



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra ekologie

Studijní program: Inženýrská ekologie

**Vliv abiotických faktorů na vegetaci dubových  
pařezin**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Douša, Ph.D.

Autor diplomové práce: Marek Michna

Praha 2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekologie  
Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Michna Marek

Aplikovaná ekologie

Název práce

**Vliv abiotických faktorů na vegetaci dubových pařezin**

Anglický název

**Effect of abiotic factors on vegetation of oak coppice forests**

### Cíle práce

Zjistit vliv světelných a půdních poměrů na druhové složení a bohatství podrostní vegetace doubrav.

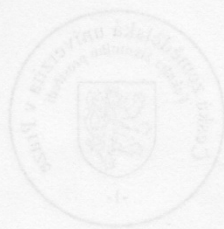
### Metodika

Zapsat fytoocenologické snímky podrostu dubových pařezin na jedné lokalitě. Odebrat půdní vzorky a vyfotografovat zápoj stromového patra. Analyzovat závislost druhového složení a bohatství na světelných poměrech a půdních vlastnostech (N, P, K, Ca, C, Mg, pH).

### Harmonogram zpracování

V roce 2010 byly v rámci studentovy bakalářské práce zapsány fytoocenologické snímky, odebrány půdní vzorky a vyfotografován zápoj stromového patra na lokalitě v Českém krasu. V roce 2011 byly analyzovány půdní vzorky v laboratoři a hemesferické fotografie stromového zápoje. V roce 2012 budou dosbírána terénní data a provedeny statistické analýzy pro účely diplomové práce.

prof. Ing. Petr Skládko, CSc.  
Ředitel katedry



prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.  
Vedoucí katedry

V Praze dne 13. 3. 2012

## Rozsah textové části

30 stran + přílohy

## Klíčová slova

cévnaté rostliny, Český kras, hemisferické fotografie, půdní vlastnosti, světlo

## Doporučené zdroje informací

Evans, G.D., Coombe, D.E., 1959. Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. – J. Ecol. 47, 103–113.

Frazer, G.W., Canham, C.D., Lertzman, K.P., 1999. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0. – Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York, 36 pp.

Goldblum, D., 1997. The effects of treefall gaps on understory vegetation in New York State. – J. Veg. Sci. 8, 125–132.

Jelaska, S.D., 2004. Analysis of canopy closure in the Dinaric silver fir–beech forests (Omphalodo-Fagetum) in Croatia using hemispherical photography. – Hacquetia 3 (2), 43–49.

Jelaska S. D. et al. (2006): Responses of forest herbs to available understory light measured with hemispherical photographs in silver fir–beech forest in Croatia. – Ecol. Modell. 194: 209–218.

Martens, S.N., Breshears, D.D., Meyer, C.W., 2000. Spatial distributions of understory light along the grassland/forest continuum: effects of cover, height, and spatial pattern of tree canopies. – Ecol. Modell. 126 (1), 79–93.

## Vedoucí práce

Douda Jan, Ing., Ph.D.

  
prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Vedoucí katedry



  
prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 7.9.2012

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Vliv abiotických faktorů na vegetaci dubových pařezin“ vypracoval samostatně. Veškerá použitá literatura je uvedena v seznamu literatury na konci práce.

V Praze dne .....

## **Poděkování**

Mé poděkování patří především mému školiteli Janu Doudovi za mnoho přínosných připomínek a rad, za pomoc v terénu při sběru dat i za mnoho času stráveného při konzultačních setkáních. Také mu děkuji za trpělivost při vysvětlování některých statistických analýz. Velké díky patří také Karlu Boublíkovi za pomoc při snímkování v terénu, také za mnoho hodnotných připomínek a inspirativních nápadů týkajících se této práce.

Dále všem mým kamarádům, rodině a blízkým, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Děkuji!

Diplomová práce byla finančně podpořena grantem IGA FŽP ČZU v Praze číslo 42110/1312/3117.

## Abstrakt

Studie závislosti druhového složení a pokryvnosti podrostu na abiotických faktorech byla uskutečněna na lokalitě Vysoká stráň (Český kras). Konkrétně byly testovány proměnné vlivu světla, polohy na svahu a půdních podmínek pomocí kanonické korespondenční analýzy (CCA) na dvou rozdílných škálách. Pro analýzy byly využity výsledné hodnoty z analyzovaných hemisférických fotografií a půdních vzorků pořízených na studované lokalitě. Vztah mezi světelnými podmínkami a druhovou skladbou na stanovišti vyšel nesignifikantně. Výskyt rostlinných druhů je však výrazně ovlivněn rozdíly v naměřených hodnotách potenciální radiace, sklonu a půdních podmínek (pH,  $N_{tot}$ ,  $C_{org}$  a prvky dostupné rostlinám: P, K, Ca a Mg). Studie prokázala, že na jemnější studované škále vysvětlují faktory potenciální radiace a sklonů studovaných ploch nižší variabilitu vegetace než na hrubší studované škále. To platí i pro variabilitu vysvětlenou půdními faktory. Na obou škálách se největší vliv na vegetaci projevil u hořčíku a dusíku. Tato studie potvrzuje výrazný vliv půdního složení na druhové složení podrostu v otevřených teplomilných doubravách, které se nacházejí především na exponovaných strmých místech s mělkou vrstvou půdního profilu. Naopak variabilita světelných podmínek neprokázala vliv na druhové složení v lesním podrostu, pravděpodobně v důsledku obecně vysoké prosvětlenosti korunového zápoje.

**Klíčová slova:** Český Kras, faktory půdních podmínek, hemisférické fotografie, otevřenost zápoje, potenciální radiace.

## **Abstract**

The dependency of plant species composition and abundance on abiotic factors was evaluated in the locality Vysoká stráň (Bohemian Karst). Specifically, effect of light, position on slope and edaphic conditions was tested using canonical correspondence analysis (CCA) at two different spatial scales. Hemispherical photographs and soil samples were used for analysis. Relationship between light conditions and species composition was nonsignificant, whereas potential radiation, slope and soil conditions (pH, N<sub>tot</sub>, C<sub>org</sub>, plant available P, K, Ca and Mg) considerably influenced variation in plant species occurrences. The study proved the factors of potential radiation and slopes of examined areas explaining lower variability when they are measured on finer scale than on coarser scale. This applies also in case of variability explained by soil factors. The very significant influence of magnesium and nitrogen on vegetation was proven on both scales. This study supports important influence of soil variability for species composition of open xerotherm oak forests, which occurred especially on exposed steep sites with shallow soil profile. On the contrary, variability in light conditions do not affect species composition probably due to generally low canopy cover in oak forests.

**Key words:** Bohemian Karst, canopy openness, edaphic conditions factors, hemispherical photographs, potential radiation.

# OBSAH

<b>1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>8</b>
<b>2. LITERÁRNÍ REŠERŠE.....</b>	<b>10</b>
2.1 Závislost druhového složení vegetace na podmínkách a heterogenitě prostředí.....	10
2.2 Vliv půdních podmínek na vegetaci v lesních společenstvech .....	13
2.3 Vliv světelných podmínek na vegetaci v lesních společenstvech .....	15
<b>3. METODIKA PRÁCE .....</b>	<b>19</b>
3.1 Studovaná lokalita.....	19
3.1.1 Lokalizace .....	19
3.1.2 Geologie, geomorfologie a pedologie území.....	20
3.1.3 Biogeografické a fytogeografické členění.....	21
3.1.4 Klimatické poměry .....	21
3.1.5 Vegetace.....	21
3.2 Metodika výzkumu.....	24
3.2.1 Studijní plochy .....	24
3.2.2 Pořizování dat - světelné faktory .....	25
3.2.3 Pořizování dat - edafické faktory.....	26
3.2.4 Pořizování dat - topografické faktory .....	28
3.2.5 Metodika zpracování dat pro výsledné statistické analýzy .....	28
3.2.6 Analýzy .....	28
<b>4. VÝSLEDKY.....</b>	<b>32</b>
4.1 Závislosti mezi abiotickými faktory prostředí a jejich vliv na vegetaci .....	32
4.2 Vliv půdních faktorů na diverzitu vegetace .....	35
4.3 Výsledky RDA analýz dle schémat A, B a C .....	36
4.4 Schémata variability .....	39
4.5 Floristické nálezy v terénu .....	40
<b>5. DISKUZE.....</b>	<b>41</b>
5.1 Hodnocení vlivů světla, potenciální radiace a sklonů ploch na podrostní vegetaci .....	41
5.2 Hodnocení vlivů půdních podmínek na podrostní vegetaci.....	42
<b>6. ZÁVĚR.....</b>	<b>45</b>
<b>7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>46</b>
<b>8. PŘÍLOHY .....</b>	<b>54</b>



# 1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Základním cílem ekologických studií je pochopení toho, co řídí distribuci a množství rostlinných druhů na stanovištích (Gilbert & Lechowicz 2004). Heterogenita prostředí je považována za jeden ze základních faktorů určující druhovou rozmanitost ve společenstvech. Je dobře známo, že rostoucí heterogenita prostředí zvyšuje druhové bohatství a umožňuje koexistence různých druhů díky většímu počtu nik na stanovišti (Laanisto et al. 2013). K prostorové heterogenitě dochází současně na různých měřítcích. Na větší prostorové škále je heterogenita vyjadřována především gradienty různých faktorů prostředí. Na menších škálách lze rozlišovat individuální mikrostanoviště v rámci jednotlivých společenstev (Ettema & Wardle 2002). Hranice, lišící se mezi malými a velkými měřítky v každé studii z důvodů odlišných struktur společenstev, proto zůstává nejednoznačná (Tamme et al. 2010, Gazol et al. 2012, Laanisto et al. 2013).

Druhová bohatost podrostití vegetace je vždy určována více faktory najednou. Světelné faktory jsou uváděny jako jedny z nejdůležitějších ekologických faktorů určujících variabilitu vegetace v lesních podrostech (Martens et al. 1999). Světlo určuje jak druhové složení v lesním podrostu, tak rostlinný vzrůst a pokryvnost druhů, avšak velmi často určuje složení lesních podrostů pouze v kombinaci s ostatními abiotickými podmínkami (Schuster & Diekmann 2005). Je nutné dodat, že světelné podmínky na malých škálách nemají často samy o sobě rozhodující význam při rovnoměrném korunovém zápoji, který je právě na těchto škálách velmi častý (Jelaska et al. 2006). Naopak mezi abiotické faktory, které ovlivňují diverzitu vegetace v lesních podrostech již na velmi jemných škálách, patří půdní podmínky, které jsou prokazatelně velmi variabilní (Gazol et al. 2012, Laanisto et al. 2013). Účinky těchto faktorů se mohou projevovat na malé škále především tehdy, když se jedná o studované území s velkou terénní členitostí (Macek 2009). Výzkumy těchto faktorů jsou v naprosté většině založeny na analýzách prokazujících druhy, které korelují s půdními faktory, nebo naopak hledají významný parametr korelující s jednotlivými druhy v lesním podrostu (Bringmark 1989).

Cílem této diplomové práce je zhodnocení vlivů vybraných abiotických faktorů na podrostní vegetaci v dubové pařezině. Práce se standardně skládá ze dvou částí. Nejprve budou v literární rešerši stručně shrnuty prozatímní poznatky týkající se problematiky závislosti druhového bohatství rostlin na abiotických podmínkách a heterogenitě prostředí. Rešerše bude shrnovat postupy, metody a výsledky výzkumů zahraničních i tuzemských autorů zabývajících se podobnými výzkumy. Praktická část se bude věnovat samotnému zhodnocení vlivů abiotických podmínek (světla a půdy) a geografických faktorů (svažitosti) na druhové složení a pokryvnost vegetace v podrostu na dvou prostorových škálách teplomilné doubravy na Vysoké stráni v CHKO Český kras. Analýze výsledků půdních a světelných faktorů, ve vztahu k vegetaci, předcházela sběr dat v terénu. Hlavním cílem terénních prací bylo pořízení fytoocenologických snímků vegetace letního aspektu. Dále bylo třeba odebrat půdní vzorky ze studovaných ploch a vyfotografovat zápoj stromového patra pomocí objektivu rybí oko. Zhodnocením zdejších abiotických faktorů získáme lepší přehled o fungování tohoto ekosystému. Získané znalosti mohou být nepřímo využity při ochraně a zachování těchto typů porostů.

**Cíle praktické části této diplomové práce byly stanoveny takto:**

- Zhodnotit, zda a jak je distribuce podrostní vegetace na studované lokalitě ovlivněna vlivem místních světelných faktorů na dvou odlišných prostorových škálách. Pomocí pořízených hemisférických fotografií kvantifikovat vliv faktorů světla na variabilitu lesní vegetace za použití mnohorozměrných metod (RDA).
- Totožné analýzy provést pro zdejší půdní a topografické faktory studovaných ploch na lokalitě a to opět pro dvě odlišné škály. Těmito hodnocenými faktory jsou: půdní pH, množství N, P, K, C, Ca, Mg v půdě a sklony na jednotlivých studovaných plochách.
- Vyhodnotit, zda existuje prokazatelná závislost mezi jednotlivými půdními faktory prostředí a diverzitou rostlinných druhů na obou studovaných škálách.
- Na schématech rozkladu variabilit pro obě škály vyhodnotit čisté vlivy studovaných faktorů na variabilitu zdejší vegetace.

## 2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 2.1 Závislost druhového složení vegetace na podmínkách a heterogenitě prostředí

V heterogenním prostředí jsou rostliny uspořádány v prostoru mezi jednotlivými mikrostanovišti. Každý jedinec existuje na diskrétním bodu pomyslné sítě prostředí s jedinečnými vlastnostmi a poskytovanými zdroji pro jeho vlastní existenci (Tilman 1994). Výskyt druhů rostlin je závislý na mezidruhové kompetici o jednotlivé zdroje právě mezi těmito mikrostanovišti. Velké environmentální kontrasty mezi mikrostanovišti umožňují koexistence širokých spekter rostlinných druhů s různými životními strategiemi. Na druhou stranu, spektrum v homogenním prostředí, ve kterém může existovat omezený počet druhů (teoreticky i pouze jeden), je složeno jen z nejúspěšnějších kompetitujících druhů (Tilman & Pacala 1993, Douda et al. 2012). Je také nutné vzít v úvahu, že absence zdrojů na stanovišti se pro daný druh stává limitující pro jeho existenci, která je na těchto zdrojích závislá. Počet těchto limitujících faktorů na stanovišti udává počet druhů, které na něm mohou koexistovat (Tilman & Pacala 1993).

Vyšší diverzita druhového bohatství na stanovištích může být zapříčiněna větší heterogenitou prostředí, při které je plocha povrchu větší až o 40 % na rozdíl od homogenních stanovišť (Peach & Zedler 2006). Na velkých prostorových škálách nalezneme různě koexistující společenstva rostlin, která vedou k pozitivnímu růstu heterogenity prostředí. Na malých škálách je však druhová koexistence v rámci společenstev posilována zvyšujícím se počtem mikrostanovišť. Zde tak dochází k omezování heterogenity prostředí v závislosti na počtu mikrostanovišť. Dle výzkumů je negativní heterogenita výrazně častěji pozorována právě na malých škálách, kde může docházet k izolaci druhu na mikrostanovištích, která může vézt až k jeho postupnému vymizení (Laanisto et al 2013, Tamme et al. 2010). Laanisto et al. (2013) ve své práci uvádějí dělení vyhodnocování heterogenity prostředí podle počtu a podle různorodosti mikrostanovišť na stanovištích. V prvním případě je heterogenita stanoviště hodnocena podle počtu druhů mikrostanovišť a jejich ekotonů na jednotce plochy (Duelli 1997). V druhém případě lze hodnotit

heterogenitu prostředí na základě kompozice těchto mikrostanovišť. Jde tedy o jakousi promíchanost jednotlivých mikrostanovišť (Fahrig et al. 2011).

Interakce samotných jedinců rostlin probíhají s jejich sousedními jedinci. Skupiny těchto sousedů se však mohou lišit ve složení a to z důvodu rozptylu či mortality samotných jedinců v těchto společenstvech (Pacala & Silander 1990). Je stále více přesvědčivých důkazů o tom, že prostorová struktura vytvořená interakcemi jedinců hluboce ovlivňuje dynamiku, složení a biologickou rozmanitost společenstev (Tilman 1994). Tilman také přisuzuje velkou váhu konkurenčním schopnostem při kolonizaci a dlouhověkosti jedinců. Podle něj je v rámci každého stanoviště z hlediska individuálních jedinců více pravděpodobná interakce se sousedním jedincem, než s jedincem vzdálenějším. To platí zvláště pro přízemní druhy rostlin (Pacala & Silander 1990). Nicméně dynamika a rozmanitost společenstev závisí nejen na okolních interakcích, ale také na šíření jedinců (Cohen & Levin 1991). Například se může stát, že druh na lokalitě chybí, ne proto, že by byl ovlivněn interakcemi ostatní druhů, ale proto, že se na lokalitu ještě nerozšířil. Jde o důležitý faktor určující sukcesní dynamiku, rozmanitost společenstva a jeho složení (Cornell & Lawton 1992). Mnohé studie naznačují, že druhy mají často silné interakce s druhy, které se s nimi vyskytují, ale jednotlivé kombinace těchto druhů se mohou lišit v důsledku absence některých druhů na lokalitě. Druhy takto žijí v prostorově strukturovaném stanovišti (Tilman 1994).

Nejlépe přizpůsobivé druhy rostlin by za nějakou dobu měly v kompetičním závodě nahradit všechny ostatní druhy rostlin na stanovišti, pokud je kompetice o jednotlivé zdroje nepřerušována disturbancemi a probíhá v homogenním prostředí. V heterogenním prostředí však různorodost podmínek tento vývoj zcela vylučuje. Konkurenční vyloučení druhů by zde probíhalo velmi pomalu a zřejmě by ani nebylo nikdy dokončeno (Palmer & White 1994). Čím je prostředí heterogennější, tím více druhů zde lze předpokládat, což je dokládáno mnoha studiemi (Hart & Horwitz 1991, Cornell & Lawton 1992).

Proběhly však výzkumy, které tuto teorii nijak nepotvrdily (Bell et al. 2001). Nicméně je stále více důkazů, že variabilita stanovištních podmínek může mít vliv nebo dokonce negativní vliv na druhovou bohatost rostlin a jejich soužití na jemné škále (Douda et al. 2012, Tamme et al. 2010). Některé abiotické faktory

ovlivňující distribuci rostlinných druhů v podrostech lesních ekosystémů jsou známy pro jejich vysokou variabilitu již na velmi jemných škálách (Gazol et al. 2012, Laanisto et al. 2013). Předpoklady pro tuto variabilitu mohou být různé. Složení půdních substrátů se může lišit již v rozsahu centimetrů (Lechowicz & Bell 1991, Wilcke & Kaupenjohann 1997). To může být způsobeno opadem listů, který je uložen na půdách, a to vždy dle síly povětrnostních podmínek či v závislosti na topografii. Dále vlastnostmi různých typů opadu listů z jednotlivých druhů stromů, které po rozkladu v půdě spoluvytváří její chemické složení (Peterson & Campbell 1993). Variabilitu může též určovat objem odtoku srážkové vody po kmeni stromů. V tomto případě záleží na typu kůry a výšce či stáří stromu (Lodhi & Johnson 1989). Mikroklima se též mění vznikem děr v korunovém zápoji, kterými poté prostupuje větší množství slunečního záření. Je důležité také uvést vliv rozhrabávání půdy a další disturbance způsobené lesní zvěří. Mezi měřitelné abiotické faktory vytvářející podmínky, které odlišují výskyt druhů rostlin v lesních podrostech, patří: topografie, světelné podmínky, vlhkost a půdní vlastnosti. Kvantifikace jednotlivých faktorů prostředí a prostoru ovlivňujících rozšíření druhů nám může pomoci lépe pochopit procesy utvářející rozmanitost v lesních porostech (Lin et al. 2013).

Více rostlinných druhů bychom měli nalézt v prostředích, která jsou rozmanitější v prostoru a poskytují více mikrohabitátů, v prostředích s větší rozmanitostí mikroklimatu a ve všech prostředích nabízejících širší spektrum zdrojů. V některých případech je možné vztáhnout druhové bohatství k prostorové heterogenitě neživého prostředí (Begon et al. 2010). Studie Gould & Walker (1997) na rostlinách rostoucích na 51 plochách podél řeky Hood River v Kanadě například ukázala pozitivní vztah mezi druhovým bohatstvím a indexem heterogenity (sklon, půdní vlhkost, pH, typ substrátu). Douda et al. (2012) zkoumali heterogenitu prostředí v mokřadních olšinách na různých škálách (0,6 m, 1,2 m a 11,4 m). V souladu s hypotézou heterogenity biotopů předpokládali, že druhy v porostu budou seřazeny dle ekologických gradientů do jednotlivých nik. Na pokusných plochách měřili světlo dopadající do podrostu, pH půdy, mikrotopografii a výšku hladiny vody. Všechny měřené faktory zde vykazovaly velmi vysokou variabilitu v naměřených hodnotách. Korelace vyšla průkazně pouze mezi světelnými faktory, respektive mikrotopografií a druhovým bohatstvím. I přes vysokou variabilitu pH půdy (3,2-6,4) tento faktor žádnou významnou závislost neprokázal. Vliv světelných

podmínek a topografie prokázal nárůst zhruba o 1,5 násobek druhů na nejvíce heterogenní zkusné ploše vůči nejméně heterogenní ploše. Výsledky studie naznačily, že podmínky prostředí hrají důležitou roli na jemné prostorové škále v lužním lese. Je však evidentní že heterogenita těchto porostů je především spojena s variabilitou prostředí, a to s velmi častými výskyty sníženin a kopečků, které dávají tomuto typu biotopu charakteristické a jedinečné vlastnosti.

## **2.2 Vliv půdních podmínek na vegetaci v lesních společenstvech**

Půda je prostředí měnící se v prostoru i čase. Klima, působení organismů, topografie a vliv matečné horniny působící v dlouhých obdobích vedli k vývoji širokých spekter půdních vlastností, které zapříčiňují mnohdy vysokou diverzitu rostlinných společenstev (Slavíková 1986). Také v místech se zdánlivě homogenním rozložením rostlinných druhů, půdní vlastnosti vykazují velké rozdíly (Bringmark 1989). Půda bývá velmi různorodá již na jemné škále, často více než v rámci celých regionů. Například u půdních reakcí bylo zjištěno, že se mnohdy více liší v rámci centimetrů, dokonce i mikrometrů, než na rozlohách několika desítek metrů (Lechowicz & Bell 1991, Wilcke & Kaupenjohann 1997). Ještě větší variabilita byla prokázána u půdních kationtů a aniontů (Campbell et al. 1989). Je dobře známo, že skupiny lesních bylin a dřevin jsou svými nároky jasně spojeny s půdními faktory na různých měřítcích (Bruehlheide & Udelhoven 2005).

Mnohé výzkumy se zabývaly posouzením stanovištních půdních podmínek, které mají vliv na výskyt rostlinných druhů v lesních podrostech. Ve většině případů si lze položit dvě základní otázky. Za prvé jak jsou rostliny a jejich výskyt ovlivněny půdními podmínkami? V tomto případě probíhá selekce jednotlivých druhů již při jejich distribuci, tedy při samotném rozmnožování, a to jak při jeho generativním tak i vegetativním způsobu. Jedinci se na stanovišti vyskytují jen při alespoň minimálních podmínkách, při kterých jsou schopny existovat. Těmito základními podmínkami často bývají právě vlastnosti půd. Na stanovišti „uchycení“ jedinci dále vlivem dalších různých faktorů vykazují během své další existence například větší či menší fitness a to na konkrétních místech s konkrétními podmínkami. Jde o větší a rychlejší růst, delší dobu přežití či vyšší míru reprodukce (De Kroon & Hutchings

1995). Jako druhá otázka bývá často pokládána naopak ta, zda jsou a jak půdní podmínky ovlivňovány rostlinnými druhy? V tomto případě rostliny mění půdní podmínky vylučováním  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}^+$  svými kořenovými výměšky. Nejvýznamněji tedy organickými kyselinami a fenoly (Dinkelaker et al. 1997). Změna půdních vlastností probíhá také opačným směrem, a to čerpáním živin z půdy a to např.  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  (Dieffenbach et al., 1997). Cílem výzkumů bývá zjistit, jaká chemická vlastnost půd nejlépe odráží výskyt jednotlivých druhů rostlin (Bruelheide & Udelhoven 2005).

Pro relativně snadné měření a pro obecnost bývá ve studiích variability vegetace dosti často studován vliv pH. Také splňuje většinu nároků na proměnné pro zvyšování prostorové variability. Vodíkové kationty se účastní mnoha biochemických procesů v půdě, mají přímé účinky na růst rostlin a jsou ve většině případů nepřímo spojeny s dostupností jiných kationtů (Bringmark 1989). Ve výzkumu bučin v lesních porostech středního Německa (okolí města Göttingen) nejprůkaznějším faktorem bylo právě pH. A to i v případě, že se v rámci tří zkoumaných porostů lišilo jen minimálně v řádech desetin. Dalšími významnými edafickými faktory, určujícími výskyt druhů v podrostu, byly vápník, draslík a železo (Bruelheide & Udelhoven 2005). Vápník jako nejvíce signifikantní pro výskyt druhů vyšel také ve výzkumu listnatých lesů v Severní Carolině (Palmer 1990). Význam vápníku pro rostliny se zvyšuje s jeho klesající dispozicí. Totéž by se ovšem dalo zřejmě tvrdit i o ostatních prvcích či jejich iontech. Vápník při jeho nízkých koncentracích v půdě stává limitujícím z důvodu jeho role při zachování celistvosti buněčných membrán a buněčných stěn (McLaughlin & Wimmer 1999). Naopak pro draslík zde nebyl zjištěn vůbec žádný vztah (Bruelheide & Udelhoven 2005). John et al. (2007), zjistili v lesních porostech ostrova Barro Colorado (Panama), že půdní vlastnosti vysvětlují variabilitu druhového složení v podrostu z 15 %. Topografie vysvětlila zdejší variabilitu z 10 %. Výzkum probíhal na 20 metrové škále v porostu. Skrze výsledky této studie také odhadli důležitost stopových prvků (bor, vápník, hořčík, železo a hliník) obsažených v půdě pro distribuci druhů vegetace.

Huston (1994) v závěru své studie naznačuje, že druhové bohatství je určováno faktory v různých měřítcích. Výsledkem jeho výzkumu jsou tvrzení, která se domnívají, že na jemné škále distribuce druhů méně souvisí s půdními parametry než v regionálním měřítku. Na jemné škále mohou být biotické faktory důležitější

než abiotické (Bruelheide & Udelhoven 2005). Dle Lin et al. (2013) by rozdíly ve společenstvech měli narůstat se vzdáleností zkoumaných ploch od sebe. Dle těchto autorů existují totiž dvě hybné síly, dle kterých je určeno složení podrostu. Jde o životní prostředí rostliny (vliv sousedních jedinců) a prostorové faktory na stanovišti. Při jejich výzkumu na území subtropického lesa v Dinghushanské přírodní rezervaci v Číně byly zkoumány různé velikosti zrna zkoumaných ploch a zjišťován rozdíl ve variabilitě jejich podrostu. Vysvětlená variabilita půdy a topografie se zde zvýšila z 25 % na 55 % se zvětšením zrna z 10 m<sup>2</sup> na 100 m<sup>2</sup>. Na studovaném území byla také prokázána větší variabilita půdních faktorů než u faktorů topografických. To je vysvětlováno přímým vlivem půdních faktorů na rozdíl od topografie na lokálním měřítku, která je pro rostliny spíše faktorem nepřímým. Půdní faktory a topografie nemusejí být nutně korelovány, ale tyto faktory mají podobné prostorové strukturování. Také dle tohoto výzkumu jsou průkaznější edafické vlastnosti spíše na regionální než na lokální úrovni. Neprůkaznost zdejšího vlivu dusíku byla odůvodněna nasycením půdy vlivem depozice z ovzduší. Neprůkaznost a omezená přítomnost fosforu byla zdůvodněna jeho vymýváním ze svrchní půdní vrstvy srážkami. Kyselé pH (3,7) ve zdejším porostu má za následek malé množství K a P v půdě. Proto bylo pH dostatečně korelováno s těmito prvky. Vyhodnocení půdních faktorů a jejich účinků je tedy důležitou součástí pro pochopení environmentálních procesů (Wang et al. 2009).

### **2.3 Vliv světelných podmínek na vegetaci v lesních společenstvech**

V případě světelných podmínek na stanovišti je velmi podstatná délka gradientu prostředí, ve kterém jsou studovány. Proto není jednoduché vytvářet jednoduché závěry prokazující vliv těchto faktorů (Dupré 2001). Dle studie Bucci & Borghetti (1997) je například v borových submediteránních lesích distribuce druhů vegetace ovlivňována především jejich vzájemnou kompeticí. Autoři práce dodávají, že gradient světelných faktorů je zde tak krátký, že místní rostlinnou distribuci nemůže prokazatelně ovlivňovat. Světlo samo o sobě nebývá určujícím faktorem ovlivňujícím vegetaci na stanovištích (Schuster & Diekmann 2005). Keersmaecker et al. (2004) ve svém výzkumu vyhodnotili jako nejdůležitější faktor ovlivňující distribuci vegetace v podrostu starobylých smíšených lesů severní Belgie světelné



podmínky a to v kombinaci se stářím lesního porostu, půdní reakcí a obsahem fosforu v půdě. Odlišné faktory ovlivňující výskyt druhů v podrostu uvádějí na stanovišti v jehličnatých lesích Sierry Nevady autoři North et al. (2005). V jejich případě šlo o kombinaci vlivů difúzního světelného záření, půdní vlhkostí a její mocností na studované lokalitě. Protože je velká část přímé radiace odrážena či pohlcována korunami stromů a půdním povrchem, roste důležitost právě difúzního záření v porostech (Zrak & Jaloviar 2009). Härdtle et al. (2003) uvádějí, že hodnoty světelných a půdních faktorů včetně půdní vlhkosti je třeba hodnotit vždy v závislosti na typu společenstva. Dle jejich výzkumů byl vliv světla na variabilitu a pokryvnost přízemní vegetace prokázán v acidofilních doubravách, kde byl po vytvoření podmínek, které umožňovali větší prostupnost světla korunovým zápojem, podpořen výskyt druhů rostlin schopných otáčení k těmto mezerám v zápoji korun. V mezotrofních až eutrofních bukových lesích a ve vlhkých lesích tvořených olší a jasanem tento jev pozorován nebyl (Härdtle et al. 2003). Také Tárrege et al. (2006) neprokázali ve své studii ve světlých submediteránních lesích žádný průkazný vliv světla na podrostní vegetaci. To může být zapříčiněno významnou otevřeností a prosvětleností zdejšího studovaného porostu, ve kterém tak téměř neomezovaná dostupnost světla nehraje podstatnou úlohu v distribuci druhů.

Různorodost na jemné prostorové škále si lze názorně ukázat na výzkumech v mokřadních lesích. V případě mokřadů dle výzkumu Anderson & Leopold (2002) se neprojevila závislost druhového složení na světle. Avšak například v případě výzkumu Douda et al. (2012) v mokřadních olšinách je vliv světla na distribuci druhů rostlin v porostu průkazný. Pozitivní vztah je tak v lesních porostech mezi variabilitou druhového složení podrostní vegetace a světelnými podmínkami různý.

Většina procesů probíhajících v lesích mírného pásma probíhá v přímé či nepřímé souvislosti se světelnými podmínkami v něm. Světlo je jednoznačně nejvíce významným zdrojem ovlivňujícím heterogenitu prostředí v mozaice mezer a úplného zapojení porostu (Collins et al. 1985). Proběhla řada výzkumů, které se zakládají ať již na přirozené či uměle vytvořené mezeře v korunovém zápoji (*gapu*). Tím, že dojde k vytvoření mezery, začne do podrostu pronikat více slunečního záření, které podporuje nárůst kompetice světlomilné vegetace v podrostu (Whitmore in Tomlison et al. 1978). Tato dynamika mezer v korunovém zápoji je především studována v lesnictví, kde je založena na výzkumech zabývajících se přirozenou obnovou

lesních porostů. Vegetace v lesních porostech netolerující jakýkoli zástin není schopna regenerovat v podmínkách úplného zapojení korun stromů. Avšak přesto dospělé těchto druhů v lesních porostech nalezneme. Právě mezery vznikající v korunovém zápoji zapříčiňují sukcesi těch druhů, které doposud na daném místě neměli vhodné podmínky pro existenci (Yamamoto 2000). Ellenberg (1974) ve své „*sukcesní teorii*“ předpověděl kompletní vymizení vegetace netolerující zástin z lesního podrostu. Tato teorie totiž předpokládala, že k vytvoření mezery v zápoji dochází dosti nepravidelně a za neobvyklých událostí (White 1979). Avšak „teorie dynamiky *gapů*“ se zakládá na zcela odlišném konceptu, který uvažuje vytvoření odlišného mikroklimatu způsobeným vytvořením dostatečně velké mezery v korunovém zápoji a tím vytvoření podmínek (zvýšený přísun světla, změna teplot a vlhkosti) pro druh s odlišnou životní strategií. Mezery, vznikající přirozenou či lidskou činností, svou velikostí musí odpovídat požadavkům jednotlivým druhům pro uskutečnění samotné kompetice těchto druhů (Yamamoto 2000). Podle dynamické teorie lesů, je každý lesní porost od ostatních odlišný svými kompozičními a prostorovými změnami. Tyto změny se v porostech objevují cyklicky v průběhu času. Tím se rozumí výskyt *gapů* v zápoji korun, změny ve střídání vývojových a dospělostních věkových fází lesních porostů (Whitemore 1975). Mezery v zápoji korun vznikají odumřením jedinců či většinou počtu stromů. Jde také například i o odlomení větve, po kterém však musí zůstat v zápoji jasně viditelná mezera, kterou může procházet dostatečné množství radiace. Rozměry těchto mezer se obecně uvádějí pro všechny typy lesních porostů. Velikost *gapů* by neměla přesahovat rozlohu 0,1 ha (Yamamoto 2000). Záření, které se v dostatečném množství dostává do podrostu, může být základní podmínkou přirozené obnovy lesních porostů (Vencurik & Sklenár 2006). V lesním hospodářství nám mohou znalosti ohledně kvantifikace světelných podmínek v podrostu pomoci stanovit správnou intenzitu pěstelského zásahu do lesního porostu (Zrak & Jaloviar 2009).

Mnohé výzkumy zjistily vliv vytvořených mezer v zápoji lesních porostů na změnu půdních vlastností právě pod vyskytující se mezerou. Toto tvrzení lze demonstrovat na příkladu jihoevropských jedlín, kde se zbytky organických hmot rozkládají významně rychleji při absenci mezer v zápoji a tudíž při větším zástině podrostu. To je odůvodňováno zvýšeným přísunem slunečního záření, které tak vysušuje půdu, jejíž vlhkost se zvýšeným přísunem radiace výrazně klesá.

V porostech s nízkou prostupností světla korunovým zápojem byly zaznamenány zvýšené obsahy organické hmoty a huminových kyselin v půdě (Muscolo et al. 2009). Coomes & Gruub (2000) tvrdí, že množství dopadajícího slunečního záření je významným činitelem ve změnách druhové bohatosti v podrostu pouze na lokalitách se zvýšenou vlhkostí a zvýšeným obsahem živin v půdě.

Závislost podrovní vegetace na množství na ní dopadajícího světla si lze také dobře demonstrovat na výzkumu Goldbluma (1997), který studoval lesní porost napadený defoliátorem. Po napadení škůdce vznikly v korunách lesních porostů mezery různých velikostí. Těmito mezerami po určitou delší dobu dopadala, ve zvýšeném množství přímá sluneční radiace. Ta byla důsledkem významných změn, a to jak v počtech druhů, tak i pokryvnosti druhů v podrostu na převážně většině zkoumaných lokalit. Když se porost zasažený defoliátorem znovu obnovil, nebyly pozorovány žádné předpokládané změny v jednotlivých podrostech. To však lze vysvětlit malou časovou prodlevou a lze v tomto případě předpokládat obnovu původního druhového složení v podrostu za delší časový horizont.

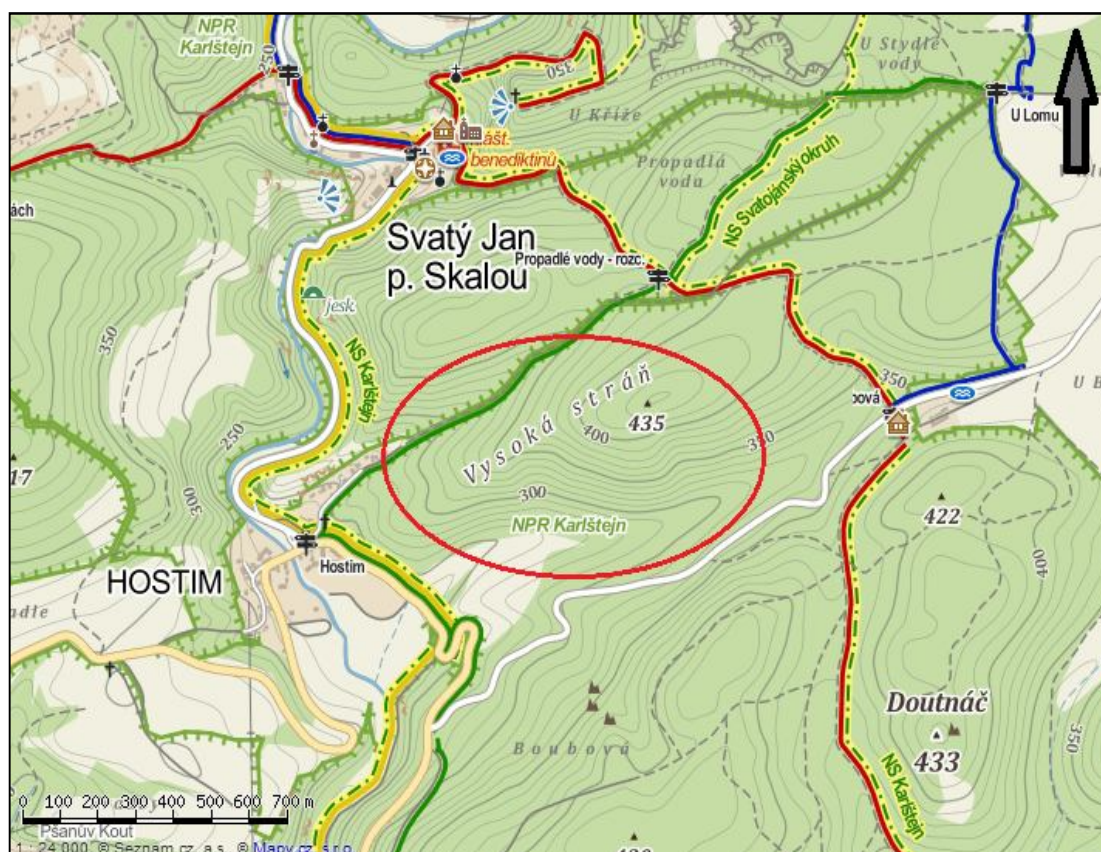
Charakteristika světelných podmínek v lesních porostech je velmi složitým metodickým problémem. Wagner et al. (1994) uvádějí řadu příčin vysvětlující mimořádně vysokou variabilitu v listnatých lesích mírného pásma, způsobenou světelnými podmínkami v porostech. Mezi základní činitele ovlivňující světelné poměry patří hledisko samotného zdroje světla. Radiace je především závislá na denní či roční pozici Slunce. Změna spočívá v intenzitě radiace, která je způsobena různými úhly dopadů slunečních paprsků na zemský povrch. Takto dochází ke změnám v množství radiace dopadající na určenou plochu. Dalšími abiotickými faktory ovlivňující velikost sluneční radiace jsou povětrnostní podmínky a topografie. Průběhy povětrnostních podmínek, a to zejména výskyty oblačnosti, mění podstatně vliv přímého a difúzního záření, kdy difúzní záření je navyšováno právě na úkor světla přímého. Topografie především ovlivňuje intenzitu radiace výskytem různých sklonitostí ozařovaných povrchů. Samotné lesní porosty ovlivňují světelné toky především svými prostorovými skladbami, druhovým složením a množstvím či hustotou asimilačních orgánů zachycujících dopadající radiaci. Světelné podmínky v lesních porostech lze jen těžko reprezentativně určit na základě stávajících, nedostatečně početných měření světelných faktorů (Zrak & Jaloviar 2009).

## 3. METODIKA PRÁCE

### 3.1 Studovaná lokalita

#### 3.1.1 Lokalizace

Výzkum probíhal na jižním svahu vrchu Vysoká stráž u Hostimi (435 m n. m.) v CHKO Český kras v Národní přírodní rezervaci Karlštejn. Lesy v této oblasti byly dlouhodobě formovány člověkem tzv. pařezemím a výrazně zde zasáhla i pastva, kosení bylinného patra či hrabání opadu na stelivo (Hausmannová et al. 2012). Dle Šamonila (2005) se ve zdejších lesích intenzivně hospodařilo již od 14. století. Ve 20. letech 19. století byly zdejší lesy tvořeny z pěti šestin výmladkovými porosty. Studované území je velmi členité (290–435 m n. m.) a jeho rozloha je asi 20 ha.

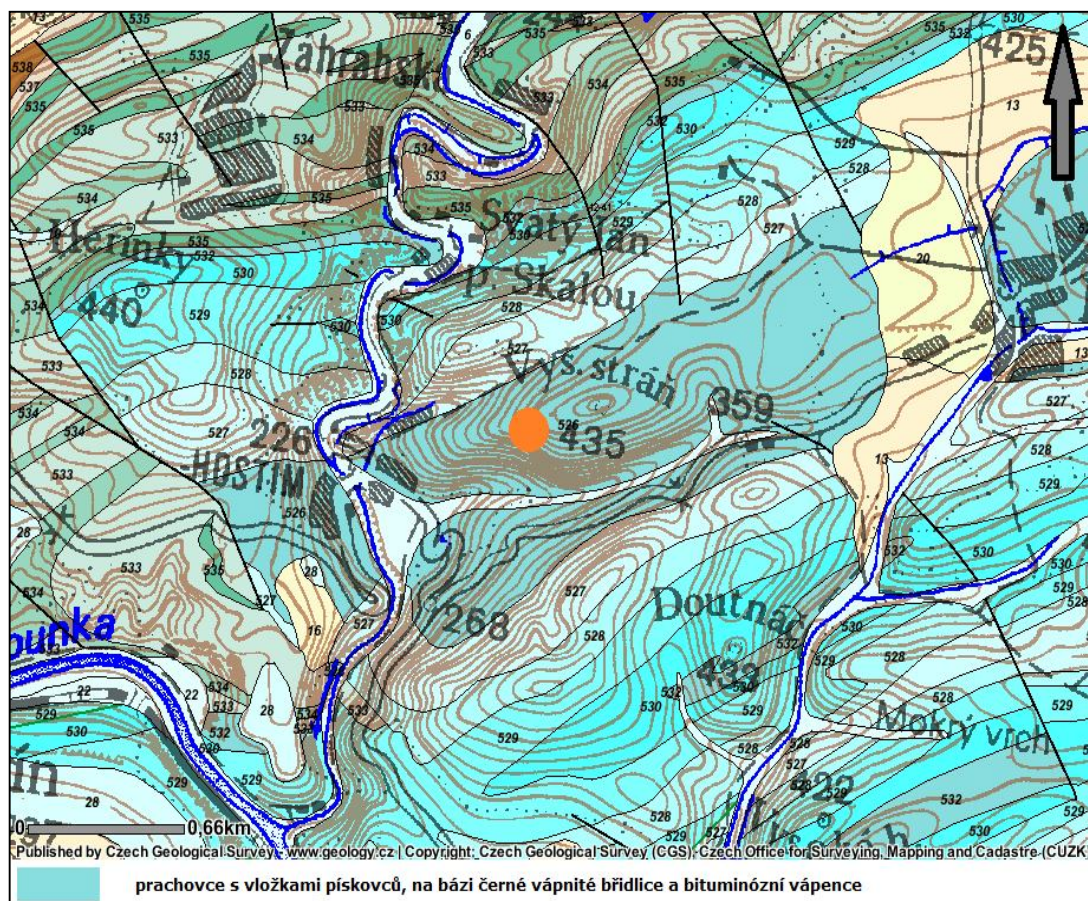


**Obr. 1:** Výřez z turistické mapy (www1). Mapa znázorňuje lokalitu výzkumu. Vrch Vysoká stráž se nachází severovýchodně od obce Hostim (okres Beroun). Náleží do NPR Karlštejn.

### 3.1.2 Geologie, geomorfologie a pedologie území

Z geologického hlediska se na území vyskytují zpevněné sedimenty prachovců s vložkami pískovců devonského stáří, na jejichž bázi se vyskytují černé vápnité břidlice a bituminózní vápence. (Budil & Jäger 2002). Zdejší geologickou jednotkou je paleozoikum Barrandienu, které patří do soustavy Českého masivu (www2).

Lokalita se nachází v oblasti Karlštejské pahorkatiny, která náleží do oblasti Brdské vrchoviny. Ta se rozkládá mezi Plzeňskou pahorkatinou a Pražskou plošinou. Reliéf Karlštejské pahorkatiny je na rozdíl od zbylé části Brdské vrchoviny mírně zvlněn. Brdská vrchovina dále spadá pod provincii České vysočiny v Hercynském systému (Demek 1965). Převládajícím půdním typem jsou zde kambizemě, vzácněji rankery a litozemě (Tomášek 2007).



**Obr. 2:** Výřez z geologické mapy (www 2). Mapa popisuje geologickou strukturu podloží řešeného území.

### 3.1.3 Biogeografické a fyto geografické členění

Karlštejnský bioregion kompletně spadá pod Hercynskou provincii (Culek 1995). Území náleží do fyto geografického obvodu České termofytikum a fyto geografického okresu č. 8 - Český kras. Vegetační stupeň se zde nalézá kolinní až suprakolinní (Skalický in Hejný 1997).

### 3.1.4 Klimatické poměry

Studovaná lokalita se nalézá v oblasti s mírně teplým až teplým klimatem. Průměrná roční teplota zde dosahuje hodnot 8-9 °C. Nejteplejším a nejdeštivějším měsícem je červenec. Oblast, ve které se studovaná lokalita nachází, leží ve srážkovém stínu s převládajícím západním prouděním usměrňovaným JV-SV směrem. Zimu vyznačuje poměrný nedostatek sněhu, který velmi rychle mizí, zvláště na strmých expozicích. Zdejší podnebí je suché až velmi suché se srážkami od 500 do 550 mm (Srov. 1958). Významnou roli zde hrají teplotní inverze, podmiňující výskyt některých submontánních prvků (Culek 1995). Dle charakteristiky Quitta spadá území pod klimatickou oblast mírně teplou MT11 (1971).

Údaje dlouhodobého průměru pro srážkoměrnou stanicí Karlštejn, Poučnick - 220 m n. m., zeměpisná šířka 49° 56' zeměpisná délka 14° 11' (Šamonil 2005):

Průměrné úhrny srážek [mm] za období 1901–1950														
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	IV–IX	X–III
27	25	29	45	58	64	<b>74</b>	65	47	35	30	31	<b>530</b>	353	177

### 3.1.5 Vegetace

Rekonstrukce potenciální přirozené vegetace Neuhäuslové et al. (1998) zde předpokládá černýšovou dubohabřinu (*Melampyro nemorosi-Carpinetum*). Dnes zde dominují suché acidofilní doubravy. Tento typ doubrav je na některých lokalitách, zejména na strmých svazích, potenciální přirozenou vegetací, jinde však vznikl v důsledku lesního hospodaření, které zahrnovalo hrabání steliva, lesní pastvu a obnovu pařezových výmladků. Do mnohých sekundárních porostů dnes opětovně proniká habr nebo buk, čímž dochází k zastínění a šíření mezofilních druhů. Změna druhového složení bylinného patra je podporována hromaděním živin, které na rozdíl

od dřívějšího hospodaření dnes nejsou odnášeny či odváženy s biomasou a naopak se do ekosystému dostávají z atmosférického spadu (Chytrý et al. 2001). Dnes mají tyto lesy na strmých svazích význam ochranného lesa (Moravec et al. 2000).

Převládají zde teplomilné acidofilní doubravy asociace *Sorbo torminalis-Quercetum* (svaz *Quercion petraeae*) s dominujícím dubem zimním (*Quercus petraeae*) a přimíšeným habrem obecným (*Carpinus betulus*) a lípou srdčitou (*Tilia cordata*). Tuto asociaci lze charakterizovat jako edaficky a mezoklimaticky podmíněnou, vyskytujících se na rankerech nebo mělkých hnědých lesních půdách, na minerálně slabých až středně silných horninách. V teplejších a nižších nadmořských výškách se vyskytuje na plošinách ukloněných k jihu. Výše je tato asociace vázaná prakticky pouze na svahy jižního kvadrantu. Stromové patro tohoto typu porostu má zápoj obvykle 60-90 %, na extrémně suchých stanovištích však může být i značně rozvolněné a dosahovat pokryvnosti kolem 40 %. Potom jsou však stromy obvykle zakrnělé a mají vzrůst kolem 10 m (Moravec et al. 2000).

Keřové patro v teplomilných acidofilních doubravách není obvykle výrazně vyvinuto a jsou v něm nejčastěji zastoupeni zakrnělí jedinci druhů stromového patra (Moravec et al. 2000). Zdejší keřové patro, tvořené zejména dřínem (*Cornus mas*), hlohem (*Crataegus* sp.), habrem (*Carpinus betulus*), javorem babykou (*Acer campestre*) a jasanem (*Fraxinus excelsior*), je však v rozvolněných porostech zpravidla dobře vyvinuto, avšak v zapojenějších částech lesa se vyskytuje málo popřípadě vůbec.

V bylinném patře můžeme nalézt druhy charakteristické pro teplomilné doubravy, např. *Anthericum ramosum*, *Carex humilis*, *Euphorbia cyparissias*, *Polygonatum odoratum*, *Vincetoxicum hirundinaria*. Avšak také druhy tolerující oligotrofní stanoviště ve stínu nebo polostínu, např. *Hieracium sabaudum*, *Luzula luzuloides*, *Silene nutans*, *Veronica officinalis*, druhy mělkých, zpravidla kyselých půd, např. *Festuca ovina*, *Sedum sexangulare* a druhy mezofilních lesů, např. *Calamagrostis arundinacea*, *Dactylis polygama*, *Poa nemoralis*. V bylinném patře také hojně zmlazuje dub zimní (Moravec et al. 2000).

Ze vzácnějších druhů vyskytujících se v této oblasti a typických pro dubohabřiny a teplomilné doubravy lze zmínit *Trifolium rubens*, *Teucrium*

*chamaedrys*, *Melittis melissophyllum*, *Anthericum ramosum*. Z čeledi vstavačovitých (Orchidaceae) se vyskytuje *Dactylorhiza sambucina*, *Platantera bifolia* a *Neottia nidus-avis*, který je však druhem vyhledávajícím spíše stinná místa v porostu.



**Obr. 3:** Fotografie pořízená na studované lokalitě. Na obrázku lze vidět trvalá označení pokusných ploch.

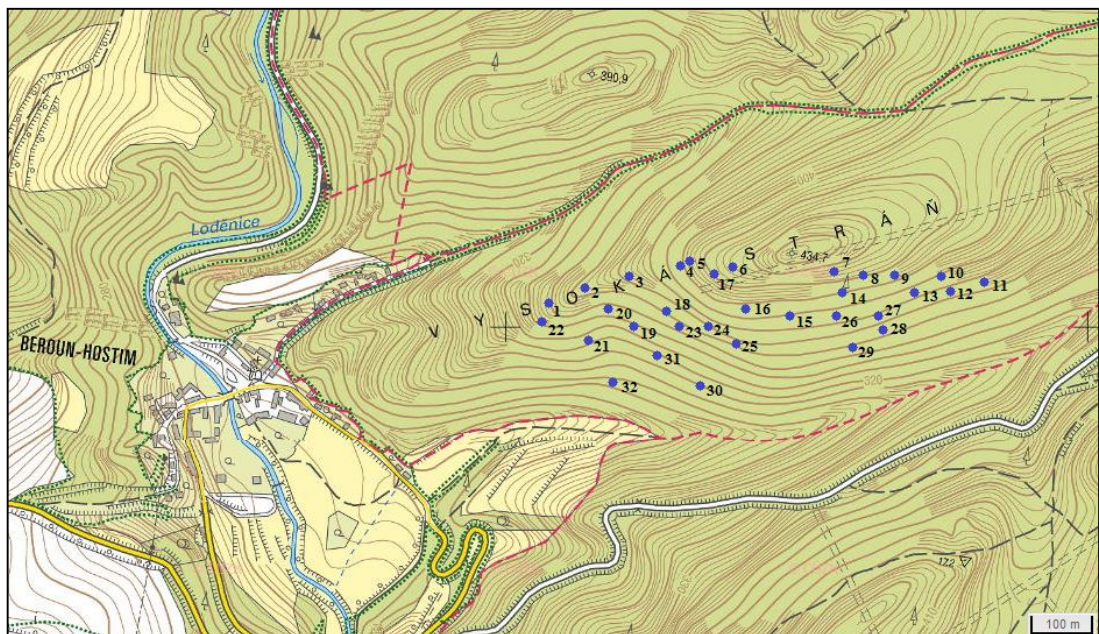


## 3.2 Metodika výzkumu

### 3.2.1 Studijní plochy

Za účelem studia vlivu abiotických faktorů na druhové složení podrostu bylo vymezeno 32 ploch, které byly rozmístěny tak, aby co nejlépe pokryly variabilitu prostředí (viz Obr. 4). Každá plocha byla zaměřena GPS přístrojem (souřadnicový systém WGS84) a trvale označena. Plochy byly pro navazující výzkum rozděleny na 4 čtvercové plošky o stranách 3 m. Celkem tedy šlo o 128 plošek. Plochy byly od ostatních ploch vzdáleny minimálně 40 m a plošky alespoň 1 m od sebe, aby nedocházelo k ovlivňování způsobovaným ekotonálním efektem. Na každé plošce byl zaznamenán sklon a orientace ke světovým stranám. Na ploškách byly pořízeny fytoecologické snímky cévnatých rostlin. Pro každý druh byla zaznamenána jeho pokryvnost v procentech. Nomenklatura rostlin byla sjednocena dle Klíče ke květeně České republiky (Kubát et al. 2002).

Fytoecologické snímky byly poté vloženy do aplikace Turboveg for Windows (Hennekens & Schaminée 2001). V programu Juice (Tichý 2002) byly dále sloučeny obtížně určitelné příbuzné druhy do druhových skupin (agg.).



**Obr. 4:** Mapa rozmístění ploch. Vlastní tvorba v programu ESRI - ArcMap 9.3 (2009) na mapovém podkladu z [www3](http://www3).

### 3.2.2 Pořizování dat - světelné faktory

Data o světelných faktorech byla pořizována v červnu roku 2010. Jednou z nejefektivnější a přitom velice levnou metodou, kvantitativně analyzující světelné režimy v lesních porostech, je metoda využívající hemisférické fotografie (Hu et al. 2009). Tato metoda se začala používat v lesní ekologii na konci 50. let 19. století. Cílem studií využívající tento typ fotografií bylo zhodnotit, zda existují závislosti mezi hustotou stromového zápoje a skladbou druhů v podrostní vegetaci (Evans & Coombe 1959). Při fotografování zápoje je nutné fotografie pořizovat za optimálních podmínek počasí, dále je třeba se vyvarovat nesprávnému načasování expozice fotoaparátu (Michna 2011). Na každé plošce byla pro výzkum vlivu světelných faktorů pořízena hemisférická fotografie pomocí analogového fotoaparátu Nikon (10 Mpix) a objektivu Sigma 8 mm Fisheye. Kinofilm byl použit značky Fujicolor 200 135/36. Fotoaparát byl nastaven pro fotografování s bleskem a úplným zaostřením. Fotografie byly pořizovány 100 cm nad zemí. Dle výzkumů lze fotografie pořizovat ve výšce od 30 do 150 cm nad povrchem. V tomto rozmezí se množství dopadajícího světla do podrostu nemění (Robinson & McCarthy 1999). K vyrovnání terénních nerovností při fotografování sloužil stativ a fotografická libela, která zajistila vodorovnou polohu fotoaparátu. Sever se vždy nachází na horní straně fotografií. Ten je takto dále požadován při registraci do programu Gap Light Analyzer. Vzniklo tedy 128 fotografií dle běžné metodiky (Jelaska 2004, Jelaska et al. 2006). Fotografie byly pořizovány v optimálních povětrnostních podmínkách, tedy při zatažené obloze, aby nedocházelo k nežádoucímu přesvětlení fotografií. Fotografie byly dále skenovány a seřezávány ve formátu 2048 × 2048 pixelů (Příloha 5). Naskenované fotografie (formát bmp) byly dále převedeny programem SideLook na fotografie černobílé (Příloha 6), na kterých jsou rozlišovány pixely patřící obloze (bílé) a zápoji korun (černé). Pro převod je třeba důsledně zvolit funkci prahu (*thresholding*) pro spolehlivé odlišení obou druhů pixelů (Jelaska 2004, Glončák 2007). Pro oddělení pixelů byl použit modrý kanál, který se dle výzkumů zdá být nejspolehlivější (Nobis 2005, Jelaska et al. 2006, Zhang et al. 2005). Nutné byly manuální úpravy fotografií, na nichž byly chybně vyhodnocené pixely patřící zejména kůře stromů a opadu na plochách, od kterých docházelo k odrazu světla tak velkému, že je program SideLook chybně vyhodnotil jako pixely patřící obloze. Manuální oprava nebyla při tomto počtu fotografií neřešitelným problémem. Poté

byly fotografie analyzovány programem Gap Light Analyzer (dále GLA), kde je při analýze první fotografie nutná manuální registrace snímků (Frazer et al. 1999). Poté je již registrace přednastavena pro zbylé snímky. Hodnoty registrace byly zvoleny následovně: *Initial point: X = 0, Y = 939; Final point: X = 2044, Y = 1105; Centre: X = 1022, 5, Y = 1022,5; Radius = 1025,4*. Registrace musí být totožná u všech analyzovaných fotografií. Síť, která pokrývá celý kružnicový výřez fotografie, se sestává z 36 azimutů a 9 zenitů. Ty započítávají polární zkreslení čočky.

Interpretovatelné proměnné získané analýzou hemisférických fotografií (GLA, Frazer et al. 1999):

**CanOpe** - % *Canopy Openness* je procentuální podíl pixelů patřících obloze vůči pixelům patřících korunovému zápoji.

**LAI4** - *LAI 4 Ring* je index listové plochy (*Leaf Area Index*) v úhlu zenitu (polokoule) 0-60°.

**LAI5** - *LAI 5 Ring* je index listové plochy (*Leaf Area Index*) v úhlu zenitu (polokoule) 0-75°.

**TraDir** - % *Transmitation Direct (přímá transmitace)* je podíl *Trans Direct* a *Above Direct Mask* (objem přímého dopadajícího slunečního záření beroucí v úvahu topografickou masku) násobený 100.

**TraDif** - % *Transmitation Diffuse (difúzní transmitace)* je podíl *Trans Diffuse* a *Above Diffuse Mask* (objem dopadajícího rozptýleného slunečního záření beroucí v úvahu topografickou masku) násobený 100.

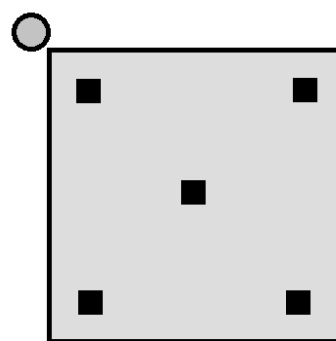
**TraTot** - % *Transmitation Total (celková transmitace)* je podíl *Trans Total* a *Above Total Mask* (suma *Above Direct Mask* a *Above Diffuse Mask*) násobený 100.

### 3.2.3 Pořizování dat - edafické faktory

Data o edafických faktorech byla též pořizována v červnu roku 2010. Na každé plošce byl odebrán půdní vzorek z organominerálního (A) horizontu, tedy z hloubky kde koření rostliny. Směsný vzorek byl vytvořen z pěti odběrů (viz Obr. 5), které rovnoměrně pokrývaly zkoumané plošky (při rozích plošek a uprostřed). Celkový vzorek vážil okolo 700 g. Vzorky museli být pro analýzy v laboratoři pečlivě prosušeny. Navazovalo přesetí na sítu s velikostí oka 2 mm. S touto jemnozemi se již mohlo dále pracovat v laboratoři. Ve vzorcích byly zjišťovány

obsahy prvků P, N, Ca, Mg, K, C a celková reakce půdy. Hodnoty byly získávány standardními laboratorními postupy v analytické laboratoři KVHEM FŽP se sídlem v Kostelci nad Černými lesy.

Půdní reakce (H<sub>2</sub>O) 128 vzorků z plošek byla měřena přístrojem Omega PHH-200 pH Test Kit se skleněnou elektrodou PHE-200. Pro stanovení obsahů prvků P, Ca, Mg a K byl nejprve vytvořen extrakční roztok dle Mehlicha II. Tento vyluhovací roztok má dobře modelovat přístupnost živin v půdě pro rostliny. Obsah fosforu (mg/kg) ve vzorcích byl stanoven spektrofotometrií z výluhu dle metody Mehlicha II jako fosfomolybdenová modř. Intenzita jejího zbarvení byla měřena přístrojem Spekol 1 při vlnové délce procházejících paprsků nad 750 nm. Dusík (mg/kg) byl zjišťován spektrofotometricky na přístroji Spekol 1 při vlnové délce procházejících paprsků 655 nm. K přípravě roztoku pro analýzy dusíku bylo použito metody půdního rozkladu kyselinou sírovou a tablety K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> v aparatuře DigiPREP HT 100 s topnou grafitovou deskou za teploty 395 °C. V případě dusíku se ve výsledku jedná o celkové zastoupení v půdní složce (minerální i organická složka). Prvky Ca a Mg (mg/kg) byly určeny metodou atomové absorpční spektrofotometrií (plamenová ASS – přístroj PGI 990) za využití štěrbinového hořáku pro plamen acetylen-vzduch. Pro zjištění K (mg/kg) byla využita metoda atomové emisní spektrofotometrie, při níž byla koncentrace prvku zjišťována podle charakteristického zbarvení acetylen-vzduchového plamene. V případě fosforu, vápníku, dusíku a hořčíku se jedná o množství jednotlivých prvků dostupného rostlinám. U uhlíku byla zjišťována pouze celková spalitelná organická složka. Množství organického uhlíku ve vzorcích bylo zjišťováno metodou žihání v peci při 550 °C. Hmotnost uhlíku (g/kg) se odečítá tak, že se vzorek v kalíšcích váží před a po spálení všech organických látek za přístupu vzduchu.



**Obr. 5:** Znárodnění odběru vzorků půd.

### 3.2.4 Pořizování dat - topografické faktory

Na plochách byl zaznamenán sklon pro každou plošku zvlášť. Potenciální přímá sluneční radiace (*Potential Direct Solar Irradiation, PDSI*, dále jen potenciální radiace) byla vypočítávána z hodnot sklonu, expozice a zeměpisné šířky pomocí rovnice platící pro 0-60° severní šířky (McCune & Keon, 2002). Tvar rovnice pro zkoumanou lokalitu je následovný:  $PDSI = -1.467 + 1.582 * COS(konstanta) * COS(cos(L) * cos(S)) - 1. * COS(cos(A) * sin(S) * sin(L)) * SIN(cos(L) * cos(S)) * SIN(konstanta) - 0.262 * SIN(konstanta) * SIN(cos(L) * cos(S)) + 0.607 * SIN(cos(A) * sin(S) * sin(L)) * SIN(cos(L) * cos(S))$ . Kdy konstanta pro naše pásmo je 0,339,  $A$  je expozicí,  $S$  je sklonem a  $L$  je zeměpisnou šířkou. Tento index je založen na kombinaci faktorů prostředí přímo ovlivňujících množství dopadajícího slunečního záření. Především závisí na často měnícím se sklonu svahu, dále na orientaci svahu ke světovým stranám, která je na studované lokalitě víceméně jednotná, a zeměpisné šířce. Je nutné si při interpretaci výsledků uvědomovat závislost potenciální radiace, která roste s hodnotou vyššího sklonu.

### 3.2.5 Metodika zpracování dat pro výsledné statistické analýzy

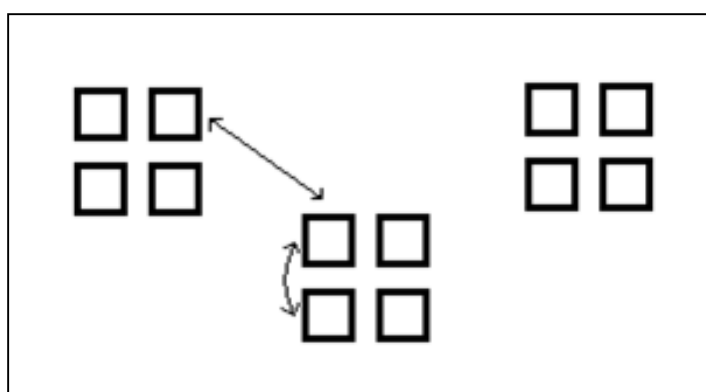
Před analýzami byly vstupní data z fytoecologických snímků upraveny následujícím způsobem. Druhy vyskytující se na méně než pěti ploškách byly z analýz vyloučeny, aby se omezil vliv jednotlivých výskytů na výsledky analýz. U některých druhů nebylo možné z dané fenologické fáze určit přesný druh rostliny. Jednalo se zástupce rodu *Galeopsis*, *Viola*, *Crataegus*, *Epilobium*. Tyto taxony byly uvedeny jen na úrovni rodu. Ze 147 druhů tedy bylo v analýzách zahrnuto 101 druhů rostlin.

### 3.2.6 Analýzy

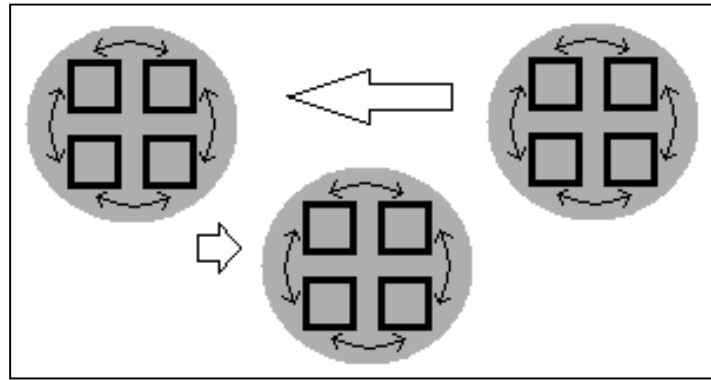
Ke zjištění závislostí mezi jednotlivými proměnnými byla použita jednoduchá Spearmanova korelace. Korelace byly spočítány zvlášť pro půdní a světelné faktory pro jemnou i hrubší škálu. Korelační matice byly vytvořeny v případě zhodnocení půdních vlastností mezi těmito faktory: sklon svahu, pokryvnost bylinného patra, počet druhů bylin v podrostu, pH půdy, obsahy prvků

Ca, K, Mg, N, P, C v půdě. Ke zhodnocení závislosti světelných vlivů byly využity tyto faktory: sklon svahu, pokryvnost bylinného patra, počet druhů bylin v podrostu, % Canopy openness, LAI 4 Ring, LAI 5 Ring, % Trans Direct, % Trans Diffuse, % Trans Total. Korelační analýzy byly vyhodnoceny vždy pro hladinu významnosti  $\alpha = 0,05$  (Statsoft 2004).

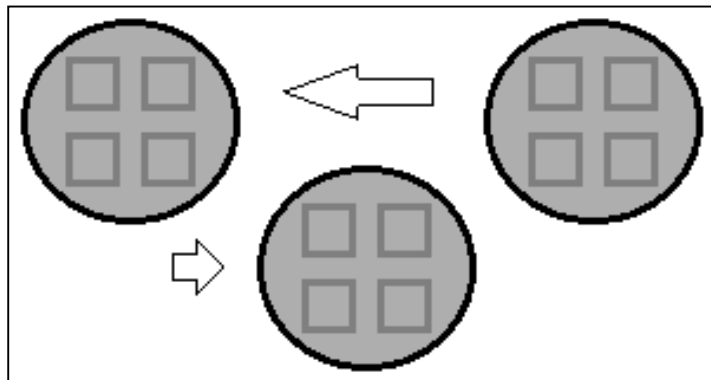
Zkoumaná oblast je studována na třech úrovních. První úroveň bere v úvahu jednotlivé plošky jako na sobě vzájemně nezávislé lokality, viz schéma A (Obr. 6). V tomto případě tedy půjde o jemnou škálu 128 plošek. Druhou metodou je analýza ze schématu B (Obr. 6), která bere v úvahu závislost jednotlivých plošek v rámci plochy. Tyto plošky v rámci ploch jsou vždy v těsném kontaktu, a proto by zde mělo docházet k podobným procesům, které by právě v rámci ploch mohli určovat relativně podobné podmínky. Zrno této škály je zhruba 10 m. Tyto analýzy by měli využívat kovariát (*covariables*) právě pro zahrnutí plošek do ploch, které tuto skutečnost ve výsledku zohlední. Třetí metoda ze schématu C (Obr. 6) se bude sestávat z aritmetických průměrů plošek jak pro faktory na stanovišti, tak pro výskyt bylin na 32 plochách. Těchto 32 ploch je uvažováno do analýz jako větší či hrubá škála o zrnu zhruba 700 m. Analýza dle schématu B, tedy analýza využívající ploch jako kovariát, by měla určitým způsobem posloužit jako test mezi jemnou (A) a hrubou škálou (C).



(A) - Jemná škála, tzn. analýzy provedené mezi všemi 128 ploškami.



(B) - Kovariáty



(C) - Hrubá škála, tzn. analýzy mezi 32 plochami.

**Obr. 6:** Schémata A, B, C znázorňující typy jednotlivých analýz.

V programu CANOCO for Windows 4.5 byly vytvořeny všechny přímé lineární redundanční analýzy. Celkový efekt (*conditional effect*) analyzovaných proměnných faktorů prostředí byl zjištěn Monte Carlo permutačním testem (999 permutací). Hladina prokazatelnosti faktorů byla stanovena na  $\alpha = 0,05$ . Faktory byly vybrány pomocí „forward selection“. Do analýz nebyly uvažovány faktory, jejichž P-hodnota při výběru přesáhla předem stanovenou hladinu významnosti. Ordinační diagramy byly vytvořeny v programu CanoDraw (ter Braak & Šmilauer 2002, Lepš & Šmilauer 2000). Pomocí RDA analýzy s kovariátami jsem také zjišťoval čistý vliv (*marginal effect*) potenciální radiace, sklonu, světelných a půdních podmínek na vegetaci na jemné i hrubé škále (Lepš & Šmilauer 2000, Herben & Münzbergová 2003).

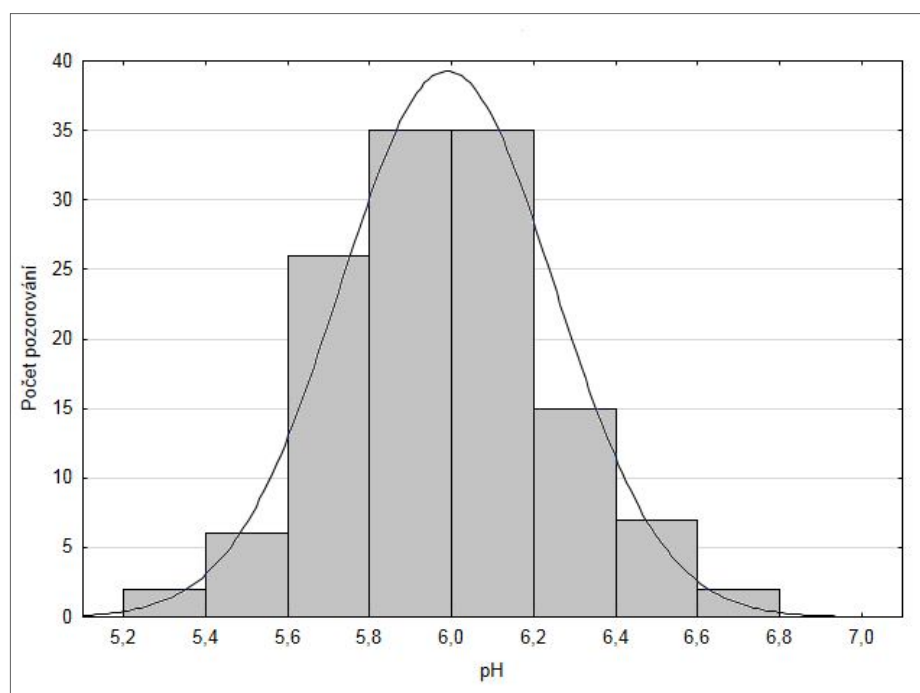
Na zkoumaných ploškách a plochách byla dále zjišťována závislosti mezi diverzitou podrostu a půdními faktory. V případě zhodnocení diverzity na jemné i hrubé škále resp. 128 i 32 plochách bylo využito testů generalizovaným lineárním modelem (GLM) s Poissonovým rozdělením v programu R (R Development Core Team 2012). V případě 128 plošek do analýz vstupovala hodnota druhové bohatosti jednotlivých plošek jako závislá proměnná a hodnota daných faktorů na jednotlivých ploškách (pH, Ca, Mg, N, K, P, C) jako proměnná nezávislá. V případě větší škály byly do analýz zahrnuty jednotlivé druhové bohatosti 32 ploch (nezávislá proměnná) a směrodatné odchyly (*SD*) jednotlivých faktorů na těchto plochách (závislá proměnná). V programu byl pro analýzu diverzity na 128 plochách použit následující skript: *glm(formula = Richness ~ pH + Ca + K + Mg + N + P + C, family = poisson, data = data128)*. V případě analýzy diverzity na 32 plochách tento: *glm(formula = Richness ~ smodch.pH + smodch.Ca + smodch.K + smodch.Mg + smodch.N + smodch.P + smodch.C, family = poisson, data = data32)*.



## 4. VÝSLEDKY

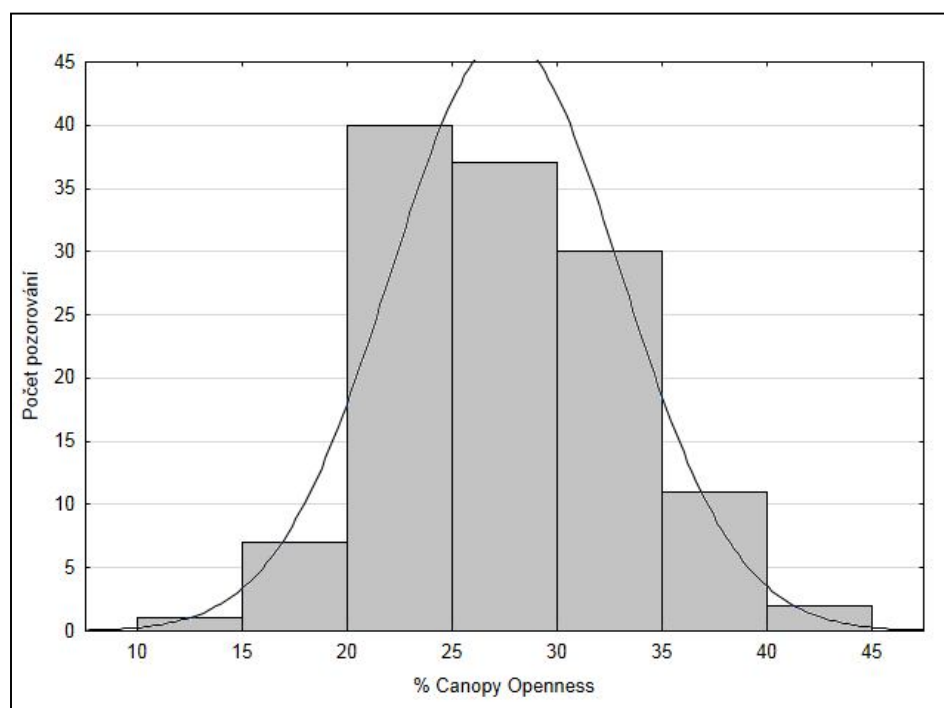
### 4.1 Závislosti mezi abiotickými faktory prostředí a jejich vliv na vegetaci

Hodnoty pH nám ukazují mírně kyselou půdní reakci (Tomášek 2007). Minimální hodnotou pH na studované lokalitě je 5,36, maximální pak 6,71 (viz Obr. 7). Takto nízké či vysoké hodnoty nejsou v celém souboru dat ojedinělé. Rozsah pH hodnot všech studovaných plošek je značný. Lze tedy tvrdit, že podmínky půdních reakcí na studovaném území jsou v celku proměnlivé. Průměrná hodnota pH je 5,9.



**Obr. 7:** Histogram znázorňující proměnlivost pH na zkoumané lokalitě (program Statistica 10).

Vysoká proměnlivost byla zaznamenána i u všech světelných faktorů. Konkrétně u procentuální otevřenosti zápoje (*Canopy openness*) byly zjištěny hodnoty od 14 do 42 % (viz Obr. 8). Z histogramu lze taktéž vypožorovat, že nejnižší a nejvyšší hodnota celého souboru hodnot není nijak ojedinělá. Avšak nejčastějšími zaznamenanými hodnotami jsou otevřenosti korun od 20 do 35 %.



**Obr. 8:** Histogram znázorňující proměnlivost otevřenosti korunového zápoje na zkoumané lokalitě (program Statistica 10).

Nejsilnější korelační koeficient mezi proměnnými na 128 ploškách vyšel mezi pokryvností bylinného patra a počtem druhů ( $r=0,452$ ). S vyšší pokryvností tedy roste počet druhů na ploškách. Vysoké signifikance lze také pozorovat u chemických prvků obsažených v půdních vzorcích (Tab. 1). Nejvyšších hodnot dosahuje korelace mezi prvky hořčíku a vápníku, draslíku a vápníku, draslíku a hořčíku, hořčíku a fosforu. Další korelace již nejsou tak významné (P a Ca, C a Ca, Mg a C). Na hrubší škále v rámci 32 ploch (Tab. 2) jsou taktéž nejvyšší korelace mezi prvky hořčíku a vápníku, draslíku a vápníku, draslíku a hořčíku, hořčíku a fosforu s podobnými hodnotami koeficientů jako na škále jemné, avšak je zde dále dostatečně průkazná i závislost vápníku a fosforu a záporná závislost draslíku a dusíku. V případě této škály dále vzrostly na průkaznou hladinu závislosti mezi vápníkem, hořčíkem a pokryvností bylinného patra (záporné korelace), dále mezi draslíkem a pH či mezi pH a sklonem svahu studovaných ploch. Naopak na hrubé škále klesla hodnota koeficientu závislosti mezi počtem druhů a pokryvností bylinného patra.

Světelné faktory na malé škále (schéma A) byly korelovány mezi sebou ve všech případech (Tab. 3). Vliv světelných faktorů na pokryvnost bylinného patra a počet druhů na plochách, dle výsledných korelačních koeficientů, nebyl na této škále

prokázán. Totéž platí pro korelační hodnoty mezi sklonem svahu a světelnými faktory. Na větší zkoumané škále (schéma C) lze sledovat podobně vysoké závislosti světelných faktorů mezi sebou (Tab. 4). Na rozdíl od jemnější škály zde všechny světelné faktory prokazují významnou závislost na sklonu svahu zkoumaných ploch. V případě indexů listových ploch jde o korelace pozitivní. V ostatních případech světelných faktorů o korelace negativní.

proměnné	sklon svahu	pokryvnost bylinného p.	počet druhů	pH	Ca	K	Mg	N	P	C
sklon svahu	1	0,186	0,076	0,283	-0,154	0,240	-0,150	-0,315	-0,238	-0,062
pokryvnost bylinného p.	0,186	1	<b>0,452</b>	0,055	-0,279	-0,061	<b>-0,413</b>	-0,018	-0,255	-0,150
počet druhů	0,076	<b>0,452</b>	1	-0,071	-0,182	-0,137	-0,225	-0,070	-0,177	-0,065
pH	0,283	0,055	-0,071	1	0,172	0,226	0,108	-0,165	-0,100	-0,021
Ca	-0,154	-0,279	-0,182	0,172	1	<b>0,552</b>	<b>0,811</b>	-0,121	0,370	0,371
K	0,240	-0,061	-0,137	0,226	<b>0,552</b>	1	<b>0,596</b>	-0,332	0,265	0,066
Mg	-0,150	<b>-0,413</b>	-0,225	0,108	<b>0,811</b>	<b>0,596</b>	1	-0,082	<b>0,443</b>	0,354
N	-0,315	-0,018	-0,070	-0,165	-0,121	-0,332	-0,082	1	0,000	0,055
P	-0,238	-0,255	-0,177	-0,100	0,370	0,265	<b>0,443</b>	0,000	1	0,006
C	-0,062	-0,150	-0,065	-0,021	0,371	0,066	0,354	0,055	0,006	1

**Tab. 1.** Korelační matice znázorňující závislost jednotlivých prvků v půdě na 128 ploškách dle schématu A. Červeně jsou zvýrazněny prokazatelné korelace na hladině  $\alpha = 0,05$  (program Statistica 10).

proměnné	sklon svahu	pokryvnost bylinného p.	počet druhů	pH	Ca	K	Mg	N	P	C
sklon svahu	1	0,258	-0,061	<b>0,436</b>	-0,210	0,376	-0,195	-0,376	-0,341	-0,121
pokryvnost bylinného p.	0,258	1	0,308	0,189	<b>-0,419</b>	-0,095	<b>-0,616</b>	-0,001	-0,371	-0,239
počet druhů	-0,061	0,308	1	-0,098	-0,282	-0,238	-0,196	-0,016	-0,289	-0,168
pH	<b>0,436</b>	0,189	-0,098	1	0,226	<b>0,450</b>	0,200	-0,207	-0,181	0,094
Ca	-0,210	<b>-0,419</b>	-0,282	0,226	1	<b>0,597</b>	<b>0,863</b>	-0,166	<b>0,440</b>	0,364
K	0,376	-0,095	-0,238	<b>0,450</b>	<b>0,597</b>	1	<b>0,611</b>	<b>-0,497</b>	0,318	0,050
Mg	-0,195	<b>-0,616</b>	-0,196	0,200	<b>0,863</b>	<b>0,611</b>	1	-0,123	<b>0,566</b>	0,360
N	-0,376	-0,001	-0,016	-0,207	-0,166	<b>-0,497</b>	-0,123	1	0,001	-0,097
P	-0,341	-0,371	-0,289	-0,181	<b>0,440</b>	0,318	<b>0,566</b>	0,001	1	-0,061
C	-0,121	-0,239	-0,168	0,094	0,364	0,050	0,360	-0,097	-0,061	1

**Tab. 2.** Korelační matice znázorňující závislost jednotlivých prvků v půdě na 32 ploškách dle schématu C. Červeně jsou zvýrazněny prokazatelné korelace na hladině  $\alpha = 0,05$  (program Statistica 10).

proměnné	sklon svahu	pokryvnost bylinného p.	počet druhů	% Canopy Openness	LAI 4 Ring	LAI 5 Ring	% Trans Direct	% Trans Diffuse	% Trans Total
sklon svahu	1	0,186	0,076	-0,397	0,354	0,346	-0,266	-0,344	-0,305
pokryvnost bylinného p.	0,186	1	<b>0,452</b>	0,005	0,017	0,048	-0,028	-0,047	-0,037
počet druhů	0,076	<b>0,452</b>	1	0,011	0,019	0,036	-0,017	0,026	0,001
% Canopy Openness	-0,397	0,005	0,011	1	<b>-0,933</b>	<b>-0,948</b>	<b>0,770</b>	<b>0,954</b>	<b>0,878</b>
LAI 4 Ring	0,354	0,017	0,019	<b>-0,933</b>	1	<b>0,952</b>	<b>-0,768</b>	<b>-0,937</b>	<b>-0,870</b>
LAI 5 Ring	0,346	0,048	0,036	<b>-0,948</b>	<b>0,952</b>	1	<b>-0,763</b>	<b>-0,934</b>	<b>-0,866</b>
% Trans Direct	-0,266	-0,028	-0,017	<b>0,770</b>	<b>-0,768</b>	<b>-0,763</b>	1	<b>0,844</b>	<b>0,973</b>
% Trans Diffuse	-0,344	-0,047	0,026	<b>0,954</b>	<b>-0,937</b>	<b>-0,934</b>	<b>0,844</b>	1	<b>0,945</b>
% Trans Total	-0,305	-0,037	0,001	<b>0,878</b>	<b>-0,870</b>	<b>-0,866</b>	<b>0,973</b>	<b>0,945</b>	1

**Tab. 3.** Korelační matice znázorňující závislost jednotlivých světelných faktorů na 128 ploškách dle schématu A. Červeně jsou zvýrazněny prokazatelné korelace na hladině  $\alpha = 0,05$  (program Statistica 10).

proměnné	sklon svahu	pokryvnost bylinného p.	počet druhů	% Canopy Openness	LAI 4 Ring	LAI 5 Ring	% Trans Direct	% Trans Diffuse	% Trans Total
sklon svahu	1	0,258	-0,061	<b>-0,514</b>	<b>0,430</b>	<b>0,527</b>	<b>-0,450</b>	<b>-0,468</b>	<b>-0,462</b>
pokryvnost bylinného p.	0,258	1	0,308	0,045	-0,055	0,013	-0,003	-0,029	-0,016
počet druhů	-0,061	0,308	1	0,335	<b>-0,431</b>	-0,259	0,335	0,367	0,359
% Canopy Openness	<b>-0,514</b>	0,045	0,335	1	<b>-0,928</b>	<b>-0,846</b>	<b>0,864</b>	<b>0,959</b>	<b>0,927</b>
LAI 4 Ring	<b>0,430</b>	-0,055	<b>-0,431</b>	<b>-0,928</b>	1	<b>0,827</b>	<b>-0,821</b>	<b>-0,934</b>	<b>-0,892</b>
LAI 5 Ring	<b>0,527</b>	0,013	-0,259	<b>-0,846</b>	<b>0,827</b>	1	<b>-0,788</b>	<b>-0,817</b>	<b>-0,819</b>
% Trans Direct	<b>-0,450</b>	-0,003	0,335	<b>0,864</b>	<b>-0,821</b>	<b>-0,788</b>	1	<b>0,908</b>	<b>0,981</b>
% Trans Diffuse	<b>-0,468</b>	-0,029	0,367	<b>0,959</b>	<b>-0,934</b>	<b>-0,817</b>	<b>0,908</b>	1	<b>0,972</b>
% Trans Total	<b>-0,462</b>	-0,016	0,359	<b>0,927</b>	<b>-0,892</b>	<b>-0,819</b>	<b>0,981</b>	<b>0,972</b>	1

**Tab. 4.** Korelační matice znázorňující závislost jednotlivých světelných faktorů na 32 ploškách dle schématu C. Červeně jsou zvýrazněny prokazatelné korelace na hladině  $\alpha = 0,05$  (program Statistica 10).

## 4.2 Vliv půdních faktorů na diverzitu vegetace

Dle výsledků testů generalizovaných lineárních modelů (GLM) s Poissonovým rozdělením v programu R viz Příloha 3 a 4, nebyla zjištěna žádná

průkazná závislost mezi jednotlivými faktory prostředí a diverzitou rostlinných druhů, a to jak na menší škále (128 plošek), tak na větší škále 32 (ploch).

### 4.3 Výsledky RDA analýz dle schémat A, B a C (viz Příloha 2)

Celková variabilita druhového složení na jemné škále vysvětlitelná světelnými faktory je nesignifikantní (viz Obr. 11). Analýzy variability na této škále byly provedeny i mezi druhovým složením a půdními vlastnostmi (N, P, K, Ca, C, Mg, pH). Půdní vlastnosti vysvětlují variabilitu druhového složení z 14,3 % ( $p < 0,05$ ). Na této škále vyšly jako průkazné, tedy ovlivňující zdejší vegetaci, tyto „prvky“ v následném pořadí: Mg, K, C, Ca, P. Nesignifikantními prvky je naopak N a celková reakce půdy (výsledky viz Příloha 2). Celkovou variabilitu druhového složení na jemné škále způsobenou světelnými faktory vysvětluje pouze potenciální radiace, která je závislá na sklonu svahu. Tyto faktory společně vysvětlují 12,6 % variability druhového složení ( $p < 0,05$ ).

Při uvažování kovariát v rámci čtyřech ploch ve schématu B bylo dosaženo 15 % vysvětlené variability půdními faktory a 10,5 % bylo vysvětleno radiací a sklonem ( $p < 0,05$ ). Světelné faktory ani v tomto případě nemají vliv na vegetaci. Na této škále při využití kovariát vyšly průkazně prvky Mg, N, Ca a půdní reakce. P, K a C se jako signifikantní v tomto případě neprojevují (viz Příloha 2).

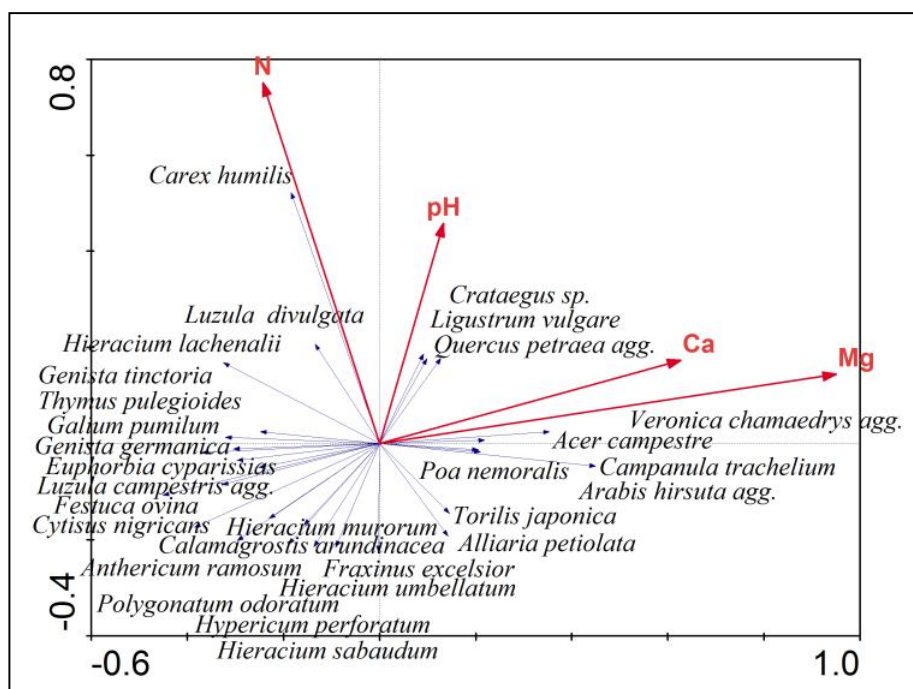
Na hrubší škále v rámci 32 ploch mnohonásobně vzrostla variabilita prokázaná půdními faktory a to na 35,8 % ( $p < 0,05$ ). V případě světelných podmínek vyšla podobně průkazně opět jen potenciální radiace, která v kombinaci se sklony ploch vysvětluje 19,2 % ( $p < 0,05$ ) celkové variability druhového složení podrostu. Na hrubé škále vycházejí signifikantně stejné prvky jako v předchozím případě s kovariátami, tj. Mg, N, Ca, a půdní reakce. Stejně jako v analýze schématu se zde nejsilněji projevují hořčík s dusíkem. Zbylé prvky (P, K, C) vyšly nesignifikantně (viz Příloha 2).

Vztahy druhů rostlin k jednotlivým prvkům, potenciální radiaci a sklonu ploch na lokalitě jsou ve výsledcích analýz obdobné, jen s tím rozdílem, že se mění velikost vysvětlených celkových variabilit druhových složení na ploškách a plochách

směrem vzhůru se zvětšením uvažované škály, proto zde dále grafy kromě následujících dvou nejsou uváděny, avšak všechny výsledky redundančních analýz jsou k nalezení v příloze (Příloha 2).

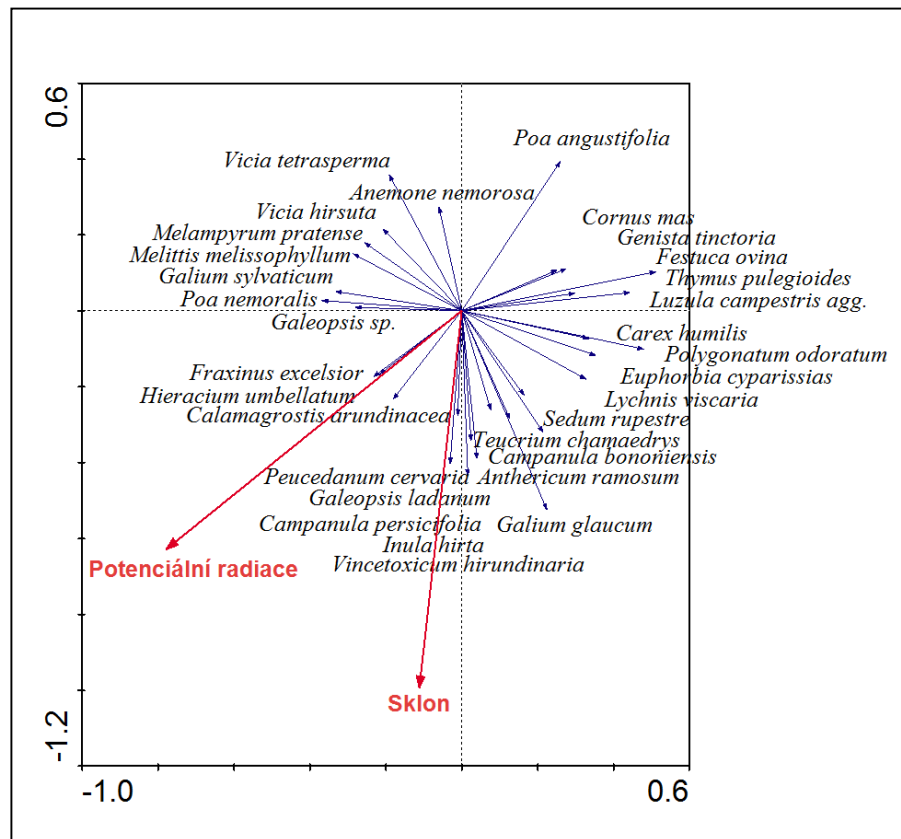
Z ordinačního diagramu vytvořeného pro jemnou škálu (Obr. 9) lze vyhodnotit druhy mající tendenci k jednotlivým prvkům. Nebo lze také naopak definovat druhy, které se určitému množství prvku v půdě vyhýbají. Tím mohou být v tomto případě např. *Alliaria petiolata*, *Torilis japonica*, *Fraxinus excelsior* a vztah těchto bylinných druhů k množství dusíku v půdě dostupného pro rostliny. Pro tyto druhy jsou místa, kde je dusík v dané lokalitě dle grafu výrazně limitujícím prvkem. Z grafu lze také vyhodnotit acidofilní druhy a druhy, které upřednostňují vyšší hodnoty pH půdy na studované lokalitě. Za acidofilní druhy lze označit např.: *Hieracium murorum*, *Hieracium umbellatum*, *Anthericum ramosum*, *Genista germanica*, *Polygonatum odoratum* a *Euphorbia cyparissias*.

Za druhy upřednostňující vyšší pH půdy na této lokalitě můžeme považovat např.: *Veronica chamaedrys*, *Ligustrum vulgare*, *Campanula trachelium* a *Crataegus* sp. Nejvíce signifikantními gradienty se na diagramu zdají být ukazatelé prvků hořčíku a dusíku.



**Obr. 9:** Ordinační diagram RDA analýzy pro půdní prvky. Modré šipky značí druhy, červené šipky značí promítnuté vektory obsahů prvků v půdě. Analýza pro 128 plošek s uvažováním kovariát dle schématu B.

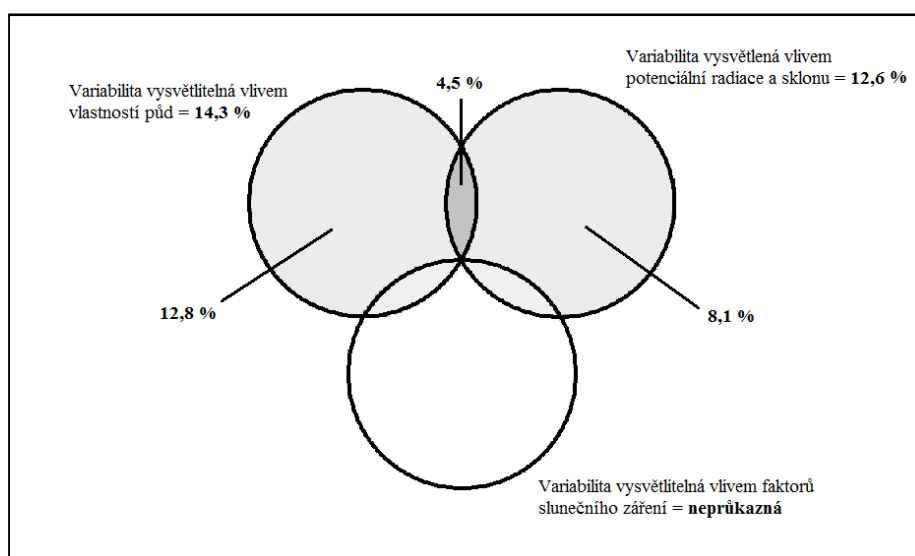
Ordinační diagram závislosti rostlinných druhů na sklonu a potenciální radiaci (Obr. 10) znázorňuje druhy závislé na zvýšeném přísunu celkové sluneční radiace. Potenciální radiace roste s hodnotou vyššího sklonu, avšak jen do určitého úhlu. Pozitivní vztah platí pro sklon svahu a potenciální přímou sluneční radiaci, což dává logiku, uvědomíme-li si, že se vzorec pro výpočet veličiny především opíral právě o veličinu sklonu.



**Obr. 10:** Ordinační diagram RDA analýzy pro sklon a radiaci. Jde především o ukázkou závislosti potenciální radiace na sklonu svahu zkoumané plochy. Modré šipky značí druhy, červené šipky značí promítнутé vektory potenciální radiace a sklonu. Analýza pro 128 plošek s uvažováním kovariát dle schématu B. Tento graf dokazuje závislost potenciální radiace na sklonu svahu ploch.

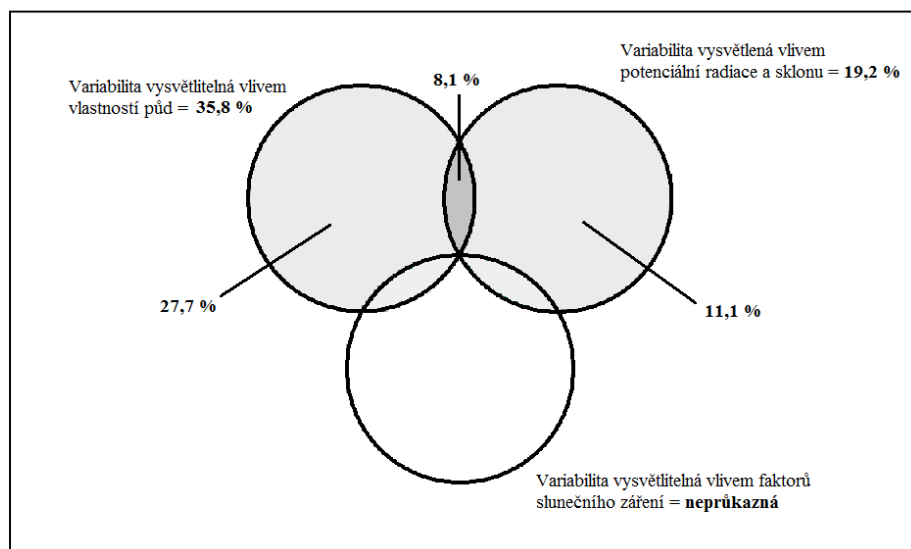
## 4.4 Schémata variability

Ze schématu rozkladu variability vysvětleného jednotlivými faktory schématu A (Obr. 11) lze vyvodit průkazný čistý vliv půdních vlastností na druhové složení vegetace v podrostu (12,8 %). To je dáno proměnlivostí půdních vlastností mezi jednotlivými studovanými plochami, které mohou být ovlivněny různými sklony terénu, při kterém dochází především k nárůstu či snižování mocnosti půdy. Průkazná hodnota variability čistě vysvětlená potenciální radiací a sklony plošek dosahuje 8,1 %. Vysvětlené variability druhového složení způsobené půdními faktory se v případě analýz dle schématu B nepatrně zvýšily. Avšak v případě těchto faktorů do analýz oproti schématu A vstupují jiné prvky, proto nemůžeme tuto 13,1 % čistou vysvětlenou variabilitu porovnávat s předešlou analýzou. Čistá variabilita rostlinných druhů způsobená radiací a sklonem se v případě použití schématu B zvýšila na 9,2 %. To nám napovídá o lepší přesnosti této metody. Při využití analýz schématu C můžeme pozorovat vysoké zvýšení vysvětlitelné variability podrostu půdními faktory na 27,7 % (Obr. 12). V tomto případě vstupují do analýzy stejné prvky jako v případě schématu B. To nám pomáhá přesně určit, jak se projevila změna vysvětlených variabilit mezi jemnou a hrubou škálou. Tato čistá vysvětlená variabilita na hrubé škále se zvětšila téměř třikrát oproti variabilitě na škále jemné. Variabilita rostlin vysvětlená radiací a sklonem je také o něco výraznější a nabývá hodnoty 11,1 %.



**Obr. 11:** Schéma variability znázorňující čisté variability vysvětlené jednotlivými faktory. Analýza pro 128 plošek dle schématu A.





**Obr. 12:** Schéma variability znázorňující čisté variability vysvětlené jednotlivými faktory. Analýza pro 32 ploch dle schématu C.

#### 4.5 Floristické nálezy v terénu

Z analyzovaných druhů se na zkoumané lokalitě v červeném seznamu cévnatých rostlin (kategorie: C3 ohrožené druhy, C2 silně ohrožené) nachází (Procházka et al 2003): Kategorie C3: třemdava bílá (*Dictamnus albus*), jetel červenavý (*Trifolium rubens*), růže galská (*Rosa gallica*), vikev hrachovitá (*Vicia pisiformis*), medovník velkokvětý (*Melittis melissophyllum*), mařinka barvířská (*Asperula tinctoria*), vemeník dvoulistý (*Platanthera bifolia*). Kategorie C2: prstnatec bezový (*Dactylorhiza sambucina*), zvonek boloňský (*Campanula bononiensis*).

Do analýz však po redukci vzácných druhů, vyskytujících se méně než pětkrát, vstupují jen tyto ohrožené druhy: zvonek boloňský, mařinka barvířská, třemdava bílá, medovník velkokvětý, vikev hrachovitá, běložárka větevnatá, ostřice nízká, smldník jelení.

## 5. DISKUZE

### 5.1 Hodnocení vlivů světla, potenciální radiace a sklonů ploch na podrostní vegetaci

Otevřenost zápoje korun se pohybuje od 14 % do 42 %. Průměrná hodnota otevřenosti je 27,5 %. Ta odpovídá otevřenosti zápoje v podobných lesních porostech doubrav (Macek 2009). Korelace na jemné i hrubé škále mezi faktory světla a proměnnými vegetace (druhovému složení, pokryvnost) nevyšly na stanovené hodnotě hladiny významnosti průkazně. Hradilová (2010) však v podobném porostu zjistila 31% variabilitu druhového složení způsobenou světelnými faktory. Závislost světelných faktorů na hodnocené proměnné lze pozorovat jen na hrubé škále a to na sklonu svahu zkoumaných ploch (Tab. 4). Sklon svahu, který je na této studované lokalitě heterogenní, zde tedy hraje určitou významnou roli při průniku slunečních paprsků do podrostu. To také vyplývá z ordinačního diagramu pro znázornění výskytu druhů v závislosti na sklonu a potenciální radiaci (Obr. 8).

Na studované lokalitě nebyla prokázána závislost vegetace lesního podrostu na světelných faktorech procházejících korunovým zápojem na žádné škále. Nízké korelační koeficienty závislosti druhového složení a pokryvnosti na těchto světelných podmínkách (Tab. 2) mohou být dány sníženou kvalitou některých hemisférických fotografií. Nesignifikantnost výsledků analýz zřejmě také mohou být způsobeny vysokou prosvětleností stromového patra, která zřejmě nezávisí na velikosti mezer v zápoji, které umožňují zvýšenou průchodnost paprsků skrze koruny stromů (Collins et al. 1985, Yamamoto 2000) a to i přesto, že otevřenosti zápoju v rámci plošek jsou velmi heterogenní a nabývají hodnot od 14 do 42 %, přičemž nejvyšší ani nejnižší hodnoty nejsou v rámci datového souboru ojedinělé (viz Obr. 8). K ověření správnosti metody měření nebyla neprováděna žádná další kontrolní přímá měření, která by stanovovala množství dopadající radiace na podrostní vegetaci. Výsledky samozřejmě mohou být ovlivněny chybnou metodikou či nedostatky v ní. Jde například o nevhodné zvolení míry automatického nastavení prahu, který slouží pro převedení z barevných do černobílých fotografií. Další významnou metodickou chybou může být samotná kvalita pořízených snímků zápoje. Ty v řadě případů nelze zcela ideálně všechny objektivně pořádit za jednotných podmínek. Zmíněné

nepřesnosti částečně mohou ovlivňovat výsledné analýzy. Z výsledných hodnot, které poskytla aplikace Gap light analyzer, nelze zcela bez pochyb vyhodnotit a určit tzv. reprezentativní podmínky, jenž by umožňovaly na základě nevelkého počtu měření radiace spolehlivou charakteristiku světelných podmínek. Ovšem při vysoké prosvětlenosti studovaného porostu lze samotnou neprůkaznost světelných faktorů na takto malých škálách ve výsledku akceptovat (Anderson & Leopold 2002).

Jediným signifikantním světelným faktorem na zkoumané lokalitě je potenciální radiace, která roste se sklonem studovaných plošek a ploch. Druhy na terénu s vyšším sklonem můžeme zřejmě považovat za „světlomilnější“ oproti ostatním. V tomto případě jde například o tolitu lékařskou (*Vincetoxicum hirundinaria*), oman srstnatý (*Inula hirta*), zvonek broskvolistý (*Campanula persicifolia*) a konopici široolistou (*Galeopsis ladanum*). Těmto druhům se dostává většího přísunu přímé radiace oproti druhům (např. *Poa angustifolia*, *Cornus mas*, *Genista tinctoria*), které obývají stanoviště s nižšími sklony.

Nevýznamné hodnoty korelačních koeficientů vlivu světla na druhové složení a pokryvnost vegetace v podrostu (Tab. 2) naznačují, že zdejší porost neobývá žádný rostlinný druh, který by nějakým způsobem reagoval na změny otevřenosti korunového zápoje v porostu.

Určujícím faktorem by zde například mohla být půdní vlhkost na jednotlivých lokalitách, jejíž význam ve svých studiích potvrdili například Makovcová (2012) a Douša et al. (2012). Odlišnosti na jednotlivých výzkumných plochách by se zřejmě daly vyzorovat při rozdílech hloubky půdy na jednotlivých ploškách, s jejíž hloubkou by stoupal význam sorpce a retence vody v půdě (Coomes & Grubb 2000).

## **5.2 Hodnocení vlivů půdních podmínek na podrostní vegetaci**

Hodnoty pH naměřené na lokalitě prokazují nezanedbatelnou proměnlivost. Avšak v korelačních maticích se pH neprojevuje nijak signifikantně v závislosti na ostatních faktorech na jemné i hrubší škále. Půdní reakce neovlivňuje druhové složení vegetace jen při RDA analýze dle schématu A, tedy na jemné škále. Právě v tomto případě při takovémto stupni proměnlivosti hodnot pH, by mohla být za

správnější metodu zvolenou pro analýzy jemné škály určena metoda ze schématu B uvažující podobné podmínky skupin čtyř plošek v rámci ploch, která závislost rostlinných druhů na půdní reakci s jistotou prokazuje. Dle výsledků RDA analýz (Příloha 2), mezi jemnou škálou podle schématu B a hrubší škálou podle schématu C, došlo k mírnému poklesu významu hodnot pH na variabilitu vegetace. To by naznačovalo že pH je spíše určujícím faktorem na jemnějších škálách, stejně jako je tomu například ve studii Bruelheide & Udelhoven (2005), kde na jemné škále dochází k větší variabilitě hodnot již na centimetrech spíše než na větších škálách. Avšak ve studovaném porostu není nejvýznamnějším faktorem určujícím výskyt rostlinných druhů. Nejvíce průkaznými faktory určující vegetaci v podrostu jsou dle výsledků prvky hořčíku a dusíku, které lze takto zhodnotit jak na jemné škále (B), tak na hrubé škále (C).

Slabá závislost mezi půdním pH a složením vegetace, kterou naznačují výsledky schématu A, nebývá ve výsledcích výzkumů tak častá (Bringmark 1989). Neprůkaznost tohoto faktoru je však v souladu s výsledky Hradilové (2010) v podobném typu porostu. Ovšem při analýze dle schématu B na jemné škále s uvažovanými kovariátami a typu C na hrubé škále se význam pH pro druhové zastoupení vegetace silně projevuje. V tomto případě, i když se vysvětlená variabilita půdních faktorů ve výsledcích schémat A a B nijak směrodatně neliší, lze zřejmě brát v úvahu metodu využívající kovariát za mírně přesnější oproti metodě ze schématu A.

Stejně jako v případech podobných výzkumů (např. Lin et al. 2013) se vysvětlená variabilita podrostu, způsobená půdními faktory a topografií, zvyšuje se zvětšením zkoumaného zrna.

Závislosti mezi půdními podmínkami, počtem druhů a jejich pokryvností na jemné i hrubé škále (Tab. 2 a 4) nejsou signifikantní. To může být dáno použitím nevhodné metodiky měření. Je však nutno dodat, že distribuce druhů na takto zvolených malých měřících spíše méně souvisí s půdními parametry, než je tomu na regionálním měřítku. Na takto zvolených škálách také mohou být biotické faktory důležitější a vlivnější než faktory abiotické. Huston tvrdí, že druhová bohatost je určována faktory v různých měřících (1994).

Výsledky GLM testů prokazujících závislost diverzit rostlinných druhů obou škál v závislosti na jednotlivých půdních faktorech žádnou signifikanci neprokázaly. Na tomto území, ať již na menším či na větším měřítku, nelze ovlivnění diverzity druhů vegetace přisoudit žádnému půdnímu faktoru. Spíše se, jako v případě neprůkaznosti světelných podmínek, může jednat o vlhkost, která může být pro diverzitu rostlin na této studované lokalitě rozhodující, jako například v lužních lesích, kde je tento faktor také z hlediska diverzity rostlin nejvíce limitujícím a určujícím (Douda et al. 2012).

Z hlediska závislosti rostlinných druhů na půdních faktorech se jako klíčové na tomto stanovišti projeví druhy česnáček lékařský (*Alliaria petiolata*) a tořice japonská (*Torilis japonica*), které se řadí mezi stenoekní eutrofní nitrofyty vyhledávající podobná stanoviště. Mezi klíčové druhy z hlediska nízkého pH patří jestřábník zední (*Hieracium murorum*), kokořík vonný (*Polygonatum odoratum*), kručinka německá (*Genista germanica*) a bělozářka větevnatá (*Anthericum ramosum*), jež jsou typickými druhy obývajícím acidofilní teplomilné doubravy. Dalším acidofilním druhem je pak jestřábník okoličnatý (*Hieracium ambellatum*), který se vyskytuje především na acidofilních trávnících mělkých půd. Ovšem jeho zdejší vzácnější výskyt není nijak neočekávaný. Na druhou stranu se zde nalézají druhy, které nízké pH netolerují a nacházejí se spíše na půdách s vyššími hodnotami pH. Mezi tyto druhy lze řadit ptačí zob (*Ligustrum vulgare*) a rod hloch (*Crataegus* sp.). Na těchto půdách s vyššími hodnotami půdní reakce je klíčovým druhem i rozrazil rezekvítek (*Veronica chamaedrys*), který je však obecně svými nároky na půdní reakci velmi tolerantní jak k nižším, tak i vyšším hodnotám, avšak na studované lokalitě se vyskytuje na méně kyselějších půdách.

## 6. ZÁVĚR

Distribuce podrostní vegetace v lesích není na jemných škálách náhodná. To jasně vyplývá jak z literárního přehledu, tak i z případové studie. Různorodost podrostu na stanovišti ve studované xerothermní doubravě určují především heterogenní půdní podmínky, různá svažítost zkoumaných plošek a ploch a na ní závislá potenciální radiace. Právě těmito podmínkami je dána zdejší vysoká proměnlivost vegetace a to především na hrubě zvolené škále, která prokazuje téměř třikrát větší variabilitu výskytu rostlinných druhů, způsobenou půdními podmínkami oproti škále jemnější. Pro potenciální radiaci a sklon výrazně odlišné změny variability podrostu mezi jemnou a hrubší škálou v této studii zaznamenány nebyly. Studie také nikterak neprokázala závislost celkové diverzity rostlinných druhů na půdních faktorech, a to na jemné i hrubé škále na zvoleném studovaném území. Z výsledných mnohorozměrných analýz však lze vyhodnotit některé rostlinné druhy, jejichž distribuce je závislá na půdních faktorech a topografii zkoumaných ploch.

Místní doubravy jsou přirozeně světlým typem porostu. Neprůkaznost vlivu světelných faktorů na vegetaci v podrostu doubravy potvrdila, že světlo není samo o sobě v této dubové pařezině limitujícím faktorem, a to i přes zdejší vysokou proměnlivost otevřenosti korunového zápoje (14-42%). Světlo ale může hrát roli v interakci s jinými ekologickými faktory (např. s vlhkostí). Proto je velmi komplikované hodnotit získané výsledky a vytvářet obecně platné závěry ve vztahu ke světelným faktorům v tomto typu porostu.

Zbývající distribuci a proměnlivost rostlinných druhů na tomto stanovišti může způsobovat řada dalších nevysvětlených proměnných prostředí. Zdejší variabilita podrostu může být také určována například samotnou disperzí rostlin a dalšími různými náhodnými procesy. K prohloubení poznatků o variabilitě a distribuci druhů v tomto lesním ekosystému by bylo třeba se do budoucna zabývat zbylými abiotickými či biotickými faktory, které by mohly společenství rostlin na této lokalitě nějak ovlivňovat.

## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- ANDERSON K. L. & LEOPOLD D. J., 2002: The role of canopy gaps in maintaining vascular plant diversity at a forested wetland in New York State. *J Torrey Bot Soc* 129: s. 238–250.
- BEGON M., HARPER J. L. & TOWNSEND C. R., 2010: *Základy ekologie*. Univerzita Palackého v Olomouci. 505 s.
- BELL G., LECHOWICZ, M. J. & WATERWAY M. J., 2001: Environmental heterogeneity and species diversity of forest sedges. *Journal of Ecology*, 88(1), s. 67-87.
- BRINGMARK E., 1989. Spatial variation in soil pH of beech forests in relation to buffering properties and soil depths. *Oikos*, s. 165-177.
- BRUELHEIDE H. & UDELHOVEN P., 2005: Correspondence of the fine-scale spatial variation in soil chemistry and the herb layer vegetation in beech forests. *Forest Ecology and management*, 210(1), s. 205-223.
- BUCCI G. & BORGHETTI M., 1997: Understory vegetation as a useful predictor of natural regeneration and canopy dynamics in *Pinus sylvestris* forests in Italy. *Acta Oecologica* 18 (4): s. 485–501.
- BUDIL P., JÄGER O., 2002: *Český kras – geologie CHKO České republiky*. Česká geologická služba. Mapový list.
- CAMPBELL D. J., KINNIBURGH D. G. & BECKETT P. H. T., 1989: The soil solution chemistry of some oxfordshire soils: temporal and spatial variability. *J. Soil Sci.* 40, s. 321–339.
- CHYTRÝ M., KUČERA T. & KOČÍ M. [eds.], 2001: *Katalog biotopů České republiky*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, s. 307.
- COHEN D. & LEVIN S. A., 1991: Dispersal in patchy environments: the effects of temporal and spatial structure. *Theoretical Population Biology*, 39(1), s. 63-99.
- COLLINS B. S., DUNE K. P. & Pickett S. T. A., 1985: Responses of forest herbs to canopy gaps. In: Pickett STA, White PS (eds) *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic, New York, s. 218–234 .

- COOMES D. A. & GRUBB P. J., 2000: Impacts of root competition in forest and woodlands: a theoretical framework and review of experiments. *Ecological monographs* 70: s. 171-207.
- CORNELL H. V. & LAWTON J. H., 1992: Species interactions, local and regional processes, and limits to the richness of ecological communities: a theoretical perspective. *Journal of animal ecology*, s. 1-12.
- CULEK M., 1995: Biogeografické členění České republiky. Enigma, Praha, s. 347.
- DE KROON H. & HUTCHINGS M. J., 1995: Morphological plasticity in clonal plants: the foraging concept reconsidered. *J. Ecol.* 83, s. 143–152.
- DEMEK J., 1965: Geomorfologie českých zemí. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 335 s.
- DIEFFENBACH A., GÖTTLEIN A. & MATZNER E., 1997: In situ soil solution chemistry in an acid forest soil as influenced by growing roots of Norway spruce (*Picea abies* [L.] karst.). *Plant Soil* 192, s. 57–61.
- DINKELAKER B., HENGELER C., NEUMANN G., ELTROP L., MARSCHNER, H., 1997: Root exudates and mobilization of nutrients. In: Rennenberg, H., Eschrich, W., Ziegler, H. (Eds.), *Trees-Contributions to Modern Tree Physiology*. Backhuys, Leiden, s. 441–452.
- DOUDA J., DOUDOVÁ-KOCHÁNKOVÁ J., BOUBLÍK K., & DRAŠNAROVÁ A. 2012: Plant species coexistence at local scale in temperate swamp forest: test of habitat heterogeneity hypothesis. *Oecologia*, s. 1-12.
- DUELLI P., 1997: Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: an approach at two different scales. *Agric Ecosyst Environ* 62: s. 81–91.
- DUPRÉ C., 2001: Regional and local variation in plant species richness. *Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 641. S. 32. Uppsala.
- ELLENBERG H. & MUELLER-DOMBOIS D., 1974: Aims and methods of vegetation ecology. s. 547, Wiley, New York.
- ESRI (Environmental Systems Resource Institute), 2009. ArcMap 9.3.
- ETTEMA C. H. & WARDLE D. A., 2002: Spatial soil ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 17: s. 177–183.
- EVANS G. D. & COOMBE D. E., 1959: Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. *Journal of ecology* 47: s. 103-113.



- FAHRIG L., BAUDRY J., BROTONS L., BUREL F. G., CRIST T. O., FULLER R. J., SIRAMI C., SIRIWARDENA G. M. & Martin J. L., 2011: Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecol Lett* 14: s. 101–112.
- FRAZER G. W., CANHAM C. D. & LERTZMAN K. P., 1999: Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation.
- GAZOL A., TAMME R., TAKKIS K., KASARI L., SAAR L., HELM A. & PÄRTEL M., 2012: Landscape-and small-scale determinants of grassland species diversity: direct and indirect influences. *Ecography*, 35(10), s. 944-951.
- GILBERT B. & LECHOWICZ M. J., 2004: Neutrality, niches, and dispersal in a temperate forest understory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(20), s. 7651-7656.
- GLONČÁK P., 2009: Vplyv svetelných podmienok na variabilitu prízemnej vegetácie porodných horských smrečín. *Acta Facultatis Forestalis, Zvolen*, LI, Supply. 1: s. 69-83.
- GOLDBLUM D., 1997: The effects of treefall gaps on understory vegetation in New York State. *Journal of Vegetation Science* 8: s. 125-132.
- GOULD W. A. & WALKER M. D. 1997: Landscape-scale patterns in plant species richness along an arctic river. *Canadian Journal of Botany*, 75(10), s. 1748-1765.
- HÄRDTLE W., OHEIMB G. & WESTPHAL C., 2003: The effects of light and soil conditions on the species richness of the ground vegetation of deciduous forests in northern Germany (Schleswig-Holstein). *Forest Ecology and Management* 182: s. 327–338.
- HART D. D. & HORWITZ R. J., 1991: Habitat diversity and the species-area relationship: alternative models and tests. *POPUL. COMMUNITY BIOL. SER.*, s. 47-68.
- HAUSMANNOVÁ I. et al., 2012: Čtyřicet let cílevědomé péče o přírodu a krajinu Českého krasu. *Ochrana přírody*, 2/201.

- HENNEKENS S. M. & SCHAMINÉE J. H. J., 2001: TURBOVEG, a comprehensive data basemanagement system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science* 12: s. 589–591.
- HERBEN T. & MÜNZZBERGOVÁ Z., 2003. Zpracování geobotanických dat v příkladech. Část 1. Data o druhovém složení.– Praha: s. 118.
- HRADILOVÁ L., 2010: Maloškálová prostorová variabilita stanovištních faktorů v dubových lesích a její vztah k druhovému složení bylinného patra. Masarykova univerzita v Brně, s. 48.
- HU L., GONG Z. & LI J., 2009: Estimation of canopy gap size and gap shape using a hemispherical photograph. *Trees – structure and function* 23: s. 1101-1108.
- HUSTON M. A., 1994. *Biological diversity: the coexistence of species on Changing Landscapes*. Cambridge University Press.
- JELASKA S. D., 2004: Analysis of canopy closure in the Dinaric silver fir–beech forests (Omphalodo-Fagetum) in Croatia using hemispherical photography. *Hacquetia* 3: s. 43–49.
- JELASKA S. D., ANTONIČ O., BOŽIČ M., KRIŽAN J. & KUŠAN V., 2006: Responses of forest herbs to available understory light measured with hemispherical photographs in silver fir–beech forest in Croatia. *Ecological modelling* 194: 209–218.
- JOHN R., DALLING J. W., HARMS K. E., YAVITT J. B., STALLARD R. F. et al., 2007: Soil nutrients influence spatial distributions of tropical tree species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: s. 864–869.
- KEERSMAEKER L. D., MARTENS L., VERHEYEN K., HERMY M., SCHRIJVER A. D. & LUST N., 2004: Impact of soil fertility and insolation on diversity of herbaceous woodland species colonizing afforestations in Muizen forest (Belgium). *Forest Ecology and Management* 188: s. 291–304.
- KUBÁT K. [ed.], 2002: *Klíč ke květeně České republiky*. Academia, Praha. s. 927s.
- LAANISTO L., TAMME R., HIIESALU I., SZAVA-KOVATS R., GAZOL A. & PÄRTEL M., 2013: Microfragmentation concept explains non-positive environmental heterogeneity–diversity relationships. *Oecologia*, 171(1), s. 217-226.

- LECHOWICZ M. J. & BELL G., 1991: The ecology and genetics of fitness in forest plants. II. Microspatial heterogeneity of the edaphic environment. *J. Ecol.* 79, s. 687–696.
- LEPŠ & ŠMILAUER, 2000: Mnohorozměrná analýza ekologických dat. – Biologická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, s. 102.
- LIN G., STRALBERG D., GONG G., HUANG Z., YE W. & WU L., 2013: Separating the Effects of Environment and Space on Tree Species Distribution: From Population to Community. - *PloS one*, 8(2), e56171.
- LODHI M. A. K. & JOHNSON F. L., 1989: Forest understory biomass heterogeneity. Is “moisture complex” or associated litter the cause? *J. Chem. Ecol.* 15 (1), s. 429–437.
- MACEK M., 2009: Variabilita vegetace dubohabrových lesů na jemné škále. Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Praha, s. 37.
- MAKOVCOVÁ P., 2012: Role stanovištních faktorů při sukcesi světlých doubrav k dubohabřinám. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně, s. 63.
- MARTENS S. N., BRESHEARS D. D. & MEYER C. W., 1999: Spatial distributions of understory light along the grassland:forest continuum: effects of cover, height, and spatial pattern of tree canopies. *Ecological Modelling* 126: s. 79–93.
- MCCUNE B. & KEON D., 2002: Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. *Journal of Vegetation Science* 13: s. 603-606.
- MCLAUGHLIN S. B. & WIMMER R., 1999: Tansley Review No. 104. Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. *New Phytologist*, 142(3), s. 373-417.
- MICHNA M., 2011: Vliv světelných podmínek na druhové složení cévnatých rostlin v nížinných lesích. Bakalářská práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí. Praha: s. 34.
- MORAVEC J., HUSOVÁ M., CHYTRÝ M. & NEUHAUSLOVÁ Z., 2000: Přehled vegetace České republiky. *Academia*, Praha, s. 319.
- MUSCOLO A. SIDARI M., BAGNATO S, MALLAMACI C. & MERCURIO R., 2009: Gap size effects on above- and below-ground processes in a silver fir stand. *European journal of forest research* 29: s. 355-365.

- NEUHÄUSLOVÁ Z., MORAVEC J., CHYTRÝ M., SÁDLO J., RYBNÍČEK K., KOLBEK J. & JIRÁSEK J., 1998: Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Akademie věd České republiky, Botanický ústav, Kartografie Praha - mapové dílo.
- NOBIS M., 2005: SideLook 1.1 - Imaging software for the analysis structure with true-colour photographs. Dostupné z: <http://www.appleco.ch>.
- NORTH M., OAKLEY B., FIEGENER R., GRAY A. & BARBOUR M., 2005: Influence of light and soil moisture on Sierran mixed-conifer understory communities. *Plant Ecology* 177: s. 13–24.
- PACALA S. W. & SILANDER J. A., 1990: Field tests of neighborhood population dynamic models of two annual weed species. *Ecological Monographs*, s. 113-134.
- PALMER M. W., 1990: Spatial scale and patterns of species-environment relationships in hardwood forest of the North Carolina Piedmont. *Coenoses*, 5(2), s. 79-87.
- PALMER M. W. & WHITE, P. S., 1994: Scale dependence and the species-area relationship. *American Naturalist*, s. 717-740.
- PEACH M. & ZEDLER J. B., (2006): How tussock structure sedge meadow vegetation. *Wetlands*. Vol. 26 No. 2: s. 322–335.
- PETERSON C. J. & CAMPBELL J. E., 1993: Microsite differences and temporal change in plant communities of treefall pits and mounts in an old-growth forest. *Bull. Torrey Bot. Club* 120, s. 451–460.
- PROCHÁZKA S., MACHÁČKOVÁ I., KREKULE J., ŠEBÁNEK J. [eds.], 2003: *Fyziologie rostlin*. Academia. Praha. s. 484.
- QUITT E., 1971: *Klimatické oblasti Československa*. Academia. Praha. s. 73.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012: *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- ROBINSON S. A. & MCCARTHY B. C., 1999: Potential factors affecting the estimation of light availability using hemispherical photography in oak forest understories. *Journal of the Torrey Botanical Society* 126 (4): s. 344-349.
- SCHUSTER B. & DIEKMANN M., 2005: Species richness and environmental correlates in deciduous forests of Northwest Germany. *Forest Ecology and Management* 206: s. 197–205.

- SKALICKÝ V., 1997: Regionálně fytogeografické členění. In: Hejný S. & Slavík B. [eds], Academia Praha, Květena České socialistické republiky, 1, s. 103-121.
- SLAVÍKOVÁ J., 1986: Ekologie rostlin. SPN, Praha. s. 366.
- STATSOFT INC., 2004: Program Statistica 10. <http://www.statsoft.cz>.
- SYROVÝ S. [ed.], 1958: Atlas podnebí Československé republiky. Ústřední správa geodesie a kartografie a Hydrometeorologický ústav, Praha. [depon. in: AF ČZU v Praze].
- ŠAMONIL P., 2005: Typologie lesů Českého krasu ve vztahu k půdní diverzně. Praha, s. 112.
- TAMME R., HIIESALU I., LAANISTO L., SZAVA-KOVATS R., & PÄRTEL M., 2010: Environmental heterogeneity, species diversity and co-existence at different spatial scales. *Journal of Vegetation Science*, 21(4), s. 796-801.
- TÁRREGÉ R., CALVO L., MARCOS E. & TABOADA A., 2006: Forest structure and understory diversity in *Quercus pyrenaica* communities with different human uses and disturbances. *Forest Ecology and Management* 227: s. 50–58.
- TER BRAAK C. J. F. & ŠMILAUER P., 2002: CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide. Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Biometris, Wageningen & České Budějovice.
- TICHÝ L., 2002: JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science* 13: s. 451-453.
- TILMAN D. & PACALA S., 1993: The maintenance of species richness in plant communities. *Species diversity in ecological communities*: s. 13-25.
- TILMAN D., 1994: Competition and biodiversity in spatially structured habitats. - *Ecology*, 75(1), s. 2-16.
- TOMÁŠEK M., 2007: Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha, s. 68.
- VENCURIK J. & SKLENÁR P., 2006: Štruktúra prirodzenej obnovy pri uznej úrovni stupňa clonenia vo výberkovom lese Oravských Beskyd. *Beskydy* (19): s. 131–136.
- WAGNER S., 1994: Strahlschätzung in Wäldern durch hemisphärische Fotos, Methode und Anwendung. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades, Göttingen: s. 166.
- WANG Z., YE W., CAO H., HUANG Z., LIAN J., LI L. & SUN, I., 2009. Species topography association in a species-rich subtropical forest of China. *Basic and Applied Ecology*, 10(7), s. 648-655.

- WHITE P. S., 1979: Pattern, process, and natural disturbance in vegetation. *The Botanical Review*. 45: s. 229-299.
- WHITMORE T. C., 1978: Gaps in the forest canopy. In TOMLISON P.B. & ZIMMERMANN M.H. *Tropical trees as living systems*. s. 675, Cambridge University Press, New York: s. 639-655.
- WILCKE W. & KAUPENJOHANN M., 1997: Differences in concentrations and fractions of aluminium and heavy metals between aggregate interior and exterior. *Soil Sci.* 162, s. 323–332.
- YAMAMOTO S., 2000: Forest gap dynamics and tree regeneration. *Journal of forest research* 5: s. 223-229.
- ZHANG Y., CHEN J. M. & MILLER J. R., 2005: Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. *Agricultural and Forest Meteorology* 133: s. 166-181.
- ZRAK J. & JALOVÍAR P., 2009: Světelné poměry v bukovém přírodním lese NPR Badín. *Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, Supply*. 1: s. 55-67.

**Internetové zdroje:**

**www1:** Mapový server, online: <http://mapy.cz>, cit. 13. 12. 2012.

**www2:** Česká geologická služba, online:

<http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace>, cit. 13. 12. 2012.

**www3:** Národní geoportál INSPIRE, online: <http://www.geoportal.gov.cz>, cit 13. 12. 2012.











## Příloha 2.: Výsledky testů RDA analýz.

### Půdy – schéma A:

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues	0.086	0.033	0.012	0.007	1.000
Species-environment correlations	0.655	0.513	0.430	0.316	
Cumulative percentage variance					
of species data	8.6	11.9	13.1	13.8	
of species-environment relation:	60.4	83.5	91.8	97.0	
Sum of all eigenvalues					1.000
Sum of all canonical eigenvalues					0.143

Testované proměnné:

**Mg:** 999 permutací; F = 9,404; P = 0,001

**K:** 999 permutací; F = 3,117; P = 0,001

**C:** 999 permutací; F = 3,050; P = 0,020

**Ca:** 999 permutací; F = 2,086; P = 0,022

**P:** 999 permutací; F = 1,983; P = 0,034

(signifikantní)

**pH:** 999 permutací; F = 0,897; P = 0, 538

**N:** 999 permutací; F = 0,389; P = 0,802

(nesignifikantní)

### Radiace – schéma A:

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues	0.093	0.033	0.190	0.128	1.000
Species-environment correlations	0.703	0.534	0.000	0.000	
Cumulative percentage variance					
of species data	9.3	12.6	31.6	44.4	
of species-environment relation:	73.6	100.0	0.0	0.0	
Sum of all eigenvalues					1.000
Sum of all canonical eigenvalues					0.126

Testované proměnné:

**Radiace:** 999 permutací; F = 9,374; P = 0,001

**Sklon:** 999 permutací; F = 8,096; P = 0,001

(signifikantní)

### Světelné faktory - schéma A:

Nevysvětlují variabilitu

Testované proměnné:

**% Canopy openness:** 999 permutací; F = 1,727; P = 0,070

**LAI5:** 999 permutací; F = 1,155; P = 0,303

**Tr\_Dif:** 999 permutací; F = 0,872; P = 0,506

**Tr\_Tot:** 999 permutací; F = 0,803; P = 0,609

**Tr\_Dir:** 999 permutací; F = 0,771; P = 0,577

**LAI4:** 999 permutací; F = 0,721; P = 0,713

(nesignifikantní)

## Půdy – schéma B:

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues	0.072	0.057	0.013	0.004	1.000
Species-environment correlations	0.610	0.584	0.538	0.414	
Cumulative percentage variance					
of species data	7.4	13.3	14.7	15.0	
of species-environment relation:	49.3	88.6	97.4	100.0	
Sum of all eigenvalues					0.967
Sum of all canonical eigenvalues					0.145

Testované proměnné:

**Mg:** 999 permutací;  $F = 9,378$ ;  $P = 0,001$

**N:** 999 permutací;  $F = 6,279$ ;  $P = 0,001$

**Ca:** 999 permutací;  $F = 2,693$ ;  $P = 0,005$

**pH:** 999 permutací;  $F = 2,426$ ;  $P = 0,009$

(signifikantní)

**P:** 999 permutací;  $F = 1,541$ ;  $P = 0,101$

**K:** 999 permutací;  $F = 1,174$ ;  $P = 0,274$

**C:** 999 permutací;  $F = 0,765$ ;  $P = 0,717$

(nesignifikantní)

## Radiace – schéma B:

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues	0.092	0.010	0.189	0.127	1.000
Species-environment correlations	0.703	0.418	0.000	0.000	
Cumulative percentage variance					
of species data	9.5	10.5	30.1	43.3	
of species-environment relation:	90.5	100.0	0.0	0.0	
Sum of all eigenvalues					0.967
Sum of all canonical eigenvalues					0.102

Testované proměnné:

**Radiace:** 999 permutací;  $F = 11,281$ ;  $P = 0,001$

**Sklon:** 999 permutací;  $F = 3,147$ ;  $P = 0,003$

(signifikantní)

## Světelné faktory – schéma B:

Testované proměnné:

**LAI4:** 999 permutací;  $F = 1,771$ ;  $P = 0,060$

**LAI5:** 999 permutací;  $F = 1,680$ ;  $P = 0,0960$

**% Canopy openness:** 999 permutací;  $F = 1,615$ ;  $P = 0,074$

**Tr\_Dir:** 999 permutací;  $F = 1,189$ ;  $P = 0,259$

**Tr\_Tot:** 999 permutací;  $F = 1,085$ ;  $P = 0,342$

**Tr\_Dif:** 999 permutací;  $F = 1,020$ ;  $P = 0,399$

(nesignifikantní)

## Půdy – schéma C:

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues	0.175	0.119	0.039	0.025	1.000
Species-environment correlations	0.845	0.777	0.583	0.776	
Cumulative percentage variance					
of species data	17.5	29.4	33.3	35.8	
of species-environment relation:	49.0	82.3	93.1	100.0	
Sum of all eigenvalues					1.000
Sum of all canonical eigenvalues					0.358

Testované proměnné:

**Mg:** 999 permutací; F = 4,863; P = 0,001

**N:** 999 permutací; F = 3,447; P = 0,01

**pH:** 999 permutací; F = 2,972; P = 0,003

**Ca:** 999 permutací; F = 2,230, P = 0,017

(signifikantní)

**P:** 999 permutací; F = 1,890; P = 0,051

**K:** 999 permutací; F = 1,295; P = 0,200

**C:** 999 permutací; F = 0,583; P = 0,856

(nesignifikantní)

## Radiace – schéma C:

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues	0.136	0.056	0.234	0.153	1.000
Species-environment correlations	0.773	0.655	0.000	0.000	
Cumulative percentage variance					
of species data	13.6	19.2	42.6	57.9	
of species-environment relation:	70.8	100.0	0.0	0.0	
Sum of all eigenvalues					1.000
Sum of all canonical eigenvalues					0.192

Testované proměnné:

**Radiace:** 999 permutací; F = 3,401; P = 0,002

**Sklon:** 999 permutací; F = 3,227; P = 0,004

(signifikantní)

## Světelné faktory – schéma C:

Testované proměnné:

**LAI5:** 999 permutací; F = 1,512; P = 0,250

**LAI4:** 999 permutací; F = 1,191; P = 0,276

**Tr\_Dir:** 999 permutací; F = 1,190; P = 0,273

**Tr\_Tot:** 999 permutací; F = 1,191; P = 0,294

**Tr\_Dif:** 999 permutací; F = 1,149; P = 0,298

**% Canopy openness:** 999 permutací; F = 0,903; P = 0,483

(nesignifikantní)

### Příloha 3.: Výsledky testu vlivu faktorů na diverzitu 128 ploch - menší škála (program R - Development Core Team 2012)

```
Call:
glm(formula = Richness ~ pH + Ca + K + Mg + N + P + C, family = poisson,
    data = data128)
```

```
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.81884 -0.60079 -0.02131  0.53226  2.58677
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  3.616e+00  4.239e-01  8.531  <2e-16 ***
pH           -2.611e-02  6.064e-02  -0.431  0.667
Ca           -2.388e-06  2.590e-05  -0.092  0.927
K            -5.368e-05  2.678e-04  -0.200  0.841
Mg           -7.936e-04  8.056e-04  -0.985  0.325
N            -3.886e-02  3.580e-02  -1.086  0.278
P            -2.393e-03  3.069e-03  -0.780  0.435
C            2.360e-02  4.726e-02   0.499  0.617
---

```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
```

```
Null deviance: 105.943 on 127 degrees of freedom
Residual deviance: 98.136 on 120 degrees of freedom
AIC: 753.96
```

```
Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

### Příloha 4.: Výsledky testu vlivu faktorů na diverzitu 32 ploch - větší škála (program R - Development Core Team 2012)

```
Call:
glm(formula = Richness ~ smodch.pH + smodch.Ca + smodch.K + smodch.Mg +
    smodch.N + smodch.P + smodch.C, family = poisson, data = data32)
```

```
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.58241 -0.49127  0.09891  0.42308  1.17417
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  3.7809791  0.0981633  38.517  <2e-16 ***
smodch.pH    0.1503295  0.2400171   0.626  0.531
smodch.Ca   -0.0001041  0.0001350  -0.771  0.441
smodch.K     0.0002724  0.0012806   0.213  0.832
smodch.Mg    0.0019029  0.0031987   0.595  0.552
smodch.N    -0.0954332  0.1402927  -0.680  0.496
smodch.P    -0.0048918  0.0096542  -0.507  0.612
smodch.C    -0.1777232  0.1709641  -1.040  0.299
---

```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
```

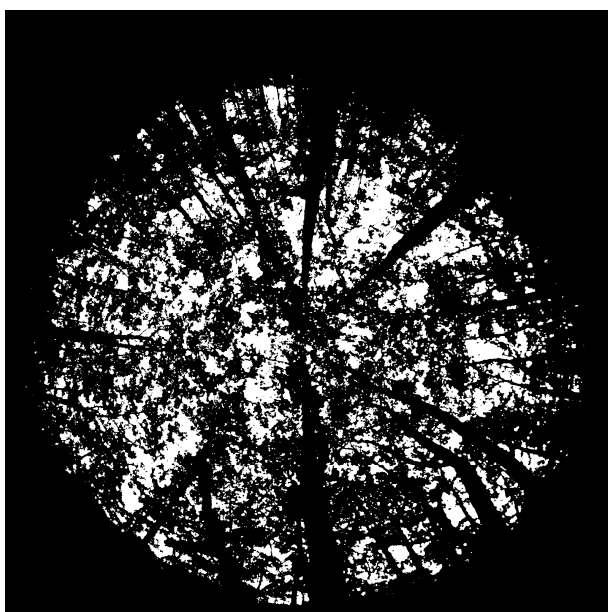
```
Null deviance: 16.196 on 31 degrees of freedom
Residual deviance: 12.984 on 24 degrees of freedom
AIC: 206.73
```

```
Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

**Příloha 5.: Ukázka snímku pořízeného pomocí objektivu rybí oko.**



**Příloha 6.: Snímek převedený programem SideLook.**



## Příloha 7: Výchovní datová tabulka pro statistické testování.

Proměnné Canopy openness, LAI4, LAI5, Trans Dir, Trans Dif, Trans Tot, jsou hodnoty získané z hemisférických fotografií. Hodnoty radiace vycházejí především z hodnot sklonů. Hodnoty pH, Ca (mg/kg), K (mg/kg), Mg (mg/kg), N (mg/kg), P (mg/kg), C (g/kg) jsou hodnoty půdních faktorů analyzovaných v laboratoři.

Ploška	Plocha	Sklon	Radiation	Pokryv%	Richness	Canopy	LAI4	LAI5	Trans Dir	Trans Dif	Trans Tot	pH	Ca	K	Mg	N	P	C
1	1	5	-0.482234406	35	29	28.29	1.37	1.26	43.11	32.37	37.79	5.5	2416.666667	234.375	106.7484663	4.138666667	8.0554	2.34886
2	1	7	-0.434696633	10	28	23.67	1.68	1.44	26.99	27.98	27.48	5.73	5660.714286	333.7053571	181.595092	4.138666667	15.5422	2.23499
3	1	5	-0.437310556	15	29	23.17	1.72	1.48	31.56	27.46	29.54	5.75	5660.714286	285.7142857	208.0487805	3.89504	17.0222	2.43801
4	1	7	-0.497513379	30	20	30	1.37	1.18	39.03	35.26	37.17	5.62	4053.571429	289.0625	159.5092025	4.047306667	13.1818	2.30542
5	2	10	-0.30019222	10	19	30.22	1.4	1.18	52.44	37.21	45.14	5.87	4767.857143	352.6785714	202.4539877	4.131053333	17.4344	2.48116
6	2	13	-0.262187187	10	16	30.5	1.34	1.17	35.3	37.02	36.11	5.99	7386.904762	430.8035714	261.4634146	4.129530667	16.61	3.25975
7	2	15	-0.238679054	5	17	28.58	1.38	1.2	37.92	34.01	36.08	5.6	5184.52381	306.9196429	216.097561	4.121917333	27.9455	1.86727
8	2	10	-0.30019222	10	15	25.71	1.54	1.37	34.12	29.68	31.99	5.93	6761.904762	402.9017857	216.8292683	4.114304	20.732	2.70919
9	3	10	-0.30019222	35	25	33.19	1.1	1.3	41.08	43.07	42.03	6.28	5452.380952	304.6875	191.4110429	4.120394667	8.44	2.03869
10	3	10	-0.30019222	25	20	27.8	1.31	1.28	40.24	34.67	37.57	6.31	7267.857143	412.9464286	259.2682927	4.128008	12.22	5.74913
11	3	10	-0.30019222	25	22	31.53	1.28	1.12	40.45	38.67	39.59	6.21	6166.666667	331.4732143	198.1595092	4.137144	12.0016	2.74073
12	3	10	-0.30019222	15	20	28.93	1.44	1.25	32.71	32.72	32.71	6.3	5303.571429	438.6160714	227.804878	4.111258667	8.52	2.41407
13	4	20	-0.298857241	25	23	22.55	1.12	1.81	17.85	20.6	18.87	6.17	6642.857143	520.0892857	276.097561	4.138666667	8.1868	3.23738
14	4	20	-0.298857241	25	26	34.6	1.14	1.5	44.74	42.01	43.47	6.24	5511.904762	373.8839286	173.006135	4.126485333	11.1586	2.38067
15	4	20	-0.298857241	30	20	27.45	1.43	1.29	20.9	29.64	24.95	6.26	4589.285714	444.1964286	259.2682927	4.134098667	3.56	1.65447
16	4	20	-0.298857241	25	22	38.23	1	0.95	48.29	42.42	45.57	6.49	5869.047619	398.4375	192.0245399	4.135621333	9.22	1.89266
17	5	16	-0.409089803	10	21	26.79	1.9	0.98	38.23	31.81	35.19	5.36	6761.904762	514.5089286	118.2926829	4.117349333	7.36	2.21632
18	5	16	-0.409089803	15	24	24.61	1.6	1.4	29.34	30.69	29.98	5.38	5214.285714	308.0357143	178.5276074	4.115826667	8.0554	2.42832
19	5	16	-0.409089803	20	24	36.1	1.1	0.96	41.36	42.56	41.93	6.7	4559.52381	357.1428571	176.6871166	4.132576	6.1732	1.66287
20	5	16	-0.409089803	15	23	29.55	1.36	1.18	41.51	37.14	39.44	5.94	6285.714286	424.1071429	248.2926829	4.118872	15.767	2.61427
21	6	15	-0.238679054	20	26	31.67	1.17	1.1	44.72	40.74	42.85	5.83	3309.52381	289.0625	168.0981595	4.016853333	12.64	1.99899
22	6	7	-0.341395392	35	30	31.14	1.27	1.11	40.39	39.25	39.84	5.61	4797.619048	494.4196429	269.5121951	4.138666667	25.541	1.95229
23	6	5	-0.370585499	25	23	40.58	0.84	0.83	54.73	49.69	52.27	5.76	5809.52381	457.5892857	225.6097561	4.062533333	23.5487	1.84243
24	6	7	-0.341395392	15	23	35.43	1.7	0.95	45.24	46.02	45.62	5.64	3250	724.3303571	160.7361963	4.092986667	12.0016	1.46487
25	7	23	-0.11377564	30	19	35.3	1.13	1	45.53	42.04	43.93	5.89	3636.904762	521.2053571	157.6687117	4.132576	21.419	1.3
26	7	23	-0.11377564	30	34	41.95	0.87	0.77	49.86	49.94	49.9	5.58	5154.761905	388.3928571	185.2760736	4.059488	9.74	1.73072
27	7	23	-0.11377564	7	19	34.2	1.11	1.1	48.01	40.56	44.6	5.81	3517.857143	368.3035714	220.4878049	4.079282667	4.27	2.11441
28	7	23	-0.11377564	30	20	27.64	1.31	1.23	28.88	31.4	30.4	5.64	3577.380952	313.6160714	158.2822086	4.047306667	2.1623	1.68912
29	8	20	-0.135334878	25	29	30.79	1.17	1.11	41.59	40.55	41.1	5.98	3666.666667	313.6160714	172.392638	4.092986667	3.26	1.67291
30	8	20	-0.135334878	25	28	31.74	1.11	1.8	42.8	40.27	41.62	6.42	3279.761905	383.9285714	156.4417178	4.05492	3.84	2.47635
31	8	20	-0.135334878	25	19	36.9	0.97	0.93	47.61	45.87	46.8	6.2	1821.428571	237.7232143	106.7484663	4.111258667	2.1249	1.51684
32	8	20	-0.135334878	20	28	38.08	0.92	0.88	46.81	47.48	47.13	5.71	1940.47619	226.5625	103.6809816	4.096032	3.1721	1.91967
33	9	23	-0.123593755	20	24	34.69	1.2	0.99	51.1	46.23	48.84	5.83	2773.809524	232.1428571	129.4478528	4.109736	3.116	2.20401
34	9	23	-0.123593755	25	28	22.35	1.6	1.48	30.16	29.62	29.9	5.69	3964.285714	316.9642857	202.4539877	4.083850667	6.1108	1.80489
35	9	23	-0.123593755	15	24	21.25	1.64	1.55	28.62	27.37	28.4	5.7	3250	348.2142857	164.4171779	4.094503333	8.62	2.14777
36	9	23	-0.123593755	15	20	37.51	0.96	0.87	47.08	46.75	46.93	5.53	3220.238095	284.5982143	176.6871166	4.089941333	9.42	1.66306
37	10	20	-0.135334878	15	27	28.4	1.16	1.18	35.73	38.87	37.19	5.7	2119.047619	272.3214286	136.809816	4.015330667	2.98	2.31009
38	10	20	-0.135334878	25	25	28.53	1.19	1.23	33.81	35.55	34.62	5.93	4380.952381	335.9375	197.5406123	4.051068	6.14	2.37724
39	10	20	-0.135334878	15	29	30.67	1.22	1.13	40.15	39.01	39.62	5.97	4172.619048	404.0178571	213.1707317	4.025989333	16.1042	2.39362
40	10	20	-0.135334878	10	17	35.73	0.94	0.94	45.94	45.04	45.52	6.7	3458.333333	344.8660714	184.0490798	4.096032	11.58	1.83147
41	11	25	-0.092751427	15	25	35.24	1.1	0.97	36.15	42.65	39.14	5.83	4351.190476	426.3392857	240.2349024	4.12344	16.7474	2.34486
42	11	25	-0.092751427	20	22	32.23	1.22	1.18	42.02	41.54	41.8	5.69	4053.571429	498.8839286	230.7317073	4.053397333	22.2434	1.83105
43	11	25	-0.092751427	15	20	31.75	1.18	1.7	43.92	41.17	42.65	6.8	2476.190476	253.3482143	112.2699387	4.131053333	20.2511	2.0395
44	11	25	-0.092751427	25	30	27.6	1.33	1.25	43.07	36.27	39.95	5.8	3458.333333	294.6428571	160.7361963	4.124962667	3.0599	1.84247
45	12	24	-0.090918905	25	22	30.34	1.27	1.15	36.41	38.75	37.49	5.59	1434.52381	198.6607143	113.4969325	4.118872	3.1534	1.30369
46	12	24	-0.090918905	20	19	26.9	1.33	1.25	40.63	35.2	38.14	5.77	2773.809524	306.9196429	153.3742331	4.149323333	14.4182	2.59178
47	12	24	-0.090918905	15	23	32.78	1.6	1.7	37.18	39.74	38.35	5.72	3398.809524	328.125	175.4601227	4.111258667	10.16	2.10998
48	12	24	-0.090918905	20	23	33.67	1.3	1	49.4	44.22	47.02	5.55	4232.142857	421.875	200	4.086986	23.48	2.78186
49	13	27	-0.067122074	15	22	32.89	1.12	1.5	46.77	41.44	44.36	6.19	2684.52381	363.8392857	123.3128834	4.062533333	4.8	2.12144
50	13	27	-0.067122074	25	25	31.68	1.22	1.11	40.03	40.49	40.24	5.72	3041.666667	309.1517857	143.5582822	4.103645333	5.1436	2.12144
51	13	27	-0.067122074	25	28	29.37	1.31	1.19	36.86	34.14	35.63	5.88	3755.952381	398.4375	198.1595092	4.109736	17.6405	2.26661
52	13	27	-0.067122074	25	28	27.51	1.5	1.29	29.28	31.3	30.2	5.78	3428.571429	332.5892857	180.9815951	4.018376	5.24	2.13761
53	14	27	-0.08998542	20	19	34.67	1.15	1.2	40.03	40.2	40.11	5.8	3220.238095	361.6071429	142.3312883	4.114304	1.134	2.37454
54	14	25	-0.106922261	20	24	31.57	1.26	1.14	46.36	37.94	42.53	5.66	3845.238095	309.1517857	144.7852761	4.111258667	1.57	2.30778
55	14	25	-0.106922261	25	23	32.38	1.14	1.1	39.62	41.55	40.49	5.9	2744.047619	286.8303571	119.6319018	4.126485333	5.1124	2.21986
56	14	27	-0.08998542	25	23	35.33	1.11	0.98	50.7	43.29	47.35	5.8	3517.857143	334.8214286	150.3067485	4.109736	3.0225	2.42067
57	15	25	-0.164609548	20	27	32.65	1.14	1.6	37.78	44.21	40.79	6.67	3160.714286	303.5714286	103.5121951	4.082328	5.674	2.94611
58	15	25	-0.164609548	25	24	25.4	1.49	1.31	39.12	34.61	37.01	5.81	4351.190476	383.9285714	205.836585	4.057965333	4.36	3.07336
59	15	20	-0.203116731	30	28	22.58	1.61	1.48	28.82	28.75	28.79	5.82	50					



## Příloha 7. - pokračování

81	21	28	-0.082164597	15	21	21.91	1.6	1.49	25.8	27.8	26.38	5.84	3696.428571	382.8125	166.8711656	3.544826667	4.582	2.05894
82	21	28	-0.082164597	15	26	24.55	1.55	1.35	38.11	32.05	35.38	6.5	3994.047619	360.4910714	146.6257669	3.225066667	3.96	1.96849
83	21	28	-0.082164597	35	28	18.48	1.86	1.68	26.6	23.23	25.8	5.9	3666.666667	378.3482143	160.1226994	3.011893333	4.84	2.23552
84	21	28	-0.082164597	25	23	22.76	1.57	1.48	39.47	32.81	36.47	5.86	4321.428571	391.7410714	158.2822086	2.829173333	7.98	1.14426
85	22	25	-0.106922261	25	22	21.58	1.79	1.57	30.64	26.79	28.89	6.14	4738.095238	502.2321429	220.4878049	3.80368	10.96	2.26576
86	22	25	-0.106922261	25	20	28.3	1.36	1.25	34.84	37.16	35.9	6.13	5184.52381	454.2410714	196.9325153	3.727546667	13.4066	2.33982
87	22	25	-0.106922261	10	16	25.19	1.55	1.39	31.16	29.73	30.51	5.76	4380.952381	360.4910714	173.006135	4.001626667	7.2	2.1108
88	22	25	-0.106922261	20	25	25.17	1.59	1.47	30.46	29.02	29.81	5.93	5988.095238	440.8482143	199.3865031	3.742773333	7.98	2.58204
89	23	30	-0.25017582	30	22	22.36	1.65	1.5	33.26	26.54	30.25	6.13	4083.333333	361.6071429	161.9631902	3.468693333	3.78	1.86293
90	23	30	-0.25017582	30	38	24.75	1.63	1.4	29.98	29.53	29.78	6.17	5660.714286	486.6071429	187.1165644	3.179386667	5.16	2.35405
91	23	30	-0.25017582	15	28	24.6	1.62	1.39	36.82	30.5	33.78	6.16	3904.761905	350.4464286	147.8527607	3.39256	6.28	2.06578
92	23	30	-0.25017582	45	22	24.28	1.76	1.48	48.68	31.3	40.88	6.14	4380.952381	383.9285714	148.4662577	3.270746667	5.32	2.02247
93	24	27	-0.337568129	15	26	29.4	1.27	1.2	39.15	34.13	36.87	6	4500	391.7410714	162.5766871	3.097946667	6.38	2.42674
94	24	27	-0.337568129	35	22	27.59	1.52	1.27	22.26	29.3	25.34	6.3	4738.095238	448.6607143	167.4846626	3.499146667	5.362	2.34
95	24	27	-0.337568129	40	33	23.46	1.61	1.44	28.42	26.18	27.41	6.17	4678.571429	362.7232143	178.5276074	3.12	5.1124	1.97788
96	24	27	-0.337568129	15	23	23.27	1.51	1.43	32.25	28.67	30.62	6.1	4291.666667	319.1964286	167.4846626	3.34688	4.88	2.0079
97	25	30	-0.173168912	40	27	30.71	1.27	1.13	44.13	37.4	41.12	6.11	3160.714286	397.3214286	157.6687117	2.239946667	6.52	1.80715
98	25	30	-0.173168912	30	32	17.68	2.3	1.87	18.38	19.63	18.94	6.8	4053.571429	417.4107143	168.0981595	4.793413333	3.72	2.05773
99	25	30	-0.173168912	40	25	23.33	1.71	1.43	28.64	29.27	28.92	6.21	3547.619048	321.4285714	134.9693252	6.651066667	5.36	2.0543
100	25	30	-0.173168912	30	24	31.55	1.29	1.9	48.76	41.4	45.46	6.35	3250	308.0357143	147.2392638	5.08272	2.24	1.82389
101	26	30	-0.111742996	35	28	25.9	1.34	1.27	28.76	32.55	30.46	6.6	3130.952381	362.7232143	123.3128834	3.544826667	5.206	2.02081
102	26	30	-0.111742996	40	20	20.54	1.73	1.55	33.43	26.9	30.14	5.98	2327.380952	386.1607143	101.2269939	3.788453333	4.88	2.01504
103	26	30	-0.111742996	35	22	24.61	1.46	1.35	26.63	26.15	26.41	6.21	4857.142857	520.0892857	147.8527607	3.499146667	6.298	2.19676
104	26	30	-0.111742996	35	22	29.15	1.22	1.17	31.83	36.16	33.77	5.74	3279.761905	393.9732143	114.7239264	3.80368	6.76	2.38646
105	27	30	-0.067764468	25	23	23.9	1.52	1.39	35.47	31.39	33.64	6.27	4738.095238	440.8482143	169.9386503	4.294186667	7.88	2.42683
106	27	30	-0.067764468	25	27	21.93	1.75	1.52	26.91	27.42	27.14	6.15	3071.428571	373.8839286	163.803681	3.920533333	6.76	1.97408
107	27	30	-0.067764468	35	20	20.84	1.87	1.59	18.79	23.73	21	6.24	4172.619048	464.2857143	148.4662577	3.773226667	4.0516	1.76856
108	27	30	-0.067764468	30	25	20.11	1.78	1.6	18.36	22.76	20.33	6.7	5125	428.5714286	206.5853659	3.25552	4.582	2.46806
109	28	35	-0.039255703	30	25	25.55	1.4	1.3	28.56	29.3	28.89	5.95	4976.190476	635.0446429	216.097561	2.539866667	6.829	2.41188
110	28	35	-0.039255703	35	26	26.88	1.48	1.29	40.03	33.31	37.06	6.17	4232.142857	445.3125	147.2392638	3.25552	3.92	2.09076
111	28	35	-0.039255703	35	35	22.5	1.83	1.5	29.68	28.82	29.3	6.1	3517.857143	429.6875	135.5828221	2.768266667	3.24	2.78
112	28	35	-0.039255703	30	25	29.8	1.2	1.12	45.26	39.84	42.86	5.99	5809.52381	554.6875	215.3658537	3.088026667	8.0554	2.02474
113	29	30	-0.111742996	23	27	17.37	1.81	1.74	25.99	22.83	24.58	6.11	2476.190476	333.7053571	119.0184049	3.377333333	3.26	2.98561
114	29	30	-0.111742996	25	24	20.41	1.65	1.53	29.66	27.25	28.58	6.6	2386.904762	434.1517857	139.8773006	3.742773333	9.238	1.93187
115	29	30	-0.111742996	40	23	17.88	1.77	1.7	27.3	21.92	24.74	5.95	2952.380952	406.25	129.4478528	3.96	6.28	2.07138
116	29	30	-0.111742996	30	25	20.21	1.62	1.53	26.15	26.21	26.17	6.7	3160.714286	511.1607143	177.3006135	2.89008	16.8161	2.12558
117	30	30	-0.111742996	20	21	23.54	1.5	1.39	33.01	31.2	32.2	6.8	5154.761905	617.1875	229.2682927	3.20984	8.82	1.82923
118	30	30	-0.111742996	30	20	22.16	1.59	1.48	36.71	31.1	34.16	5.9	4559.52381	385.0446429	193.8650307	3.57528	6.88	3.17665
119	30	30	-0.111742996	20	30	23.6	1.57	1.38	37.8	31.7	34.79	6.12	5184.52381	577.0089286	191.4110429	3.148933333	6.14	1.86026
120	30	30	-0.111742996	15	22	19.68	1.77	1.56	35.82	27.34	32.02	6.35	4470.238095	476.5625	207.3170732	2.829173333	15.486	1.73993
121	31	30	-0.111742996	20	24	14.86	2.22	1.88	13.41	17.63	15.3	6.27	5035.714286	566.9642857	224.8780488	3.331653333	16.1042	1.64454
122	31	30	-0.111742996	10	14	22.38	1.66	1.44	30.29	27.85	29.2	6.49	5988.095238	506.6964286	240.2439024	4.153893333	7.2	1.86472
123	31	33	-0.097270449	10	13	17.49	1.88	1.72	35.17	24.3	30.34	6.29	5928.571429	632.8125	276.097561	4.047306667	27.602	2.10448
124	31	30	-0.111742996	15	22	18.9	1.8	1.67	31.85	24.67	28.63	6.46	3934.52381	340.4017857	145.398773	2.920533333	22.8617	0.81935
125	32	25	-0.144094519	20	22	22.2	1.54	1.48	28.3	29.51	28.7	6.46	4619.047619	588.1696429	237.3170732	2.768266667	3.43	1.05511
126	32	33	-0.097270449	10	16	23.4	1.64	0.92	30.69	29.16	30.1	6.43	5809.52381	539.0625	272.4390244	3.742773333	5.1124	3.47222
127	32	33	-0.097270449	10	20	21.84	1.66	1.48	35.19	27.86	31.93	6.2	7148.809524	476.5625	240.9756098	3.773226667	18.8084	3.06544
128	32	33	-0.097270449	20	29	20.87	1.7	1.53	31.85	27.77	30.4	6.71	5184.52381	438.6160714	173.6196319	3.773226667	9.676	2.32273