

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra ekologie lesa**

**Vliv relativní sluneční ozářenosti na druhovou bohatost a  
produktivitu bylinného patra v teplomilné  
doubravě v přírodní rezervaci Na Voskopě (Karlštejsko)**

**Bakalářská práce**

**Autor: Václav Špale**

**Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Černý, Ph.D.**

**2017**

## **Poděkování**

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Mgr. Tomáši Černému, Ph.D., za jeho ochotu, čas, cenné rady a hlavně za asistenci při získávání dat a údajů potřebných ke vzniku tohoto dokumentu. Poděkování patří také Radkovi Bačemu a Romaně Lembacherové, za zapůjčení potřebné techniky a za instruktáž k programům, ve kterých byla data zpracována a celé katedře ekologie lesa, že pod její záštitou mohla tato práce vzniknout.

Díky mé rodině, přátelům a všem, kteří se nějakým způsobem podíleli na vzniku této práce.

Děkuji!

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv relativní sluneční ozáření na druhovou bohatost a produktivitu bylinného patra v teplomilné doubravě v přírodní rezervaci Na Voskopě (Karlštejsko)“ vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Petra Černého, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne .....

.....

Václav Špale

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Václav Špale

Lesnictví

Název práce

**Vliv relativní sluneční ozáření na druhovou bohatost a produktivitu bylinného patra v teplomilné doubravě v přírodní rezervaci Na Voskopě (Karlštejsko)**

Název anglicky

**Influence of relative irradiance on the diversity and productivity of herb layer in the thermophilous oakwood in the Nature Reservation Na Voskopě (Karlštejn region)**

---

### Cíle práce

V souvislosti s plánovaným zaváděním alternativních způsobů obhospodařování lesních porostů je nutné zkoumat dopad navrhovaných opatření na strukturu a diverzitu rostlinných druhů bylinného patra zejména ve světlejších lesích nižších poloh. V těchto typech lesů jsou historicky zdokumentovány právě tyto hospodářské postupy jako je pařezení či střední les. V přírodní rezervaci Na Voskopě máme jedinečnou možnost výzkumu v souvislosti s dlouhodobým plánovaným experimentem tvorby středního lesa. Tato práce bude zkoumat klíčovou roli světelných podmínek na tvorbu biomasy bylin lesního podrostu a na jejich druhovou bohatost v porostech teplomilné doubravy. Pracovní hypotézou je předpoklad, že zvýšený světelný příkon do bylinného patra vede k vyšší druhové bohatosti i produktivitě bylinného podrostu.

### Metodika

V rámci již založeného designu trvalých ploch v lesním porostu budou pořízeny hemisférické fotografie korunového zápoje ve 40 trvalých plochách. Na každé trvalé ploše budou dále odebrány v pěti opakovaných vzorky nadzemní biomasy bylin z dílčích ploch 0,5 x 0,5 m (jedna ploška 1 m nad středovým bodem a další čtyři plošky 5 m od středového bodu směrem k okrajům trvalé plochy). Biomasa bude odebrána na výšku strniště max. 5 cm do papírových pytlů, převezena do laboratoře, vysušena do konstantní hmotnosti a zvážena. Z hemisférických snímků bude v programu GapLight Analyser vypočítáno množství přímého a difúzního záření dopadajícího do bylinného patra. Hodnoty ozáření budou následně statisticky vyhodnoceny s ohledem na množství vytvořené biomasy a na floristické složení podrostu. Floristická data budou převzata z diplomové práce Prokopa Hroníka, který na stejných trvalých plochách pořizoval fytoecologické snímky v sezóně 2013.

### Doporučený rozsah práce

Předpokládá se rozsah textu v délce 25-50 stran

### Klíčová slova

bylinné patro lesů, teplomilné doubravy, světelný režim, produktivita, biomasa, diverzita, Český kras

---

### Doporučené zdroje informací

- Borchsenius F., Nielsen P.K. & Lawesson J.E. (2004): Vegetation structure and diversity of an ancient temperate deciduous forest in SW Denmark. *Plant Ecology* 175: 121-135.
- Brunet J., Falkengren-Grerup U., Rühling A. & Tyler G. (1997): Regional differences in floristic change in South Swedish oak forests as related to soil chemistry and land use. *Journal of Vegetation Science* 8: 329-336.
- Brunet J., Falkengren-Grerup U. & Tyler G. (1997): Pattern and dynamics of the ground vegetation in south Swedish *Carpinus betulus* forests: importance of soil chemistry and management. *Ecography* 20: 513-520.
- Corney P.M., Le Duc M.G., Smart S.M., Kirby K.J., Bunce R.G.H. & Marrs R.H. (2006): Relationships between the species composition of forest field-layer vegetation and environmental drivers, assessed using a national scale survey. *Journal of Ecology* 94: 383-401.
- Dykyjová D. (ed.) (1989): *Metody studia ekosystémů*. Academia, Praha, 690 p.
- Hradilová L. (2010): Maloškálová prostorová variabilita stanovištních faktorů v dubových lesích a její vztah k druhovému složení bylinného patra. Ms., 48 p. [Bakal. práce; depon. in: Ústav botaniky a zoologie PŘF MU, Brno]
- Macek M. (2011): Vliv světla na složení a diverzitu lesní vegetace v Českém středohoří. Ms., 84 p. [Dipl. práce, depon. in: Katedra botaniky PŘF UK, Praha]
- Makovcová P. (2013): Role stanovištních faktorů při sukcesi světlých doubrav k dubohabřinám. Ms., 74 p. [Dipl. práce; depon. in: Ústav botaniky a zoologie PŘF MU, Brno]
- Mason C.F. & MacDonald S.M. (2002): Responses of ground flora to coppice management in an English woodland a study using permanent quadrats. *Biodiversity and Conservation* 11: 1773-1789.
- Wernerová V. (2007): Vliv světla na druhové složení lesního podrostu na příkladu Milovického lesa. Ms., 86 p. [Bakal. práce; depon. in: Ústav botaniky a zoologie PŘF MU, Brno]
- Whigham D.F. (2004): Ecology of woodland herbs in temperate deciduous forests. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35: 583-621.
- 

### Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FLD

### Vedoucí práce

Mgr. Tomáš Černý, Ph.D.

### Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 28. 3. 2017

**prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 3. 2017

**prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 13. 04. 2017

## Abstrakt

Od roku 2014 je oblast přírodní rezervace Na Voskopě cílovou lokalitou pro výzkum, který se zabývá návratem způsobu hospodaření, který se na tomto místě uplatňoval v minulosti. Na lokalitě přírodní rezervace se dříve hospodařilo v takzvaném středním lese a tento dlouhodobý projekt má za cíl převést tento porost, kde stále můžeme pozorovat zbytky tohoto způsobu hospodaření, zpět na aktivní formu. Toto místo je ideálním pro zkoumání toho, jaké následky budou mít plánované těžební zásahy na složení a množství rostlinných druhů v bylinném patře. Tato bakalářská práce si konkrétně klade za úkol zjistit, jakou roli hraje sluneční záření v otázkách diverzity a variability bylinného patra světlejších teplomilných doubrav. Na lokalitě se nachází 40 trvalých zkusných ploch, ze kterých byly v průběhu měsíce června roku 2013 odebrány vzorky rostlinné biomasy, které byly sušeny a váženy. V měsíci červenci byly pořízeny na každé z ploch hemisférické fotografie korunových zápojů, za účelem analýzy světelných podmínek každé plochy. Analýza pořízených snímků probíhala v programu WinScanopy, kterým byly určeny hodnoty přímého, difúzního a celkového záření, a také hodnota otevřenosti korunových zápojů. Údaje získané z analýz byly podrobeny korelačním analýzám v programu Statistica, společně s ekologickými daty převzatými z diplomové práce, kterou zde zpracoval Hroník (2013). Korelační analýzy a jejich grafické výstupy ukázaly silnou závislost produktivity bylinného patra na slunečním záření. Dále se také projevila závislost světelných podmínek zkoumaných ploch na pestrost ve složení vegetace bylinného patra. Metody použité v této práci při sběru dat se ukázaly jako velice efektivní, ať už se jedná o způsob sběru biomasy, nebo pořizování hemisférických fotografií korunových zápojů. Konkrétně tato technika určování světelných podmínek bude mít dle mého názoru v ekologických výzkumech čím dál větší uplatnění. Ať už vzhledem k její relativní jednoduchosti a dostupnosti, tak k možnosti vracet se k analýzám uložených fotografií i po delší době a srovnávat tak změny světelných podmínek na stanovištích, které se v průběhu času neustále vyvíjejí.

**Klíčová slova:** bylinné patro lesů, teplomilné doubravy, světelný režim, produktivita, biomasa, diverzita, Český kras

## **Abstract**

The area of the Nature Reserve “Na Voskopě” has served since 2014 as a target locality for the research dealing with the return of traditional management being practised here in the past. The locality was managed as the so-called coppice-with-standards and the planned long-term project is aimed at the conversion of the abandoned management into its active type, and where we can still find rich structural legacies of such traditional management. The locality represents an ideal site for investigating the factors controlling further development of plant species composition and abundance of herbs as influenced by the wood harvesting measures. This bachelor thesis concretely aims to find out which role plays the solar irradiation in shaping diversity and production variability of plants in the forest undergrowth in types of light thermophilous hornbeam-oakwoods. A series of 40 permanent research plots is placed within the investigated locality, where samples of aboveground biomass from the herb layer were collected, that were further dried and weighted. During the July month the hemispheric images were obtained by means of the digital camera equipped with the circular fish-eye objective, in order to analyze the light conditions within each permanent plot. Analysis of these images was done employing the programme WinScanopy that calculated the values of direct, diffuse and total solar irradiation and also the relative openness of the canopies. Values obtained were further subjected to correlation analyses performed in the programme Statistica, together with the data about plant diversities obtained from the Diploma thesis, released in 2013 by Hroník. Correlation analyses and their graphical outputs have shown the strong relationship of the herb layer productivity on the parameters of solar irradiation. Further, reasonable dependency of vegetation composition of the herb layer on the light conditions within the individual stands has been found. Overall, methodologies employed in this study concerning the data sampling have proven to be very effective, both with respect to the way of the biomass sampling and obtaining the hemispheric images of canopies. Concretely, such a technique evaluating the light conditions will gain the increasing use in an ecological research according to my opinion. The reason is multiple, considering mainly its relatively easy usage, accessibility and also the possibility to resample the same data in future and to compare the original images with the recent images after a longer time period. This technique thus offers the ideal procedure to assess the changes of the light conditions within the evolving managed forest stands over the time and their consequences to the vegetation dynamics.

**Keywords:** forest herb layer, thermophilous oakwoods, light regime, productivity, biomass, diversity, the Czech Karst



## Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Cíle práce.....	11
1.2	Světlo v přírodě.....	12
1.3	Vliv světla na biodiverzitu.....	13
1.4	Výmladkový a střední les.....	14
1.5	Metody stanovení světelných podmínek.....	15
2	Charakteristika lokality.....	16
2.1.1	Chráněná krajinná oblast Český kras.....	16
2.1.2	Geomorfologie Českého krasu.....	17
2.1.3	Geologie Českého krasu.....	17
2.1.4	Pedologie Českého krasu.....	18
2.1.5	Hydrografie Českého krasu.....	18
2.1.6	Klimatické poměry Českého krasu.....	18
2.1.7	Flóra a vegetace Českého krasu.....	19
2.1.8	Biogeografie Českého krasu.....	19
2.2	Přírodní rezervace Na Voskopě.....	20
2.2.1	Založení přírodní rezervace.....	21
2.2.2	Poloha.....	21
2.2.3	Geologie.....	22
2.2.4	Květena vrchu Voskop.....	23
3	Metodika.....	24
3.1	Vyznačení pokusných ploch v terénu.....	24
3.2	Sběr biomasy.....	25
3.3	Požizování hemisférických fotografií.....	26
3.4	Analýza hemisférických fotografií.....	28
3.5	Statistické vyhodnocení dat.....	32
4	Výsledky.....	33
5	Diskuze.....	40
5.1	Metody stanovení korunového zápoje.....	40
5.2	Vliv světla na produktivitu a variabilitu bylinného patra.....	41
6	Závěr.....	42
7	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	43
7.1	Internetové zdroje.....	47
8	Příloha.....	48

# 1 Úvod

Přírodní rezervace na Voskopě se stala cílovou lokalitou pro tu bylinného patra projekt, který probíhá pod záštitou Katedry ekologie lesa, která je součástí lesnické fakulty na České zemědělské univerzitě. Tento již probíhající výzkum (počátek v roce 2003) má za úkol simulovat způsob hospodaření, který se v těchto místech uplatňoval v dobách minulých. Podobu lesa, který se zde nacházel před staletími, nazýváme lesem nízkým, nebo také pařezinou. Tyto druhy lesa byly využívány zejména pro pastvení dobytka a těžbu palivového dříví, což mělo za následek velmi krátkou dobu obmýtí, která se pohybovala okolo 30-40 let. Některé zdroje uvádějí těžbu dřevní hmoty dokonce už po 15 ti letech od obnovy porostu. Ta neprobíhala uměle, ale spoléhalo se na schopnost dřevin rozmnožovat se pomocí pařezových výmladků. Lidé, kteří měli z těchto porostů užitek a hospodařili v nich, ponechávali při těžbě porostu výstavky hodnotnějších dřevin, jako jsou například duby, modřiny nebo borovice. Tyto hodnotnější dřeviny měly delší dobu obmýtí a byly káceny podle potřeby buďto na pořez na pilách, nebo pro jiné dřevařské účely a byly vysazovány uměle. Tímto způsobem hospodaření vznikly více etážové porosty, které známe pod názvem střední lesy. Z pravidelné a poměrně velice krátké doby obmýtí, která uvolněním korunového zápoje propustila do vnitřku porostu větší množství světla, profitovaly světlomilné a teplomilné druhy živočichů, hub a hlavně rostlin. Zbytky tohoto modelu hospodaření můžeme vidět hlavně v severozápadní části rezervace, kde je umístěna experimentální plocha, o rozměrech cca 2 ha na které bude v následujících letech prováděna simulace tohoto specifického způsobu hospodaření. Na této lokalitě je vyznačeno 40 trvalých zkusných ploch (10 z nich je ploch kontrolních v bezzásahových zónách), na kterých se bude v průběhu následujících 30 ti let pozorovat reakce ekosystému na náhlé mýcení a prosvětlení porostu. Výzkumů na této lokalitě bude probíhat hned několik, ať už se jedná o zhodnocení výhodnosti tohoto způsobu hospodaření z ekonomického hlediska, nebo ověření předpokladu, že prosvětlení porostu bude mít za následek pozitivní vliv na množství a variabilitu živočišných a rostlinných druhů, které se zde vyskytují. Vložit specifické cíle vaší. Odběrem vzorků biomasy bylinného patra, pořízením hemisférických fotografií korunových zápojů a statistickými analýzami získaných dat bude ověřen vliv relativní sluneční ozářenosti na druhovou bohatost a produktivitu bylinného patra v této přírodní rezervaci.

## **1.1 Cíle práce**

Cílem této bakalářské práce je ověřit předpokládanou hypotézu, která tvrdí, že se zvětšeným příkonem slunečního záření dojde v porostu přírodní rezervace Na Voskopě, ke zvýšení produktivity a variability bylinného patra.

## 1.2 Světlo v přírodě

Klíčovým abiotickým činitelem v této práci i ve vztahu k rostlinám je především sluneční záření. Slunce, jako jeho původce, představuje energetický zdroj převážné většiny všech atmosférických procesů a procesů odehrávajících se na zemském povrchu. V biosféře představuje sluneční záření základní činitel v koloběhu a přeměně energie. Z hlediska ekologie můžeme definovat světlo, jako pozorovatelnou složku slunečního záření pronikajícího na zemský povrch. Během průměrně slunečného dne dopadne k zemi záření, jehož hodnota je asi  $0,254 \text{ kW/m}^2$  (Slavíková 1986). Ne každý druh slunečního záření jsou však fotosyntézy schopné organismy schopny využít ve svůj prospěch. Proto sluneční záření rozdělujeme do skupin podle jeho vlnové délky. Vlnová délka určuje kvalitu slunečního záření, která je vedle jeho intenzity rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje fotosynteticky aktivní organismy na planetě. Sluneční záření podle vlnové délky můžeme tedy rozlišit na ultrafialové, infračervené záření a záření viditelné (Procházka et al. 2003). Vlnová délka ultrafialového záření je v rozsahu 290–380 nm. Kdybychom celkové záření ohodnotili jako 100%. Podíl, který z této části tvoří ultrafialové záření, by byl něco mezi 0–4 %. Jeho intenzita je dána vzdáleností od povrchu země, kdy směrem vzhůru do vyšších vrstev atmosféry se síla ultrafialového záření zvyšuje. Nehraje velkou roli v procesu fotosyntézy a ani jeho tepelný efekt není nijak značný (www1). Infračervené záření o vlnových délkách 710–4 000 nm má z celkového záření podíl 50 až 79 %. Jeho význam spočívá hlavně v oblasti tepelné energie, která je důležitá především pro teplotokrevné živočichy a jejich tepelnou bilanci. Kvantita infračerveného záření je určena jeho vstupem do naší atmosféry, do které vstupuje spolu se slunečním zářením ale také tepelným vyzařováním předmětů, jež uvolňují záření, které přijaly v jiných vlnových délkách. Nejpodstatnější pro rostlinné organismy schopné fotosyntézy je viditelné záření. To se svou vlnovou délkou pohybuje v hodnotách, které jsou prakticky totožné s fotosynteticky aktivní radiací (FAR). Jedná se o rozmezí pohybující se od 400 až 700nm (Procházka et al. 2003). Jsou to především chlorofyly a jiné fotosynteticky aktivní pigmenty rostlin, které určují šířku tohoto spektra, proto můžeme záření FAR považovat za hlavní zdroj sluneční energie potřebný pro fotosyntézu zelených rostlin (Slavíková 1986).

### 1.3 Vliv světla na biodiverzitu

Člověk od nepaměti ovlivňuje podobu lesních porostů svými zásahy. To se výrazně podepisuje na druhové bohatosti a skladbě napříč všemi patry lesních porostů. Proto jsou ekologické studie zabývající se vztahem slunečního záření a jeho vlivu na vegetaci důležité zejména pro hospodaření na územích podléhajících některému ze stupňů ochrany přírody. Ač se dá logicky předpokládat, že větší rozmanitost přírodních zdrojů a heterogenita prostředí vede k většímu počtu specializovaných nik a větší variabilitě prostředí (Tilman & Pacala 1993), některé práce na toto téma nepotvrzují toto tvrzení. Příkladem může být porovnání prací zabývajících se zářením ke vztahu na diverzitu druhů na malých plochách. Podle Moora et al. (2007), který sledoval druhovou diverzitu na škále 4 m<sup>2</sup>, mělo difúzní záření prokazatelný vliv na druhovou bohatost. Naopak ve studii, kterou se zabýval Palmer (1990), je na škále 2 m<sup>2</sup> průkazný pouze vliv celkového slunečního záření. V České Republice prováděla výzkum zabývající se diverzitou vegetace lesního prostředí Tydlitátová (2010). Ta ve své práci, lokalizované do Milešovského středohoří, došla k závěru, že hustota stromového patra, která určuje množství světla, jež do porostu pronikne, neměla prokazatelný vliv na diverzitu lesní vegetace. To vysvětluje, že sluneční záření není jediný činitel, který má vliv na diverzitu vegetace. Ve studii se ukázalo, že na zkoumané lokalitě byla pro diverzitu důležitější výměnná půdní reakce a tepelný požitek lokality Tydlitátová (2010). Vliv slunečního záření na diverzitu druhů v dubových porostech středních Čech a Českého středohoří prokázal například Hofmeister et al. (2009). To, že korunový zápoj je hlavním faktorem ovlivňující dostupnost světla v lesním prostředí dokázala studie Hardtleho (Hardtle, 2003). Ten prokázal, že světlo má průkazný vliv na diverzitu druhů zejména v lesních svazech *Carpinion a Fagion*. Důkaz o tom, že dostupnost světla v lesním prostředí nemá vliv jen na diverzitu ale i na dynamiku vegetace dokládá. Ten pozoruje vliv sukcesních přeměn, na nárůst biomasy zmlazení jasanu na úkor světlomilných dřevin v intenzivně obhospodařovaných pařezinových lesích, s dominantním zastoupením habru a dubu. Tento proces má za následek pozvolný vznik stinného mezického lesa. Právě procesy sukcese v lesních porostech souvisí se vznikem volných prostorů ve stromovém zápoji a opětovným zarůstáním těchto mezer, tím se mění i světelný příkon pronikající do porostu. Například Ritter et al. (2005) určoval hodnoty FAR, právě v těchto mezerách stromového zápoje a v jejich jednotlivých částech. To že má vytváření volného prostoru ve stromovém patře na lesní vegetaci a jiné složky prostředí popisuje také Gállhidy et al. (2006). Jako příčinu uvádí náhlé uvolnění a dostupnost zdrojů, jako je například právě sluneční záření. Dalším faktorem ovlivňujícím přístup světla

do porostu a v závislosti na tom i dynamiku lesních společenstev, jsou sezónní změny mající vliv na olistěnost korun stromů. Typickým příkladem jsou středoevropské listnaté lesy. V těchto opadavých porostech bylo prokázáno, že během měsíce května je množství světelného záření až osmkrát vyšší, než během měsíce července (Gendron et al. 1998). Tyto změny mají prokazatelně vliv na bylinné patro a jeho dynamiku. Je to jeden z důvodů, proč můžeme sledovat v opadavých listnatých porostech výskyt fenologických aspektů rostlinných druhů. Typickým příkladem je jarní aspekt, kdy se již před olistěním korun stromů objevují druhy jako dymnivka dutá (*Coridalis cava*), sasanka hajní (*Anemone nemorosa*) nebo violka lesní (*Viola sylvestris*). Až po těchto druhích rostlin se začínají v porostu objevovat druhy méně závislé na slunečním záření, které označujeme jako rostliny letního aspektu. Dynamiku tohoto druhu není možné pozorovat v porostech jehličnatých, neboť hodnoty světelného záření například v porostech smrkových monokultur, jsou během celého průběhu roku téměř nulové. (Slavíková 1986).

#### **1.4 Výmladkový a střední les**

Termínem výmladkové lesy, rozumíme porosty, které se samovolně a opakovaně obnovují vegetativním způsobem, konkrétně svými pařezovými výmladky. Úrodnost stanoviště, na které výmladkový les roste, výše produkce dřevní hmoty, druh dřeviny a rychlost schopnosti rozmnožovat se pomocí výmladků, určuje délku doby obmýtí v těchto porostech. Ta se nejčastěji pohybuje cca mezi 15 ti až 30 ti lety (Jelenecká 2015).

Jiná definice, kterou zmiňuje Zlatník, definuje výmladkový les takto: „Výmladkový les je les, vzniklý z výmladků na pařezech po setnutí kmene v době, kdy ještě mohou výmladky vzniknout. Je to tedy lesní útvar podmíněný lidskou činností a zvláštní obnovou a schopností některých dřevin“ (Zlatník 1957). V porostech, které mají schopnost obnovovat se pomocí výmladků je počáteční růst velice rychlý, může za to fakt, že stromy v těchto lesích jsou od počátku vyživovány kořenovými systémy, které jsou plně vyvinuté. Podle bonity stanoviště, na kterém se porost nachází, kulminuje tloušťkový přírůst cca o 20 až 30 let dřívě, než je tomu u lesa semenného (Kadavý 2011). Dřevinou, která je podle současných výzkumů nejefektivnější v obnově svých porostů pařezovými výmladky je lípa malolistá (*Tilia cordata*), která má ze dřevin, které jsou na našem území původní, největší počet pařezových výmladků (Matula a kol., 2012). Středními lesy, někdy jsou také nazývány jako lesy sdruženého tvaru, nazýváme porosty, ve kterých se hospodaří etážově. Ve spodní

etáži se uplatňují dřeviny se schopností pařezového zmlazení, v etáži horní se pak vyskytují stromy, které jsou rozdílného stáří a semenného původu. Tyto porosty vznikali tím způsobem, že pokaždé když se vytěžila spodní etáž, nechal se porost z části obnovit generativním způsobem (Jelenecká, 2015). Hlavní produkční funkce těchto lesů spočívala v těžbě palivového dříví, proto byla spodní etáž považována za hlavní zdroj dřevní hmoty z těchto porostů a byla v ní krátká obmýtní doba. Oproti tomu horní etáž středního lesa měla dlouhou dobu obmýtní a byla pěstována pro produkci dříví určenému k pořezu, nebo dalšímu zpracování v dřevařském průmyslu. Tudíž můžeme říci, že takový porost byl multifunkčním zdrojem dříví, který poskytoval v relativně krátkých intervalech palivové dříví, tak i v intervalech dlouhých dříví užitkové (Mevald 2016). Ve spodní etáži těchto lesů se hospodařilo převážně s dřevinami, které se dobře pařezově zmlazují a zároveň snášejí zastínění dřevinami, které jsou v horní etáži, například habr obecný (*Carpinus betulus*), lípa velkolistá (*T. platyphyllos*) a lípa srdčitá (*Tilia cordata*). V horní etáži se uplatnily druhy jako modřín opadavý (*Larix decidua*), dub zimní (*Quercus petrae*), nebo třešeň ptačí (*Prunus avium*) (Kadavý 2011).

## 1.5 Metody stanovení světelných podmínek

V této části bych se chtěl věnovat několika způsobům a metodám sloužícím ke stanovení světelných podmínek v porostu. Obecně používaným postupem pro stanovení světelných podmínek je prostý vizuální odhad pokryvu stromového patra. V podstatě se jedná o poměrnou plochu kolmé projekce korun stromů na zkoumané ploše. Dalším z běžnějších způsobů zkoumání dostupnosti slunečního záření v porostu je vyjádření podílu viditelné části oblohy. Tato hodnota se uvádí v procentech a někdy je jmenovaná jako otevřenost stanoviště, v angličtině *canopy openness*. Jeden z dalších způsobů, který preferuje Canham (1988), využívá takzvaný *gap light index*, neboli, index relativního světelného požitku stanoviště. Ten je vyjadřován jako část FAR záření, které prochází do porostu za určitou jednotku času. Zvolený časový úsek bývá nejčastěji délka vegetačního období porostu. Způsobem, který není tak častý, je určování světelných podmínek za pomoci stanovení hustoty proudění světla za pomoci radiometrických metod (Jennings 1999). Nejpoužívanějšími technikami v současnosti jsou zřejmě analýzy fotografií korunových zápojů. Analyzují se jak klasické fotografie, tak fotografie hemisférické. Fotografickou metodu pořizování svisle orientovaných fotografií korunového zápoje popisuje Coch et al. (2005). U tohoto způsobu se fotografie

pořizují jak fotoaparátem analogovým, tak i fotoaparátem digitálním. Během jedné studie je však dobré všechny snímky pořídit jedním přístrojem, se stejným nastavením parametrů, jako expozice, nebo citlivost. Nespornou výhodou je možnost použití klasického fotoaparátu bez nutnosti pořizování speciálního objektivu. Samotný výpočet probíhá stanovením bílých a černých pixelů fotografie, v běžně dostupných grafických programech. Druhou fotografickou metodou je pořizování hemisférických fotografií korunového zápoje. Tato metoda při fotografování využívá speciálního objektivu tzv. „rybího oka“ a objektiv je schopen zachytit úhlovou výšeč 180°. Porost se vyfotografuje od povrchu terénu vertikálně, ovšem je zde i možnost pořizovat snímky korunového zápoje nad porostem, tato metoda je ale velice nepraktická a proto zřídka kdy používaná. Optimální podmínky pro pořizování hemisférických fotografií jsou buďto za soumraku, nebo za ranního úsvitu, kdy je obloha zcela zatažená, nebo naopak úplně bez oblačnosti. Výhodou této metody je mimo jiné i trvalý záznam podoby porostu, kdy se můžeme k analýzám vracet i po dlouhé době v případě, že máme snímky uložené. Nevýhodou ovšem zůstává nutnost analýzy každé fotografie zvlášť, to může být někdy vzhledem k většímu počtu fotografií časově velmi náročné (Jonckheere et al. 2004). Pro analýzy se využívá programů, jako je například Gap Light Analyzer, nebo WinScanopy.

## **2 Charakteristika lokality**

### **2.1.1 Chráněná krajinná oblast Český kras**

Chráněná krajinná oblast Český kras (dále jen CHKO Český kras) vznikla 12. dubna roku 1972 výnosem ministerstva kultury ČSR pod čj. 4. 947/72-II/2. Toto rozmanité území, které má rozlohu 12 823 ha zasahuje v dnešní době do dvou okresů (Beroun, Praha-západ) a z části také do obvodu Praha 5. Nejvyšším místem této oblasti je vrchol Bacín, se svými 498,9 m n. m., naopak nejnižší místo CHKO je ve výšce 199 m n. m. a najdeme ho u řeky Berounky nedaleko Hlásné u Třebaně. Území CHKO zasahuje na 41 katastrálních území, z nichž 12 je katastrů úplných. 29 katastrálních území je hranicemi CHKO rozděleno. Tyto plochy má ve správě na 37 obcí a dvě městské části. Hlavním smyslem založení CHKO Český kras a jejím prvotním posláním je v první řadě ochrana zdejší rozmanité krajiny a jejích hodnot, vzhledu, přírodních zdrojů a snaha o udržení vyváženého životního prostředí. Celá tato oblast



je jedinečná z hlediska výskytu endemických druhů živočichů a rostlin, k jejichž ochraně bylo doposud zřízeno 19 maloplošných chráněných území s celkovou výměrou 2 702 ha. (Ložek et al. 2005). Oblast CHKO je rozdělena na čtyři zóny ochrany přírody. V první zóně, která je nejcennější se nachází cca 2800 ha lesů a 226 ha zemědělských pozemků. V ostatních zónách není rozloha lesů tak vysoká a postupně ke čtvrtému stupni ochrany rychle klesá. To že zde převažují lesy a pole má za následek malé množství pastvin a luk. Vodní plochy v CHKO nejsou také výrazně rozšířeny. Tento jev je ale typický pro všechna krasová území střední Evropy.

### **2.1.2 Geomorfologie Českého krasu**

Oblast českého krasu dělíme z geomorfologického hlediska do tří jednotek. Středem tohoto území je takzvaná Karlštejnská vrchovina, ve které se vrch Voskop nachází. Podoba reliéfu, který zde můžeme spatřit, má charakter zvlněné pahorkatiny, kterou svým tokem prořezává tok řeky Berounky a jejích přítoků. Nadmořská výška tohoto území se pohybuje okolo 360 m n. m. a celá tato plošina je tvořena převážně z vápenců z dob devonu a siluru, nemalou složkou jsou zde zastoupeny také silurské břidlice (ÚHÚL, s. d.). Tyto horniny mají za následek, že v oblasti můžeme nalézt četné krasové útvary, jenž nejsou tak hojné a takového rozsahu jako je tomu například v Moravském krasu ale i tak má krajina díky svému pestrému složení hornin zajímavou geomorfologickou strukturu (www1).

### **2.1.3 Geologie Českého krasu**

Z geologického hlediska můžeme říci, že vápence, tvořící podklad celé CHKO Český kras vznikaly usazováním sedimentů v dobách prvohor, kdy se na tomto území vyskytovalo mělké moře. Důkazem toho jsou nálezy schránek korýšů a mnohých zkamenělin mořských živočichů, které můžeme na těchto lokalitách pražského souvrství nalézt. S nástupem siluru se na budoucí geologické podobě těchto míst začal také podepisovat podmořský vulkanismus, jenž na několika místech zapříčinil zvedání mořského dna, a vznik bazaltových ložisek. Střídaté usazování jílovitých a písčitých částic, společně s aktivním podmořským vulkanismem, probíhalo od ordoviku až po devon, ve kterém se pražská pánev posunula do rovníkové zóny, v důsledku kontinentálního driftu. Vznik krasových jeskyní, které se

na tomto území vyskytují, se datuje do doby třetihor, kdy územím CHKO protékala řeka. Ta se podílela na současné podobě oblasti náplavami štěrkových a písčitých částic. Současná podoba reliéfu Českého krasu vznikla ve čtvrtohorách a byla ovlivňována především tokem řeky Berounky a jejími přítoky, jež v krajině zapříčinily tvorbu údolí.

#### **2.1.4 Pedologie Českého krasu**

Co do půdních poměrů, je oblast velice rozmanitá. Je zde veliký vliv matečních hornin na složení půd. Na vápencových podložích se zde vyskytují rendziny a hnědozemě s výraznou vápennou složkou. V CHKO Český kras se v údolí Berounky a jejích přítoků vyskytují také podzoly a na některých místech výjimečně i gleje (ÚHÚL, s. d.).

#### **2.1.5 Hydrografie Českého krasu**

Dominantním tokem v CHKO Český kras je řeka Berounka, která se v Lahovicích vlévá do Vltavy. Ještě před spojením těchto dvou toků se ovšem do Berounky z její levé strany vlévají potok Kluček, Švarcava, Loděnice, Kralický potok, Jinočanský potok a Bubovický potok. Z pravé strany do řeky Berounky přitékají říčka Litavka, do které se ještě před soutokem s Berouňkou vlévá Suchomastský potok. Dalšími dvěma přítoky jsou Bělečský a Stříbrný potok. Významné otevřené vodní plochy oblasti jsou Prostřední rybník u Popovic a rybník Měrák, údolní nádrž Suchomasty a rybník Obora SZ od Litně (ÚHÚL, s. d.).

#### **2.1.6 Klimatické poměry Českého krasu**

Prakticky celá CHKO, ve které přírodní rezervace Na Voskopě leží, je teplou oblastí s maximem srážek v měsíci červenci. Za celý rok dopadne na toto území v průměru 530 mm srážek. Celoroční průměr teplot se zde pohybuje v rozmezí od 8 do 9 °C. Zima je zde velice mírná, s minimem srážek. Sněhový pokryv v této oblasti není nikterak silný a neudrží se na zemi příliš dlouho. Průměrný roční počet dní se sněhovou pokrývkou je pouhých 30–40 dní (Tolasz et al. 2007). Výskyt reliéfních rozmanitostí, terénních rozdílů a typu zdejšího rostlinstva má za následek přítomnost různých mikroklimatických faktorů (www1).

### **2.1.7 Flóra a vegetace Českého krasu**

Každý botanik ví, že vápencový podklad znamená mimořádné bohatství rostlinných druhů. Za to může souhra několika faktorů, ke kterým patří především vysoký obsah vápníku, který obsahují zdejší půdy a zvětrávání vápenců, které má za následek členitý reliéf, díky kterému je zde výrazná mikroklimatická stanovištní pestrost. Český kras je jediným větším územím v české kotlině, na kterém se vytvořila v úplných ekologických řadách a vývojových sériích společenstva vápnomilných rostlin (Skalický a Jeník 1974).

Faktory, které jsou výše zmíněny a přítomnost sousedních oblastí, které se řadí mezi sušší a teplejší xerothermní regiony, má za následek výskyt mnoha vápnomilných a též suchomilných druhů rostlin. Vliv na složení vegetace má v neposlední řadě také osídlení člověkem a jeho zásahy do krajiny, které napříč historií dozajista ovlivnily podobu dnešního složení vegetace na tomto území. Z hlediska botanického spadá celé území chráněné krajinné oblasti, do fytogeografického okresu Český kras. Konkrétně se jedná o oblast Českého termofytika, okresu č. 9 Český kras (Skalický 1988). Pro toto území jsou typické suchomilné a teplomilné druhy rostlin a květena středoevropských lesů. Z hlediska regionálních floristických odlišností lze okres Český kras ještě rozdělit na tři menší oblasti. Jedná se o část severovýchodní, centrální a jihozápadní. Severovýchodní oblast se dá považovat za okraj Prahy a od centrální oblasti je oddělena pomyslnou hranicí, která vede po ose Černošice, Třebotov, Choteč. Do Jihozápadní oblasti, někdy také zvaná Zdícko-Liteňská část, spadá samotná PR Na Voskopě (Fellner a kol. 1983).

### **2.1.8 Biogeografie Českého krasu**

Celé území Českého krasu řadíme do provincie listnatých lesů střední Evropy. Konkrétně se jedná o Hercynskou podprovincii a celé toto území je součástí takzvaného Karlštejnského bioregionu. Tato oblast, která je tvořena zejména vápencovým podkladem je rozlohou největší krasové území nacházející se v České kotlině. To má za následek, že se zde vyskytují vápnomilné druhy vegetace, které zde dominují. Ve velké míře jsou zde zastoupeny světlé, teplomilné doubravy, které zde, ve 2-3. lesním vegetačním stupni doplňují dubohabřiny. Na svazích se severním sklonem zde můžeme najít vápnomilné bučiny a lesy rostoucí na sutích. Na nejteplejších svazích orientovaných jižním směrem se pak nacházejí oblasti skalních stepí, porostlých nenáročnými suchomilnými travinami. Co se zdejší flory týče, jsou

zde zastoupeny rozmanité druhy floroelementů a migrantů a na stinných skalách s rozdílným mikroklimatem se nacházejí i dealpinské prvky flóry. Většina tohoto území spadá do oblasti termofytika, do mezofytika spadají oblasti jižní. Za původní přirozenou vegetaci na tomto území můžeme považovat svaz *Quercion pubescenti-petraeae*, především *Lathyro versicoloris-Quercetum pubescentisa Torilido-Quercetum*, tyto teplomilné doubravy se zde mísí s teplomilnější částí dubohabřin, které zařazujeme do asociace *Melampyro nemorosi-Carpinetum*. Prudké svahy, které se zde vyskytují, patří suťovým lesům (*Acericarpinetum*), které na některých místech výjimečně přecházejí v okroticové bučiny (*Cephalanthero-Fagetum*). Strmé, skalnaté svahy, na které je vázáno přirozené bezlesí v jižní části zastupuje svaz *Helianthemocani-Festucion pallentis*. Svaz *Seslerio-Festucion glaucae* reprezentuje severní sekci. Pobřežní pásy, utvořené kolem řek Berounky a Vltavy jsou reprezentovány svazem *Phalaridion arundinaceae*. Okraje lesních porostů reprezentuje svaz *Geranion sanguinei*, svazy *Prunion fruticosa* e představují porosty křovin. Náhradní vegetací xerothermních poloh jsou trávníky svazu *Festucion valesiaca*e, ty se v polohách, kde se vyskytuje hlubší půda, mění ve vegetaci svazu *Cirsio-Brachypodion pinnati*. Typickými druhy, které se v tomto bioregionu vyskytují, jsou termofyty, naopak druhy kontinentální složky flóry jsou zde zajímavým článkem (Culek, 1996).

## 2.2 Přírodní rezervace Na Voskopě

Těžko si asi dnes dokážeme představit to, jak to vypadalo na území dnešní přírodní rezervace v dávných dobách. Za jejich trvání prošla krajina v těchto místech velkými změnami, a především vegetace, která se zde dnes vyskytuje, je výsledkem dlouhodobého hospodaření člověka a jeho různých způsobů obdělávání tohoto kusu země. Nejstarší doložená podoba krajiny Na Voskopě, byla bez výjimky bezlesá. Postupem času se zde začaly vyskytovat keřovité ostrůvky a později získal Voskop charakter světlého lesa s výskytem malých stepních ploch porostlých světlomilnými a vápnomilnými travami. Výzkum, který nám pomocí odkrytí vrstev půdy umožnil pohled do historie, jako poslední podobu této lokality uvádí v podstatě les zapojený, tak jak ho známe (Hlaváč 2008). V dobách středověku čelilo území dnešní rezervace Na Voskopě velikému náporu usídlojících se obyvatel, kteří krajinu využívali ať už k pastvení dobytka, nebo k těžbě dřevní hmoty. Tento tlak člověka na toto území postupem času sílil. Jinak tomu nebylo ani po třicetileté válce a dále po roce 1700, kdy se začala hustota obyvatel znovu navyšovat. Způsoby hospodaření člověka zdejší krajinu decimovaly, ať už se jednalo právě o pastvení domácích zvířat, získávání hrabanky ale především intenzivní těžbu,

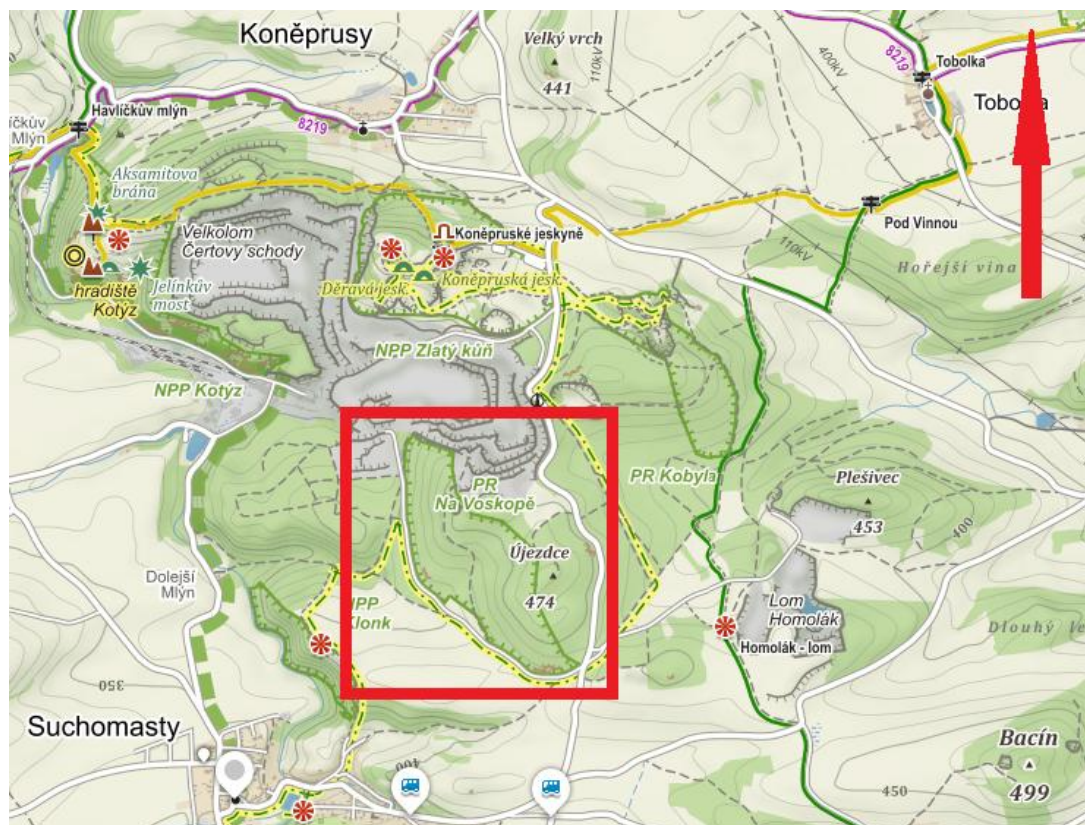
kteřá měla za následek krátkou dobu obmýtí. Následně se zdejší les zpravidla nezalesňoval uměle, ale spoléhalo se na schopnost porostu obnovovat se pařezovými výmladky.

### **2.2.1 Založení přírodní rezervace**

Založení přírodní rezervace (PR) Na Voskopě se datuje ke dni 26. 11. 2012, kdy nařízením správy CHKO Český kras č. 1/2012 tato rezervace vzniká. Je zřícena za účelem ochrany cenných druhů fauny, flory a některých druhů hub, které se v této oblasti vyskytují. Předmětem ochrany je ale především samotná podoba typu lesních společenstev, které se na tomto území nacházejí. Dát tomuto území přídomek přírodní rezervace však nebylo nikterak jednoduché a podařilo se tak až po téměř patnácti letech. Celé toto období probíhala jednání s majitelem pozemku, akciovou společností Velkolom Čertovy schody. Tento vápencový lom je v těsném sousedství zájmového území a celá rozloha současné rezervace, tehdy ležela na pozemcích této těžební společnosti a byla delimitována jako dobývací prostor. Všechna jednání vedla na konec ke zdárnému vyhlášení této poměrně hodnotné přírodní rezervace. Součástí dokumentů k rezervaci je též lesnický plán péče, který v sobě obsahuje již navržený způsob provádění experimentálních zásahů vedoucích k obnovení středního lesa.

### **2.2.2 Poloha**

Přírodní rezervace Na Voskopě leží cca 6 km vzdušnou čarou jižně od střeđočeského města Beroun, mezi obcemi Suchomasty a Koněprusy. Území spadá katastrálně pod druhou z těchto vesnic a rozlohou zabírá plochu přibližně 31,5 ha. V rámci chráněné krajinné oblasti Český kras leží tato rezervace na jihozápadní hranici tohoto státem chráněného komplexu. Je tvořena svahy, které jsou orientovány západním a jihozápadním směrem k vesnici Suchomasty. Nadmořská výška přírodní rezervace je v rozmezí od 392 do 473 m. n. m. Jedinou komunikací vedoucí k této lokalitě je silnice III. třídy, která směřuje od Koněpruských jeskyní směrem na Bykoš. Pěšky se do přírodní rezervace dostaneme, po naučné stezce Koněpruské jeskyně – Borek, jenž vede ze Suchomast severovýchodním směrem a zavede nás přímo k přírodní rezervaci Na Voskopě.



**Obr. 1.** Poloha PR Na Voskopě, Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz), 2017 Seznam.cz, a.s. “).

### 2.2.3 Geologie

V době starších prvohor (spodní devon, pražské souvrství), kdy se na tomto území nacházelo mělké moře, se v těchto místech začaly tvořit mohutné biodetritické vápence, které v dnešní době tvoří podklad této lokality. Na nedalekém místě zvaném Zlatý kůň, vytvořil bezpočet bezobratlých živočichů obývajících šelfové moře útes, a z jejich nahromaděných schránek se postupem času začal tvořit takzvaný koněpruský vápenec. Lidé využívali výchozů tohoto vápence k těžbě, za účelem výroby vápna, přičemž přímo na této lokalitě započala těžba počátkem 20. století. Menší lůmky určené k těžbě ze starších období, jsou již dnes ale zarostlé buřínem a náletem pionýrských dřevin a může být obtížné tyto výchozy koněpruských vápenců v oblasti objevit. Na severu přírodní rezervace můžeme najít četné, otevřené krasové kapsy, které jsou vyplněné klastickým materiálem a jsou tvořeny zkrasovatěným vápencem. (Ložek a kol., 2005)

#### 2.2.4 Květena vrchu Voskop

Charakter lokality přírodní rezervace na Voskopě s dubohabřinami, které přecházejí do málo zapojených, bývalých pastevních lesů a vápencových borů, má za následek výskyt mnoha vzácných a ohrožených druhů. Některé bych zde chtěl nyní jmenovat. Z taxonů silně ohrožených druhů jsou na území přírodní rezervace zaznamenány rostliny jako koniklec luční český (*Pulsatilla pratensis ssp. bohemica*) (Möllerová & Viewegh 2005), sasanka lesní (*Anemone sylvestris*) a okrotice červená (*Cephalanthera rubra*) (Sádlo 2001). Z ohrožených druhů hořec brvitý (*Gentianopsis ciliata*), plamének přímý (*Clematis recta*) (Fér et al. 2001). Ze vzácnějších druhů, které stojí za zmínku, jsou zde například okrotice bílá (*Cephalanthera damasonium*), bělozářka větevnatá (*Anthericum ramosum*), trýzel šcardolistý (*Erysimum crepidifolium*) (Sádlo 2001) a mnoho dalších.

### 3 Metodika

#### 3.1 Vyznačení pokusných ploch v terénu

Vrch Voskop, kde sběr dat pro tuto bakalářskou práci probíhal je svažité území o průměrném sklonu 18° orientované západním směrem. Jeho celková rozloha je asi 1,9 ha. Vymezení zkoumaných ploch na tomto svahu spočívalo v určení šesti pásů v porostu, z nichž každý je o délce 125 m a šířce 25 m. V každém z těchto pokusných pruhů, které se budou v budoucnu odtěžovat v rámci dlouhodobého výzkumu, je vyznačeno dalších pět kruhových zkusných ploch o poloměru 8,5 m. Dalších 10 kruhových zkusných ploch je rozmístěno v blízkém okolí a mají sloužit, jako plochy kontrolní, v místech, kde nebude prováděna těžební činnost. Všech čtyřicet ploch je zaměřeno souřadnicemi GPS a vyznačeno fixním geodetickým bodem. Na nejbližší strom ke středu plochy je sprejem vyznačeno pořadové číslo. Pro lepší orientaci bylo navíc tečkou označeno na vrstevnici a spádnici po dvou nejbližších stromech. Díky tomuto systematickému značení nebyl problém při mých pracích v terénu postupovat metodicky, aniž by došlo k přeskočení nebo vynechání některé z ploch.



**Obr. 2.** Mapa rozmístění trvalých zkusných ploch v terénu.



## 3.2 Sběr biomasy

Termínem určeným pro sběr biomasy byly dva týdny v měsíci červnu, z důvodu rychlého růstu bylinného patra. Účelem sesbírat vegetaci v tak krátkém časovém úseku bylo omezit velikost rozdílů váhy získaného materiálu. Samotný sběr probíhal tím způsobem, že byly na pěti místech každé zkusné plochy systematicky sesbírány vzorky nadzemních částí rostlin. Každá z pěti sběrných ploch měla rozměry  $0,5 \times 0,5$  m. Abych dosáhl požadované velikosti sběrných plošek, používal jsem kovový rámeček o těchto rozměrech. První sběr na ploše probíhal vždy 1 m nad pevně umístěným středovým kolíkem plochy, zbylá čtveřice plošek byla sebrána vždy 5 m od středového kolíku směrem ke stranám trvale vyznačené plochy. Abych postupoval systematicky, zvolil jsem takový postup, že první ze zbývajících čtveřice plošek jsem umístil od středového kolíku východním směrem a další plošky byly sbírány po směru hodinových ručiček. Byliny a nízké zmlazení dřevin byly odebírány nůžkami, co nejnižší u země, maximálně cca 5 cm nad zemí. Materiál byl ukládán do očíslovaných papírových pytlíků, které byly lihovým fixem popsány číslem dané trvalé zkusné plochy, na které sběr probíhal a číslem od jedné do pěti, podle pořadí toho o kterou plošku o rozměrech  $0,5 \times 0,5$  m se jednalo. Bohužel vzhledem k velké nepřízni počasí se mi neosvědčily papírové sáčky, do kterých byl materiál ukládán, protože se po krátké době začaly promáčet a trhat.

Celkem bylo tedy na 30 ti trvalých pokusných plochách a na 10 ti kontrolních plochách v okolí odebráno 200 papírových sáčků se vzorky. Všechny bylo následně třeba uložit na suché, teplé místo, aby se zabránilo vzniku plísní. Pro tyto účely jsem zvolil prostor půdy našeho rodinného domu, která tyto podmínky naprosto splňovala. Vzorky byly v prostorách půdy umístěny zhruba do konce měsíce července. Za tuto dobu, a vzhledem k teplých dnům letních měsíců, byly vzorky velice dobře prosušeny. Nicméně následoval převoz všech 200 papírových sáčků s vysušenou biomasou do laboratoře katedry ekologie lesa, kde probíhalo sekundární sušení. Všechny sáčky zde byly naskládány do sušárny *Venticell 404*, ve které samotné sušení probíhalo za teploty  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  po dobu cca 4 hodin. Za tuto dobu vzorky dosáhly konstantní nulové vlhkosti, která byla nezbytná pro další činnost, kterou bylo vážení nasbíraného materiálu. Ve stejný den, ve kterém probíhalo sušení, jsem všechny vzorky zvážil. Nebylo by vhodné, čekat déle protože vysušené rostliny by za nějaký čas mohly absorbovat vlhkost z okolního vzduchu, čímž by se mohla, ač nepatrně zvýšit jejich hmotnost. K vážení vzorků mi byla k dispozici další z laboratoří fakulty. Z toho důvodu, že jsem měl dva rozdílné druhy papírových sáčků (100 ks a 100 ks), jsem musel nejprve

postupně zvážit deset prázdných sáčků jednoho druhu a výsledky měření zprůměrovat. Následně jsem totéž udělal i s druhým tipem deseti papírových pytlíků. Z těchto dvou průměrných výsledků již nebyl problém vypočítat průměrnou hmotnost jednoho sáčku. To bylo důležité, protože měření probíhalo vždy společně s papírovým sáčkem, a jeho průměrná hmotnost se od výsledku měření odečetla. Hmotnost byla z digitálních vah značky *GT210 Galaxy OHAUS* odečítána s přesností na setiny gramu. Naměřené hodnoty byly postupně zapisovány do tabulky v programu Microsoft Excel 2013. Vzhledem k tomu, že navážené hodnoty odpovídaly plošce o velikosti  $0,5 \text{ m}^2$ , bylo nutné je převést tak, aby odpovídaly hodnotě na  $1 \text{ m}^2$ . Poté už jen následovalo vypočítání průměrné hmotnosti pro každou ze čtyřiceti trvalých zkusných ploch, dále výpočet jejich směrodatných odchylek a jejich variační koeficient.

### **3.3 Pořizování hemisférických fotografií**

Zvolenou metodou pro specifikaci světelných podmínek na trvalých zkusných plochách byla metoda pořizování hemisférických fotografií korunového zápoje (Frazer et al. 1997). Tato činnost vyžaduje dobré načasování, protože zde hrají velice důležitou roli světelné podmínky a počasí. Nejlepší situace je tehdy, když je obloha pod mrakem ovšem beze srážek. Kvalitních fotografií lze také dosáhnout ráno, kdy jsou v porostu také vhodné světelné podmínky. Za jasného dne, když sluneční paprsky prosvítají korunami stromů ve velkém množství, se pořizování fotografií nedoporučuje, z toho důvodu, že by se na výsledných hemisférických fotkách mohla objevit přesvětlená místa, která by v budoucím vyhodnocování měla negativní dopad na celkový výsledek. Určení světelných podmínek na zkusných plochách, probíhalo za použití digitálního fotoaparátu značky *Canon EOS 1100 D* s objektivem *Circular Fish EYE Sigma DC HSM*. Tento objektiv je typu rybí oko a má zobrazovací úhel  $180^\circ$ , tudíž je ideální pro fotografování korunových zápojů. Před samotným začátkem pořizování fotografií se musel fotoaparát nastavit. Kvalita pořizovaných fotografií byla 6 Mpx o rozlišení  $3088 \times 2056$ . Takovéto rozlišení je pro účel experimentu dostačující. Dále bylo nutné na fotoaparátu nastavit clonu (AV mode), na hodnotu 8. Citlivost na světlo ISO byla ponechána v automatickém režimu. Dalším krokem bylo nastavit měření se zvýhodněným středem (*Metering mode: Centre-weighted average metering*) a nastavení expozice (*Bracketting*). U této funkce se může podle změny podmínek při fotografování hodnota podle potřeby upravit. Jako poslední byla vypnuta funkce autorotace. Postupně jsem pořídil na všech pokusných plochách po třech hemisférických fotografiích korunového zápoje, z nichž každá

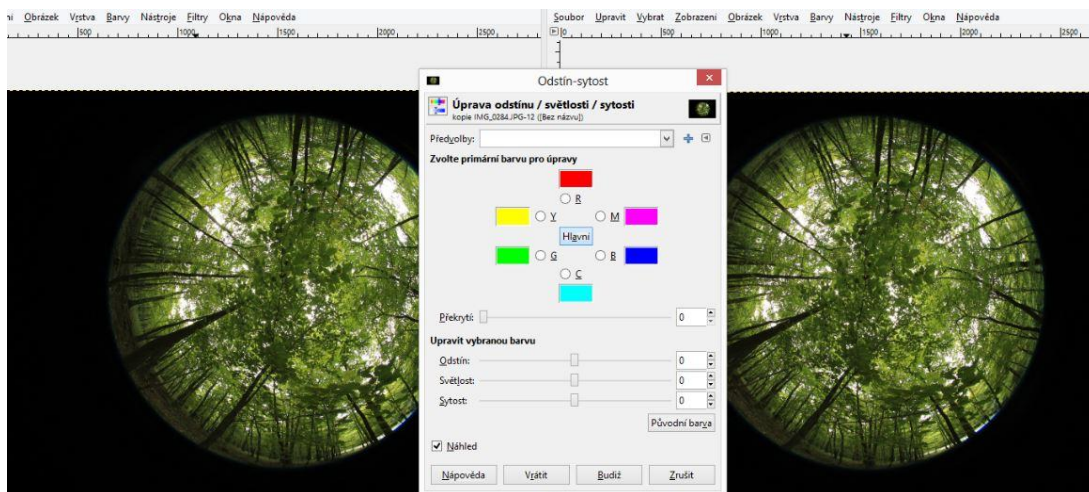
měla jinou světelnou expozici. Tím jsem chtěl docílit, aby se pro následné analýzy mohla ze série tří fotografií vybrat pro zpracování ta nejvhodnější. Samotné fotografování probíhalo takto. Po příchodu na pokusnou plochu jsem umístil stativ s připevněným fotoaparátem nad pevný stabilizační bod. Buzolou jsem určil, kde se nachází sever a fotoaparát jsem podle toho zorientoval. Za pomoci libely, jež byla na fotoaparátu připevněna, jsem upravil přístroj tak, aby byl ve vodorovné pozici. K tomu sloužil kulový kloub na stativu. Samotný stativ byl nastaven tak, že se fotoaparát nacházel ve výšce 130 cm nad zemí. Poslední věcí bylo přepnutí objektivu na manuální ostření. Před pořízením série fotografií bylo nutné sehnout se pod oblast, kterou objektiv zabíral, aby se na fotografiích neobjevily postava, která s fotoaparátem pracuje. Konečné pořízení fotografií, již probíhá klasicky, spouští fotoaparátu.



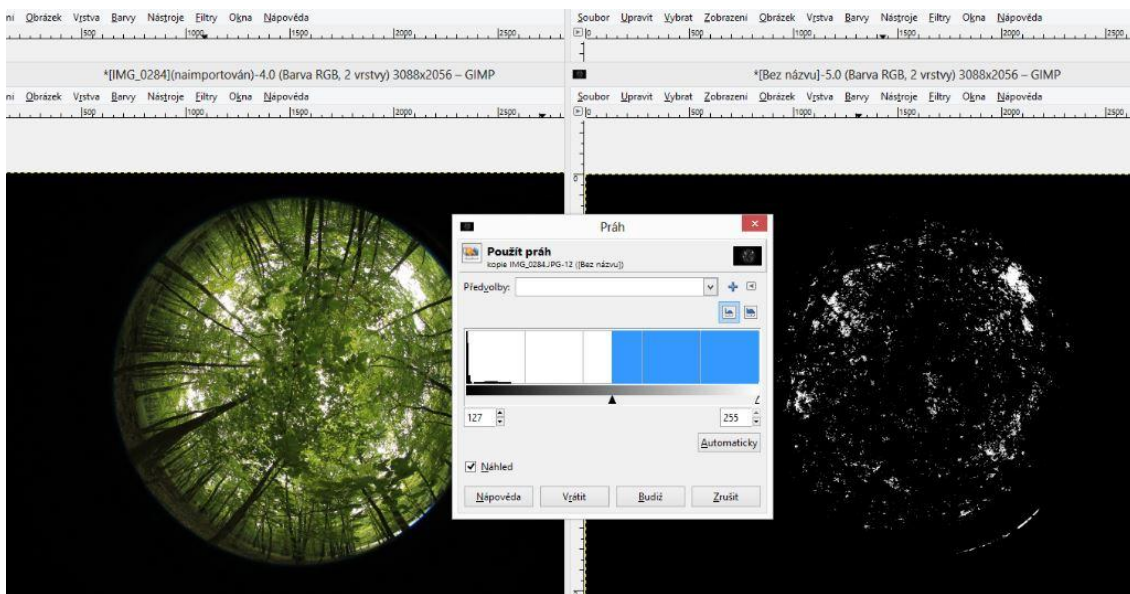
**Obr. 3.** – *Hemisférický snímek korun stromů na trvalé zkusné ploše č. 10 před zpracováním v programu Gimp2.*

### 3.4 Analýza hemisférických fotografií

Před samotnou analýzou pořízených snímků bylo nutné je vyřadit. Z trojice pořízených fotografií se musel vybrat ten, který nejvíce odpovídal realitě, nesměl být příliš světlý, nebo naopak příliš tmavý. Výběr nevhodných snímků by mohl negativně ovlivnit výsledky následujících analýz. Pro vybírání vhodných fotografií mi stačil osobní počítač, který pro vyřídění snímků stačil. Každá z vybraných fotografií byla pojmenována číslem trvalé zkusné plochy, na které byla pořízena. Následně bylo pro další zpracování snímků nutné převést každé foto do černobílé podoby. Jako vhodný nástroj pro tuto operaci se ukázal volně dostupný počítačový program Gimp 2. Jedná se o grafický editor pro úpravu fotografií. Do tohoto programu jsem nahrál barevnou fotografii korunového zápoje a tu následně duplikoval, abych mohl jednu z fotografií upravovat a podle druhé provádět kontrolu s originálním snímkem. Samotný postup práce v programu probíhal následovně. Na horní liště programu jsem zvolil záložku Barvy – Odstín a sytost. Poté jsem u barev, které se v porostu nejčastěji vyskytují, to jsou barvy zelená a žlutá, ubral hodnoty odstínu, sytosti a světlosti na minimální bod. Pro takzvané prahování jsem v programu Gimp 2 použil funkci s názvem Práh. U této funkce se může využít analýza buďto automatická nebo manuální. Automatické prahování se jeví jako snadnější a hlavně rychlejší metoda, nicméně jsem po prvních analýzách fotografií zjistil, že v automatickém režimu dochází ke zkreslení snímků. To se projevovalo tak, že se ve výrazně světlejších částech fotografie ztrácely některé tmavší prvky, jako drobné větve nebo listy. Tato skutečnost by negativně ovlivnila průběh dalších analýz, proto jsem zvolil manuální postup prahování snímků.

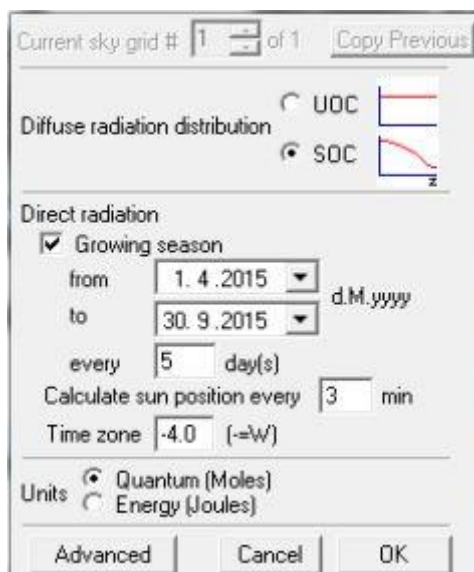


**Obr. 4.** – Okno pro potlačení odstínu, světlosti a odstínů barev v programu Gimp 2.



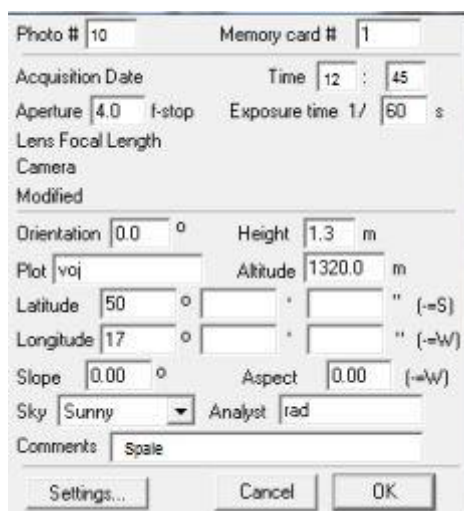
**Obr. 5.** – Prahování hemisférických fotografií v programu Gimp 2.

Manuální metoda byla sice delší, ale výsledky byly prokazatelně lepší. V místech, kde byly sluncem osvětlené kmeny, nebo v částech fotografie, které by mohl program WinScanopy milně vyhodnotit jako část oblohy, jsem za pomoci nástroje Štětce zabarvil černou barvou tyto oblasti. Poté zbývalo jen upravené fotografie korunového zápoje uložit pod názvem čísla příslušné zkušné plochy. Posledním programem, který provádí samotnou analýzu světelných podmínek je výše zmíněný program WinScanopy. Na vyhodnocování hemisférických snímků je to jeden z nejčastěji používaných programů. Jeden z dalších programů, kterým je možné analyzovat světelné podmínky stanoviště, je také program Gap Light Analyzer, který ve své bakalářské práci použila například Hradilová (2010). Rozdíly mezi jednotlivými programy popisuje Jarčuška et al. (2010). Začátek práce s programem WinScanopy vyžadoval prvotní nakonfigurování programu. Bylo nutné založit soubor, jehož obsahem byly základní informace, které program pro analýzy potřeboval. Jednalo se o parametry jako je například rozlišení pořízených snímků, nadmořská výška lokality kde bylo fotografování prováděno atd. Po zadání těchto základních informací bylo potřeba soubor nahrát do samotného programu. K tomu slouží volba *Load configuration*, která se v programu nalézá na hlavní liště, v záložce *Misc*. Následovalo nastavení délky vegetačního období. Ve volbě *Radiation* jsem zadal možnost *Radiation parameters* a po zaškrtnutí políčka s názvem *Growing season* jsem vyplnil do kolonek délku vegetační doby od 1. 4. 2014 do 30. 9. 2014 (viz obr. 6).



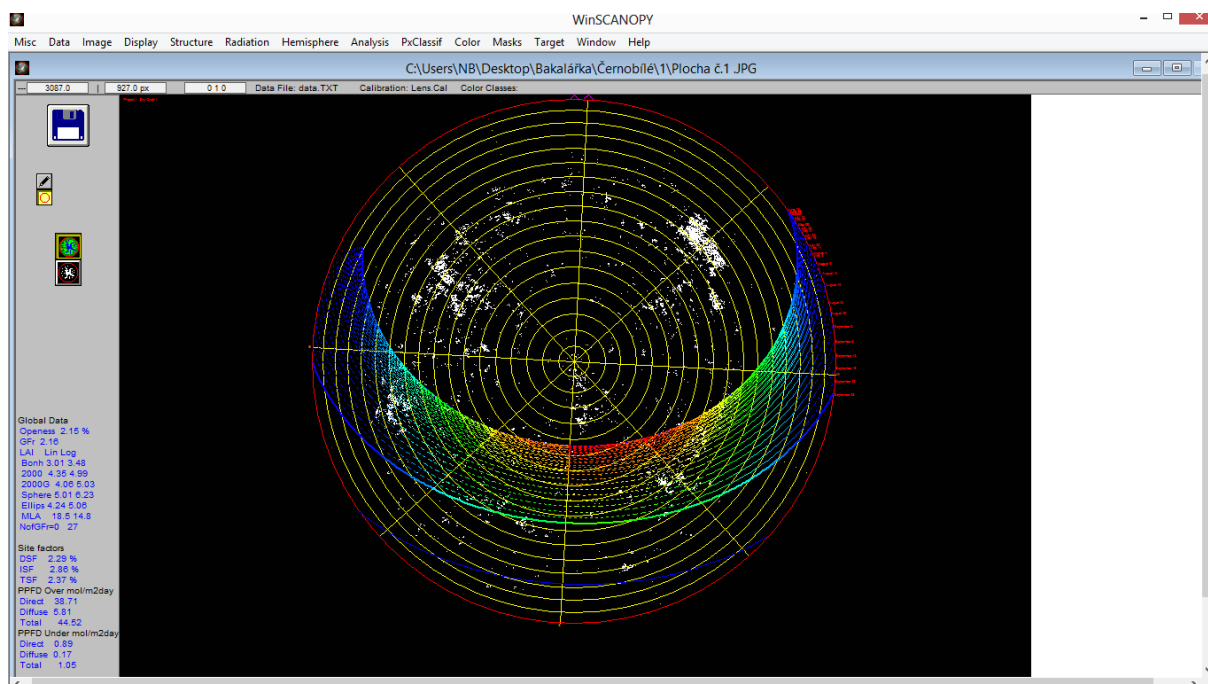
**Obr. 6.** – Zadání vegetační doby v programu WinScanopy.

Načtení jednotlivých snímků probíhalo přes ikonu diskety, která se v programu nachází vlevo na hlavní obrazovce. Poté bylo třeba zadat nadmořskou výšku, ve které byl snímek pořízen, sklon a orientaci lokality ve stupních (viz obr. 7).



**Obr. 7.** – Zadání údajů o sklonu a orientaci v programu WinScanopy.

Poté následovala samotná analýza. Kliknutím na záložku *Analysis* a volbou *Do batch analysis* jsem zadal programu pokyn k provedení analýzy světelných podmínek. Obrazový výstup programu je uveden na obrázku č. 8.



**Obr. 8.** – Grafický výstup analýzy v programu Winscanopy.

Postup byl stejný u všech 40 ti hemisférických fotografií, přičemž údaje o sklonu, orientaci a nadmořské výšce musel být zadávány pro každý snímek zvlášť. Výstupním souborem analýzy světelných podmínek byl textový soubor poznámkového bloku, který jsem pro lepší orientaci převedl do tabulky programu MS Excel 2013. Do této tabulky jsem následně přidal i hodnoty produktivity biomasy odebrané na zkusných plochách a údaje převzaté z diplomové práce Hroník (Hroník 2013). Ten na trvalých zkusných plochách zaznamenával v roce 2013 fytoecologické snímky. Pro mé analýzy jsem použil hodnoty jednotlivých indexů diverzity zkusných ploch.

### 3.5 Statistické vyhodnocení dat

Statistické analýzy získaných dat probíhaly v programu *R* a v programu *Statistica*. V prvním zmiňovaném programu byly provedeny regresní analýzy ke zjištění vztahů mezi závislou proměnnou (tj. produktivita biomasy, indexy diverzity) a nezávislými prediktory (tj. světelné parametry). Ty bylo nejprve třeba vytřídit a rozdělit na data, která jsou závislá, ta mění svou povahu v závislosti na podmínkách okolního prostředí, a data nezávislá. Mezi nezávislé proměnné patří naměřené hodnoty slunečního záření a otevřenosti stanoviště. Nahrání vstupních dat mnohorozměrných analýz probíhalo přes příkaz *read.table*, následně byly pokynem *attach*, uloženy do paměti programu *R*. Dále jsem provedl sérii jednoduchých regresních analýz definováním lineárního modelu pomocí funkce *lm* v zadání celého příkazu *summary(jméno\_objektu <- lm (závislá\_proměnná ~ prediktor))*. Z vypsaných výsledků jsem použil hodnoty statistické signifikance daného modelu (výpis *p-value*) a vypočítaný koeficient determinace upravený vzhledem k počtu stupňů volnosti (výpis *Adjusted R-squared*). Pracovně jsem též vyzkoušel definici lognormálního modelu, kdy jsem logaritmičtě transformoval hodnoty závislé proměnné, modely však neprokázaly lepší výkonnost oproti netransformovaným datům.

V programu *Statistica* byly následně vytvořeny grafické výstupy jednorozměrných analýz porovnávaných proměnných. Postup byl následující. Po nahrání vstupních dat byla na hlavním panelu nástrojů programu zvolena funkce s názvem *Grafy* a vybrána podoba bodového grafu. Po otevření nastavení základní podoby grafu, bylo nutné zvolit hodnoty, které budou na ose X a Y. Na ose X byla vždy zvolena hodnota nezávislé proměnné (hodnoty složek světelného záření, nebo hodnota otevřenosti stanoviště), na ose Y byla vždy zvolena hodnota závislé proměnné (množství biomasy stanovišť, nebo hodnoty jednotlivých indexů diverzity).



## 4 Výsledky

Primárním cílem práce bylo zhodnotit vliv slunečního záření na produktivitu bylinného patra. Ze získaných dat, zpracovaných ve statistických programech jednorozměrnými regresními analýzami, vyšla najevo v naprosté většině průkazná závislost porovnávaných proměnných. Vysvětlení názvů jednotlivých proměnných, které byly porovnávány, obsahuje tabulka č. 1. Pro lepší představu jsou dále přiloženy i grafické výstupy z programu *Statistica*, které vzájemnou závislost jednotlivých proměnných dokazují.

**Tab. 1.** – *Vysvětlení proměnných použitých v následujících analýzách.*

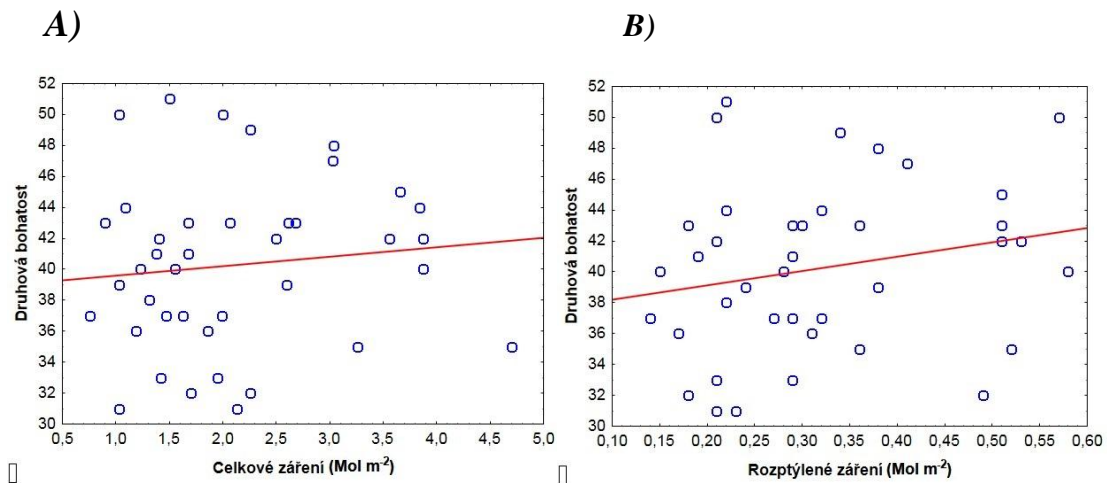
Název	Význam
Mean	produktivita biomasy na ploše ( $\text{g m}^{-2}$ )
Direct	hodnota přímého záření ( $\text{Mol m}^{-2}$ )
Diffuse	hodnota difúzního záření ( $\text{Mol m}^{-2}$ )
Total	hodnota celkového záření ( $\text{Mol m}^{-2}$ )
Openness	otevřenost oblohy nad plochou (%)
Simpson index	podíl jedinců určitého druhu na zkoumané ploše
Richness	druhovú bohatost stanoviště (počet druhů na ploše)
Shannon-Wiener index	index druhové bohatosti
Evenness index	druhovú vyrovnanost zkoumaného stanoviště

Hodnoty jednotlivých analýz jsou uvedeny v tabulce č. 2. Z té je patrné, že jednotlivé složky slunečního záření, a jejich intenzita, mají prokazatelný vliv, jak na produktivitu bylinného patra, tak i na jeho diverzitu. Jediným výsledkem, který se projevil v analýzách jako nesignifikantní, byla závislost jednotlivých složek slunečního záření a hodnoty otevřenosti jednotlivých stanovišť na prostou druhovou bohatost.

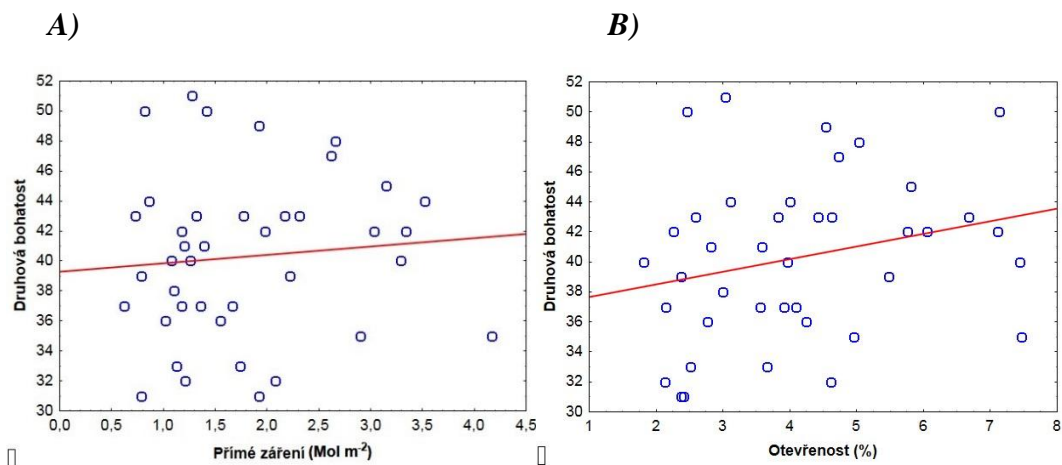
**Tab. 2.** – Tabulka s přehledem závislosti porovnávaných proměnných. Vysvětlení proměnných můžeme vidět v tabulce č. 1. Šedou barvou jsou zvýrazněny neprůkazné výsledky.

<b>Analýza</b>	<b>R<sup>2</sup> (%)</b>	<b>Signifikance</b>
<b>Produktivita biomasy ~ otevřenost</b>	<b>19,0</b>	<b>0,003</b>
<b>Produktivita biomasy ~ celkové záření</b>	<b>15,0</b>	<b>0,008</b>
<b>Produktivita biomasy ~ přímé záření</b>	<b>14,8</b>	<b>0,008</b>
<b>Produktivita biomasy ~ rozptýlené záření</b>	<b>7,8</b>	<b>0,045</b>
Richness index ~ otevřenost	-	0,118
Richness ~ přímé záření	-	0,573
Richness ~ rozptýlené záření	-	0,171
Richness ~ celkové záření	-	0,490
<b>Shannon-Wiener index ~ otevřenost</b>	<b>21,3</b>	<b>0,002</b>
<b>Shannon-Wiener index ~ přímé záření</b>	<b>12,4</b>	<b>0,015</b>
<b>Shannon-Wiener index ~ rozptýlené záření</b>	<b>20,8</b>	<b>0,002</b>
<b>Shannon-Wiener index ~ celkové záření</b>	<b>14,6</b>	<b>0,009</b>
<b>Evenness index ~ otevřenost</b>	<b>23,5</b>	<b>0,001</b>
<b>Evenness index ~ přímé záření</b>	<b>18,5</b>	<b>0,003</b>
<b>Evenness index ~ rozptýlené záření</b>	<b>24,5</b>	<b>0,001</b>
<b>Evenness index ~ celkové záření</b>	<b>20,9</b>	<b>0,002</b>
<b>Simpson index ~ otevřenost</b>	<b>21,0</b>	<b>0,002</b>
<b>Simpson index ~ přímé záření</b>	<b>17,4</b>	<b>0,004</b>
<b>Simpson index ~ rozptýlené záření</b>	<b>21,5</b>	<b>0,002</b>
<b>Simpson index ~ celkové záření</b>	<b>19,5</b>	<b>0,003</b>

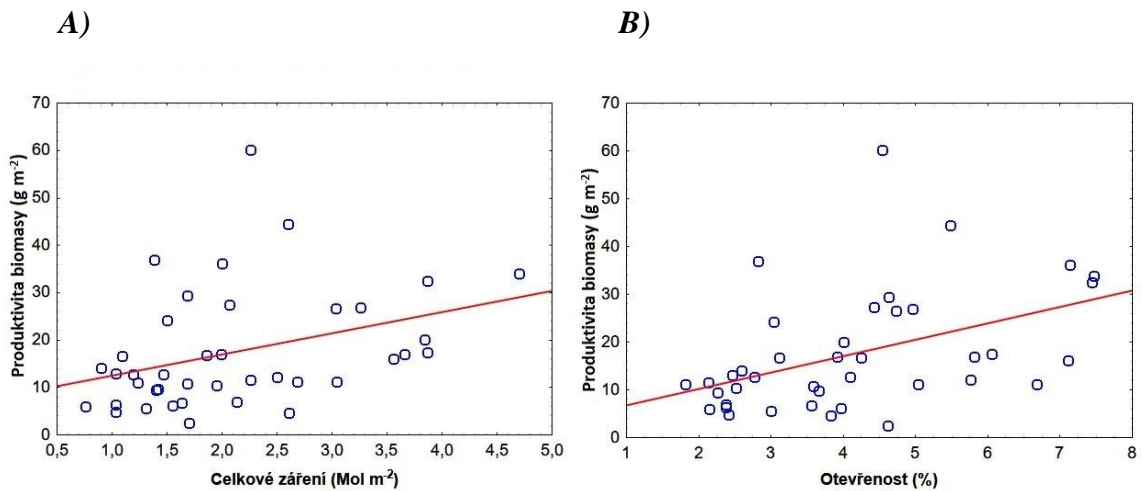
Na dalších stránkách jsou k vidění grafické výstupy programu *Statistica*. Jednotlivé body v grafech reprezentují plochy, na kterých byl prováděn sběr dat. V každém z grafů je pak vyznačen červenou přímkou lineární trend.



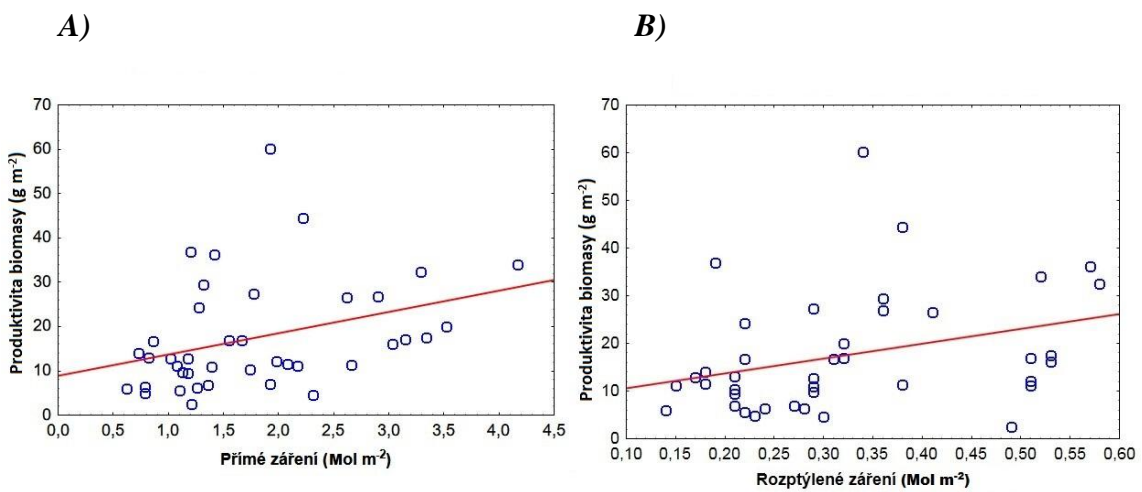
**Graf 1.** – **A)** Závislost druhové bohatosti stanoviště na hodnotě celkového záření (lineární trend je neprůkazný, viz Tab. 2); **B)** Závislost druhové bohatosti stanoviště na hodnotě rozptýleného záření (lineární trend je neprůkazný, viz Tab. 2).



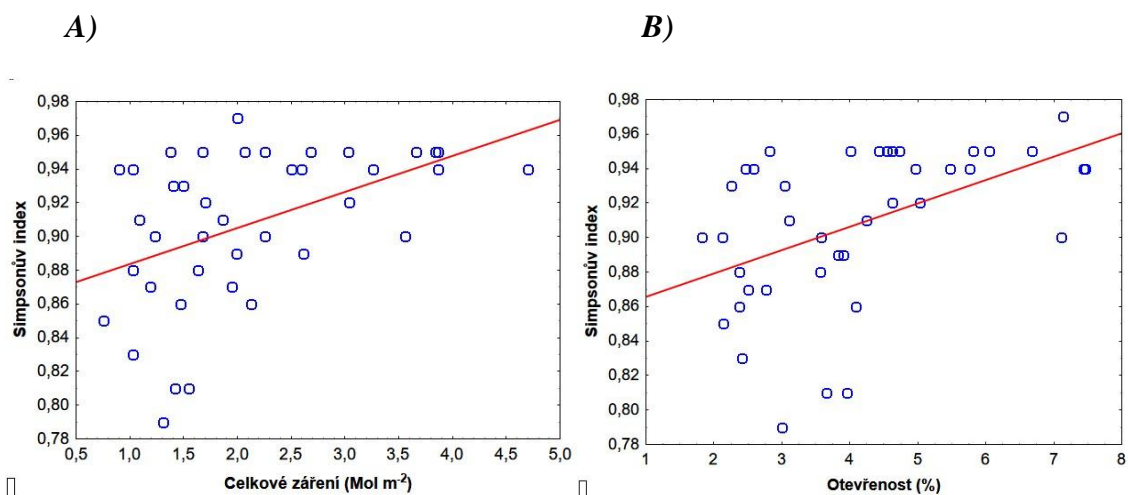
**Graf 2.** – **A)** Závislost druhové bohatosti stanoviště na hodnotě přímého záření (lineární trend je neprůkazný, viz Tab. 2); **B)** Závislost druhové bohatosti stanoviště na hodnotě otevřenosti stanoviště (lineární trend je neprůkazný, viz Tab. 2).



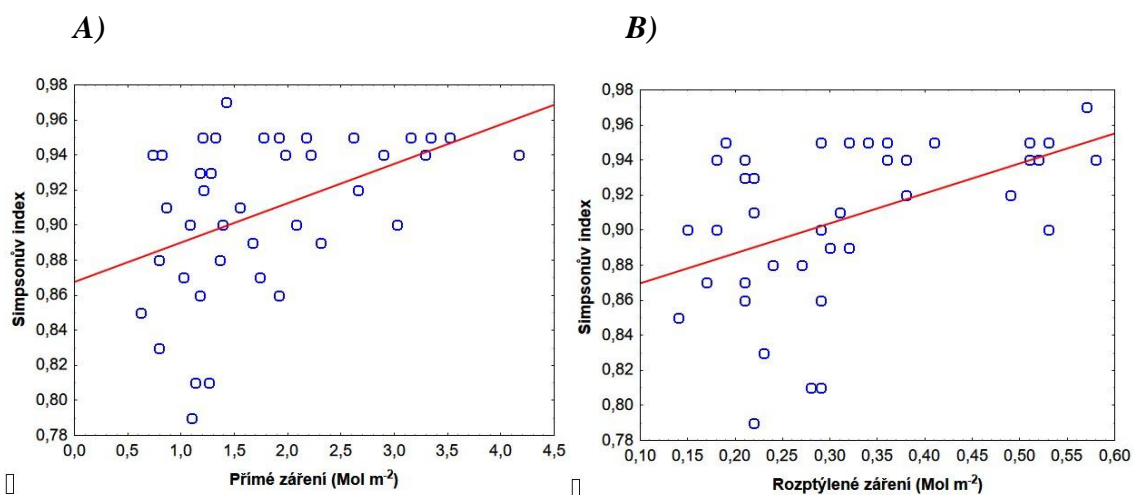
**Graf 3.** – **A)** Závislost produktivity stanoviště na hodnotě celkového záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2); **B)** Závislost produktivity stanoviště na hodnotě otevřenosti stanoviště (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2).



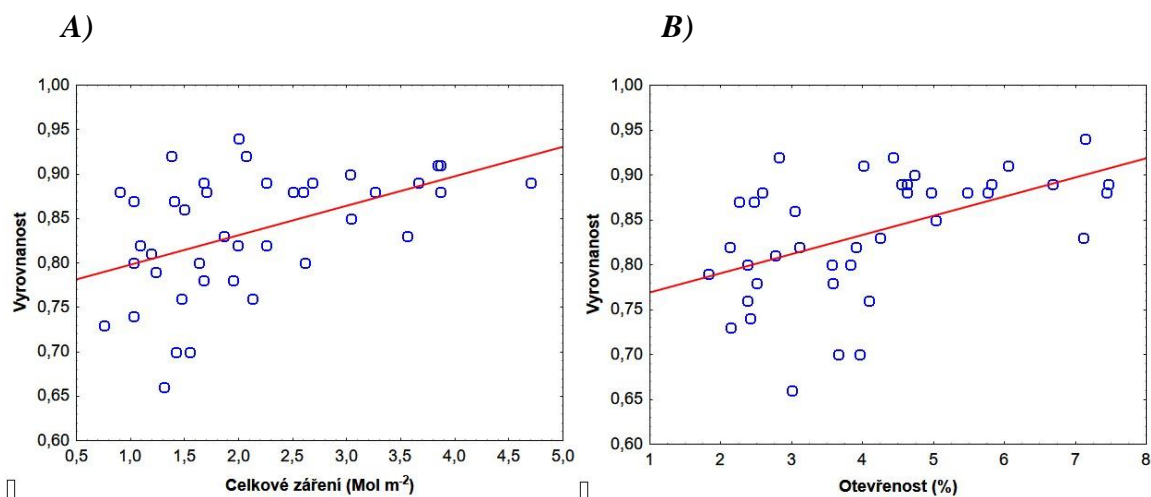
**Graf 4.** – **A)** Závislost produktivity stanoviště na hodnotě přímého záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2); **B)** Závislost produktivity stanoviště na hodnotě rozptýleného záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2).



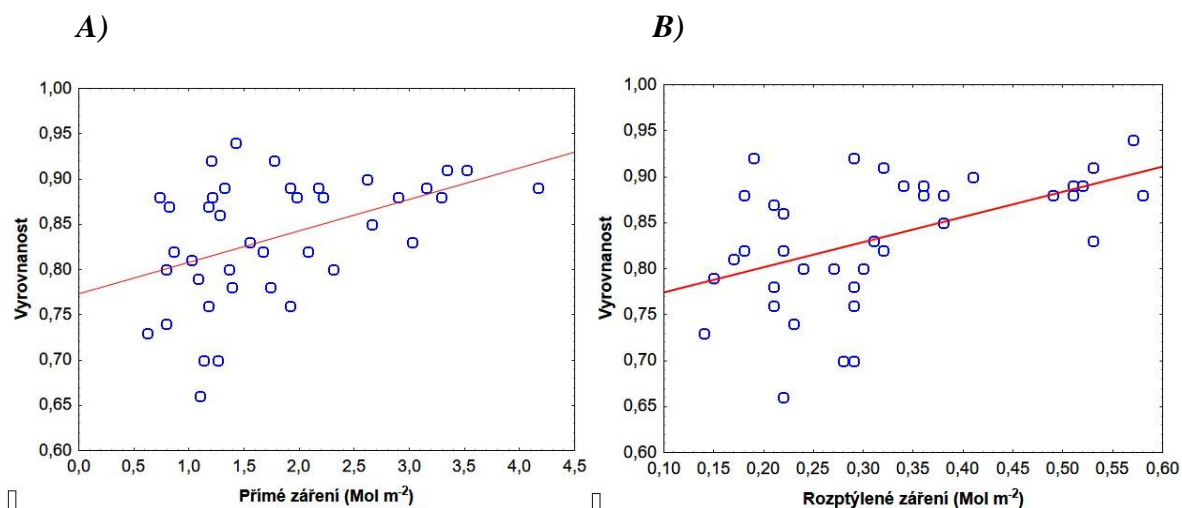
**Graf 5.** – **A)** Závislost Simpsonova indexu na hodnotě celkového záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2); **B)** Závislost Simpsonova indexu na otevřenosti stanoviště (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2).



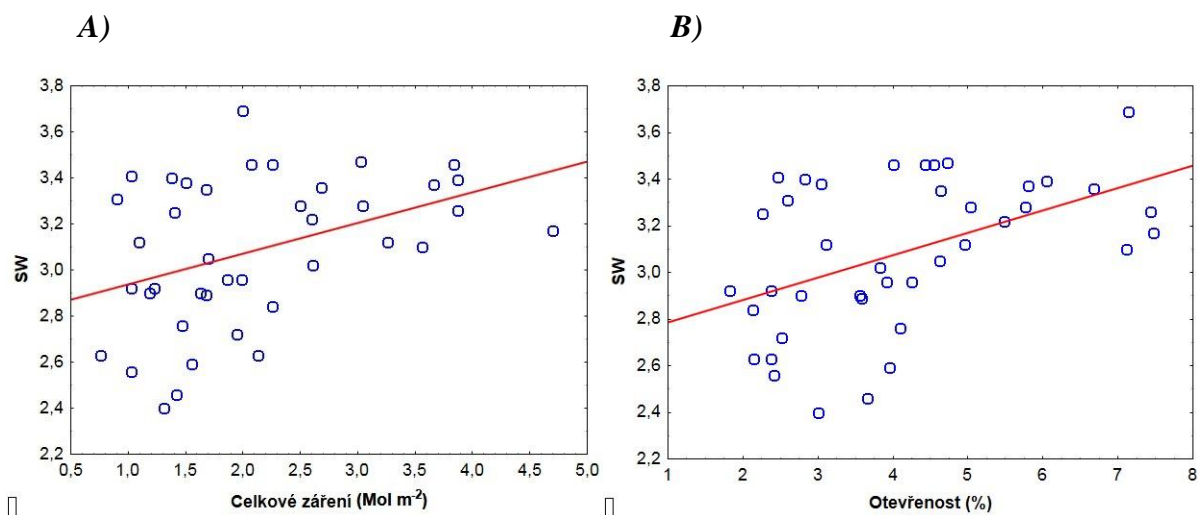
**Graf 6.** – **A)** Závislost Simpsonova indexu na hodnotě přímého záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2); **B)** Závislost Simpsonova indexu na hodnotě rozptýleného záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2).



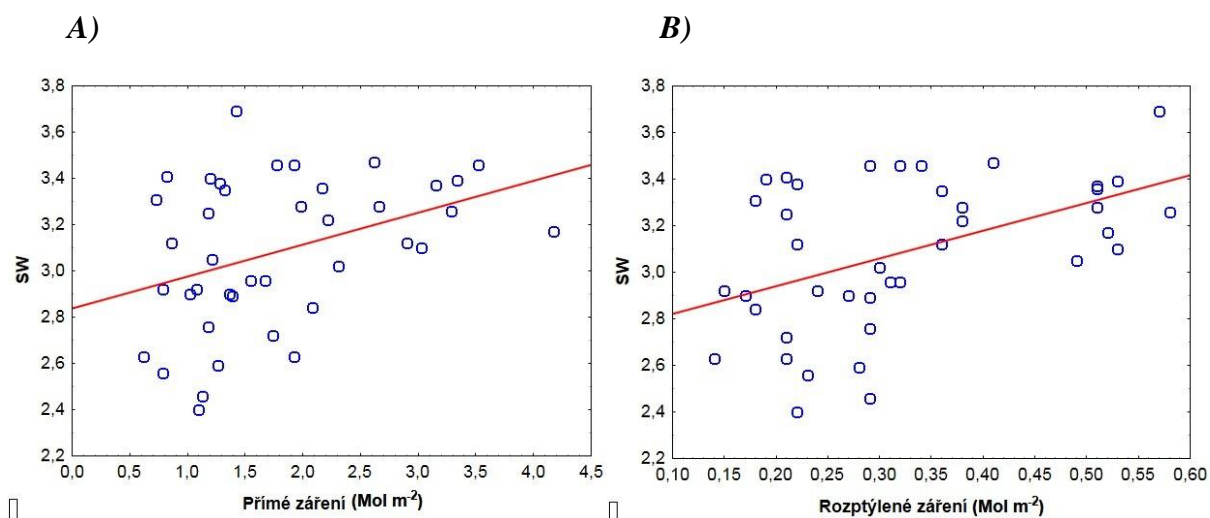
**Graf 7.** – **A)** Závislost druhové vyrovnanosti na hodnotě celkového záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2); **B)** Závislost druhové vyrovnanosti na otevřenosti stanoviště (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2).



**Graf 8.** – **A)** Závislost druhové vyrovnanosti na hodnotě přímého záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2); **B)** Závislost druhové vyrovnanosti na hodnotě rozptýleného záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2).



**Graf 9.** – **A)** Závislost Shannon-Wienerova indexu na hodnotě celkového záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2); **B)** Závislost Shannon-Wienerova indexu na otevřenosti stanoviště (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2).



**Graf 10.** – **A)** Závislost Shannon-Wienerova indexu na hodnotě přímého záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2); **B)** Závislost Shannon-Wienerova indexu na hodnotě rozptýleného záření (lineární trend je průkazný, viz Tab. 2).

## 5 Diskuze

### 5.1 Metody stanovení korunového zápoje

V diskuzi bych se chtěl v první řadě pozastavit nad metodami stanovení korunového zápoje porostu. Metod existuje několik typů, jak je již rozebráno v literární rešerši práce. Postup, který popisuje Coch et al (2005), spočívá v pořizování obyčejných svislých snímků korunového zápoje a ve své práci jej využívá například Wernerová (2009). Výhodou tohoto postupu je, že není třeba speciálního objektivu a fotografie pořízené tímto způsobem jsou již v černobílém formátu. Tím odpadá nutnost převodu barevné fotografie na černobílou verzi. Nicméně se grafická úprava provádí, za účelem zvětšení kontrastu rozlišení pixelů. Tím se má zabránit chybnému vyhodnocení programu, který může tmavší pixely, které jsou způsobeny například oblačností, vyhodnotit jako součást korunového zápoje. To ve své práci uvádí například Jockheere et al. (2004). Následkem toho by došlo ke zkreslení celkových výsledků analýz. Důležité je tedy dobré načasování pořizování snímků, protože přílišná oblačnost, nebo naopak silný sluneční svit mohou negativně ovlivnit výsledky a následná úprava takových fotografií v grafických programech by zabrala podstatně větší množství času. Navíc jsou pořízené fotografie v klasickém formátu obdélníku a nemusí tedy zachycovat situaci v porostu v její komplexnosti.

Metoda hemisférických snímků, použitá pro stanovení korunového zápoje v této práci, naopak umožňuje zachytit celkovou situaci porostu. Jako výhodu obou metod při dodržení všech správných postupů bych chtěl zmínit především rychlost a přesnost. Nevýhodou pořizování hemisférických fotografií se může zdát pořizovací cena speciálního objektivu. Metodu svislých snímků i hemisférických fotografií ve své práci používá Hradilová (2010). Dalším příkladem, který zmiňuje výhodu hemisférických fotografií, je studie Macka (Macek 2011). Autor uvádí, že na výsledek podoby fotografie má vliv samotná intenzita slunečního záření, která může způsobit přexponování výsledných snímků. Použití hemisférických fotografií pro stanovení intenzity slunečního záření doporučuje studie Gendrona a kolektivu (Gendron et al. 1998). Tato práce zmiňuje, že hemisférické fotografie pořízené speciálním objektivem nejsou tak náchylné na přesvětlení, což je na rozdíl od klasických fotografií jejich nespornou výhodou. Z vlastní zkušenosti mohu toto tvrzení potvrdit, jelikož přexponovaných fotografií pořízených na trvalých zkusných plochách bylo opravdu minimum, a navíc ty snímky, které přexponované byly, jsem během velmi krátké doby upravil v grafickém programu Gimp 2, do požadované podoby určené k další vlastní analýze světla.



## 5.2 Vliv světla na produktivitu a variabilitu bylinného patra

Vztah jednotlivých složek slunečního záření a produktivity bylinného patra se na zkoumané lokalitě jednoznačně potvrdil. Valná většina výsledků jednotlivých regresních analýz se ukázala jako signifikantní. Jedinou proměnou, u které se signifikance neprokázala, byla prostá druhová bohatost v trvalých zkusných plochách. Tímto výsledkem bych se chtěl ale zabývat později.

Výsledky mé práce potvrzují i ostatní studie na toto téma. Jednou z nich je diplomová práce Macka (Macek 2011), který uvádí, že jedna z hlavních složek, která má vliv na podobu a množství biomasy bylinného patra, je rozptýlené záření. To ve své práci, která probíhala na stejné lokalitě jako moje studie, dokládá i Mevald (2016). V jeho práci se jako jediný signifikantní výsledek ukázal právě vztah rozptýleného záření a produktivity stanovišť. U ostatních výsledků v jeho práci se vliv jednotlivých složek slunečního záření jednoznačně neprokázal. Jako důvod uvádí extrémní podmínky, které na lokalitě panovaly v průběhu roku 2015, kdy probíhal jeho sběr dat. Teplotní extrémy během léta, kdy výzkum Mevald prováděl, měly za následek silnou defoliaci korun stromů a tím byly značně ovlivněny výsledky jeho analýz. V období, kdy jsem sbíral data pro tuto práci, měla sezóna normální průběh. To má jednoznačně vliv na rozdílnou podobu výsledků našich prací, ač se nijak neliší jejich zaměření.

Práci, která dokládá vztah složek světelného záření a variability lesní vegetace, se zabývala také Hradilová (2010). Její výsledky jasně prokazují, že ve světlých doubravách úzce souvisí variabilita bylinného patra na malé škále se slunečním zářením. Toto tvrzení podporuje i diplomová práce Makovcové (Makovcová 2008). Ta došla ve své práci ke stejnému závěru, a sice že množství světla v doubravách průkazně ovlivňuje variabilitu vegetace. Zmiňuje však také, že důležitým faktorem je orientace stanovišť vzhledem ke světovým stranám, ze kterých do porostu světlo přichází. V mém případě orientace nehraje roli, neboť svah s trvalými zkusnými plochami je orientován jako celek k západu.

Výsledky porovnávací jednotlivé indexy diverzity stanovišť a jednotlivých složek slunečního záření se také ukázaly jako signifikantní. Výjimkou byl vztah přímého, rozptýleného a celkového záření na prostou druhovou bohatost stanoviště, a také vliv otevřenosti na tuto závislou proměnou. To si vysvětluji tím, že jednotlivé složky slunečního záření nejsou stěžejním faktorem pro bohatost druhů lesní vegetace na zkoumaných plochách. Toto tvrzení potvrzuje ve své práci také Tydlitátová (2010). Ta zmiňuje, že hustota korunového zápoje, jež je určujícím faktorem dostupnosti světla v porostu, nemá žádný

prokazatelný vliv na rozmanitost lesní vegetace. Ve své práci došla k závěru, že diverzita bylinného patra závisí především na složení půdy a na tepelném požitku stanovišť. Jedním z dalších důvodů toho, proč se neprokázal vztah mezi slunečním zářením a bohatostí stanoviště, může být i fakt, že na zkoumané lokalitě panují takové půdní poměry, které vyhovují pouze úzké škále rostlinných druhů, a proto se ukázal tento vztah jako neprůkazný.

Závěrem bych chtěl dodat, že pracovní hypotéza o vlivu světelného záření na produktivitu a diverzitu bylinného patra se až na jeden případ, kterým byla druhová bohatost stanovišť, jednoznačně prokázala a můžeme ji potvrdit.

## **6 Závěr**

Závěrem můžeme říci, že všechny uplatněné postupy při tvorbě této práce dopomohly ke shromáždění dat, které vypovídají o vlivu slunečního záření na druhové složení a dynamiku bylinného patra. Jednotlivými analýzami se potvrdilo, že abiotický činitel, jakým je světlo, má jednoznačně vliv na produkci biomasy lesní vegetace ve studovaném typu lesního porostu (tedy v odrostlém středním lese). Testování odhalilo i závislost slunečního záření na jednotlivé indexy diverzity. Jedinými případy, ve kterých se neprojevil výraznější vztah, byly hodnoty rozptýleného, přímého a celkového záření ve vztahu k druhové bohatosti jednotlivých ploch. To si můžeme ovšem vysvětlit tak, že na druhovou bohatost stanovišť mají velký vliv například půdní podmínky, které na zkoumaných plochách vyhovují užší škále rostlinných druhů, než je tomu na jiných místech. Všechny metody v práci použité pro sběr dat, se ukázaly jako velice efektivní, především pořizování hemisférických fotografií a jejich analyzování je velmi rychlou, přitom však precizní metodou k určení světelných podmínek a bude bezpochyby efektivně využívána i v budoucnu, v různých ekologických studiích. Celou práci bych chtěl uzavřít tvrzením, že se potvrdila pracovní hypotéza, která předpokládala, že v místech s větším světelným příkonem se zvyšuje produktivita bylinného patra v lesním porostu.

## 7 Seznam literatury a použitých zdrojů

Canham, C. D. (1988): An index for understory light levels in and around canopy gaps. *Ecology*, 69, s. 1634-1638.

Coch, T., Bertiller R. & Trachsler B. (2005): Effiziente Erfassung der Kronendichte mit Hilfe fotografischer Senkrechtaufnahmen. – *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 156/2: s. 59–64.

Culek, M. (1996): Biogeografické členění České republiky. – Enigma, Praha: 347 s.

Fellner R. et al., (1983): Základní dokumentační přírodovědný výzkum v dobývacím prostoru Suchomasty v Chráněné krajinné oblasti Český kras (1982-1983). Základní organizace Českého svazu ochránců přírody při Výzkumném ústavu lesního hospodářství a myslivosti, Jíloviště-Strnady. Msc, depon. Velkolom Čertovy schody a.s.

Fér F., Möllerová J., & Viewegh J., (2001): Kvalitativní a kvantitativní hodnocení lesních porostů a floristických poměrů v zájmové oblasti Českého krasu. In: Bosák P., Cílek V. et al., 2001: Závěrečná zpráva o výzkumech ke smlouvě o dílo s firmou Velkolom Čertovy schody a.s. (přírodovědná hodnota předpolí). Msc, depon. Velkolom Čertovy schody a.s.

Gálhidy, L., Mihók, B., Hagyó, A., Rajkai, K. & Standovár, T. (2005): Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understory vegetation of a Hungarian beech forest. *Plant Ecology*, 183, s. 133-145.

Gendron, F., Messier, C. & Comeau, P. G. (1998): Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. – *Agricultural and Forest Meteorology* 92: s. 55–70.

Härdtle, W., Oheimb, G. von & 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, s. 327-338.

Hradilová, L. (2010): Maloškálová prostorová variabilita stanovištních faktorů v dubových lesích a její vztah k druhovému složení bylinného patra. – Ms., 48 p. [Bakal. práce; depon. in: Ústav botaniky a zoologie PřF MU, Brno].

Hroník, P. (2014): Lesní vegetace vrchu Voskop v Českém krasu. – Ms., 106 p. [Dipl. práce, depon. in: Katedra ekologie lesa, FLD ČZU Praha].

Hofmeister, J., Hošek, J., Modrý, M. & Roleček, J. (2009): The influence of light and nutrient availability on herb layer species richness in oak-dominated forests in central Bohemia. – *Plant Ecology* 205: s. 57–75.

Jarčuška, B., Kucbel, S. & Jaloviar, P. (2010): Comparison of output results from two programmes for hemispherical image analysis: Gap Light Analyser and WinScanopy. – *Journal of Forest Science* 56/4: s. 147–153.

Jelenecká, A. (2014): Struktura lesní vegetace vrchu Voskop v Českém krasu. – Ms., 58 p. [Dipl. práce, depon. in: Katedra ekologie lesa, FLD ČZU Praha].

Jennings, S. (1999) Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry*, 72, s. 59-74.

Jonckheere I., Fleck S., Nackaerts K., Muys B., Coppin P., Weiss M. & Baret F. (2004): Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 121: s. 19-35.

Kadavý J., Kneifl M., Servus M., Knott R., Hurt V., Flora M., (2011): Nízký a střední les – plnohodnotná alternativa hospodaření malých a středních vlastníků lesa – obecná východiska. Lesnická práce, s.r.o., nakladatelství a vydavatelství. Kostelec nad Černými lesy: 296 s.

Ložek, V., Kubíková J., Spyňar P. et al. (2005): Střední Čechy. – In: Mackovčín P. & Sedláček M. [eds]: Chráněná území ČR, svazek XIII. – AOPK ČR a EkoCentrum Brno, Praha: 904 s.

Macek, M. (2011): Vliv světla na složení a diverzitu lesní vegetace v Českém středohoří. – Ms., 84 p. [Dipl. práce, depon. in: Katedra botaniky PřF UK, Praha].

Makovcová, P. (2013): Role stanovištních faktorů při sukcesi světlých doubrav k dubohabřinám. – Ms., 74 p. [Dipl. práce; depon. in: Ústav botaniky a zoologie PřF MU, Brno].

Matula, R. et al. (2012): The sprouting ability of the main tree species in Central European coppices: implications for coppice restoration. *European Journal of Forest Research*, vol 131, s. 1501-1511.

Mevald, O. (2016): Dynamika produktivity bylinného patra v teplomilné doubravě v Přírodní rezervaci Na Voskopě (Karlštejnsko) v závislosti na intenzitě slunečního záření. – Ms., 49 p. [Bakal. práce; depon. in: Katedra ekologie lesa, FLD ČZU Praha].

Moora, M., Daniell, T., Kalle, H., Liira, J., Pussa, K., Roosaluuste, E., Opik, M., Wheatley, R. & Zobel, M. (2007): Spatial pattern and species richness of boreonemoral forest understorey and its determinants – A comparison of differently managed forests. *Forest Ecology and Management*, 250, s. 64-70.

Möllerová, J. & Viewegh J., (2005): Vegetation of the Nature Reserve Voskop (Protected Landscape Area Český kras) and possible trends of its development. *Journal of Forest Science*, 51: s. 24–28.

Palmer, M. (1990): Spatial scale and patterns of vegetation, flora and species richness in hardwood forests of the North Carolina piedmont., s. 89–96.

Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J. & Šebánek, J. (2003): *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha.

Sádlo, J. (2001): Voskop – botanické podklady pro vyhlášení CHÚ a pro plán péče. Msc., depon. Správa Chráněné krajinné oblasti Český kras, Karlštejn: 10 s.

Skalický, V. (1988): Regionálně fytogeografické členění. In: Hejný S. a Slavík B.: *Květena ČSR I.*, Academia, Praha, s. 103-121.

Skalický V. & Jeník J. (1974): *Květena a vegetační poměry Českého krasu z hlediska ochrany přírody. – Bohemia centralis*, Praha, 3: s. 101-140.

Slavíková, J. (1986): *Ekologie rostlin. – SPN*, Praha: 366 s.

Tilman, D. & Pacala, S. (1993): The maintenance of species richness in plant communities. *Species diversity in ecological communities.* (eds R.E. Ricklefs & D. Schluter), pp. 13-25. University of Chicago Press, Chicago.

Tolasz, R., Míková, T., Valeriánová, A. & Voženílek, V. (Eds.). (2007): *Atlas podnebí Česka*. Praha - Olomouc.

Tydlitátová, K. (2010): *Diverzita lesní vegetace českého středohoří*. Katedra botaniky PřF UK, Praha.

ÚHÚL, (s. d.): Oblastní plán rozvoje lesů, PLO 8 – Křivoklátsko a Český kras [Platnost 2000–2019]. – Ms., Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem.

Wernerová, V. (2007): Vliv světla na druhové složení lesního podrostu na příkladu Milovického lesa. – Ms., 86 p. [Bakal. práce; depon. in: Ústav botaniky a zoologie PřF MU, Brno].

Zlatník, A. (1957): Výmladkové lesy s hlediska proměn lesů pod vlivem člověka a úloha ekologie při přeměnách a převodech výmladkových lesů. In Sborník československé akademie zemědělských věd, roč. 3., číslo 2, s. 109-124.

## **7.1 Internetové zdroje**

www1: Ulbrichová, I.: Sluneční záření [online]. Dostupné na:

[http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta\\_EKOL/lesazareni/slunecnizareni.htm](http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/lesazareni/slunecnizareni.htm)

## 8 Příloha

*Tabulka se vstupními daty statistických analýz.*

Plocha	Produktivita	Richeness index	Shanon-Wiener index	Evennes index	Simpson index	Otevřenost	Přímé záření	Difuzní záření	Celkové záření
1	5,98	37	2,63	0,73	0,85	2,14	0,62	0,14	0,76
2	16,8	36	2,96	0,83	0,91	4,25	1,55	0,31	1,86
3	2,58	32	3,05	0,88	0,92	4,62	1,21	0,49	1,7
4	12,8	36	2,9	0,81	0,87	2,77	1,02	0,17	1,19
5	10,88	41	2,89	0,78	0,9	3,58	1,39	0,29	1,68
6	9,78	33	2,46	0,7	0,81	3,66	1,13	0,29	1,42
7	5,59	38	2,4	0,66	0,79	3	1,1	0,22	1,31
8	16,7	44	3,12	0,82	0,91	3,11	0,86	0,22	1,09
9	14,1	43	3,31	0,88	0,94	2,59	0,73	0,18	0,9
10	11,23	43	3,36	0,89	0,95	6,68	2,17	0,51	2,68
11	6,26	40	2,59	0,7	0,81	3,96	1,26	0,28	1,55
12	6,84	37	2,9	0,8	0,88	3,56	1,36	0,27	1,63
13	4,6	43	3,02	0,8	0,89	3,83	2,31	0,3	2,61
14	44,41	39	3,22	0,88	0,94	5,48	2,22	0,38	2,6
15	27,41	43	3,46	0,92	0,95	4,43	1,77	0,29	2,07
16	4,91	31	2,56	0,74	0,83	2,41	0,79	0,23	1,03
17	6,97	31	2,63	0,76	0,86	2,38	1,92	0,21	2,13
18	12,13	42	3,28	0,88	0,94	5,76	1,98	0,51	2,5
19	33,96	35	3,17	0,89	0,94	7,47	4,17	0,52	4,7
20	60,18	49	3,46	0,89	0,95	4,54	1,92	0,34	2,26
21	12,7	37	2,76	0,76	0,86	4,09	1,18	0,29	1,47
22	6,42	39	2,92	0,8	0,88	2,38	0,79	0,24	1,03
23	17,02	45	3,37	0,89	0,95	5,81	3,15	0,51	3,66
24	16,14	42	3,1	0,83	0,9	7,11	3,03	0,53	3,56
25	32,44	40	3,26	0,88	0,94	7,44	3,29	0,58	3,87
26	11,54	32	2,84	0,82	0,9	2,13	2,08	0,18	2,26
27	11,13	40	2,92	0,79	0,9	1,82	1,08	0,15	1,23
28	11,26	48	3,28	0,85	0,92	5,03	2,66	0,38	3,04
29	17,44	42	3,39	0,91	0,95	6,05	3,34	0,53	3,87
30	26,88	35	3,12	0,88	0,94	4,96	2,9	0,36	3,26
31	10,39	33	2,72	0,78	0,87	2,51	1,74	0,21	1,95
32	16,97	37	2,96	0,82	0,89	3,91	1,67	0,32	1,99
33	9,46	42	3,25	0,87	0,93	2,26	1,18	0,21	1,4
34	36,2	50	3,69	0,94	0,97	7,14	1,42	0,57	2
35	36,86	41	3,4	0,92	0,95	2,82	1,2	0,19	1,38
36	20,06	44	3,46	0,91	0,95	4,01	3,52	0,32	3,84
37	13,06	50	3,41	0,87	0,94	2,46	0,82	0,21	1,03
38	29,46	43	3,35	0,89	0,95	4,63	1,32	0,36	1,68
39	24,25	51	3,38	0,86	0,93	3,04	1,28	0,22	1,5
40	26,62	47	3,47	0,9	0,95	4,73	2,62	0,41	3,03



