



# Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí  
Katedra ekologie

## Výskyt a diverzita rostlinných druhů v lesních společenstvech v závislosti na světelných podmínkách

Occurrence and diversity of plant species in forest communities  
depending on the light conditions

## Bakalářská práce

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

**Konzultant bakalářské práce**  
Ing. Alena Drašnarová

**Vypracoval**  
Josef Nociar

2012

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekologie

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Nociar Josef

Aplikovaná ekologie pro bakaláře - kombinované Praha

Název práce

**Výskyt a diverzita rostlinných druhů v lesních společenstvech v závislosti na světelných podmínkách**

Anglický název

**Occurrence and diversity of plant species in forest communities depending on the light conditions**

---

### Cíle práce

Míra heterogenity prostředí je zásadním faktorem, který ovlivňuje výskyt a diverzitu rostlinných druhů ve společenstvech (Tilman et Pacala 1993, Chase and Leibold 2003). Polopřirozené lesy se skládají z mozaiky zapojeného lesa a světlin lišících se dostupností světla (Collins et al. 1985), která významně ovlivňuje distribuci druhů v lesním podrostu (North et al. 2005). Dosud se pouze několik studií zaměřilo na vliv světla na jemné prostorové škále (Dalling et al. 1998, Anderson et Leopold 2002).

Cílem bakalářské práce bude objasnit, jak světelné podmínky ovlivňují výskyt a diverzitu rostlin v lesních společenstvech. První část práce bude rešerší dostupné literatury, druhá část bude případovou studií, která by měla objasnit, jakou roli hraje světlo na různých prostorových škálách v lužních lesích Evropy.

Otázky:

1. Na jakém prostorovém měřítku pomáhá světelná proměnlivost v lesích koexistovat rostlinám?
2. Ovlivňují světelné podmínky v lesích pouze fitness rostlin nebo i jejich výskyt?

### Metodika

První část práce bude rešerší dostupné literatury, druhá část bude případovou studií, která by měla objasnit, jakou roli hraje světlo na různých prostorových škálách v lužních lesích Evropy.

### Harmonogram zpracování

2011-2012

- zpracování literární rešerše
- zpracování pilotních dat o tom, jak závisí diverzita rostlin na proměnlivosti světelných podmínek

## Rozsah textové části

10-30

## Klíčová slova

heterogenita prostředí, lužní lesy, hemisférické fotografie, fytoecologie

## Doporučené zdroje informací

Anderson K. L. et Leopold D. J. (2002): The role of canopy gaps in maintaining vascular plant diversity at a forested wetland in New York State. *Journal of the Torrey Botanical Society* 129:238–250.

Chase J. M. et Leibold M. A. (2003): *Ecological niches: linking classical and contemporary approaches*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.

Collins B. S., Dune K. P. et Pickett S. T. A. (1985): Responses of forest herbs to canopy gaps. In Pickett S. T. A. et White P. S. [eds.]: *The ecology of natural disturbance and patch dynamic*: 218-234. Academic Press, New York, USA.

Dalling J. W., Hubbell S. P., and Silveira K. (1998): Seed dispersal, seedling establishment and gap partitioning among tropical pioneer trees. *Journal of Ecology* 86:674–689.

North M., Oakley B., Fiegenger R., Gray A. et Barbour M. (2005): Influence of light and soil moisture on Sierran mixed-conifer understory communities. *Plant Ecology* 177: 13-24.


Tilman D. et Pacala S. (1993): The maintenance of species richness in plant communities. In Ricklefs R. E. et Schluter D. [eds.]: *Species diversity of ecological communities: Historical and geographical perspectives*: 13-25. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.

## Vedoucí práce

Douda Jan, Ing., Ph.D.

## Konzultant práce

Drašnarová Alena

  
prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 22.8.2011

  
prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Výskyt a diverzita lesních druhů v závislosti na světelných podmínkách“ vypracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Praze dne 29. 4. 2012

Josef Nociar

## Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval svému školiteli Honzovi Doudovi za cenné rady při psaní této práce a to jak po věcné, tak i formální stránce. Stejně díky patří mé konzultantce Aleně Drašnarové, obzvláště pak za lekce týkající se statistických programů. Dále si vážím možnosti absolvovat s nimi výjezdy napříč Evropou, kde mám možnost přiučit se něco více než ve školních škamnech nebo doma v knihách.

## Abstrakt:

Vlastnosti a struktura zápoje modifikují distribuci fotosynteticky aktivního záření (FAR) v prostoru a čase, čímž dochází ke změnám světelných podmínek v podrostu. Světlo ovlivňuje další faktory jako teplotu a vlhkost vzduchu, půdní vlhkost a dostupnost živin. Je tedy možné ho brát jako jeden z hlavních faktorů určujících heterogenitu prostředí a tím i potenciální druhovou bohatost lesního podrostu.

Tato práce se za pomoci hemisférické fotografie zabývá hodnocením vlivu světla na druhy rostlin v přírodě blízkých lesních společenstvech na 34 lokalitách v měřítku střední a jižní Evropy. Především pak v lužních lesích svazu *Alnion incanae* a v mokřadních olšínách svazu *Alnion glutinosae*. Byl zjišťován vliv světla a jeho proměnlivosti na druhové bohatství cévnatých rostlin. Hodnocena byla otevřenost zápoje, Leaf Area Index a transmitance světla.

Počet (i) všech rostlinných druhů a (ii) bylin v lužních lesích pozitivně koreluje se zvyšující se dostupností světla. Děje se tomu tak na škále transektů o velikosti 3 x 50 metrů. V měřítku samostatných ploch (> 3 m<sup>2</sup>), se ukázal být vliv světla na podrost zanedbatelný. Podobně se ukázalo, že světelná proměnlivost v rámci transektu významně neovlivňuje druhové bohatství. Výsledky naznačují, že rostlinné druhy se na lokální škále na stanovištích s proměnlivými světelnými podmínkami výrazně stanovištně nediferencují.

Klíčová slova: heterogenita prostředí, porostní mezery, lužní lesy, hemisférické fotografie, fytocenologie, světelné podmínky, Gap light analyzer

## Abstract:

The character and structure of canopy modify spatial and temporal distribution of photosynthetically active radiation (PAR), which vary understorey light conditions. Light affects other factors such as air humidity and temperature, soil humidity and source availability. It is therefore possible to take as a factor determining environment heterogeneity and consequently species richness.

In this study I use hemispherical photography to assess the impact of light on plant species in near-natural forest communities at 34 sites in Central and South Europe. Particularly in alluvial forests belonging to the alliance *Alnion incanae* and alder carr of the alliance *Alnion glutinosae*. I investigated the influence of light and its variability in species richness of vascular plants. A canopy openness, Leaf Area Index and transmittance were evaluated.

A number of (i) all species and (ii) herbs is positively correlated with increasing light availability. It occurs on scale of transects of approximately 3 x 50 meters. The influence of light on understory was insignificant on scale of individual plots (> 3 m<sup>2</sup>). Similarly, it was shown that light variability in the transect does not significantly affect species richness. The results indicate that plant species do not differentiate significantly on a local scale at habitats with varying light conditions.

Keywords: environment heterogeneity, gaps, floodplain forests, hemispherical photographs, phytoecology, light conditions, Gap light analyzer

## Obsah:

1. Úvod.....	10
2. Cíle práce .....	11
3. Literární část – rešerše .....	11
3.1 Světlo a jeho význam pro rostliny .....	11
3.2 Prostorová skladba lesních společenstev a odezva na světlo.....	11
3.3 Rozdělení rostlin s ohledem na světlo .....	13
3.4 Vliv světla na mikroklima .....	13
3.5 Heterogenita prostředí.....	14
3.6 Disturbanční procesy a dynamika porostu .....	14
3.7 Význam porostních mezer pro lesní ekosystém.....	15
3.8 Parametry užívané k vyčíslení charakteru zápoje .....	16
3.9 Přímé a nepřímé techniky hodnocení zápoje .....	17
3.10 Hemisférické fotografie .....	17
4. PRAKTICKÁ ČÁST.....	18
4.1 Charakteristika lokalit a jejich výběr .....	18
4.2 Lužní lesy – obecná charakteristika .....	19
4.3 Fytcenologické snímkování.....	19
4.4 Metodika snímání korunového zápoje .....	20
4.5 Zpracování hemisférické fotografie .....	20
4.6 Zpracování fytcenologických snímků - analýzy dat o druhovém složení..	23
4.7 Statistické výpočty .....	23
5. Výsledky .....	25
5.1 Hodnoty proměnných světla z GLA.....	25
5.2 Vztahy druhové bohatosti a světla na jednotlivých plochách.....	25
5.3 Vztahy druhové bohatosti vůči úrovni a heterogenitě světla na transektech	26
6. Diskuze.....	28
7. Závěr .....	30



8. Použitá literatura.....	31
9. Přílohy .....	38

## 1. Úvod

Vegetace lužních lesů je jako každé ekotonální společenstvo výrazně ovlivněna proměnlivými faktory prostředí. V případě lužních lesů se jedná hlavně o proměnlivý vodní režim, chemické vlastnosti půdy, a mikrotopografii. Neméně podstatným a podle některých autorů rozhodujícím faktorem, jsou světelné podmínky v podrostu (Barbier et al. 2008).

Tato bakalářská práce se snaží ukázat, jak vliv světelných podmínek ovlivňuje rostlinné druhy lužních lesů. Snaží se tak přispět k pochopení toho, jak koexistují druhy v lesních společenstvech.

Případová studie byla prováděna v lužních společenstvech svazů *Alnion incanae* a *A. glutinosae* na širokém geografickém měřítku - střední a jihozápadní až jihovýchodní Evropa. Byla zjišťována závislost mezi druhovým bohatstvím cévnatých rostlin a světelnými podmínkami a jejich proměnlivostí. Na jednotlivých zkoumaných plochách celého zájmového území, by tak měl být patrný pozitivní či negativní trend druhového bohatství vůči konkrétním aspektům světla usměrňovaného zápojem. Světlo může být výrazným limitujícím faktorem pro podrostitní vegetaci. V tomto případě lze očekávat pozitivní vztah mezi druhovým bohatstvím a světelnými podmínkami. Na druhou stranu může nedostatek světla limitovat šíření kompetičně silných druhů, to může přispět k většímu druhovému bohatství rostlin v zastíněných biotopech a negativnímu vztahu mezi druhovým bohatstvím a světelnými podmínkami. Proměnlivost světla v podrostu by měla zvyšovat druhové bohatství rostlin pokud jsou jednotlivé rostliny na jemném prostorovém měřítku podrostu vázány na stinná nebo osvětlená místa.

Zatímco relativní důležitost mechanismů, jež berou v úvahu proměnlivost světla a vliv zápoje na biodiverzitu podrostu, je často diskutována, tyto mechanismy jsou jen zřídka předmětem formálních experimentů. Budoucí výzkum, by měl lépe porozumět těmto vztahům a stanovit obecné zákonitosti.

## 2. Cíle práce

V rešeršní části bakalářské práce jsem se pokusil vysvětlit vliv světla na výskyt a *fitness* druhů v lesních společenstvech. Cílem případové studie bylo zjistit:

- 1) závislost počtu druhů (i) všech rostlin (ii) bylin (iii) stromů na světelných podmínkách v podrostu.
- 2) zda pomáhá větší světelná proměnlivost (heterogenita) v lužních lesích koexistovat rostlinám.

## 3. Literární část – rešerše

### 3.1 Světlo a jeho význam pro rostliny

Rostliny jako autotrofní organismy jsou na slunečním záření naprosto závislé a jelikož přibližně 56 % viditelného světla je pro ně nedostupné, je způsob jakým s ním nakládají primární, pro jejich přežití (Woolley 1971; Canham et al. 1994). Rostliny využívají fotosynteticky aktivní záření (FAR) o vlnových délkách v rozmezí 400 až 700 nm při fotosyntéze, kdy se aktivuje chlorofylové barvivo a světelná energie se mění na energii chemickou. Tím dochází k produkci organických látek využívaných k metabolismu rostliny (Decoteau et al. 1996).

Světlo rostlinám slouží také jako informační zdroj, díky němuž řídí svou fotoperiodicitu, obranné a jiné funkce (Decoteau et al. 1996). Dále je hlavním z faktorů ovlivňujících klíčení, růst, přežívání a šíření rostlin v podrostu (Gray et Spies 1996) a je běžně považováno za limitující faktor pokryvnosti a bohatosti lesní vegetace (Hill 1979; Kirby 1988; Jennings et al. 1999).

Jeho dostupnost se v podrostu mění ihned po vytvoření porostních mezer v zápoji, kterými je rozděleno časově i prostorově (Canham et al. 1990, Nicotra et al. 1999), což má vliv na uspořádání stínomilných a světlomilných rostlin (Kneeshaw et al. 1999).

### 3.2 Prostorová skladba lesních společenstev a odezva na světlo

Lesní společenstvo je v prostoru stratifikováno ve směru vertikálním, kdy dochází ke střídání jednotlivých rostlinných pater různé úrovně (Parker et al. 2000) a stejně tak je i rozvrstveno horizontálně od jeho okrajů ke středu. S tím souvisí i

změna světelných podmínek podél gradientů skladby vegetační krytu (Martens et al. 2000). Polopřirozené lesy se skládají z mozaiky zapojeného lesa a světlin lišících se dostupností světla (Collins et al. 1985), která významně ovlivňuje distribuci druhů v lesním podrostu (North et al. 2005). Termínem podrost je myšlena přízemní vegetace, jež zahrnuje keřové (E2, dřeviny od 0,5 do 5 m výšky), bylinné (E1, byliny a semenáčky dřevin do 0,5 m výšky) a mechové patro (E0, mechorosty a lišejníky).

Prostupnost světla skrze stromové patro závisí na druhové skladbě zápoje a tudíž mnoha vlastnostech stromů samotných (Sagar 2008). Například na velikosti listů, optických vlastnostech listů nebo prostorovém uspořádání listů (Barkman 1992). Dokonce se i liší typy listů v rámci jednoho stromu a to s ohledem na jejich pozici v koruně. Ty, jež běžně jsou vystaveny přímému slunci, mívají ve svých buňkách více chloroplastů a bývají tlustší s více vrstvami buněk. Naproti tomu listy ze stínu vstřebávají hlavně difuzní záření a jsou celkově subtilnější (Begon et al. 2005). Koruny světlomilných druhů jsou vertikálně rozvinutější než druhů stínomilných a přijímají tedy více světla (Canham et al. 1994; Messier et al. 1998). Ranně sukcesní porosty mají tendenci mít otevřenější zápoj, ale k uzavření může dojít velice rychle a uzavřenost se může udržet až do stadia pozdní sukcese, kdy se porostní mezery (v anglicky psané literatuře „gap“) stanou častějšími (Hill et al. 2005).

V případě semenáčků stromů je jejich uchycení na stanovišti často limitováno (v závislosti na velikosti porostové mezery) prvními 1-5 lety, následujícími po vytvoření porostové mezery (Canham et Marks 1985). Časně uchycení a rychlý růst jsou kritické faktory především pro podrostní druhy, jež vyžadují vysokou dostupnost světla (Clinton et al. 1994). Právě olše lepkavá (*Alnus glutinosa*) si nárokuje pro svůj růst a udržení se na stanovišti především z počátku téměř plně světelné podmínky (Pokorný 2000).

Podobné nároky v podrostu mají některé druhy bylin, jež využívají sezónní změny v průniku slunečního záření, které podmiňují jejich vegetační rytmus vývoje. U opadavého lesa se tak vytváří jarní aspekt z bylin náročných na intenzitu přímého záření a ukončujících svůj vegetační cyklus v době, kdy dochází k olistění stromů. Po olistění nastává letní aspekt s rostlinami s menšími požadavky na světelné záření. Aby rostliny přežily silným konkurenčním tlakům na stanovišti, musí tudíž využít pro ně nejvhodnější dobu k růstu (Schemske et al. 1978; Houle 2002). S tím souvisí i fitness a budoucí úspěšnost rostlin, neboť čas, po který se vyvíjí je

rozhodující (Verdú et Traveset 2005). Stejní autoři uvádí, že časný vývin u semenáčků nerozhoduje přímo o jejich přežívání, ale zvýhodňuje jejich růst a fekunditu. Takové účinky se ovšem liší v závislosti na vlastnostech rostlin jako je počáteční velikost nebo životní strategie.

### 3.3 Rozdělení rostlin s ohledem na světlo

Podrostitní druhy se liší v požadavcích na pro ně optimální světlo a právě na tomto znaku jsou založeny některé z klasifikací rostlin: Rameau et al. (1989) rozlišuje světlomilné, polosvětlomilné a stínolerující druhy. Podobně jako Canham (1989) i Whitmore (1989) rozdělil druhy na dvě hlavní skupiny závislé na svých požadavcích na světlo. Na pionýrské druhy, které neprosívají ve stínu a jejichž semena klíčí, jen pokud jsou vystaveny přímému slunci po alespoň část dne, jako je tomu v porostních mezerách. Dále na klimaxové druhy, které klíčí pod zápojem stromů a jejichž semenáčky prospívají ve stínu.

Toto je jen zobecněný popis vztahu rostlin k jejich prostředí, jelikož většina druhů má unimodální odezvu na environmentální proměnnou. To znamená, že své optimum má při určité hladině proměnné prostředí. Tento vztah je možno vyjádřit pomocí indikačních hodnot. Ellenberg et al. (1992) přiřazuje cévnaté druhy rostlin podél gradientů světla k hodnotám ordinální stupnice rozsahu jedna až devět. Metodika Ellenbergových indikačních hodnot je sice primárně určená a vychází z výzkumu pro střední Evropu, nicméně své uplatnění má mnohem širší. Mimo jiné byla dalšími autory doplněna i pro další oblasti. Pro mediterán (Bucci et Borhetti 1997), Velkou Británii (Hill et al. 1999), pro severní Evropu vylepšil kvalitativní hodnocení těchto hodnot a zejména světla Diekmann (1995) a v baltské oblasti zas aplikoval tento postup Prieditis (1997) na mokřadní společenstva s *Alnus glutinosa*.

### 3.4 Vliv světla na mikroklima

Mikroklimatické podmínky a konkrétně hustota toku FAR dopadajícího do podrostu, je modifikována strukturou zápoje a tím i regulována míra fotosyntézy a odparu vody (Eschenbach et Kappen 1996). Jedním z hlavních procesů, jímž stromy přetvářejí prostředí pod zápojem je intercepce přímého slunečního záření (Sagar 2008). Výsledkem toho dochází ke snížení teploty půdy a evapotranspirace, což ovlivňuje režimy půdní vlhkosti pod zápojem (Vetaas 1992).

Jelikož světlo v podrostu je blízce závislé na skladbě zápoje, stejně tak závislá je i teplota a vlhkost vzduchu a to zejména na hustotě zápoje (Sharpe et al.

1996). Změny těchto faktorů byly v lesním prostředí pozorovány (Hunter 1990; Porté et al. 2004) a někdy také diskutovány jako působící na podrostní floru (Nihlgard 1969).

Vzhledem k tomu, že jsou změny teplotního a vlhkostního režimu korelovány s režimem světla (Barkman 1992), lze světelné podmínky považovat za významný prediktor méně patrných mikroklimatických změn v podrostu (Barbier et al. 2008).

### 3.5 Heterogenita prostředí

Uvnitř porostních mezer, se mikroprostředí může lišit z bodu do bodu a to se zvětšující se vzdáleností od středu mezer, s orientací ke světovým stranám a s mikrotopografií (Collins et Pickett 1987). Odlišné mikrohabitaty (ve smyslu světla, vlastností půdy a mikroklimatu) vytvářené různými druhy stromů v zápoji jsou pravděpodobně klíčem k porozumění distribuce druhové rozmanitosti podrostu ve smíšených lesích (Cavard 2011). Mezi tato mikrostanoviště jsou rostliny rozrůzněny na základě vzájemných vztahů (trade-off) ve využívání zdrojů a prostředí (Douda et al. 2011).

Vztah mezi heterogenitou prostředí a druhovou diverzitou (Tilman et Pacala 1993; Chase et Leibold 2003) vychází právě z tohoto předpokladu, tedy že heterogenní prostředí nabízí více potencionálních nik a tak umožňuje koexistovat velikému spektru rostlinných druhů. Jsou zde ovšem i práce, které zpochybňují tuto obecně přijímanou tezi (Lundholm 2009).

### 3.6 Disturbanční procesy a dynamika porostu

North et al. (2005) zmiňují, že ve většině lesních společenstev je abundance a druhová bohatost podrostu silně ovlivněna změnami v pokryvnosti stromového zápoje díky disturbancím a sukcesi.

Disturbance mohou být různých příčin i rozsahu. Ve velkém měřítku mohou být způsobeny například větrnou kalamitou, vulkanickou činností nebo třeba záplavami, jež hrají právě v lužních lesích důležitou roli. Pro můj výzkum je ovšem primární dynamika na malé škále, tedy taková, kdy v porostu dojde ke ztrátě jednoho nebo několika mála stromů a následně jejich místo zaujmou jedinci vzeší z semenáčků stagnujících pod uzavřeným zápojem. Na takových disturbancích se také může podílet vítr, který vytrhne stromy i s kořeny nebo je jen přelomí. Další příčinou může být blesk nebo činnost parazitů, jež ve smíšeném lese zahubí jeden konkrétní druh a vznikají tak porostní mezery (Pickett et Cadenasso 2005).

Hubble (1986) uvádí, že tímto způsobem se dává do pohybu „minisukcesní“ posloupnost nazývaná *gap phase regeneration*, jež posléze vyvrcholí nahrazením původních stromů, stromy novými. Během tohoto sledu událostí dochází na stanovišti ke změnám zejména světelných podmínek, což přímo či nepřímo ovlivňuje podrost.

Týká se to ovšem i jiných faktorů. Například rostliny, jež zůstaly v nově otevřeném prostoru, mají ve srovnání s těmi pod zápojem, usnadněný příjem vody, jelikož déšť zde může lépe pronikat do spodních pater porostu. K dalším procesům může docházet v půdě po vyvrácení stromů a to jak jejím samotným narušením a změnou podmínek pro půdní mikroby, tak i redukcí kořenové hmoty, čímž se živiny jako dusík stávají pro rostliny dostupnější. Stejně tak tím mohou vzrůst půdní teplotní extrémy, což má vliv na půdní vlhkost a také může působit jako signál pro klíčení dormantních semen (Pickett et Cadenaso 2005).

### 3.7 Význam porostních mezer pro lesní ekosystém

Porostní mezery proměňují lesní prostředí (White et Pickett 1985; Collins 1987, Brokaw et Busing 2000) a jsou klíčovým faktorem, majícím vliv na strukturu a dynamiku lesních ekosystémů. Typ, velikost a frekvence těchto disturbancí, jimiž tyto mezery vznikají, reguluje druhovou skladbu, sukcesní změnu a obsah a koloběh živin na daném stanovišti (Spies 1990).

Beaudet et al. (2004) zmiňují časový aspekt, a sice že vytváření mezer v zápoji vyústí k zvýšení dostupnosti světla, avšak střední a dlouhodobé efekty otevřenosti zápoje závisí na tom, jak dlouho mezery v zápoji přetrvávají. Zatímco u sukcesních porostů na malé škále mohou být disturbance v zápoji zdrojem jejich heterogenity, tak vazba mezi disturbancemi, druhovou diverzitou a dynamikou zápoje, je u starých porostů zřetelně mnohem slabší (Canham et al. 1994). Barbier et al. (2008) uvádí zásadní význam aktuální skladby a zápoje stromového patra na podrost. Například Thomas et al. (1999) ale poukazuje na to, že vztah podrostití vegetace vůči světlu by mohl být spíše vysvětlen světelnými podmínkami, jež na místě panovaly v minulosti, než současným režimem světla. Vysvětluje to pomalou reakcí rostlin na změnu podrostitních světelných podmínek. V důsledku toho by byla odezva podrostu na aktuální prostupnost světla silnější v porostech, u kterých došlo k několika změnám režimů světla v minulosti.

Stejně tak existuje mnoho prací věnujících se typu a velikosti porostních mezer, jež by mohli mít na podrost nějaký vliv. Collins a Pickett (1987) se pokusili

v severoamerických lesích mírného pásma kvantifikovat rozdíl mezi uzavřeným a otevřeným zápojem. Konkrétně u druhů střemcha pozdní (*Prunus serotina*) a javor cukrový (*Acer saccharum*), stanovením různorodosti mezer a popsáním velikosti a rozsahu prostředí tvořeného otevřeným zápojem po pádu jednoho či více stromů. Stanovili tak přibližnou velikost pro mezeru po jednom stromu (33 - 37 m<sup>2</sup>) a více stromů (51 - 151 m<sup>2</sup>). Ve studiích, zabývajících se touto problematikou jsou často simulovány přirozené disturbanční procesy vytvářením umělých mezer (Collins et Picket 1988; Beaudet et al. 2004; Fahey et Puettmann 2007). První jmenovaní ve svém pokusu káceli stromy o různé velikosti a to bez narušení půdy a zjistili značnější proměnlivost druhů ve větších mezerách (průměr 10 m) než v těch menších (průměr 5 m).

Fahey et Puettmann (2007) uvadějí, že u podrostního společenstva rostlin větších mezer se může vzhledem k silnějším gradientům zdrojů více projevat rozčlenění potencionálních nik (viz kapitola 3.5). Zatímco menší mezery nemusí mít stejnou odezvu (Moore et Vankat 1986).

### 3.8 Parametry užívané k vyčíslení charakteru zápoje

Aby bylo možné nějak funkčně vyjádřit složitou komplexitu trojrozměrné struktury zápoje, je třeba ji zjednodušit na dichotomii porostních mezer a uzavřeného zápoje (Popma et al. 1988). Tím se také zdůrazní přímý vliv struktury zápoje na propustnost světla do podrostu (Jones et Sharitz 1998) a zároveň je možné vyjádřit strukturu zápoje proměnnými jako je uzavřenost zápoje, respektive jeho otevřenost (*canopy openness*) nebo *Leaf Area Index* a další (Montgomery et Chazdon 2001).

*Otevřenost zápoje* je procentuální vyjádření oblohy (nepřekryté vegetací) viděné z jednoho bodu zpod zápoje (Jennings et al. 1999). Je silně korelována s mnoha aspekty lesního mikroklimatu, včetně celkového příjmu FAR (Whitmore et al. 1993).

*Leaf area index* (LAI) je klíčovou strukturální charakteristikou lesních ekosystémů, neboť zelené listy kontrolují mnoho biologických a fyzikálních procesů uvnitř zápoje (Chen et al. 1997). LAI je možné definovat jako celkovou, jednostrannou plochu listů vůči jednotce plochy země v metrech čtverečních (Rich 1995). Jeho hodnoty se pohybují od 0 (pro snímky bez zápoje) po 6 a více (pro husté plně zapojené lesy). Popisuje tedy fotosyntetický a transpirační povrch



rostlinného zápoje (Frazer et al. 1999) a je hlavní determinant výparu a produktivity lesních ekosystémů (Eschenbach et Kappen 1996).

*LAI4* je efektivní index listové plochy integrovaný přes zenitové úhly od 0 do 60 stupňů (Stenberg et al. 1994). *LAI5* je index založený na totožném principu, avšak rozšířený o zenitové úhly od 0 do 75 stupňů (Welles et Norman 1991).

Dalšími proměnnými světla, s nimiž se často počítá a jež v této práci také uvádím, jsou tři druhy transmitance, která vyjadřuje množství světla určité vlnové délky, které projde daným předmětem.

*Trans Direct* (TDIR) je množství přímého slunečního záření procházejícího skrz zápoj. *Trans Diffuse* (TDIF) je množství rozptýleného slunečního záření procházejícího skrz zápoj. *Trans Total* (TTOT) je množství celkového slunečního záření (součet TDIR a TDIF) procházejícího skrz zápoj (Frazer 1999).

### 3.9 Přímé a nepřímé techniky hodnocení zápoje

Ke zkoumání stromového zápoje a světla, procházejícího skrz něj do podrostu, bylo v minulosti vypracováno více metod a to jak (i) přímých - fotometrická, radiometrická a kvantová měření, tak (ii) nepřímých - *spherical densiometer*, hemisférické fotografie a vizuální odhad zápoje (Jennings et al. 1999). Z důvodů značné prostorové variability jsou nepřímé metody, na rozdíl od těch přímých, časově i finančně méně náročné (Brown et al. 2000; Jarčuška 2008, Promis 2011). Díky tomu a s přihlédnutím i k relativní přesnosti, je jednou z často využívaných metod hodnocení zápoje, právě metoda založená na hemisférických fotografiích.

### 3.10 Hemisférické fotografie

Tato technika studuje rostlinný zápoj fotografiemi pořizovanými hemisférickým 180° objektivem (rybí oko), vzhůru kolmo vůči nebi, respektive zápoji (Anderson, 1964). Při opakovaném snímání ze stejného místa mohou být hemisférické fotografie využity ke sledování lesní dynamiky a časových změn v zápoji. Dále k popisu vytváření a uzavírání mezer zápoje a k monitorování sezónních změn v hustotě listoví. (Rich 1990).

Tento objektiv byl původně navržen pro studium oblaků (Hill 1924) a v oboru ekologie lesa si našel své místo koncem šedesátých let minulého století (Evans et Coombe 1959; Anderson 1964). Od té doby doznaly, nejen samotná metoda

zkoumání zápoje pomocí hemisférických fotografií, ale i technické vybavení značného pokroku. Za přispění jednotlivců, institucí i soukromých firem tak bylo vyvinuto několik softwarových programů a to jak na bázi komerčních balíčků např. HemiView (Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK), WinScanopy 2006b (Régent Instruments, Canada), tak i freewarů jako Winphot (Steege 1997), Gap Light Analyzer 2.0 (Frazer et al. 1999), HemIMAGE (Brunner 2002), CIMES (Walter et al. 2003), Hemisfer (Schleppi et al. 2007).

Vyhodnocování dat v těchto programech bylo věnováno v poslední době několik prací (Jarčuška 2010; Promis et al. 2011). Vzhledem k tomu, že výsledky u jednotlivých parametrů zápoje se lišily jen nepatrně a žádný z nich nebyl vůči ostatním prokazatelně optimálnější, zvolil jsem program Gap Light Analyzer (GLA) pro jeho dostupnost a především pro častou volbu tohoto programu mnohými autory (viz Jarčuška 2008). Pro některé analýzy jsem využil také program SideLook 1.1.01 (Nobis 2005).

## 4. PRAKTICKÁ ČÁST

V této části vysvětlím postup sběru dat a zpracování hemisférických fotografií. Dále pak získané hodnoty otestuji a pokusím se pomocí nich prokázat vztahy druhové bohatosti vůči světelným podmínkám. Přesněji vůči úrovni světla a jeho heterogenitě, čímž chci prozkoumat teorii diverzita-heterogenita (Douda et al. 2011), tedy závislost vzrůstajícího počtu druhů na proměnlivějším prostředí.

### 4.1 Charakteristika lokalit a jejich výběr

Výzkum byl prováděn na 34 lokalitách, ve 13-ti zemích, převážně střední a jihozápadní až jihovýchodní Evropy (Česká republika, Rakousko, Německo, Portugalsko, Španělsko, Francie, Švýcarsko, Itálie, Slovinsko, Černá hora, Řecko, Bulharsko a Rumunsko) a to v rozmezí nadmořských výšek cca 75 až 936 m n. m. (podrobnosti k lokalitám viz příloha 1). Jednalo se převážně o polopřirozené porosty zahrnuté v soustavě NATURA 2000 nebo jinak lokálně chráněné, obvykle podél vodních toků, především řek, ale i jezer. Přesněji se jednalo o lužní lesy svazu *Alnion incanae* a mokřadní olšiny svazu *Alnion glutinosae*. Podmínkou bylo, aby vzdálenost jednotlivých lokalit od sebe byla minimálně 50 km a aby na každé lokalitě byla zastoupena buď *Alnus glutinosa* a/nebo *A. incana*.

## 4.2 Lužní lesy – obecná charakteristika

Lužní společenstva svazů *Alnion incanae* i *A. glutinosae* jsou azonální druhově bohaté, smíšené lesy s vlhkomilnou vegetací. Jejich rozšíření je omezené na břehy vodních toků, jejichž přirozený hydrologický režim nebyl příliš pozměněn člověkem. Potoční olšiny s olší šedou a lepkavou typické pro dravější říční toky podléhají opakovaným krátkodobým záplavám, při nichž je vegetace narušována silným proudem. Zatímco pro mokřadní olšiny v nivách dolních toků je typická spíše stagnace vod se zvýšenou vodní hladinou v úrovni půdy a pozvolnými jarními záplavami, jež vegetaci mechanicky tolik nenarušují. Proměnlivost vodního režimu a světelných podmínek vytváří v obou biotopech značně různorodé podmínky prostředí. Mnoho ze současných lužních lesů vzniklo díky antropogenní činnosti druhotně až v průběhu několika posledních století (Douda et al. 2009). V přirozených podmínkách však mohou vytrvat porosty na stejné lokalitě i více než tisíc let (Marek 1965).

## 4.3 Fytocenologické snímkování

Všechna data byla pořízena v rozmezí 29. dubna a 7. září roku 2011. V jednotlivých porostech byly umístěny liniové transekty, pásmem změřené na 50 metrů a sestávající z deseti kruhových ploch o průměru 3 metry. Na každé z ploch bylo provedeno podrobné fytocenologické snímkování a pokryvnost nalezených rostlin zaznamenána v %. Předmětem zkoumání byla vegetační patra E1 – E3.

V pořízených fytocenologických snímcích bylo nalezeno 612 druhů zástupců cévnatých rostlin. Nejčastějšími zástupci dřevin mimo olší byly javor klen (*Acer pseudoplatanus*) jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), svída krvavá (*Cornus sanguinea*) a zimolez obecný (*Lonicera xylosteum*).

Z bylin se vyskytovaly typické indikační druhy lužních lesů jako bršlice kozí noha (*Aegopodium podagraria*), česnáček lékařský (*Alliaria petiolata*), kuklík městský (*Geum urbanum*), popenec obecný (*Glechoma hederacea*), netýkavka nedůtklivá (*Impatiens noli-tangere*), hluchavka skvrnitá (*Lamium maculatum*), lipnice obecná (*Poa trivialis*), ostružiník ježiník (*Rubus caesius*) a kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*). Ve vlhčích místech terénních depresí se vyskytovaly druhy metlice trsnatá (*Deschampsia cespitosa*), krabilice chlupatá (*Chaerophyllum hirsutum*) či rdesno peprník (*Persicaria hydropiper*). Z dalších byly nejvíce zastoupeny druhy pitulník horský (*Galeobdolon montanum*), čistec lesní (*Stachys sylvatica*), kakost smrdutý (*Geranium robertianum*), válečka lesní (*Brachypodium sylvaticum*), ptačinec hajní

(*Stelaria nemorum*), violka lesní (*Viola reichenbachiana*), svízel přítula (*Galium aparine*), orsej jarní (*Ranunculus ficaria*), pryskyřník plazivý (*R. repens*) a přeslička rolní (*Equisetum arvense*), z ostřic o. řídkoklasá (*Carex remota*), o. lesní (*C. sylvatica*) a z popínavých rostlin břechťan popínavý (*Hedera helix*) nebo plamének plotní (*Clematis vitalba*).

#### 4.4 Metodika snímání korunového zápoje

Ve středu každé plochy byly udělány vždy 2 fotografie za použití kinofilmové zrcadlovky Nikon a objektivu Sigma 8mm fish-eye a stativu s polohovací hlavou, což umožnilo horizontální nastavení fotoaparátu, ve výšce 1,5 m a orientací horní hrany negativu k „magnetickému“ severu, určeného kompasem. Použitý kinofilm byl značky Fujifilm ISO 200 a expozice zvolena jako automatická. K dosažení co nejlepší kvality fotografií je neoptimálnější vytvářet snímky v mírně tlumeném světle, tedy z rána, na večer, případně pod mrakem. Přímé oslnění sluncem způsobuje na listech jasné odlesky, snižuje kontrast mezi otevřenou plochou oblohy a zápoje (Brown et al. 2000) a tudíž zvyšuje chybu při vyhodnocování poměru jednotlivých pixelů programem Sidelook a následné analýze v GLA. Ovšem předejít tomuto zcela, nebylo vždy možné, vzhledem ke každodenním přesunům na velké vzdálenosti a časovému harmonogramu.

#### 4.5 Zpracování hemisférické fotografie

Snímky byly naskenovány, zdigitalizovány a posléze subjektivně hodnoceny. Třináct z nich jsem z důvodů velmi špatné kvality (pod/přeexponování snímků či zřejmé přесvícení kontaktní vegetace bleskem) vyřadil. Ty ostatní jsem na základě kvality jejich kontrastu rozdělil na kategorie *průměrná* (337 fotografií) a *dobrá, čítající* 268 fotografií (Jelaska 2004). S těmito dvěma soubory jsem nadále pracoval.

##### *Sidelook*

SideLook je zdarma dostupný software, který byl primárně navržen pro zkoumání vertikální rostlinné skladby, avšak své uplatnění má i v oblasti hemisférické fotografie (Nobis 2005). Jeho účel spočívá ve vyhodnocování prahové hodnoty úrovně šedi a binárním rozdělení jednotlivých pixelů, z nichž fotografie sestává, na černé a bílé. To jednoduše znamená, že všechny pixely, jež jsou tmavší než práh, jsou posuzovány jako zápoj a naopak ty světlejší jako obloha (Jennings 1999). Hlavní předností tohoto programu je možnost využití *automatic threshold algorithm*, jež určuje prahovou hodnotu sám a odbourává tak možnost chyb při

subjektivním interaktivním nastavení (Frazer 2001; Nobis et Hunziker 2005). GLA samotný disponuje taktéž možnostmi tresholding, avšak ne v takové citlivosti.



Obrázek 1: Hemisférická fotografie před (vlevo) a po úpravě (vpravo) programem Sidelook.

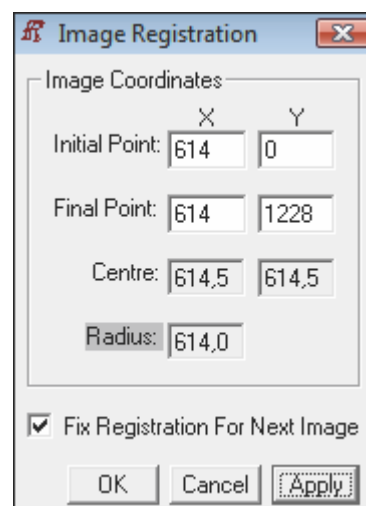
Prvním krokem v programu SideLook je otevření hemisférické fotografie (*File -> Open picture*), čímž si vytvoříme kopii dané fotografie a s tou nadále pracujeme. Dále následuje fáze automatického prahování (*Image -> Tresholding*) při níž se zobrazí histogram rozdělení prahové úrovně šedi a zde jsem vybral *Channel -> Blue*, jež se dle některých autorů (Lee et al. 1983; Frazer et al. 1999, 2001; Nobis et Hunziker 2005), jeví jako nejlepší pro oddělení vegetace od oblohy. Dále jsem volil *Modus -> Edge value* a funkci Max, jež posune prahovou hodnotu do oblasti největšího kontrastu (Makovcová 2008).

## GLA

GLA je program, který slouží k charakterizování vlastností korunového zápoje. Pracuje tak, že rozdělí fotografii pomocí mřížky sestávající z 36 azimutových a 9 zenitových oblastí do rovnoocenně velkých polí. Z nich pomocí algoritmu spočítá vybrané parametry, přičemž bere v potaz polární projekci zkreslení objektivu (Frazer et al. 1999)

Po otevření černobílých snímků v GLA (*File -> Open image*) je třeba provést registraci (*Configure -> Register image*), tedy vyznačit vlastní kruhový výřez hemisférické fotografie z původního čtyřhraného tvaru snímku. Snímky již měly v této fázi po prahování v programu Sidelook černobílou podobu a tudíž zjistit, kde je přesný okraj hemisférické fotografie, tedy kam až sahá vegetace, je v podstatě nemožné. Také kruhová výseč po převedení z kinofilmu do digitální podoby nebyla vždy prostorově na stejném místě. Z toho důvodu jsem na začátku práce všechny

snímky ještě v původní barevné podobě ořezal ve foto editoru do tvaru čtverců přesně kopírujících hrany hemisférických fotografií. Výsledné snímky měly pak velikost 1228 x 1228 pixelů. Tím jsem zajistil, že výsledný výřez měl požadovaných plných 180° a nedošlo tudíž ke ztrátě okrajové části, jež zaujímal převážně vegetace a její zachování bylo nezbytné pro další výpočty. Registraci v GLA jsem provedl manuálně myší – radius byl 614 pixelů. Zvolený formát o dané velikosti je možné uložit zaškrtnutím *Fix Registration For Next Image* -> *Apply* a využít pro všechny další snímky (obr. 2).



Obrázek 2: Hodnoty registrace fotografie programem Gap Light Analyzer.

Registrací vytvoříme vedle originálního snímku jeho kopii (*Working Image*), s kterou budeme nadále pracovat a zároveň si tím určíme i výchozí bod, který v dalším nastavení (*Configure* -> *Edit Configuration*) slouží pro orientaci ke světovým stranám. V mém případě byla horní hrana fotografií orientovaná k severu a ten jsem vybral jako magnetický, vzhledem k určení buzolou v terénu. Polohu lokalit jsem zadal podle GPS souřadnic naměřených taktéž in situ přístrojem Garmin 60 CSX. Orientaci jsem zvolil jako horizontální, sklon nebyl podél toků na tak krátkém transektu nijak významný. Dále bylo třeba zadat délku vegetačního období, kde jsem vycházel z údajů fenologické mapy Evropy (Rötzer et Chmielewski 2012). Začátek vegetačního období se pohyboval mezi daty 26. března (pro lokality Chaves, Coura v atlantské oblasti na severu Portugalska) a 5. května (pro Vorder-Rhein v alpské oblasti Rakouska o nadmořské výšce těsně nad 900 m). Konec jsem stanovil mezi 10. říjnem (pro lokality alpského areálu) a 5. listopadem (opět pro Portugalsko). Zbylé parametry jsem po uvážení nechal přednastaveny.

Následně jsem celou konfiguraci ve formátu SCN (Setup Configuration File) uložil a tentýž postup jsem provedl vždy pouze jednou pro každou z lokalit a poté jen k jednotlivým fotografiím pomocí funkce *Configure* -> *Load Configuration* volil příslušné nastavení. Dalším úkonem nezbytným pro výpočty bylo prahování. To jsem však už učinil dříve v programu Sidelook a tak stačilo pouze potvrdit (*Threshold* -> *OK*). Poslední fází tohoto programu je samotný výpočet (*Run Calculations*) a zde jsem zvolil rozšířenou možnost (*Canopy Structure and Transmitted Gap Light*). Pro další testování jsem vybral parametry Canopy Openness, což je procentuální vyjádření otevřené oblohy viděné z jednoho bodu zpod zápoje. Dále LAI4 a LAI5, kde LAI je možné definovat jako celkovou jednostrannou plochu listů vůči jednotce

plochy země v metrech čtverečních (Rich 1995, Eschenbach et Kappen 1996) a konkrétně zde, odpovídající zenitovým úhlům 0 až 60° (LAI4 Ring) a 0 až 75° (LAI5 Ring). TDIR, TDIF, jež udávají množství přímého (TDIR) respektive rozptýleného slunečního záření (TDIF), procházejícího skrz zápoj a topografické objekty. Trans TTOT je součtem dvou předešlých parametrů (Frazer 1999).

#### 4.6 Zpracování fytoocenologických snímků - analýzy dat o druhovém složení

Hodnoty zastoupení jednotlivých druhů rostlin zaznamenaných v terénu byly pro zjednodušení další práce přepsány z polního zápisníku do programu Turboveg (Hennekens et Schaminée 2001) a následně exportovány do programu Juice (Tichý 2002), jež běžně slouží ke správě, analýzám a klasifikaci ekologických dat. Zde byl za každou plochu zjištěn počet druhů všech cévnatých rostlin. Zvlášť byly také získány počty druhů bylin a stromů.

#### 4.7 Statistické výpočty

Výsledné hodnoty parametrů zápoje spočítaných v GLA jsem převedl do tabulkového programu Microsoft Excel. Zde jsem k těmto datům přiřadil údaje o druhovém bohatství. Taktéž jsem zde provedl vizualizaci výsledků v podobě bodových grafů a ty, jež se vyznačovaly signifikantní tendencí na základě výsledků lineárních modelů (viz níže), jsem proložil lineárními spojnicemi trendu. Jak už jsem zmínil výše, u fotografií jsem provedl kvalitativní selekci, a tudíž jsem aplikoval dvojí totožnou analýzu, jak na kategorii snímků *průměrná*, tak na tu *dobrou*.

Statistické testování jsem provedl v programu R 2.14.0 (R Development Core Team 2011) a použil jsem generalizované lineární modely (GLM) a generalizované lineární mixované modely (GLMM), spolu s balíčkem *lme4* (Bates et al. 2011). Pomocí nich je možné zjistit vztah mezi dvěma veličinami, kde jedna z nich, tzv. nezávisle proměnná X, má ovlivňovat druhou, tzv. závisle proměnnou Y. V prvním případě (obr. 3) jsem na úrovni jednotlivých ploch testoval závislost počtu druhů (i) všech rostlin, (ii) pouze bylin a (iii) pouze stromů, na proměnné světla (otevřenost zápoje, LAI 4, LAI 5, T DIR, T DIF, T TOT). Vztahy byly testovány pomocí

GLMM.

```

> Se1s<-read.delim("Se1s.txt")
> names(Se1s)
[1] "TRAN" "Plot" "NS" "CanOpe" "LAI4" "LAI5" "TDIR" "TDIF" "TTOT"
> m1<-glmer(NS~1|TRAN,family=poisson,data=Se1s)
> m2<-glmer(NS~CanOpe+1|TRAN,family=poisson,data=Se1s)
> anova(m1,m2)
Data: Se1s
Models:
m1: NS ~ 1 | TRAN
m2: NS ~ CanOpe + 1 | TRAN
   Df    AIC    BIC  logLik  Chisq Chi Df Pr(>Chisq)
m1  2 488.11 495.36 -242.06
m2  4 487.67 502.17 -239.84 4.4421  2  0.1085

```

Obrázek 3: Testování druhové závislosti na proměnných světla modelem GLMM.

V případě druhém jsem ověřoval závislosti počtu (i) všech druhů, (ii) bylin a (iii) stromů na průměrné hodnotě, směrodatné odchylce a koeficientu variance proměnných světla na transektu (příloha 2). Zároveň jsem se pokusil zjistit, zda nedochází u některých z proměnných k vzájemným interakcím. Vztahy byly testovány pomocí GLM.

Problémem aritmetického průměru je, že v sobě nese pouze informaci o poloze statistického souboru, ale už ne to, jak jsou hodnoty rozptýleny kolem středu anebo zda v souboru existují nějaké extrémy. Aby proto nebyl špatně interpretován, je třeba závěry zakládající se na průměru doplnit buď právě směrodatnou odchylkou, anebo koeficientem variance. Směrodatná odchylka a koeficient variance vyjadřují míru proměnlivosti ve světelných podmínkách na transektu. Čím je hodnota směrodatné odchylky větší od střední hodnoty, tedy pomyslného průměru hodnot, tím jsou světelné podmínky v podrostu rozmanitější, tzn. prostředí je heterogenější. Hodnoty variačního koeficientu do 0,10 (tj. 10%) svědčí o malé variabilitě. Hodnoty do 0,4 (tj. 40%) svědčí o vyšší variabilitě.

Pro výpočet jsem nejprve použil Poissonovo rozdělení, ale jelikož reziduální odchylka (chyba predikce) vyšla vyšší než reziduální stupně volnosti ( $\varphi > 1$ ), změnil jsem typ rozdělení na quasiPoisson (Zuur et al. 2009). Tím jsem odboural problém „nadrozptylu“ (overdispersion).



## 5. Výsledky

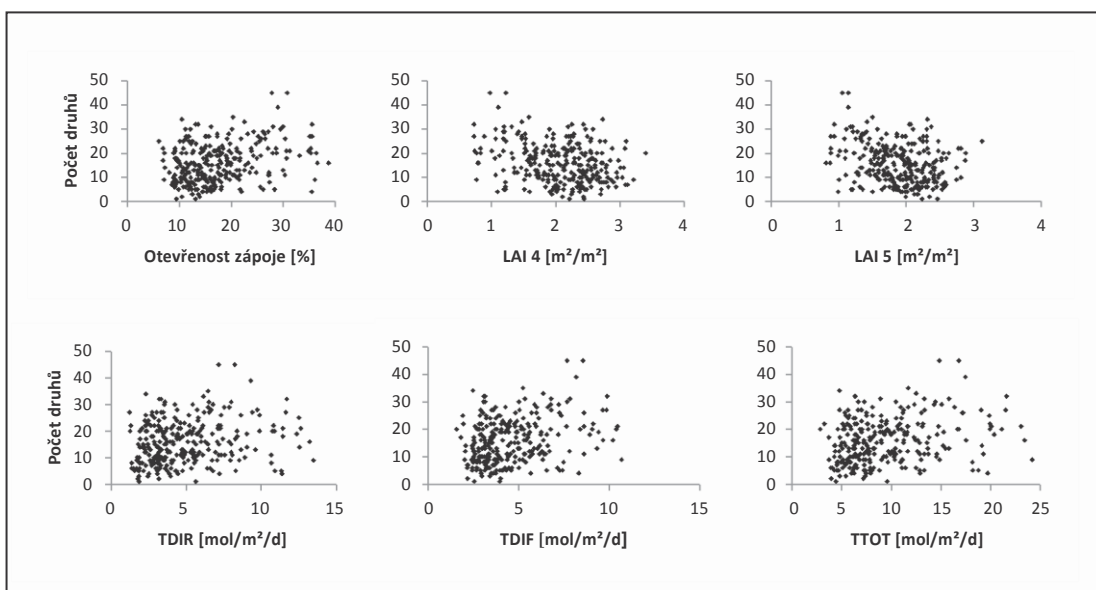
Vzhledem k rozdělení snímků dle kvality kontrastu a tedy dvěma souborům dat, zde uvádím dvojí výsledky (pro 337 snímků z 34 lokalit – kontrast *průměrný* a pro 268 snímků z 32 lokalit – kontrast *dobrý*).

### 5.1 Hodnoty proměnných světla z GLA

U snímků průměrného kontrastu byla střední hodnota otevřenosti zápoje 18,03 %, respektive 17,49 % (dobrý kontrast) a to s intervalem od 6,13 do 38,75 %. Střední hodnota LAI 4 vyšla 2,02 s minimem 0,73 a maximem 3,41 pro obě kvality kontrastu. Hodnoty ostatních proměnných uvádím pro doplnění v příloze (3 a 4).

### 5.2 Vztahy druhové bohatosti a světla na jednotlivých plochách

Testování závislosti počtu druhů (i) všech rostlin, (ii) pouze bylin a (iii) pouze stromů na proměnných světla, nebylo v rámci ploch prokázáno jako signifikantní v žádném z případů. Nebylo tomu tak ani u jedné kvalitativní úrovně snímků. Grafické vyjádření (obr. 4) však ukázalo pozitivní tendence vůči světlu, neboť trendy pro otevřenost zápoje, TDIR, TDIF a TTOT byly rostoucí a pro proměnné LAI4 a LAI5 klesající. Otevřenost zápoje a transmitance pozitivně korelují s množstvím světla, jež proniká do podrostu a Leaf Area Index vyjadřuje stejný trend ale opačně. Ve všech případech je tudíž znatelné, že počet druhů cévnatých rostlin se zvyšuje s dostupností světla.

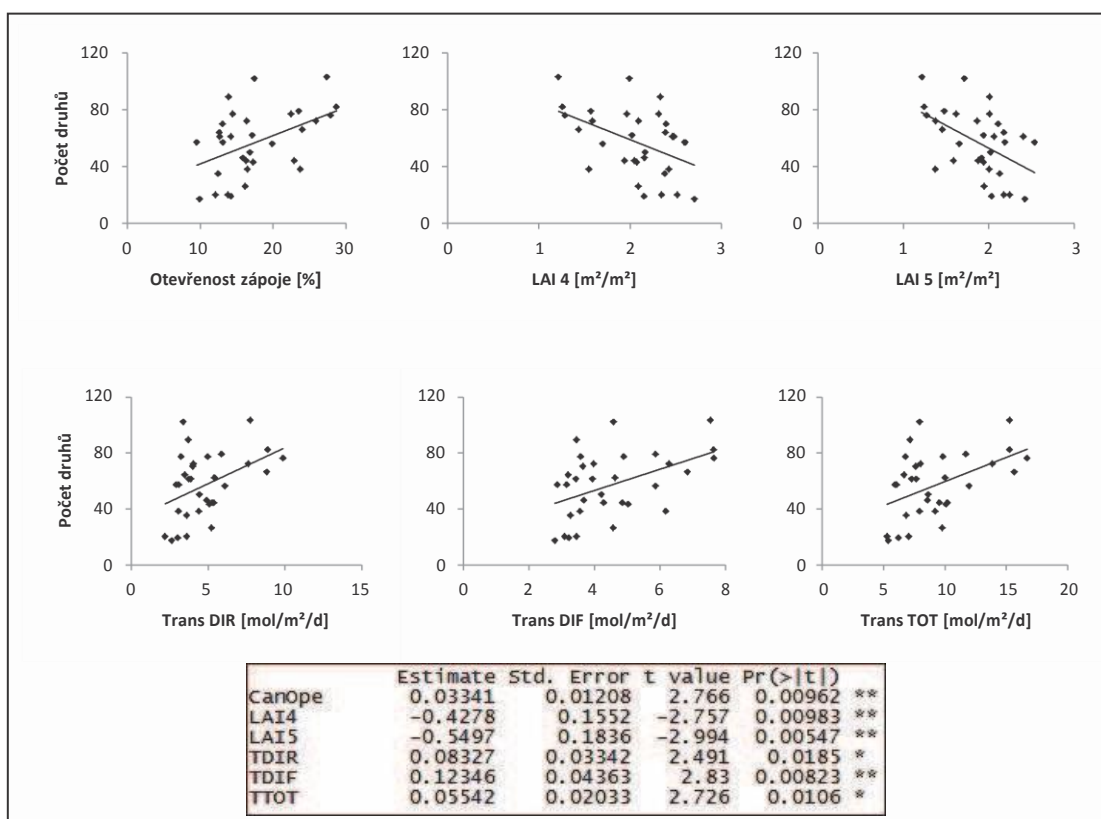


Obrázek 4: Vztahy mezi počtem druhů (všech druhů rostlin) a jednotlivými proměnnými světla a to na všech zkoumaných plochách. Jedná se o snímky z celkového souboru (hodnocené dle kvality kontrastu jako „průměrné“). Zkratky proměnných jsou vysvětleny v textu.

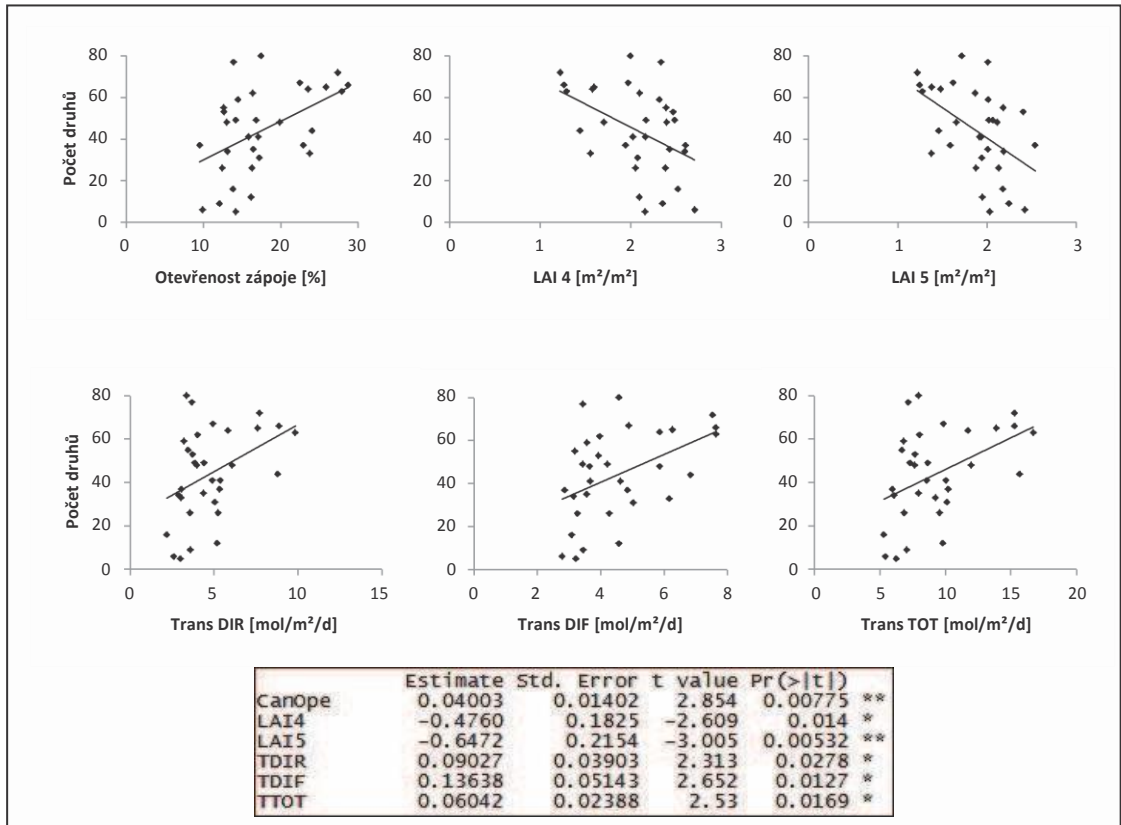
### 5.3 Vztahy druhové bohatosti vůči úrovni a heterogenitě světla na transektech

V rámci transektů byla zjištěna průkazná pozitivní závislost počtu všech druhů rostlin (obr. 5) a bylin (obr. 6) na průměrných hodnotách každé ze zkoumaných proměnných světla a to v případě snímků dobrého kontrastu (nikoliv kontrastu průměrného). Konkrétně, zvyšující se počet druhů na proměnné otevřenost zápoje, TDIR, TDIF, TTOT a snižující na LAI4 a LAI5.

Stromy takové vztahy nevykazovaly a stejně tak neprůkazně vyšly i v ostatních případech přímé závislosti počtu druhů na směrodatné odchylce a koeficientu variance.



Obrázek 5: Vztah závislosti počtu všech druhů rostlin na průměrech proměnných světla v rámci transektů, určené užitím GLM modelu. Zobrazeny jsou pouze signifikantní hodnoty ( $P < 0,05$ ).



Obrázek 6: Vztah závislosti počtu bylin na průměrech proměnných světla v rámci transektů, určené užitím GLM modelu. Zobrazeny jsou pouze signifikantní hodnoty ( $P < 0,05$ ).

Interakce nebyly mezi jednotlivými proměnnými prokázány.

## 6. Diskuze

Procesy, které ovlivňují lesní ekosystémy, se v různých typech lesů liší. Rozdíly jsou způsobeny už samotnou strukturou porostu, o čemž vypovídají data z hemisférických fotografií charakterizující stromový zápoj.

Mnou dosažené hodnoty pro otevřenost zápoje jsou vyšší, než které zaznamenal například Jelaska (2004) v dinárských smíšených lesích s převažujícími druhy jedle bělokorá (*Abies alba*) a buk lesní (*Fagus sylvatica*). Naproti tomu ale nižší, než uvádí Michna (2011) z habrové doubravy, což by v obou případech odpovídalo daným stanovištím. Leaf Area Index ukazuje v porovnání s oběma autory, totožný trend.

Nabízí se tak otázka, jaký vliv má světlo právě v lužních lesích, kde je zápoj spíše mozaikovitý a poměrně hustý. Grafické vyjádření sice naznačuje pozitivní vztah druhové bohatosti na vzrůstající dostupnosti světla, statistické výsledky však ukazují, že na jemné prostorové škále jednotlivých ploch nebyla prokázána signifikantní závislost druhového bohatství na světle. Douda et al. (2011) naopak zjistili, že právě v takto uzavřeném prostředí mohou mít i drobné změny v dostupnosti světla významný vliv a o to intenzivněji mohou podmínit reakce podrostních druhů.

Jinak tomu už ovšem bylo mezi transekty, kde byl pozitivní vztah prokázán. Díky tomu lze říci, že jsou změny patrné pouze na větším prostorovém měřítku a že na jemné škále (tj. méně než 3 m) se v podstatě nic neděje. Jedním z vysvětlení může být, že vznikající porostní mezery, jsou většinou většího rozsahu.

Závislost počtu druhů na směrodatné odchylce a koeficientu variance potvrzena také nebyla a tudíž ani vztah druhové bohatosti vůči heterogenitě světla, potažmo prostředí. Světlo jako jeden z faktorů definující druhové niky, musí být totiž heterogenní na takové škále, na které by se mohly změnit individuální rostlinné reakce (Lundholm 2009). Lze se tak domnívat, že rozdíly ve velikosti porostních mezer a tudíž světelná heterogenita, není v těchto porostech dostačující a tedy určující pro druhovou odezvu.

Mezi transekty (lokalitami) však bylo prokázáno, že počet všech rostlinných druhů a taktéž bylin, se zvyšujícím se množstvím světla, přibývá a naopak. To však už nebylo zaznamenáno pro samotné stromy, které zřejmě pro výraznější odezvu vyžadují větší gradient světla. Ověření této možnosti vyžaduje další hlubší analýzu dat v budoucnu.

V lužních lesích mohou hrát podstatnou roli i další abiotické i biotické faktory. Například hloubka spodní vody, kolísání její hladiny a proměnlivost mikrotopografie, způsobené výrazným vodním režimem, který může být právě v mokřadních lesích důležitějším faktorem než světlo (Anderson 2002). Dalšími faktory jsou kompetice (Kneitel et Chase 2004), herbivorie (Carson et Root 2000; Naaf et Wulf 2007) nebo patogenní organismy (Augspurger 1984). Aby bylo možné říci, které faktory se nejvíce podílejí na variabilitě prostředí a ovlivňují růst a koexistenci rostlin, bylo by nutné zkoumat tyto vlivy komplexněji. To však nebylo předmětem této studie.

Interakce byly neprůkazné, což je možné přikládat tomu, že zkoumané proměnné vyjadřují pouze odlišné aspekty stejného faktoru (světla).

Zároveň je nutné poznamenat, že signifikantních hodnot (nebo jim alespoň se blížících) bylo dosaženo pouze u souboru snímků dobrého kontrastu. Proto se jeví být velmi důležité, dbát na kontrolu expozice a především snímání fotografií za vhodných slunečních podmínek. To bych viděl jako jeden z nedostatků této práce, kterým je třeba předejít.

## 7. Závěr

Tato práce se zabývala vlivem světelných podmínek na podrovní druhy rostlin v lužních lesích, přičemž v rešeršní části jsem shrnul dosavadní poznatky o dynamice a fungování procesů v těchto společenstvech. Světlo je kritickým faktorem pro život rostlin. Ovlivňuje mikroklimatické změny a spoluutváří prostředí, jež je zásadní pro jejich klíčení, růst a rozmnožování.

Případová studie ukázala signifikantně pozitivní vztah počtu (i) všech druhů rostlin a (ii) bylin v lužních lesích vůči průměrné dostupnosti světla při porovnávání mezi transektu. Stromy však zřejmě vyžadují větší gradienty světla, jelikož výsledky jejich hodnot vyšly neprůkazně. Důležité je také měřítko, na kterém jsou tyto procesy sledovány. Jemná prostorová škála, kterou představují samostatné plochy, neprokázala žádný efekt, avšak na úrovni transektů už byly zaznamenány pozitivní vztahy.

V budoucnu bych chtěl navázat na tuto studii a rozšířit zájmová území o další lokality (západní a severní Evropy), čímž bych ještě více zvýšil robustnost dat. Dále bych se zaměřil na konkrétní druhy rostlin a to jak reagují na zvýšené či snížené světelné podmínky v podrostu. Především bych ale chtěl hodnotit změny v diverzitě ve vztahu k několika faktorům prostředí zároveň.

## 8. Použitá literatura

Anderson M.C. (1964): Studies of the wood-land light climate I. The photographic computation of light condition. *Journal of Ecology* 52: 27–41.

Anderson K.L. et Leopold D.J. (2002): The Role of Canopy Gaps in Maintaining Vascular Plant Diversity at a Forested Wetland in New York State. *Journal of the Torrey Botanical Society* 129 3: 238-250.

Augsburger C.K. (1984): Seedling Survival of Tropical Tree Species: Interactions of Dispersal Distance, Light Gaps, and Pathogens. *Ecology* 65 (6): 1705–1712

Barbier S., Gosselin F. et Balandier P. (2008): Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved-A critical review for temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management* 254: 1–15.

Barkman J.J. (1992): Canopies and microclimate of tree species mixtures. In: Cannell M.G.R., Malcolm D.C. et Robertson P.A. (Eds.) *The Ecology of Mixed-species Stands of Trees*. Blackwell Scientific Publications. Oxford 181–188.

Bates D., Maechler M. et Bolker B. (2011). lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and syntax. R package version 0.999375-42. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>

Bazzaz F.A. (1990): Plant-plant interactions in successional environments. In: Grace J.B. et Tilman D. (Eds.), *Perspectives on Plant Competition*. Academic Press, San Diego 239–263.

Beaudet M., Messier C. et Leduc A. (2004): Understorey light profiles in temperate deciduous forests: recovery process following selection cutting. *Journal of Ecology* (92): 328–338.

Begon M., Townsend C.R. et Harper J.L. *Ecology*: (2005): From individuals to ecosystems. 4th edition. Wiley-Blackwell 66–75.

Brown N., Jennings S., Wheeler P. et Nabe-Nielsen J. (2000): An improved method for the rapid assessment of forest understorey light environments. *Journal of Applied Ecology* 37: 1044–1053

Brokaw N. et Busing R.T. (2000): Niche versus chance and tree diversity in forest gaps. *Trends in Ecology & Evolution* 15 (5): 183–188

- Bucci G. et Borghetti M. (1997): Understory vegetation as a useful predictor of natural regeneration and canopy dynamics in *Pinus sylvestris* forests in Italy. *Acta Oecologia* 18: 485–501.
- Canham C.D. (1990): Suppression and release during canopy recruitment in *Fagus grandifolia*. *Bulletin of Torrey Botanical Club* 117 (1): 1–7
- Canham C.D., Denslow J.S., Platt W.J., Runkle J.R., Spies T.A. et White P.S. (1990): Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. *Canadian Journal of Forest Research* 20 (5): 620–631.
- Canham C.D., Finzi A.C., Pacala S.W. et Burbank D.H. (1994): Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Canadian Journal of Forestry Research* 24: 337–349.
- Canham C.D. et Marks P.L. (1985): The response of woody plants to disturbance: patterns of establishment and growth, p. 197-216. In: Pickett S.T.A. et WHITE P.S. (1985): *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, New York.
- Carson W.P. et Root R.B. (2000): Herbivory and plant species coexistence: community regulation by an outbreaking phytophagous insect. *Ecological Monographs*. 70 (1): 73–99
- Cavard X., Macdonald S.E., Bergeron Y. et Chen H.Y.H. (2011): Importance of mixedwoods for biodiversity conservation: Evidence for understory plants, songbirds, soil fauna, and ectomycorrhizae in northern forests. *NRC Research Press. Environmental Review* 19: 142–161.
- Chase J.M. et Leibold M.A. (2003): *Ecological niches: linking classical and contemporary approaches*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Chen J.M., Rich P.M., Gower S:T., Norman J.M. et Plummer S. (1997): Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques and measurements. *Journal Of Geophysical Research* 102 (D24): 29429–29443.
- Clinton B.D.; Boring L.R. et Swank W.T. (1994): Regeneration Patterns in Canopy Gaps of Mixed-oak Forests of the Southern Appalachians: Influences of Topographic Position and Evergreen Understory. *The American Midland Naturalist Journal*. 132: 308–319



Collins B.S., Dunne K.P. et Pickett S.T.A. (1985): Responses of forest herbs To canopy gaps. In Pickett S.T.A. et White P.S. (eds.): The ecology of natural disturbance and patch dynamic: 218–234. Academic Press, New York, USA.

Collins B.S. et Pickett S.T.A. (1987): Influence of canopy opening on the environment and herb layer in a northern hardwoods forest. *Vegetatio* 70: 3–10.

Collins B.S. et Pickett S.T.A. (1988): Demographic Responses of Herb Layer Species to Experimental Canopy Gaps in a Northern Hardwoods Forest. *Journal of Ecology* 76 (2): 437–450

Decoteau D.R., Wilson S.B., Ray C.L. et Graham H.H. (1996): A plant physiologist's view of the perception of light and color by plants. *Proc. Amer. Soc. for Plasticulture* 26: 158–163.

Douda J., Doudová-Kochánková J., Boublík K. et Drašnarová A. (2011): Plant species coexistence at local scale in temperate swamp forest: test of habitat heterogeneity hypothesis. *Oecologia*

Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. et Paulißen, D. (1992): *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Verlag Goltze, Göttingen.

Engelbrecht B.M.J. et Herz H.M. (2001): Evaluation of Different Methods to Estimate Understorey Light Conditions in Tropical Forests. *Journal of Tropical Ecology* 17 (2): 207–224.

Eschenbach C. et Kappen L. (1996): Leaf area index determination in an alder forest: a comparison of three methods. *Journal of Experimental Botany* Vol. 47, No. 302: 1457–1462.

Evans G.D. et Coombe D.E. (1959): Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. *Journal of Ecology* 47: 103–113.

Fahey T.R. et Puettmann K.J. (2007): Ground-layer disturbance and initial conditions influence gap partitioning of understorey vegetation. *Journal of Ecology* 95: 1098–1109

Frazer G.W., Canham C.D. et Lertzman K.P. (1999): Gap light analyzer (GLA) Version 2.0. Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-color fisheye photographs. Users manual and program

documentation. Simon Fraser University, Burnaby British Columbia and Institute of Ecosystem Studies, Millbrook. USA. New York.

Gray, A.N. et Spies, T.A. (1996): Gap size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment. *Journal of Ecology* 84 (5): 635–645.

Hennekens S.M. et Schaminée J.H.J. (2001): TURBOVEG, a comprehensive data base management 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.

Hill M.O. (1979): The development of a flora in even-aged plantations. In: Ford E.D., Malcolm D.C. Et Atterson J. (Eds.) *The Ecology of Even-aged Forest Plantations*. Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge 175–192.

Hill M.O., Mountford J.O., Roy D.B. et Bunce R.G.H. (1999): *Ellenberg's indicator values for British plants*. Institute of Terrestrial Ecology, Huntingdon, UK.

Horn H.S. (1971): *The Adaptive Geometry of Trees*. Princeton University Press, Princeton.

Houle G. (2002): The Advantage of Early Flowering in the Spring Ephemeral Annual Plant *Floerkea proserpinacoides*. *New Phytologist* 154 (3): 689–694

Hu L., Yan B., Wua X. et Li J. (2010): Calculation method for sunshine duration in canopy gaps and its application in analyzing gap light regimes 259 (3): 350-359

Hubbell, S.P. et Foster R.B. (1986): Canopy gaps and the dynamics of a Neotropical forest 3: 77–95 in: Crawley M. ed. *Plant Ecology*, Blackwell, Oxford, UK.

Hunter M.L. (1990): *Wildlife, Forests and Forestry: Principles of Managing Forests for Biological Diversity*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

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

Jarčuška B., Kucbel S. et Jaloviar P. (2010): Comparison of output results from two programmes for hemispherical image analysis: Gap Light Analyser and WinScanopy. *Journal of Forest Science* 56: 147–153.

- Jeník J. (1980): Struktura slatinné olšiny (*Carici elongatae-Alnetum*) v regresivní fázi, In: Zborník referatu z 3. zjazdu Slovenské Botanické Spoločnosti při SAV, Zvolen. SAV, Bratislava 53–57.
- Jennings S.B., Brown N.D. et Sheil D. (1999): Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry* 72 (1): 59–74.
- Jones R.H. et Sharitz R.R. (1998): Survival and growth of woody plant seedlings in the understorey of floodplain forests in South Carolina. *Journal of Ecology* 86: 574–587.
- Kirby K.J. (1988): Changes in the ground flora under plantations on ancient woodland sites. *Forestry* 61: 317–338.
- Kneeshaw D.D. et Bergeron Y. (1999): Spatial and temporal patterns of seedling and sapling recruitment within canopy gaps caused by spruce budworm. *Ecoscience* 6 (2): 214–222.
- Kneitel J.M. et Chase J.M. (2004): Trade-offs in community ecology: linking spatial scales and species coexistence. *Ecology Letters* 7: 69–80
- Lundholm J.T. (2009): Plant species diversity and environmental heterogeneity: spatial scale and competing hypotheses. *Journal of Vegetation Science* 20: 377–391.
- Makovcová P. (2008): Relativní význam světla jako determinanty druhového složení dubových lesů. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně. Přírodovědecká fakulta. 86.
- Martens S.N., Breshears D.D. et Meyer C.W. (2000): 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
- Michna M. (2011): Vliv světelných podmínek na druhové složení cévnatých rostlin v nížinných lesích. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. 34.
- Montgomery R.A. et Chazdon R.L. (2001): Canopy architecture and light transmittance in tropical wet forests. *Ecology* 82 (10): 2707–2718
- Moore M.R. et Vankat J.L. (1986): Responses of the herb layer to the gap dynamics of a mature beech-maple forest. *American Midland Naturalist* 115: 336–347.

- Naaf T. et Wulf M. (2007): Effects of gap size, light and herbivory on the herb layer vegetation in European beech forest gaps. *Forest Ecology and Management* 244: 141–149
- Neuhäuslová Z. et Chytrý M. (2010): Mokřadní olšiny, Lužní lesy. In: Chytrý M., Kučera T., Kočí M., Grulich V. et Lustyk P. (eds.), *Katalog biotopů České republiky*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha 264–269.
- Nicotra A. B., Chazdon R. L. et Iriarte S.V.B. (1999): Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests. *Ecology* 80 (6): 1908–1926.
- Nihlgard B., (1969): The microclimate in a beech and a spruce forest - a comparative study from Kongalund, Scania, Sweden. *Botaniska Notiser* 5: 333–352.
- Nobis M. (2005): SideLook 1.1 - Imaging software for the analysis structure with true-colour photographs. <http://www.appleco.ch>
- Nobis M. et Hunziker U. (2005): Automatic thresholding for hemispherical canopyphotographs based on edge detection. *Agricultural and forest meteorology* 128: 243–250.
- North M., Oakley B., Fiegenger R., Gray A. et Barbour M. (2005): Influence of light and soil moisture on Sierran mixed-conifer understory communities. *Plant Ecology* 177: 13–24.
- Parker G.G. et Brown M.J. (2000): Forest Canopy Stratification—Is It Useful? *The American Naturalist* 155 (4): 473–484.
- Pickett S.T.A. et Cadenasso M.L. (2005): Vegetation dynamics In: van der Maarel E. (Ed.) *Vegetation Ecology*. Blackwell Science, Oxford. 185–212.
- Pokorný P., Klimešová J. et Klimeš L. (2000): Late holocene history and vegetation dynamics of a floodplain alder carr: A case study from eastern Bohemia, Czech Republic. *Folia Geobotanica* 35: 43–58.
- Popma J., Bongers F. et Meave Del Castillo J. (1988): Patterns in the vertical structure of the tropical lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio* 74: 81–91.
- Porte´ A., Huard F. et Dreyfus P. (2004): Microclimate beneath pine plantation, semi-mature pine plantation and mixed broadleaved-pine forest. *Agriculture and Forest Meteorology* 126: 175-182.

- Prieditis N. (1997): *Alnus glutinosa*-Dominated Wetland Forests of the Baltic Region: Community Structure, Syntaxonomy and Conservation. *Plant Ecology* 129 (1): 49-94
- Promis A., Gärtner S., Butler-Manning D., Durán-Rangel C., Reif A., Cruz G. et Hernández L. (2011): Comparison of four different programs for the analysis of hemispherical photographs using parameters of canopy structure and solar radiation transmittance. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 11: 19-33.
- Rameau J.C., Mansion D., Dumé G., Timbal J., Lecointe A., Dupont R. et Keller R. (1989): Flore forestière française. Guide écologique illustré. Tome 1: Plaines et collines. Institut pour le Développement Forestier, Paris.
- R Development Core Team (2011): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>
- Rötzer T. et Chmielewski F. -M. (2001): Phenological maps of Europe. *Climate Research*. 18: 249-257.
- Rich P.M. (1990): Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. *Remote Sensing Reviews* 5: 13-29.
- Sagar R., Singh A. et Singh J.S. (2008): Differential effect of woody plant canopies on species composition and diversity of ground vegetation: a case study. *Tropical ecology* 49 (2): 189-197.
- Schemske D.W., Willson M.F., Melampy M.N., Miller L.J., Verner L., Schemske K.M. et Louis B. (1978): Flowering Ecology of Some Spring Woodland Herbs. *Best Ecology* 59 (2): 351-366
- Sharpe F., Shaw D.C., Rose C.L., Sillett S.C. et Carey A.B. (1996): The biologically significant attributes of forest canopies to small birds. *Northwest Science* 70: 86-93.
- Spies T.A., Franklin J.F. et Klopsch M. (1990): Canopy gaps in Douglas-fir forests of the Cascade Mountains. *Canadian Journal of Forest Research* 20 (5): 649-658.
- Stenberg P., Linder S., Smolander H. et 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.
- Tilman D. et Pacala S. (1993): The maintenance of species richness in plant communities. In: Ricklefs R.E. et Schluter D. (eds) *Species diversity of ecological*

communities: historical and geographical perspectives. University of Chicago Press, Chicago 13-25

Thomas S.C., Halpern C.B., Falk D.A., Liguori D.A. et Austin K.A. (1999): Plant diversity in managed forests: understory responses to thinning and fertilization. *Ecological Applications* 9 : 864-879.

Tichý L. (2002): JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science* 13: 451-453.

Vetaas O.R. (1992): Micro-site effects of tree and shrubs in a dry savanna. *Journal of Vegetation Science* 3: 337-344.

Welles J.M. et Norman J.M. (1991): Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal* 83: 818-825.

West D.C. Shugart H.H. et Botkin D.B. (1981): *Forest Succession. Concepts and application.* Springer Verlag, New York.

Verdú M. et Traveset A. (2005): Early emergence enhances plant fitness: a phylogenetically controlled meta-analysis. *Ecology* 86: 1385-1394

White P.S. et Pickett S.T.A. (1985): *Natural Disturbance and Patch Dynamics: An Introduction.* In: PICKETT S.T.A. et WHITE P.S. (Eds.) *The Ecology of Natural Disturbance And Patch Dynamics.* Academic Press, Orlando 3-13.

WHITMORE T.C. (1989): Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology* 70 (3): 536–538.

Whitmore T.C., Brown N.D., Swaine M.D., Kennedy D.K., Goodwin-Bailey C.I. et 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.

Woolley J.T. (1971:) *Reflectance and Transmittance of Light by Leaves.* *Plant Physiology* 47: 656-662.

Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N., Saveliev A.A. et Smith G.M (2009): *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R.* 1st Edition. 225.

## 9. Přílohy

Lokalita		Datum	Druh olše	GPS souřadnice		Nadmořská výška (m n. m.)	Vegetační období	
Číslo	Název			Zeměpisná			Od	Do
			Zeměpisná šířka	délka				
1	ITA_Tagliamento	29.4.2011	G+I	46°08'7.893"N	12°56'5.689"E	114	5.4.	25.10.
2	ITA_Lago di Busche	30.4.2011	G+I	46°02'8.818"N	11°59'1.663"E	260	10.4.	20.10.
3	ITA_La Roccheta	1.5.2011	G+I	46°15'5.803"N	11°03'4.669"E	283	15.4.	14.10.
4	ITA_Vena	2.5.2011	G+I	44°11'5.122"N	11°36'8.967"E	230	1.4.	30.10.
5	ITA_Monte Rognosi	3.5.2011	G+I	43°31'3.234"N	11°41'9.533"E	200	1.4.	30.10.
6	ITA_Bobbio	4.5.2011	G+I	44°36'2.165"N	09°17'4.854"E	505	5.4.	25.10.
7	FRA_Aspet	6.5.2011	G	43°01'4.693"N	0°47'1.488"E	409	1.4.	1.11.
8	ESP_Argo	7.5.2011	G	43°00'5.396"N	01°30'2.872"W	749	1.4.	30.10.
9	ESP_Vargas	8.5.2011	G	43°19'5.858"N	03°58'1.357"W	76	1.4.	5.11.
10	PRT_Chaves	9.5.2011	G	41°45'1.302"N	07°27'3.137"W	349	26.3.	5.11.
11	PRT_Coura	10.5.2011	G	41°52.779N	08°43.085"W	75	26.3.	5.11.
12	SVN_Gibina	12.7.2011	G	46°31'2.366"N	16°17'5.874"E	167	5.4.	25.10.
13	AUT_Klagenfurt	13.7.2011	G	46°37'1.485"N	14°10'4.445"E	440	10.4.	25.10.
14	DEU_Bruckberg	15.7.2011	G+I	48°29'4.757"N	11°59'4.398"E	407	20.4.	25.10.
15	ITA_Lago di Varesa	16.7.2011	G	45°47'4.121"N	08°44'1.111"E	247	25.4.	10.10.
16	CZE_Chomutov	19.8.2011	G+I	50°30'16.844"N	13°19'20.142"E	600	25.4.	25.10.
17	CZE_Orlické Záhoří	20.8.2011	G+I	50°13'46.459"N	16°32'46.489"E	610	25.4.	25.10.
18	ROM_Negreni	25.8.2011	G+I	46°57'3.04"N	22°43'6.05"E	400	5.4.	25.10.
19	ROM_Ungureni	29.8.2011	G+I	22°34'06"N	25°13'08"E	800	10.4.	25.10.
20	ROM_Praid	26.8.2011	G+I	46°34'6.36"N	25°13'8.12"E	331	10.4.	25.10.
21	BGR_Vagleusti	30.8.2011	G	42°55.94"N	25°38.200"E	280	5.4.	25.10.
22	BGR_Simitli	1.9.2011	G	41°52.88"N	23°18.389"E	331	15.4.	25.10.
23	BGR_Rudozem	3.9.2011	G	41°30.922"N	24°53.228"E	663	5.4.	25.10.
24	GRC_Kalliniki	4.9.2011	G	40°51.47"N	21°29.175"E	600	1.4.	25.10.
25	MNE_Tara	7.9.2011	G+I	43°08.708"N	19°17.832"E	760	25.4.	20.10.
26	AUT_Langau	11.7.2011	I	47°51.381"N	15°07.247"E	662	25.4.	25.10.
27	AUT_Tauglbach	14.7.2011	I	47°39.529"N	13°09.093"W	490	25.4.	25.10.
28	AUT_Inn	13.7.2011	I	47°12.997"N	10°40.662"E	730	1.5.	10.10.
29	FRA_Bourg-D'Oisans	18.7.2011	I	45°02.6"N	6°03.247"E	726	25.4.	10.10.
30	CHE_Sixt-Fer-a-Cheval	19.7.2011	I	46°02.367"N	6°45.92"E	770	1.5.	10.10.
31	CHE_Kien	20.7.2011	I	46°36.625"N	7°40.618"E	724	1.5.	10.10.
32	CHE_Vorder-Rhein	21.7.2011	I	46°43.319"N	8°54.703"E	936	5.5.	10.10.
33	DEU_Vöhringen	22.7.2011	I	48°16.384"N	10°03.787"E	496	20.4.	25.10.
34	CZE_Soumarský most	18.8.2011	I	48°54'35.849"N	13°49'22.801"E	744	25.4.	25.10.

Příloha 1: Charakteristika stanoviště

číslo lokality	Počet druhů rostlin			Průměr - transekty						Směrodatná odchylka-transekty						Koefficient variance-transekty					
				Canopy	Leaf Area Index	Trans	Trans	Trans	Trans	Canopy	Leaf Area Index	Trans	Trans	Trans	Trans	Canopy	Leaf Area Index	Trans	Trans	Trans	
	Vše	Byliny	Stromy	openess	LAI 4	LAI 5	Direct	Diffuse	Total	openess	LAI 4	LAI 5	Direct	Diffuse	Total	openess	LAI 4	LAI 5	Direct	Diffuse	Total
1	44	22	22	27.280	1.208	1.301	7.136	7.694	14.832	4.974	0.251	0.220	1.890	1.434	3.122	0.182	0.208	0.169	0.265	0.186	0.211
2	66	44	22	23.549	1.454	1.477	8.171	6.647	14.817	5.295	0.313	0.224	2.633	1.796	4.177	0.225	0.215	0.152	0.322	0.270	0.282
3	44	26	18	16.297	2.048	1.875	5.265	4.278	9.545	3.411	0.353	0.322	1.860	1.017	2.781	0.209	0.172	0.172	0.353	0.238	0.291
4	62	41	21	17.616	2.066	1.876	4.829	4.535	9.297	9.717	0.736	0.588	3.412	2.606	5.974	0.552	0.356	0.313	0.707	0.575	0.643
5	82	66	16	28.688	1.258	1.243	8.873	7.641	15.275	8.625	0.582	0.449	2.843	2.388	5.117	0.301	0.463	0.362	0.320	0.313	0.335
6	76	63	13	27.890	1.287	1.274	9.854	7.648	16.697	5.413	0.477	0.310	2.580	2.075	5.332	0.194	0.371	0.243	0.262	0.271	0.319
7	77	67	10	22.131	2.031	1.680	4.835	4.704	9.539	2.433	0.343	0.288	1.338	0.982	2.176	0.039	0.005	0.005	0.021	0.016	0.035
8	61	53	8	12.373	2.475	2.407	3.465	3.821	7.285	3.295	0.304	0.242	2.088	1.238	3.159	0.266	0.123	0.101	0.603	0.324	0.434
9	44	37	7	24.843	1.749	1.474	5.902	5.440	11.342	4.882	0.358	0.246	1.340	1.203	2.433	0.197	0.205	0.167	0.227	0.221	0.215
10	72	65	7	26.838	1.555	1.360	8.403	6.464	14.866	4.131	0.232	0.181	2.566	1.132	3.545	0.154	0.149	0.133	0.305	0.175	0.239
11	79	64	15	22.026	1.645	1.556	5.918	5.618	11.535	5.188	0.252	0.272	1.020	0.993	1.647	0.326	0.127	0.148	0.208	0.239	0.182
12	20	16	4	13.920	2.502	2.159	2.048	3.119	5.168	2.218	0.283	0.211	0.684	0.539	0.701	0.159	0.113	0.098	0.334	0.173	0.136
13	20	9	11	12.081	2.346	2.245	3.600	3.448	7.048	1.952	0.176	0.206	0.978	0.678	1.410	0.162	0.075	0.092	0.272	0.197	0.200
14	43	31	12	17.237	2.072	1.938	5.064	5.030	10.096	6.544	0.651	0.406	2.476	2.060	4.172	0.380	0.314	0.210	0.489	0.409	0.413
15	17	6	11	10.041	2.702	2.411	2.643	2.852	5.495	1.566	0.278	0.188	0.824	0.455	1.168	0.156	0.103	0.078	0.312	0.159	0.213
16	13	12	1	23.311	1.526	1.493	8.024	5.994	14.020	6.963	0.412	0.380	3.019	1.783	4.623	0.299	0.270	0.255	0.376	0.297	0.330
17	46	41	5	16.164	2.103	1.883	5.217	3.783	8.998	2.271	0.226	0.180	1.333	0.555	1.703	0.141	0.107	0.096	0.255	0.147	0.189
18	35	26	9	12.455	2.380	2.128	3.586	3.271	6.855	2.093	0.242	0.207	1.061	0.631	1.538	0.168	0.102	0.097	0.296	0.193	0.224
19	50	49	1	15.930	2.209	2.070	4.207	4.221	8.428	5.012	0.417	0.328	1.652	0.716	2.136	0.315	0.189	0.159	0.393	0.170	0.254
20	72	62	10	16.381	2.093	1.863	4.040	3.974	8.015	0.958	0.094	0.112	0.914	0.356	0.923	0.059	0.045	0.060	0.226	0.090	0.115
21	77	59	18	14.710	2.281	1.984	3.240	3.643	6.883	2.836	0.361	0.244	1.035	0.812	1.720	0.193	0.158	0.123	0.319	0.223	0.250
22	64	55	9	12.618	2.387	2.178	3.470	3.195	6.664	2.656	0.227	0.228	1.010	0.655	1.502	0.211	0.095	0.105	0.291	0.205	0.225
23	61	49	12	14.334	2.449	2.047	3.882	3.497	7.380	2.331	0.297	0.206	1.145	0.683	1.740	0.163	0.121	0.101	0.295	0.195	0.236
24	38	35	3	16.452	2.424	2.006	4.391	3.559	7.950	2.310	0.259	0.173	1.748	0.519	2.105	0.140	0.107	0.086	0.398	0.146	0.265
25	102	80	22	17.014	2.117	1.829	3.687	4.206	7.893	2.950	0.287	0.245	0.772	0.826	1.229	0.173	0.136	0.134	0.209	0.196	0.156
26	89	77	12	13.905	2.330	2.007	3.708	3.447	7.156	2.514	0.296	0.212	1.280	0.655	1.806	0.181	0.127	0.106	0.345	0.190	0.252
27	103	72	31	27.362	1.215	1.215	7.722	7.542	15.262	4.205	0.210	0.179	1.219	1.273	2.423	0.154	0.173	0.147	0.158	0.169	0.159
28	57	34	23	14.014	2.451	2.091	3.339	3.474	6.815	3.953	0.484	0.394	1.061	1.227	1.922	0.282	0.198	0.188	0.318	0.353	0.282
29	26	12	14	16.254	2.042	1.924	5.220	4.679	9.898	3.400	0.299	0.260	1.601	0.949	2.435	0.209	0.146	0.135	0.307	0.203	0.246
30	57	37	20	9.512	2.602	2.537	3.072	2.867	5.938	1.520	0.213	0.233	0.545	0.478	0.772	0.160	0.082	0.092	0.177	0.167	0.130
31	70	48	22	13.041	2.394	2.111	3.990	3.651	7.639	3.168	0.347	0.303	1.557	0.809	2.117	0.243	0.145	0.144	0.390	0.222	0.277
32	56	48	8	19.881	1.698	1.652	6.088	5.869	11.960	3.198	0.238	0.235	2.593	0.862	2.902	0.161	0.140	0.143	0.426	0.147	0.243
33	19	5	14	14.182	2.153	2.030	3.012	3.219	6.230	2.235	0.203	0.204	1.451	0.955	2.373	0.158	0.094	0.101	0.482	0.297	0.381
34	38	33	5	22.670	1.618	1.462	3.544	5.791	9.333	3.911	0.260	0.251	1.636	1.141	2.168	0.173	0.161	0.172	0.462	0.197	0.232

Příloha 2: Výchozí datová tabulka pro statistické testování závislosti počtu druhů rostlin na jednotlivé aspekty světla. Proměnné Canopy openess, LAI4, LAI5, TDIR, TDIF, TTOT, jsou hodnoty získané po úpravě fotografie na černobílou a po výpočtu v programech Sidelook v1.1 a Gap light analyzer 2.0 (GLA). Tyto hodnoty všech zkoumaných ploch jsou v rámci každé z lokalit následně přepočtené na aritmetický průměr, směrodatnou odchylku a koeficient variance. K těmto faktorům jsou přidány součty hodnot i) všech rostlin, ii) pouze bylin a iii) pouze stromů vyskytujících se na daných lokalitách.

CanOpe	LAI4	LAI5	TDIR	TDIF	TTOT
Min. : 6.13	Min. : 0.730	Min. : 0.820	Min. : 0.98	Min. : 1.580	Min. : 2.890
Median : 16.45	Median : 2.040	Median : 1.870	Median : 4.39	Median : 4.260	Median : 8.580
Mean : 18.04	Mean : 2.022	Mean : 1.847	Mean : 5.01	Mean : 4.683	Mean : 9.632
Max. : 38.75	Max. : 3.410	Max. : 3.130	Max. : 13.52	Max. : 10.700	Max. : 24.220

Příloha 3: Hodnoty proměnných světla vypočtené programem GLA. Soubor kvality průměrného kontrastu.

CanOpe	LAI4	LAI5	TDIR	TDIF	TTOT
Min. : 6.13	Min. : 0.730	Min. : 0.820	Min. : 1.260	Min. : 1.580	Min. : 2.890
Median : 15.96	Median : 2.140	Median : 1.930	Median : 4.190	Median : 4.000	Median : 8.090
Mean : 17.49	Mean : 2.066	Mean : 1.883	Mean : 4.959	Mean : 4.551	Mean : 9.437
Max. : 38.75	Max. : 3.410	Max. : 3.130	Max. : 13.520	Max. : 10.700	Max. : 24.220

Příloha 4: Hodnoty proměnných světla vypočtené programem GLA. Soubor kvality dobrého kontrastu.