

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa

**Dynamika produktivity a diverzity
bylinného patra v (sub)xerothermních
doubravách a dubohabřinách v CHKO
Český kras v závislosti na intenzitě
slunečního záření**

Diplomová práce

Autor: Ondřej Mevald

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

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Ondřej Mevald

Lesní inženýrství

Název práce

Dynamika produktivity a diverzity bylinného patra v (sub)xerothermních doubravách a dubohabřinách v CHKO Český kras v závislosti na intenzitě slunečního záření

Název anglicky

Productivity and diversity dynamics of herb layer in (sub)xerotherm (hornbeam)oakwoods in the PLA Český kras as influenced by the light intensity

Cíle práce

Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci diplomanta, kde byla řešena stejná problematika na malém měřítku experimentálního porostu odrostlého středního lesa/pařeziny v přírodní rezervaci Na Voskopě. Cílem této studie je ověření zjištěných ekologických závislostí v obdobných typech porostů teplomilných bazifilních doubrav a dubohabřin na větší prostorové škále v západní části CHKO Český kras. Většina vybraných lokalit reprezentuje též odrostlý střední les, resp. nepravé kmenoviny. Protože se bude jednat o jednorázový sběr dat v lesních porostech, studie se zaměří na ověření těchto hypotéz: (1) zvýšený světelný příkon do bylinného patra vede k větší intenzitě tvorby nadzemní biomasy bylinného podrostu; (2) vyšší alfa-diverzita bylinného patra je silněji závislá na vyšší prostorové heterogenitě světelných podmínek než na absolutní hodnotě intenzity světla v podrostu; (3) plochy s nižší hodnotou indexu LAI (Leaf area index) budou mít rovněž nižší intenzitu vzrůstu nadzemní biomasy bylinného podrostu.

Metodika

Na základě rozsáhlejší studie vegetační ekologie lesů v CHKO Český kras, která běžela v roce 2007 (MŽP VaV 640/11/03), bude vybráno ca 45 porostů nacházejících se v jednotlivých lesních celcích v západní části CHKO. Stanoviště budou vybrána na základě podobnosti expozice a fytocenologické skladby s porosty studovanými v předcházející bakalářské práci. Na základě GPS souřadnic těchto porostů budou vytyčeny zkusné plochy (velikost 15 x 15 m) a v nich budou pořízeny hemisférické fotografie korunového zápoje. Na každé zkusné ploše budou dále odebrány v pěti opakováních 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 na vrstevnici a spádnici). Biomasa bude odebrána na výšku strniště max. 5 cm do papírových pytlů, převezena do laboratoře, vysušena do konstantní hmotnosti a zvážena. Hemisférické snímky budou napřed převedeny do ČB formátu v programu GIMP a následně bude v programu WinSCANOPY vypočítáno množství přímého a difúzního záření dopadajícího do bylinného patra. Hodnoty ozářenosti budou následně statisticky vyhodnoceny s ohledem na množství vytvořené biomasy. Dále bude také posuzován vliv LAI na fungování dynamiky rostlinných společenstev. Získaná data budou dále porovnána s daty z lokality Na Voskopě, zjištěnými v předcházejících sezónách (2014–2017).

Doporučený rozsah práce

Předpokládá se rozsah textu v délce 40-70 normostran

Klíčová slova

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

Doporučené zdroje informací

- Bernadzki E. (1998): Compositional dynamics of natural forests in the Bialowieza National Park, northeastern Poland. – *Journal of Vegetation Science* 9: 229–238.
- Buckley E.P. (ed.) (1992): *Ecology and management of coppiced woodlands*. – Chapman & Hall, London, 336 p.
- Diekmann M. & Lawesson J.E. (1999): Shift in ecological behaviour of herbaceous forest species along a transect from northern central to north Europe. – *Folia Geobotanica* 34: 127–141.
- 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: 57–75.
- Hofmeister J., Mihaljevič M., Hošek J. & Sádlo J. (2002): Eutrophication of deciduous forests in the Bohemian Karst (Czech Republic): the role of nitrogen and phosphorus. – *Forest Ecology and Management* 169: 213–230.
- Neuhäuslová Z. (1999): Změny bylinného patra v lesních společenstvech. – *Zprávy České botanické společnosti, Materiály* 17: 37–46.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2002): Review of the status and trends of, and major threats to, the forest biological diversity. – *CBD Technical Series no. 7*, Montreal, 164 p.
- Thomas P.A. & Packham J.R. (2007): *Ecology of woodlands and forests*. – Cambridge University Press, Cambridge, 528 p.
- von Oheimb G., Ellenberg H., Heuvelink J. & Kriebitzsch W.U. (2001): Sustainable forest management augments diversity of vascular plants in German forests. – In: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, *Assessment, Conservation and Sustainable Use of Forest Biodiversity*, p. 88–90, *CBD Technical Series no. 3*, Montreal.
- 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

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

Mgr. Tomáš Černý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Konzultant

Mgr. Petr Karlík

Elektronicky schváleno dne 29. 4. 2017

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Dynamika produktivity a diverzity bylinného patra v (sub)xerothermních doubravách a dubohabřinách v CHKO Český kras v závislosti na intenzitě slunečního záření“ vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Tomáše Černého, Ph.D., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové 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

.....

Ondřej Mevald

Poděkování

Tímto bych rád srdečně poděkoval svému školiteli Mgr. Tomášovi Černému Ph. D. za profesionální vedení v průběhu zpracování této monografie. Jen s přispěním jeho letitých zkušeností a praxe byla tato práce dotažena do podoby, kterou právě držíte ve svých rukou. Rovněž bych rád poděkoval Mgr. Jaroslavu Mevaldovi za rady a gramatickou korekci textu. Dále bych rád poděkoval PhDr. Radce Mevaldové za přístup k literárním pramenům použitých v této práci. Nakonec děkuji mému kamarádovi Tomášovi Bendlovi za pomoc při sbírání dat v terénu.

Abstrakt

V této práci byly zkoumány ekologické vztahy mezi světelnými podmínkami, dynamikou produktivity bylinného patra a diverzitou cévnatých rostlin v porostech teplomilných doubrav a dubohabřin v západní části CHKO Český kras (Liteňsko). Studie navazuje na předchozí bakalářskou práci, ve které byly tyto závislosti zkoumány na malém měřítku v experimentálním porostu obnoveného středního lesa v přírodní rezervaci Na Voskopě. Cílem této práce je ověřit zjištěné ekologické závislosti v obdobných typech porostů v přirozených podmínkách na větší prostorové škále. Na základě rozsáhlé studie vegetační ekologie lesů v CHKO Český kras z roku 2007 bylo vybráno 40 ploch s podobnou expozicí a fytoecologickou skladbou odpovídající porostům experimentální plochy Na Voskopě. Použitím GPS souřadnic vybraných porostů byly vytyčeny zkusné plochy a odebrány vzorky biomasy bylinného patra. Na jednotlivých plochách byly dále pořízeny hemisférické fotografie korunového zápoje. Fotografie byly vyhodnoceny pomocí programu *WinSCANOPY*, který na základě analýzy vypočítal množství jednotlivých složek záření a index listové plochy (LAI) na zkoumaných plochách. Na základě vyhodnocení shromážděných dat byl zjištěn prokazatelný vliv světelných podmínek na produktivitu nadzemní biomasy bylinného podrostu a početnosti jeho druhů v lesích Liteňska. Následným porovnáním s výstupy získanými v předchozích letech v porostech přírodní rezervace Na Voskopě bylo zjištěno, že světelné podmínky měly v tomto případě prokazatelný vliv na variabilitu produktivity bylinného patra. V přímém vztahu s produkcí bylinného podrostu neprokázaly postavené statistické modely průkazný vliv světelných podmínek. Tato skutečnost je pravděpodobně způsobena vlivem prostorové autokorelace jako důsledku předem určeného designu vytyčeného experimentu. Nabízí se tak nový námět pro výzkum, který by se mohl zaměřit na další možné faktory, které by mohly na malém měřítku experimentálního porostu přírodní rezervace Na Voskopě ovlivňovat produktivitu bylinného patra.

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

Abstract

Ecological relations between light conditions, dynamics of the herbaceous plant productivity and the diversity of vascular plants were examined in the stands of thermophilous oak-hornbeam forest in the western part of the Protected Landscape Area of Czech karst (Liteňsko region). The study follows the previous bachelor thesis in which abovementioned causalities were studied on a small spatial scale in the experimental site of the coppice-with-standards in the Nature Reserve “Na Voskopě”. The aim of this work is to verify the ecological dependence in similar types of stands in natural conditions over a larger spatial scale. Based on an extensive study of the vegetation ecology of forests in the Czech karst Protected Landscape Area in 2007, 40 plots with similar exposition and phytosociological composition corresponding to the vegetation studied on the experimental site “Na Voskopě”. By using the GPS coordinates the selected stands were fixed in the field and samples of herb layer biomass were collected in five replicates, oven-dried and weighted. Hemispheric images of the canopy were also acquired in individual plots. These images were evaluated using the *WinSCANOPY* program, which calculated the amount of individual radiation components and the leaf area index (LAI) on the investigated plots. On the basis of evaluation of collected data, the significant effect of light conditions (probability ~ 0.04) on the productivity of above-ground biomass of herbaceous layer and the number of its species in the forests of Liteňsko region was found. Results obtained in previous years in the stands of the Nature Reserve “Na Voskopě” revealed that the light conditions have in this case a significant effect on the spatial variability of herb layer productivity. Further, in direct relationship with the production of herbaceous layer, the built statistical models did not prove the impact of light conditions. This is probably due to the effect of spatial autocorrelation as a result of an applied design of permanent plots. This offers a new research topic that could focus on other influential factors that control plant productivity on a small spatial scale on the experimental site of the Nature Reserve “Na Voskopě”.

Keywords: herb layer, thermophilous oakwood, light conditions, productivity, biomass, dynamics, Český kras

Obsah

1. Úvod.....	- 1 -
2. Literární rešerše	- 2 -
2.1 Charakteristika zkoumaného území	- 2 -
2.1.1 Český kras	- 2 -
2.1.2 Poloha zkoumaných ploch.....	- 3 -
2.1.3 Geologické poměry	- 3 -
2.1.4 Fauna	- 4 -
2.1.5 Typologie lesů	- 5 -
2.2 Stanovení světelných podmínek pomocí hemisférických fotografií.....	- 5 -
2.3 Index listové plochy	- 8 -
2.3.1 Definice LAI.....	- 10 -
2.3.2 Metody stanovení LAI.....	- 11 -
2.3.2.1 Přímé metody	- 12 -
2.3.2.2 Polopřímé metody.....	- 14 -
2.3.2.3 Nepřímé metody	- 14 -
2.3.2.4 Subjektivně–odhadové metody.....	- 16 -
2.3.3 Maximální a optimální hodnoty LAI.....	- 16 -
3. Metodika	- 19 -
3.1 Výběr ploch a jejich vyznačení v terénu	- 19 -
3.2 Sběr biomasy a vyhodnocení nasbíraných vzorků	- 21 -
3.3 Pořízení hemisférických fotografií korunového zápoje	- 22 -
3.4 Zpracování a vyhodnocení fotografií korunového zápoje	- 24 -
3.5 Získání údajů o druhové bohatosti z fytoecologických snímků.....	- 27 -
3.6 Úprava primárních dat a jejich povaha	- 29 -
3.7 Statistické vyhodnocení nasbíraných dat	- 30 -
4. Výsledky	- 34 -
4.1 Vliv světelných podmínek na produkci biomasy	- 34 -

4.2 Faktory ovlivňující alfa diverzitu bylinného patra.....	- 38 -
4.3 Vliv LAI na intenzitu vzrůstu biomasy bylinného podrostu.....	- 45 -
5. Diskuze	- 47 -
5.1 Vliv světelných podmínek na produktivitu biomasy bylinného patra	- 47 -
5.2 Vliv světelných podmínek na diverzitu bylinného patra.....	- 49 -
5.3 Vliv indexu listové plochy na produktivitu bylinného patra.....	- 51 -
5.4 Metodický postup stanovení hodnoty indexu listové plochy	- 52 -
6. Závěr	- 54 -
7. Zdroje.....	- 55 -
7.1 Legislativa.	- 59 -
7.2 Internetové zdroje.	- 59 -
8. Přílohy.....	- 60 -

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Tabulky:

Tab. 1 – Vysvětlení zkratk jednotlivých proměnných.	- 34 -
Tab. 1 – pokračování.	- 35 -
Tab. 2 – Přehled základních statistických charakteristik zkoumaných proměnných z oblasti Liteňska.	- 35 -
Tab. 3 – Přehled základních statistických charakteristik zkoumaných proměnných z PR Na Voskopě.	- 36 -
Tab. 4 – Výsledky lineárních modelů regresní analýzy pro jednotlivé dvojice proměnných z oblasti Liteňska. ..	- 37 -
Tab. 5 – Výsledky marginálních regresních modelů se zahrnutím pevného efektu prostorové pozice zkoumaných ploch v PR Na Voskopě.	- 38 -
Tab. 6 – Tabulka korelačních koeficientů proměnných reprezentujících diverzitu druhů.	- 39 -
Tab.7 – Výsledky lineárních a marginálních modelů regresní analýzy pro jednotlivé dvojice proměnných z oblasti Liteňska a PR NA Voskopě.	- 40 -
Tab. 8 – Výsledky lineárních modelů regresní analýzy pro jednotlivé dvojice proměnných z oblasti Liteňska.	- 41 -
Tab. 9 – Výsledky lineárních modelů regresní analýzy pro jednotlivé dvojice proměnných z oblasti Liteňska.	- 41 -
Tab. 10 – Výsledky marginálních regresních modelů se zahrnutím pevného efektu prostorové pozice zkoumaných ploch v PR Na Voskopě.	- 42 -
Tab. 11 – Výsledky marginálních regresních modelů se zahrnutím pevného efektu prostorové pozice zkoumaných ploch v PR Na Voskopě.	- 43 -
Tab. 12 – Význam hodnot primárních dat.	- 60 -
Tab. 13. Primární data z oblasti Liteňska (rok sběru 2017).	- 61 -
Tab. 14. Primární data z oblasti PR Na Voskopě (rok sběru 2014).	- 64 -

Obrázky:

- Obr. 1 – Poloha zkoumaných ploch v CHKO Český kras na výřezu let. mapy.- 2 -
- Obr. 2 – Poloha zkoumaných ploch na výřezu turistické mapy.- 3 -
- Obr. 3 – Rozmístění jižní skupiny zkoumaných ploch (N = 25) na výřezu turistické mapy v subregionu Liteňska.- 19 -
- Obr. 4 – Rozmístění severní skupiny zkoumaných ploch (N = 15) na výřezu turistické mapy v subregionu Liteňska.- 20 -
- Obr. 5 – Označený středový strom a dřevěný rám umístěný ve středu plochy.- 22 -
- Obr. 6 – Hemisférická fotografie korunového zápoje.- 24 -
- Obr. 7 – Vyhodnocení magnetické deklinace po zadání zeměpisných souřadnic v internetovém portálu.- 26 -
- Obr. 8 – Prostředí programu na zpracování fytoocenologických snímků Juice 7. . - 28 -
- Obr. 9 – Uživatelské rozhraní programu RStudio po importu primárních dat.- 31 -

Grafy:

- Graf 1 – Krabicový graf znázorňující závislost průměrné hmotnosti biomasy na hodnotách indexu listové plochy (LAI) v oblasti Liteňska.....- 45 -
- Graf 2 – Krabicový graf znázorňující závislost průměrné hmotnosti biomasy na hodnotách indexu listové plochy (LAI) v oblasti PR Na Voskopě.....- 46 -

1. Úvod

Tato práce navazuje na předchozí bakalářskou práci, která rozebírala problematiku ekologických vztahů světelných podmínek a produktivity bylinného patra, na malé prostorové škále v experimentálním porostu v přírodní rezervaci Na Voskopě. Tento dlouhodobý projekt, který je zpracováván na Katedře ekologie lesa, probíhá na lokalitě již od roku 2013. Cílem tohoto experimentu je zaznamenat reakci ekosystému na průběžné mýcení, které bude prováděno v několika sériích v průběhu 30 let trvání projektu. Dopad na lesní ekosystém je monitorován prostřednictvím sítě zkusných ploch rozmístěných v experimentálním porostu. Současně bude hodnocen i výmladkový způsob hospodaření z pohledu ekonomiky v současných podmínkách.

Cílem této práce je ověření ekologických závislostí ve vegetačně a stanovištně obdobných typech porostů teplomilných bazifilních doubrav a dubohabřin ve větším měřítku v západní části CHKO Český kras. Většina vybraných lokalit pro výzkum reprezentuje rovněž střední les, resp. nepravé kmenoviny, jako v případě porostů PR Na Voskopě. Nasbíraná data tak budou moci být použita pro porovnání s výstupy z experimentální plochy v přírodní rezervaci Na Voskopě. Výsledky této práce tedy budou reprezentovat zkoumané ekologické vztahy v přirozených podmínkách tohoto tvaru lesa v širším prostorovém měřítku, které nebudou ovlivněny experimentálním managementem aplikovaným v PR Na Voskopě. Abych toho dosáhl, budu posuzovat stejné ekologické vztahy zkoumané v předchozí práci týkající se světelných podmínek a jejich vlivem na dynamiku produktivity bylinného patra a též jeho diverzitu. Při zpracování a odběru dat budu dodržovat stejnou metodiku jako v bakalářské práci, aby bylo možné následné porovnání s výstupy studia porostů PR Na Voskopě.

Součástí splnění cíle práce je ověření třech vytyčených pracovních hypotéz. První hypotéza má za úkol ověřit, zda zvýšený světelný příkon do bylinného patra vede k větší intenzitě tvorby biomasy. Druhá hypotéza nastoluje tezi, zda je vyšší alfa-diverzita bylinného patra silněji závislá na prostorové heterogenitě světelných podmínek než na absolutní hodnotě intenzity světla v podrostu. V poslední hypotéze předpokládáme, že plochy s nižší hodnotou LAI (*Leaf area index*) budou mít zároveň nižší intenzitu vzrůstu nadzemní biomasy bylinného podrostu.

2. Literární rešerše

2.1 Charakteristika zkoumaného území

V rámci charakteristiky území bych rád uvedl pouze několik obecně doplňujících informací o Českém krasu a v dalších podkapitolách se zaměřil konkrétně na poznatky, které se mi podařilo nashromáždit o zkoumaných lokalitách. Rozsáhlejší text popisující jednotlivé poměry panující v Českém krasu můžete nalézt v předchozí bakalářské práci (Mevald 2016) v kapitole Charakteristika lokality.

2.1.1 Český kras

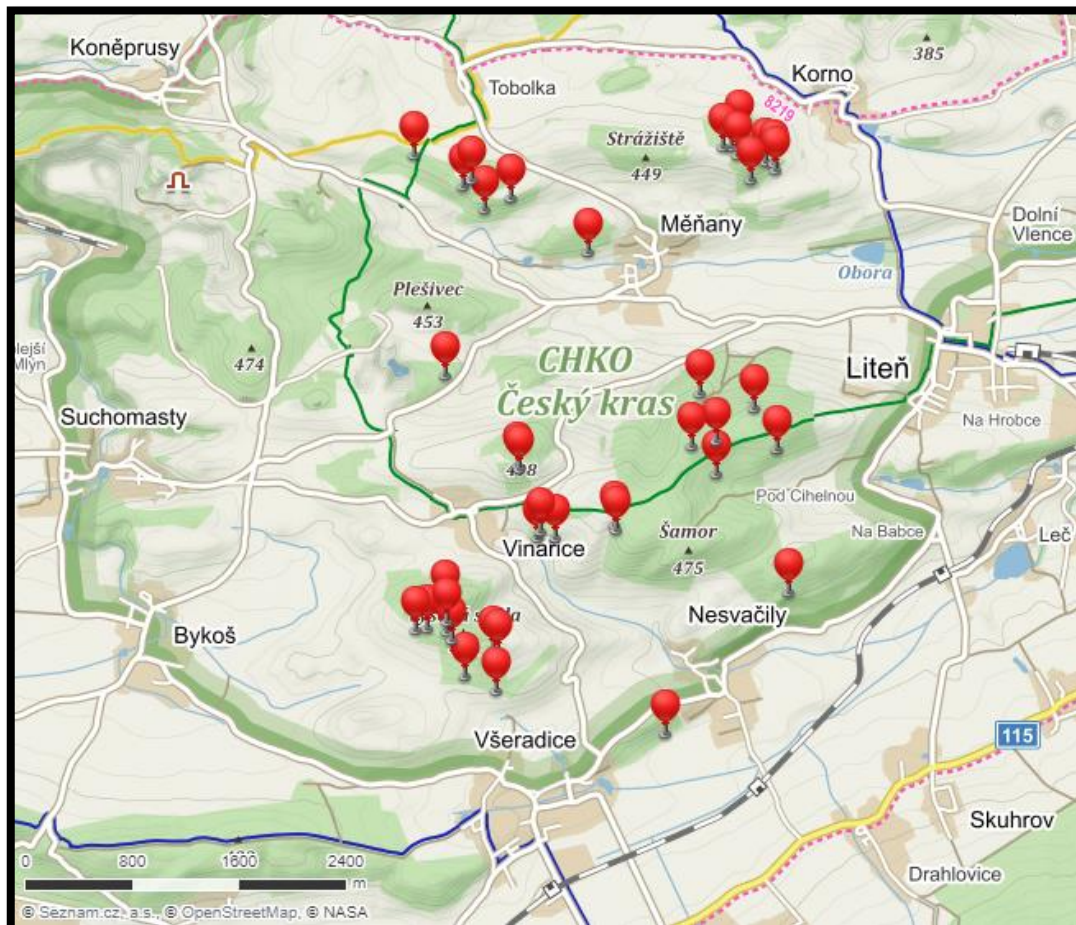
Chráněná krajinná oblast Český kras (viz obr. 1) byla zřízena výnosem MK ČSR č.j. 4.947/72-II/2 ze dne 12.4. 1972 na ploše o rozloze 12, 838 ha. Protože je lokalita součástí Barrandienu, je známá zejména s ohledem na světovou stratigrafii a paleontologii. Vyskytuje se zde velké množství vzácných druhů rostlin a živočichů, které žijí v druhově rozmanitých stabilních společenstvech. Byly zde vyhlášeny 2 národní přírodní rezervace – Karlštejn a Koda. Dále 7 přírodních rezervací – Vyškov, Kulivá hora, Karlické údolí, Klapice, Radotínské údolí, Staňkovka a Tetínské skály. Rovněž 4 národní přírodní památky – Klonk, Zlatý kůň, Kotýz a Černá rokle a v poslední řadě 5 přírodních památek – Lom na Kobyle, Zmrzlík, Hvížd'alka, Lom u Kozolup a Špičatý vrch – Barrandovy jámy (Anonymus 1996). NPR Karlštejn je od roku 2000 držitelem Diplomu Rady Evropy.



Obr. 1. Poloha zkoumaných ploch v CHKO Český kras na výřezu letecké mapy (Zdroj: www.mapy.cz, 2018 Seznam.cz).

2.1.2 Poloha zkoumaných ploch

Studované plochy byly situovány jižně od NPR Koda a západně od PR Kobyly (viz obr. 2). Jižní skupina studovaných ploch se nacházela v blízkosti obce Vinařice a městysu Liteň a severní skupina nedaleko obce Měňany. Bližší informace o jejich výběru a označení v terénu jsou uvedeny v kapitole Metodika.



Obr. 2. Poloha zkoumaných ploch na výřezu turistické mapy (Zdroj: www.mapy.cz, 2018 Seznam.cz).

2.1.3 Geologické poměry

Vysoká skála u Vinařic byla první lokalitou, kde jsem prováděl terénní průzkum. Z geologického hlediska se jedná o nejjižnější výskyt pražského souvrství v Barrandienu. Součástí nadložních vrstev svrchního lochkovu jsou odkryty ve starých lůmcích vápence pocházející z pražského souvrství, kde můžeme najít vzácnou faunu (trilobity, tentakulity či brachiopody). V oblasti jižního svahu návrší Telín jsou pak odkryty svrchní polohy přídolského souvrství (silur). V okolním terénu můžeme pozorovat povrchové krasové jevy např. závrtý (Horný 1960).

Skalní výchoz Šamor, kde probíhala další etapa sběru dat, se řadí mezi významnou paleontologickou lokalitu ve svrchní části lochkovského souvrství. Můžeme zde pozorovat bohatou trilobitovou a brachiopodovou faunu. Lokalita slouží jako důležitý opěrný bod v rámci rekonstrukce faciálního vývoje spodního devonu. V jeho okolí můžeme pozorovat drobnější povrchové krasové jevy, ojediněle i jeskyně (Horný 1960).

Vrchol Bacín ve své svrchní části odkrývá vápence pražského souvrství, který představuje přechod mezi bioklastickým vývojem koněpruské oblasti a mikritovým vývojem jihovýchodního křídla Barrandienu. Rovněž jako v případě Šamoru reprezentuje důležitý opěrný bod, na nějž se odkazují úvahy o faciálním vývoji spodního devonu. Prostor Bacínu se řadí i mezi významné archeologické lokality (www1).

Poslední zmínka patří lomu Plešivec, v jehož blízkosti se také nachází jedna z terénních ploch. Lom na Plešivci je zajímavý svou velmi bohatou faunou koněpruských vápenců, což z něj činí atraktivní paleontologickou lokalitu. Můžeme se zde setkat zejména s gastropody, hlavonožci a samozřejmě trilobity a brachiopody (Hladil et al. 1991).

2.1.4 Fauna

Pro oblast Liteňska se mi podařilo najít zmínku o výskytu pozoruhodného druhu pavouka, který zde byl objeven. Příčnatka světlá (*Hahnia candida*) spadá do čeledi příčnatkovití (*Hahniidae*), a ve své době u nás byla zastoupena pouze deseti druhy ve třech rodech. Příčnatka světlá se přitom svým vzrůstem řadí mezi nejmenší z druhů tohoto rodu (Kůrka et al. 2010). Průzkum bezobratlých v oblasti CHKO Český kras odhalil jednu samici, která byla nalezena v zemní pasti. Past se nacházela na území evropsky významné lokality Mramor nacházející se mezi městy Liteň a obcí Vinařice. Tímto nálezem byl identifikován nový druh pavouka na území České republiky, který díky svému drobnému vzrůstu a skrytému způsobu života unikal pozornosti. Jeho výskyt je odhadován převážně v západní části našeho území (Machač & Zedek 2014).

2.1.5 Typologie lesů

V této kapitole bych rád popsal stručný výčet jednotlivých lesních typů, které byly přítomny na zkoumaných lokalitách. Nebudu zabíhat do detailního popisu, která plocha se nacházela na konkrétním lesním typu, neboť tyto údaje jsou snadno dohledatelné a pro účely této práce rámcový přehled bohatě dostačuje.

Na jednotlivých stanovištích převažoval lesní typ bohatá habrová doubrava (1W) a bohatá buková doubrava (2W). Tyto lesní typy se nacházejí převážně na vápenci a velmi bohatých horninách. Jedním z charakteristických znaků je půdní typ rendzinových kambizemí, který je na tomto podloží vyvinutý. Dále se zde můžeme setkat se suchou habrovou doubravou (1C) a vysýchavou bukovou doubravou (2C), které jsou charakteristické v horních částech slunných svahů. Rozkládají se zpravidla na středně bohatých i bohatých podložích, na kterých převažují teplomilné a středně náročné druhy ve fytoocenóze (Např. lipnice hajní – *Poa nemoralis*, violka chlupatá – *Viola hirta*, válečka prapořitá – *Brachypodium pinnatum* a další).

Okrajově bylo možné narazit na dřínovou doubravu (1X) patřící mezi teplomilná lesní společenstva na vápencovém a bazickém podloží. Stromové patro tohoto lesního typu tvoří převážně nižší rozvolněný porost dubu zimního a šípáku. Mezi přimíšené druhy zde řadíme jeřáb břek, muk, javor babyka, mléč a na suťových půdách lípy. Keřové patro je rovněž velmi pestré. Můžeme se setkat s takovými druhy, jako je dřín obecný (*Cornus mas*), hloh jednosemenný (*Crataegus monogyna*), dřišťál obecný (*Berberis vulgaris*), trnka obecná (*Prunus spinosa*) a další. Bylinné patro je pak charakteristické druhy jako třemdava bílá (*Dictamnus albus*), čistec přímý (*Stachys recta*), nebo válečka prapořitá. Posledním lesním typem, který zmíním, je sprašová habrová doubrava (1H) vyskytující se převážně na úpatí mírných svahů nebo na hlubokých půdách typu rendzinových kambizemí. Pro bylinné patro jsou charakteristické druhy jako jahodník truskavec (*Fragaria moschata*), jetel alpský (*Trifolium alpestre*), ostřice horská (*Carex montana*) a další (ÚHÚL s. d.).

2.2 Stanovení světelných podmínek pomocí hemisférických fotografií

Solární energie ve formě fotosynteticky aktivního záření (PAR) je velice důležitou složkou lesního mikroklimatu, která přímo ovlivňuje růst a regeneraci rostlin.

Množství a kvalita dopadajícího světla pod korunovým zápojem je z velké části ovlivněna distribucí a pozicí kmenů, větví a listů lesního porostu. Existuje celá řada přímých a nepřímých metod používaných ke stanovení toku slunečního záření a různých složek struktury uvnitř a pod korunovým zápojem (např. Chason et al. 1991; Fassnacht et al. 1994). Metoda využívající hemisférické fotografie korunového zápoje je jednou z nepřímých metod, která využívá objektiv typu „rybí oko“ pro zaznamenání polohy, velikosti a tvaru jednotlivých mezer v zápoji korun. Zpravidla jsou fotografie pořizovány tak, že objektiv směřuje přímo vzhůru. P. M. Rich ve svém výzkumu však popisuje i možnost focení v obráceném směru v kombinaci s infračerveným spektrem (Rich 1990). Hemisférická fotografie reprezentuje trvalý záznam podmínek v momentu pořízení, a tudíž je cenným zdrojem informací o pozici, velikosti, hustotě a prostorové distribuci mezernatosti korunového zápoje. Tyto údaje jsou důležitými parametry pro nepřímé měření PAR spodních vrstev porostu a vybraných atributů, jako např. otevřenost korunové vrstvy či index listové plochy (LAI). S nástupem stále dostupnějších digitálních technologií, stále propracovanějších softwarových programů a navyšování výpočetních kapacit současných počítačů, jsou tyto techniky stále častěji využívány pro analýzu hemisférických fotografií korunového zápoje (např. Chazdon & Field 1987; Canham 1995).

Nepřímé optické techniky se stále častěji používají místo více namáhavých a často destruktivních přímých metod k odvození mezernatosti korunového zápoje a stanovení hodnoty efektivního LAI. Hemisférická fotografie korunového zápoje ve spojení s digitální analýzou je jedna z nepřímých metod, která se ukázala být rychlým a efektivním způsobem pro měření rozličných atributů korunového zápoje. Rovněž je možné na základě této metody modelovat sezónní dynamiku světelných poměrů. Současné analýzy hemisférických snímků bohužel nejsou schopny udržet krok s vývojem digitálních technologií, výpočetní kapacitou počítačů a jejich softwaru nebo vědeckými modely. Je proto nutné v tomto oboru učinit řadu vylepšení, aby mohl být využit plný potenciál této techniky (Frazer et al. 1997).

Hemisférické fotografie poskytují mechanismus pro shromažďování informací struktury a distribuce mezernatosti korunového zápoje porostu. Je proto důležité, aby tyto fotografie byly zachyceny ve formě, kterou je možné snadno využít

stávajícími programy pro analýzu obrazu a vytvářet tak dobré a spolehlivé výsledky. Jedním ze základních požadavků většiny programů analyzujících tyto snímky je, že rozsah objektivu je 180° se shodnými úhly ve všech směrech a poskytuje dostatečnou kvalitu, která nebude způsobovat nežádoucí zkreslení obrazu. Objektiv by měl být předem otestován, aby bylo zajištěno, že odpovídá zkreslení předpovídané standardní transformace polární projekce (Herbert 1987).

V terénu musí být fotoaparát nasazen na stabilní stativ vybavený libelami pro jeho horizontaci. Rovina objektivu směřujícímu nahoru musí být dokonale vodorovná a vrchol fotoaparátu by měl být nasměrován k pravému severu. Nejjednodušším způsobem, jak toho dosáhnout, je nasměrovat fotoaparát pomocí kompasu nebo buzoly a následně dodatečný úhel nastavit podle lokální hodnoty magnetické deklinace. Pokaždé, když je fotoaparát přesunut, je potřeba ho znovu vyrovnat a nasměrovat na sever. Tento postup umožní konzistenci při zarovnání obrazu pro účely dalšího zpracování. Zde je důležité zmínit, že kovové tělo kamery může zasahovat do schopnosti kompasu či buzoly přesně určit magnetický sever, takže je důležité, aby při jeho určování pozorovatel stál v dostatečné vzdálenosti od přístroje (Frazer et al. 1997).

Pomocí hemisférické fotografie můžeme měřit i hodnotu indexu listové plochy (LAI). Současné optické metody pro odhad LAI nerozlišují mezi listovou (fotosyntetickou) tkání a dalšími rostlinnými orgány, jako jsou větve, kmeny, šišky a dalšími přidruženými částmi např. mechy a lišejníky. Z toho důvodu byly navrženy alternativní pojmy jako „vegetation area index – VAI“ (Fassnacht et al. 1994), „plant area index – PAI“ (Neumann et al. 1989) a „foliage area index – FAI“ (Welles and Norman 1991) o kterých se zmíním dále v kapitole Definice LAI. Tato nomenklatura se zdá být vhodnější, neboť uznává, že konvenční optické a inverzní modely nejsou schopné měřit plochu, která se stává výhradně z listoví a rovněž nejsou schopné kompenzovat nerovnoměrné rozmístění prvků korunového zápoje. Někteří vědci odvodili lokalizačně a druhově specifická opatření pro korekci optických odhadů LAI z důvodu negativního účinku shlukování listů (Chen et al. 1997; Trofymow & Leach 1996; Fassnacht et al. 1994). Nicméně, pouze malé množství studií se doposud pokusilo odhadnout podíl nefotosyntetických prvků z celkové absorpční plochy korunového zápoje.

2.3 Index listové plochy

Kvalita a množství listoví je jedním ze základních ukazatelů, podle kterých můžeme určit vitalitu a produkci dané rostliny. Povrch listoví zabírá ze všech rostlinných orgánů největší plochu, která je v přímém kontaktu s okolním prostředím. Rovněž v ní probíhají primární fyziologické procesy spojené s látkovou přeměnou a energetickou výměnou, jako je například fotosyntéza, transpirace či respirace. Mezi nejdůležitější funkce listové plochy patří neodmyslitelně zachycování slunečních paprsků a kumulace sluneční energie, ale také transfer některých plynů – v největší míře oxid uhličitý s vodní parou. Z tohoto důvodu je v rámci četných ekofyziologických výzkumů, které se zabývají například energetickou a látkovou výměnou mezi určitým porostem a atmosférou, zásadní znát velikost dané listové plochy. V souvislosti s lesnickou praxí může listová plocha sloužit jako ukazatel produkčního potenciálu stromu či celého porostu a zároveň jako indikátor zdravotního stavu. V rámci stanovení zdravotního stavu stromu či porostů se v současné době nejčastěji bere v potaz aktuální míra defoliace. Podle stupně defoliace jsou rovněž stanovena u lesních porostů pásma ohrožení imisemi. Procento defoliace zpravidla vizuálně stanovuje skupina zaškolených pracovníků procentuálním porovnáním konkrétního jedince s modelovým jedincem se 100 % olistěním, tedy jedincem s maximální hodnotou pokryvnosti listoví, resp. Indexu listové plochy (*Leaf area index – LAI*). Pokorný a Stojnič ve své studii našli silný vztah mezi defoliací a indexem listové plochy (Pokorný & Stojnič 2012). Rovněž uvádějí, že LAI se díky tomuto vztahu zdá být velice cenným parametrem pro hodnocení zdravotního stavu lesních porostů. Podle jejich výzkumu, který stanovoval hodnotu pokryvnosti listoví ověřenou metodou (Pokorný & Marek 2000), je mnohem objektivnější stanovení indexu listové plochy než odhad stupně defoliace vizuálním hodnocením. Nutno podotknout, že samotné stanovení hodnoty pokryvnosti listoví je možno optimalizovat zvolením správné metodiky (Pokorný 2015).

Jak jsem již uvedl, výměra plochy listoví v lesních porostech se v současné době nejčastěji popisuje na základě indexu listové plochy. Existuje velké množství studií, které se zabývají vztahy mezi množstvím listoví neseného a fyziologickými procesy, které probíhají v dané rostlině. Velký důraz je kladen na vztah s primární produkcí biomasy, vodním režimem daného stanoviště a depozicí nečistot v ovzduší.

Z výzkumů vyplývá znatelné propojení mezi kvantitou listové plochy s produkčními a mimoprodukčními funkcemi lesa. To můžeme pozorovat i na příkladu spadaneho listí, které zastává významnou roli při ovlivňování odtoku povrchových srážek, jejich následného zadržování v prostředí, a je důležitou složkou při tvorbě nadložního humusu.

Existuje několik parametrů, kterými můžeme popisovat charakter struktury korunového zápoje. Prvním z parametrů je již zmíněná pokryvnost listoví (*LAI*), která udává velikost asimilačních orgánů rostliny. Dalším parametrem, který popisuje kvantitu listoví v korunové vrstvě je hustota listoví. Standardně je označována jako *LAD* – zkratka „*leaf area density*“ nebo také *NAS* – „*needle area density*“ a reprezentuje množství plochy listoví, která je obsažena v určitém objemu, a to u koruny jednotlivce i v korunové vrstvě celého porostu (Whitehead 1986). Posledním faktorem, o kterém se zmíním, je prostorová distribuce *LAI*. Zejména v jehličnatých porostech je asimilační aparát spolu s větvemi organizován do několika úrovní (např. koruna stromu, větev, letorost apod.). Největším vlivem, který rozhoduje o prostorové distribuci plochy listoví v porostech lesních dřevin, je dozajista dimenze koruny a korunového zápoje. Distribuce *LAI* ve vertikálním směru je v porostu důležitým faktorem, který reguluje faktory klimatu, světelný režim, fyziologickou specifiku listoví a v neposlední řadě cyklus uhlíku v porostu (Marek 1992).

Všechny tyto parametry jsou základem pro výpočet celé řady růstových, radiačních nebo produkčních modelů. Kvantita nebo také hustota listoví daného stromu či porostu do značné míry ovlivňuje světelné podmínky uvnitř i vně takového porostu. Díky tomu se na základě míry této kvality odvíjí výskyt a podmínky pro odrůstání přirozené obnovy. Z tohoto poznatku je patrné, že aplikace znalostí získaných v podobných studiích by mohly najít široké uplatnění v lesnictví, zejména v rámci optimalizace výchovných zásahů z hlediska jejich intervalu a intenzity. Pokorný a kol. například uvádějí, že nejen intenzita, ale rovněž typ výchovného zásahu může výrazně ovlivnit přírůst nadzemní biomasy (Pokorný et al. 2008). V rámci jejich výzkumu byl ve dvou mladých smrkových porostech nejprve proveden zásah s nižší intenzitou a pozitivním výběrem, což znatelně ovlivnilo otevřenost korunového zápoje a přírůst nadzemní biomasy. Druhý zásah byl

srovnatelný svou intenzitou, avšak výběr byl v tomto případě negativní, což mělo za následek minimální pokles hodnoty indexu listové plochy a prakticky žádnou odezvu v přírůstu nadzemní biomasy.

Nutno podotknout, že LAI se nemění pouze v prostorovém hledisku, ale i v časovém měřítku. Změny LAI v souvislosti s časem, jsou převážně zapříčiněny samotným vývojem porostu (zvětšováním plochy korun) a vytvářením korunového zápoje. Stejnou měrou jsou způsobeny i přírůstem listoví, přetrváním nebo následným opadem listoví. Hlavními faktory ovlivňujícími sezónní dynamiku indexu listové plochy jsou genetická základna určující genetické vlastnosti jednotlivých druhů dřevin (např. vznik a tvorba listů a jejich růst), struktura porostu, se kterou jsou spjaty jednotlivé dendrometrické veličiny (věk, zastoupení či zakmenění) a rovněž klimatické poměry (množství radiace, teplota, dostupnost vody). Dále jsou neméně důležité i pedologické poměry (půdní typ, podíl humusu) a nesmíme zapomenout na možný vliv znečištění ovzduší nebo případný výskyt dřevokazného hmyzu (Vose et al. 1994). Vliv těchto základních faktorů na celoroční i sezónní regulaci LAI dokazují například výsledky studie Vose a Allena, která se zabývala experimenty s přihnojováním a zavlažováním, dále výzkum vlivu přirozených podmínek prostředí na regulaci LAI (Vose & Allen 1988).

2.3.1 Definice LAI

Obecně můžeme LAI definovat jako plochu listoví, která se vyskytuje nad určitou povrchovou jednotkou půdy. Důležitým faktem je však charakter plochy, kterou v rámci této definice bereme v potaz. Pokorný ve své práci shrnuje tři způsoby, které definují LAI (Pokorný 2002):

- 1) projekční plochu listů nebo jehlic nad povrchovou jednotkou půdy (tzv. *projected LAI*),
- 2) polovinu souhrnné povrchové plochy jehlic nad povrchovou jednotkou půdy (tzv. *hemi-surface LAI*),
- 3) celkovou plochu povrchu listů nebo jehlic nad povrchovou jednotkou půdy (tzv. *total LAI*).

Pro listnaté porosty se tak zpravidla používá první definice, pro jehličnaté porosty je vymezena výhradně definice druhá. Plošnou jednotkou povrchu půdy, ke které

vztahujeme plochu listoví, je povětšinou plocha celého porostu, zastíněná plocha projekcí jednotlivých stromových korun nebo plocha koruny v jejím příčném průřezu v konkrétní výšce. LAI se většinou uvádí v jednotkách $m^2 \cdot m^{-2}$ nebo $ha \cdot ha^{-1}$. Z toho vyplývá, že LAI je prakticky bezrozměrná veličina. Stejným způsobem můžeme vztáhnout k povrchové jednotce půdy i plochy ostatních rostlinných orgánů, tedy kmenů (SAI – zkratka „*stem area index*“) či větví (BAI – zkratka „*branch area index*“). Plochu povrchu veškerých nadzemních orgánů rostlin vztažených k plošné jednotce půdy nazýváme PAI – zkratka „*plant area index*“ (někdy také VAI – zkratka „*vegetation area index*“). Poněvadž hodnota pokryvnosti listoví je zpravidla uváděna zvlášť, setkáváme se v souvislosti s plochou dřevní části, která tvoří nosnou kostru, s pojmem skeleton index (WAI – zkratka „*woody area index*“). Největším problémem, který je spjatý s vymezením termínu LAI, je pojem jednostranný („*one-sided*“) LAI. Někteří autoři totiž v souvislosti s tímto termínem mají na mysli polovinu celkového LAI, kdežto jiní si pod tímto pojmem představují projekční LAI. V případě listnatého porostu tato nesrovnalost není překážkou, protože díky anatomickému tvaru jejich listů je jednostranná plocha shodná s plochou projekční. V celkovém součtu je pak souhrnná plocha povrchu dvojnásobkem plochy projekční. Na rozdíl od listnáčů je však tento problém velice patrný u jehličnatých dřevin. Jehlice jehličnatých dřevin se totiž navzájem liší svým tvarem příčného průřezu nejen mezi jednotlivými druhy, ale často i v rámci stejného druhu. Díky tomu se projekční plocha jehlic neshoduje s polovinou celkové plochy (Stenberg et al. 1999).

2.3.2 Metody stanovení LAI

Existuje mnoho alternativ pro stanovení hodnoty LAI. Od konvenčního subjektivního odhadu až po experimentální nepřímé metody můžeme tyto způsoby rozčlenit do čtyř základních skupin:

- 1) přímé metody,
- 2) polopřímé metody,
- 3) nepřímé metody,
- 4) subjektivně–odhadové metody.

V rámci uceleného výpisu je zde uvedena i čtvrtá metoda, nutno však podotknout, že z objektivního hlediska tento způsob stanovení LAI nemůžeme pokládat za vědecky

přesný. V rámci jejich porovnání jsou hlavními parametry, podle kterých posuzujeme jednotlivé metody, primárně přesnost samotných výsledků, možnost opakování měření v rámci stejné skupiny stromů, podmínky měření a v poslední řadě samozřejmě rychlost stanovení LAI (Jonckheere et al. 2004).

2.3.2.1 Přímé metody

Pravděpodobně jednou z nejpřesnějších metod, jak získat informace týkající se struktury nadzemní biomasy, je přímé měření jednotlivých nadzemních orgánů rostliny. Tento způsob měření se provádí destruktivně, neboť je nutné odstranit listy z těla rostliny. Samotné měření se zaměřuje především na tvar a rozměry jednotlivého orgánu, ale také na jeho pozici a úhel nasazení. Popis těchto vlastností je poměrně náročný vzhledem k tomu, jakým způsobem se nadzemní biomasa postupně mění působením času a s ohledem na prostor, ve kterém se vyvíjí. Po nashromáždění všech potřebných informací, týkajících se všech zkoumaných orgánů, dojde ke statistickému vyhodnocení celého souboru měřených jedinců. Tento postup je však, jako většina přímých metod, časově velice náročný, tudíž se v rámci porovnání často odvolává na reprezentativní rostlinu (nebo jen část rostliny) neboli vzorník, jehož popsané vlastnosti jsou následně použity pro ostatní rostliny. Stanovení LAI přímou metodou tedy předchází manuálně prováděná měření, která se zaměřují zejména na sérii jednoduchých parametrů, v rámci většího počtu rostlin. Až na základě tohoto měření se následně vybere menší počet reprezentativních jedinců, na kterých se mohou dále provádět detailnější analýzy. V praxi se optimálně doporučuje vybrat minimálně tři vzorníkové jedince, které spadají do hlavních výškových tříd, tj. úrovně, nadúrovně a podúrovně. V rámci nejpočetněji zastoupených dřevin je doporučeno zvolit větší počet vzorníků patřících zejména do úrovně výškové třídy. Pokud bychom chtěli analyzovat podrobněji a s přesnějšími výsledky, je možné postupovat v rámci koruny po předem určených sekcích. Sekce můžeme definovat buď srovnatelnou šířkou, nebo se zaměřením na různé anatomické, morfologické či fyziologicky rozdílné listoví. Korunu jehličnatých a listnatých dřevin můžeme takto rozdělit podle tvaru koruny nebo letorostů na slunnou, stinnou a přechodovou část (Pokorný 2015).

Metoda přímého měření dosahuje značné přesnosti. Při vyhodnocování přímé metody se využívá dvou základních parametrů. Prvním je SLA neboli specifická

listová plocha (zkratka „*specific leaf area*“), která je uváděna v jednotkách $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Druhým parametrem je pak SLM neboli specifická listová hmotnost (zkratka „*specific leaf mass*“), která se uvádí v jednotkách $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$. Obecně se používají přímé metody převážně pro listnaté stromy nebo keře. U jehličnanů se tato metoda používá velice zřídka, neboť je značně pracná a časově velice náročná. Nevýhodou také je, že s ohledem na možnost opakování, která je nemožná s ohledem na destrukci vybraných jedinců nebo částí porostu, nemůžeme sledovat postupný vývoj měřených parametrů na stejném biologickém materiálu. Na druhé straně však můžeme u opadavých druhů lesních dřevin nedestruktivně hodnotit plochu listů, které můžeme zachytit do sběrné nádoby umístěné přímo pod korunu stromu (Chason et al. 1991). Pro zjednodušení výpočtu hodnoty LAI je možné sběrné nádoby (opadoměry) předem umístit tak, aby zastiňovaly předem určenou půdní jednotku. Na vyhodnocení plochy veškerých opadaných listů je využit parametr SLA, který je stanoven pro smíšený vzorek listů, načež jsou zbylé listy v opadoměru jenom vysušeny a zváženy. Hodnotu LAI následně získáme tak, že násobek hmotnosti veškerých listů napadané do sběrné nádoby a zjištěné hodnoty SLA podělíme jednotkovou plochou půdního povrchu, kterou zastiňoval opadoměr. S ohledem na techniku měření je důležité dopředu upozornit na pečlivý výběr volby vhodné metody, kterou zvolíme pro stanovení indexu listové plochy v daném experimentu. Existují totiž metody, které například více vyhovují účelům stanovení plochy jednotlivých listů, nebo metody, kterými naopak můžeme stanovit plochu listů celé rostliny potažmo daného porostu. Další fakta, která je důležité mít na paměti, je požadovaná přesnost měření, nutnost a možnost provedení destruktivního způsobu sběru a v poslední řadě i vlastnosti sbíraného materiálu.

Hlavní předností všech přímých metod je přesnost, které jsme schopni jejich využitím dosáhnout. Z tohoto důvodu se proto často v rámci vědeckého bádání využívají ke srovnávání s dalšími metodami stanovování indexu listové plochy, jako jsou například metody nepřímé nebo polopřímé (Fassnacht et al. 1994). Ze všech dále uvedených metod jsou přímé metody určení LAI považovány za nejpřesnější. Šesták a kol. uvádějí, že maximální míra nepřesnosti měření může dosahovat $\pm 10\%$ v závislosti na zvolené metodě stanovení plochy jednotlivých listů (Šesták et al. 1966).

Navzdory přesnosti přímých metod však z výše uvedených důvodů není možné doporučit použití těchto metod v lesnické praxi.

2.3.2.2 Polopřímé metody

V porovnání s přímými metodami jsou polopřímé méně náročné na čas, ale stále je během nich vyžadován fyzický kontakt s listovým společně s korunami a kmeny stromů. Díky tomu je nelze přímo zařadit mezi metody přímé, ale ani mezi ty nepřímé. Existuje několik polopřímých metod, ale nejznámější metodou je stanovení listové plochy na základě tzv. alometrických vztahů. Alometrický vztah je vztah mezi určitou lehce měřitelnou dendrometrickou veličinou a danou listovou plochou. Na základě těchto vztahů jsme schopni pomocí základních dendrometrických veličin jednotlivých stromů v porostu, jako je výčetní tloušťka nebo střední výška dřeviny, určit plochu listoví konkrétního stromu a rovněž celkový LAI daného porostu. Bohužel mnoho autorů uvádí, že ačkoliv lze vycházet z těchto vztahů, je nutné vzít v potaz fakt, že jsou velice specifické pro jednotlivá stanoviště, a tudíž je nemůžeme s jistotou použít pro stanovení LAI jiného porostu bez rizika možného zkreslení výsledků.

2.3.2.3 Nepřímé metody

Nepřímé metody stanovování LAI vycházejí z interakce sluneční radiace se strukturami nacházejícími se v korunové vrstvě. Tyto dvě složky se nacházejí ve velice úzkém vztahu, čímž se nám nabízí možnost odhadovat jednu složku na základě té druhé. Pomocí základního měření intenzity sluneční radiace můžeme s využitím modelu odhadujícího vliv radiace na struktury korunové vrstvy, pokud je k dispozici, vyjádřit její strukturu. Obecněji můžeme tvrdit, že stanovení LAI nepřímými metodami se zakládá na optických vlastnostech listů a jejich prostorové distribuci v rámci korunové vrstvy porostu. Pokorný ve své certifikované metodice uvádí tento výčet nepřímých metod (Pokorný 2015):

- 1) metoda vycházející z měření intenzity radiace (stanovení poměru mezi intenzitou slunečního záření v konkrétní výšce korunové vrstvy a intenzitě záření dopadající na porost),
- 2) metoda mezernatosti, která je založena na míře pravděpodobnosti zachycení sluneční radiace, v momentu jejího procházení korunovou vrstvou,

- 3) metoda spektrální, která používá rozdíly různých vlnových délek při absorpci a odrazu způsobené korunovou vrstvou,
- 4) metoda laserová, kterou na základě snímků porostu pořízených laserovými paprsky můžeme vytvořit trojrozměrný obraz nejen korunové vrstvy, ale i celého porostu.

Výše uvedené metody se řadí v současné době mezi nejvíce efektivní a jsou tak nejvhodnější pro sledování dynamiky vývoje LAI. V rámci dosažení nejpřesnějších hodnot LAI je však potřebné provést určité korekce. Korekce je důležitá zejména v případě jehličnatých porostů ze tří hlavních důvodů. Prvním je fakt, že jehlice většiny jehličnatých dřevin neopadávají, a tudíž je nemožné kvantifikovat podíl dřevních částí v daném porostu. Druhým důvodem je samotné uspořádání jehlic, které rozlišujeme na několika různých úrovních (koruna, přeslen, větev, letorost). Třetím důvodem je skutečnost, že v příčném průřezu jehlice nenabývají plochého tvaru. Důležitým poznatkem však zůstává fakt, že i s absencí dodatečné korekce je možné stanovenou přímou hodnotu LAI využít v rámci lesnické praxe. S touto hodnotou můžeme například určit míru zastínění mateřským porostem, ze které můžeme následně posoudit potenciál podmínek pro vývoj přirozené obnovy.

Na základě výzkumů lze tedy aplikaci nepřímých metod pro stanovení hodnoty LAI jednoznačně doporučit, neboť nabízí široké uplatnění v lesnických, ekologických a biologických oborech. V průběhu let bylo vyrobeno mnoho přístrojů pro tyto účely (např. *LAI-2000*, *LAI-2200*, *LaiPen LP 100*, *Li-Cor* a další). Teoretický základ pro výpočet hodnoty LAI spočívá zejména ve snižování intenzity radiace při jejím průchodu korunovou vrstvou, kde záleží převážně na hustotě přítomného listoví, nebo na míře mezernatosti korunové vrstvy, u které se výpočty provádějí na základě pravděpodobnosti zachycení nebo průchodu slunečních paprsků korunovou vrstvou (Gower & Norman 1991). V souvislosti se spektrálními a laserovými metodami je však nutno zmínit, že pro stanovení LAI a získávání informací o parametrech struktury porostu je v obou případech nutné použití vysoce sofistikovaných přístrojů, které jsou velice nákladné. Z toho důvodu je jejich využití v běžné lesnické praxi prakticky nemožné. Obě tyto metody jsou tak určeny zejména pro vědecké účely.

2.3.2.4 Subjektivně–odhadové metody

Ve stručnosti bych rád zmínil i tuto metodu stanovení LAI. V zásadě je určování množství LAI pomocí vizuálního odhadu možné, jestliže vycházíme ze zkušenosti se stanovováním indexu listové plochy přesnějšími metodami a také porovnáním s takovými porosty, ve kterých již byl LAI stanovován dříve. Není snad potřeba dodávat, že získané hodnoty LAI pomocí této metody jsou nepřesné a mohou sloužit jenom pro orientaci. Každý pozorovatel má totiž v paměti uchován jiný obraz standardní koruny stromu v porovnání s jistým stupněm poškození, což bývá obvykle způsobeno prosvětlením koruny. Tato metoda může být použita například v případě odhadu změny LAI stejným týmem hodnotitelů v rámci stejného porostu s určitým časovým odstupem. V současné době se těchto odhadových metod využívá především při hodnocení míry defoliace v porovnání se standardním stavem porostu. Na základě hodnocení zdravotního stavu a dynamiky jeho případného zhoršování je možno porost zařadit do konkrétního pásma ohrožení podle vyhlášky (Vyhláška č. 78/1996 Sb.). Z výše uvedených faktů je možné shrnout, že vizuální odhad množství listoví je velice subjektivní a velikost chyby, které se může hodnotitel dopustit, není možné odhadnout (Pokorný 2015).

2.3.3 Maximální a optimální hodnoty LAI

Maximální hodnota indexu listové plochy je nejčastěji odvozována z modelového vývoje LAI. Průběh modelu vývoje LAI v porostu můžeme stanovit obecně třemi způsoby (Pokorný 2002):

- 1) měřením stejného porostu opakovaně,
- 2) měřením různě starých porostů (čímž jsme schopni získat tzv. chronosekvenci),
- 3) využitím modelu (bývá zpravidla odvozen na základě dat prvních dvou způsobů) nebo monitorováním rozdílů v rámci celého gradientu podmínek, týkajících se vnějšího prostředí.

Použitím výše uvedených způsobů jsme schopni stanovit faktory, které limitují maximální LAI daného porostu nebo druhu dřeviny. Obecně se pohybují hodnoty pokryvnosti listoví jednotlivých lesních dřevin v širokém intervalu, přičemž bereme v potaz složení druhů, strukturu, poškození a také podmínky stanoviště daného

porostu (Pokorný 2002). Listnaté porosty a světlomilné druhy jehličnatých dřevin zpravidla nabývají maximálních hodnot kolem 6–8 (Čermák 1998; Cuttini et al. 1998). Mezi druhy jehličnatých dřevin, které snášejí stín, dosahují v porostech nejvyšších hodnot LAI především *Pseudotsuga* spp., *Tsuga* spp., *Abies* spp., a *Picea* spp. (Waring et al. 1981; Gholz 1982). Těchto vysokých hodnot dosahují tyto dřeviny především díky úhlové orientaci jednotlivých větví a jehlic ve směru zenitu, délkou sekcí mezi přesleny a také díky jejich způsobu větvení (Stenberg et al. 1994). S ohledem na morfologické parametry stinných porostů odvodili Leverent a Hinckley maximální hodnotu LAI, kterou je možno v porostu dosáhnout (Leverent & Hinckley 1990). V jejich studii uvádějí nejvyšší hodnotu projekčního LAI (20) pro sekvoj vždyzelenou (*Sequoia sempervirens*) a nejnižší hodnotu (3,5) pro borovici lesní (*Pinus sylvestris*). Po přepočtu hodnot konverzním faktorem, který bere v potaz tvar jehlic, se však mohou uvedené hodnoty ještě zvýšit rozdílnou měrou. Vyhodnotit optimální hodnotu LAI, která maximalizuje produkci porostu je možné, pokud použijeme robustní růstový model, který je konstruován na základě současných znalostí fyziologie procesů a jednotlivých proměnných (např. koncentrace CO₂ v pletivech rostliny, úroveň tvorby biomasy apod.). V praxi je nicméně velice náročné naměřit či případně odvodit tyto vstupní parametry, a proto se spíše doporučuje stanovení tzv. rovnovážné hodnoty LAI s ohledem na konkrétní stanovištní podmínky. Obecně chápeme konstantní hodnotu LAI jako konstantní hodnotu, kterou určitý porost dosahuje v určitém stupni vývoje, zpravidla po mírném poklesu této hodnoty. Například Vose a kol. uvádějí, že zejména díky omezení výživy dusíkem hodnota LAI porostu mírně klesá po dosažení svého maxima (Vose et al. 1994). V jejich studii se zaměřili na dřeviny z pohledu rychlosti jejich vývoje. Uvádějí, že v případě intenzivní kultury borovice (*Pinus elliotii*) je dosažen maximální LAI už ve věku 10-20 let. U pomaleji rostoucích dřevin je dosaženo maximální hodnoty LAI až kolem 40 roku, někdy i později. Nutno podotknout, že důležitým faktorem, který s dosažením této hodnoty souvisí, je moment vytvoření uceleného korunového zápoje. Jeho tvorba je podmíněna zejména produktivitou porostu a jeho hustotou. Musíme si však uvědomit, že maximální hodnota LAI ještě nemusí znamenat například v souvislosti s fotosyntézou hodnotu optimální. Uvažujeme-li různou distribuci a polohu listoví v prostoru korunové vrstvy, nemůže

docházet k efektivnímu vstřebávání slunečního záření v rámci porostu jednotně na celé ploše. Světelná bilance jednotlivých listů a celého porostu se výrazně odlišuje. Z toho vyplývá, že porost nikdy nemůže maximálně využít svůj fotosyntetický potenciál. Pokud jsou však listy uspořádány do více vrstev, využívají mnohem efektivněji dopadající záření než listy, které jsou uspořádané v jedné souvislé vrstvě. Porosty, které dosahují vysokých hodnot LAI, totiž mají listy orientované více vertikálně než horizontálně. Díky tomu může záření pronikat do nižších vrstev porostu a je tak mnohem více rovnoměrně rozdělené mezi větší počet listů. Samozřejmě s tímto postavením samotná ozáření jednotlivých listů klesá, ale zároveň stoupá procento záření, které jsou schopny listy a potažmo celý porost efektivně využít při fotosyntéze (Urban et al. 2012). Porosty s nižšími (3 a méně) hodnotami LAI nejsou tímto jevem tolik ovlivněny, neboť se zde zvyšuje podíl záření, které není zachyceno korunovou vrstvou a dopadá tak až na povrch terénu bez využití.

Se stoupající hodnotou LAI se úměrně zvyšuje i heterogenita ozáření jednotlivých listů. V nižších vrstvách korunové vrstvy mohou tak listy za příznivých podmínek dosahovat tzv. kompenzační hodnoty radiace. Jedná se o takovou intenzitu radiace, při které je ztráta uhlíku v důsledku dýchání kompenzována příjmem uhlíku jeho vstřebáváním. Koloběh uhlíku je tedy s ohledem na optimalizaci LAI velice důležitým faktorem. Druhy dřevin, které dosahují vysokých LAI, jsou schopny zachycovat větší množství slunečního záření, ale neumějí využívat listovou plochu tak efektivně, jako druhy dřevin dosahující nižších hodnot LAI (Pokorný et al. 2008).

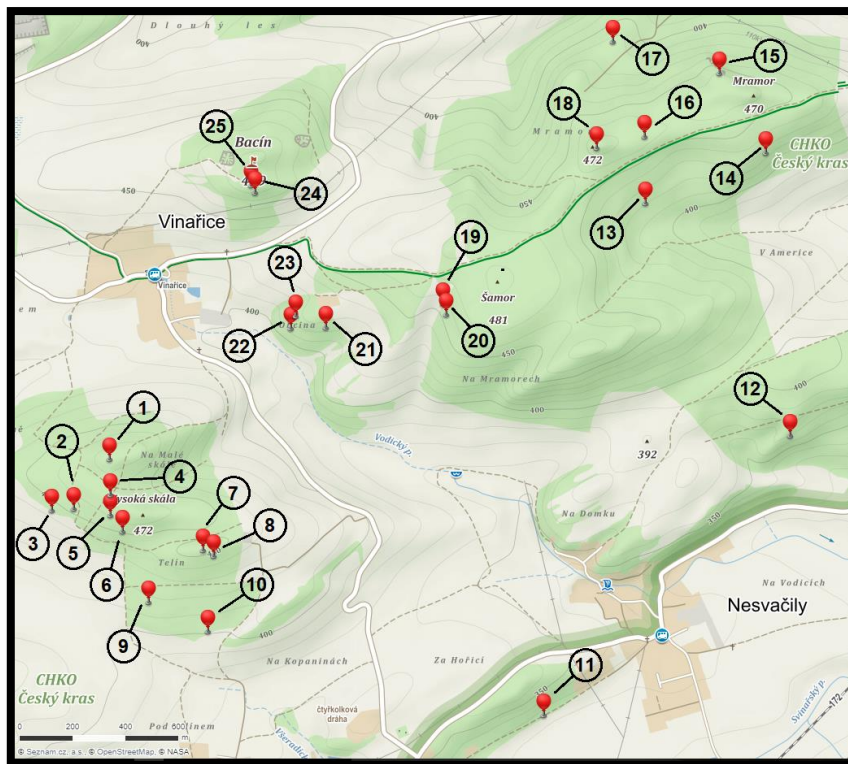
Velikost a variabilita (časová i prostorová) indexu listové plochy je tedy vysvětlena celou řadou faktorů vnějších i vnitřních. Zpravidla jsou to faktory, které ovlivňují v rámci prostoru velikost a distribuci listové plochy, v rámci času pak jeho tvorbu a opad. Mezi nimi jsou nejvýznamnější genetické vlastnosti, porostní struktura a dendrometrické veličiny hlavních dřevin porostu společně s klimatickými a stanovištními podmínkami (Vose et al. 1994).

3. Metodika

3.1 Výběr ploch a jejich vyznačení v terénu

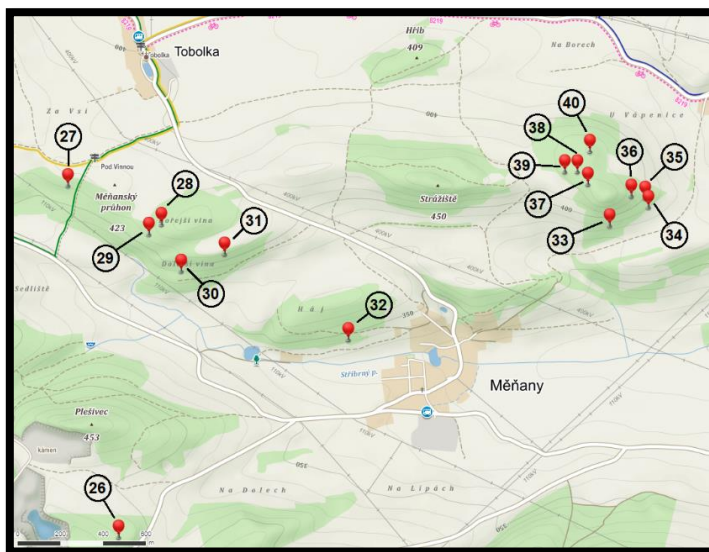
Pečlivý výběr jednotlivých zkoumaných ploch pro diplomovou práci byl jedním z nejdůležitějších úkolů. Jelikož práce navazuje na moji předchozí bakalářskou studii, bylo nutné vybrat takové plochy, se kterými by se nasbíraná data mohla porovnat, aniž by došlo k většímu zkreslení vlivem odlišné polohy zkoumaného území.

Všechny plochy, které byly vybrány, se nacházejí na území CHKO Český kras, konkrétně v její západní části v subregionu Liteňska (viz obr. 3 – jižní skupina ploch; obr. 4 – severní skupina ploch). Díky podkladům, které mi poskytl školitel, jsem počáteční výběr založil na základě rozsáhlejší studie vegetační ekologie lesů v CHKO Český kras, která probíhala v roce 2007 (MŽP VaV 640/11/03). Pro zajištění nejlepšího možného porovnání byla vybrána stanoviště na základě podobnosti expozice, a obdobné fytoecologické skladby s porosty studovanými v předcházející bakalářské práci.



Obr. 3. Rozmístění jižní skupiny zkoumaných ploch ($N = 25$) na výřezu turistické mapy v subregionu Liteňska (Zdroj: www.mapy.cz, 2018 Seznam.cz).

K dispozici jsem měl přibližně 300 lokalit, které svými ekologickými charakteristikami více či méně odpovídaly stanoveným požadavkům. V přírodní rezervaci Na Voskopě převládá typ porostů teplomilných bazifilních doubrav a dubohabřin. Proto jsem primárně vybíral plochy, které svými nároky odpovídaly teplomilným dubohabřinám a jejich přechodem ke xerothermním doubravám či mezofilním dubohabřinám. Jakmile jsem měl výběr zúžený ekologickými nároky, musel jsem z těchto ploch vybrat ty, které svou expozicí odpovídaly podmínkám přírodní rezervace Na Voskopě (západní svah). Pro účely práce jsme stanovili rozsah expozice na jižní – západní svah (135° – 280°). Podle takto stanovených kritérií jsem nakonec vybral 40 ploch. Z podkladů jsem zjistil GPS souřadnice jednotlivých ploch a následně jsem je postupně všechny vložil do mapového portálu *Mapy.cz* z důvodu snazší orientace v terénu. Jednotlivé plochy byly v terénu vyznačeny ocelovým hřebem a dřevěnými kolíky. Jelikož studie na těchto lokalitách probíhala před 10 lety, tak v mnoha případech dřevěné kolíky již nebyly přítomny, ale naštěstí se mi pokaždé podařilo najít ocelový hřeb, tudíž jsem mohl vždy přesně určit, že se nacházím na správném místě. Následně jsem zvolil středový strom, od kterého jsem následně určoval střed dané plochy. Středový strom jsem vždy označil značkovacím reflexním sprejem pro lesníky unikátním číslem plochy pro lepší orientaci, neboť bylo nutné plochy navštívit následně znovu za účelem pořízení hemisférických fotografií.



Obr. 4. Rozmístění severní skupiny zkoumaných ploch ($N = 15$) na výřezu turistické mapy v subregionu Liteňska (Zdroj: www.mapy.cz, 2018 Seznam.cz).

3.2 Sběr biomasy a vyhodnocení nasbíraných vzorků

Shromažďování dat v terénu mělo dvě etapy. V rámci první etapy bylo nutné odebrat vzorky nadzemní biomasy. Pro odběr jsem zvolil období první poloviny července 2017, aby se shodoval s termínem sběru dat, které jsem použil pro svoji bakalářskou práci. Vzhledem k velikosti území, na kterém se vybrané plochy nacházely, bylo nutné si sběr rozvrhnout takovým způsobem, aby se v krátkém čase dalo odbavit co největší množství ploch. Lokalizaci ploch jsem prováděl pomocí mobilní aplikace *Mapy.cz*, ve které jsem měl uloženy souřadnice všech vybraných ploch. Na každé ploše bylo nutné zvolit středový strom, jak jsem již uvedl výše, a podle něj stanovit střed dané plochy, která svými rozměry odpovídala velikosti 15 x 15 m. Následně byly odebrány vzorky nadzemní biomasy bylin v pěti opakováních. Všechny dílčí plochy měly rozměr 0,5 x 0,5 m, který byl vyměřen pomocí dřevěného rámečku (viz obr. 5). První dílčí plocha se nacházela vždy 1 m nad středem dané plochy a čtyři následující plochy byly umístěny 5 m od středu plochy směrem k jejím okrajům. Od středu plochy jsem druhou dílčí plochu vždy umístil po spádnicí směrem do svahu a dále po směru hodinových ručiček tak, aby byly dvě na vrstevnici a dvě na spádnicí. Odebraná biomasa byla uložena do papírových pytlů, které byly popsány číslem zkusné a dílčí plochy. Z vybraných 40 ploch bylo dohromady odebráno celkem 200 vzorků nadzemní biomasy bylin.

Takto odebrané vzorky jsem po návratu z terénu nechal nejdříve proschnout doma ve sklepě v prostorách sušárny po dobu zhruba dvou měsíců, abych zamezil tvorbě plísní, které by mohly znehodnotit vzorky před následným laboratorním zpracováním. V dalším kroku jsem vzorky začátkem zimního semestru převezl do fakultní laboratoře, kde jsem všechny vzorky vložil do laboratorní sušárny *Venticell 404*. Pro dosažení konstantní nulové vlhkosti, které bylo nutné dosáhnout pro následné vážení, jsem nastavil sušárnu tak, aby vzorky byly sušeny po dobu 8 hodin při teplotě 80 °C.

Jednotlivé vzorky jsem následně každý postupně zvážil na laboratorní váze (*GT210 Galaxy OHAUS*) a naměřené výsledky pečlivě zaznamenal podle jednotlivých ploch a dílčích měření do tabulkového programu Microsoft Excel 2016. Pro minimalizaci výskytu systematické chyby jsem nejprve zvážil 10 pytlů od každého typu a aritmetickým průměrem stanovil jeho hmotnost. Poté jsem vážil

jednotlivé vzorky společně s pytle, ve kterém byly nasbírány, a hodnotu pytle jsem následně odečetl v tabulkovém programu.

V rámci stanovení výsledků jako vstupních dat pro následné analýzy, bylo nutné zjištěné hodnoty, které byly měřené na plochách o rozloze 0,5 m², přepočítat takovým způsobem, aby odpovídaly plošné jednotce 1 m². Z takto přepočítaných hodnot jsem následně vypočítal pro jednotlivé plochy průměrné hodnoty hmotnosti nadzemní biomasy, jejich koeficient variability a směrodatnou odchylku.



Obr. 5. Označený středový strom a dřevěný rám umístěný ve středu plochy.

3.3 Pořízení hemisférických fotografií korunového zápoje

Ke stanovení světelní podmínky na vybraných zkusných plochách byla použita metoda hemisférických fotografií korunového zápoje (Frazer et al. 1997). Tento postup byl použit v souladu s metodikou předchozí bakalářské práce, kde byla data sbírána obdobným způsobem, a bylo tak možné jejich vzájemné porovnání. Focení snímků v terénu probíhalo na přelomu srpna a září 2017.

Hemisférické fotografie korunového zápoje jsem pořizoval digitálním zrcadlovým fotoaparátem značky *Canon EOS 1100 D*, který na sobě měl nasazen

speciální objektiv typu „*circular fish eye*“ (tzv. rybí oko) *Sigma DC HSM*. Speciální vlastností tohoto objektivu je obrazový úhel, který činí 180°, a proto je ideální pro zachycení stavu korunového zápoje na dané lokalitě. Před pořizováním snímků bylo nutné provést patřičné nastavení fotoaparátu. V první řadě byla nastavena priorita clony (AV mode) v hodnotě 8 a světelná citlivost ISO na automatický režim. Další v řadě bylo nutno nastavit odstupňovanou expozici tzv. *bracketting*, díky které bylo možné následně pořídit sekvenci tří po sobě jdoucích snímků s různě odstupňovanou expozicí, z nichž bylo následně možné vybírat takovou, která nejlépe reagovala na aktuální světelné podmínky. Pro tento typ snímků bylo zásadní nastavit atribut *metering mode* na typ *Centre-weighted average metering*, který zabezpečoval měření se zvýhodněným středem. Kvalita fotografií pak byla nastavena na 6 Mpx (M – bez vyhlazování) a jejich rozlišení odpovídalo 3088×2056 pixelů. Na závěr bylo nutné vypnout autorotaci a fotoaparát byl připraven k použití.

V terénu bylo důležité dodržovat zavedený postup focení. Nejprve byl umístěn fotoaparát se stativem do středu plochy. Následně bylo nutné vysunout stativ tak, aby okraj objektivu byl v první výšce (1,3 m). Následně jsem fotoaparát pomocí buzoly nasměroval jeho horním okrajem na sever, což bylo důležité pro zpracování výsledných fotek. Sever jsem vždy určoval s odstupem od fotoaparátu, abych předešel ovlivnění směrové štelky elektronikou. Poté jsem pomocí libel umístěných na stativu a na samotném fotoaparátu docílil horizontální a vertikální rovnosti. Posledním krokem před samotným focením bylo nastavení zaostření objektivu na téměř nekonečno a přepnutí na manuální ostření. Jak jsem uvedl výše, na každé ploše byly pořízeny série tří snímků, u kterých se lišila hodnota expozice. Oproti focení v přírodní rezervaci Na Voskopě bylo nutné mnohem více dbát právě na nastavení expozice u každé plochy, neboť kvůli velké prostorové rozptýlenosti nebylo možné všechny plochy vyfotit v ideálních dopoledních hodinách, kdy se slunce neopírá svým přímým slunce do objektivu. Naštěstí však během focení bylo převážně podmračné počasí, tudíž žádné velké problémy v tomto ohledu nenastaly. Na obrázku č. 6 je ukázka hemisférické fotografie korunového zápoje.



Obr. 6. Hemisférická fotografie korunového zápoje plochy č.7.

3.4 Zpracování a vyhodnocení fotografií korunového zápoje

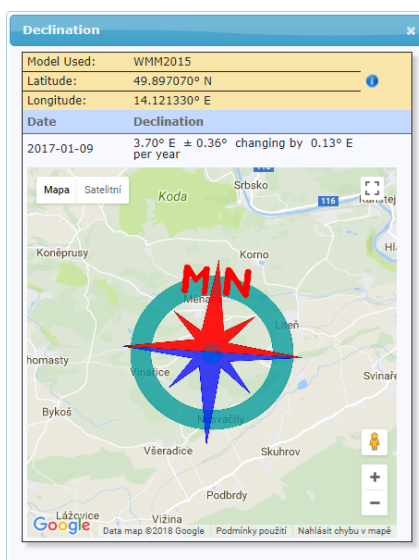
Nafocení hemisférických fotografií korunového zápoje v terénu bylo pouze prvním krokem k získání výsledků pro účely následných analýz. Pro samotné zpracování bylo potřeba z každé trojice snímků, které byly vyfoceny na jednotlivých plochách, vybrat jeden snímek, který byl následně použit. Při výběru bylo také nutné pečlivě zkontrolovat, zda nastavená expozice nezpůsobila přehnané ztmavení či zesvětlení snímku, které by tak neodpovídalo skutečnosti. Dále bylo nutné se ujistit, že na žádném ze snímků nejsou přítomná přesevřená místa, způsobená přímým svitem slunečních paprsků do objektivu, která by mohla ovlivnit výsledky následných analýz. Ve snaze o nejlepší posouzení kvality snímků, jsem všechny fotografie prohlížel na svém domácím 27 palcovém monitoru, který mi poskytoval dostatečně velké zorné pole pro odhalení případných nežádoucích prvků.

V následující etapě bylo nutné takto selektované fotografie převést do černobílého formátu, ve kterém byly posléze nahrány do vyhodnocovacího softwaru. K této operaci byl použit bezplatný grafický program *Gimp 2* (Kimball et al., GIMP Development Team 2015). V první řadě jsem nahrál konkrétní snímek a následně jsem zvolil možnost *Vrstva/Duplikovat vrstvu*, čímž jsem si vytvořil pracovní kopii,

se kterou jsem upravovaný snímek mohl pohodlně porovnávat s originálním. Dále bylo nutné si tuto vrstvu posunout v panelu s vrstvami na druhou pozici pouhým přetažením levého tlačítka. Následně bylo nutné vybrat zpětně upravovaný snímek jeho „nakliknutím“ v panelu *Vrstvy*. Následně jsem v záložce *Barvy* použil možnost *Odstín – sytost* a v dialogovém okně jsem postupně vybral z primárních barev žlutou a zelenou, u kterých jsem postupně nastavil rozmezí odstínu, světlosti a sytosti na minimální hodnotu (-180). Poté jsem opět v záložce *Barvy* zvolil možnost *Práh...*, kde jsem jako výchozí hodnotu použil vždy automatické nastavení, které program umožňuje. V tuto chvíli jsem v panelu *Vrstvy* kliknul na ikonku „oka“, čímž se mi zneviditelnila vrstva s upravovaným obrázkem a viditelná zůstala pouze vrstva s originálním snímkem. Opětovným zviditelněním a následným zneviditelněním upravované vrstvy jsem mohl porovnávat detaily v problematických místech a podle toho, jak odpovídaly skutečnosti, jsem mohl libovolně posunovat prahovou hodnotu tak, abych dosáhl nejpřesnějšího výsledku. Nutno podotknout, že každým odklonem od automatického nastavení se sice zvyšovalo zatížení subjektivní chybou (Inoue et al. 2011), ale kvůli podmračenému počasí, které panovalo v průběhu focení v terénu, bylo občas nutné dodatečné upravení automaticky zvolené prahové hodnoty. V těchto případech totiž program nedokázal přesně rozlišit oblačnost od korunového zápoje. Dále bylo také důležité ujistit se, že v případných přesvětlených místech nedochází ke zkreslení prvků korunového zápoje. Rovněž bylo nutné se zaměřit na možná osvětlená místa mimo korunový zápoj, jako třeba kmeny s lesklou borkou nebo osvětlené předměty na zemi, které by mohly být mylně považovány za součást korunového zápoje.

Na samotné vyhodnocení takto upravených fotografií jsem použil program *WinSCANOPY* (Regent Instruments 2012), který jsem mohl využít díky licenci zakoupené naší fakultou, neboť je to program placený (detailní popis nastavení v oknech programu viz Mevald 2016). Prvním krokem bylo nutné ověřit, že přednastavený soubor se základní konfigurací odpovídá parametrům upravených snímků. Mezi těmito parametry byla nejdůležitější velikost výřezu, jeho umístění a rozlišení fotografie. Vzhledem k tomu, že pro focení na lokalitách byl použit stejný fotoaparát, jako při bakalářské práci, byl v rámci analýzy použit stejný konfigurační soubor. Pro vložení konfiguračního souboru bylo nutné v programu zvolit záložku

Misc, kde jsem zvolil možnost *Load configuration*, a ze seznamu souborů vybral požadovaný soubor. Dále bylo nutné v záložce *Radiation* zvolit možnost *Radiation parameters*, kde bylo potřeba zadat údaje o délce vegetační doby (*Growing season*) od 1.4. do 30.9. 2017. Poté jsem pokaždé kliknutím na ikonu diskety vybral konkrétní snímek. Po jeho nahrání jsem si vyvolal dialogové okno karty *Identification*, kde bylo nutné vyplnit u každého snímku údaje o nadmořské výšce (*Altitude*), hodnotě sklonu (*Slope*) ve stupních a orientace (*Aspect*) rovněž ve stupních. Hodnoty orientace jsem naměřil v terénu a bylo je před vložením do programu nutné upravit takovým způsobem, od hodnot přesahujících 180 stupňů bylo nutné odečíst hodnotu 360, aby je program byl schopen zpracovat. Poslední údaj, který bylo nutné nastavit, jsem zadával na kartě *Hemisphere identification parameters*, kam se dalo dostat rozkliknutím dodatečného nastavení na kartě *Identification*. Zde bylo nutné zvolit, zda je snímek orientován k pravému či magnetickému severu. Jelikož jsem v terénu určoval sever pomocí buzoly, zaškrtl jsem možnost *Magnetic north* a zadal hodnotu deklinace, kterou jsem získal z aplikace na portálu Národního střediska pro informace o životním prostředí (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>), kde stačilo zadat zeměpisné souřadnice (viz obr. 7). Na začátku analýzy následujících snímků jsem jeho nahrání pokaždé nejprve otevřel záložku *Hemisphere* a zvolil možnost *Duplicate last*, což mělo za následek opětovné použití všech přednastavených parametrů.



Obr. 7. Vyhodnocení magnetické deklinace po zadání zeměpisných souřadnic v internetovém portálu (Zdroj: www.ngdc.noaa.gov, National Centers for Environmental Information, aplikace „Magnetic Field Calculators“).

U ostatních snímků jsem následně přepsal pouze hodnoty, které se u jednotlivých snímků lišily.

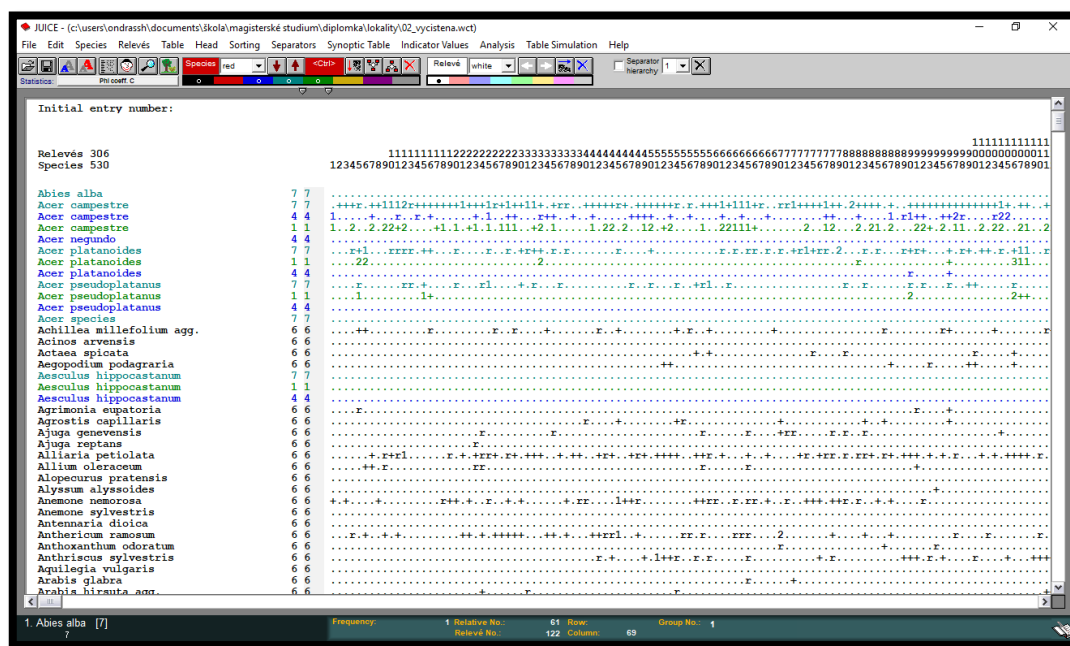
Výsledné hodnoty analýz všech fotografií byly programem uloženy do textového souboru, který bylo nutné pro další úpravy importovat do tabulkového programu Microsoft Excel 2016. U některých sloupců bylo nutné při importu změnit formát sloupce z „obecného“ na „text“, neboť si program občas s hodnotami nedovedl poradit, mylně je interpretoval jako datum. Pro následné analýzy byly hlavními pozorovanými parametry hodnoty přímého a difúzního slunečního záření nad porostem a pod ním. V rámci této práce jsem se také zaměřil na hodnotu indexu listové plochy (*LAI*), kterou program také vyhodnocuje. V neposlední řadě jsem pak použil hodnoty *Gap Fraction* a *Openness*, které reprezentují procento pixelů, které odpovídají obloze.

3.5 Získání údajů o druhové bohatosti z fytoocenologických snímků

Mezi proměnné, které figurovaly v závěrečných analýzách, byly v této práci zařazeny i indexy druhové bohatosti a početnosti. Abych však dostal relevantní hodnoty, bylo nutné omezit výběr takovým způsobem, aby odpovídal vybraným lokalitám. Součástí podkladů studie vegetační ekologie lesů v CHKO Český kras, které mi poskytl školitel, byly fytoocenologické snímky ze všech lokalit, které jsem pro tuto práci vybral. Součástí fytoocenologických snímků byl seznam jednotlivých druhů s jejich početnostmi odpovídajícími dané ploše, kde byl snímek pořizován, a jejich rozčlenění do vertikální struktury v ekosystému. Poněvadž jsem se v práci zaměřoval pouze na bylinné patro a po konzultaci s vedoucím práce jsme nakonec zahrnuli i juvenilní jedince a jedince keřového patra, bylo nutné hodnoty spočítat pro každou z těchto skupin zvlášť.

Díky tomu, že poskytnutá data byla v elektronické podobě, jsem pro tyto účely použil program *Juice 7* (Tichý 2002; viz obr. 8). Data jsem do programu nahrál standardně přes záložku *File/Open* a vybral patřičný soubor s příponou *wct*. V hlavním okně programu se mi zobrazil seznam všech druhů a fytoocenologických snímků seřazených ve sloupcích. Pro získání pouze skupiny bylin bylo nutné nejprve seřadit druhy podle jejich vertikálního členění. Toho jsem jednoduše docílil zvolením možnosti *Sort Species by Species Data (Layer, EIV. etc)* v záložce *Sorting*, načej se

mi zobrazilo dialogové okno *Species Data Sorting Parameters*, kde bylo možné vybrat parametry, podle kterých se druhy budou řadit. Vybral jsem možnost seřadit sestupně podle čísel jednotlivých vegetačních pater, kterým druhy příslušely. Následně jsem v panelu nástrojů vybral libovolnou barvu z barevné palety *Species* a kliknutím pravého tlačítka na konkrétní druh ho touto barvou označil. Abych nemusel takto klikat jeden druh po druhém, bylo možné s podržením klávesy *Shift* kliknout na poslední nechtěný druh a všechny druhy nacházející se mezi prvním označeným a posledním se automaticky obarvily danou barvou. Když jsem takto obarvil všechny druhy, které jsem ve svém výběru nechtěl (například fialově), stačilo v záložce *Species* zvolit možnost *Delete VIOLET species* a obarvené druhy byly vymazány. Soubor s druhy z konkrétního vegetačního patra jsem uložil zvlášť a následně postup zopakoval pro další dvě skupiny.



Obr. 8. Prostředí programu na zpracování fytoocenologických snímků Juice 7.

Dalším krokem bylo získání hodnot *Shannon-Wienerova* indexu druhové bohatosti a početnosti druhů v rámci jejich vegetačního patra. S nahráním souborem konkrétní skupiny druhů jsem použil možnost *Remove species colour/ALL* v záložce *Species*. Všechny zobrazené druhy se mi po tomto nastavení obarvily na jednotnou černou barvu. Pro získání hodnoty *Shannon-Wienerova* indexu jsem v záložce *Head* zvolil možnost *Store Values to Short Headers* a zde jsem z nabídky vybral možnost *Diversity Indices/Shannon-Wiener Index*. Program pak spočítané hodnoty vypsal do

hlavičky k jednotlivým snímkům. Abych s nimi mohl dále pracovat, bylo je nutné exportovat. V záložce *File* jsem proto zvolil možnost *Export/Export short headers* a soubor uložil s příponou *csv*, abych jej mohl následně pohodlně importovat do tabulkového programu Microsoft Excel 2016. Obdobným způsobem jsem získal hodnoty početnosti druhů ve snímcích s tím rozdílem, že v nabídce *Store Values to Short Headers* jsem zvolil možnost *Number of BLACK Species*. Tímto krokem se v hlavičce každého snímku zobrazily hodnoty počtu jednotlivých druhů a bylo je možné opět přes možnost *Export/Export Short Headers* exportovat do *csv* souboru.

3.6 Úprava primárních dat a jejich povaha

Před samotnými analýzami bylo důležité všechna nashromážděná relevantní data připravit do jednoho listu, aby s nimi mohly statistické programy bez problému pracovat. Primární data bylo nutné přehledně uspořádat a v rámci prvního řádku takto vzniklé tabulky jednoznačně pojmenovat jednotlivé proměnné krátkými unikátními názvy bez interpunkce.

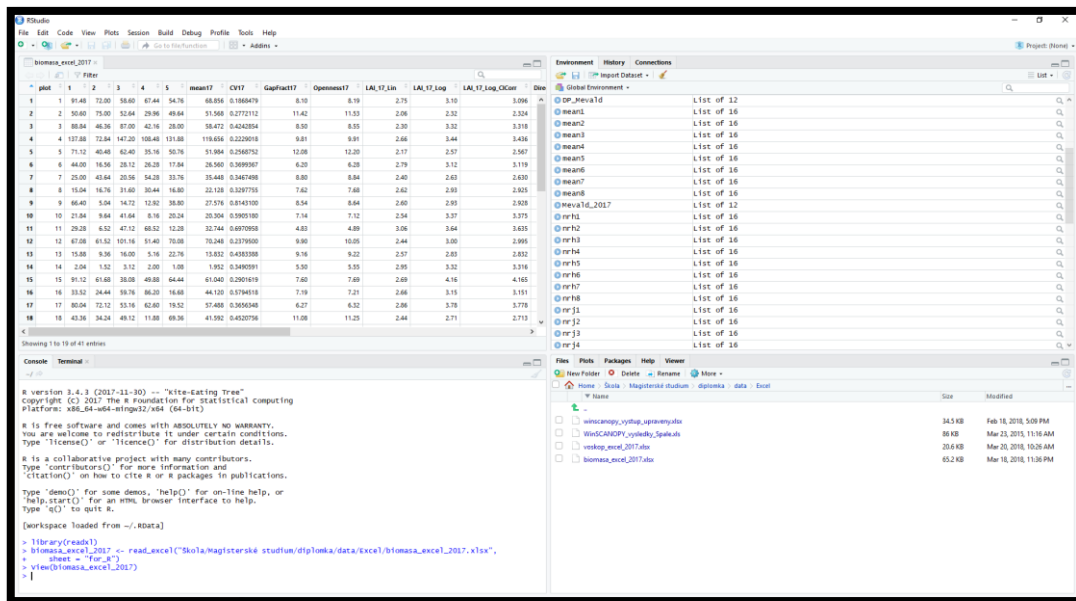
Následujícím krokem bylo stanovení povahy jednotlivých proměnných. Jelikož jsem používal regresní modely, bylo nutné určit, které z proměnných jsou tzv. závislé (vysvětlované) nebo nezávislé (vysvětlující). Závislé proměnné jsou přitom takové proměnné, jejichž chování se snažíme vysvětlit. Tyto proměnné v modelu vystupují jako výsledek působení vysvětlujících (nezávislých) proměnných. Oproti nim stojí proměnné nezávislé, které v modelu vystupují jako tzv. příčinné proměnné, což znamená, že v důsledku jejich změny se vysvětlovaná proměnná mění. V rámci této práce jako závislé proměnné vystupovaly hodnoty množství nadzemní biomasy bylin, které byly pro účely následné interpretace dat převedeny na jednotku $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. Další závislou proměnnou byl koeficient variability, který byl vypočten na základě hodnot průměru a směrodatné odchylky pěti opakovaných sběrů nadzemní biomasy bylin na jednotlivých lokalitách. Dále byla tato studie oproti předcházející bakalářské práci rozšířena o další závislé proměnné, konkrétně o hodnoty Shannon-Wienerova indexu druhové bohatosti jedinců bylinného patra a juvenilních druhů a početnosti druhů obou těchto skupin a skupiny zástupců keřového patra. Hodnoty Shannon-Wienerova indexu nabývaly relativních hodnot, přičemž početnosti druhů jsou uváděny v hodnotách absolutních. Jako

nezávislé proměnné jsem v rámci práce uvažoval hodnoty intenzity slunečního záření dopadajícího do bylinného patra, které byly uváděny v jednotkách MJ nebo Mol m⁻² den⁻¹. I nezávislé proměnné byly v této práci rozšířeny o hodnoty indexu listové plochy (LAI), které byly stanoveny dvěma různými způsoby, jak se zmiňují v kapitole Výsledky. Hodnoty indexu listové plochy nabývaly relativních hodnot podobně jako hodnoty Shannon-Wienerova indexu druhové bohatosti.

Veškeré hodnoty, které v této práci uvažuji, se obecně řadí mezi tzv. kontinuální (spojité) proměnné, protože na rozdíl od proměnných kategorických mohou nabývat libovolných (kladných) hodnot. Všechny použité závislé i nezávislé proměnné můžeme z hlediska jejich povahy zařadit mezi tzv. poměrová data. Jedná se o typ kvantitativních biologických dat, která zpravidla reprezentují měřitelná množství např. energie nebo hmoty. Typickou obecnou vlastností těchto dat je konstantní rozdíl mezi přílehlými jednotkami (např. mezi 4 a 5 je srovnatelný rozdíl jako mezi 7 a 8) a smysluplná hodnota nuly. V rámci těchto dat má smysl hovořit o poměrech, např. 4 cm je dvakrát více než 2 cm. Odtud také dostal typ těchto dat svůj název (Lepš & Šmilauer 2016).

3.7 Statistické vyhodnocení nasbíraných dat

K analyzování nashromážděných dat jsem použil program *R* (R Core Team 2017). Pro pohodlnější práci se statistickým programem jsem použil program *RStudio*, který umožňuje práci v programovacím jazyce R v uživatelsky příjemnějším prostředí. To zahrnuje například zvýraznění syntaxe, a především funkci nabídky doplnění kódu či názvů souborů a vytvořených objektů, kterou jsem velice často využíval. Po zapnutí programu se zobrazí grafické rozhraní zobrazené do čtyř kvadrantů. V pravém dolním kvadrantu jsem přes adresářovou strukturu vybral upravený soubor s primárními daty a po kliknutí na něj mi vyjela nabídka, kde jsem zvolil možnost *Import Dataset*. V dialogovém okně bylo možné si prohlédnout importovaná data a případně vybrat konkrétní list zvoleného tabulkového souboru. Po vybrání správného listu jsem zvolil možnost *Import*. Načtená data se mi v náhledu zobrazila v levém horním kvadrantu a do konzole v levém spodním kvadrantu se vypsaly řádky kódu, které tento úkon provedly (viz obr. 9).



Obr. 9. Uživatelské rozhraní programu RStudio po importu primárních dat.

V první řadě jsem vyhodnocoval data nasbíraná v sezóně 2017. Abych si udělal vizuální představu o tom, jaká míra korelace mezi jednotlivými proměnnými existuje, vytvořil jsem před samotnou analýzou sérii jednoduchých grafů, na kterých jsem mohl ihned vidět, zda jsou či nejsou proměnné korelované. Nejdříve bylo nutné mnou nahraný soubor ukotvit v paměti programu příkazem *attach*. Příkazem *par(mfrow=c(3,2))* jsem nejprve definoval, kolik grafů program v rámci výstupu má vytvořit v jednotlivých řádcích a sloupcích. Takto program věděl, že bude vytvářet dohromady šest grafů ve třech řádcích a dvou sloupcích. Následně jsem příkazem *plot(nezávislá, závislá)*, do jehož parametrů byla vždy uvedena dvojice porovnávaných proměnných v jasně daném pořadí, nadefinoval, které proměnné budou na jednotlivých grafech vykresleny. Pro samotné vyhodnocení primárních dat ze sezóny 2017 byl použit lineární model regresní analýzy.

Příkaz *summary(Mevald_2017<-lm(mean17~GapFract17))* definoval, kam se budou výpočty ukládat (objekt *Mevald_2017*) a které proměnné budou mezi sebou analyzovány (*mean17* – závislá, *GapFract17* – nezávislá). Obdobným postupem jsem následně analyzoval všechny dvojice proměnných.

Poslední analýzou spojenou s daty z oblasti Liteňska bylo vytvoření korelační matice mezi koeficientem variability a proměnnými reprezentujícími druhovou diverzitu a jejich početnost. Příkazem *cor(Litensko[, -c(1:7, 9:17, 23)])* jsem určil, které proměnné budou analyzovány, protože zvolené proměnné neprojevovaly známky

vzájemné korelace, v další kroku jsem na ně pomocí příkazu `lm(formula = sw_herbs_17 ~ CV17, data = Litensko)` aplikoval opět lineární model.

V druhé řadě jsem se zaměřil na data nasbíraná v sezóně 2014 na trvalých zkušných plochách v PR Na Voskopě. Pro tuto sadu dat nebylo možné použít standardní lineární model regrese, protože jednotlivé hodnoty jsou ovlivněny předem určeným designem uspořádání, a tudíž jsem jednotlivá měření nemohl považovat za navzájem nezávislá či nekorelovaná (Spurná 2008). Z tohoto důvodu byl pro vyhodnocení dat ze sezóny 2014 použit marginální regresní model, který zahrnoval tzv. pevný efekt prostorové pozice jednotlivých ploch. Abych však tento model mohl použít, bylo nutné do programu nejdříve nahrát příkazem `library(nlme)` knihovnu `nlme` (Pinheiro et al. 2017). Pro samotný výpočet pak byla použita funkce `gls` (= generalized least squares). Zadal jsem ji příkazem

```
mean1<-gls(mean14~GapFrac14,corr=corExp(form=~xcoord+ycoord)),
```

kde jako první byl uveden název objektu, do kterého budou výsledky uloženy (`mean1`), dále model použitý pro výpočet (`gls`) a následně dvojice analyzovaných proměnných (`mean14~GapFrac14`). Předposledním parametrem byla volba typu tzv. semivariogramu, které se nacházejí v knihovně `nlme`, kde v byl tomto případě použit semivariogram exponenciální prostorové závislosti (`corExp`). Na závěr bylo nutné definovat hodnoty „pevného efektu“, kterým byly v tomto případě zeměpisné souřadnice jednotlivých ploch v porostu (`form=~xcoord+ycoord`). Na vzniklý objekt s výstupem marginálního modelu bylo následně nutné použít jednofaktorovou analýzu rozptylu (ANOVA). Aplikoval jsem ji jednoduše pomocí příkazu `anova(mean1)`, kde v závorce byl vždy uveden konkrétní objekt, který byl právě analyzován. Dále bylo nutné získat hodnotu koeficientu determinace (R^2). Jelikož tato hodnota nebyla součástí výstupu marginálního modelu, bylo nutné ji odhadnout pomocí příkazu `cor(predict(mean1),voskop_excel_2017$mean14)^2`. S pomocí hodnoty koeficientu determinace bylo následně možné odhadnout, jaké procento variability závislé proměnné je vysvětleno pomocí proměnné nezávislé. Posledním krokem bylo určit směr závislosti u daných dvojic proměnných, pokud se nějaká projevila. Abych tento údaj zjistil, bylo nutné na všechny objekty, na které byl použit marginální model `gls`, aplikovat příkaz `summary`, který mimo jiné vypsal hodnotu

koeficientů dané proměnné. Pokud byla hodnota kladná, směr závislosti byl kladný a naopak. Stejným způsobem jsem postupoval u všech dalších dvojic proměnných.

Veškeré výsledky byly následně exportovány do textového souboru. Z něho jsem poté ručně přepsal potřebné hodnoty v přehledné formě do tabulkového programu Microsoft Excel 2016. Z něj byly následně všechny relevantní výsledky přepsány do přehledných tabulek v programu Microsoft Word 2016.

Posledním krokem bylo vytvoření dvou krabicových grafů v programu *STATISTICA* (TIBCO Software Inc. 2017) pro ověření třetí formulované hypotézy. Nejprve jsem musel záznamy z obou oblastí rozdělit na dvě stejně velké skupiny podle naměřených hodnot LAI. První skupina obsahovala plochy s nižšími naměřenými hodnotami LAI a druhá skupina plochy s vyššími hodnotami LAI. V programu Microsoft Excel jsem vytvořil nový list, do kterého jsem vložil takto seřazené plochy s hodnotami průměrné hmotnosti biomasy bylinného podrostu. Jako identifikátory pro jednotlivé skupiny jsem použil „LAI nízké“ a „LAI vysoké“. Takto připravená primární data jsem nahrál do programu *STATISTICA*, kde jsem využil možnosti nahrát konkrétní list (*Import selected sheet to a Spreadsheet*). Zaškrtnutím checkboxu *Get variable names from first row* program převzal z prvního řádku názvy proměnných. Následně jsem v záložce *Graphs* vybral typ grafu *Box*, vybral vstupní proměnné a v záložce *Advanced* jsem v poli *Statistics* zaškrtnul checkbox *F test and p (ANOVA)*. Program poté zobrazil grafický výstup a současně analyzoval proměnné pomocí testu o shodnosti (homogenitě) rozptylů dvou nezávislých výběrů (F-test) a analýzou rozptylu (ANOVA). Posledním krokem bylo upravení formální podoby grafu, řádné popsání jednotlivých os a zvolení vhodného rozsahu. Pro vytvoření grafu byly použity nekorigované hodnoty LAI, protože tzv. shlukování (*clumping*) listů či jehlic vůči kterému byla druhá hodnota korigována, ovlivňuje především jehličnaté a v menší míře v listnaté porosty, kterých byla na zkoumaných plochách převaha.

4. Výsledky

V rámci této práce byly formulovány tři hypotézy, které jsem se rozhodl ověřit. V následujících podkapitolách nejprve představím jednotlivé proměnné a jejich význam společně s jejich naměřenými hodnotami. Zároveň bude postupně uvedeno, která data souvisí s jednotlivými hypotézami, pro přehlednou orientaci.

4.1 Vliv světelných podmínek na produkci biomasy

Po úpravě primárních dat byly naměřené hodnoty analyzovány v programu *RStudio* pomocí lineárního modelu regresní analýzy. V rámci první hypotézy, která ověřovala, zda zvýšený světelný příkon do bylinného patra vede k větší intenzitě tvorby biomasy, byla porovnávána všechna nashromážděná radiační data s množstvím nasbírané biomasy bylinného patra na jednotlivých plochách. V rámci této hypotézy jsem práci rozšířil o porovnání s dalšími závislými proměnnými, abych mohl posoudit, zda zvolené nezávislé proměnné nemohou být použity pro jejich vysvětlení. V jednotlivých tabulkách jsou z důvodu přehlednosti použity zkratky jednotlivých proměnných. Podrobněji jsou jednotlivé proměnné popsány v tabulce 1.

Tab. 1. Vysvětlení zkratk jednotlivých proměnných použitých ve všech analýzách.

Název proměnné	Jednotka	Význam
<i>Mean</i>	g m ⁻²	průměrná hmotnost biomasy
<i>CV</i>	%	koeficient variability produkce biomasy na jednotlivých plochách
<i>GapFract</i>	%	počet pixelů fotografie klasifikovaných jako obloha v regionu
<i>Openness</i>	%	procento otevřené oblohy na snímku (reálné podmínky)
<i>Direct</i>	Mol m ⁻²	naměřená hodnota přímého záření
<i>Diffuse</i>	Mol m ⁻²	naměřená hodnota difúzního záření
<i>Total</i>	Mol m ⁻²	součet hodnot přímého a difúzního záření
<i>Fullsun</i>	%	relativní ozářenost – poměr dopadajícího záření pod porostem vůči záření nad porostem v %
<i>LAI_Lin</i>	-	naměřená hodnota indexu listové plochy z obecné lineární metody Licor LAI2000 (nekorigováno)

Tab. 1. – pokračování

Název proměnné	Jednotka	Význam
<i>LAI_Log_ClCorr</i>	-	naměřená hodnota indexu listové plochy z obecné logaritmické metody Licor LAI2000 (korigováno na vertikální heterogenitu celkovým Clumping indexem)
<i>SW_herbs</i>	-	vypočtená hodnota Shannon-Wienerova indexu druhové bohatosti pro jedince bylinného patra
<i>SW_juv</i>	-	vypočtená hodnota Shannon-Wienerova indexu druhové bohatosti pro juvenilní jedince
<i>nr_herbs</i>	počet	absolutní početnost druhů bylinného patra
<i>nr_juv</i>	počet	absolutní početnost juvenilních druhů
<i>nr_shrub</i>	počet	absolutní početnost druhů keřového patra

Pro jednoduchou orientaci v hodnotách uvedených v tabulkách s výsledky analýz jsem rovněž vytvořil přehledové tabulky, ve kterých je možné si prohlédnout základní statistické charakteristiky jednotlivých proměnných. V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty pro proměnné měřené v oblasti Liteňska.

Tab. 2. Přehled základních statistických charakteristik zkoumaných proměnných z oblasti **Liteňska**. Význam jednotlivých proměnných je uveden v tabulce 1.

Proměnná	Min	Max	Průměr
<i>Mean</i>	1,95	119,66	42,50
<i>CV</i>	0,11	0,86	0,38
<i>GapFract</i>	4,42	12,86	7,74
<i>Openness</i>	4,45	13,05	7,79
<i>Direct</i>	1,23	12,82	5,70
<i>Diffuse</i>	0,41	1,37	0,77
<i>Total</i>	2,09	13,80	6,47
<i>FullSun</i>	4,25	22,99	11,67
<i>LAI_Lin</i>	2,06	3,12	2,60
<i>LAI_Log_ClCorr</i>	2,32	4,17	3,13
<i>SW_herbs</i>	1,98	3,63	3,08
<i>SW_juv</i>	1,86	2,72	2,36
<i>nr_herbs</i>	9	46	27
<i>nr_juv</i>	7	16	12
<i>nr_shrub</i>	0	8	3

V tabulce 3 jsou uvedeny tyto charakteristiky pro proměnné z experimentální plochy v přírodní rezervaci Na Voskopě, neboť jsou v rámci práce rovněž použity.

Tab. 3. Přehled základních statistických charakteristik zkoumaných proměnných z PR Na Voskopě. Význam jednotlivých proměnných je uveden v tabulce 1.

Proměnná	Min	Max	Průměr
<i>Mean</i>	2,58	60,18	17,51
<i>CV</i>	0,16	1,21	0,51
<i>GapFract</i>	1,82	7,47	4,11
<i>Openness</i>	1,82	7,47	4,11
<i>Direct</i>	0,62	4,17	1,79
<i>Diffuse</i>	0,14	0,58	0,32
<i>Total</i>	0,76	4,7	2,12
<i>Fullsun</i>	1,7	10,8	4,86
<i>LAI_Lin</i>	2,47	3,94	3,21
<i>LAI_Log_ClCorr</i>	3,53	5,93	4,71
<i>SW_herbs</i>	2,65	3,49	3,09
<i>SW_juv</i>	1,99	2,74	2,46
<i>nr_herbs</i>	15	38	27
<i>nr_juv</i>	8	16	13
<i>nr_shrub</i>	0	11	4

V prvé řadě byly posuzovány proměnné z oblasti Liteňska. V tabulce 4 jsou uvedeny výsledky lineárních modelů regresní analýzy jednotlivých dvojic proměnných. Zde se podařilo odhalit statisticky prokazatelnou závislost hned v několika případech. Proměnná *Mean* projevila pozitivní závislost na proměnné *Gapfract* s hodnotou koeficientu determinace 8,06 %. Dále projevila pozitivní závislost na proměnné *Openness* ($R^2 = 8,16$ %) a procentuálně byla prakticky stejnou měrou závislá i na hodnotách přímého ($R^2 = 7,69$ %) a difúzního ($R^2 = 7,54$ %) záření. Hodnota součtu obou těchto záření (proměnná *Total*) se ukázala rovněž vhodnou vysvětlující proměnnou ($R^2 = 8,23$ %) pro produktivitu bylinného patra. V rámci této práce jsem nezávislé proměnné rozšířil o hodnoty indexu listové plochy (proměnné *LAI_Lin* a *LAI_Log_ClCorr*), které se však neprokázaly v této datové sadě jako vhodné vysvětlující proměnné. Pouze v případě porovnání s hodnotou průměrné hmotnosti biomasy (*Mean_Li~LAI_Lin*) by se mohlo uvažovat o náznaku pravděpodobného trendu (viz tabulka 4 – podtržená hodnota). Hodnota relativní ozářenosti (proměnná *FullSun*) se v tomto případě ukázala jako slabý prediktor.

Druhá závislá proměnná (CV) neprokázala závislost na žádné ze zkoumaných vysvětlujících proměnných. Variabilita produkce biomasy bylinného patra je zřejmě ovlivněná jinými faktory.

Tab. 4. Výsledky lineárních modelů regresní analýzy pro jednotlivé dvojice proměnných z oblasti **Liteňska**. Signifikantní výsledky jsou tučně zvýrazněny a je u nich uvedena dosažená hodnota pravděpodobnosti ve sloupci Signifikance. Podtržená hodnota reprezentuje naznačení sice nesignifikantního, ale pravděpodobného trendu u této proměnné. Význam jednotlivých proměnných je uveden v tabulce 1.

Proměnné		Výsledky		Směr závislosti
Závislá	Nezávislá	R ² (%)	Signifikance	+/-
<i>Mean</i>	GapFract	8,06	0,042	+
	Openness	8,16	0,041	+
	Direct	7,69	0,046	+
	Diffuse	7,54	0,048	+
	Total	8,23	0,041	+
	<i>FullSun</i>	-	NS	
	<i>LAI_Lin</i>	<u>3,46</u>	<u>0,130</u>	-
	<i>LAI_Log_ClCorr</i>	-	0,846	+
<i>CV</i>	<i>GapFract</i>	-	NS	
	<i>Openness</i>	-	NS	
	<i>Direct</i>	-	NS	
	<i>Diffuse</i>	-	NS	
	<i>Total</i>	-	NS	
	<i>FullSun</i>	-	NS	
	<i>LAI_Lin_</i>	-	0,847	-
	<i>LAI_Log_ClCorr</i>	-	0,886	+

V druhé fázi pak byly porovnávány proměnné z oblasti přírodní rezervace Na Voskopě. V tomto případě jsem nemohl použít klasický lineární model regresní analýzy, neboť jednotlivé plochy v PR Na Voskopě jsou umístěny relativně blízko u sebe. Z tohoto důvodu se musel vyloučit vliv případně prostorové autokorelace naměřených dat. Pro tyto účely byl použit marginální regresní model, který zahrnoval tzv. pevný efekt prostorové pozice jednotlivých ploch, resp. zeměpisných souřadnic. V tabulce 5 jsou uvedeny výstupy marginálních regresních modelů z oblasti přírodní rezervace Na Voskopě. Statisticky významnou závislost se podařilo prokázat v případě koeficientu variability produkce nadzemní biomasy. Negativní

závislost se projevila na proměnné *Gapfract* s hodnotou koeficientu determinace 9,91 %. Ve srovnatelné míře byla prokázána negativní závislost na proměnné *Openness* ($R^2 = 9,81$ %) a pozitivní závislost na proměnné *LAI_Lin* ($R^2 = 9,38$ %). Rovněž se projevila také závislost na hodnotě difúzního záření ($R^2 = 7,66$ %). Závislosti na zbylých vysvětlovaných proměnných nebyly statisticky průkazné. V případě proměnné *Mean* nebyla prokázána signifikantní závislost na žádné ze zvolených nezávislých proměnných.

Tab. 5. Výsledky marginálních regresních modelů se zahrnutím pevného efektu prostorové pozice zkoumaných ploch v **PR Na Voskopě**. Signifikantní výsledky jsou tučně zvýrazněny a je u nich uvedena hodnota pravděpodobnosti ve sloupci Signifikance. Podtržená hodnota reprezentuje marginální signifikanci této proměnné. Význam jednotlivých proměnných je uveden v tabulce 1.

Proměnné		Výsledky		Směr závislosti
Závislá	Nezávislá	R ² (%)	Signifikance	+/-
<i>Mean</i>	<i>GapFract</i>	20,25	0,184	+
	<i>Openness</i>	19,94	0,192	+
	<i>Direct</i>	12,01	0,529	-
	<i>Diffuse</i>	10,77	0,552	+
	<i>Total</i>	2,74	0,624	-
	<i>FullSun</i>	12,81	0,646	-
	<i>LAI_Lin</i>	16,58	0,184	-
	<i>LAI_Log_ClCorr</i>	11,67	0,372	-
<i>CV</i>	<i>GapFract</i>	9,91	0,048	-
	<i>Openness</i>	9,81	0,049	-
	<i>Direct</i>	3,03	0,450	-
	<i>Diffuse</i>	7,66	0,085	-
	<i>Total</i>	3,76	0,312	-
	<i>FullSun</i>	3,77	0,313	-
	<i>LAI_Lin</i>	9,38	0,055	+
	<i>LAI_Log_ClCorr</i>	4,08	0,302	+

4.2 Faktory ovlivňující alfa diverzitu bylinného patra

V rámci druhé hypotézy jsem se snažil prokázat, zda je alfa-diverzita silněji závislá na prostorové heterogenitě světelných podmínek než na absolutní hodnotě intenzity světla v podrostu. Pro tyto účely jsem se rozhodl použít koeficient variability produkce biomasy (proměnná *CV*) jako zástupnou proměnnou v odhadu heterogenity

světelných podmínek. Pro ověření použitelnosti této proměnné jako vysvětlující, bylo nutné nejdříve sestavit korelační matici, která měla za úkol ověřit míru nezávislosti na ostatních vysvětlovaných proměnných (viz tab. 6). Pro následné porovnání byly použity hodnoty z obou studovaných oblastí (Voskop a Liteňsko).

Tab. 6. Tabulka korelačních koeficientů proměnných reprezentujících diverzitu druhů, vzhledem k hodnotám koeficientu variability produkce biomasy (kód CV). Význam jednotlivých proměnných je uveden v tabulce 1.

Proměnná	CV
Liteňsko	
<i>SW_herbs</i>	0,135
<i>SW_juv</i>	- 0,001
<i>Nr_herbs</i>	- 0,019
<i>Nr_juv</i>	0,012
<i>Nr_shrub</i>	0,403
Voskop	
<i>SW_herbs</i>	- 0,333
<i>SW_juv</i>	0,184
<i>Nr_herbs</i>	- 0,497
<i>Nr_juv</i>	0,162
<i>Nr_shrub</i>	- 0,124

Na základě ověření nízké vzájemné korelace s ostatními proměnnými jsem mohl pokračovat v následné analýze. V tabulce 7 jsou uvedeny výsledky lineárních modelů zvolených proměnných. V případě oblasti Liteňska projevila pouze hodnota početnosti druhů keřového patra (proměnná *Nr_shrub*) pozitivní závislost na proměnné CV s hodnotou koeficientu determinace 14 %. U ostatních proměnných se statisticky významnou závislost nepodařilo prokázat. Analýzou dat z PR Na Voskopě se však podařilo objevit hned několik negativních signifikantních závislostí. V první řadě byla prokázána negativní závislost počtu druhů bylinného patra (proměnná *Nr_herbs*) na proměnné CV s nejvyšší hodnotou koeficientu determinace 24,73 %. Dále se jevila závislost hodnota Shannon-Wienerova indexu pro bylinné patro ($R^2 = 11,06$ %) a na hranici významnosti byla prokázána závislost počtu druhů keřového patra ($R^2 = 1,53$ %).

Na základě dat fytoecologických snímků z jednotlivých zkoumaných ploch v oblasti Liteňska jsem použil hodnoty Shannon-Wienerova indexu pro bylinné patro (proměnná *SW_herbs*) a pro juvenilní jedince (proměnná *SW_juv*).

Tab.7. Výsledky lineárních a marginálních modelů regresní analýzy pro jednotlivé dvojice proměnných z oblasti **Liteňska** a **PR NA Voskopě**. Signifikantní výsledky jsou tučně zvýrazněny a je u nich uvedena hodnota pravděpodobnosti ve sloupci Signifikance. Podtržená hodnota reprezentuje marginální signifikanci této proměnné. Význam jednotlivých proměnných je uveden v tabulce 1.

Proměnné		Výsledky		Směr závislosti
Závislá	Nezávislá	R ² (%)	Signifikance	+/-
Liteňsko				
<i>SW_herbs</i>	<i>CV</i>	-	NS	
<i>SW_juv</i>	<i>CV</i>	-	NS	
<i>Nr_herbs</i>	<i>CV</i>	-	NS	
<i>Nr_juv</i>	<i>CV</i>	-	NS	
<i>Nr_shrub</i>	<i>CV</i>	14,00	0,010	+
Voskop				
<i>SW_herbs</i>	<i>CV</i>	11,06	0,040	-
<i>SW_juv</i>	<i>CV</i>	-	NS	
<i>Nr_herbs</i>	<i>CV</i>	24,73	0,003	-
<i>Nr_juv</i>	<i>CV</i>	-	NS	
<i>Nr_shrub</i>	<i>CV</i>	<u>1,53</u>	<u>0,091</u>	-

V tabulce 8 můžeme vidět, že proměnná *SW_herbs* projevila pozitivní závislost na téměř všech světelných vysvětlujících proměnných. Nejvyšší míru závislosti projevila na hodnotě difúzního záření s hodnotou koeficientu determinace 14,64 %. Jen o pár procent méně projevila závislost rovněž na proměnné *GapFract* ($R^2 = 10$ %) a *Openness* ($R^2 = 10,38$ %). V poslední řadě se prokázala závislost na celkové hodnotě záření ($R^2 = 4,60$ %) a dokonce i na hodnotě relativní ozáření ($R^2 = 5,65$ %), která se v souvislosti s předchozími závislými proměnnými ukázala jako slabý prediktor.

V souvislosti s hodnotou přímého záření nebyla prokázána signifikantní závislost stejně jako v případě hodnot indexu listové plochy. Hodnoty signifikance a směr závislosti u proměnných LAI jsou pro uvedeny pro představu, do jaké míry závislé proměnné ovlivňují. Žádná z uvedených vysvětlujících proměnných rovněž neměla prokazatelný vliv na hodnotu Shannon-Wienerova indexu juvenilních jedinců. Společně s hodnotami diverzity jsem se rozhodl využít i informaci o početnosti jednotlivých druhů bylinného, keřového patra a juvenilních jedinců na zkoumaných plochách na Liteňsku.

Tab. 8. Výsledky lineárních modelů regresní analýzy pro jednotlivé dvojice proměnných z oblasti **Liteňska**. Signifikantní výsledky jsou tučně zvýrazněny a je u nich uvedena hodnota pravděpodobnosti ve sloupci Signifikance. Podtržená hodnota reprezentuje marginální signifikanci této proměnné. Význam jednotlivých proměnných je uveden v tabulce 1.

Proměnné		Výsledky		Směr závislosti
Závislá	Nezávislá	R ² (%)	Signifikance	+/-
SW_hebs	GapFract	10,00	0,027	+
	Openness	10,38	0,024	+
	Direct	3,46	0,130	+
	Diffuse	14,64	0,009	+
	Total	4,60	0,098	+
	FullSun	5,62	0,076	+
	LAI_Lin	-	NS	-
	LAI_Log_ClCorr	-	NS	+
SW_juv	nenalezen signifikantní model			

Tyto proměnné jsem se stejným způsobem pokoušel vysvětlit vybranými nezávislými proměnnými. V tabulce 9 můžeme vidět, že se podařilo odhalit další proměnnou, kterou zvolené nezávislé proměnné do určité míry mohou vysvětlit. Prokazatelná závislost se projevila v případě počtu druhů bylinného patra (proměnná NR_hebs). Zde se podobně jako v případě hodnoty Shannon-Wienerova indexu bylinného patra projevila pozitivní závislost s několika radiačními proměnnými.

Tab. 9. Výsledky lineárních modelů regresní analýzy pro jednotlivé dvojice proměnných z oblasti **Liteňska**. Signifikantní výsledky jsou tučně zvýrazněny a je u nich uvedena hodnota pravděpodobnosti ve sloupci Signifikance. Význam jednotlivých proměnných je uveden v tabulce 1.

Proměnné		Výsledky		Směr závislosti
Závislá	Nezávislá	R ² (%)	Signifikance	+/-
NR_hebs	GapFract	8,50	0,038	+
	Openness	8,90	0,035	+
	Direct	-	NS	
	Diffuse	12,21	0,015	+
	Total	-	NS	+
	FullSun	-	NS	
	LAI_Lin	-	NS	
	LAI_Log_ClCorr	-	NS	
NR_juv	nenalezen signifikantní model			
NR_shrub	nenalezen signifikantní model			

Nejsilnější závislost se projevila opět na hodnotě difúzního záření s hodnotou koeficientu determinace 12,21 %. Srovnatelnou závislost projevila na proměnných *GapFract* ($R^2 = 8,50\%$) a *Openness* ($R^2 = 8,90\%$). V případě přímého slunečního záření, celkové hodnoty záření (proměnná *Total*), relativní ozáření a obou hodnot LAI se závislost neprojevila. Žádná z vybraných proměnných však neměla vliv na počet juvenilních druhů a jedinců keřového patra. Z toho vyplývá, že tyto proměnné jsou v přírodě pravděpodobně ovlivňovány jinými vnějšími vlivy.

V rámci vzájemného porovnání jsem provedl stejným způsobem analýzu s daty naměřenými v PR Na Voskopě. Obdobně jako u první hypotézy byl pro tuto oblast použit marginální regresní model, který zahrnoval pevný efekt prostorové pozice jednotlivých ploch, aby výsledky nebyly ovlivněny prostorovou autokorelací zkoumaných zkusných ploch.

V tabulce 10 jsou uvedeny výstupy marginálních regresních modelů vztahených k závislým proměnným Shannon-Wienerova indexu diverzity druhů bylinného patra a juvenilních jedinců. Na rozdíl od oblasti Liteňska se zde prokázala pouze negativní závislost proměnné *SW_herbs* na korigované hodnotě LAI s hodnotou koeficientu determinace 10,21 %.

Tab. 10. Výsledky marginálních regresních modelů se zahrnutím pevného efektu prostorové pozice zkoumaných ploch v PR Na Voskopě. Signifikantní výsledky jsou tučně zvýrazněny a je u nich uvedena hodnota pravděpodobnosti ve sloupci Signifikance. Význam jednotlivých proměnných je uveden v tabulce 1.

Proměnné		Výsledky		Směr závislosti
Závislá	Nezávislá	R^2 (%)	Signifikance	+/-
<i>SW_herbs</i>	<i>GapFract</i>	-	NS	
	<i>Openness</i>	-	NS	
	<i>Direct</i>	-	NS	
	<i>Diffuse</i>	-	NS	
	<i>Total</i>	-	NS	
	<i>FullSun</i>	-	NS	
	<i>LAI_Lin</i>	-	NS	
	<i>LAI_Log_CICorr</i>	10,21	0,064	-
<i>SW_juv</i>	nenalezen signifikantní model			

Žádná z dalších vybraných vysvětlujících proměnných neměla statisticky prokazatelný vliv na tuto proměnou a stejně tomu bylo i v případě hodnot SW indexu diverzity juvenilních jedinců (proměnná *SW_juv*).

Porovnány byly také hodnoty početností zástupců bylinného a keřového patra a juvenilních jedinců. V tabulce 11 jsou uvedeny výsledky marginálních regresních modelů vztažených k závislým proměným početnosti druhů na jednotlivých plochách.

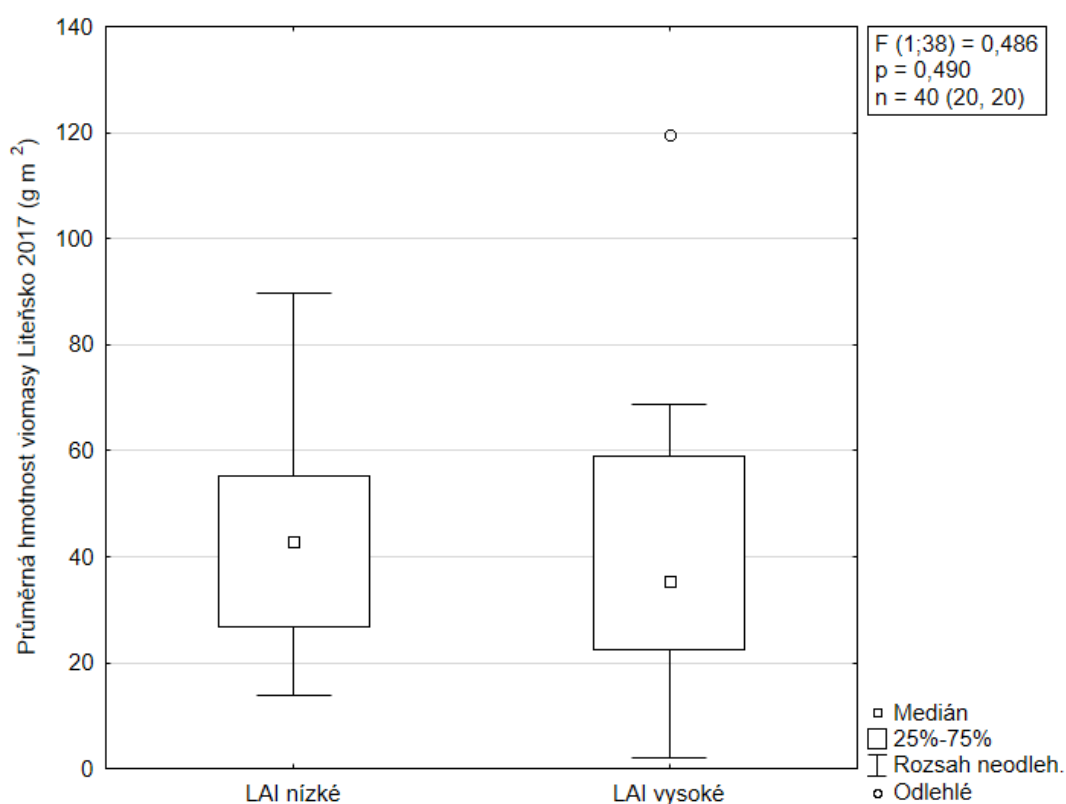
Tab. 11. Výsledky marginálních regresních modelů se zahrnutím pevného efektu prostorové pozice zkoumaných ploch v **PR Na Voskopě**. Signifikantní výsledky jsou tučně zvýrazněny a je u nich uvedena hodnota pravděpodobnosti ve sloupci Signifikance. Podtržená hodnota reprezentuje naznačení možného trendu u této proměnné. Význam jednotlivých proměnných je uveden v tabulce 1.

Proměnné		Výsledky		Směr závislosti
Závislá	Nezávislá	R ² (%)	Signifikance	+/-
<i>NR_herbs</i>	<i>GapFract</i>	10,04	NS	
	<i>Openness</i>	9,87	NS	
	<i>Direct</i>	1,91	NS	
	<i>Diffuse</i>	0,55	NS	
	<i>Total</i>	2,55	NS	
	<i>FullSun</i>	2,45	NS	
	<i>LAI_Lin</i>	10,85	NS	
	<i>LAI_Log_ClCorr</i>	15,88	0,026	-
<i>NR_juv</i>	<i>GapFract</i>	5,22	NS	
	<i>Openness</i>	5,14	NS	
	<i>Direct</i>	2,93	NS	
	<i>Diffuse</i>	2,80	NS	
	<i>Total</i>	3,12	NS	
	<i>FullSun</i>	3,20	NS	
	<i>LAI_Lin</i>	7,73	0,082	+
	<i>LAI_Log_ClCorr</i>	0,32	NS	
<i>NR_shrub</i>	<i>GapFract</i>	-	NS	
	<i>Openness</i>	-	NS	
	<i>Direct</i>	0,91	NS	
	<i>Diffuse</i>	0,26	NS	
	<i>Total</i>	0,64	NS	
	<i>FullSun</i>	0,66	NS	
	<i>LAI_Lin</i>	1,00	NS	
	<i>LAI_Log_ClCorr</i>	0,19	0,150	+

V tomto případě se podařilo prokázat závislost pouze ve dvou případech. Početnost druhů bylinného patra (proměnná *Nr_herbs*) projevila negativní závislost na korigované hodnotě LAI s koeficientem determinace $R^2 = 15,88 \%$. V druhém případě byla zjištěna negativní závislost proměnné *Nr_juv* ($R^2 = 7,73 \%$) na nekorigované hodnotě LAI. V žádném dalším případě se nepodařilo prokázat statistickou závislost na těchto proměnných. Rovněž ani jedna z vysvětlovaných proměnných neměla vliv na početnost druhů keřového patra.

4.3 Vliv LAI na intenzitu vzrůstu biomasy bylinného podrostu

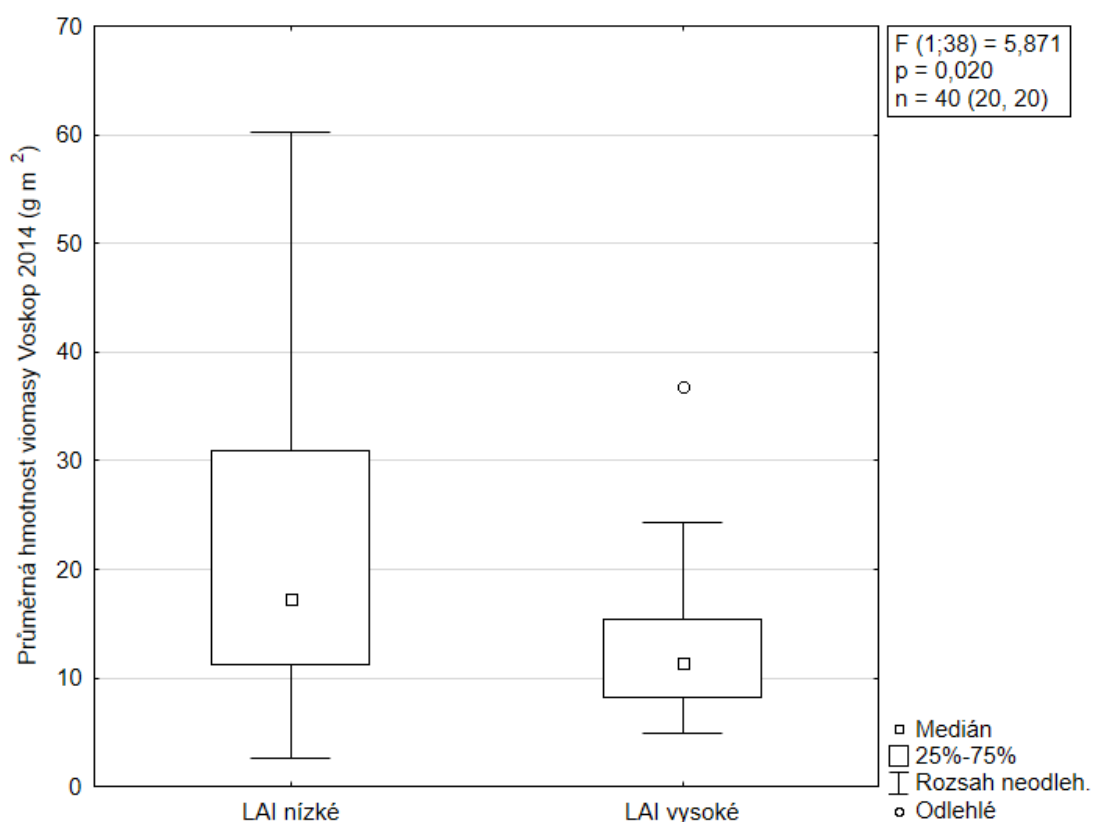
Poslední hypotézu, kterou jsem v rámci této práce ověřoval, byl předpoklad, že plochy s nižší hodnotou indexu listové plochy (LAI) budou mít rovněž nižší intenzitu vzrůstu nadzemní biomasy bylinného podrostu. Při vytváření grafu jsem měl možnost použít nekorigované hodnoty LAI a korigované hodnoty celkovým „clumping“ indexem. Protože shlukování (*clumping*) listů či jehlic vůči kterému je hodnota v druhé případě korigována, ovlivňuje především jehličnaté a v menší míře v listnaté porosty, zvolil jsem pro analýzu hodnotu nekorigovanou, neboť na zkoumaných plochách byla převaha listnatých porostů. V ostatních modelech (viz předchozí kapitoly) se ukázaly nekorigované hodnoty ve většině případů rovněž jako vhodnější prediktor. Abych ověřil třetí hypotézu, byly záznamy obou datových souborů rozděleny na dvě stejně velké skupiny podle naměřených hodnot LAI. Do první skupiny byly zařazeny plochy s nižšími hodnotami LAI a do druhé skupiny plochy s vyššími hodnotami LAI. V rámci této hypotézy jsem ověřoval vliv LAI na produktivitu biomasy v obou zkoumaných oblastech.



Graf 1. Krabicový graf znázorňující závislost průměrné hmotnosti biomasy na hodnotách indexu listové plochy (LAI) v oblasti **Liteňska**.

Graf 1 znázorňuje situaci v oblasti Liteňska, kde se na základě naměřených dat nepodařilo prokázat, že plochy s nižšími hodnotami LAI vykazovaly současně nižší intenzitu vzrůstu nadzemní biomasy.

Graf 2 reprezentuje závislost zvolených proměnných v PR Na Voskopě. V tomto případě jsem třetí hypotézu zamítl, protože hodnoty hmotnosti nadzemní biomasy dosáhly průkazně vyšších hodnot v porostech s nižší naměřenou hodnotou LAI ($p = 0,02$).



Graf 2. Krabicový graf znázorňující závislost průměrné hmotnosti biomasy na hodnotách indexu listové plochy (LAI) v oblasti **PR Na Voskopě**.

Z uvedených výsledků je tedy možno usoudit, že hodnota LAI nemá statisticky prokazatelný vliv na intenzitu vzrůstu nadzemní biomasy bylin. Je zřejmé, že tuto proměnnou v přírodě ovlivňují jiné faktory.

5. Diskuze

5.1 Vliv světelných podmínek na produktivitu biomasy bylinného patra

V rámci první hypotézy byl posuzován vliv světla na intenzitu tvorby nadzemní biomasy bylinného podrostu. Sluneční záření je základním zdrojem energie, který pohání prakticky všechny procesy na Zemi a v atmosféře. V biosféře je význam záření ještě důležitější, neboť představuje základní předpoklad koloběhu a přeměny energie. Důležitým faktem je však skutečnost, že se záření, které dopadá na zemský povrch, dělí na několik hlavních složek, z nichž nejdůležitější jsou přímé a difúzní záření (Moravec et al. 1994). Právě na vliv těchto složek záření na produktivitu bylinného patra společně s dalšími faktory ovlivňujícími světelné podmínky jsem se v této práci zaměřil. Dostupnost světla je pro zelené rostliny základním limitujícím faktorem pro průběh fotosyntézy. Při absenci záření neprobíhá, ale naopak se zvyšujícím světelným příkonem její intenzita vzrůstá. Fotosyntéza tedy určuje produktivitu celého ekosystému, intenzitu tvorby biomasy a potravní možnosti navazujících článků potravního řetězce (Slavíková 1986).

Zvolené ukazatele světelných podmínek analyzované v lesních porostech v oblasti Liteňska projevily statisticky významnou vazbu na produktivitu bylinného patra hned v několika případech. Z vybraných faktorů vysvětlovaly množství biomasy ukazatele reprezentující procentuální podíl otevřené oblohy (proměnné *Openness* a *Gapfract*) společně s hodnotami přímého a difúzního záření a jejich celkového součtu (proměnné *Direct*, *Diffuse*, *Total*). Všechny tyto faktory prokázaly pozitivně signifikantní vztah s produktivitou nadzemní biomasy. Tento výsledek podporují například závěry Axmanové a kol., kteří ve své práci uvádějí, že produktivita bylinného patra v dubových lesích je určena především dostupností světla (Axmanová et al. 2011). Dodávají však, že zde jistý náznak limitace produktivity může být zapříčiněn i dostupností fosforu na daném stanovišti.

Nezávislé proměnné *GapFract* a *Openness*, které jsem analyzoval, svým charakterem reprezentují stav korunového zápoje na zkoumaných plochách. Zavitkovski (1976) se ve svém odborném článku zmiňuje, že v mnoha studiích bylo prokázáno, že změny ve vývoji bylinného patra jsou úzce spjaty s hustotou

korunového zápoje. V oblastech, kde ještě stále koexistuje pastva a lesnictví, se využívá výchovných zásahů v korunové vrstvě ke zvýšení růstu travino-bylinného podrostu. Společně se srážkami se řadí dopadající záření mezi důležité environmentální faktory, které jsou přímo zodpovědné za rozvoj přízemní vegetace. Na závěr uvádí, že vztahy mezi světlem a přízemní vegetací jsou pozitivní a signifikantní, což rovněž odpovídá výsledkům dosaženým v lesích Liteňska (Zavitkovski 1976).

Vliv světla na hrubou produkci a účinnost využívání sluneční energie popisují i Kira a kol., kteří ve svém článku porovnávají vliv radiace na růst stromové a bylinné složky lesních společenstev. Uvádějí, že za stejných klimatických podmínek je produktivita stromové složky vyšší než u bylinného podrostu, což je zapříčiněno strukturálními rozdíly a způsobem, jakým v těchto subsystémech lesního společenstva probíhá fotosyntéza (Kira et al. 1969).

Ågren (1985) ve své studii řadí světlo mezi čtyři základní limitující faktory rostlinné produkce. Společně se světlem zkoumali dále vliv vody, dusíku a uhlíku. V případě světla, uhlíku a vody uvádějí, že jsou rostliny závislé na kontinuálním toku těchto tří složek, zatímco u dusíku je důležité aktuální množství v prostředí. Na závěr zhodnocují, že všechny tyto faktory významně ovlivňují produkci biomasy, ale účinnost využití dusíkatých sloučenin je pravděpodobně nejkritičtějším faktorem (Ågren 1985).

V případě porostů přírodní rezervace na Voskopě neprokázaly postavené statistické modely průkazný vliv světelných podmínek na produkci biomasy bylinného podrostu. Zde je nutné zmínit, že v rámci experimentálních ploch na Voskopě byl použit korektní statistický model v porovnání s „naivním“ modelem předpokládajícím nezávislost mezi plochami, použitým v předchozí bakalářské práci, což se projevilo i na dosažených výsledcích. S novými znalostmi a poznatky nabytými od ukončení bakalářského studia jsem v tomto případě musel zahrnout vliv prostorové autokorelace, protože jednotlivé hodnoty byly ovlivněny předem určeným designem uspořádání, a z tohoto důvodu jsem jednotlivá měření nemohl považovat za navzájem nezávislá či nekorelovaná (Spurná 2008). Se zahrnutím pevného efektu prostorové pozice jednotlivých ploch se prokázala negativní závislost koeficientu variability produkce biomasy vůči proměnným charakterizujícím stav korunového

zápoje na zkoumaných plochách (proměnné *GapFract*, *Openness*). Jako marginálně signifikantní byla prokázána negativní závislost na hodnotě difúzního záření a pozitivní závislost na nekorigované hodnotě indexu listové plochy (proměnná *LAI_Lin*). Vztah mezi světelnými podmínkami a variabilitou biomasy bylinného patra popisují Axmanová a kol., kteří ve své práci uvádějí, že světlo společně s vlhkostí a přítomností půdního fosforu vysvětluje přibližně 11 % variability biomasy bylinného patra (Axmanová et al. 2011).

Na základě těchto dosažených výsledků mohu shrnout, že se první hypotézu podařilo potvrdit pouze pro lesní porosty Liteňska. V případě PR Na Voskopě nebyly výsledky dostatečně průkazné právě kvůli designu experimentálních ploch.

5.2 Vliv světelných podmínek na diverzitu bylinného patra

V souvislosti s druhou hypotézou byl porovnáván vliv prostorové heterogenity světelných podmínek a absolutních hodnot slunečního záření na alfa-diverzitu bylinného patra. V rámci posuzování vztahu prostorové heterogenity světla jsem se rozhodl použít koeficient variability produkce biomasy jako zástupnou proměnnou kvantifikující světelné poměry. V souvislosti s analýzou jsem vycházel z předpokladu, že světlejší místa mají rovněž vyšší variabilitu produktivity. Tento předpoklad se do jisté míry shoduje s Monteithem (1994), který ve své studii uvádí, že množství zachyceného slunečního záření je vždy vysoce korelováno s růstem rostlin (Monteith 1994).

V oblasti Liteňska se podařilo prokázat pomocí lineárního modelu regresní analýzy pozitivní závislost počtu druhů keřového patra na vysvětlované proměnné. V případě PR Na Voskopě se použitím marginálního modelu regresní analýzy projevila negativní závislost jak Shannon-Wienerova indexu druhové diverzity, tak početnosti druhů bylinného patra na koeficientu variability produkce nadzemní biomasy. Marginálně signifikantní negativní závislost pak ukázala také hodnota počtu druhů keřového patra.

Vyhodnocení vlivu světelných faktorů na diverzitu druhů bylinného patra v lesích Liteňska prokázalo statisticky významný vztah hned v několika případech. Hodnota Shannon-Wienerova indexu druhové diverzity pro bylinné druhy projevila signifikantní pozitivní závislost na ukazatelích hodnotících mohutnost korunového

zápoje (*GapFract*, *Openness*). Největší vliv na tuto zkoumanou proměnnou měla hodnota difúzního záření. Marginálně signifikantní pozitivní závislost pak byla prokázána ve vztahu s hodnotou celkového množství dopadajícího slunečního záření a zástupnou proměnnou variability produkce biomasy reprezentující relativní ozářenost. V případě přímého záření sice nebyla prokázána statisticky významná závislost, ale hodnota signifikance naznačuje trend vývoje tohoto vztahu srovnatelný s ostatními proměnnými charakterizujícími světelné podmínky.

Výsledky těchto pozorování jsou v souladu s několika studiemi. Macek (2011) uvádí ve své diplomové práci, že difúzní složka záření je jedním z nejsilnějších faktorů ovlivňující druhovou bohatost bylinného patra společně s půdním pH a sklonem svahu (Macek 2011). Vliv celkového dostupného světla uvádí jako poměrně slabý, což rovněž odpovídá výsledkům v oblasti Liteňska. Hoffmeister a kol. rovněž zmiňují pozitivní korelaci početnosti druhů s dostupností světla (Hofmeister et. Al 2009). Ke stejnému závěru dochází i Hradilová (2010), která ve své bakalářské práci popisuje, že v případě obou lokalit, na kterých prováděla výzkum, vykazovaly světelné podmínky největší vliv na druhové složení a pokryvnost přítomných druhů (Hradilová 2010). Vztah diverzity zástupců bylinného patra s charakterem korunového zápoje zmiňuje ve své závěrečné práci i Wernerová (2007), která zkoumala výskyt jednotlivých bylinných druhů v závislosti na stavu pokryvnosti stromového patra (Wernerová 2007).

Na experimentální ploše v PR Na Voskopě neměly světelné podmínky statisticky prokazatelný vliv na diverzitu druhů bylinného patra, ani na jejich početnost. Jedinou proměnnou, která měla prokazatelný vliv na početnost druhů bylin, byla korigovaná hodnota indexu listové plochy. Alfa-diverzita těchto druhů projevila negativní závislost na této vysvětlující proměnné. K podobnému závěru dospěla publikovaná studie, kde autoři popisují, že se stoupající hodnotou LAI rovněž stoupá druhová diverzita. Tento jev je podle autorů pravděpodobně způsoben zvýšeným přísunem energie pro tvorbu asimilačních orgánů, který má následně dopad na jejich následnou možnost reprodukce (Jacob et al. 2010).

V případě studovaných lesů Liteňské oblasti se tedy podařilo druhou hypotézu potvrdit, ovšem jen pro keřové patro. V PR Na Voskopě byla hypotéza

potvrzena pro druhy bylinného patra a marginálně signifikantní vztah byl objeven i v případě keřového patra.

5.3 Vliv indexu listové plochy na produktivitu bylinného patra

Třetí hypotéza měla ověřit předpoklad, že na zkoumaných plochách s nižšími hodnotami naměřeného LAI bude rovněž nižší intenzita vzrůstu nadzemní biomasy v porovnání s plochami, kde dosahoval LAI vyšších hodnot. Pro posouzení hypotézy jsem rozdělil zkoumané plochy na dvě stejně velké skupiny podle naměřených hodnot LAI. Do první skupiny jsem zařadil plochy, které dosahovaly nižších hodnot a do druhé skupiny plochy s vyššími hodnotami LAI. V oblasti Liteňska se vztah neprokázal jako statisticky významný. V případě porostů PR Na Voskopě jsem na základě analýzy třetí hypotézu zamítl, neboť hodnoty průměrné hmotnosti nadzemní biomasy bylin dosáhly průkazně vyšších hodnot na zkoumaných plochách s nižší naměřenou hodnotou LAI ($p = 0,02$).

V souvislosti s tímto vztahem se mi ve velkém množství článků a studií, týkajících se LAI, překvapivě nepodařilo najít prakticky žádné, které by zkoumaly přímo vztah hodnoty LAI s produktivitou bylinného patra. Jedním z možných vysvětlení dosažených výsledků je fakt, že vzorky biomasy a hemisférické snímky byly odebírány s časovým odstupem, byť odběr biomasy probíhal vždy v období jejího maximálního rozvoje (tj. krátce po letním slunovratu). Podle Johnsona a Risera (1974) hodnota LAI se začátkem vegetační doby vzrůstá a na přelomu června a července postupně klesá (Johnson & Riser 1974). Hemisférické fotografie korunového zápoje, ze kterých byly hodnoty LAI následně získány, byly pořizovány v období konce srpna až začátkem září. Je tedy možné, že v této době již LAI dosahoval nižších hodnot, což mohlo ovlivnit výsledky analýz. V případě mnou zvoleného postupu se na základě znalosti lokalit domnívám, že takový pokles byl zanedbatelný. V případě dalších prací zahrnujících stanovení LAI pomocí hemisférických fotografií bych přesto doporučil tuto skutečnost vzít na vědomí a podřídit tomu termín terénních prací. Muraoka a kol. zase zkoumali vliv LAI spolu s dalšími faktory (teplota vzduchu, světelné podmínky a další) na hrubou primární produkci (GPP) listnatých lesů (Muraoka et al. 2010). Ve své studii došli k závěru, že GPP v létě je nejvíce ovlivněna dopadajícím zářením. Z toho vyplývá, že v rámci

posuzování vztahu LAI a produktivity biomasy podrostu není vhodné spoléhat se pouze na jeden faktor (tj. pouze měřit např. světlo).

Jako poslední bych rád zmínil rozsah pozorování. S ohledem na dosažení přesnějších a tedy objektivnějších výsledků je zde vždy možnost zvýšení počtu pozorování. Tímto způsobem je následně možné zjištěné výsledky podpořit nebo objevit změnu ve vývoji sledovaného trendu.

5.4 Metodický postup stanovení hodnoty indexu listové plochy

Součástí této práce bylo rozšíření vysvětlujících proměnných o hodnoty indexu listové plochy vzhledem k předchozímu studiu problematiky vlivu světla. Program *WinSCANOPY* v rámci analýzy světelných podmínek vyhodnocuje taktéž hodnoty LAI na základě pořízených hemisférických snímků korunového zápoje. Rozhodl jsem se, že pro stanovení LAI použiji tuto nepřímou metodu a využiji tak celý dostupný potenciál komplexní analýzy, kterou tento program poskytuje.

Hemisférická fotografie je technika, která je výrazně levnější a rychlejší než další alternativy, vhodně integruje celou škálu variability světla na malém prostorovém měřítku porostů, a ukazuje se být velmi komplexní nepřímou metodou pro měření různých složek korunového zápoje a světelných podmínek v porostu. Jednou z nesporných výhod je možnost tyto fotografie archivovat a následně je reanalyzovat v momentě, kdy budou k dispozici vylepšené teoretické modely pro jejich zpracování (Beaudet & Messier 2002). Planchais a Pontaliller (1999) ve své studii měřili hodnotu LAI pomocí hemisférické fotografie a přístroje *Plant Canopy Analyzer (LAI-2000)* a následně oba výsledky porovnali (Planchais & Pontaliller 1999). Zjistili, že obě tyto nepřímé metody poskytly stejné hodnoty mezernatosti korunového zápoje ve všech zenitových úhlech. Chen a kol. rovněž doporučují metodu hemisférické fotografie pro stanovení LAI (Chen et al. 1997). Ve své práci porovnávali čtyři různé optické metody stanovení indexu listové plochy a došli k závěru, že kombinací optické techniky a malého množství přímých vzorků listů se dá LAI stanovit relativně přesně a rychle.

Důležité je si uvědomit i nedostatky a kroky v procesu zpracování, při kterých může docházet k chybám, které ovlivňují výsledné hodnoty. Jedním z hlavních problémů při analyzování hemisférických fotografií je segmentace obrazu

a zejména prahování (*thresholding*). Prahové hodnoty odpovídají volbě optimální hodnoty jasu při rozlišování vegetace od složek oblohy (Jonckheere et al. 2004). Existuje mnoho programů, které jsou schopny zpracovat hemisférické snímky (*WinSCANOPY*, *SOLARCALC*, *Winphot*, *Gap Light Analyzer* a další). Většina z nich je však založena na interaktivním (manuálním) použití vizuálně vybraného prahu pro celý obraz, což se ukázalo jako hlavní zdroj nesrovnalostí a chyb, přičemž jejich povaha závisí na subjektivní pozornosti pozorovatele (Englund et al. 2000). Jonckheere a kol. ve své studii porovnávají široké spektrum známých automatických prahových technik vůči subjektivní manuální metodě vyhodnocení hemisférických fotografií korunového zápoje (Jonckheere et al. 2005). Rovněž zmiňují, jak důležité je korektní prahování a jak významný vliv má toto prahování na následné stanovení mezernatosti korunového zápoje. Uvádějí, že podhodnocení prahové hodnoty je nežádoucí, neboť může vést ke „ztrátě“ listů zejména tam, kde je plocha listů vyhodnocena chybně jako součást oblohy. Na druhé straně nebezpečí nadhodnocení prahových hodnot může mít mnohem zásadnější vliv na výsledky analýz. Uzavírá, že automatická Ridlerova shlukovací metoda (*Ridler clustering method*) se ukázala jako nejrobustnější prahová metoda pro různě strukturované stromové zápoje (tedy poskytuje výsledky s nejmenší chybovostí). Tuto metodu doporučuje jako nejlepší řešení pro spolehlivé a objektivní využití hemisférických fotografií pro stanovení LAI a mezernatosti korunového zápoje v lesních porostech, protože nastavení prahové hodnoty již není prováděno manuálně.

Dalším problémem při vyhodnocení LAI je tzv. shlukování (*clumping*) listů či jehlic, které ovlivňuje analýzu korunového zápoje v jehličnatých a v menší míře v listnatých porostech. Shlukování se zdá být hlavním faktorem způsobující chyby v odhadu LAI (Jonckheere et al. 2004). Program *WinSCANOPY*, který jsem použil na vyhodnocení světelných podmínek, kompenzuje shlukování kombinací dvou metod. První metoda byla převzata od van Gardingena a kol., kteří byli schopni použitím jejich postupu snížit podcenění hodnoty LAI z obvyklých 50 % na pouhých 15 % (Van Gardingen et al. 1999). Druhou metodou je analýza distribuce mezernatosti (*GSD – Gap distribution analysis*). Zde vidím potenciál k prohloubení teoretického studia ovlivňujících mechanismů.

6. Závěr

Předcházející bakalářská práce zkoumala ekologické závislosti v malém měřítku na experimentálním porostu odrostlého středního lesa (pařeziny) v přírodní rezervaci Na Voskopě. Cílem této práce bylo ověřit zjištěné závislosti v obdobných typech porostů na větší prostorové škále v západní části CHKO Český kras v přirozených podmínkách. Výsledky dosažené v této práci tak budou sloužit k porovnání s již zpracovanými daty a také s průzkumy v budoucích letech probíhajícího projektu v přírodní rezervaci Na Voskopě.

Na základě terénního průzkumu byly kvantifikovány světelné podmínky na zkoumaných plochách v oblasti Liteňska společně s produktivitou bylinného patra. Všechny měřené světelné proměnné spolu s proměnnými charakterizujícími stav korunového zápoje se ukázaly být vhodnými prediktory pro produktivitu bylinného patra. Stejně tomu bylo i v případě diverzity bylinných druhů. Difúzní složka záření se ukázala být nejvhodnější pro vysvětlení druhové diverzity i absolutní početnosti druhů bylinného patra. V rámci stanovení indexu listové plochy se stejně jako v případě stanovení světelných podmínek osvědčila metoda hemisférických fotografií. Pro další průzkumy zabývající se touto tematikou doporučuji využití této metody z důvodu finanční dostupnosti, rychlosti a dostačující přesnosti měření. Na základě vyhodnocení stanovených hypotéz se podařilo prokázat vliv světelných podmínek a stavu korunového zápoje na produktivitu bylinného patra a početnost jeho druhů. Závislost mezi hodnotami LAI a produktivitou bylinného patra v lesích Liteňska se nepodařilo prokázat a v porostech přírodní rezervace Na Voskopě byla tato hypotéza zamítnuta.

Zhodnocením všech stanovených hypotéz se podařilo ověřit zjištěné závislosti předchozí bakalářské práce v obdobných typech porostů ve větším měřítku a práce tak splnila stanovený cíl.

7. Zdroje

- Ågren, G. I. (1985): Limits to plant production. – *Journal of Theoretical Biology*, 113(1): 89–92.
- Anonymus. (1996): Chráněná území ČR 1, AOPK ČR, Praha, 1996, 320 pp.
- Axmanová, I., Zelený, D., Li, C. F., & Chytrý, M. (2011): Environmental factors influencing herb layer productivity in Central European oak forests: insights from soil and biomass analyses and a phytometer experiment. – *Plant and soil*, 342(1-2): 183–194.
- Beaudet, M., & Messier, C. (2002): Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: an assessment based on hemispherical photographs. – *Agricultural and Forest Meteorology*, 110(3): 217–228.
- Canham, C.D. (1995): GLI/C: Software for calculation of light transmission through forest canopies using color fisheye photography. Unpublished manuscript. Institute of Ecosystem Studies, Box AB, Millbrook, NY. 7 p.
- Cuttini, A., Matteucci, G. & Mugnozza, G. S. (1998): Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. – *Forest Ecology and Management* 105: 55–56.
- Čermák, J. (1998): Leaf distribution in large trees and stands of the floodplain forest in southern Moravia. – *Tree Physiology* 18: 727–737.
- Englund, S.R., O'Brien, J.J. & Clark, D.B., 2000: Evaluation of digital and film hemispherical photography for predicting understorey light in a Bornean tropical rain forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 97: 129–139.
- Fassnacht, K.S., Gower, S.T., Norman, J.M. & McMurtrie, R.E. (1994): A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. – *Agricultural and Forest Meteorology* 71: 183–207.
- Frazer, G. W., Lertzman, K. P. & Trofymow, J. A. (1997): A method for estimating canopy openness, effective leaf area index, and photosynthetically active photon flux density using hemispherical photography and computerized image analysis techniques. – Ms., Information Report BC-X-373, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC: 81p.
- Gholz, H. L. (1982): Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest. – *Ecology* 53: 468–481.
- Gower, S. T. & Norman, J. M. (1991): Rapid estimation of leaf area index in conifer and broad-leaved plantations. – *Ecology* 72: 1–8.
- Herbert, T.J. (1987): Area projections of fisheye photographic lenses. – *Agricultural and Forest Meteorology* 39: 215–223.
- Hladil, J. et al. (1991): Lower Paleozoic corals of Bohemia and Moravia. – VI. Intern. Sympos. Fossil Cnidaria, Münster 1991, Excursion B3. Münster.

- 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(1): 57.
- Horný, R. (1960): Stratigrafie a tektonika západních uzávěrů silurskodedevonského synklinoria v Barrandienu. – *Sbor. Ústř. Úst. geol., Geology* 26, 495–424.
- 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].
- Chason, J.W., Baldocchi, D.D. & Huston., M.A. (1991): A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. – *Agricultural and Forest Meteorology* 57: 107–128.
- Chazdon, R.L. & Field, C.B. (1987): Photographic estimation of photosynthetically active radiation: evaluation of a computerized technique. – *Oecologia* 73: 525–532.
- Chen, J.M., Rich, P.M., Gower, S.T.; Norman, J.M. & Plummer, S. (1997): Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. – *Journal of Geophysical Research* (BOREAS special issue, in press).
- Inoue, A., Yamamoto, K. & Mizoue, N. (2011): Comparison of automatic and interactive thresholding of hemispherical photography. – *Journal of Forest Science* 57(2): 78–87.
- Johnson, F. L., & Risser, P. G. (1974): Biomass, Annual Net Primary Production, and Dynamics of Six Mineral Elements in a Post Oak-Blackjack Oak Forest. – *Ecology* 55: 1246–1258.
- Jonckheere, I. (2004): Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. – *Agricultural and Forest Meteorology* 121: 19–35.
- Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Coppin, P. (2005): Assessment of automatic gap fraction estimation of forests from digital hemispherical photography. – *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 96–114.
- Kimball S. et al., GIMP Development Team 2015; www.gimp.org.
- Kira, T., Shinozaki, K., & Hozumi, K. (1969). Structure of forest canopies as related to their primary productivity. – *Plant and Cell Physiology* 10: 129–142.
- Kůrka A., Buchar J., Kubcová L. et Řezáč M. (2010): Pavouci (Araneae) chráněné krajinné oblasti Český kras. – *Bohemia centralis* 30: 5–10.
- Lepš, J., Šmilauer, P. (2016): Biostatistika. – Nakladatelství Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, 438 s.
- Leverenz, J. W. & Hinckley, T. M. (1990): Shoot structure, leaf area index and productivity of evergreen conifer stands. – *Tree Physiology* 6: 135–144.
- 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].

- Marek, M.V. (1992): Ekofyziologie produkční aktivity lesních dřevin. Habilitační práce. – ÚSEB ČSAV, Brno: 139 s.
- Jacob, M., Leuschner, C., & Thomas, F. M. (2010): Productivity of temperate broad-leaved forest stands differing in tree species diversity. – *Annals of Forest Science* 67(5): 503.
- Machač, O. & Zedek, M. (2014): *Hahnia candida* Simon, 1875 – nový druh pavouka pro Českou republiku (Araneae: Hahniidae). – *Bohemia centralis* 32: 317–320.
- 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: Fakulta lesnická a dřevařská ČZU, Praha].
- Monteith, J. L. (1994): Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. – *Agricultural and Forest meteorology* 68(3–4): 213–220.
- Moravec, J. et al. (1994): Fytocenologie. – Academia, Praha: 403 s.
- Muraoka, H., Saigusa, N., Nasahara, K. N., Noda, H., Yoshino, J., Saitoh, T. M., Nagai, S., Murayama, S. & Koizumi, H. (2010): Effects of seasonal and interannual variations in leaf photosynthesis and canopy leaf area index on gross primary production of a cool-temperate deciduous broadleaf forest in Takayama, Japan. – *Journal of plant research* 123(4): 563–576.
- Neumann, H. H., Hartog, G. D. & Shaw, R.H. (1989): Leaf area measurements based on hemispheric photographs and leaf-litter collection in a deciduous forest during autumn leaf-fall. – *Agricultural and Forest Meteorology* 45: 325–345.
- Pinheiro, J, Bates, D, DebRoy, S, Sarkar, D and R Core Team (2017): nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-131; <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- Planchais, I., & Pontailier, J. Y. (1999): Validity of leaf areas and angles estimated in a beech forest from analysis of gap frequencies, using hemispherical photographs and a plant canopy analyzer. – *Annals of Forest Science* 56(1): 1–10.
- Pokorný, R. & Marek, M.V. (2000): Test of accuracy of LAI estimation by LAI-2000 under artificially changed leaf to wood area proportions. *Biologia Plantarum* 43 (4): 192–196.
- Pokorný, R. (2002): Index listové plochy v porostech lesních dřevin. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně, 136 pp.
- Pokorný, R., Tomášková, I. & Havránková, K. (2008): Temporal variation and efficiency of LAI in young mountain Norway spruce stand. – *European Journal of Forest Research* 127: 359–367.
- Pokorný, R., Stojnič S. (2012): Leaf area index of Norway spruce stands in relation to age and defoliation. – *Beskydy* 5: 1–8.
- Pokorný, R. (2015): Stanovení indexu listové plochy v nesmíšených porostech lesních dřevin. – Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Brno: 38 s.

- R Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; <http://www.R-project.org/>
- Regent Instruments (2012): WinSCANOPY: Canopy structure and solar radiation analysis; <http://www.regentinstruments.com/assets/products.html>.
- Rich, P.M. (1990): Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. – *Remote sensing Reviews* 5: 13–29.
- Slavíková, J. (1986): Ekologie rostlin. – SPN, Praha: 366 s.
- Spurná, P. (2008): Prostorová autokorelace–všudypřítomný jev při analýze prostorových dat? – *Czech Sociological Review* 44, 767–788.
- Stenberg, P., Kuuluvainen, T., Kellomaki, S., Grace, J. C., Jokela, E. J. & Gholz, H. L. (1994): Crown structure, light interpretation and productivity of pine trees and stands. In: Gholz, H. L., Linder, S. & McMurtrie, R.E. (Editors): Environmental constraints on the structure and productivity of pine forest ecosystems: a comparative analysis. – *Ecological Bulletin* 43: 20–34.
- Stenberg, P., Kangas, T., Smolander, H., Linder, S. (1999): Shoot structure, canopy openness, and light interception in Norway spruce. – *Plant And Cell Environment* 22: 1133–1142.
- Šesták, Z., Čatský, J., Šetlík, I., Květ, J., Nečas, J., Smetánková, M., Slavík, B., Janáč, J., Vozněsenskiij, V. L., Bartoš, J. & Avratoščuková (1966): Metody studia fotosyntetické produkce rostlin. Academia Praha, 394 s.
- TIBCO Software Inc. (2017): Statistica, version 13; <http://tibco.com/products/tibco-statistica>.
- Tichý, L. (2002): JUICE, software for vegetation classification. – *Journal of Vegetation Science* 13: 451–453.
- Trofymow, J.A. & Leach, R.I. (1996): The effects of converting coastal old-growth to managed forests: Changes in site carbon and nutrient contents during post-disturbance succession. Phase 2.5: Vegetation area index and foliar biomass estimation. – Ms., Natural Resources Canada, Pacific Forestry Centre, Victoria, B.C.
- Urban, O., Klem, K., Ač, A., Havránková, K., Holišová, P., Navrátil, M., Zitová, M., Kozlová, K., Pokorný, R., Šprtová, M., Tomášková, I., Špunda, V. & Grace, J. (2012): Impact of clear and cloudy sky conditions on the vertical distribution of photosynthetic CO₂ uptake within a spruce canopy. – *Functional Ecology* 26: 46–55.
- 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.
- van Gardingen P. R., Jackson G. E., Hernandez-Daumas S., Russell G. & Sharp L. (1999): Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography. – *Agricultural and Forest Meteorology* 94: 243–257.

- Vose, J.M. & Allen, H.L. (1988): Leaf area, stemwood growth, and nutrition relationships in loblolly pine. – *Forest Science* 34: 546-563.
- Vose, J.M., Dougherty, P.M., Long, J.N., Smith, F.W., Gholz, H.L. & Curran, P.J. (1994): Factors influencing the amount and distribution of leaf area of pine stands. – In: Gholz, H.L., Linder, S., McMurtrie, R.E. (Editors). Environmental constraints on the structure and productivity of pine forest ecosystems: a comparative analysis. – *Ecological Bulletin* 43: 102–114.
- Waring, R.H., Schroder, P.E. & Oren, R. (1982): Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area. – *Canadian Journal of Forest Research* 12: 556–560.
- Welles, J.M. & Norman, J.M. (1991): Instrument for indirect measurement of canopy architecture. – *Agronomy Journal* 83: 818–825.
- Wernerová, V. (2007): Vliv světla na druhové složení lesního podrostu na příkladu Milovického lesa. – Ms., 86 p. [Bakal. práce; depon. in: Ústav botaniky a zoologie PřF MU, Brno].
- Whitehead, D. (1986): Dry matter production and transpiration by *Pinus radiata* stands in relation to canopy architecture.- In: Fujimori, T., Whitehead, D. (eds): Crown and canopy structure in relation to productivity. – *Forest and Forest Products Institute* 243–262.
- Zavitkovski, J. (1976): Ground vegetation biomass, production, and efficiency of energy utilization in some northern Wisconsin forest ecosystems. – *Ecology* 57: 694–706.

7.1 Legislativa

Vyhláška č. 78/1996 Sb. Ministerstva zemědělství ze dne 19. 4. 1996 o stanovení pásu ohrožení lesů pod vlivem imisí.

7.2 Internetové zdroje:

www1: Významné geologické lokality v ČR [online]. Dostupné na: <http://lokality.geology.cz/176>

8. Přílohy

Tab. 12 – Význam hodnot primárních dat.

Význam jednotlivých hodnot ve sloupcích tabulky primárních dat	
Plot	číslo zkusné plochy
1	1. podploška
2	2. podploška
3	3. podploška
4	4. podploška
5	5. podploška
mean	průměrná hmotnost biomasy
CV	koeficient variability produkce biomasy na jednotlivých plochách
GapFract	počet pixelů fotografie klasifikovaných jako obloha v regionu
Openness	procento otevřené oblohy na snímku (reálné podmínky)
LAI_Lin	naměřená hodnota indexu listové plochy z obecné lineární metody Licor LAI2000 (nekorigováno)
LAI_Log_CICorr	naměřená hodnota indexu listové plochy z obecné logaritmické metody Licor LAI2000 (korigováno na vertikální heterogenitu celkovým Clumping indexem)
Direct	naměřená hodnota přímého záření
Diffuse	naměřená hodnota difúzního záření
Total	součet hodnot přímého a difúzního záření
fullsun	relativní ozáření – poměr dopadajícího záření pod porostem vůči záření nad porostem v %
SW_herbs	vypočtená hodnota Shannon-Wienerova indexu druhové bohatosti pro jedince bylinného patra
SW_juv	vypočtená hodnota Shannon-Wienerova indexu druhové bohatosti pro juvenilní jedince
nr_herbs	absolutní početnost druhů bylinného patra
nr_juv	absolutní početnost juvenilních druhů
nr_shrub	absolutní početnost druhů keřového patra

Tab. 13. Primární data z oblasti Liteňska (rok sběru 2017).

plot	1	2	3	4	5	mean17	CV17	GapFract17
1	91,48	72,00	58,60	67,44	54,76	68,86	0,19	8,10
2	50,60	75,00	52,64	29,96	49,64	51,57	0,28	11,42
3	88,84	46,36	87,00	42,16	28,00	58,47	0,42	8,50
4	137,88	72,84	147,20	108,48	131,88	119,66	0,22	9,81
5	71,12	40,48	62,40	35,16	50,76	51,98	0,26	12,08
6	44,00	16,56	28,12	26,28	17,84	26,56	0,37	6,20
7	25,00	43,64	20,56	54,28	33,76	35,45	0,35	8,80
8	15,04	16,76	31,60	30,44	16,80	22,13	0,33	7,62
9	66,40	5,04	14,72	12,92	38,80	27,58	0,81	8,54
10	21,84	9,64	41,64	8,16	20,24	20,30	0,59	7,14
11	29,28	6,52	47,12	68,52	12,28	32,74	0,70	4,83
12	67,08	61,52	101,16	51,40	70,08	70,25	0,24	9,90
13	15,88	9,36	16,00	5,16	22,76	13,83	0,44	9,16
14	2,04	1,52	3,12	2,00	1,08	1,95	0,35	5,50
15	91,12	61,68	38,08	49,88	64,44	61,04	0,29	7,60
16	33,52	24,44	59,76	86,20	16,68	44,12	0,58	7,19
17	80,04	72,12	53,16	62,60	19,52	57,49	0,37	6,27
18	43,36	34,24	49,12	11,88	69,36	41,59	0,45	11,08
19	27,68	21,88	20,04	22,44	21,72	22,75	0,11	7,14
20	29,00	20,72	36,16	23,48	24,44	26,76	0,20	10,27
21	66,04	154,08	120,00	38,04	70,08	89,65	0,46	7,78
22	34,60	20,96	23,96	27,32	28,40	27,05	0,17	7,72
23	15,44	29,84	22,68	62,60	73,68	40,85	0,56	11,49
24	32,92	97,52	37,76	4,00	61,60	46,76	0,67	8,32
25	162,52	108,08	55,56	59,44	60,16	89,15	0,47	8,36
26	46,48	61,88	19,80	32,64	63,32	44,82	0,37	7,77
27	26,72	26,96	9,88	17,48	52,20	22,90	0,86	7,32
28	42,00	43,44	61,64	41,60	31,40	44,02	0,22	12,86
29	31,80	54,80	19,36	41,64	42,08	37,94	0,31	4,78
30	22,96	21,20	17,96	28,04	22,52	22,54	0,14	4,42
31	22,76	18,52	14,88	33,60	29,16	23,78	0,29	5,22
32	12,12	30,76	7,88	11,28	11,00	14,61	0,56	6,66
33	6,08	3,84	3,20	6,52	4,28	4,78	0,27	5,15
34	90,32	75,92	59,76	25,36	75,20	65,31	0,34	5,92
35	48,00	56,24	52,32	23,88	59,40	47,97	0,26	7,38
36	7,96	9,16	2,48	10,44	3,36	6,68	0,48	5,15
37	15,96	35,36	19,60	34,92	47,88	30,74	0,38	6,34
38	45,48	62,52	76,72	27,56	29,16	48,29	0,39	6,21
39	99,88	97,44	78,76	41,04	66,48	76,72	0,28	6,95
40	51,80	77,72	74,00	50,56	47,00	60,22	0,21	6,63

Tab. 13. – pokračování.

plot	Openness17	LAI_17_Lin	LAI_17_Log_CICorr	Direct17	Diffuse17	Total17
1	8,19	2,75	3,10	6,13	0,85	6,97
2	11,53	2,06	2,32	7,69	1,19	8,87
3	8,55	2,30	3,32	7,73	0,80	8,53
4	9,91	2,66	3,44	12,82	0,98	13,80
5	12,20	2,17	2,57	8,00	1,29	9,29
6	6,28	2,79	3,12	3,81	0,73	4,55
7	8,84	2,40	2,63	5,68	0,85	6,52
8	7,68	2,62	2,93	5,90	0,81	6,70
9	8,64	2,60	2,93	6,69	0,94	7,63
10	7,12	2,54	3,38	8,26	0,58	8,84
11	4,89	3,06	3,64	2,51	0,56	3,06
12	10,05	2,44	3,00	9,21	1,15	10,36
13	9,22	2,57	2,83	8,31	0,90	9,22
14	5,55	2,95	3,32	3,88	0,64	4,51
15	7,69	2,69	4,17	1,23	0,85	2,09
16	7,21	2,66	3,15	5,56	0,65	6,22
17	6,32	2,86	3,78	6,10	0,63	6,73
18	11,25	2,44	2,71	9,40	1,24	10,65
19	7,19	2,51	3,05	4,57	0,70	5,26
20	10,29	2,12	2,43	7,40	0,92	8,32
21	7,81	2,47	3,06	3,98	0,79	4,78
22	7,80	2,51	2,87	6,79	0,84	7,63
23	11,48	2,11	2,58	9,87	1,00	10,87
24	8,34	2,34	2,94	7,45	0,84	8,29
25	8,40	2,47	3,04	6,77	0,79	7,56
26	7,84	2,61	2,90	4,76	0,78	5,54
27	7,39	2,54	3,26	5,33	0,75	6,08
28	13,05	2,40	3,17	7,85	1,37	9,22
29	4,80	2,98	3,56	2,84	0,41	3,24
30	4,45	3,12	3,49	3,06	0,45	3,51
31	5,23	2,86	3,53	3,62	0,49	4,11
32	6,65	2,62	3,23	3,75	0,56	4,31
33	5,13	2,90	3,48	2,66	0,41	3,07
34	5,97	2,69	3,01	2,87	0,60	3,47
35	7,47	2,56	2,97	4,20	0,81	5,02
36	5,15	2,85	3,24	3,99	0,45	4,44
37	6,39	2,69	3,38	4,49	0,65	5,15
38	6,24	2,72	3,21	5,73	0,56	6,29
39	6,95	2,51	3,32	3,85	0,60	4,45
40	6,63	2,75	3,21	3,22	0,58	3,80

Tab. 13. – pokračování.

plot	fullsun17	sw_herbs_17	sw_juv_17	nr_herbs_17	nr_juv_17	nr_shrub_17
1	6,22	2,91	2,51	29	13	1
2	21,13	3,46	2,43	34	12	2
3	19,35	3,47	2,43	34	14	6
4	8,77	2,93	2,11	28	9	4
5	4,25	3,50	2,51	35	13	1
6	13,27	3,27	2,59	28	14	5
7	14,64	3,11	2,14	23	9	0
8	22,99	3,08	2,31	23	11	0
9	10,86	3,08	2,43	23	12	2
10	16,93	3,09	2,44	23	12	2
11	9,43	3,04	2,53	22	13	8
12	15,47	3,43	2,31	35	11	3
13	22,36	2,93	2,12	20	9	1
14	16,01	2,58	1,98	14	8	0
15	15,65	3,51	2,43	46	12	2
16	12,01	3,34	2,22	33	10	0
17	12,51	3,63	2,65	44	15	0
18	20,72	3,52	2,35	36	11	4
19	7,33	3,03	2,40	22	12	5
20	7,23	2,59	2,63	14	15	1
21	8,28	2,88	2,23	21	10	6
22	8,66	2,89	2,44	19	12	2
23	6,01	3,27	2,43	28	12	3
24	7,26	3,13	2,58	26	14	4
25	10,41	3,04	2,43	24	12	4
26	9,41	2,90	1,92	19	9	1
27	10,94	3,34	2,69	30	16	8
28	14,11	3,44	2,57	38	14	2
29	9,38	3,44	2,59	33	14	0
30	8,36	2,89	2,35	22	11	0
31	12,26	2,93	2,72	20	16	4
32	8,66	3,23	1,86	27	7	7
33	6,01	2,98	2,63	21	15	0
34	7,26	2,82	2,06	18	10	2
35	10,41	3,06	2,49	23	13	1
36	9,41	2,14	2,04	9	8	0
37	10,94	3,26	1,99	37	8	5
38	14,11	3,03	2,29	31	11	2
39	9,38	1,98	2,42	19	12	4
40	8,36	2,97	2,25	29	10	3

Tab. 14. Primární data z oblasti PR Na Voskopě (rok sběru 2014) – tabulka je rozšířena o sloupce se zeměpisnými souřadnicemi (xcoord, ycoord).

plot	xcoord	ycoord	1	2	3	4	5	CV14
1	4,7	84,6	5,56	2,64	1,32	13,68	6,68	0,72
2	26,3	83,7	26,32	16,64	1,28	20,56	19,20	0,50
3	59,2	83,7	0,20	1,20	5,28	3,44	2,80	0,69
4	86,5	83,7	16,40	3,08	8,16	28,76	7,60	0,71
5	106,2	85,5	13,60	11,76	7,60	12,80	8,64	0,22
6	2,8	112,8	3,60	8,52	5,84	25,60	5,36	0,82
7	26,3	110	4,76	10,72	3,80	6,68	2,00	0,53
8	58,3	110	29,60	11,52	13,60	13,00	15,80	0,40
9	85,5	110	5,76	26,48	13,96	14,04	10,28	0,49
10	106,2	110	2,40	21,20	11,00	8,16	13,40	0,55
11	3,8	134,4	14,64	4,24	6,52	1,84	4,08	0,71
12	32	135,3	8,36	13,88	5,52	1,08	5,36	0,62
13	59,2	134,4	7,68	1,40	7,68	3,16	3,08	0,56
14	80,8	136,3	42,44	50,72	41,04	34,28	53,56	0,16
15	107,1	136,3	42,96	15,12	18,96	44,32	15,68	0,49
16	1,9	161,7	3,00	6,96	4,32	5,96	4,32	0,28
17	42,3	161,7	9,92	6,92	0,96	13,84	3,20	0,66
18	62	160,7	7,00	2,92	16,12	10,68	23,92	0,60
19	83,7	161,7	32,36	11,00	36,44	38,56	51,44	0,39
20	108,1	160,7	80,24	64,96	28,72	76,16	50,84	0,31
21	1,9	183,3	25,96	0,48	20,96	9,20	6,88	0,74
22	34,8	182,3	9,28	2,00	2,56	11,88	6,36	0,59
23	60,2	183,3	13,84	7,68	29,04	16,48	18,08	0,41
24	86,5	182,3	17,64	23,24	19,88	4,56	15,40	0,39
25	106,2	183,3	33,12	23,76	25,88	28,40	51,04	0,30
26	1,9	206,8	0,40	37,84	13,68	3,60	2,16	1,21
27	28,2	205,8	12,20	10,76	7,04	9,88	15,76	0,26
28	56,4	204,9	16,28	5,72	21,40	1,36	11,56	0,64
29	78	204,9	9,36	8,28	35,28	18,72	15,56	0,56
30	103,4	206,8	48,76	6,96	33,36	27,80	17,52	0,53
31	9,4	46,1	23,32	6,56	12,92	6,92	2,24	0,70
32	32,9	29,1	17,20	15,56	22,20	9,00	20,88	0,27
33	79,9	48,9	19,40	3,92	1,28	1,72	20,96	0,93
34	137,2	114,7	19,88	42,52	44,80	30,08	43,72	0,27
35	144,7	165,4	50,16	64,80	14,40	19,92	35,00	0,51
36	138,2	134,4	9,44	28,40	27,92	19,20	15,32	0,37
37	61,1	1,9	14,28	18,28	13,20	8,08	11,48	0,26
38	17,9	255,7	59,28	11,24	37,36	26,68	12,76	0,60
39	38,5	250	22,84	36,24	22,80	14,52	24,84	0,29
40	106,2	241,6	20,48	25,84	34,00	33,28	19,48	0,23

Tab. 14. – pokračování.

plot	mean14	GapFrac14	Opennes14	LAI_14_Lin	LAI_14_Log_CICorr	direct14	diff14
1	5,98	2,15	2,14	3,76	5,93	0,62	0,14
2	16,80	4,25	4,25	3,03	4,85	1,55	0,31
3	2,58	4,56	4,62	3,14	4,74	1,21	0,49
4	12,80	2,78	2,77	3,62	5,08	1,02	0,17
5	10,88	3,58	3,58	3,24	5,21	1,39	0,29
6	9,78	3,65	3,66	3,20	4,96	1,13	0,29
7	5,59	3,00	3,00	3,40	5,02	1,10	0,22
8	16,70	3,12	3,11	3,42	4,74	0,86	0,22
9	14,10	2,59	2,59	3,69	4,88	0,73	0,18
10	11,23	6,66	6,68	2,55	4,29	2,17	0,51
11	6,26	3,96	3,96	3,12	5,12	1,26	0,28
12	6,84	3,56	3,56	3,19	4,86	1,36	0,27
13	4,60	3,82	3,83	3,15	4,63	2,31	0,30
14	44,41	5,46	5,48	2,88	5,07	2,22	0,38
15	27,41	4,43	4,43	3,05	4,85	1,77	0,29
16	4,91	2,39	2,41	3,68	5,41	0,79	0,23
17	6,97	2,36	2,38	3,59	5,46	1,92	0,21
18	12,13	5,70	5,76	2,78	4,86	1,98	0,51
19	33,96	7,47	7,47	2,47	4,85	4,17	0,52
20	60,18	4,54	4,54	3,11	4,43	1,92	0,34
21	12,70	4,11	4,09	3,36	4,55	1,18	0,29
22	6,42	2,35	2,38	3,83	4,82	0,79	0,24
23	17,02	5,79	5,81	2,77	3,73	3,15	0,51
24	16,14	7,11	7,11	2,56	3,53	3,03	0,53
25	32,44	7,45	7,44	2,48	3,55	3,29	0,58
26	11,54	2,13	2,13	3,85	4,99	2,08	0,18
27	11,13	1,82	1,82	3,94	5,11	1,08	0,15
28	11,26	5,04	5,03	2,94	4,02	2,66	0,38
29	17,44	6,03	6,05	2,70	3,65	3,34	0,53
30	26,88	4,98	4,96	2,94	3,93	2,90	0,36
31	10,39	2,50	2,51	3,54	4,90	1,74	0,21
32	16,97	3,92	3,91	3,21	5,09	1,67	0,32
33	9,46	2,24	2,26	3,73	5,05	1,18	0,21
34	36,20	7,12	7,14	2,50	3,75	1,42	0,57
35	36,86	2,84	2,82	3,61	4,82	1,20	0,19
36	20,06	4,00	4,01	3,41	5,04	3,52	0,32
37	13,06	2,46	2,46	3,61	4,72	0,82	0,21
38	29,46	4,63	4,63	2,99	4,61	1,32	0,36
39	24,25	3,06	3,04	3,49	4,90	1,28	0,22
40	26,62	4,72	4,73	2,98	4,35	2,62	0,41

Tab. 14. – pokračování.

plot	total14	fullsun14	sw_herbs_14	sw_juv_14	nr_herbs_14	nr_juv_14	nr_shrub_14
1	0,76	1,70	3,05	2,34	26	12	0
2	1,86	4,30	2,75	2,01	25	8	4
3	1,70	3,90	2,79	2,49	19	13	0
4	1,19	2,70	3,08	2,52	23	13	0
5	1,68	3,80	2,88	2,11	30	9	3
6	1,42	3,30	2,71	1,99	23	8	0
7	1,31	3,00	3,15	2,46	25	13	0
8	1,09	2,50	3,29	2,41	32	12	4
9	0,90	2,10	3,24	2,63	29	15	3
10	2,68	6,10	3,11	2,53	28	13	6
11	1,55	3,50	3,16	2,61	26	15	1
12	1,63	3,70	3,18	2,46	25	12	0
13	2,61	6,00	3,33	2,52	30	13	1
14	2,60	6,00	3,19	2,25	29	10	5
15	2,07	4,70	3,03	2,74	24	16	6
16	1,03	2,40	2,66	2,40	15	12	9
17	2,13	4,90	2,83	2,41	18	12	4
18	2,50	5,70	3,10	2,58	28	14	2
19	4,70	10,80	2,84	2,33	24	11	5
20	2,26	5,20	3,08	2,52	31	13	6
21	1,47	3,40	2,94	2,56	22	14	9
22	1,03	2,40	3,16	2,65	25	15	5
23	3,66	8,40	3,10	2,48	31	13	4
24	3,56	8,20	3,32	2,45	29	12	3
25	3,87	8,90	3,05	2,26	30	10	3
26	2,26	5,20	2,65	2,57	17	14	11
27	1,23	2,80	3,06	2,46	25	14	10
28	3,04	7,00	3,47	2,60	34	14	5
29	3,87	8,90	3,16	2,60	27	14	3
30	3,26	7,50	2,91	2,18	22	11	5
31	1,95	4,50	2,96	2,59	20	14	0
32	1,99	4,60	3,13	2,42	26	12	4
33	1,40	3,20	3,21	2,68	28	15	0
34	2,00	4,60	3,30	2,59	33	14	5
35	1,38	3,20	3,05	2,61	25	14	9
36	3,84	8,80	3,22	2,53	28	13	8
37	1,03	2,40	3,36	2,53	33	16	1
38	1,68	3,80	3,28	2,39	28	13	10
39	1,50	3,40	3,49	2,39	38	13	7
40	3,03	6,90	3,31	2,67	32	15	1