



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí
Katedra ekologie

**Vliv světelných podmínek na druhové složení
cévnatých rostlin v nížinných lesích**

Effect of light availability on the vascular species composition in
lowland forests

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce
Ing. Jan Douda, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce
Ing. Karel Boublík, Ph.D.

Vypracoval
Marek Michna

2011



Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra ekologie

Fakulta životního prostředí
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro: **Marek Michna**
studijní program: **Inženýrská ekologie**
obor: **Aplikovaná ekologie**

Název tématu: Vliv světelných podmínek na druhové složení cévnatých rostlin v nížinných
lesích

Název tématu v anglickém jazyce: Effect of light availability on the vascular species
composition in lowland forests

Zásady pro vypracování:

Světelné poměry významně spoluurčují druhové složení lesního podrostu. Cílem práce je literární rešerše prací zabývajících se vlivem světelných podmínek na druhové složení podrostu v lesích a zpracování terénních dat (fytocenologických snímků a hemisférických fotografií zápoje).

Rozsah grafických prací: obrázky a grafy podle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: ca 30 stran



Seznam odborné literatury:

- Evans, G.D., Coombe, D.E., 1959. Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. – J. Ecol. 47, 103–113.
- Frazer, G.W., Canham, C.D., Lertzman, K.P., 1999. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0. – Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York, 36 pp.
- Goldblum, D., 1997. The effects of treefall gaps on understory vegetation in New York State. – J. Veg. Sci. 8, 125–132.
- Jelaska, S.D., 2004. Analysis of canopy closure in the Dinaric silver fir–beech forests (Omphalodo-Fagetum) in Croatia using hemispherical photography. – Hacquetia 3 (2), 43–49.
- Jelaska S. D. et al. (2006): Responses of forest herbs to available understory light measured with hemispherical photographs in silver fir–beech forest in Croatia. – Ecol. Modell. 194: 209–218.
- Martens, S.N., Breshears, D.D., Meyer, C.W., 2000. Spatial distributions of understory light along the grassland/forest continuum: effects of cover, height, and spatial pattern of tree canopies. – Ecol. Modell. 126 (1), 79–93.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Douda, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Karel Boublík, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 15. 9. 2010

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011

4
Prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
vedoucí katedry



Prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.
děkan

V Praze dne 15. 9. 2010

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv světelných podmínek na druhové složení cévnatých rostlin v nížinných lesích“ vypracoval samostatně a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Praze dne

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Janu Doudovi a konzultantu Karlu Boublíkovy za trpělivost, pomoc v terénu při sběru dat a mnoho přínosných připomínek při psaní bakalářské práce. Dále všem kamarádům a všem mým blízkým, kteří mě celou dobu podporovali.

Abstrakt

Fotosynteticky aktivní radiace je jedním z faktorů ovlivňujících přizemní vegetaci v lesních porostech. Má významný vliv na druhovou bohatost a pokryvnost rostlin. Hlavní metody analýzy dopadajícího světla skrze korunový zápoj jsou metody kvalitativní přímé a nepřímé. Přímé metody jsou dosti časově náročné a finančně nákladné. Mezi snadno dostupné a finančně nenákladné nepřímé metody patří vizuální odhad korunového zápoje. Další nepřímou metodou, využívanou pro zjištění množství dopadajícího světla do podrostu, může být metoda výpočtu zápoje pomocí topografických dat. Metoda hemisférických fotografií se dle výsledků výzkumů zdá být nejpřesnější a finančně dostupná.

Právě poslední metodě se budu věnovat při analýze vlivu stromového zápoje na druhovou bohatost a pokryvnost vegetace v habrové doubravě v CHKO Český kras. Snahou bylo zjistit, zda je letní vegetace v podrostu nějak ovlivněná světlem dopadajícím skrze stromový zápoj korun. Další závislostní analýzu jsem provedl mezi pH půdy, druhovou bohatostí a pokryvností přizemní vegetace.

Klíčová slova: otevřenost zápoje, hemisférická fotografie, gap dynamika, SideLook, Gap light analyzer, prahování

Abstract

Photosynthetically active radiation is one of the factors influencing ground vegetation in forest stand. The radiation has significant impact on species diversity and cover of plants. Main approaches in analysis of incident light through canopy openness are qualitative, direct and indirect. Direct methods are heavy time-demanding and financially costly. Among easily available and inexpensive indirect methods are included visual estimations of canopy closure. As other indirect approach, used for detection of the incident light amount, which falls into underbrush, can be used the method of estimation the canopy closure using topographic data. Hemispheric photographs method seems to be the most accurate and affordable, based on the results of research.

It is the last method I will use in analysis of canopy closure impact on species diversity and cover of plants in hornbeam oakwood in CHKO Český kras. The task is to determinate whether the forest vegetation in underbrush is somehow influenced by light incident through the canopy closure. Following correlation analysis was calculated between pH of soil, diversity of species and cover of plants.

Key words: canopy openness, hemispherical photography, gap dynamic, SideLook, Gap light analyzer, tresholding

Obsah

1. ÚVOD.....	9
2. LITERÁRNÍ ČÁST.....	10
2.1. Světlo jako limitující faktor	10
2.2. Význam světla pro přizemní vegetaci v lesních společenstvech	10
2.3. Měření dopadajícího a difúzního světla.....	13
2.3.1. Canopy openness – otevřenost zápoje	13
2.3.2. LAI indexy	15
2.3.3. Doba expozice	16
2.3.4. Vliv ostatních faktorů.....	16
2.4. Zpracování dat.....	17
2.4.1. Side look a Gap Light Analyzer	17
2.4.2. Prahování (Tresholding).....	17
3. PRAKTICKÁ ČÁST	18
3.1. Charakteristika území	18
3.1.1. Geologie a pedologie	18
3.1.2. Klimatické poměry	19
3.1.3. Vegetace	19
3.1.4. Fytogeografické poměry	20
3.1.5. Antropogenní vlivy.....	20
3.2. Cíle studie.....	20
3.3. Metodika.....	20
3.3.1. Výběr ploch	20
3.3.3. Zpracování dat.....	22
3.4. Výsledky	24
3.4.1. Floristické nálezy	24
3.4.2. Statistické výpočty	25
3.5. Diskuze.....	27
4. SHRNU TÍ	29
5. LITERATURA	30

1. ÚVOD

Jedním z nejdůležitějších zdrojů pro cévnaté rostliny, jejich způsob života a jejich výskyt, je světlo. Především pak množství světla, které jsou schopny zachytit svými asimilačními orgány. Právě světlo je jedním z ekologických faktorů ovlivňujících vzrůst, pokryvnost a druhové zastoupení lesního podrostu. Vliv slunečního záření má velmi významný vliv na druhovou bohatost vegetace. Ve studii Goldbluma (1997) byl zjištěn větší počet druhů při větší otevřenosti korunového zápoje. Totéž ve své práci potvrdil i Martens et al. (1999), který považuje sluneční záření jako nejdůležitější faktor variability druhů rostlin. Nevýrazné rozdíly druhové bohatosti rostlin jimi byly zjištěny jen na počátku vegetační sezóny. V dalším průběhu vegetačního období byly rozdíly mezi druhovou skladbou významně prokazatelné. Variabilita rostlin v podrostu je především určována prostorovou skladbou stromového patra, jeho výškou a zápojem korun stromů. Tato práce teoreticky syntetizuje dosavadní poznatky z hlediska vlivu dostupnosti světla pro přízemní keřové a bylinné patro. Dále popisuje metody, které výše uvedený vliv přesně či méně přesně hodnotí. Práce je rozdělena na dvě části. Část první shrnuje poznatky výzkumů na výše zmiňované téma. Praktická část analyzuje vliv světla na podrost v habrové doubravě na vrchu Vysoká stráň, který se nachází v západní části CHKO Český kras. Sběr a zhodnocení dat bude využívat poznatků z metodik několika autorů uvedených v literární části (Jelaska 2004, Macek 2009, Jarčuška 2008). Tato část je standardně členěna na úseky popisující: zkoumané území, popisy metod, které byly využity při sběru dat a na výsledky a diskusi, která má objektivně zhodnotit výsledky výzkumu.

2. LITERÁRNÍ ČÁST

2.1. Světlo jako limitující faktor

Sluneční záření je jediným zdrojem energie pro rostliny na naší planetě. Solární konstanta je hustota zářícího toku dopadajícího na povrch atmosféry a dosahuje hodnot $1,38 \text{ KJ.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, resp. na povrchu Země $0,69 \text{ KJ. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. To platí pro středoevropské podmínky (50° s.š.). Z takového množství energie, světelných kvant různých vlnových délek, je průměrně 47 % absorbováno v nadzemní biomase a přeměněno v teplo a jen 1 % je využito pro fotosyntézu (Remeš et al. 1999). Fotosynteticky aktivní záření (FAR), světlo, které rostliny jsou schopné využít, zaujímá jen 44 % námi viditelného světla. Hlavním rozdílem mezi světlo milnou a stínomilnou vegetací spočívá v rychlosti, jakou jsou rostliny schopny toto dané světlo fotosyntetizovat (Begon et al. 2010). Časové a prostorové rozdělení (FAR) výrazně ovlivňuje celou řadu biologických, biofyzikálních a biogeochemických procesů v lesním ekosystému (Litschman & Hadaš 2004). Množství světla a jeho kvalitativní složení je závislé na úhlu, pod kterým dopadá. To je důvod pro změny světelných podmínek v čase v závislosti na denní a roční době. Další změny mohou probíhat při průchodu záření samotným porostem. Nejvíce slunečního záření prochází v zelené části světelného spektra, které však leží v minimu absorpce pigmenty rostlin určených k fotosyntéze. Listy pohlcují zejména modrou část světelného spektra (Procházka et al. 2003).

2.2. Význam světla pro přízemní vegetaci v lesních společenstvech

Vliv světla na přízemní vegetaci je průkazný v doubravách, kde po umožnění větší prostupnosti světla narostl podíl druhů rostlin se schopností otáčení k mezerám ve stromovém zápoji. V bučinách, vztah mezi světlem a vegetací zjištěn nebyl (Härdtle et al. 2003). Macek (2009) ve své práci vysvětluje rozdíl různých biotopů odlišnou prostupností kořenových systémů jednotlivých druhů porostů. V porostech buku lesního se setkáme s velkou kořenovou kompeticí. Buk je známý vyššími nároky na živiny a vláhu oproti dubu.

Všechny procesy v lese probíhají v přímé nebo nepřímé spojitosti se světlem. Výzkumy, analyzující závislost světla na vegetaci v podrostu, se zakládají především na mezerách v korunovém zápoji. Tyto mezery (*gapy*), jsou způsobeny úmyslným odstraněním stromu, či jeho přirozeným zánikem. S narušením zápoje se do podrostu dostává více světla, které nastartuje kompetici světlomilných druhů stromů či rostlin (Whitmore in Tomlinson et al. 1978). Dynamika *gapů* je studovaná především v lesnictví. Je založena na studiích přirozené obnovy lesa. Dřeviny a byliny netolerující jakýkoli stín nejsou schopny regenerovat v úplném zápoji korun. Přesto se dospělci těchto druhů v lesích vyskytují. Právě *gapy* stromového zápoje se tak staly iniciátorem sukcese druhů netolerujících stín (Yamamoto 2000). Ellenbergova (1974) „sukcesní teorie“ předpovídá úplné vymizení druhů netolerujících stín. Tato teorie všeobecně předpokládá poruchy ve stromovém zápoji jako neobvyklou a časově nepravidelnou událost (White 1979). „Teorie *gap* dynamiky“ lesa je však založena na alternativním scénáři, který uvažuje při dostatečném vytvoření mezery v zápoji vznik mikroklimatických podmínek (změna vlhkosti a teploty) vhodných pro růst druhů netolerujících stín. Tyto *gapy* velikostí odpovídající potřebě daných druhů vznikají fyzickým odstraněním stromů a to jak přirozeným, tak způsobeným přírodními živly či člověkem (Yamamoto 2000). Dle dynamické teorie lesa, každý rostoucí či dospělý les je prostorovou mozaikou různých kompozičních a strukturálních změn. Změny se vyskytují cyklicky v průběhu času. Rozumí se jimi výskyt mezer v zápoji, střídání vývojové a zralé fáze lesa (Whitmore 1975). *Gapy* jsou vytvořeny odumřením jednoho či více stromů. Může jít i o odlomenou větev. Vždy však musí být znatelná mezera, kterou prochází přímé sluneční světlo. Rozměr *gapů* je obecně uváděn pro všechny typy porostů a jedná se o rozlohu nepřesahující jednu desetinu hektaru (Yamamoto 2000). Dostatečný příkon záření pod porostní úroveň je základním předpokladem pro přirozenou obnovu porostů. V lesnictví nám poznání a kvantifikace světelných poměrů v přírodních lesích může napomoci při stanovení správné intenzity zásahů, což má značný vliv zejména z hlediska optimalizace pěstitelských zásahů (Zrak & Jaloviar 2009). Dle studie Arévala & Fernández-Palacois (2006), v lesích tropického a mírného pásma, můžeme významné rozdíly v druhové skladbě při regeneraci porostu zaznamenat až u rozlohy otevřeného zápoje lesa větší než 100m².

Dostatečný příkon záření pod porostní úrovní je základním předpokladem pro přirozenou obnovu porostů (Vencurik & Sklenár 2006). Absorpční schopnost asimilačních orgánů je velmi vysoká. Wagner et al. (2004) uvádí, že listy buků jsou schopny absorbovat cca 90% fotosynteticky aktivního záření a přibližně 30% infračerveného záření ze spektra blízkého viditelnému světlu. Tím, že část záření je odražena z povrchu asimilačních orgánů, větví, kmenů a půdního povrchu, je přímé záření redukováno a podstatně se zvyšuje podíl difuzní složky záření v porostu ve srovnání s volnou plochou (Zrak & Jaloviar 2009).

Vzhledem ke složitosti je exaktní charakteristika světelných poměrů v lesních porostech v první řadě složitý metodický problém. Wagner (1994) uvádí přehled příčin mimořádně vysoké variability světelných poměrů v listnatých lesích mírného pásma. Z hlediska samotného zdroje světla, respektive záření je to rozdílné postavení slunce během dne a roku. Změna postavení se promítá do různých úhlů, pod kterými dopadá sluneční záření na ozářený povrch. Tím se podstatně mění intenzita záření na jednotku plochy. Mezi významné abiotické vlivy, určující intenzitu záření, patří počasí a reliéf terénu. Průběh počasí, zejména vývoj oblačnosti v podstatné míře snižuje intenzitu přímého záření, mírně zvyšuje intenzitu difuzního záření a tím významně mění poměr těchto dvou složek. Reliéf terénu ovlivňuje intenzitu záření především výskytem různých sklonů ozářených povrchů. Samotný lesní ekosystém ovlivňuje tok světla především svou prostorovou výstavbou, druhovým složením a množstvím asimilačních orgánů, které světlo zachycují. V naprosté většině porostů nelze určit tzv. reprezentativní podmínky, které by umožnili na základě nízkého počtu měření osvětlení spolehlivě charakterizovat světelné podmínky (Zrak & Jaloviar 2009).

Studie potvrzují změny v půdních vlastnostech související s mezerami ve stromovém zápoji. V případě jihoevropských jedlin se zbytky organické hmoty rozkládají rychleji při vyšší zástině půdy. To souvisí s vlhkostí, která při vyšším prostupu paprsků a zvyšující se teplotou klesá. Na územích s nižší prostupností slunečního záření byl zaznamenán vyšší obsah organické hmoty a huminových kyselin (Muscolo et al. 2009). Dle Coomes & Grubb (2000) sluneční záření ovlivňuje druhovou bohatost jen na vlhkých lokalitách a lokalitách s vysokým obsahem živin.

Goldblum (1997) ve své práci provádí výzkum lesa napadeného defoliátorem. Jeho napadením vznikly v celistvých porostech různě velké mezery, kterými po delší

čas, na podrost pod nimi, dopadalo přímé sluneční záření ve velkém množství. Objevil významné rozdíly, jak v počtu druhů a procentuálním pokryvu, tak i v hustotě pokryvu podrostu na převážné většině analyzovaných území. Po znovuoobnovení stromového patra v dalším roce nepozoroval žádné předpokládané změny v podrostu. Tento jev ovšem vysvětluje malým časovým odstupem a předpokládá návrat k původnímu složení a pokryvu vegetace v dalších sezonách.

2.3. Měření dopadajícího a difúzního světla

2.3.1. Canopy openness – otevřenost zápoje

Kvantitativní hodnocení světelného režimu v lesním prostředí přímým měřením je časově i finančně náročné, vzhledem ke značné časové a prostorové variabilitě prostředí. Proto byly vyvinuty četné nepřímé metody cílené právě zjišťování množství dopadu světla skrz zápoj stromů (Jarčuška, 2008).

Nejrychlejší, nejlevnější, ale nejméně přesnou metodou je určení vizuálním odhadem zápoje korun (Moravec 2004). Zrak (2009) uvádí, že vizuálním odhadem otevřenosti zápoje dochází k četným nepřesnostem při stanovení podílu mezer korunové klenbě (subjektivní názor, zkušenosti měřiče).

Další nepřímou metodou, využívanou pro zjištění množství dopadajícího světla do podrostu, může být metoda výpočtu zápoje pomocí topografických dat Takashima (2006). Výsledky mohou prokazovat závislost světla na druhovém složení, ovšem tyto výsledky nebývají tak silně korelovány jako v případě využití hemisférické fotografie. Dalším negativem je značná časová náročnost měření a následného zpracování.

Daleko efektivnější nepřímou metodou pro zjištění množství dopadajícího světla skrz listové části rostlin je využití hemisférických fotografií. Poprvé využil metodu rybího oka Hill (1924) pro studium oblačnosti. Lesní ekologové začali tuto metodu využívat zhruba o 35 let později (Evans & Coombe, 1959). Cílem této studie bylo zjistit, zda existuje závislost mezi hustotou stromového zápoje (*canopy openness*) a druhovou skladbou vegetace, které právě pod zápojem roste. Metoda hemisférické fotografie, využívající objektivu „rybího oka“ je převážně používaná pro odhad slunečního záření dopadajícího na vegetaci pod stromovým zápojem (Jennings et al., 1999). Pozorovací úhel pořízené fotografie zahrnuje 180 stupňů tak,

že všechny směry oblohy na fotografii jsou současně viditelné. Výsledná fotografie zaznamenává geometrii viditelné oblohy. Tuto geometrii je možné přesně měřit a použít její výpočet slunečního záření (Rich in Goel & Norman 1990). Výsledky Hu et al. (2009) ukazují, že měření stromového zápoje pomocí hemisférických fotografií je velmi přesné a praktické.

Touto metodou, objektivem fotoaparátu mířícím vždy směrem k obloze, lze měřit přímé dopadající světlo a světlo difúzní, rozptýlené v atmosféře. Přímé dopadající záření lze vypočítat jako poměr součtu všech přímých slunečních dopadů paprsků, tj. listy (jehlicemi) „nezakrytých“ bodů na fotografii, vůči listy „zakrytých“ bodům, tedy bodům tvořených stromovým zápojem. Tento poměr je ve vyhodnocujícím software (např. Gap light analyzer) navíc propočítáván s dráhou Slunce, např. pro určité zvolené roční období a zeměpisnou šířku a výšku. Difúzní záření, světlo rozptýlené, vzniká vlivem prachu a oparů v atmosféře. Hustota toku difúzního záření oblohy závisí na stupni oblačnosti, na optických vlastnostech atmosféry a hustotě aerosolů. Záření dopadající na rostlinný porost je částečně pohlceno, propouštěno, odraženo, nebo dopadá mezerami listů k půdě (je pohlceno nebo odraženo). Propouštění (transmise) je pozorováno zvláště u tenkých listů. Odraz (reflexe) záření závisí na vlastnostech povrchu listu či stonků (lesklé, chlupaté) a jejich prostorovém uspořádání. Reflexe i transmise záření je spektrálně selektivní – největší v infračervené oblasti; nejvíce je absorbováno viditelné záření. Součtem přímého a difúzního záření zjistíme hodnotu celkového globálního záření. Výpočty záření vyžadují teoretické či empirické distribuce a jsou prováděny pro fotosynteticky aktivní záření (Hron 2003).

Jelaska (2004), na území Dinárských hor v Chorvatsku, studoval vliv světla na vegetaci v podrostech jedlových (*Abies alba*) a bukových lesů (*Fagus sp.*). Průzkum byl proveden na objektivním počtu území. Pro rozdělení zvolených území byl využit satelitový ETM+ snímek, jedná se přirozeně zbarvenou družicovou mapu pořízenou senzorem satelitu Landsat 7 (www1), který umožnil srovnání hustoty zápoje s NDVI (normalizovaný diferenční vegetační indexu). NDVI index zjistitelný právě pomocí ETM+ snímků. Vyšší

	QC = 1,2,3 (N = 85)	QC = 1,2 (N = 65)	QC = 1 (N = 32)
LAI vs. NDVI	0,29	0,37	0,61
LAI vs. NoSP	n. s.	n. s.	-0,39
CAN vs. NDVI	n. s.	n. s.	-0,37
CAN vs. NoSP	n. s.	n. s.	n. s.

Obrázek 1.: Srovnání výsledků analýz otevřenosti zápoje (Jelaska 2004).

hodnoty NDVI indexu představují na ETM+ snímcích vždy území se vzrostlou a bohatší vegetací. U těchto míst je očekávaná největší odrazivost, proto jsou jimi klasifikována místa s převládajícími světlejšími tóny. Příkladem této varianty ploch mohou být obilná pole, které vykazují nižší hodnoty NDVI indexu a větší otevřenost porostu s pronikajícím substrátem. Vyšší hodnoty indexu jsou spjaty i s lesními porosty. Listnaté lesy se vyznačují světlejšími tóny oproti tmavším tónům lesů jehličnatých. V analýze Jelasky (2004) byla objevena statisticky významná negativní korelace otevřenosti zápoje (*Canopy openness*) a NDVI indexu u všech vybraných fotografií s nejlepším kontrastem, zatímco LAI index byl pozitivně korelován s NDVI pro všechny analyzované fotografie (Obr. 1.). Níže uvedená tabulka dobře vystihuje, jak s kvalitou pořízené fotografie roste míra závislosti LAI a NDVI. Zde je vystihnuta důležitost kvality fotografie. Dále byl vyvinut klasifikační stromový model diverzity rostlin, zohledňující nadmořskou výšku, sklony, a orientace svahů ke světovým stranám pro všechna zkoumaná území. Tento model byl využit vedle LAI jako proměnná hodnocení významnosti vlastností zápoje v porovnání s ostatními faktory prostředí, zahrnutými v analýze.

Ve studii je doporučováno roztrždit fotografie při nejednotném kontrastu jejich celkového souboru. Rozděluje fotografie s vysokým a průměrným kontrastem. Špatné snímky s nekvalitním kontrastem a obtížným rozeznáním zapojené plochy a plochy patřící obloze, zcela z analýz vylučuje. Přímé odrazy slunce od listů, kůry stromů a časté odrazy od půdy a tyčících se kamenů lze upravit manuálně pomocí standardních programů určených pro grafické úpravy rastrových souborů.

Při porovnání výsledků Jelasky (2004) a Fullera (1999) je patrná shoda ve výsledcích závislosti mezi LAI a NDVI, kde v obou výzkumech je výsledná závislost pozitivní. Opakem může být negativní korelace v první a pozitivní v druhém případě mezi otevřeností zápoje a NDVI. Opačný trend vysvětluje zřejmé rozdílné chápání pojmů otevřenost-uzavřenost. Jelaska vychází z otevřenosti zápoje. Zatímco Fuller chápe tento pojem jako míru uzavření stromového zápoje.

2.3.2. LAI indexy

Indexy listových ploch (LAI) v rámci lesnických studií se zakládají na výpočtu podílu záření procházejícího stromovým zápojem a jednotky půdorysné plochy. Jde o index lineárně závislý na PAR. Má bezrozměrné hodnoty v rozmezí 0 pro snímky bez zápoje až 6 pro snímky s úplným zápojem. LAI indexy jsou

integrovány přes zenitové úhly, které nám umožňují tyto indexy upřesnit dle dráhy Slunce.

Index listové plochy (LAI) lze měřit přímou destruktivní metodou. Při měření tohoto indexu je však při vysokých objemech rostlinné biomasy vhodnější využít metod nepřímých a nedestruktivních za pomoci senzorů či radiometrů (Gardingen et al., 1999).

LAI 4 prstenec je efektivní index listové plochy integrovaný přes zenitové úhly od 0 do 60 stupňů (viz Stenberg et al. 1994).

LAI 5 prstenec je efektivní index listové plochy integrovaný přes zenitové úhly od 0 do 75 stupňů (viz Welles & Norman 1991).

Vyhodnocení otevřenosti zápoje a LAI indexů spočívá v pěti metodických krocích: Pořízení fotografie, digitalizace, evidence, třídění a výpočet. Registrace a klasifikace fotografií jsou provedeny v rámci třídění a to pomocí počítačových programů analyzujících hemisférické fotografie (viz. Praktická část).

2.3.3. Doba expozice

Další významnou chybou, kterou uvádí Jarčuška (2008) může být načasování expozice fotoaparátu. Výsledky výzkumů ukazují, že digitální fotografie pořízené s automatickou expozicí fotoaparátu nejsou spolehlivé, protože mohou způsobit podhodnocení indexu listové plochy při středním a vysokém množství zápoje a tím pádem způsobit nadhodnocení prostupující světelné frakce. V případě otevřenějšího zápoje automatickou expozici fotoaparátu využít lze. V tomto případě žádný vliv na hodnotu indexu listové plochy nebyl pozorován (Zhang et al. 2005).

2.3.4. Vliv ostatních faktorů

Mnozí autoři uvádějí podobné výsledky v podobně vyspělých lesních porostech. Tato srovnání mohou být zavádějící vzhledem k struktuře zkoumaných porostů. Je nutné rozlišovat soubory lesních typů na jehličnany a listnáče (Jelaska 2004). Jiné faktory, které by mohli ovlivnit druhovou skladbu, mimo světla, i na tak rozsáhlém území neuvádí. Řada autorů tyto faktory chápe jako důležité pro výzkum podrostů. Jde konkrétně o pH půdy, antropologické vlivy, vlivy vysoké zvěře, interakce mezi rostlinnými jedinci (Macek 2009) a množství fosforu v půdě (Wernerová 2007).

2.4. Zpracování dat

2.4.1. Side look a Gap Light Analyzer

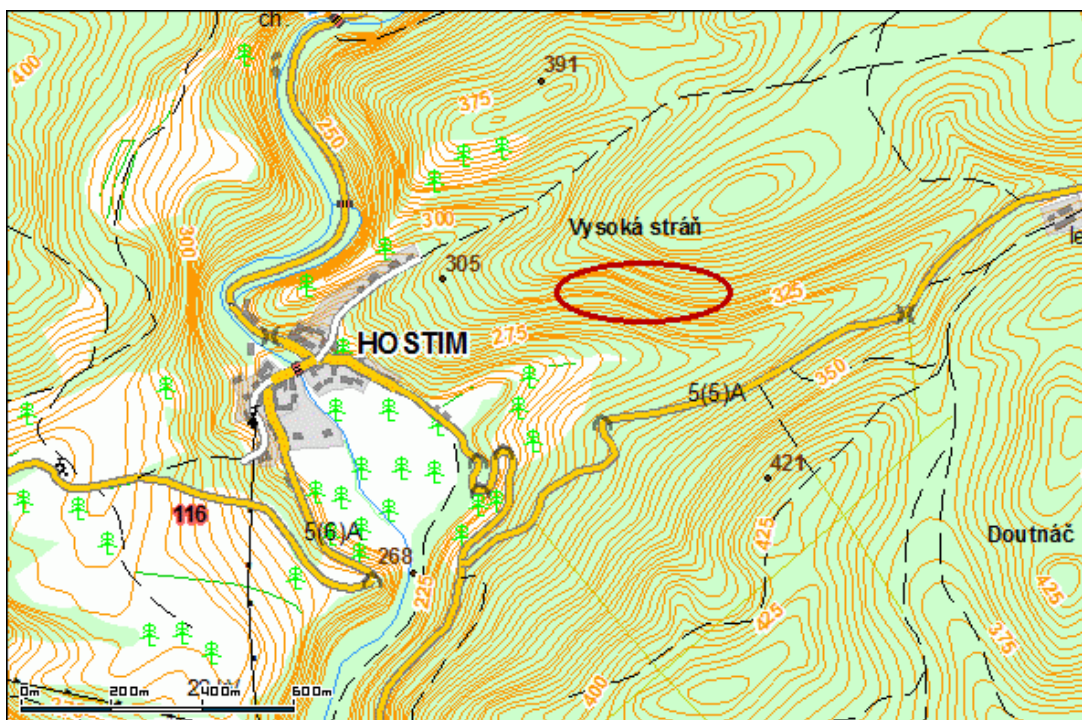
Jonckheere et al. (2005) ve své práci zmiňuje freeware programy sloužící k analyzování hemisférických fotografií. Ve většině případů jsou k analýze hemisférických fotografií využívány software Sidelook a Gap light analyzer (*GLA*). Přechodový algoritmus pro optimální rozdělení barevných přechodů je citlivější u software Sidelook, který je tak používán pro převedení fotografií k účelům analýz v programu GLA. Takto citlivý přechodový algoritmus software GLA, který je využíván k samotnému výpočtu, nenabízí.

2.4.2. Prahování (Thresholding)

Právě stanovení optimální hodnoty jasu na pixel jako prahu pro rozlišení zápoje a oblohy na hemisférické fotografii je dle Jarčuška (2008) jednou z frekventovaných chyb při této analýze. GLA byl již použit k analýzám v mnoha pracích, např: Jelaska (2004), Glončák (2007). V obou programech se při funkci prahování (thresholding) setkáme pouze s jejím manuálním nastavením, což lze hodnotit z pohledu uživatele velmi negativně. Testování této funkce ukázalo u mnohých autorů možné chyby při nastavení prahové hodnoty. Ideálním nastavením pro rozdělení pixelů na bílé, patřící obloze a černé, patřící zápoji stromů je v programu Sidelook zvolení modrého kanálů (Jelaska et al., 2006, Frazer et al., 1999, Zhang et al, 2005).

3. PRAKTICKÁ ČÁST

3.1. Charakteristika území



Obrázek 2: Mapa s vyznačením studovaného území (www4).

Studované území se nachází na úpatí jihozápadní strany vrchu Vysoká stráň (422 m n.m.), asi 500 metrů severovýchodním směrem od obce Hostim. Lesním typem na této lokalitě je suchá habrová doubrava lipnicová C2. Skladbu dřevin tvoří dub zimní (*Quercus petraea*) ze 74% s příměsí habru obecného (*Carpinus betulus*) z 20%. Výška stromů hlavní etáže dosahuje zhruba 15 metrů. Dále se uvádí, řádově v jednotkách procentního podílu, ojedinělý výskyt břízy (*Betula sp.*), buku (*Fagus sylvatica*), smrku (*Picea sp.*), borovice (*Pinus sp.*). Dominujícími bylinami jsou třtina rákosovitá (*Calamagrostis arundinacea*) a lipnice hajní (*Poa nemoralis*)(www2).

3.1.1. Geologie a pedologie

Geologický podklad území je tvořen, tak jako převážná část CHKO Český kras, vápencem silurského a devonského stáří (Budil & Jäger 2002). Z hlediska pedologického jde o území hnědozemě vznikající na vápencích, jehož vliv jako matečné horniny je pro vegetaci velmi významný. Tomášek (2007) řadí zdejší půdy mezi rendziny. Ty se vytvářejí na silně karbonátových horninách. Půdotvorným pochodem je zde humifikace. Méně se uplatňuje zvětrávání. Pod humusovým

horizontem je přímo hrubě rozpadlá hornina. Jde o půdy mělké, kamenité se středním či vyšším obsahem humusu.

3.1.2. Klimatické poměry

Na území CHKO Český kras se vyskytuje mírně teplé až teplé klima, které je mírně suché až suché. Zima je zde mírná. Průměrná roční teplota je 8-9 °C. Nejteplejším měsícem je červenec. Průměrný roční úhrn srážek je kolem 530 mm. Maximum srážek se v této oblasti vyskytuje v měsíci červenci. Zimní měsíce jsou doprovázeny minimálním výskytem srážek. Sněhová pokrývka je v zimních měsících minimální a dlouho tu nevydrží. Srážky z části odtékají puklinovou krasovou zvodní do řeky Berounky. Délka vegetačního období je 170 dní. V klimazonálním pojetí je Český kras semihumidní. Dle srážek, teploty a výparu nad hranicí semiaridity se vedle horniny stává důležitým faktorem reliéf terénu a porost. (Šamonil 2005).



Obrázek 3.: Fotografie pořízená na studovaném území

3.1.3. Vegetace

Podle fytoocenologické klasifikace lze lokalitu zařadit do teplomilných doubrav svazu *Quercion petraeae* a *Quercion pubescenti-petraeae*. Jedná se o lokalitu s prosvětlenými partiemi s výskytem světlomilných lesostepních druhů rostlin, kde se

nachází i významné naleziště velmi vzácné a ohrožené orchidejovité rostliny vstavače bezového (*Orchis sambucina*)(www2).

3.1.4. Fytogeografické poměry

Fytogeografickou oblastí Českého krasu je termofitikum. Fytogeografickým obvodem je české termofitikum (Anonym 1987).

3.1.5. Antropogenní vlivy

Již od 14. století je zde zaznamenáno intenzivní obhospodařování lesů. Ve dvacátých letech devatenáctého století tu 5/6 porostů tvořil les výmladkový. Tato hodnota platí i do dnešní doby (Šamonil 2005).

3.2. Cíle studie

- I. Prvním cílem studie je analyzovat a zhodnotit závislost mezi otevřeností zápoje a počtem druhů, dále mezi otevřeností zápoje a celkovým bylinným pokryvem na jednotlivých stanovištích bez ohledu na procentuální zastoupení jednotlivých druhů. Shodná posouzení závislostí budou rovněž provedena, jak pro index listové plochy LAI 4, tak pro index LAI 5.
- II. Pomocí ordinační analýzy (RDA) zjistit druhy, které se svým výskytem ztotožňují s lokalitami, kde byla prokázána buď vyšší procentuální otevřenost zápoje, nebo právě jeho větší uzavřenost, případně určit druhy, které jsou dle grafu závislé na odlišných faktorech a tyto faktory určit.
- III. Pro posouzení vlivu dalších stanovištních faktorů, zjistit možnou závislost mezi druhovou skladbou podrostu a pH, naměřených na všech daných lokalitách. Stejně jako v předchozím případě i zde provést korelační analýzu.

3.3. Metodika

3.3.1. Výběr ploch

Na studované lokalitě se celkem jedná o 32 náhodně vybraných ploch, které jsou pro budoucí výzkum rozděleny na 4 „subplochy“. Každá subplocha má rozměr čtverce o straně dlouhé 3 metry. Plochy byly vybrány tak aby rovnoměrně pokryly celou oblast jihozápadní části vrchu Vysoké stráně. V budoucím výzkumu bude

probíhat na každé ploše různý typ obhospodařování, a to kosení podrostu, shrabání listí, a jejich kombinace. V němž bude sledován nejen vliv světla na bylinný podrost, ale také jednotlivé vlivy typů managementu na druhovou skladbu porostu. Jednotlivé plochy, byly umístovány tak aby od sebe byly minimálně 20 m.

3.3.2. Sběr dat

Všechna data byla pořízena od 21. do 30 června roku 2010. Ke zhodnocení pokryvu vegetace jsem zvolil procentuální vizuální odhad. Tyto odhady byly uskutečňovány dvěma nezávisle posuzujícími osobami a následně zprůměrovány. Determinace bylin byla provedena dle určovacího klíče rostlin (Kubát 2002). Fytcenologické snímky byly následně zapsány do programu Turboveg for Windows (Hennekens & Schaminee 2001), opatřeny výčtem zde přítomných rostlinných druhů, celkovým součtem jejich pokryvností, orientací subplochy ke světovým stranám, sklonem plochy. Tato data byla dále exportována do programu Juice (Tichý 2002). Zde jsem sjednotil stejné druhy dřevin, které byly dle vzrůstu rozděleny do odlišných bylinných pater keřových pater. Bylo také vhodné sloučení druhů, u kterých nebyla zcela jasně určená determinace. Tyto druhy byly vždy sloučeny jako poddruhy do jedné determinační skupiny.

Fotografie zápoje jsem pořídil dle metodik: Jelaska (2004), Macek (2009). Použil jsem fotografický přístroj značky Nikon s rozlišením 10 Mpix. Typem objektivu bylo rybí oko Sigma 8 mm Fisheye zachycující hemisféru v rozpětí 180 stupňů. Použitý kinofilm byl značky FUJICOLOR 200 135/36. Fotografie byly pořizovány vždy s využitím blesku a zvolenou možností úplného zaostřování fotoaparátu. Při zachycování zápoje byl fotoaparát vždy stavěn dle metodiky Jelasky (2006) na stativ, 100 cm kolmo nad zem, do horizontální polohy, kterou jsem určil všesměrnou libelou. Přístroj byl vždy umístován vždy horní hranou směrem k magnetickému severu, aby na výsledných fotografiích vždy sever směřoval k horní straně fotografie. Směr severu bude dále vyžadován pro přesnou registraci fotografie v programu Gap light analyzer, který zpracovává data z fotografie, s jímž předpokládanou drahou slunce určenou pro konkrétní den. Dále na každé lokalitě byl určen sklon svahu, orientace svahu ke světovým stranám a odebrán vzorek zeminy pro pozdější analýzu hodnot pH.

Hemisférické fotografie s vysokým kontrastem musí být pořízeny v podmínkách rovnoměrného osvětlení oblohy: tj. těsně před východem slunce či těsně při jeho západu (Jelaska, 2004).

V tomto výzkumu se mi osvědčilo též zatažené počasí během dešťových přeháněk. Fotografie byly pořízeny během dvou dnů za nejlepších možných podmínek. V některých případech nebylo možné se vyhnout přímému slunečnímu svitu. Fotografie pořizované i za zhoršených podmínek byly po zvážení použity pro analýzu korunového zápoje. Pořízeno bylo 128 hemisférických fotografií.



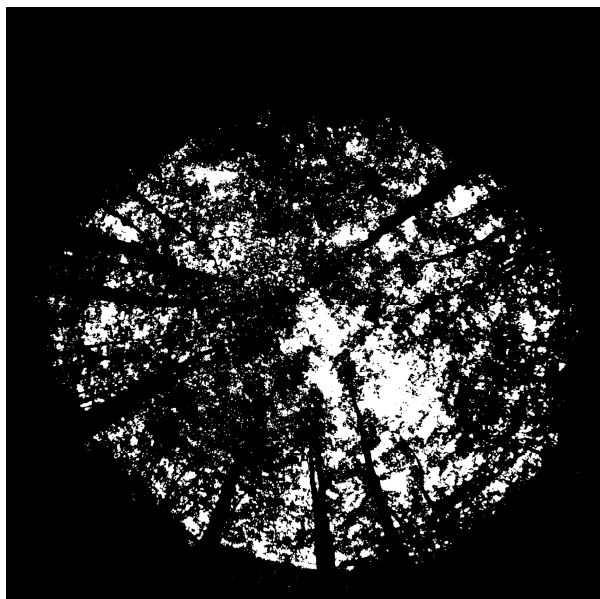
Obrázek 4.: Fotografie pořízená pomocí objektivu rybí oko.

Pro analýzu pH bylo pro každou subplochu odebráno pět vzorků půdy. Ty byly odebírány vždy z rohů studovaného čtverce a z jejího středu. Poté byly vzorky smíchány v jeden, aby vytvořily reprezentativní vzorek. Jeden vzorek pro subplochu vážil cca 1 kg. Vzorky byly následně vysušeny. Po usušení přesety od hrubých částí. Průměr ok síta pro přesívání byl 2 mm. Roztok pro měření pH obsahoval 20g zeminy a 50 ml destilované vody. Roztok byl pečlivě promíchán a nechán stát 24 hodin. Hodnoty byly zjišťovány přístrojem Omega PHH-200 Soil pH Test Kit, se skleněnou elektrodou PHE-200.

3.3.3. Zpracování dat

Fotografie byly skenovány v rozlišení 2048x3050. Dále byly seříznuty na velikost 2048x2048 pixelů tak, aby čtvercový snímek přesně zachycoval všechny krajní body kružnicového obrazu. Fotografie byly pojmenovány podle čísla plochy a rozlišeny podle způsobu managementu, který bude probíhat v budoucím výzkumu, tj. hrabáno, koseno, kombinace, kontrola. S nižším kontrastem fotografie klesá i jistota při rozdělení pixelů patřících či nepatřících obloze (Jelaska, 2004). Fotografie jsem na základě subjektivního posouzení klasifikoval do dvou skupin, a to: s dobrým

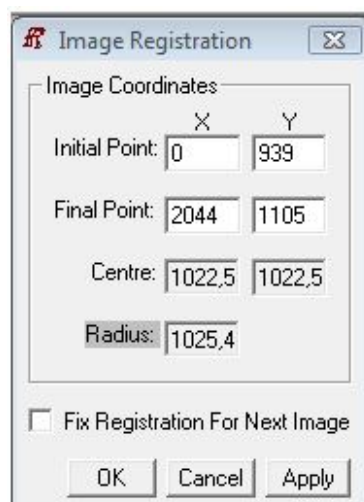
kontrastem (86 fotografií) a průměrným kontrastem (42 fotografií). Dále bylo nutné se pokusit o snížení zkreslení, způsobené přímým slunečním svitem na fotografiích, manuálními opravami očividných slunečních odrazů z větví stromů, kůry stromů, kamenů tyčících se ze země a zvláště ze samotného povrchu půdy, které byly téměř na všech pořízených fotografiích.



Obrázek 5.: Hemisférická fotografie převedená na černobílou programem SideLook.

Pro digitální rozbor fotografií jsem využil program SideLook, který pracuje s poměry černých a bílých pixelů. Při převodu fotografie z barevné na černobílou, jsem nastavoval manuální nastavení prahu. Zde jsem nastavoval vždy modrý kanál, který se zdál být nejspolehlivější v oddělování pixelů (dle Frazer et al. 2001).

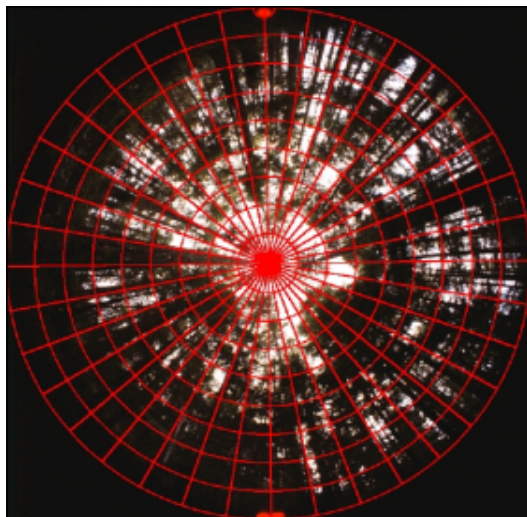
Pro každou fotografii byly spočítány v programu Gap light analyser (GLA) dvě hodnoty zápoje za pomoci použití kružnicové sítě rozdělující oblohu na několik oblastí. Při analýze první fotografie je nutná registrace snímku. Pomocí myši počítače lze ručně zvolit vhodný průměr a polohu, tak aby kružnicová síť pokrývala přesně hemisférickou výřez fotografie. Jednoduchým nastavením je možné uložit hodnoty pro registraci dalšího snímku, kterou lze využít při zbylém registru snímků. Hodnoty registrace snímků lze vidět na obrázku číslo 6. Registrace všech analyzovaných snímků musí být totožná. Síť je složená z 36 azimutů a 9 zenitů započítávající polární zkreslení čočky. Byly spočítány tyto tři hodnoty:



Obrázek 6.: Hodnoty registrace fotografie v programu Gap light analyser.

- a) LAI – množství listového povrchu na jednotku území. Popisuje fotosyntetický a transpirační povrch zápoje rostlin. Zde jsem použil efektivní

- LAI integrovaný přes úhel 0 až 60 stupňů (v GLA softwaru nazýván LAI 4).
- b) LAI integrovaný přes úhel 0 až 75 stupňů (LAI 5).
- c) Canopy openness - otevřenost zápoje: počet procent otevřené oblohy zpoza lesního zápoje (nazývána též „žabí perspektivou“).



Obrázek 7.: Síť azimutů a zenitů.

Vypočítané hodnoty byly dále analyzovány popisnou statistikou. A to korelační a ordinační analýzou. Pro zjištění korelačních koeficientů pro jednotlivou závislost Canopy openness, LAI 4 a LAI 5 na počtu rostlinných druhů v podrostu a celkového vegetačního pokryvu, jsem využil software STATISTICA. Závislosti proměnných byly testovány vždy na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Pro ordinační

analýzu jsem využil statistický program CANOCO for Windows 4,5 (Ter Braak & Šmilauer 2002).

Pro přímé zjištění druhů závislých na otevřenost zápoje jsem vytvořil RDA analýzu. Výsledkem této analýzy je graf vystihující závislost mezi výskytem jednotlivých druhů a faktorů ovlivňující jejich výskyt v podrostu. Nejprve bylo nutné DCA analýzou ověřit délku gradientu, pro zvolení další vhodné analýzy. Délka gradientu se rovnala hodnotě 2,948. Tudíž jsem zvolil lineární RDA analýzu. Analýzy byly provedeny na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Výsledkem této analýzy je ordinační diagram na obrázku č. 10.

3.4. Výsledky

3.4.1. Floristické nálezy

V pořizovaných fytoecnologických snímcích jsem našel 147 druhů zástupců cévnatých rostlin. Zde uvádím druhy zařazené do červeného seznamu cévnatých rostlin (Procházka, 2003). Rostlinné druhy jsou řazeny takto: C2 silně ohrožené, C3 ohrožené druhy, C4 vzácnější taxony vyžadující další pozornost. Jde o tyto druhy:

zvonek boloňský (*Campanula bononiensis*, C2), prstnatec bezový (*Dactylorhiza sambucina*, C2), růže galská (*Rosa gallica*, C3), mařinka barvířská (*Asperula tinctoria*, C3), třemdava bílá (*Dictamnus albus*, C3), jetel červenavý (*Trifolium rubens*, C3), medovník velkokvětý (*Melittis melissophyllum*, C3), vikev hrachovitá (*Vicia pisiformis*, C3), vemeník dvoulistý (*Platanthera bifolia*, C3), bělozářka větevnatá (*Anthericum ramosum*, C4), ostřice nízká (*Carex humilis*, C4), zeměžluč okolíkatá (*Centaurium erythraea*, C4), smldník jelení (*Peucedanum cervaria*, C4).

3.4.2. Statistické výpočty

Průměr otevřenosti zápoje je 27,46%. Nejnižší změřená prostupnost světla je 14,86%, nevyšší 41,95%. Průměr LAI intervalu je 1,41 v intervalu od 0,84 do 2,3. Všechny výše zmíněné hodnoty se vztahují na kompletní soubor fotografií (se všemi typy kontrastu). Hodnoty pro jednotlivé soubory fotografií zde neuvádím.

V první tabulce jsou uvedeny korelace mezi canopy openness, LAI 4 a LAI 5 a počtu druhů vyskytujících se na jednotlivých plochách a jejich pokryvem (viz. Tab. 1).

Další tabulka vznikla po odstranění fotografií s horším kontrastem. Tyto vyloučené fotografie zřejmě ovšem nemají významný vliv, jak na druhovou bohatost podrostů, tak na procentuální vyjádření pokryvnosti vegetací v podrostu lesa (viz. Tab. 2).

	Otevřenost zápoje	LAI 4	LAI 5
r druhů	0.010628274	0.019462461	0.035764261
r pokryvnosti	0.00481515	0.016724319	0.048367454

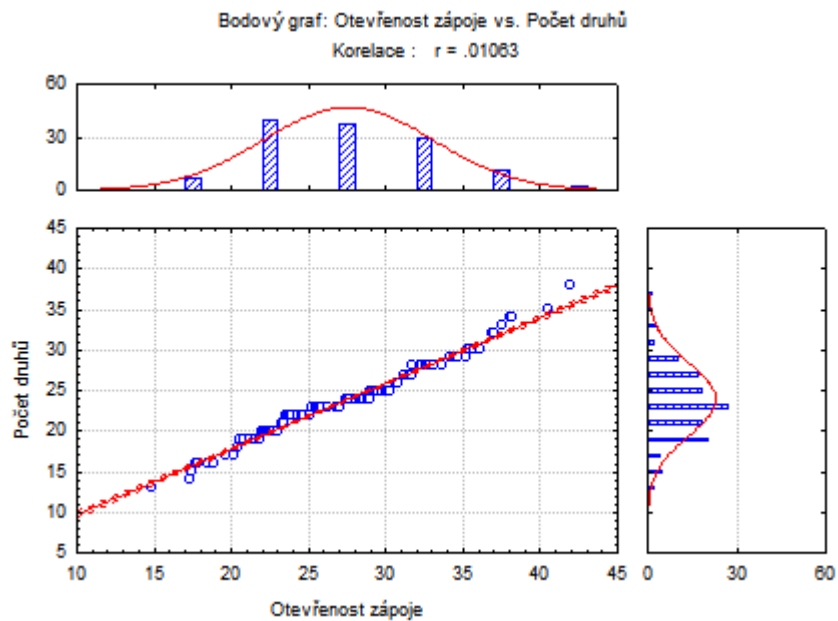
Tabulka 1.: Korelace mezi zvolenými proměnnými ($P=0,05$), $n=128$.

	Otevřenost zápoje	LAI 4	LAI 5
r druhů	0.098957304	-0.118327653	-0.054035456
r pokryvnosti	0.090853492	-0.098836685	-0.038148788

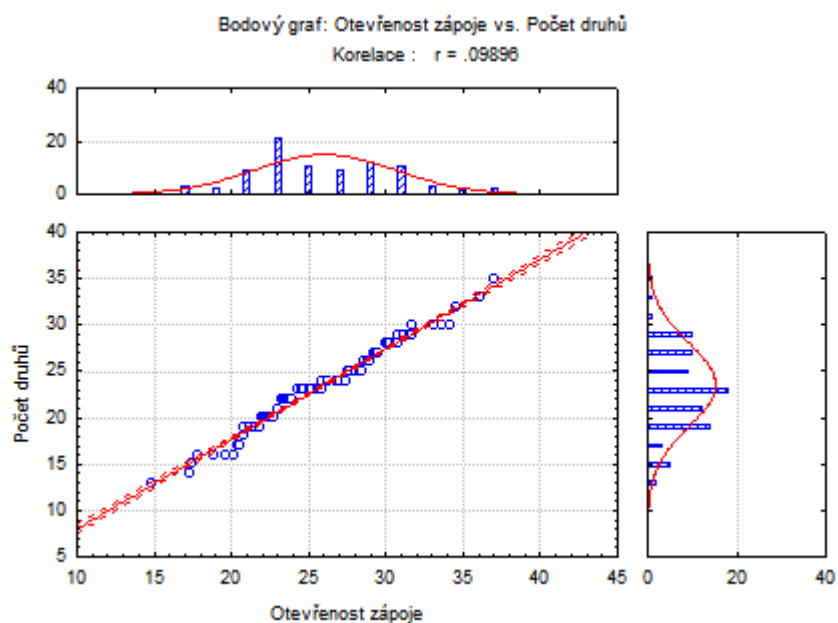
Tabulka 2.: Korelace mezi zvolenými proměnnými ($P=0,05$), $n=86$.

	ph; n=128	ph; n=86
Druhy	-0.071303988	-0.118098191
Pokryvnost	0.055031232	0.00330213

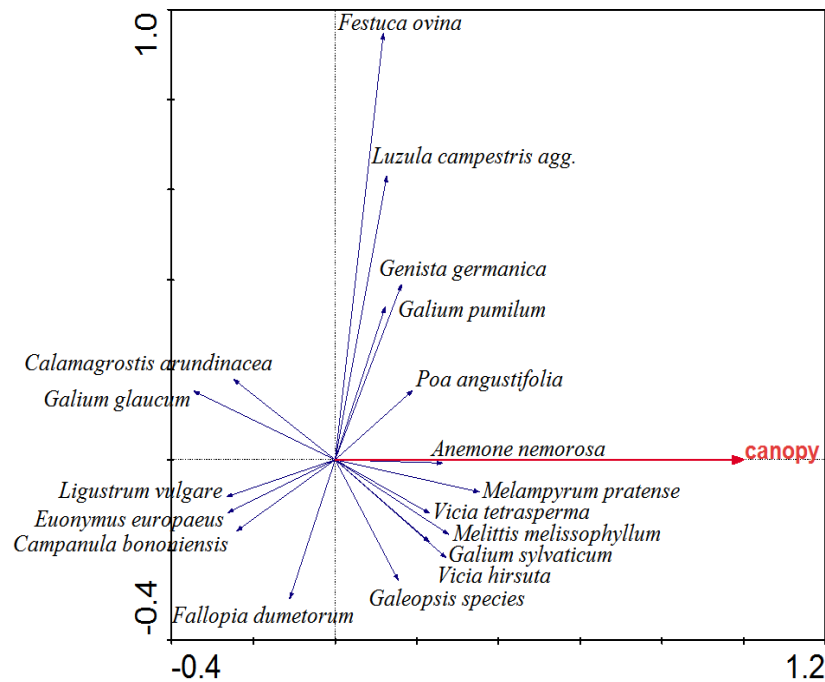
Tabulka 3.: Korelace mezi zvolenými proměnnými ($P=0,05$), $n=128$.



Obrázek 8.: Korelace otevřenosti zápoje a počtu druhů. $N=128$. Úsečka znázorňuje 95% spolehlivost.



Obrázek 9.: Korelace otevřenosti zápoje a počtu druhů. $N=86$. Úsečka znázorňuje 95% spolehlivost.



Obrázek 10.: Ordinační diagram závislosti druhového složení vegetace na zapojení stromového patra. Modré šipky značí druhy, červená šipka aktivně promítnutý vektor Canopy openness. Výsledky testu signifikance: Vysvětlená variabilita faktorem Canopy openness =1,7%, $F=2,162$, $P=0,0170$. Z celkového souboru rostlinných druhů jsem vybral 18 druhů významnějších pro účely výzkumu.

Další korelační test byl proveden mezi pH hodnotami naměřenými pro jednotlivé lokality a opět mezi druhovou bohatostí a pokryvností. Korelace byla testována pro 128 subploch na hladině významnosti $\alpha=0,05$ (viz tabulka 3).

3.5. Diskuze

Otevřenost zápoje zhruba odpovídá výsledkům Macka (2009), který podobné hodnoty naměřil v dubohabrovém lese, též na území Českého krasu. Ve všech případech korelačních analýz nejde o výrazně signifikantní hodnoty. Hodnota korelačního koeficientu mezi otevřeností korunového zápoje a počtem druhů na příslušných subplochách je 0.011 pro všech 128 použitých fotografií. Hodnota korelačního koeficientu při odstranění fotografií s horším kontrastem mnohonásobně stoupla na 0,099. Tento výsledek selekce fotografií naznačuje, jak velké může být ovlivnění analýzy vlivem použití fotografií se zhoršeným kontrastem. Proto je nutné

vždy tyto fotografie vždy vyřadit. To platí i v případě korelační analýzy mezi hodnotami korunového zápoje a procentuální pokrývností vegetace v podrostu. Hodnota korelačního koeficientu pro výše zmíněné analyzované soubory je 0,005. Po odebrání fotografií s nižším kontrastem hodnota korelačního koeficientu stoupá na 0,09. Dle Jelasky (2004) by tyto hodnoty korelačních koeficientů byly průkaznější se stoupajícím počtem analyzovaných snímků. Stejně jako v případové studii Jelasky (2004) zhodnocení LAI 4 a vycházejí v případě odstranění nekонтastních snímků hodnoty jako záporně korelované. Záporně korelované jsou i četnosti a pokrývnosti analyzované s hodnotami indexu LAI 5. U zhodnocení těchto indexů jsem již využil jen 86 fotografií s výborným kontrastem. Z ordinačního diagramu zřetelně vyplývá, které druhy rostlin mají tendenci růstu v podmínkách prosluněného stanoviště: *Anemone nemorosa*, *Melampyrum pratense*, *Vicia tetrasperma* a další (www3). V horní části diagramu můžeme snadno identifikovat druhy rostlin lučních, obývajících suché pastviny či světlé lesy, tolerujících sušší stanoviště. V dolní části diagramu nalezneme druhy, které alespoň částečně vyžadují ke své existenci vlhkost, jako např. opletka křovištní (*Fallopia dumetorum*) (www3). Závislost mezi pH a druhovou bohatostí či pokrývností na zkoumaných plochách vyšla jako neprůkazná. To je způsobeno jednotným druhem půdy vyskytujícím se na celé zkoumané oblasti a stejným geologickým podložím.

K ověření správnosti metody měření jsem neprováděl žádné další přímé měření pro stanovení množství dopadajícího světla na vegetaci. Nevýznamné hodnoty korelačních koeficientů v případě vlivu světla na vegetaci v podrostu může být dán letním obdobím v růstu listnatého lesa. V letních měsících při vyšších klimatických teplotách již pro rostliny není tak důležitým faktorem, v kompetici či jejich rozšíření v pokrývnosti, množství světla. Spíše jako určující pro výskyt rostlinných druhů je uváděna vlhkost prostředí a množství klimatických srážek. Světlo je podstatně více určujícím faktorem pro rostliny jarního období růstu lesa (Coomes & Grubb 2000). Nesignifikantní výsledky analýz mohou být také způsobeny jednotvárností porostu stromů a minimálním množstvím *gapů* umožňujících větší průchod paprsků.

4. SHRnutí

Mezi nejpraktičtější metody analýzy stromového zápoje patří metoda vizuálního odhadu, metoda využívající hemisférické fotografie a metoda využívající ke zhodnocení prostupnosti světla topografická data. Výhodnou a přesnou metodou se je využití hemisférických fotografií, která je velmi přesná oproti metodě vizuálního odhadu. Avšak metoda vizuálního odhadu se zdá být pro některé výzkumy dostačující.

Metodu hemisférických fotografií jsem využil při výzkumu podrostu na území vrchu Vysoká stráň v CHKO Český kras. Zde jsem zjistil, že vliv světla na cévnaté rostliny zde v letních měsících není dosti statisticky průkazný. To je zřejmě ovlivněno jednotvárným typem stromového porostu, který nedovoluje významné odlišné změny v případě průchodu slunečních paprsků do podrostu. Ordinační diagram nám objasnil druhy, které se svou ekologickou strategií vážou spíše k prosvětlené části lesa či druhy tolerující větší množství zástínu. Tyto výsledky mohli být také ovlivněny metodickými nedostatky. Může jít například o chybně zvolenou míru automatického nastavení prahu pro převod do černobílých fotografií. Dalším významným nedostatkem mohou být kvality samotných pořízených fotografií. Ty nemohou být zcela všechny objektivně pořízeny za jednotných ideálních podmínek. Tyto faktory mohou částečně ovlivnit analýzy. V předložené práci jsem zjistil, že metoda určování dopadajícího světla na rostliny pomocí digitálních hemisférických fotografií je vhodná pro studie, které obsahují vysoké množství zkoumaných ploch. Z výsledků, poskytnutých programem *Gap light analyzer*, nelze jednoznačně zhodnotit a určit tzv. reprezentativní podmínky, které by umožnili na základě nízkého počtu měření osvětlení spolehlivě charakterizovat světelné podmínky.

5. LITERATURA

- ANONYM, 1987: Regionálně fytogeografické členění ČSR. Academia. Botanický ústav ČSAV Průhonice.
- ARÉVALO J. R. & FERNÁNDEZ-PALACOIS J. M., 2006: Treefall gaps and regeneration composition in the Laurel forest of Anaga (Tenerife): a matter of size? *Plant ecology. Volume 188, Number 2: 133-143.*
- BEGON M., HARPER J. L. & TOWNSEND C. R., 2010: Základy ekologie. *Univerzita Palackého v Olomouci. 505 s.*
- BROWN N. D., 1993: The implications of climate and gap microclimate for seedling growth in a Bornean lowland rain forest. *Journal of Tropical Ecology 9: 153–168.*
- BUDIL P. & JÄGER O., 2002: Český kras – geologie CHKO České republiky. *Česká geologická služba. Mapový list.*
- COOMES D.A. & GRUBB P.J., 2000: Impacts of root competition in forest and woodlands: a theoretical framework and review of experiments. *Ecological monographs 70: 171-207.*
- ELLENBERG H. & MUELLER-DOMBOIS D., 1974: Aims and methods of vegetation ecology. *547 s, Wiley, New York.*
- EVANS G. D. & COOMBE D. E., 1959: Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. *Journal of ecology 47: 103–113.*
- FRAZER G. W., CANHAM C. D. & LERTZMAN K. P., 1999: Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation.
- FULLER D. O., 1999. Canopy phenology of some mopane and miombo woodlands in eastern Zambia. *Global Ecological Biogeography 8: 199–209.*
- GARDINGEN P.R., JACKSON G.E., HERNANDEZ-DAUMAS S., RUSSEL G. & Sharp L., 1999: Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology 94: 243-257.*

- GLONČÁK P., 2009: Vplyv svetelných podmienok na variabilitu prízemnej vegetácie prírodných horských smrečín. *Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, Supply. 1: 69-83.*
- GOLDBLUM D., 1997: The effects of treefall gaps on understory vegetation in New York State. *Journal of Vegetation Science 8: 125-132.*
- HALE S. E. & BROWN N., 2005. Use of the canopy-scope for assessing canopy openness in plantation forests. *Forestry 78: 365–371.*
- HÄRDTLE W., OHEIMB G. & WESTPHAL C., 2003: The effects of light and soil conditions on the species richness of the ground vegetation of deciduous forests in northern Germany (Schleswig-Holstein). *Forest Ecology and Management 182: 327–338.*
- HENNEKENS S. M. & SCHAMINÉE J. H. J., 2001: TURBOVEG, a comprehensive data basemanagement system for vegetation data. – *Journal of Vegetation Science 12: 589–591.*
- HILL R., 1924: A lens for whole sky photographs. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 50: 227–235.*
- HRON F., 2003: Metody studia ekosystémů. Učební text FŽP. *Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem. 14-16 s.*
- HU L., GONG Z. & LI J., 2009: Estimation of canopy gap size and gap shape using a hemispherical photograph. *Trees – structure and fiction 23: 1101-1108.*
- JARČUŠKA B., 2008: Methodological overview to hemispherical photography, demonstrated on an example of the software GLA. *Folia oecologica 35: 66-39.*
- JELASKA S. D., 2004: Analysis of canopy closure in the Dinaric silver fir–beech forests (*Omphalodo-Fagetum*) in Croatia using hemispherical photography. *Hacquetia 3: 43–49.*
- JELASKA S. D., ANTONIČ O., BOŽIČ M., KRIŽAN J. & KUŠAN V., 2006: Responses of forest herbs to available understory light measured with hemispherical photographs in silver fir–beech forest in Croatia. *Ecological modelling 194: 209–218.*
- JENNINGS S. B., BROWN N. D. & SHEIL D., 1999: Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry 72: 59–73.*

- JONCKHEERE I., NACKAERTS K., MUYS B. & COPPIN P., 2005: Assessment of automatic gap fraction estimation of forests from digital hemispherical photography. *Agricultural Forest Meteorology*, 132: 96–114.
- KUBÁT K. [ed.], 2002: Klíč ke květeně České republiky. *Academia, Praha*. 927 pp.
- LITCHMANN T. & HADAŠ P., (2004): Dynamika FAR na různých stanovištích lužního lesa. Ke stažení na <http://www.amet.cz/Litschmann.pdf>.
- MACEK M., 2009: Variabilita vegetace dubohabrových lesů na jemné škále. Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. *Praha*. 37 s.
- MARTENS S. N., BRESHEARS D. D. & MEYER C. W., 1999: Spatial distributions of understory light along the grassland:forest continuum: effects of cover, height, and spatial pattern of tree canopies. *Ecological Modelling* 126: 79–93.
- MORAVEC [ed.], 2004: Fytocenologie. *Academia. Praha*. 403 pp.
- MUSCOLO A. SIDARI M., BAGNATO S, MALLAMACI C. & MERCURIO R., 2009: Gap size effects on above- and below-ground processes in a silver fir stand. *European journal of forest research* 29: 355-365.
- NOBIS M., 2005: SideLook 1.1 - Imaging software for the analysis structure with true-colour photographs. <http://www.appleco.ch>.
- PROCHÁZKA S., MACHÁČKOVÁ I., KREKULE J., ŠEBÁNEK J. [eds.], 2003: Fyziologie rostlin. *Academia. Praha*. 484 s.
- RICH P. M., 1990: Characterizing plant canopies with hemispherical photography. In: N. S. GOEL & J. M. NORMAN. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. *Remote Sensing Reviews* 5: 13-29.
- REMEŠ J., ULBRICHOVÁ I. & PODRÁZSKÝ, 1999: Dynamika a management lesních ekosystémů I. *Ekologie lesa. ČZU Praha*:52 pp.
- STENBERG P., LINDER S., SMOLANDER H. & FLOWER E., 1994: Performance of the LAI-2000 plant canopy analyzer in estimating leaf area index of some Scots pine stands. *Tree Physiology* 14: 981–995.
- ŠAMONIL P., 2005: Typologie lesů Českého krasu ve vztahu k půdní diverzně. *Praha*, 112 s.

- TER BRAAK C. J. F. & ŠMILAUER P., 2002: CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide. Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Biometris, Wageningen & České Budějovice.
- TICHÝ L., 2002: JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science* 13: 451-453.
- TOMÁŠEK M., 2007: Půdy České republiky. *Česká geologická služba, Praha*. 68 pp.
- VENCURIK J. & SKLENÁR P., 2006: Štruktúra prirodzenej obnovy pri rôznej úrovni stupňa clonenia vo výberkovom lese Oravských Beskýd. *Beskydy (19)*: 131–136.
- WAGNER S., 1994: Strahlschätzung in Wäldern durch hemisphärische Fotos, Methode und Anwendung. *Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades, Göttingen*: 166 s.
- WAGNER S., KUSSNER R., AMMER C. & DOHRENBUSCH A., 2004: Hinweise zur Erfassung von Strahlung und Kronenraumstruktur in Waldbeständen im Rahmen waldbaulicher Untersuchungen. *Forstarchiv* 75: 110–121.
- WELLES J.M. & NORMAN J.M., 1991: Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal* 83: 818–825.
- WERNEROVÁ V., 2007: Vliv světla na druhové složení lesního podrostu na příkladu Milovického lesa. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně. *Přírodovědecká fakulta*. 86pp.
- WHITE P.S., 1979: Pattern, process, and natural disturbance in vegetation. *The Botanical Review*. 45: 229-299.
- WHITMORE T.C., 1975: Tropical rain forest of the far east. *Clarendon, Oxford*. 282 s.
- WHITMORE T.C., 1978: Gaps in the forest canopy. In TOMLISON P.B. & ZIMMERMANN M.H. Tropical trees as living systems. 675pp, *Cambridge University Press, New York*: 639-655.
- WHITMORE T. C., BROWN N. D., SWAINE M. D., KENNEDY D. K., GOODWIN-BAILEY C. I. & GONG W. K., 1993: Use of hemisphere photographs in forest ecology: measurement of gap size and radiation totals in a Bornean tropical rain forest. *Journal of Tropical Ecology* 9: 131–151.
- YAMAMOTO S., 2000: Forest gap dynamics and tree regeneration. *Journal of forest research* 5: 223-229.

ZHANG Y., CHEN J. M. & MILLER J. R., 2005: Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. *Agricultural and Forest Meteorology* 133: 166–181.

ZRAK J. & JALOVÍAR P., 2009: Světelné poměry v bukovém přírodním lese NPR Badín. *Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, Supply. 1*: 55-67.

Internetové zdroje:

www1: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, online: http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html, cit. 17. 4. 2011.

www2: Biologické centrum AV ČR, Entomologický ústav, České Budějovice, online: <http://www.entu.cas.cz/~cizek/NizkeStredniPudy/pdf/burianek.pdf>, cit. 17. 4. 2011.

www3: Květena ČR, Petr Kocián, online: <http://www.kvetenacr.cz/>, cit. 22. 4. 2011.

www4: Mapový server, online: Mapový server, <http://mapy.crr.cz>, cit. 20. 4. 2011.