIS vrstva. Jako vstupní vrstvy byly použity vegetační mapy ze začátku a konce hodnoceného období. Do atributové tabulky výsledné vrstvy byl následně přidán nový sloupec, do něhož byly s využitím funkcí „Select by Attributes“ a „Calculate Values“ číselně kódovány jednotlivé změny z jednoho typu vegetačního pokryvu na jiný. Pomocí takto vzniklé výsledné syntetické GIS vrstvy lze např. u druhu, u kterého byl v hodnoceném období zaznamenán výrazný pokles pokryvnosti, ukázat, jakými druhy byl tento druh v jakých místech nahrazen. Nebo naopak u druhu, u kterého byl zaznamenán výraznější nárůst pokryvnosti, lze pomocí této vrstvy znázornit, jaké druhy tento druh při své expanzi vytlačil (případně nahradil) a v jakých místech v rámci hodnocené TVP k těmto změnám došlo.

Dále jsou uvedeny hlavní nástroje, které byly použity pro přípravu dat v programu ArcGIS pro následnou statistickou analýzu změn ve vegetačním pokryvu na TVP Alžbětinka:

- nástroj „Identity“ – počítá geometrický průnik dvou vrstev, a to vrstvy se vstupními prvky a vrstvy s identifikačními prvky, přičemž vstupní prvky nebo jejich části, které se překrývají s identifikačními prvky, dostanou atributy identifikačních prvků;
vrstva se vstupními prvky = vegetační mapa; vrstva s identifikačními prvky = mapa sektorů;
- nástroj „Calculate Areas“ – spočítá obsah jednotlivých polygonů;
- nástroj „Pivot Table“ – třídí a sumarizuje data ve vstupní tabulce, převede data z atributové tabulky tak, že pro každý sektor spočítá obsah polygonů patřících k jednotlivým hodnoceným kategoriím pokryvu půdy;
- nástroj „Summary Statistics“ – počítá souhrnné statistiky pro vybrané sloupce v atributové tabulce; byl použit pro výpočet součtu obsahů polygonů jednotlivých kategorií pokryvu půdy v jednotlivých sektorech.

Statistická analýza srovnání dat z vegetačního mapování mezi lety 1993-1994 a rokem 2007 na TVP Alžbětinka:

Mnohorozměrná statistická analýza dat pro TVP Alžbětinka byla provedena v programu Canoco verze 4.5 (Ter Braak, Šmilauer, 1998). Jako vysvětlované proměnné vstupovaly do této analýzy hodnoty pokryvnosti druhů přizemní vegetace a ostatních sledovaných kategorií pokryvu půdy z let 1993 - 1994 a 2007, spočtené pro každý z 25 hodnocených sektorů (tj. ploch s rozměry 10 x 10 m) TVP Alžbětinka. Jako vysvětlující proměnná byl v této analýze použit čas, zadaný jako kvantitativní proměnná. Nejprve byla provedena nepřímá gradientová analýza DCA (Detrended Correspondence Analysis) za účelem zjištění délky gradientu v datovém souboru obsahujícím pokryvnosti hodnocených kategorií. Na základě výsledků této analýzy byla pro hodnocení změn pokryvností v čase zvolena lineární metoda přímé gradientové analýzy RDA (Redundancy Analysis). Statistická významnost byla testována pomocí Monte Carlo permutačního testu. Při testování změn pokryvností v čase bylo nutné eliminovat prostorovou variabilitu v datech, a to pomocí volby omezených permutací v rámci bloků definovaných jednotlivými sektory. Tím bylo zajištěno, že byly v testu mezi sebou permutovány vždy pouze časové záznamy ze stejného sektoru. Výsledky byly vizualizovány formou biplotu v programu CanoDraw (Ter Braak, Šmilauer, 1998).

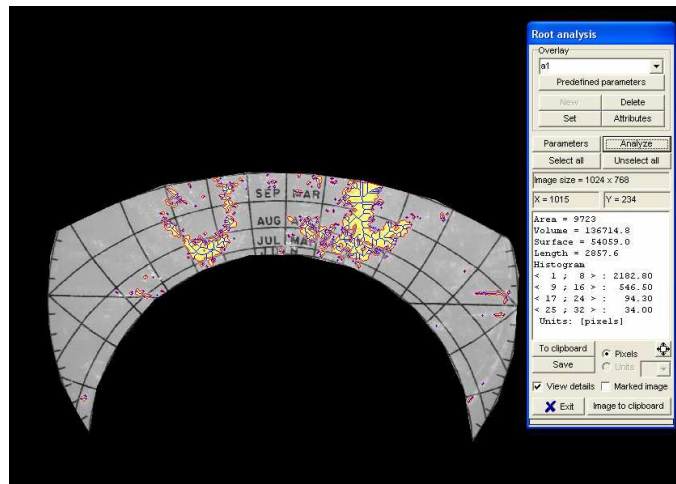
3.3.2 Zpracování dat získaných při měření světelných podmínek

Fotografie pořízené při měření procentického zastoupení světelných děr v korunovém zápoji pomocí slunečního kompasu byly zpracovány obrazovou analýzou v programu ACC 6.0. Pro tuto analýzu byly snímky předem připraveny pomocí programu Adobe Photoshop CS.

Jednotlivé snímky kompasu byly převedeny v programu Adobe Photoshop CS na černobílou škálu barev, zmenšeny do velikosti 1024 x 768 pixelů a bylo provedeno automatické vyvážení jasu a kontrastu. V takto upravených snímcích byla vyznačena zájmová oblast měření a zbytek plochy byl pomocí doplňku „Selekce“ obarven na černo.

V programu ACC 6.0 byly pomocí funkce „Prahování“ identifikovány a vyznačeny světlé plochy, odpovídající průchodu světla korunami stromů (pro příklad zobrazeno na obr. 8). Jejich velikost v pixelech byla změřena pomocí nástroje „Root analysis“ a výsledek měření byl exportován ve formátu .xls do programu Microsoft Excel. Stejným způsobem byla změřena i celá

zájmová oblast tak, aby bylo možno spočítat v procentech podíl plochy světelných děr z plochy celkové.



Obr. 8: Snímek slunečního kompasu, upravený nástroji „Selekce“ a „Prahování“ (poznámka: ve výseči zájmové oblasti snímku jsou barevně označeny světelné díry – tj. světlé skvrny v korunovém zápoji)

Hlavní nástroje a postupy použité při zpracování a vyhodnocení fotografií slunečního kompasu:

- nástroj „Selekce“ – oddělí a vyznačí zájmovou plochu na snímku;
- nástroj „Prahování“ – slouží k výběru objektů v obraze podle stejné množiny hodnot barev;
- nástroj „Root analysis“ – procedura určená k automatickému počítání plochy vymezené např. prahováním.

Výsledky vzešlé z obrazové analýzy snímků byly dány do souvislosti s daty získanými při výzkumu přirozené obnovy smrku ztepilého (Vávrová, 2009) a mapování vegetačního patra z roku 2006. Byl tak vyhodnocen vliv procentuálního podílu světelných děr v jednotlivých metrových čtvercích na růst a přežívání semenáčků smrku a dynamiku přízemní vegetace.

V programu „Statistica“ byla nejprve vyhodnocena závislost výšky semenáčků smrku ztepilého (do analýzy vstupovala vždy průměrná výška semenáčků daného stáří) na procentu světelných děr v metrových čtvercích. Rozložení výšky semenáčků ve čtvercích bylo testováno Shapiro-Wilkovým testem normality. Závislost byla vyhodnocena regresní analýzou.

Následně byla provedena analýza závislosti přežívání semenáčků v období mezi roky 1996 a 2008 na procentuálním podílu světelných děr, zaznamenaném v roce 2009. Z histogramů bylo rozdělení přežívání semenáčků ve čtvercích vyhodnoceno jako nenormální (blížící se spíše Poissonovu rozdělení), pro zjištění závislosti byl tedy použit Zobecněný lineární model s Poissonovým rozdělením vysvětlované proměnné a Log link funkcí. U semenáčku vzešlých v roce 2004 byl vztah mezi úspěšností přežívání a procentuálním podílem světelných děr následně zhodnocen též pomocí neparametrické korelace založené na výpočtu Spearmanova korelačního koeficientu.

Pro hodnocení závislosti pokryvnosti různých kategorií půdního pokryvu na procentu světelných děr byly použity vegetační mapy jednotlivých čtverců z roku 2006. Nejprve byl vyhodnocen vliv světelných děr na pokryvnost opadu v metrových čtvercích. Pro analýzu normality rozložení hodnocených proměnných byl použit Shapiro-Wilk test normality. Vztah mezi pokryvností opadu a procentuálním podílem světelných děr byl analyzován pomocí neparametrické korelace založené na Spearmanově korelačním koeficientu.

Kromě smrkového opadu byla závislost na procentuálním podílu světelných děr souhrnně vyhodnocena i pro pokryvnosti ostatních základních typů mikrostanovišť (třtina chloupkatá, metlička křivolaká, brusnice borůvka, mechy, trouch, ostatní vegetace, ostatní substráty). Toto hodnocení bylo provedeno v programu Canoco 4.5 pomocí DCA analýzy (s určením délky gradientu ve vysvětlovaných proměnných) a následně pomocí CCA analýzy.

4. Výsledky

4.1 Výsledky mapování z roku 2007 a 2008

Výstupem terénního průzkumu jsou podrobné vegetační mapy obou TVP, Alžbětinky i Modrého dolu. Plocha Alžbětinka byla v roce 2007 vymapována celá (tj. 2500 m²), na ploše Modrý důl bylo mapování provedeno v sektorech A3 – E3, tj. na 500 m², k čemuž byla přidána data z mapování z roku 2005, které bylo provedeno v sektorech A4 – E5, tj. na 1000 m². V roce 2008 bylo mapování na Modrém dole dokončeno ve všech sektorech. Kompletní vegetační mapy obou TVP, Alžbětinky a Modrého dolu, jsou zobrazeny na obrázcích 9 a 10.

4.1.1 Alžbětinka

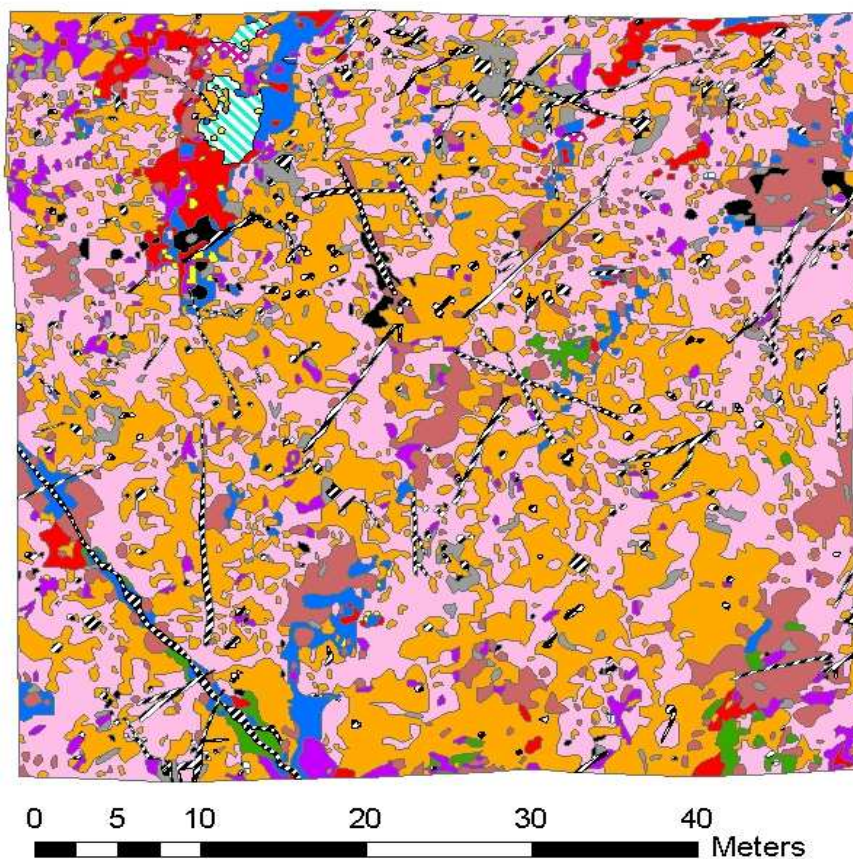
V tabulce 3 jsou zapsány hodnoty pokryvností jednotlivých vegetačních druhů a ostatních kategorií pokryvu na ploše Alžbětinka v jednotlivých obdobích mapování. V současnosti dominuje metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), která zaujímá plochu téměř 915 m² (tj. skoro 38 % plochy). S pokryvností 836 m² zaujímá brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*) 34,5 % mapované plochy. Třetím nejrozšířenějším druhem je papratka horská (*Athyrium distentifolium*), která pokrývá plochu kolem 188 m² (7,77 %). Následují mechy a rašeliník, které zaujmají takřka shodnou plochu kolem 80 m². Podobné plochy (přes 110 m²) pokrývají ostatní méně důležité druhy a zbylé, převážně abiotické kategorie půdního pokryvu. Mezi ostatní druhy byly zařazeny metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*), kýchavice bílá (*Veratrum album*), suchopýr pochvatý (*Eriophorum vaginatum*), bika hajní (*Luzula luzuloides*) a další. Relativně malou plochu, necelých 68 m², pokrývá opad, který poskytuje snadno dostupnou plochu pro další šíření vegetace.

Tab. 3: Pokryvnost vegetace a její procentuální zastoupení, Alžbětinka – 1993-1994 a 2007: sektory A1 – E5.

Rostlinný druh	Pokryvnost (m ²)		Procenta	
	1993-94	2007	1993-94	2007
VAC	551,94	836,05	22,82	34,53
CAL	571,00	23,46	23,61	0,97
AVE	936,65	914,71	38,73	37,78
MECHY	24,05	82,28	0,99	3,40
OPAD	60,76	67,70	2,51	2,80
ATH	126,97	188,04	5,25	7,77
SPH	24,43	75,34	1,01	3,11
OSTAT. DRUHY	73,32	110,90	2,43	4,59
OSTAT. ABIOT.	49,22	122,55	2,04	5,06
CELKEM	2418,34	2421,04	100	100

Vysvětlivky zkratk: VAC – *Vaccinium myrtillus* (brusnice borůvka), CAL – *Calamagrostis villosa* (třtina chloupkatá), AVE – *Avenella flexuosa* (metlička křivolaká), ATH – *Athyrium distentifolium* (papratka horská), SPH – *Sphagnum* sp. (rašeliník sp.), OSTAT. DRUHY – ostatní druhy vegetace, OSTAT. ABIOT – ostatní abiotické kategorie pokryvu.

Alžbětinka 2007



Legend

1 VAC	9 ATH	30 ERI
2 CAL	10 SPH	31 JUN
3 AVE	11 DES	32 GAL
4 MECH	12 VER	33 HOM
5 OPAD	14 GEN	
8 RUZNE	16 DRY	

Vysvětlivky zkratk: VAC – *Vaccinium myrtillus* (brusnice borůvka), CAL – *Calamagrostis villosa* (třtina chloupkatá), AVE – *Avenella flexuosa* (metlička křivolaká), ATH – *Athyrium distentifolium* (papratka horská), SPH – *Sphagnum* sp. (rašeliník sp.), DES – *Deschampsia caespitosa* (metlice trsnatá), GEN – *Gentiana asclepiadea* (hořec tolitovitý), DRY – *Dryopteris carthusiana* (kaprad' osténkatá), VER – *Veratrum album* (kýchavice bílá), ERI – *Eriophorum vaginatum* (suchopýr pochvatý), JUN – *Juncus filiformis* (sítina nitkovitá), HOM – *Homogyne alpina* (podbělice alpská), GAL – *Galium saxatile* (svízel horský)

Obr. 9: Kompletní mapa vegetačního pokryvu na TVP Alžbětinka z r. 2007

4.1.2 Modrý důl

Stejnou metodou jako na Alžbětince byly v roce 2007 na Modrém dole zmapovány sektory A3 – E3, na kterých převládá z jednotlivých hlavních druhů brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*) s pokryvností 75 m² a metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*) s více než 62 m². Následují mechy, které pokrývají 49 m². Téměř shodnou plochu jako mechy zaujímá opad. Kombinace ostatních méně významných druhů pokrývá přes 106 m², skoro 60 m² patří ostatním, převážně abiotickým kategoriím půdního pokryvu. Mezi méně významné druhy na této TVP patří hlavně metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*), kaprad' osténkatá (*Dryopteris carthusiana*), bika hajní (*Luzula luzuloides*), žebrovice různolistá (*Blechnum spicant*) a další.

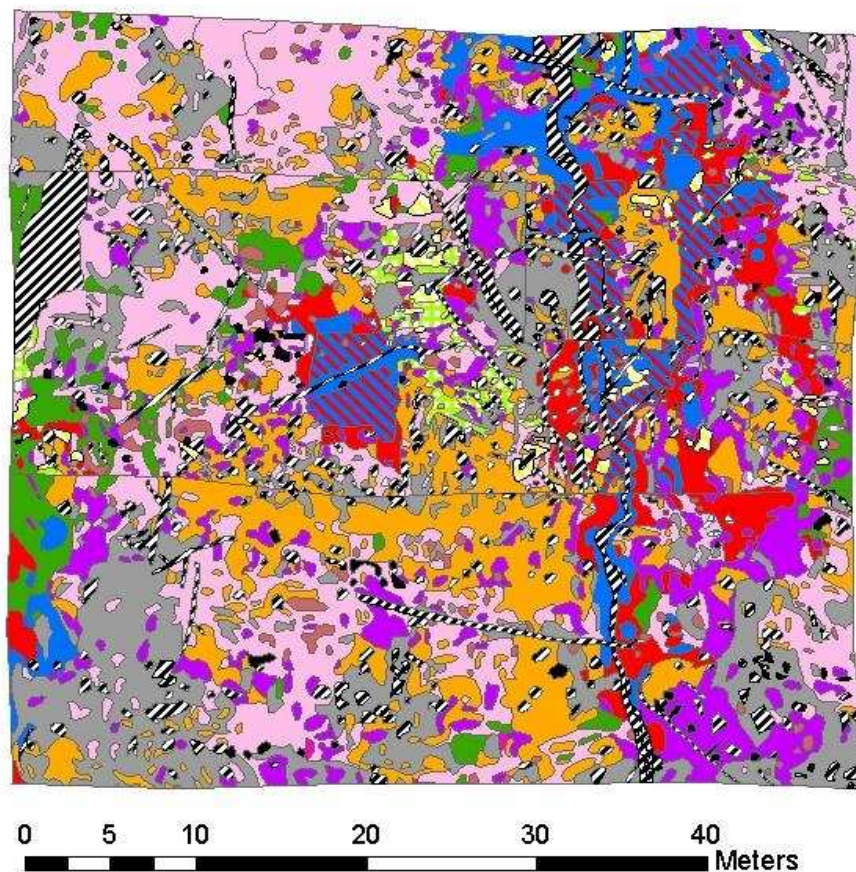
Hodnoty pokryvností jednotlivých kategorií pokryvu půdy jsou uvedeny v tab. 4. Kompletní mapa vegetace dokončená v roce 2008 je znázorněna na obr. 10. Hodnoty pokryvností jednotlivých kategorií půdního pokryvu nebyly pro sektory zmapované v roce 2008 (tj. sektory A1 – E2) dopočítány.

Tab. 4: Pokryvnost vegetace, Modrý důl – 2005: sektory A4 – E5, 2007: sektory A3 – E3

Veg. druh	Pokryvnost (m ²)		
	2005 sektor A4 – E5	2007 (sektor A3 – E3)	CELKEM
VAC	68,16	75,53	143,69
CAL	47,08	29,81	76,89
AVE	218,59	62,68	281,27
MECHY	171,36	49,00	220,36
OPAD	234,61	45,47	280,08
ATH	----	14,36	14,36
SPH	----	16,44	16,44
OSTAT. ABIOT	74,40	59,17	133,57
OSTAT. DRUHY	122,25	106,46	228,71
CELKEM	936,45	458,92	1395,37

Vysvětlivky zkratk z tab. 4 jsou uvedeny pod tab. 3.

Modrý důl 2008



Legend

1 VAC	8 RUZNE	14 GEN	40 DES+SPH
2 CAL	9 ATH	15 LUZ	
3 AVE	10 SPH	16 DRY	
4 MECH	11 DES	17 SEN	
	13 OXA	20 BLE	
		33 HOM	

Vysvětlivky zkratk: VAC – *Vaccinium myrtillus* (brusnice borůvka), CAL – *Calamagrostis villosa* (třtina chloupkatá), AVE – *Avenella flexuosa* (metlička křivolaká), ATH – *Athyrium distentifolium* (papratka horská), SPH – *Sphagnum* sp. (rašeliník sp.), DES – *Deschampsia caespitosa* (metlice trsnatá), GEN – *Gentiana asclepiadea* (hořec tolitovitý), DRY – *Dryopteris carthusiana* (kaprad' osténkatá), VER – *Veratrum album* (kýchavice bílá), HOM – *Homogyne alpina* (podbělice alpská), OXA – *Oxalis acetosella* (šťavel kyselý), LUZ – *Luzula luzuloides* (bika hajní), SEN – *Seneci fuchsii* (starček fuchsův), BLE – *Blechnum spicant* (žebrovice různolistá)

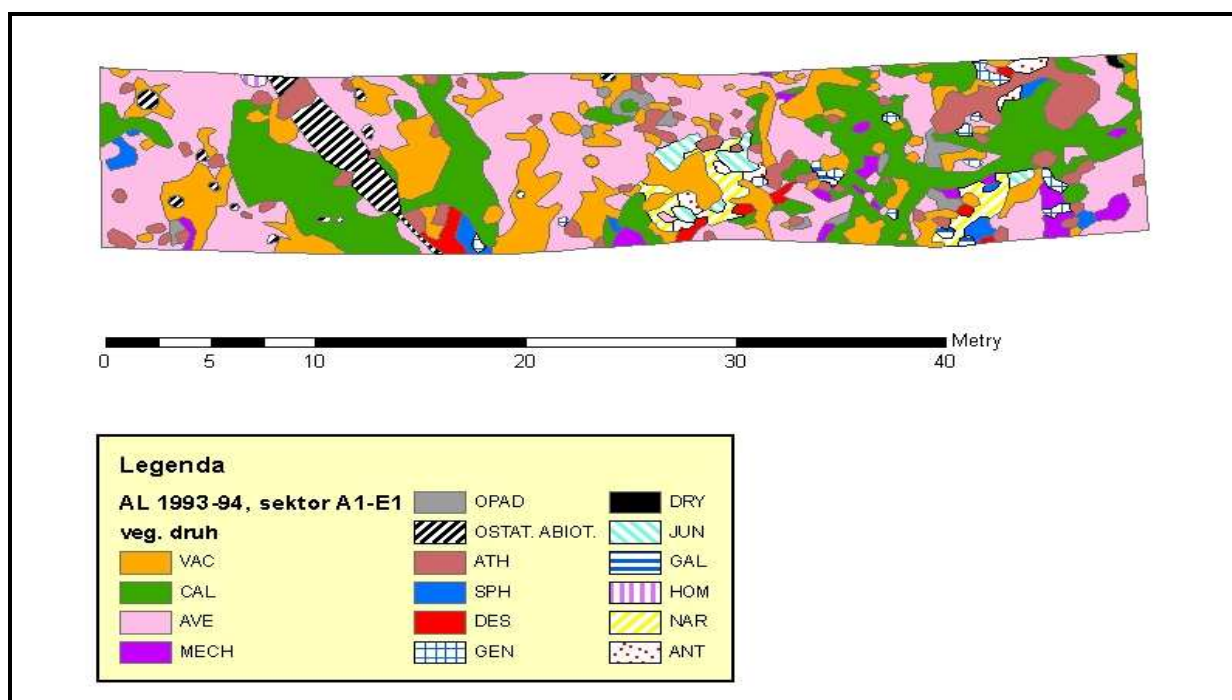
Obr. 10: Kompletní mapa vegetačního pokryvu na TVP Modrý důl z r. 2008

4.2 Srovnání současného stavu se stavem v roce 1993-1994

Zpracováním map (digitalizací) v programu Arc Gis 9.0 a statistickým vyhodnocením v programu Canoco 4.5 byly statisticky prokázány významné změny v pokryvnosti hodnocených druhů přizemní vegetace a ostatních kategorií pokryvu půdy v období 1993-1994 a 2005-2007 na TVP Modrý důl i Alžbětinka.

4.2.1 Alžbětinka

Hodnocení změn v pokryvnosti druhů přizemní vegetace a ostatních sledovaných kategorií pokryvu půdy (mechy, smrkový opad, ostatní abiotické složky) bylo provedeno pro období 1993-1994 a 2007. Na obr. 11 je patrný původní stav vegetace z let 1993-1994.



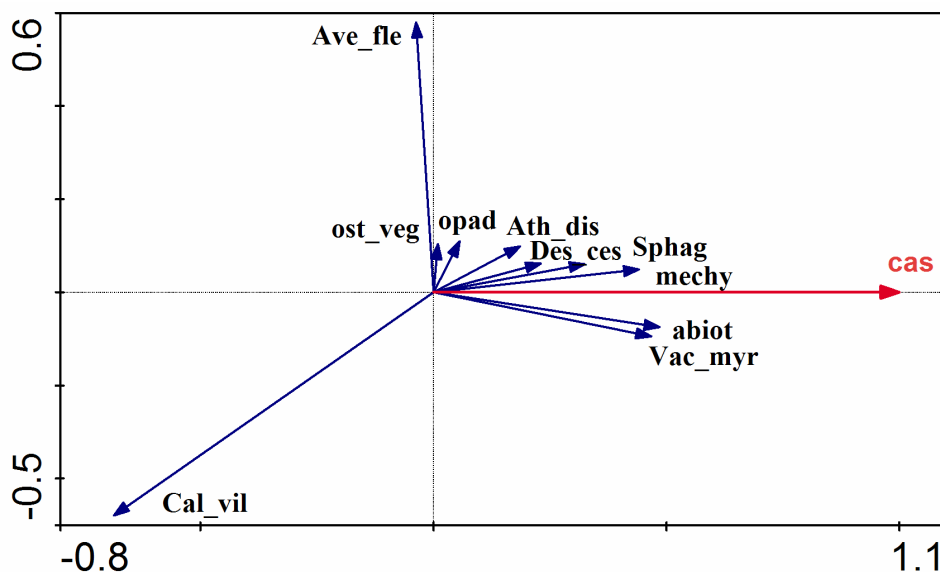
Vysvětlivky zkratk: DES – *Deschampsia caespitosa* (metlice trsnatá), GEN – *Gentiana asclepiadea* (hořec tolitovitý), LUZ – *Luzula luzuloides* (bika hajní), DRY – *Dryopteris carthusiana* (kaprad' osténkatá), HOM – *Homogyne alpina* (podbělice alpská). NAR – *Nardus stricta* (smilka tuhá), JUN – *Juncus filiformis* (sítina nitkovitá), GAL – *Galium saxatile* (svízel horský), ANT – *Anthoxanthum alpinum* (tomka alpská). Ostatní zkratky jsou uvedeny pod tab. 3.

Obr. 11: Vegetační mapa, Alžbětinka 1993-1994: výsek sektorů A1 – E1 z kompletní vegetační mapy.

Nejvýraznější pokles pokryvnosti mezi lety 1993-1994 a 2007 byl zaznamenán u druhu třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*) (z 571 na 23,5 m²), největší nárůst naopak u druhu brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*) (z 552 na více než 836 m²). Znatelné zvýšení pokryvnosti bylo zjištěno u druhu papratka horská (*Athyrium distentifolium*) (o 61 m²) a u rašelínku (o 51 m²). Prakticky zanedbatelný pokles byl zaznamenán u druhu metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*). Kompletní hodnoty pokryvností jsou uvedené výše v tabulce 3.

Změny ve vegetačním pokryvu v tomto období byly na TVP Alžbětinka hodnoceny též pomocí mnohorozměrné statistiky. Po odečtení prostorové variability v přízemní vegetaci (použitím permutací v rámci bloků definovaných jednotlivými sektory) byly pomocí RDA analýzy pro dané období prokázány statisticky významné změny v pokryvnosti hodnocených druhů přízemní vegetace a ostatních kategorií pokryvu půdy ($p = 0,002$). Pomocí proměnné „čas“ bylo vysvětleno 24,5 % variability v pokryvnostech hodnocených kategorií.

Na obr. 12 je zobrazen výsledný biplot ze statistické analýzy, znázorňující závislost pokryvnosti jednotlivých druhů vegetace a ostatních kategorií pokryvu půdy na čase. Šipky, znázorňující jednotlivé kategorie pokryvu, které směřují přibližně stejným směrem jako proměnná „čas“, svědčí o nárůstu pokryvnosti. Naopak šipka směřující opačně značí ústup dané kategorie vegetace (popř. dalších kategorií pokryvu). Šipky přibližně kolmé značí malou závislost na vysvětlující proměnné. Podíl vysvětlené variability, tj. 24,2 %, určuje procentuální podíl variability v pokryvnostech hodnocených druhů vegetace a ostatních kategorií pokryvu půdy, kterou lze připsat vlivu testované vysvětlující proměnné, tedy proměnné „čas“.



Vysvětlivky zkratk: Ave_fle – *Avenella flexuosa* (metlička křivolaká), ost_veg – ostatní vegetace, Cal_vil – *Calamagrostis villosa* (třtina chloupkatá), Ath_dis – *Athyrium distentifolium* (kaprad' osténkatá), Des_ces – *Deschampsia caespitosa* (metlice trsnatá), Sphag – *Sphagnum* sp. (rašeliník sp.), abiot – abiotické plochy, Vac_myrr – *Vaccinium myrtillus* (brusnice borůvka).

Obr. 12: Závislost pokryvnosti vybraných druhů přízemní vegetace a ostatních sledovaných kategorií pokryvu půdy na čase, hodnoceném jako vysvětlující proměnná. RDA analýza pro období 1993-1994 až 2007 ($F = 20,339$; $P = 0,002$; podíl vysvětlené variability = 24,2 %).

V tabulce 5 jsou znázorněny konkrétní změny ve vegetační pokryvu na TVP Alžbětinka, tj. vzájemné nahrazování jednotlivých kategorií půdního pokryvu. Z údajů v této tabulce lze vyčíst, které druhy vegetace či ostatní sledované kategorie pokryvu půdy, ustoupily a jakou kategorií byly nahrazeny (popř. které naopak expandovaly a jakou kategorií nahradily). Nejmarkantnější změny byly zaznamenány u třtiny chloupkaté (*Calamagrostis villosa*) a brusnice borůvky (*Vaccinium myrtillus*). U třtiny to byl výrazný ústup a její nahrazení dalšími kategoriemi pokryvu, u borůvky naopak expanze.

V největší míře byla třtina nahrazena metličkou křivolakou (*Avenella flexuosa*), a to na více než 241 m². Téměř na 147 m² byla nahrazena brusnicí borůvkou, na 63 m² papratkou horskou (*Athyrium distentifolium*). Původní pokryv z r. 1993-1994 setrval pouze na necelých 7 m².

Brusnice borůvka expandovala převážně na plochu pokrytou původně metličkou křivolakou. Tu nahradila na více než 326 m² její původní pokryvnosti. Na téměř 147 m² borůvka

nahradila třtinou chloupkatou. Brusnice borůvka setrvala na více než 275 m² z původní pokryvnosti z let 1993-1994.

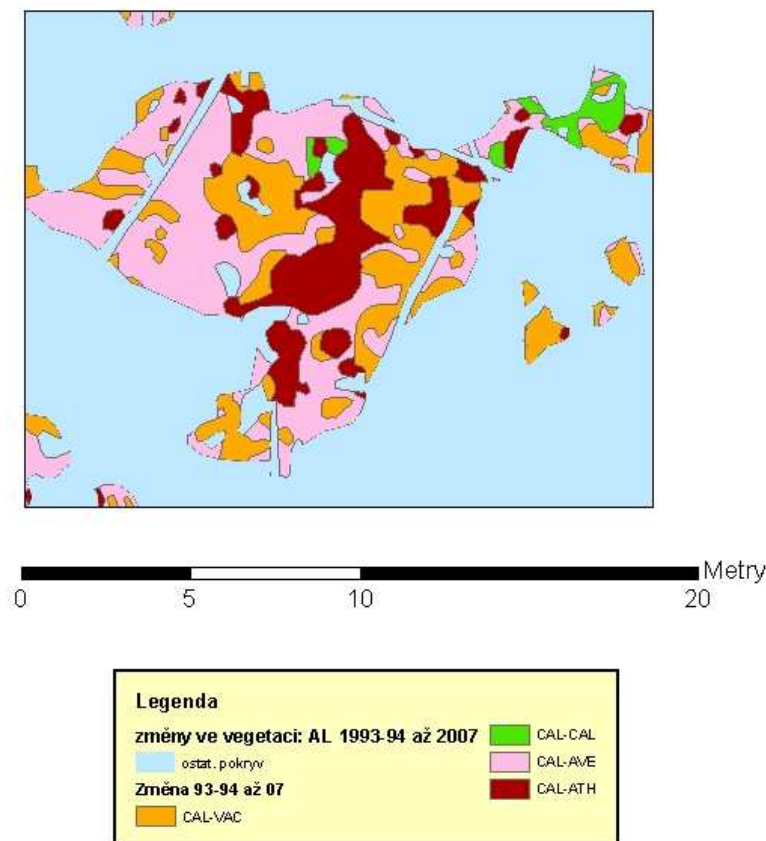
Celková pokryvnost metličky křivolaké se téměř nezměnila (viz tab. 3). Tab. 5 ale ukazuje, že setrvala jen zhruba na polovině své původní pokryvnosti. Na 326 m² ustoupila a byla nahrazena brusnicí borůvkou. Naopak metlička expandovala na plochu původně porostlou třtinou, která výrazně ustoupila.

Tab. č. 5: Vegetační změny na TVP Alžbětinka mezi roky 1993-1994 a 2007

	VAC 93-94	CAL 93-94	AVE 93-94	MECHY 93-94	OPAD 93-94	OSTAT. ABIOT. 93-94	ATH 93-94	SPH 93- 94	DES 93- 94	OSTAT. VEG. 93-94	CELKEM
VAC 07	275,41	146,87	326,08	6,23	27,34	12,75	19,74	1,28	2,17	17,57	835,44
CAL 07	2,46	6,85	3,97	1,13	6,24	2,79	1,42	1,23	0,19	2,83	23,09
AVE 07	158,01	241,41	444,71	6,71	14,40	8,97	31,36	2,46	1,70	2,88	912,61
MECHY 07	22,86	19,79	18,13	6,00	3,21	0,52	2,93	3,64	3,45	1,56	82,07
OPAD 07	25,41	7,60	17,47	1,04	10,48	1,13	3,07	0,19	0,19	0,09	66,61
OSTAT. ABIOT. 07	29,61	25,88	39,39	6,43	4,11	17,24	3,16	0,05	0,76	0,66	121,27
ATH 07	16,20	62,71	38,35	1,51	1,09	2,31	54,87	3,83	1,46	5,90	188,24
SPH 07	10,72	26,87	19,65	0,24	0,05	3,21	5,24	4,25	2,46	2,08	74,75
DES 07	5,95	15,92	18,98	0,52	0,24	0,52	1,56	5,86	9,45	4,63	63,61
OSTAT. VEG. 07	4,39	16,25	8,93	0,05	0,00	0,19	4,30	1,42	5,38	6,94	47,84
CELKEM	551,01	570,14	935,65	23,85	61,15	49,63	127,65	24,18	27,20	45,14	2415,60

Tabulka č. 5 vysvětluje, jak se jednotlivé kategorie pokryvu vzájemně nahradily v průběhu let 1993-1994 až 2007. Pro příklad průnik AVE 93-94 a VAC 07 znamená, že metlička křivolaká byla nahrazena na více než 326 m² své původní pokryvnosti brusnicí borůvkou. Vysvětlivky zkratk z tab. 5 jsou uvedeny pod tab. 3.

Grafické znázornění ústupu třtiny chloupkaté a její nahrazení jinými druhy vegetace je jako příklad zobrazeno ve výseku vegetační mapy na obr. 13. Plocha vybarvená různými barvami (kromě světle modré) na ukázce nahrazení třtiny chloupkaté představuje její původní pokryv z období 1993-1994. Jednotlivé barvy, popsané v legendě příslušející obrázku, představují druhy vegetace, kterými byla třtina nahrazena.



Obr. č. 13: Ústup třtiny chloupkaté (*Calamagrostis villosa*) a její nahrazení další vegetací (výsek ze syntetické mapy ukazující změny vegetace na TVP Alžbětinka v období 1993-1994 až 2007). Vysvětlivky zkratk jsou uvedeny pod tab. 3.

4.2.2 Modrý důl

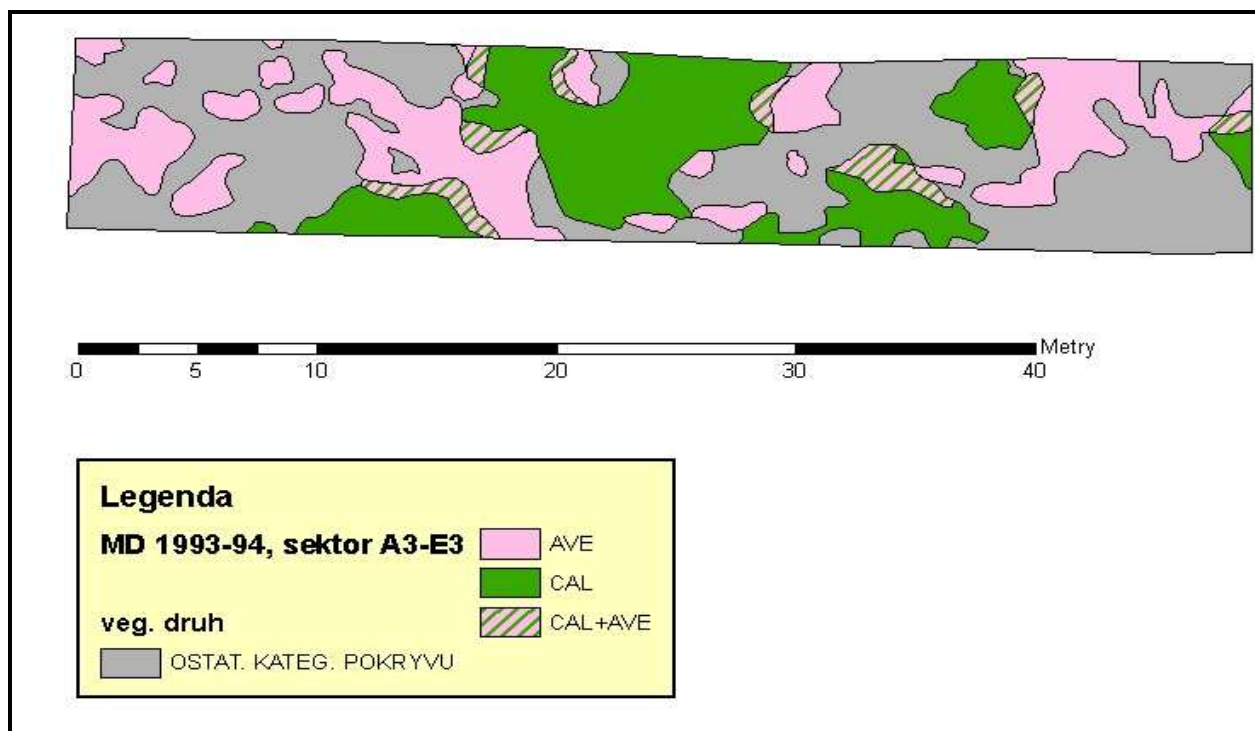
Při původním mapování z let 1993-1994 byly brány v potaz pouze dominantní druhy trav metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), jejich kombinace a ostatní kategorie pokryvu. V tabulce 6 jsou uvedeny hodnoty pokryvností jednotlivých kategorií z let 1993-1994. Výsek z vegetační mapy z tohoto období je znázorněn na obr. 14. V roce 2005 byly zmapovány horní sektory A4 – E5 metodou odhadu dominantního a subdominantního druhu vegetace v plochách 20 x 20 cm. V roce 2007 byly zmapovány sektory A3 – E3 stejnou metodou jako na TVP Alžbětinka. V roce 2008 bylo následně dokončeno

mapování zbylých sektorů (tj. A1 – E2). Výsledné hodnoty pokryvností z mapování z let 2005 a 2007 jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 6: Pokryvnost vegetace na TVP Modrý důl v letech 1993-1994 (sektory A3 – E5).

Kategorie pokryvu	Pokryvnost (m ²)
OSTAT. KATEG. POKRYVU	726,64
AVE	453,97
CAL	131,64
AVE + CAL	61,20
CELKEM	1373,45

Vysvětlivky zkratk z tab. 6 jsou uvedeny pod tab. 3.



Obr. č. 14: Mapa dominantních druhů trav, třtiny chloupkaté (*Calamagrostis villosa*) a metličky křivolaké (*Avenella flexuosa*), Modrý důl 1993-1994 – výsek sektorů A3 – E3. Vysvětlivky zkratk specifických pro obr. č. 14 jsou uvedeny pod tab. č. 3.

Tab. č. 7: Pokryvnost vegetace na TVP Modrý důl v obdobích 1993-1994 a 2005-2007 (sektory A3 – E5).

Veg. druh	Pokryvnost (m ²) 1993-94	Pokryvnost (m ²) 2005		Pokryvnost (m ²) 2007		Pokryvnost (m ²) 2005 + 2007 Celkem
		dominantní	subdominantní	dominantní	subdominantní	
CAL	192,84	47,08	13,35	29,81	17,6	107,84
AVE	515,17	218,59	51,87	62,68	15,04	348,18

Vysvětlivky zkratk z tab. 7 jsou uvedeny pod tab. 3.

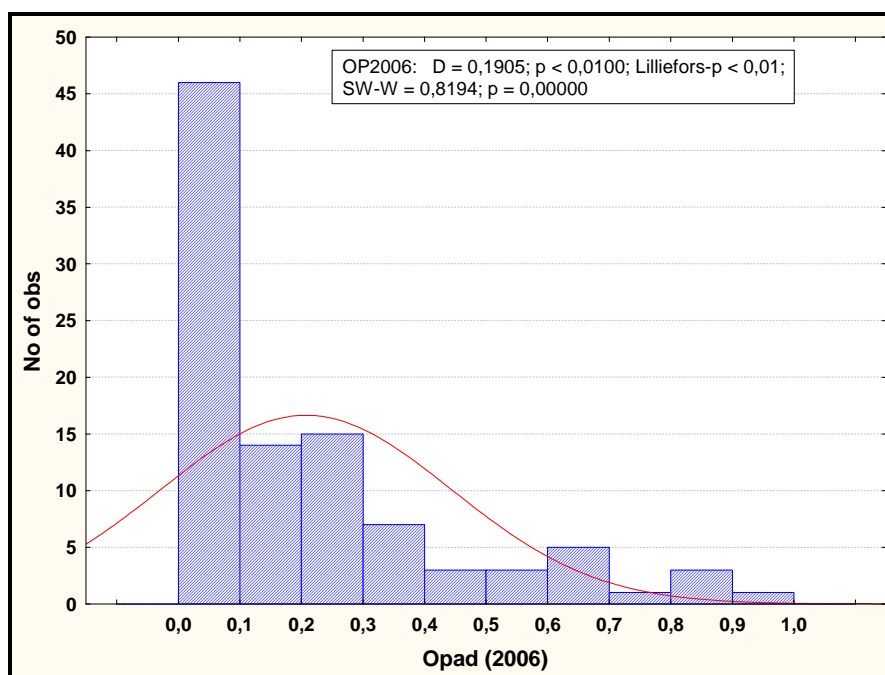
V tab. č. 7 jsou znázorněny hodnoty pokryvností metličky křivolaké (*Avenella flexuosa*) a třtiny chloupkaté (*Calamagrostis villosa*) v letech 1993–1994 a 2005-2007. K hodnotám pro rok 1993-1994 byla kvůli vyhodnocení shodně pro metličku i třtinu připočtena pokryvnost, kterou zaujímaly obě společně, tj. 61,20 m² (viz tab. 6). Z metody z roku 2005 byly pro porovnání použity hodnoty pokryvností odpovídající metličce křivolaké a třtině chloupkaté (z mapovaných sektorů A4 – E5). Tyto hodnoty byly ve výsledném srovnání s původním stavem v r. 1993-1994 přičteny k hodnotám pokryvností z roku 2007 (z mapovaných sektorů A3 – E3), viz tab. 7.

Stejně tak jako na TVP Alžbětinka byl i na TVP Modrý důl zaznamenán pokles pokryvnosti třtiny chloupkaté, a to z téměř 193 m² na necelých 108 m². Ústup není ale tak znatelný jako na Alžbětině. U metličky křivolaké byl vývoj na TVP Alžbětinka zanedbatelný. Na TVP Modrý důl tomu bylo naopak. Pokryvnost zde relativně výrazně poklesla, a to z 515 m² na 348 m². Vzájemné nahrazování jednotlivých kategorií pokryvu nebylo na TVP Modrý důl hodnoceno.

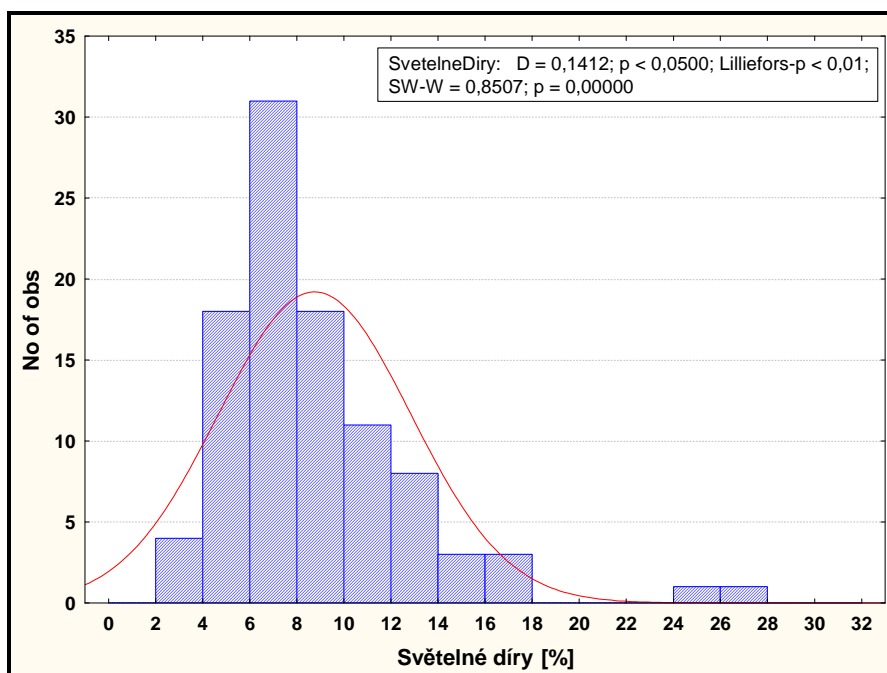
4.3 Vliv procentického podílu světelných děr na přízemní vegetaci

Jednou z hlavních kategorií půdního pokryvu v horských lesích je smrkový opad. První analýza byla tedy věnována zhodnocení vztahu mezi pokryvností opadu a procentuálním podílem světelných děr v jednotlivých metrových čtvercích. Pro výpočet pokryvnosti opadu byly použity vegetační mapy jednotlivých čtverců z roku 2006. Pomocí Shapiro-Wilk testu normality bylo zjištěno, že hodnocené proměnné, tj. pokryvnost opadu a procentuální podíl světelných děr, nemají normální rozdělení. Na obr. 15 a 16 jsou znázorněny histogramy těchto proměnných. Pomocí neparametrického testu založeného na výpočtu Spearmanova korelačního koeficientu se

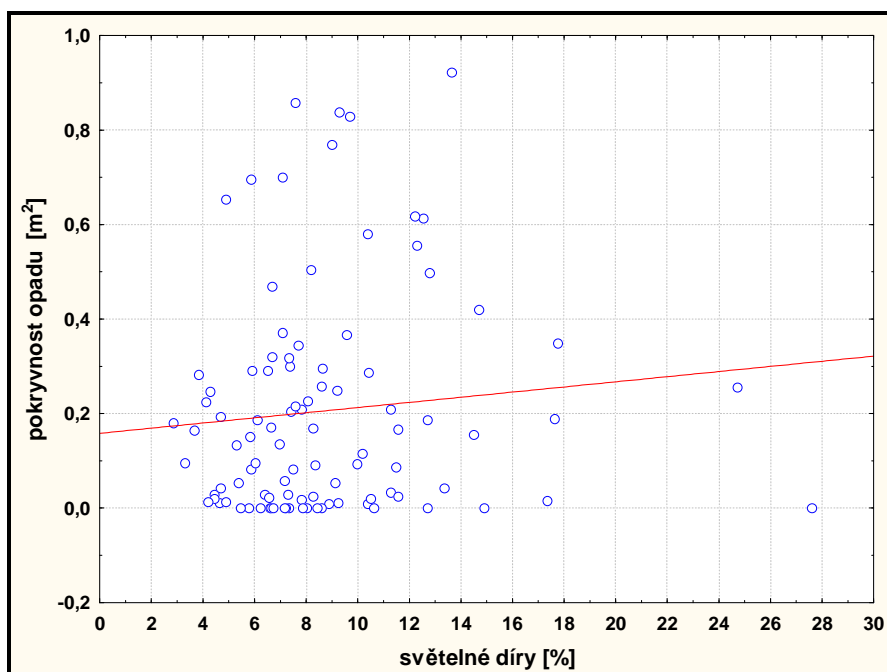
nepodařilo prokázat statisticky významnou korelaci mezi pokryvností opadu a procentuálním podílem světelných děr ve čtvercích (Spearman $R = 0,1187$; $t(96) = 1,1709$; $p = 0,244539$). Graf znázorňující vztah mezi hodnocenými proměnnými viz obr. 17.



Obr. 15: Histogram pokryvnosti opadu v jednotlivých metrových čtvercích zaznamenané v roce 2006. Poznámka: osa x – pokryvnost opadu ve čtverci v m^2 , osa y – četnost výskytu.



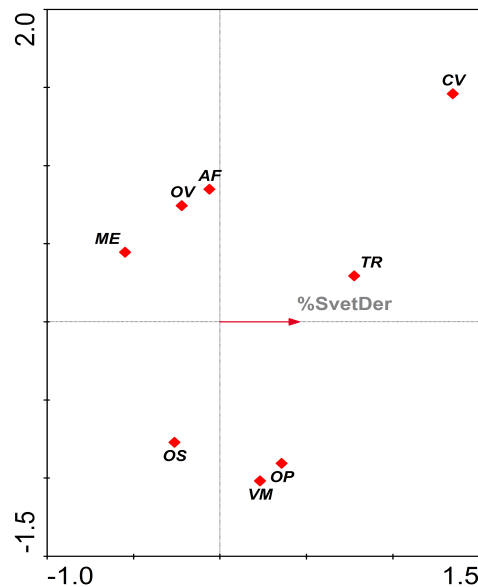
Obr. 16: Histogram procentuálního podílu světelných děr zaznamenaného v jednotlivých metrových čtvercích v roce 2009.
 Poznámka: osa x – procentuální podíl světelných děr, osa y – četnost výskytu.



Obr. 17: Graf znázorňující vztah mezi pokryvností opadu a procentuálním podílem světelných děr ve čtvercích.
 Poznámka: osa x – procentuální podíl světelných děr ve čtvercích, osa y – pokryvnost opadu v m².

Kromě smrkového opadu byla souhrnně zkoumána také závislost pokryvnosti všech osmi základních typů mikrostanovišť na procentuálním podílu světelných děr. Pro tuto analýzu byla opět použita data z mapování vegetace z roku 2006. Pomocí CCA analýzy byl odhalen statisticky významný vliv procentuálního podílu světelných děr na pokryvnost osmi hodnocených základních typů mikrostanovišť ($F = 2,115$; $p = 0,0300$). Pomocí této závislosti bylo vysvětleno 2,2 % variability v závislých proměnných. Výsledný biplot vzešlý z CCA analýzy, který ukazuje vztah mezi pokryvností jednotlivých typů mikrostanovišť a procentuálním podílem světelných děr, je zobrazen níže na obrázku 18.

Dle závislosti výskytu jednotlivých kategorií pokryvu na procentuálním podílu světelných děr (pro rok 2006) je lze seřadit sestupně takto: třtina chloupkatá (CV) > trouch (TR) > opad (OP) \geq brusnice borůvka (VM) \geq metlička křivolaká (AF) \geq ostatní vegetace (OV) > mechy (ME). Lze tak říci, že třtina chloupkatá se vyskytuje častěji ve čtvercích s větším podílem světelných děr než trouch atd.



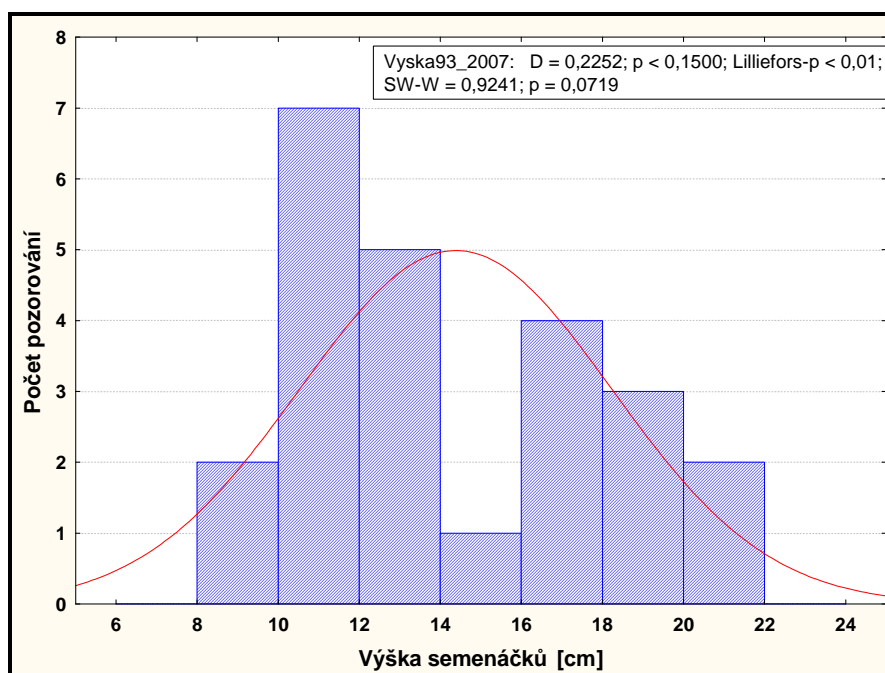
Poznámky: OV – ostatní kategorie vegetace, CV – *Calamagrostis villosa* (třtina chloupkatá), TR – trouch, ME – mechy, AF – *Avenella flexuosa* (metlička křivolaká), OP – smrkový opad, VM – *Vaccinium myrtillus* (brusnice borůvka), OS – ostatní plochy.

Obr. 18: Výsledný biplot z analýzy CCA – závislost pokryvnosti základních typů mikrostanovišť na procentuálním podílu světelných děr; závislost statisticky průkazná ($p = 0,0300$), vysvětleno 2,2 % variability v závislých proměnných.

4.4 Vliv procentického podílu světelných děr na přirozenou obnovu smrku ztepilého

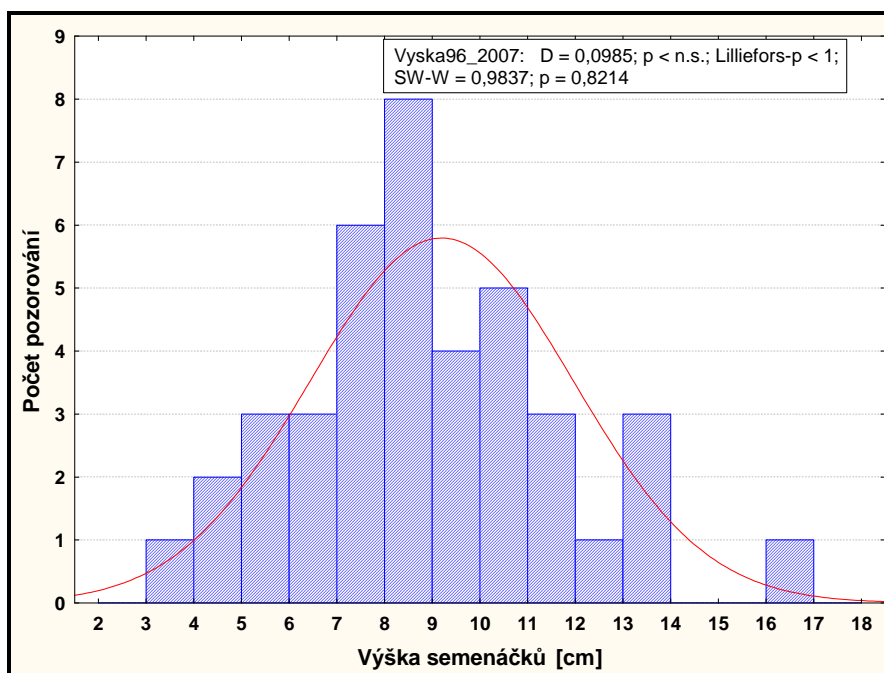
Hodnoty procentuálního zastoupení světelných děr, zjištěné pomocí obrazové analýzy snímků slunečního kompasu, byly dány do souvislosti s daty získanými při výzkumu přirozené obnovy smrku ztepilého (Vávrová, 2009).

Byl vyhodnocen vliv procentuálního podílu světelných děr v jednotlivých metrových čtvercích na výšku smrkových semenáčků. Hodnoceny byly dvanácti- a patnáctileté semenáčky, tj. semenáčky vzešlé v letech 1993 a 1996 (jejich měření bylo provedeno v roce 2007). Z výsledků Shapiro-Wilkova testu normality vyplynulo, že rozdělení výšky patnáctiletých i dvanáctiletých semenáčků lze považovat za normální ($p = 0,0719$ resp. $p = 0,8214$). Na obrázcích 19 a 20 jsou znázorněny histogramy těchto proměnných.



Obr. 19: Histogram výšek patnáctiletých semenáčků zaznamenaných v metrových čtvercích v roce 2007 a výsledek Shapiro-Wilkova testu normality ($p = 0,0719$).

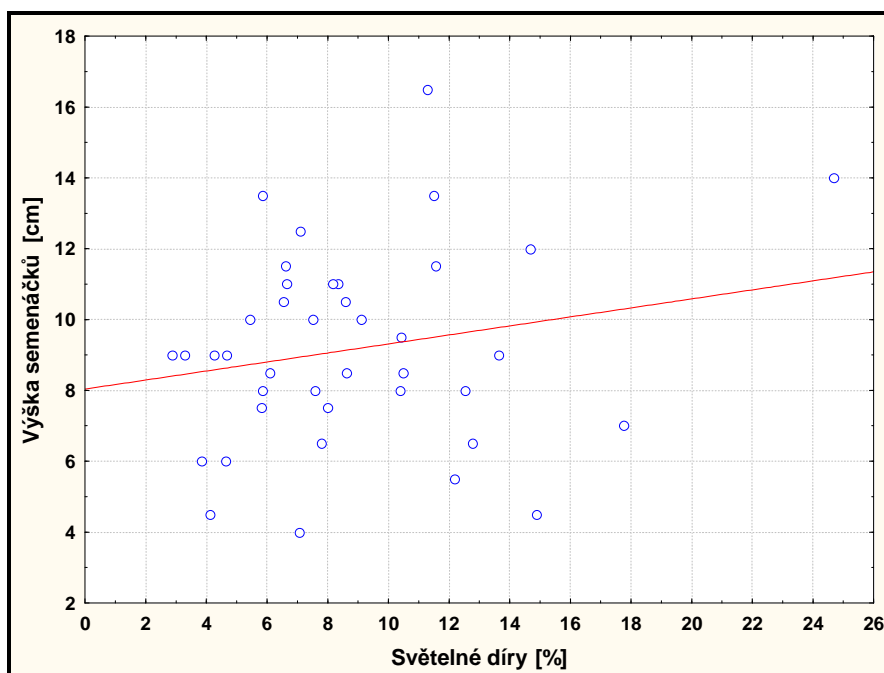
Poznámka: osa x – výška semenáčků v cm, osa y – četnost výskytu.



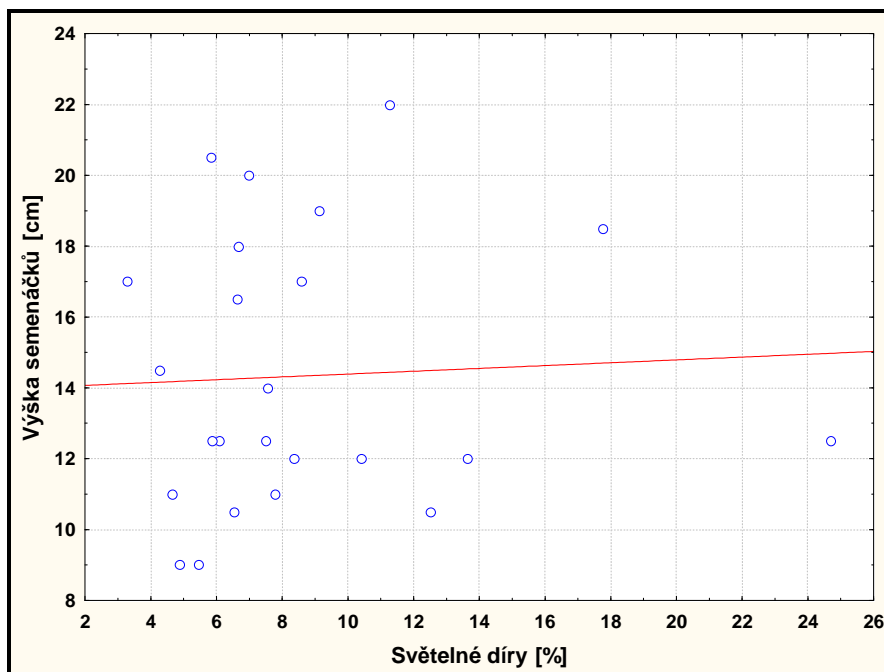
Obr. 20: Histogram výšek dvanáctiletých semenáčků zaznamenaných v metrových čtvercích v roce 2007 a výsledek Shapiro-Wilkova testu normality ($p = 0,8214$).

Poznámka: osa x – výška semenáčků v cm, osa y – četnost výskytu.

Pomocí regresní analýzy byla zjišťována závislost průměrné výšky semenáčků v metrových čtvercích na procentuálním podílu světelných děr. Do analýzy dvanáctiletých semenáčků vstupovaly hodnoty (naměřené výšky semenáčků) ze 40 čtverců. Do analýzy patnáctiletých semenáčků vstupovaly hodnoty z 24 čtverců. V ostatních čtvercích se semenáčky daného stáří nevyskytovaly. Statisticky významnou závislost se nepodařilo prokázat ani u dvanáctiletých ($R = 0,2008$; $F = 1,5961$; $p = 0,2142$), ani u patnáctiletých ($R = 0,0494$; $F = 0,0539$; $p = 0,8185$) semenáčků. Výsledky z regresní analýzy byly vizualizovány formou bodových grafů, viz obr. 21 a 22. Určitá závislost je z obr. 21 patrná pro semenáčky vzešlé v roce 1996, ale statisticky není průkazná.

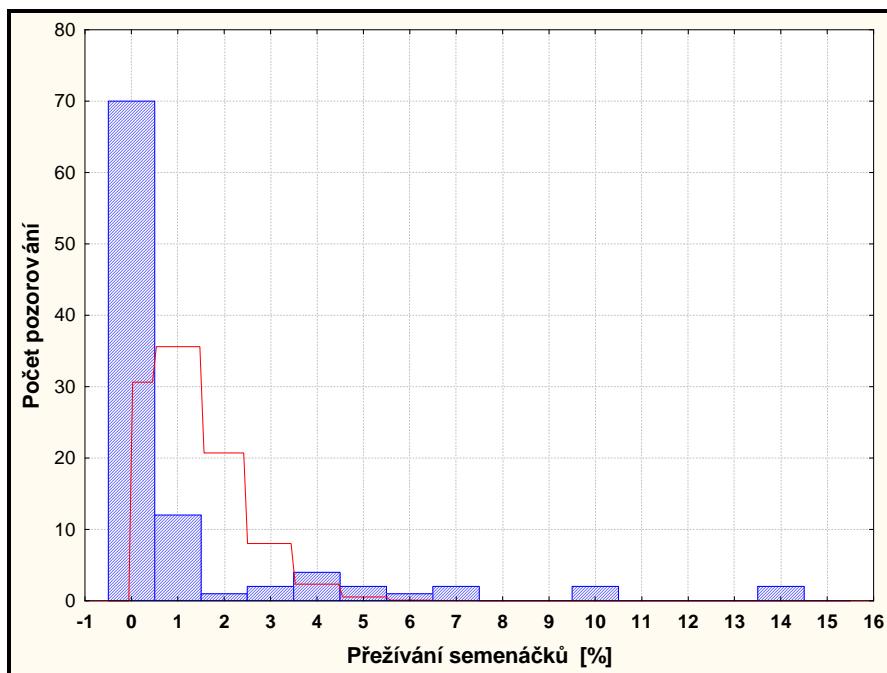


Obr. 21: Bodový graf – vizualizace závislosti výšky dvanáctiletých semenáčků na procentu světelných děr v metrových čtvercích.
 Poznámka: osa x – plocha osvětleného povrchu čtverce v %, osa y – výška semenáčků v cm.



Obr. 22: Bodový graf – vizualizace závislosti výšky patnáctiletých semenáčků na procentu světelných děr v metrových čtvercích.
 Poznámka: osa x – plocha osvětleného povrchu čtverce v %, osa y – výška semenáčků v cm.

Další zkoumanou charakteristikou přirozené obnovy smrku bylo přežívání semenáčků. V prvním případě byla hodnocena závislost přežívání semenáčků vzešlých v roce 1996 do roku 2008 na procentuálním podílu světelných děr. Jelikož se v tomto případě vyskytovalo hodně čtverců, kde nepřežily žádné semenáčky, je předpoklad, že rozdělení přežívání semenáčků není normální a bude se blížit spíše Poissonovu rozdělení. Histogram vysvětlované proměnné je ukázán na obr. 23. Pro následný výpočet závislosti přežívání semenáčků na procentuálním podílu světelných děr byl použit Zobecněný lineární model s Poissonovým rozdělením a Log link funkcí (viz tab. 8). S tímto modelem vyšla závislost statisticky průkazná ($W = 4,1431$; $p = 0,0418$). Ze záporného odhadovaného regresního koeficientu vyplývá, že se vzrůstajícím procentem světelných děr ve čtvercích klesá úspěšnost přežívání semenáčků. Analyzovaná závislost je vizualizovaná také formou bodového grafu na obr. 24.

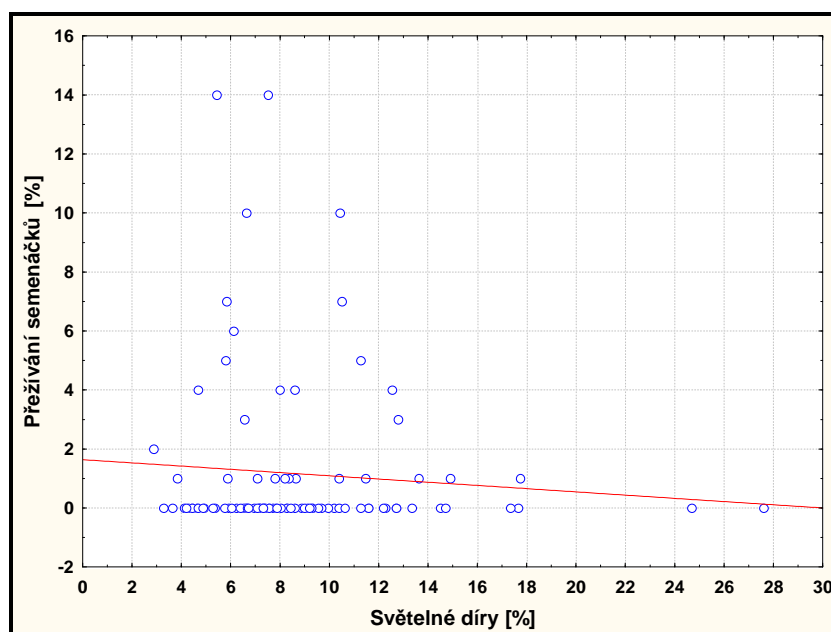


Obr. č. 23: Histogram přežívání semenáčků (vzešlých v roce 1996) mezi roky 1996 a 2008 s proložením Poissonova rozdělení.

Poznámka: osa x – procentuální podíl přeživších semenáčků, osa y – četnost výskytu.

Tab. 8: Výsledek Zobecněného lineárního modelu závislosti přežívání semenáčků na procentu světelných děr (použito Poissonovo rozdělení závislé proměnné a Log link funkce).

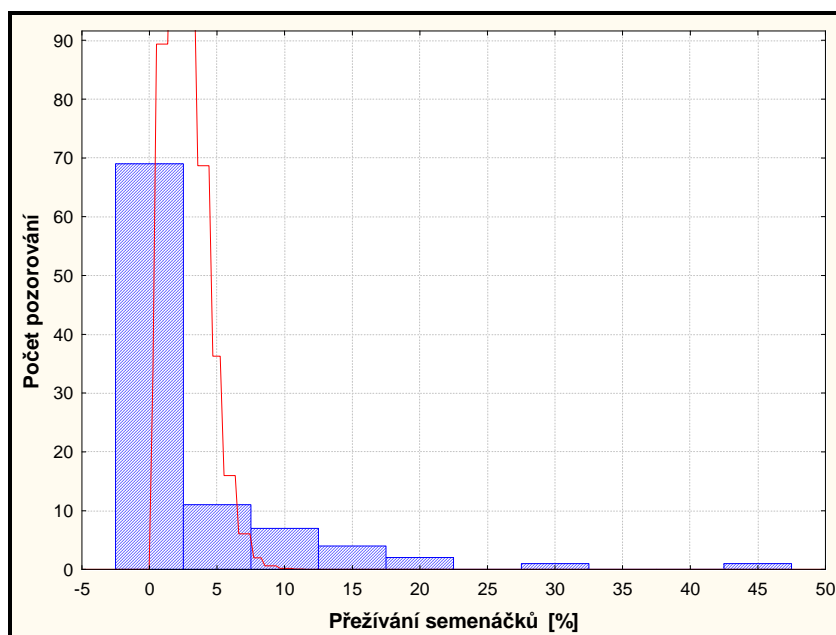
PrezSem96_08_96 - Parameter estimates						
Distribution : POISSON						
Link function: LOG						
Effect	Level of Effect	Column	Estimate	Standard Error	Wald Stat.	p
Intercept		1	0,626463	0,242193	6,690659	0,009692
SvetelDiry		2	-0,057278	0,028140	4,143125	0,041804
Scale			1,000000	0,000000		



Obr. 24: Bodový graf – vizualizace závislosti přežívání semenáčků v období mezi roky 1996 a 2008 na procentuálním podílu světelných děr v metrových čtvercích.
Poznámka: osa x – procentuální podíl světelných děr, osa y – procentuální podíl přeživších semenáčků.

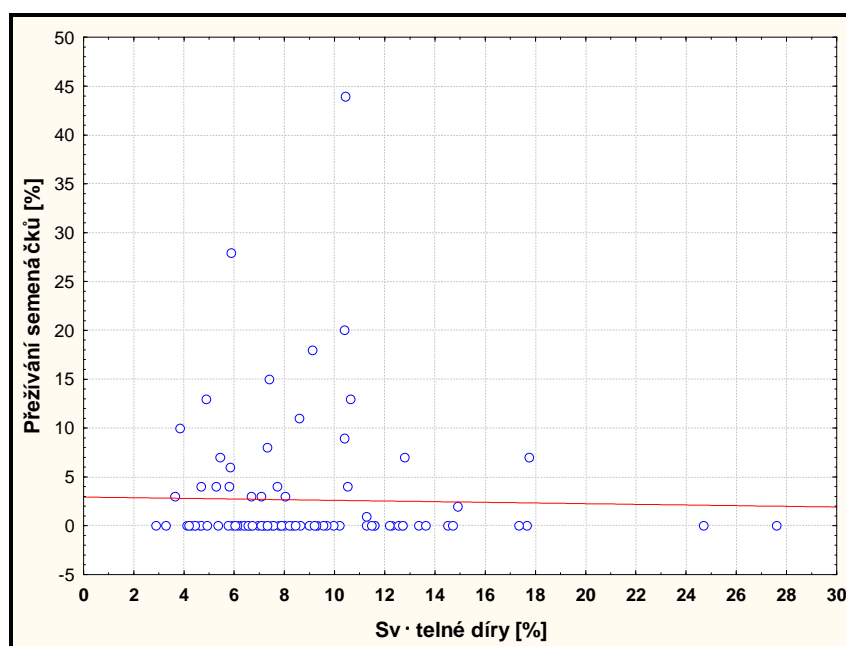
Hodnocení přežívání semenáčků v závislosti na procentuálním podílu světelných děr mělo být provedeno také pro semenáčky vzešlé v roce 2001 a přežívající v období mezi lety 2001 a 2008. Na konci daného období se však na TVP vyskytovalo pouze 6 čtverců se semenáčky vzešlými v roce 2001, proto nebylo možné statistickou analýzu provést.

Poslední hodnocenou charakteristikou bylo přežívání semenáčků vzešlých v roce 2004 v období mezi roky 2004 a 2008. Histogram této proměnné je na obr. 25. Na následujícím obr. 26 je vizualizována závislost přežívání těchto semenáčků na procentuálním podílu světelných děr formou bodového grafu. Z daného grafu není žádná lineární závislost patrná.



Obr. 25: Histogram přežívání semenáčků (vzešlých v roce 2004) mezi roky 2004 a 2008 s proložením Poissonova rozdělení.

Poznámka: osa x – procentuální podíl přeživších semenáčků, osa y – četnost výskytu.



Obr. 26: Bodový graf znázorňující závislost přežívání semenáčků (vzešlých v roce 2004) mezi roky 2004 a 2008 na procentuálním podílu světelných děr zaznamenaném v roce 2009.

Poznámka: osa x – procentuální podíl světelných děr, osa y – přežívání semenáčků v %.

Pro závislost přežívání semenáčků na procentu světelných děr ve čtvercích mezi roky 2004 a 2008 byl spočítán opět Zobecněný lineární model s Poissonovým rozdělením a Log link funkcí. S tímto modelem vyšla závislost neprůkazná ($W = 0,6981$; $p = 0,4034$). Vzájemný vztah mezi těmito dvěma proměnnými byl zhodnocen též pomocí neparametrického testu založeného na výpočtu Spearmanova korelačního koeficientu. Ani v tomto případě se statisticky významný vztah nepodařilo prokázat (Spearman $R = -0,0297$; $p = 0,7749$).

5. Diskuze

5.1 Zhodnocení vývoje vegetace

5.1.1 Alžbětinka

Současný stav

Výstupem terénního šetření na TVP Alžbětinka je podrobná mapa vegetačního pokryvu celé TVP, tj. 2500 m². V současnosti svou pokryvností dominuje metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), která zaujímá plochu téměř 915 m² (tj. skoro 38 % plochy). Na druhém místě je s 836 m² brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), která pokrývá 34,5 % mapované plochy. Třetím nejrozšířenějším druhem je papratka horská (*Athyrium distentifolium*), která pokrývá kolem 188 m² (7,77 %). S takřka shodnou pokryvností následují mechy a rašeliník, které zaujímají plochu kolem 80 m². Podobné plochy, přes 110 m², pokrývají ostatní méně důležité druhy a zbylé, převážně abiotické složky pokryvu, mezi které patří kameny, mrtvé dřevo, průměty kmenů živých stromů, vodní plochy atd. Mezi ostatní vegetační druhy byly zařazeny druhy s procentuálním zastoupením pod 2 %. Jsou jimi především metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*), kýchavice bílá (*Veratrum album*), suchopýr pochvatý (*Eriophorum vaginatum*), bika hajní (*Luzula luzuloides*) a další. Relativně malou plochu, necelých 68 m², pokrývá opad, který poskytuje dostupnou plochu pro další expanzi vegetace.

Srovnání se stavem v letech 1993-1994

Vyhodnocení výsledné vegetační mapy, tj. její digitalizace pomocí programu ArcGis 9.0, statistické vyhodnocení v programu Canoco 4.5 a srovnání výsledků s původním stavem vegetace v období 1993-1994 potvrdily významné změny ve vegetačním pokryvu v obdobích mezi lety 1993-1994 a 2007.

Nejmarkantnější změny byly zaznamenány u třtiny chloupkaté, a to snížení její pokryvnosti o více než 95 %. Největší nárůst byl naopak zaznamenán u brusnice borůvky, a to přibližně o jednu třetinu jejího původního pokryvu. Znatelné zvýšení pokryvnosti bylo zjištěno u papratty horské a u rašeliníku. Takřka žádné změny nebyly pozorovány u metličky křivolaké.

Jedním z výstupů programu ArcGis 9.0 je i křížová tabulka (tab. 5 v kap. 4.2.1), která popisuje změny ve vegetaci, způsobené vytlačováním a nahrazováním se jednotlivými kategoriemi pokryvu navzájem. Nejvýraznější změny byly takto zaznamenány u třtiny chloupkaté (výrazný ústup) a brusnice borůvky (expanze).

Třtina byla nahrazena převážně metličkou křivolakou, a to téměř na polovině své původní pokryvnosti. Na jedné čtvrtině byla nahrazena brusnicí borůvkou, na více než jedné desetině své původní pokryvnosti byla nahrazena paprattou horskou. Původní pokryvnost z roku 1993-1994 si třtina zachovala jen přibližně na jednom procentu své současné pokryvnosti.

Brusnice borůvka expandovala převážně na plochu pokrytou původně metličkou křivolakou. Tu nahradila přibližně na jedné třetině její původní pokryvnosti. Na jedné čtvrtině nahradila borůvka třtinu chloupkatou. Na více než jedné třetině své pokryvnosti zaujímá borůvka původní plochu z let 1993-1994. Jedním z faktorů, zvyšujících pravděpodobnost převládnutí brusnice borůvky nad metličkou křivolakou při jejich vzájemné kompetici by mohla být větší náchylnost metličky křivolaké k suchu. Kořeny metličky křivolaké jsou soustředěny převážně ve svrchní humusové vrstvě půdy, zatímco kořeny brusnice borůvky dosahují v půdním profilu obvykle hlouběji až do svrchní minerální vrstvy (Rydgren et al., 1998). Dalším faktorem snižujícím kompetiční sílu metličky křivolaké oproti brusnici borůvce by mohl být nedostatek živin či prvků potřebných pro růst metličky, jenž by mohl být zapříčiněn dlouhodobějším využíváním určitých stanovišť (Pyšek, 1994). Tuto myšlenku by mohlo podpořit pozorované výrazné přemísťování metličky křivolaké v prostoru.

Je třeba zmínit, že pokryvnost metličky křivolaké se v průběhu času téměř nezměnila, setrvala ale jen na cca jedné polovině plochy, kterou původně zaujímala. Z druhé poloviny

plochy ustoupila a byla zde nahrazena brusnicí borůvkou. Naopak expandovala na téměř stejnou plochu, původně porostlou třtinou chloupkatou. Přesto lze říci, že se tento druh vyznačoval největší tolerancí k proměnlivým mikrostanovištním podmínkám v průběhu rozpadu smrkových porostů. Soukupová (1996) uvádí, že metlička křivolaká je v konečném stádiu rozpadu smrkového porostu schopna obsadit celou plochu, na rozdíl od třtiny chloupkaté, která je v období svého maximálního rozvoje schopna obsadit pouze dvě třetiny.

5.1.2 Modrý důl

Současný stav

V roce 2007 bylo stejnou metodou jako na TVP Alžbětinka zmapováno na TVP Modrý důl 5 sektorů o celkové ploše 500 m². V těchto sektorech převládá se svou pokryvností 75 m² brusnice borůvka a s pokryvností více než 62 m² následuje metlička křivolaká. Výraznou a takřka shodnou plochu 49 m² pokrývají mechy a opad. Kombinace ostatních méně významných druhů pokrývá přes 106 m², skoro 60 m² patří ostatním, převážně abiotickým kategoriím půdního pokryvu. V roce 2008 bylo mapování dokončeno i ve zbylých sektorech. Vznikla tak kompletní vegetační mapa celé TVP.

Srovnání se stavem v letech 1993-1994

Při prvním mapování na TVP Modrý důl v období 1993-1994 bylo použito odlišné metodiky, kdy byly zakresleny jen tehdy dominantní druhy trav, metlička křivolaká a třtina chloupkatá. Opad, ostatní druhy vegetace a kategorie pokryvu byly zakresleny dohromady jako jedna kategorie. Ve výsledném srovnání současného stavu vegetace s historickým stavem je tak brán v potaz pouze vývoj metličky křivolaké a třtiny chloupkaté.

Na TVP Modrý důl byl stejně jako na TVP Alžbětinka zaznamenán výrazný ústup třtiny chloupkaté, a to téměř na polovinu. Pokles ale nebyl tak znatelný jako na Alžbětince. U metličky křivolaké byla změna pokryvnosti na TVP Alžbětinka zanedbatelná. Na TVP Modrý důl tomu bylo naopak. Pokryvnost zde relativně výrazně poklesla zhruba o třetinu. Příčinou poklesu metličky zde může být pravděpodobně mimo jiné i zvýšení vlhkosti plochy v určitých částech plochy. Z takových zamokřených míst metlička ustupuje (Soukupová, Rauch, 1999). Důvodem

pro ústup obou trav mohla být též probíhající regenerace přežívajících dospělých jedinců smrku ztepilého (Cudlín a kol., 2003). Intenzivnější tvorba náhradních výhonů mohla mít za následek opětovné zhoustnutí korun některých dospělých smrků, a tudíž snížení množství světla pronikajícího skrze stromové patro na úroveň přízemní vegetace, což mohlo v daných místech znamenat zhoršení podmínek pro růst a přežívání třtiny chloupkaté a její ústup.

Přesto že plochy pokryté smrkovým opadem byly na sledovaných plochách zastoupeny jen menšinově, lze říci že lze považovat za nejlepší ukazatel stádia rozpadu klimaxových horských smrčín z hlediska přízemní vrstvy vegetace. Rozpadající se smrkové porosty se obecně vyznačují velkou variabilitou mikrostanovištních podmínek v přízemní vrstvě, mezi které lze zařadit zejména množství dopadajícího slunečního záření, půdní typ a mikrorelief. Tomu odpovídá i velmi proměnlivé složení a dynamika přízemní vegetace v rámci těchto porostů. Na přízemní vrstvu je tedy vždy nutné pohlížet jako na mozaiku různých, v čase se měnících mikrostanovištních podmínek, v závislosti na nichž zde dochází i k odpovídajícím změnám a vývoji přízemní vegetace.

5.2 Zhodnocení vlivu světelných podmínek na přízemní vegetaci a přirozenou obnovu smrku ztepilého

Experimentální měření vlivu procentického podílu světelných děr v jednotlivých metrových čtvercích na přízemní vegetaci (resp. kategorie půdního pokryvu) a přirozenou obnovu smrku ztepilého bylo záměrně situováno do průměrného horského smrkového porostu s nerozpadlým korunovým zápojem, který se vyskytuje právě na TVP Modrý důl. V korunovém zápoji se tak nevyskytují rozsáhlé mezery (světliny), které by způsobovaly větší prosvětlení lesního porostu, ale pouze menší mezery (světelné díry).

5.2.1 Vliv na přízemní vegetaci a další kategorie půdního pokryvu

Ze závěrů předchozích studií obecně platí, že struktura korunového patra a jeho zápoj, tj. výskyt, rozmístění a velikost světelných děr, je jedním z nejdůležitějších faktorů v dynamice přízemní vegetace (např. Rydgren, 1996; Holeksa, 2003 in Vávrová, 2009), resp. ve změnách jednotlivých kategorií půdního pokryvu. Otevření korunového zápoje má obecně za následek

změny světelných, teplotních a vlhkostních podmínek v bylinném patře (Nakashizuka, 1985 in Vávrová, 2009).

V této práci nebyla prokázána závislost velikosti plochy opadu na procentuálním podílu světelných děr v korunovém zápoji, ačkoli je opad podle Vávrové (2009) nejlepším ukazatelem stádia rozpadu horských smrčín se znatelnou odezvou na změny ve struktuře korunového patra. Tento výsledek koresponduje s tvrzením Leemanse (1990), že malé světelné díry do rozlohy několika m² (vzniklé průchodem světla mezerami v koruně) nemají zásadní vliv na šíření a pokryvnost jednotlivých druhů (staví je totiž do stejných kompetičních vztahů). Tyto druhy nemají takovou snahu o kolonizování ploch opadu, jakožto volné niky. Dalo by se tedy říci, že korunový zápoj byl již natolik hustý, že menší množství procházejícího světla (difúzního) nemělo pro rozvoj vegetace takový význam, jako třeba vlhkost stanoviště, expozice, sklon, tak jak též pozoroval Drobyshev (1998).

Dále byla prokázána významná závislost dalších základních kategorií půdního pokryvu na procentickém podílu světelných děr v metrových čtvercích. Dle závislosti lze hlavní kategorie seřadit sestupně takto: třtina chloupkatá > trouch > opad \geq brusnice borůvka \geq metlička křivolaká \geq ostatní vegetace > mechy. Toto výsledné pořadí potvrzuje obecně známé nároky jednotlivých druhů na světlo (např. Vacek a kol., 1999). Třtina chloupkatá se tak rychle rozvíjí na prosvětlených stanovištích, tedy nejčastěji ve čtvercích s nejvyšším podílem světelných děr (což potvrzují např. i Pyšek, 1993 a Holeksa, 2003 in Vávrová, 2009); naopak mechy, které snášejí zastínění, se vyskytují nejčastěji ve čtvercích s nejnižším podílem světelných děr. Za hlavní faktor ve výskytu mechů je totiž považována půdní vlhkost (Øakland et al., 2009). Vávrová (2009) ve své práci neprokázala pozitivní ani negativní vztah mezi pokryvností metličky křivolaké a postavením sledovaných metrových čtverců k průmětům korun. Toto tvrzení je v souladu s výsledky této práce, ve kterých je vztah metličky křivolaké a procentického podílu světelných děr neutrální.

Další kategorií s výraznou závislostí na podílu světelných děr je trouch (mrtvé rozpadající se dřevo). Výskyt trouchu na prosvětlenějších stanovištích lze vysvětlit uvolněním korunového zápoje odumřením podúrovňového stromu, ze kterého pak následně trouch vznikl. Ve čtvercích s průměrným procentickým podílem světelných děr se vyskytoval např. opad a brusnice borůvka. Brusnice by tedy mohla opad díky shodným světelným podmínkám na jeho plochách snadno

kolonizovat, což se ale neděje nejspíše z jiných důvodů, než jsou nároky na světlo (v úvahu připadají požadavky na vláhu, chemismus půdy apod.).

5.2.2 Vliv na přirozenou obnovu smrku ztepilého

Dalším vyhodnoceným faktorem byla závislost přirozené obnovy smrku ztepilého na procentuálním podílu světelných děr. Byla hodnocena závislost výšky patnácti- a dvanáctiletých semenáčků, tedy vzešlých v letech 1993 a 1996, nebyla však prokázána (určitá závislost se jevila u semenáčků vzešlých v r. 1996, statisticky ale nebyla průkazná). Zde je opět možné se domnívat, že světelné díry jsou natolik malé, že propouštějí do podrostu jen rozptýlené (difúzní) světlo, které nemá tak zásadní význam pro růst semenáčků, jako světlo přímé.

Závislost přežívání semenáčků na podílu světelných děr byla těsně prokázána u semenáčků vzešlých v roce 1996, nicméně závislost je oproti očekávání negativní, tzn. se vzrůstajícím procentickým podílem světelných děr klesá procento přežívajících semenáčků. Jedním z možných vysvětlení by mohly být extrémní klimatické podmínky v roce 2003. Toto vegetační období bylo ve srovnání s ostatními velice teplé a suché, je tedy možné, že semenáčky uhynuly vlivem nedostatku vody, a to právě ve čtvercích s vyšším procentickým podílem světelných děr. Náchylnost semenáčků k nedostatku vody vlivem mělkého kořenového systému potvrzuje ve své práci i Vávrová (2009). Pro semenáčky vzešlé v roce 2004 nebyla závislost přežívání prokázána. To lze zdůvodnit opět nedostatečným přímým osvětlením semenáčků (stejně jako v případě hodnocení závislosti výšky semenáčků na procentu světelných děr).

Z těchto výsledků vyplývá, že korunový zápoj na TVP Modrý důl nedosahuje extrémních hodnot. Kdyby byl zápoj velmi hustý, i malé díry by měly vliv na přežívání semenáčků. Jejich odumírání není tedy zřejmě způsobeno kritickým nedostatkem světla. Hlavními faktory působícími na přirozenou obnovu smrku ztepilého na TVP Modrý důl tedy budou nejspíše nároky semenáčků na vláhu, umístění v mikroreliéfu (výhodnější jsou podle Øaklanda et al. (2009) pro semenáčky obvykle konvexní stanoviště), kompetiční vztahy s vegetací apod.

Kvůli ověření správnosti měření vlivu procentického podílu světelných děr na vegetaci a obnovu smrku ztepilého s použitím slunečního kompasu byl použit ještě další metodický přístup. Pro jeho účely byla plocha rozdělena opět na 25 sektorů a ty pak na jednotlivé čtvereční metry. Vznikla tak pomyslná metrová síť, obsahující přes 2500 bodů, na kterých bylo provedeno

přístrojem LI-COR měření množství dopadajícího slunečního záření, stejně tak jako ve středu každé ze 100 metrových plošek, na kterých bylo předtím zjišťováno slunečním kompasem procentické zastoupení světelných děr. Výsledné hodnoty pak měly být srovnány s referenčními hodnotami naměřenými dalším luxmetrem napojeným na datalogger Delta-T DL 3000, který byl po celou dobu měření umístěn na volném prostranství mimo les. Vzhledem k technické poruše dataloggeru z něho nebylo možné přes veškerou snahu získat naměřená data. Přesnost metody zjišťování vztahu procentického zastoupení světelných děr k množství světla dopadajícího do porostu nebylo proto bohužel možno ověřit.

6. Závěr

Digitalizací a statistickým zpracováním map vegetačního pokryvu byly na obou TVP, Alžbětinka i Modrý důl, prokázány statisticky významné změny v pokryvnostech jednotlivých kategorií pokryvu půdy v období mezi roky 1993-1994 a 2005-2007.

Na TVP Alžbětinka byl prokázán především výrazný pokles pokryvnosti třtiny chloupkaté (*Calamagrostis villosa*) a to z 571 na cca 23,5 m². Dále pak znatelná expanze brusnice borůvky (*Vaccinium myrtillus*) z necelých 552 na 836 m². Výraznou plochu, přes 936 m², pokrývala v roce 2007 metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), u níž nebyl pozorován takřka žádný pokles pokryvnosti. Různé změny byly zaznamenány i u ostatních, méně plošně zastoupených kategorií pokryvu půdy.

Dále bylo na TVP Alžbětinka zaznamenáno i vzájemné nahrazování jednotlivých kategorií půdního pokryvu. Nejlépe byly tyto změny pozorovatelné u třtiny chloupkaté, která byla v největší míře nahrazena metličkou křivolakou, a to na více než 241 m². Téměř na 147 m² byla nahrazena brusnicí borůvkou, na 63 m² papratkou horskou (*Athyrium distentifolium*). Původní pokryv z roku 1993-1994 setrval pouze na necelých 7 m².

Na TVP Modrý důl byly kvůli odlišným metodikám v jednotlivých obdobích mapování srovnány ve výsledcích jen změny v pokryvnostech metličky křivolaké a třtiny chloupkaté. U obou těchto druhů trav byl zjištěn znatelný pokles pokryvnosti. U metličky tomu bylo z cca 515 m² na 348 m², u třtiny ze skoro 193 m² na 108 m².

Statisticky byla dále vyhodnocena data naměřená při výzkumu vlivu světelných podmínek na přízemní vegetaci (resp. kategorie pokryvu půdy) a přirozenou obnovu smrku ztepilého na TVP Modrý důl. Nebyla prokázána závislost velikosti plochy opadu na procentuálním podílu světelných děr v korunovém zápoji. Byla však prokázána významná závislost dalších základních typů mikrostanovišť. Dle závislosti výskytu jednotlivých kategorií pokryvu na procentuálním podílu světelných děr (pro rok 2006) lze ty hlavní seřadit sestupně takto: třtina chloupkatá > trouh > opad \geq brusnice borůvka \geq metlička křivolaká \geq ostatní vegetace > mechy.

Dalším vyhodnoceným faktorem byla závislost přirozené obnovy smrku ztepilého na procentuálním podílu světelných děr. Byla hodnocena závislost výšky semenáčků vzešlých v letech 1993 a 1996, která ale nebyla statisticky prokázána (určitá závislost je patrná u semenáčků vzešlých v r. 1996, statisticky ale není průkazná). Závislost přežívání semenáčků na podílu světelných děr byla těsně prokázána u semenáčků vzešlých v roce 1996, závislost je negativní, tzn. se vzrůstajícím procentickým podílem světelných děr klesá procento přežívajících semenáčků. Pro semenáčky vzešlé v roce 2004 nebyla závislost přežívání prokázána.

Dynamika přízemního patra lesní vegetace a přirozená obnova smrku ztepilého závisí na mikrostanovištních podmínkách, jejichž změny v průběhu času jsou odrazem celkového zdravotního stavu lesa. Celkové změny v bylinném patře je tedy potřeba dále sledovat, kvůli dalším možným prognózám ve vývoji celého lesního ekosystému.

7. Použitá literatura

Anonymus (2007): Sluneční záření, světlo a teplo. Dostupný z <http://www.seminarky.cz/detaily-11184>

Anonymus (2008): Popis území NP Krkonoše.

Dostupný z

http://www.krnap.cz/index.php?option=com_content&task=category§ionid=6&id=26&Itemid=46

Anonymus (2009): Fotosyntéza. Dostupný z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotosynt%C3%A9za>

Balandier, P., Sonohat, G., Sinoquet, H., Varlet-grancher, C., Dums, Y. (2006): Characterisation, prediction and relationships between different wavebands of solar radiation transmitted in the understorey of even-aged oak (*Quercus petraea*, *Q. robur*) stands. *Trees*, p. 363 – 370.

Balandier, P., Marquier, A., Dumas, Y., Gaudio, N., Philippe, G., Da Silva, D., Adam, B., Ginisty, C., Sinoquet, H. (2009): Light sharing among different forests strata for sustainable management of vegetation on regeneration. International scientific conference „Forestry in achieving millenium goals“ – proceedings, Novi Sad. p. 81 – 86.

Brang, P. (1998): Early seedling establishment of *Picea abies* in small forest gaps in the Swiss Alps. *Canadian Journal of Forest Research* 28 (4). p. 626-639.

Cudlín, P., Novotný R., Moravec I., Chmelíková E. (2001): Retrospective evaluation of the response of montane forest ecosystems to multiple stress. *Ekológia* 20, p. 108-124.

Cudlín, P., Chmelíková, E., Rauch, O. (1995): Monitoring of Norway spruce forest stand response to the stress impact in the Krkonoše Mts. In: Proc. Int. Conf. IUCN & MAB, Mountain National Parks and Biosphere Reserves: Monitoring and Management, September 1993, Špindlerův Mlýn, CZ, Office of Krkonoše National Park, Vrchlabí, p.75-80.

Cudlín, P., Godbold, D. L., Bonifacio, E., Ryli, S., Fritéz, H. W., Gonthier, P., Chmelíková, E., Kowalik, P., Martinotti, M. G., Moravec, I., Nicolotti, G., Zanini, E. (2003): Conditions of natural regeneration of Norway spruce ecosystems in the Krkonose Mountains. *Ekologia* (Bratislava), 22, Supplement 1/2003, p. 66-79.

Cudlín, P., Moravec, I., Chmelíková, E. (2005): Acid rain 2005, Conference field trip to the Krkonoše (Giant) Mountains. České Budějovice, Institute of Landscape Ecology AS CR.

Černý, J., Pačes, T. (1995): Acidification in the Black triangle region. Prague, Czech Geological Survey.

Drobyshev, I., V. (1999): Regeneration of Norway spruce in canopy gaps in *Sphagnum-Myrtillus* old-growth forests. In: *Forest Ecology and Management* 115, p. 71-83.

Falta, V. (1999): Vliv narušení horských smrkových porostů na růst a vývoj náletových dřevin. Disertační práce. České Budějovice, Ústav ekologie krajiny AV ČR.

Flousek, J., Roberts, G.C.S. (1995): Mountain national parks and biosphere reserves: Monitoring and managements. Špindlerův Mlýn. Proc. Int. Conf. IUCN & MAB, September 1993, Špindlerův Mlýn, CZ, Office of Krkonoše National Park, Vrchlabí.

Flousek, J., Hartmanová, O., Štursa, J., Potocki, J. a kol. (2007): Krkonoše – příroda – historie – život, p. 179 – 391, 759 – 766.

Jurásek, A., Vacek, S. (1994): Stav horských lesů Sudet v České republice. Opočno, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti.

Kubát, K. (2002): Klíč ke květeně České republiky. Praha. Academia.

Leemans, R. (1990): Sapling establishment patterns in relation to light gaps in the canopy of two primeval pine-spruce forests in Sweden In: Krahulec F., Agnew A.D.Q., Agnew S., Willems J.H. (eds.): Spatial processes in plant communities, p. 111-120

Ling, K.A., Ashmore, M.R. (1999): Influence of tree health on ground flora in the Chiltern Beechwoods, England. In: Forest Ecology and Management 119, p. 77-88.

Matouš, M., Hutla, P. (2002): Světlo a rostliny. In: Světlo, 04/2002. FCC Public, Praha.

Němeček, J. (1984): Geografie půd ČSR. Praha, Academia.

Økland, R.H., Rydgren, K. & Økland, T. (1999): Single-tree influence on understorey vegetation in a Norwegian boreal spruce forest. Oikos 87: p. 488-498.

Økland, T., Bakkestuen, V., Økland, R. H. & Eilertsen, O. (2004): Changes in forest understorey vegetation in Norway related to long-term soil acidification and climatic change. Journal of Vegetation Science 15, Uppsala, p. 437 – 448.

Pitkänen, S. (1997): Correlation between stand structure and ground vegetation: an analytical approach. Plant Ecology 131, p. 109 – 126.

Pyšek, P. (1994): Effect of soil characteristics on succession in sites reclaimed after acid rain deforestation. Ecological Engineering 3, p. 39-47.

Roujean, J-L. (1999): Two-story equations of transmission of solar energy (TSETSE) on open boreal conifer tree stands. Journal of Geophysical Research, 104.

Procházka S. a kol. (1998): Fyziologie rostlin. Academia, Praha, 480 p.

Rydgren, K. (1996): Vegetation-environment relationships of old-growth spruce forest vegetation in Røstmarka Nature Reserve, SE Norway, and comparison of three ordination methods. Nord. J. Bot. 16: p. 421-439.

Schwarz, O. (2001): Studie pro projekt CEC EU Sustainable bio-technologies against forest regeneration decline and soil erosion in North-Eastern Bohemia. [Závěrečná zpráva]. Vrchlabí, Správa KRNAP.

Soukupová, L. (1996): Víceletá dynamika rozvoje *Calamagrostis villosa* v acidifikovaných horských smrčínách středních Sudet. In: Vacek S. (ed.), Monitoring, výzkum a management ekosystémů na území Krkonošského národního parku. Opočno 15.-17.4. 1996, p. 321-326.

Soukupová, L., Rauch, O. (1999): Floor vegetation and soil of acidified Norway spruce forests in the Giants Mts. (Central Europe). Preslia, 71, p. 257-275.

Ter Braak, C.J.F., Šmilauer, P. (1998): CANOCO Reference Manual and User`s Guide to Canoco for Windows. Microcomputer Power, Ithaca, USA.

Tomášek, M. (1995): Atlas půd České republiky. Praha, Český geologický ústav.

Vacek, S. (2002): Teoretické předpoklady hospodářské úpravy horských lesů narušených antropogenní činností. [Habilitationní práce]. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.

Vacek, S. a kol. (2007): Zdravotní stav a dynamika lesních ekosystémů Krkonoš pod stresem vyvolaným znečištěním ovzduší. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, s.r.o., Folia Forestalia Bohemica.

Vacek, S. (1996): Monitoring, výzkum a management ekosystémů na území KRNAP. Opočno, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti.

Vacek, S., Balcar, V. (1992): Příspěvek k ekologii lesních dřevin v Krkonoších. In: Studium horských lesních ekosystémů a jejich poškození v České republice. In: K. Matějka. (Ed.) České Budějovice, Ústav krajinné ekologie ČSAV, p. 91 - 96.

Vávrová, E. (2009): Dynamika přízemní vegetace a přirozená generativní obnova smrku ztepilého v horských smrčínách Krkonoš v období po výrazném snížení imisí SO₂. Disertační práce. Praha, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí.

Vávrová, E., Cudlín, P., Jonášová, M. (2007): Regenerační procesy horských klimaxových smrčín Krkonoš. In: Štursa, J., Knapik, R. (Eds.) Geoekologické problémy Krkonoš. Sborn. mez. věd. konf., říjen 2006, Svoboda n. Úpou. Opera Corcontica, 44/2, p. 437-444.

Vávrová, E., Cudlín, O., Vavříček, D., Cudlín, P. (2009): Ground vegetation dynamics in mountain spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) forests recovering after air pollution stress impact. In: Plant Ecology, 205, p. 305-321.

Vyskot, I., a kol. (2003): Kvantifikace a hodnocení funkcí lesů ČR, MŽP, Praha.

8. Seznam použitých zkratk

- ANT – *Anthoxanthum alpinum* (tomka alpská)
ATH – *Athyrium filix-femina* (papratka samice)
AVE; AF – *Avenella flexuosa* (metlička křivolaká)
BLE – *Blechnum spicant* (žebrovice různolistá)
CAL; CV – *Calamagrostis villosa* (třtina chloupkatá)
DES – *Deschampsia caespitosa* (metlice trsnatá)
DRY – *Dryopteris carthusiana* (kaprad' osténkatá)
GAL – *Galium saxatile* (svízel skalní)
GEN – *Gentiana asclepiadea* (hořec tolitovitý)
HOM – *Homogyne alpina* (podbělice alpská)
JUN – *Juncus filiformis* (sítina nitkovitá)
LUZ – *Luzula luzuloides* (bika hajní)
ME - mechy
NAR – *Nardus stricta* (smilka tuhá)
OP – smrkový opad
OSTAT. ABIOT. – ostatní abiotické kategorie pokryvu půdy (kameny, mrtvé dřevo atp.)
OSTAT. KATEG. POKRYVU; OS – ostatní kategorie pokryvu půdy
OSTAT. VEG.; OV – ostatní druhy vegetace
OXA – *Oxalis acetosella* (šťavel kyselý)
SEN – *Senecio Fuchsii* (starček Fuchsův)
SPH – *Sphagnum sp.* (rašeliník)
TR – trouch
VAC, VM – *Vaccinium myrtillus* (brusnice borůvka)
VER – *Veratrum album* (kýchavice bílá)
TR – trouch
- AL – Alžbětinka
MD – Modrý důl
TVP – trvalá výzkumná plocha
GIS – geograficko-informační systém
CCA - Canonical Correspondence Analysis (omezená ordinační analýza)
DCA - Detrended Correspondence Analysis (nepřímá gradientová analýza)
RDA - Redundancy Analysis (přímá gradientová analýza)

9. Fotopříloha



Obr. 1: TVP Alžbětinka (foto: P. Cudlín)



Obr. 2: TVP Modrý důl (foto: P. Cudlín)



Obr. 3: TVP Alžbětinka – pohled shora
(foto: autor)



Obr. 4: Rozdělení TVP Alžbětinka do sektorů při mapování
(foto: autor)



Obr. 5: Mapování TVP Alžbětinka (foto: P. Cudlín)



Obr. 6: Měření množství dopadajícího slunečního záření na TVP Modrý důl (foto: F. Havlíček)



Obr. 7: Soustava měřicího přístroje LI-COR (foto: autor)



Obr. 8: Automatický datalogger Delta-T DL 3000 (foto: autor)