

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Biologická fakulta



Bakalářská práce

**VÝZNAMNÉ FUNKČNÍ CHARAKTERISTIKY
LUČNÍCH ROSTLIN SDÍLEJÍCÍCH
STANOVIŠTĚ**

Tomáš Havlík

2007

Školitelka: RNDr. Marie Šmilauerová, PhD.

Havlík T. (2007): Významné funkční charakteristiky lučních rostlin sdílejících stanoviště. [Important functional traits of selected grassland plant species. Bc. Thesis, in Czech] - 42 pp., Faculty of Biological Sciences, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Annotation:

Important functional traits of six grassland plant species occurring on a traditionally managed meadow (Zvíkov, Czech Republic) were measured. Differences in traits of plants collected from two places of different soil properties were investigated.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze s použitím citované literatury.

V Českých Budějovicích dne 3.1. 2007

Tomáš Havlík

.....
Tomáš Havlík

„Nature is ancient but surprises us all.“

Björk

Věnováno mé milované babičce Marii Kovářové

Poděkování:

Rád bych na tomto místě poděkoval Majce za její odborné vedení, ochotu pomoci, za cenné rady a všechny předané zkušenosti, za její lidský a takřka rodičovský přístup. Děkuji Petrovi za konzultace statistických metod, opravy rukopisu a doporučenou literaturu. A konečně děkuji Majce a Petrovi za všechny rostliny, které mě naučili poznávat, za chvíle v terénu a za jejich nezaměnitelný humor.

Děkuji Blance Divišové za významnou pomoc s mykorhizami a předané zkušenosti.

Děkuji všem svým blízkým a přátelům za jejich pochopení a vytrvalou podporu při práci, zvláště pak děkuji T., A., A., A. a M. ♥

Děkuji svým rodičům za jejich podporu při studiu.

OBSAH

1. ÚVOD	1
1.1 Úvod do problematiky	1
1.2 Popis druhů	3
2. MATERIÁL A METODY	8
2.1 Popis lokality	8
2.2 Odběr rostlin	8
2.3 Funkční charakteristiky celé rostliny	9
2.3.1 Výška rostliny	9
2.4 Funkční charakteristiky listů	10
2.4.1 Specifická plocha listu	10
2.4.2 Listová plocha	10
2.4.3 Obsah sušiny listu	11
2.4.4 Koncentrace fosforu a obsah dusíku a uhlíku v listech	11
2.5 Funkční charakteristiky kořenů	12
2.5.1 Specifická délka kořenů	12
2.5.2 Průměr jemných kořenů	12
2.5.3 Strategie příjmu živin	13
2.6 Statistické zpracování dat	14
3. VÝSLEDKY	15
3.1 Funkční charakteristiky celé rostliny	15
3.1.1 Výška rostliny	15
3.2 Funkční charakteristiky listů	16
3.2.1 Specifická plocha listu	16
3.2.2 Listová plocha	17
3.2.3 Obsah sušiny listu	17
3.2.4 Koncentrace fosforu, obsah uhlíku a dusíku v listech	18
3.3 Funkční charakteristiky kořenů	21
3.3.1 Specifická délka kořenů a průměr jemných kořenů	21
3.3.2 Odhad procenta arbuskulární mykorhizní infekce	23
3.4 Korelace mezi funkčními charakteristikami	25
3.4.1 Korelace funkčních charakteristik obsah sušiny listu a specifická plocha listu	25
4. DISKUZE	27
5. ZÁVĚR	37
6. LITERATURA	38

1. Úvod

1.1 Úvod do problematiky

Třídění rostlinných druhů na základě jejich funkce ve společenstvu (na funkční typy) spíše než na základě taxonomie může přispět k řešení významných ekologických otázek na úrovni ekosystémů, krajin nebo biomů (Woodward & Diament 1991, Hobbs 1997, Westoby & Leishman 1997, Cornelissen *et al.* 2003, McGill *et al.* 2006). Mezi tyto stále aktuálnější otázky patří odpověď vegetace na změny prostředí - klimatu, chemismu atmosféry, využití krajiny a na přirozené disturbanční režimy. Další otázky se zabývají působením vegetace na tyto široce pojaté parametry prostředí (Weiher *et al.* 1999, Lavorel & Garnier 2002). Funkční typy rostlin jsou definovány jako skupiny druhů sdílejících podobnou úlohu (funkci) na organismální úrovni ekosystémů a biomů a vykazujících podobné odpovědi na faktory prostředí (Lavorel *et al.* 1997, Lavorel & Garnier 2002). Tyto podobnosti vyplývají z faktu, že takové skupiny rostlinných druhů mají tendenci sdílet podobný soubor významných funkčních charakteristik (Weiher *et al.* 1999, Lavorel & Garnier 2002). Proto při hledání funkčních typů rostlin hraje měření funkčních charakteristik rostlin klíčovou roli (Keddy 1992, Weiher *et al.* 1999).

Mnohé významné funkční charakteristiky rostlin, které se týkají centrálních funkcí rostlinného života, jako je např. fotosyntéza (bilance uhlíku), je složité a finančně, časově a materiálně náročné změřit na větším množství rostlinných druhů. Některé vyžadují časově náročné experimentální manipulace (měření relativní růstové rychlosti, kompetiční možnosti druhů). K získání souboru funkčních charakteristik většího množství druhů se tyto „složité“ funkční charakteristiky („hard traits“) nahrazují jim analogickými, jednodušeji a rychleji měřitelnými „snadnými“ funkčními charakteristikami („soft traits“). Složité funkční charakteristiky mohou být přesnějšími indikátory funkcí rostlin zodpovědnými za odezvy nebo efekty na úrovni ekosystémů a biomů, ale často jsou dobře korelovány se snadnými funkčními charakteristikami, které mohou být změřeny na velkém množství druhů v mnoha oblastech světa (Díaz *et al.* 1999, Hodgson *et al.* 1999, Weiher *et al.* 1999, Lavorel & Garnier 2002, Cornelissen *et al.* 2003). Například snadná funkční charakteristika specifická listová plocha je pozitivně korelována se složitou funkční

charakteristikou - relativní růstovou rychlostí (Garnier *et al.* 1997, Reich *et al.* 1992, Reich *et al.* 1998), a může tedy sloužit jako její snadno měřitelná náhrada.

Přítomnost druhů ve společenstvu je možné chápat jako výsledek působení abiotických (klíma, dostupnost živin, disturbance) a biotických faktorů (kompetice, predace, mutualismy), které vymezují, jaké druhy z regionálně dostupné nabídky mohou přežít na dané lokalitě (Lavorel & Garnier 2002). Z funkčních charakteristik rostlin lze usuzovat na kompetitivnost druhů (Grime 2001) a jejich funkci ve společenstvu (Weiher *et al.* 1999).

Na lokalitě Zvíkov byl v roce 2002 založen pokus, jehož cílem je pochopení kompetičních vztahů mezi funkčními typy rostlin - zde definovaných jako dvouděložné byliny a trávy - pomocí pozorování a vysvětlení reakce jednotlivých druhů na odstranění komplementární funkční skupiny. V deseti trvalých blocích, každém se čtyřmi čtverci o výměře 1 m², jsou prováděny tři druhy zásahů: odstranění dvouděložných rostlin nebo odstranění travin - obojí současně s odstraněním všech nemykorhizních druhů, kontrola s odstraněním nemykorhizních druhů a čtverec bez zásahu. Doposud se v pokuse každoročně odečítala pokryvnost druhů a byly sledovány změny v nadzemní biomase.

Podrobná znalost funkčních charakteristik druhů, které se ve studovaném společenstvu vyskytují, by měla výhledově přispět k vysvětlení často odlišných reakcí jejich populací.

Existuje mnoho kompromisů (trade-offs) a ekologicky dobře interpretovatelných korelací mezi jednotlivými funkčními charakteristikami rostlin, a tak můžeme i z malého počtu měřených funkčních charakteristik zjistit mnoho o funkčních vlastnostech druhů (Reich *et al.* 1997, Weiher *et al.* 1999).

Ve své práci jsem si vytyčil tyto cíle:

- zvládnout měření vybraných funkčních charakteristik na několika druzích rostlin lučního společenstva
- porovnat zjištěné hodnoty funkčních charakteristik rostlin rostoucích na lokalitě na dvou různých místech, která se liší půdními charakteristikami.

1.2 Popis druhů

Informace k popisu druhů jsem čerpal z následujících zdrojů: Grime *et al.* (1987), Dostál (1989), Slavík (1995, 2000), Kubát *et al.* (2002). V dostupné literatuře a v internetových databázích jsem vyhledal známé hodnoty funkčních charakteristik pro druhy, které jsem měřil v této práci, a uvádím je za popisem druhů s citacemi zdrojů.

Anthoxanthum odoratum L. (Poaceae)

Trsnatá tráva s početnými nekvetoucími růžicemi, s četnými přímými, (10)-20-50-(100) cm dlouhými hladkými stébly. Čepel listu přímá, 2-10-(30) cm dlouhá, 2-6 mm široká, jazýček až 4 mm, lysá až hustě chlupatá. Klas - lata, 2-8 cm dlouhá, hustá, stažená. Je to nejčasněji kvetoucí běžná tráva na pastvinách. Kvete od dubna do června (-července), semena uzrávají od června do srpna. Hojná na loukách, pastvinách, ve světlých lesích, na mezích. Preferuje vlhké, v létě vysychavé nevápenné, neutrální až kyselé, humózní, rašelinné i písčitohlinité půdy.

Známé hodnoty funkčních charakteristik *Anthoxanthum odoratum*

Listová plocha: 100 - 1000 mm² (Fitter & Peat 1994); 32,5 - 128,5 mm² (průměrně 70,55 mm²) (Knevel *et al.* 2003).

Specifická listová plocha (dále jen SLA): 27363 - 42803 mm²/g (průměrně 32555 mm²/g) (Knevel *et al.* 2003); Schippers & Olff (2000) udávají 17000 - 20000 mm²/g pro rostliny ze skleníkového pokusu.

Obsah sušiny listu (dále jen LDMC): 209,23 - 464,43 mg/g (průměrně 273,17 mg/g) (Knevel *et al.* 2003).

Obsah fosforu v listech (dále jen P): <1 mg/g (Fitter & Peat 1994).

Obsah dusíku v listech (dále jen N): 10 - 20 mg/g (Fitter & Peat 1994).

Specifická délka kořenů (dále jen SRL): Fransen *et al.* (1999) stanovili následující hodnoty ze 3 kořenů rostlin pěstovaných ve skleníkovém pokusu 208 ± 14 m/g - bez přidání živin, 244 ± 15 m/g - se živinami; Schippers & Olff (2000) udávají 231 - 246 m/g pro rostliny ze skleníkového pokusu.

Alopecurus pratensis L. (Poaceae)

Vytrvalá, krátce výběžkatá travina. Stéblo s květenstvím je 30-80(-120) cm vysoké, nevětvené, lysé. Kveté od dubna do června, semena dozrávají v červnu a červenci. Květenstvím je válcovitý hustý lichoklas. Listová čepel plochá, dlouhá 6-40 cm, 3-8(-20) mm široká, z obou stran lysá, drsná. Jazyček blanitý, 1-2,5 mm dlouhý. Listové pochvy jsou jemně rýhované, hladké a lysé. Vyskytuje se na vlhčích loukách, pastvinách, březích vod, na pustých místech. Preferuje půdy vlhké, propustné, živné, neutrálních až kyselé, humózních, písčité nebo hlinité, někdy zasolené. Jedná se o na jaře rychle rostoucí druh, po *Anthoxanthum odoratum* je to druhý nejčasněji kvetoucí z běžných druhů trav.

Známé hodnoty funkčních charakteristik *Alopecurus pratensis*

Listová plocha: 1000 - 10000 mm² (Fitter & Peat 1994); 309 - 571,5 mm² (průměrně 455,65 mm²) (Knevel *et al.* 2003).

SLA: 21883 mm²/g (Knevel *et al.* 2003).

LDMC: 424,4 - 491,7 mg/g (průměrně 455,9 mg/g) pro listy bez rehydratace (Knevel *et al.* 2003).

Avenula pubescens Dum. (Poaceae)

Vytrvalá, volně trsnatá travina, 30-70 cm vysoká, se vzpřímenými, hustě měkce chlupatými čepelemi 10-30 cm dlouhými, 2-6 mm širokými. Stéblo 30-110 cm vysoké, hladké. Pochvy uzavřené, krátce chlupaté, jazyček uťatý 0,5-1 mm dlouhý. Kveté od června do července. Dostí hojný druh rostoucí na loukách, křovinatých stráních, lesních světlinách. Půdy vlhké, v létě sušší, středně živné se zásaditou až kyselou reakcí, písčitohlinité.

Známé hodnoty funkčních charakteristik *Avenula pubescens*

Listová plocha: 1000 - 10000 mm² (Fitter & Peat 1994); 783 - 3056 mm² (Knevel *et al.* 2003).

SLA: 21808 mm²/mg (Knevel *et al.* 2003).

Plantago lanceolata L. (*Plantaginaceae*)

Vytrvalá trsnatá bylina s krátkým, často větveným oddenkem a zpravidla s několika přízemními růžicemi. Kořeny tenké, četné, nepřesahující 1 mm v průměru. Listy přízemní růžice vystoupavé až vzpřímené, čepel kopinatá, (2-)5-15(-30) cm dlouhá, 0,5-2,0(-4,5) cm široká, na vrcholu špičatá, celokrajná, někdy mělce zubatá, olýsalá až hustě chlupatá, do velikosti 6000 mm². Stvoly přímé, 3-7(-15) na jedné rostlině, až 30(-70) cm vysoké. Kvete od dubna do srpna, klasy jsou husté, válcovité, mnohdy až kulovité. Plodem tmavě hnědá 1-2 semenná tobolka. Tento druh je jeden z nejhojnějších v naší květeně. Roste v travnatých porostech, na loukách, mezích, pastvinách, výslunných stráních, trávnicích, ruderálních stanovištích, podél komunikací, v lomech, zahradách, parcích, na slaných půdách, jako polní plevel apod. Dává přednost vlhčím, hlubším, hlinitým až hlinitopísčitém půdám, ale najdeme jej i na mělkých, písčitých, kamenitohlinitých až šterkovitých půdách převážně zásadité reakce. Přestože mnoho kořenů je mělkých, některé kořeny hluboce a jsou zodpovědné za odolnost vůči suchu v suchých trávnicích a na severně orientovaných svazích.

Známé hodnoty funkčních charakteristik *Plantago lanceolata*

Listová plocha: 1000 - 10000 mm² (Fitter & Peat 1994); 780 - 3233 mm² (průměrně 1723 mm²) (Knevel *et al.* 2003).

SLA: průměrně 19173 mm²/g (Knevel *et al.* 2003); Schippers & Olf (2000) uvádějí v datech ze skleníkového pokusu rozmezí 13000 - 19000 mm²/g, vyšší hodnoty pro hnojené rostliny, do tohoto rozmezí spadají i data Heinemeyer & Fitter (2004) pro experiment při teplotě 20 °C; Janeček (nepublikovaná data) uvádí 13894 - 58092 mm²/g (průměrně 24785 mm²/g) pro rostliny z nekosené lokality a 13349 - 39283 mm²/g (průměrně 22255 mm²/g) pro rostliny kosené.

LDMC: 100,4 - 124,8 mg/g (průměrně 123,3 mg/g) (Knevel *et al.* 2003); Janeček (nepublikovaná data) udává pro nekosenou část louky 183,3 - 506,1 mg/g (průměrně 297,8 mg/g), v kosené části louky 153,6 - 341,7 mg/g (průměrně 231,1 mg/g).

P: <1 mg/g (Fitter & Peat 1994); 2,815 ± 0,427 mg/g (Šmilauerová & Šmilauer, nepublikovaná data).

N: 10 - 20 mg/g (Fitter & Peat 1994).

SRL: Schippers & Olf (2000) 73 - 114 m/g (vyšší hodnoty SRL při nízké hladině živin ve skleníkovém pokusu); Hodge (2003) 170 m/g v monokultuře a 162 m/g ve směsi s *Lolium perenne*; Heinemeyer & Fitter (2004) 90,8 m/g v experimentu při teplotě 20 °C.

Průměr jemných kořenů: 0,150 - 0,200 mm (Fitter & Peat 1994).

Veronica chamaedrys L. (Scrophulariaceae)

Vytrvalá bylina (10-)15-30(-40) cm vysoká, která má oblou plazivou lodyhu. Lodyha je přímá, jen na bázi vystoupává se dvěma řadami dlouhých odstálých chlupů, obvykle s ojedinelými chlupy i na ploše mezi nimi. Listy jsou tmavě zelené, obvykle menší než 500 mm², vstřícné, přisedlé nebo krátce řapíkaté s řapíkem dlouhým 1-3 mm, široce vejčité, často poloobjímavé, na líci roztroušeně dosti dlouze chlupaté, na rubu s delšími chlupy zejména na žilkách a při okraji. Kvete od dubna do července, květy jsou uspořádány v postranních hroznech. Plodem je v obrysu obsrdčitá tobolka, semena myrmekochorní. Oddenek je plazivý, horizontální, okrový až hnědý, s krátkými tenkými podzemními i nadzemními výběžky. Druh je mělce kořenící. V nízké vegetaci rostou stolony přitisklé k povrchu země a koření podél většiny své délky, ve vyšší vegetaci vykazuje vzpřímenější růstovou formu. Druh je velmi hojný na loukách, pastvinách, mezích, ve světlých listnatých i smíšených lesích. Roste na vlhkých až vysychavých, živinami bohatých, humózních, hlinitých, písčitých i štěrkovitých půdách s bazickou až mírně kyselou reakcí.

Znamé hodnoty funkčních charakteristik *Veronica chamaedrys*

Listová plocha: 100 - 1000 mm² (Fitter & Peat 1994); 50 - 699 mm² (průměrně 330,6 mm²) (Knevel *et al.* 2003).

SLA: 29044 mm²/g (Knevel *et al.* 2003).

LDMC: v rozmezí 185,2 - 274,8 mg/g (průměrně 227,9 mg/g) (Knevel *et al.* 2003).

P: 2 - 3 mg/g (Fitter & Peat 1994).

N: 20 - 30 mg/g (Fitter & Peat 1994).

Sanguisorba officinalis L. (Rosaceae)

Vytrvalá 30-120 cm vysoká, lysá bylina se zdřevnatělým monopodiálním oddenkem. Oddenek je horizontální, často velmi dlouhý, asi 1 cm tlustý, tmavě hnědé barvy s několika mm tlustými, svislými, tmavě hnědými kořeny, odumřelými bázemi řapíků a lodyh a s přízemní růžicí listů. Lodyha přímá, jemně rýhovaná až oblá, dutá, v horní části zpravidla větvená. Listy lichozpeřené, o 4 - 7 jařmech, nejhořejší lodyžní jen (1-)2-3jařmé, na líci tmavě zelené, na rubu sivozelené, s vyniklou síťovitou žilnatinou, přízemní s dlouhým řapíkem na bázi pochvovitě rozšířeným, lodyžní s 2 nesouměrnými palisty, lístky 10-60 mm dlouhé (u přízemních listů větší), obvykle kopinaté až vejčité, kratčeji řapíkaté. Květenství je hustý, od vrcholu rozkvétající klas, plodem češule, za zralosti suché, zdřevnatělé s 1 hnědou, hladkou nažkou. Tento světlomilný druh je hojný na svěžích a vlhkých loukách a pastvinách, ve vyšších polohách v travinných porostech, podél komunikací. Roste na půdách hlubokých, střídavě vlhkých, vlhkých nebo mírně kyselých, spíše chudších na dusík.

Znamé hodnoty funkčních charakteristik *Sanguisorba officinalis*

Listová plocha: 1000 - 10000 mm² (Fitter & Peat 1994).

SLA: 15584 mm²/g (Knevel *et al.* 2003); Janeček. (nepublikovaná data) udává pro rostliny hnojené rostoucí v přirozených podmínkách 23247 - 41637 mm²/g (průměrně 31135 mm²/g), v kosené části louky 20539 - 37727 mm²/g (průměrně 27880 mm²/g), v nekosené části louky 23135 - 35323 mm²/g (průměrně 27899 mm²/g).

LDMC: v hnojené části louky 190,89 - 372,75 mg/g (průměrně 318,5 mg/g), v kosené části louky 260,58 - 457,60 mg/g (průměrně 348,87 mg/g), v nekosené části louky 313,42 - 444,45 mg/g (průměrně 375,37 mg/g) (Janeček., nepublikovaná data).

N: 29,8 mg/g (Yuan *et al.* 2005)

P: <1 mg/g (Fitter & Peat 1994).

2. Materiál a metody

2.1 Popis lokality

Měření rostlin v terénu a jejich odběr pro pozdější měření v laboratoři byly prováděny na oligotrofní, tradičně obhospodařované louce v blízkosti obce Zvíkov (přibližně 10 km východně od Českých Budějovic, 48°59' severní šířky, 14°36' východní délky, 500 m n. m.). Louka je situována na mírném jihozápadním svahu, je jedenkrát ročně kosena, většinou v polovině června.

Podle Curyšsko-Monpelliérské klasifikace rostlinných společenstev odpovídá lokalita směsi typů společenstev zahrnující vlhkou mezotrofní louku (svaz *Alopecurion pratensis* PASSARGE), mezotrofní louku (svaz *Arrhenatherion* KOCH) a oligotrofní louku (svaz *Violion caninae* SCHWICKERATH) (Šmilauer & Šmilauerová 2000).

Horní a dolní část lokality se liší v půdních vlastnostech a ve složení vegetace (Lokvencová 2007). Ve své horní části je lokalita vlhčí (Haraštová 1999), má nižší pH (Lokvencová 2007) a hlubší půdní profil (Marie Šmilauerová, ústní sdělení). V obou částech lokality je výrazná dynamika obsahu živin v půdě. Uprostřed sezóny roku 2005 byla horní část louky více zásobena amonnými ionty a měla nižší obsah reaktivního fosforu než dolní část. Ke konci sezóny byl obsah amonných iontů mezi oběma částmi vyrovnaný, ale v horní části byl výrazně vyšší obsah fosforu (Lokvencová 2007) (viz Příloha I).

Nomenklatura druhů byla sjednocena dle Kubát *et al.* (2002).

Veškeré popisované metody vycházejí z kompilačního článku Cornelissen *et al.* (2003) a byly použity s úpravami nezbytnými pro dané druhy a daný biotop.

2.2 Odběr rostlin

Měřené rostliny jsem na lokalitě odebíral v měsících květen až říjen 2005, vždy v době plného květu. Odebíral jsem celé rostliny s kořenovým balem. Odběry byly většinou uskutečněny ve dvou fázích oddělených krátkými časovými intervaly. Polovinu

2. 4 Funkční charakteristiky listů

2. 4. 1 Specifická plocha listu

Specifická plocha listu (SLA, Specific leaf area) je plocha jedné strany čerstvého listu s řapíkem vydělená hmotností sušiny tohoto listu. Listy na měření specifické plochy listu jsem odebíral z 10 až 12 rostlin, které jsem z lokality přivezl i s kořenovým balem a uchovával v chladícím boxu (7 °C) v igelitovém sáčku, a zpracoval je do 48 hodin od odběru. Z každého jedince jsem ustříhl dva zdravé, dobře vyvinuté listy s řapíkem (pro dvouděložné druhy) nebo s jazýčkem (pro trávy). Upřednostňoval jsem listy z trsu či růžice před listy z kvetoucích lodyh, pokud splňovaly daná kritéria. Po odstřížení jsem listy umístil do zkumavky s vodou a do doby dalšího zpracování je uchovával ve tmě v chladícím boxu.

Listy jsem rozkládal na sklo nebo mezi dvě skla tak, aby byly maximálně rozvinuté a zároveň nepoškozeny (rozdrcením či roztrháním), a skenoval odrazovou metodou při rozlišení 300 dpi jako černobílou fotografii (8 bitové stupně šedi) na skeneru Epson Perfection™ 4990 Photo a uložil ve formátu JPEG. Naskenovaný obraz jsem v programu Adobe® Photoshop® Elements 2.0 (Adobe Systems Incorporated, San Jose, U.S.A.) převedl do černobílého (jednobitového) formátu. Plochu listu v centimetrech čtverečných jsem vypočítal vydělením počtu bodů černé barvy počtem bodů na jeden palec čtverečný, získanou hodnotu (plochu ve čtverečných palcích) jsem pak převedl na centimetry čtverečné.

Po skenování jsem listy (oba od daného jedince) sušil v papírových sáčcích při 80 °C po dobu 24 hodin a hmotnost jejich sušiny jsem určil s přesností na 0,0001 g. Sáčky se suchými listy jsem v době mezi usušením a vážením uchovával v exikátoru se silikagelem. Specifickou plochu listu jsem stanovil jako podíl plochy dvou listů z jedné rostliny (s řapíkem či jazýčkem) a hmotnosti jejich sušiny.

2. 4. 2 Listová plocha

Listová plocha (Leaf size, Individual leaf area) je plocha průmětu čerstvého listu, u složených listů plocha průmětu všech lístků bez vřetena. Ke stanovení listové plochy

jsem použil stejné dva listy jako ke stanovení specifické plochy listu (viz výše), ale v případě složených listů jsem z nich před skenováním oddělil vřeteno a použil samotné lístky. Listy jsem znovu naskenoval a odečetl jejich plochu stejným způsobem jako v případě specifické listové plochy (viz výše; pro zjištění suché hmotnosti listů k výpočtu SLA byly u listů složených sušeny lístky včetně odděleného vřetena). Protože jsem pracoval se dvěma listy najednou (nebo lístky ze dvou složených listů), průměrnou listovou plochu jednoho listu jsem vypočítal jako polovinu zjištěné hodnoty.

2. 4. 3 Obsah sušiny listu

Obsah sušiny listu (LDMC, Leaf dry matter content) je hmotnost suchého listu vydělená jeho čerstvou hmotností. Pro stanovení obsahu sušiny listu jsem použil stejné listy jako pro měření specifické plochy listu. Ihned po odstřížení listů z rostliny jsem listy opatrně vysušil filtračním papírem a zvážil s přesností na 0,0001 g. Jako hmotnost suchého listu jsem použil hodnoty zjištěné pro specifickou plochu listu (viz výše).

2. 4. 4 Koncentrace fosforu a obsah dusíku a uhlíku v listech

Pro stanovení celkové koncentrace fosforu (LPC, Leaf phosphorus concentration), obsahu dusíku (LNC, Leaf nitrogen content) a uhlíku (LCC, Leaf carbon content) v listech studovaných druhů byly odebrány (podle metodiky pro specifickou plochu listu) a usušeny listy ze stejných rostlin, které byly použity pro zjištění listové plochy a specifické listové plochy. Pokud navážka sušiny listů z jedné rostliny neodpovídala minimální potřebné navážce pro chemickou analýzu, byl vytvořen směsný vzorek z více rostlin ze stejné části lokality (u druhu *Anthoxanthum odoratum* byl vytvořen jen jeden směsný vzorek, který obsahoval biomasu z obou částí lokality). Po usušení byly vzorky nastříhány, namlety a předány laboratoři na chemickou analýzu (Botanický ústav AVČR, Průhonice). Koncentrace fosforu v sušině listů byla zjištěna fotometrickou metodou s použitím molybdenanu amonného a reakční směsi s kyselinou sírovou, kyselinou askorbovou a vinanem antimonylo-draselným. Procentuální obsah dusíku a uhlíku v sušině listů byl stanoven na CHN analyzátoru Carlo Erba NC 2500.

2.5 Funkční charakteristiky kořenů

U druhu *Sanguisorba officinalis* se mi nepodařilo provést měření funkčních charakteristik kořenů na rostlinách přivezených z terénu, protože nebyl ani při opakovaných odběrech nalezen dostatečný počet jemných kořenů požadovaných vlastností (přítomnost kořenové kůry, kořenové špičky a vlášení).

2.5.1 Specifická délka kořenů

Specifická délka kořenů (SRL, Specific root length) se počítá jako délka kořenů vydělená hmotností jejich sušiny. Délka kořenů je dle Cornelissen *et al.* (2003) uvažována jako délka absorpčních kořenů rostliny. Za absorpční kořeny jsou pro zjednodušení považovány jemné kořeny (s průměrem do 2 mm), které mají zachováno kořenové vlášení a kořenovou špičku.

Po důkladném vymytí kořenového balu rostliny jsem z něj vybral jemné kořeny. Ty jsem následně zkontroloval pod binokulární lupou při zvětšení 10x až 63x, zda jsou nepoškozeny, je na nich přítomna kořenová kůra, mají kořenové vlášení a kořenové špičky, a očistil jsem je od zbytků půdy. Vybíral jsem pokud možno laterální kořeny 1. řádu, které měly zachované kořenové špičky alespoň na některých laterálních kořenech vyššího řádu. Od každého jedince jsem se snažil najít 10 takových kořenů. Kořeny jsem potom rozložil na sklo a skenoval je černobíle průsvitovou metodou při rozlišení 600 dpi na skeneru Epson Perfection™ 4990 Photo a uložil ve formátu JPEG. Délku kořenů jsem vyhodnotil v programu WinRhizo™ (Régent Instruments, Inc., Quebec City, Quebec, Canada). Kořeny jsem poté přemístil do roztoku glutaraldehydu a skladoval v ledničce pro další měření. Vodou důkladně promyté kořeny jsem sušil 24 hodin při 80 °C a potom zvažil s přesností na 0,0001 g. Specifickou délku kořenů jsem spočítal jako délku kořenů vydělenou hmotností jejich sušiny.

2.5.2 Průměr jemných kořenů

Jemné kořeny jsou definovány jako kořeny s průměrem do 2 mm. Průměr kořene (Fine root diameter) se měří za prodlužovací zónou kořene mezi kořenovými vlásky.

K měření průměru jemných kořenů jsem použil stejné kořeny jako k měření specifické délky kořenů. Část laterálního kořene 1. řádu, popřípadě laterální kořen vyššího řádu s kořenovou špičkou jsem vyfotografoval digitálním fotoaparátem Olympus Camedia C5050 pod mikroskopem Olympus BX51 při desetinásobném zvětšení, a to při zaostření na rovinu ostrosti procházející středem kořene. Pomocí programu QuickPHOTO MICRO 2.1 (Promicra, Praha, ČR) jsem změřil na fotografii průměr kořene mezi kořenovými vlásky na pěti různých místech a pro každý kořen určil průměrnou hodnotu těchto pěti měření.

2. 5. 3 Strategie příjmu živin

Strategie příjmu živin (Nutrient uptake strategy) je vyjadřována přítomností a intenzitou kořenových symbióz. Mezi vybranými druhy nebyl žádný z čeledi bobovitých (*Fabaceae*), který by mohl mít symbiotické bakterie vázající dusík, ani žádný druh, u kterého by se v literatuře uváděla ektotrofní mykorrhiza. Harley & Harley (1987) všechny mnou studované druhy uvádějí jako arbuskulárně mykorrhizní. V kořenech studovaných druhů jsem proto zjišťoval intenzitu infekce arbuskulárními mykorrhizními houbami.

Barvení mykorrhizních hub bylo provedeno postupem podle Vierheiling *et al.* (2005). Vybrané opláchnuté kořeny jsem při pokojové teplotě inkuboval v 10 % KOH po dobu 16 hodin pro dvouděložné druhy a 6 hodin pro trávy. Po vyjmutí z KOH jsem kořeny důkladně propláchl na sítku pod tekoucí vodou a vložil na 1 - 2 minuty do 1 % HCl, bez proplachování přemístil do zkumavek a zalil barvicím roztokem (70 ml 85 % kyseliny mléčné + 5ml glycerolu + 5 ml destilované vody + na špičku nože chlorazol Black E). Zkumavky s kořeny v barvicím roztoku jsem poté inkuboval ve vodní lázni o teplotě 90 °C po dobu 60 minut. Kořeny jsem ze zkumavek slil přes sítko bez proplachování vodou a přemístil do lahvíček s projasňovacím roztokem (laktoglycerolem), ve kterém byly uchovávány v chladničce.

Obarvené kořeny jsem po projasnění přenesl na podložní sklo do kapky laktoglycerolu, překryl krycím sklem a zarámoval bezbarvým lakem na nehty. Kořeny na podložních sklech jsem prohlédl pod mikroskopem Olympus BX50 při zvětšení 40x až 400x a následně odhadl procento délky kořenů se strukturami arbuskulárních mykorrhizních hub (arbuskuly a vezikuly, případně na ně navazující hyfy) při zvětšení 100x. Délku

kořenů jsem odhadl jako počet zorných polí v okuláru (při jednotném zvětšení) a podle odhadnuté délky jsem potom přepočítal procento výskytu houbových útvarů na délku kořene.

2. 6 Statistické zpracování dat

Získaná data jsem vyhodnotil v programu STATISTICA 7.1 (StatSoft, Inc. 2005). Použil jsem analýzu variance, faktoriální model (*factorial ANOVA*). Předpokladem použití metody byla normalita dat a homogenita variancí testovaná Barlettovým testem. Faktory analýzy variance byly příslušnost k druhu a místo odběru na lokalitě (horní a dolní část lokality), případně rozdělení druhů do dvou skupin na trávy a dvouděložné byliny. Data nebyla transformována. Následně, pokud vyšel průkazný efekt druh, jsem použil Tukeyho metodu mnohonásobných porovnáání pro různý počet pozorování, abych zjistil, které druhy se od sebe liší. Číselně uvádím výsledky průkazné na hladině signifikance $\alpha < 0,1$.

Pro znázornění korelací mezi funkčními charakteristikami jsem použil metodu lineární regrese.

Ve statistických analýzách pro koncentraci fosforu a procentuální obsah uhlíku a dusíku v listech nefigurují data pro druh *Anthoxanthum odoratum*. Z důvodu malé navážky sušiny byl pro tento druh chemicky analyzován pouze jeden směsný vzorek obsahující listy rostlin z horní i dolní části lokality, který tudíž nemohl být použit ve faktoriální analýze variance s faktorem místo.

V analýzách funkčních charakteristik kořenů chybí data pro druh *Sanguisorba officinalis*.

Při popisu korelace funkčních charakteristik obsah sušiny listu a specifická plocha listu byl druh *Plantago lanceolata*, který měl nižší obsah sušiny listu než ostatní měřené druhy, analyzován zvlášť.

3. Výsledky

Průměrné hodnoty všech měřených funkčních charakteristik pro jednotlivé druhy shrnuje tabulka v Příloze II.

3.1 Funkční charakteristiky celé rostliny

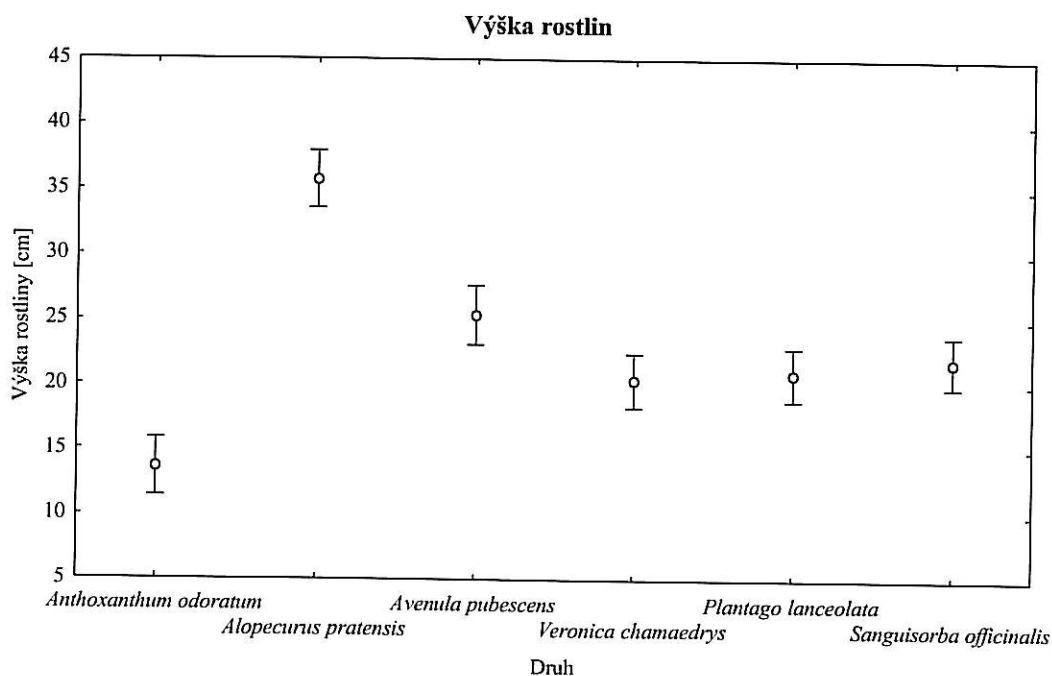
3.1.1 Výška rostliny

Efekt faktoru místo odběru na lokalitě (horní vs dolní část lokality) byl průkazný ($F_{1,193}=23,921$, $p<0,001$), vyšší byly rostliny odebrané z horní části lokality.

Druhy se od sebe průkazně lišily také svojí výškou ($F_{5,193}=43,402$, $p<0,001$). Z Obrázku 1 je patrné, že *Alopecurus pratensis* byl druhem nejvyšším a *Anthoxanthum odoratum* nejnižším.

Test pro interakci místa odběru na lokalitě a příslušnosti ke druhu byl neprůkazný ($F_{5,193}=1,44$, n.s.).

Model analýzy variance s faktory místo odběru na lokalitě a příslušnost druhů ke skupině trávy a dvouděložné byliny ukázala průkazný efekt faktoru skupina ($F_{1,201}=10,208$, $p=0,002$). Trávy vyšly jako skupina s větší výškou než dvouděložné byliny.



Obrázek 1: Průměrná výška rostlin studovaných druhů. Body znázorňují průměrnou hodnotu, svislé úsečky její 95% konfidenční interval.

3. 2 Funkční charakteristiky listů

3. 2. 1 Specifická plocha listu

Pro sledované druhy byl zjištěn na hladině signifikance $\alpha < 0,1$ průkazný rozdíl specifické plochy listu u rostlin odebraných ve dvou různých částech louky ($F_{1,56}=3,084$, $p=0,085$). Rostliny měly vyšší specifickou listovou plochu v horní části lokality.

Efekt druhu byl také průkazný ($F_{5,56}=44,170$, $p < 0,001$). Mnohonásobnými porovnáními se nepodařilo prokázat rozdíl v této funkční charakteristice pro určitý druh oproti jiným druhům ani vzhledem k místu na lokalitě. Je to zřejmě způsobeno malou silou těchto dílčích testů. Nejvyšší specifickou plochu listů měl druh *Anthoxanthum odoratum*, nejnižší druhy *Avenula pubescens* a *Sanguisorba officinalis* (viz Příloha II).

Test pro interakci faktorů místo odběru na lokalitě a příslušnost ke druhu byl neprůkazný ($F_{5,56}=1,080$, n.s.).

Efekt faktoru příslušnost ke skupině tráv nebo dvouděložné rostliny byl průkazný ($F_{1,64}=2,963$, $p=0,090$) a ukázal, že trávy měly vyšší specifickou listovou plochu než dvouděložné byliny.

3. 2. 2 Listová plocha

Efekt faktoru místo odběru na lokalitě byl neprůkazný ($F_{1,56}=2,863$, n.s.). Průkazný byl test pro efekt druhu ($F_{5,56}=44,128$, $p<0,001$).

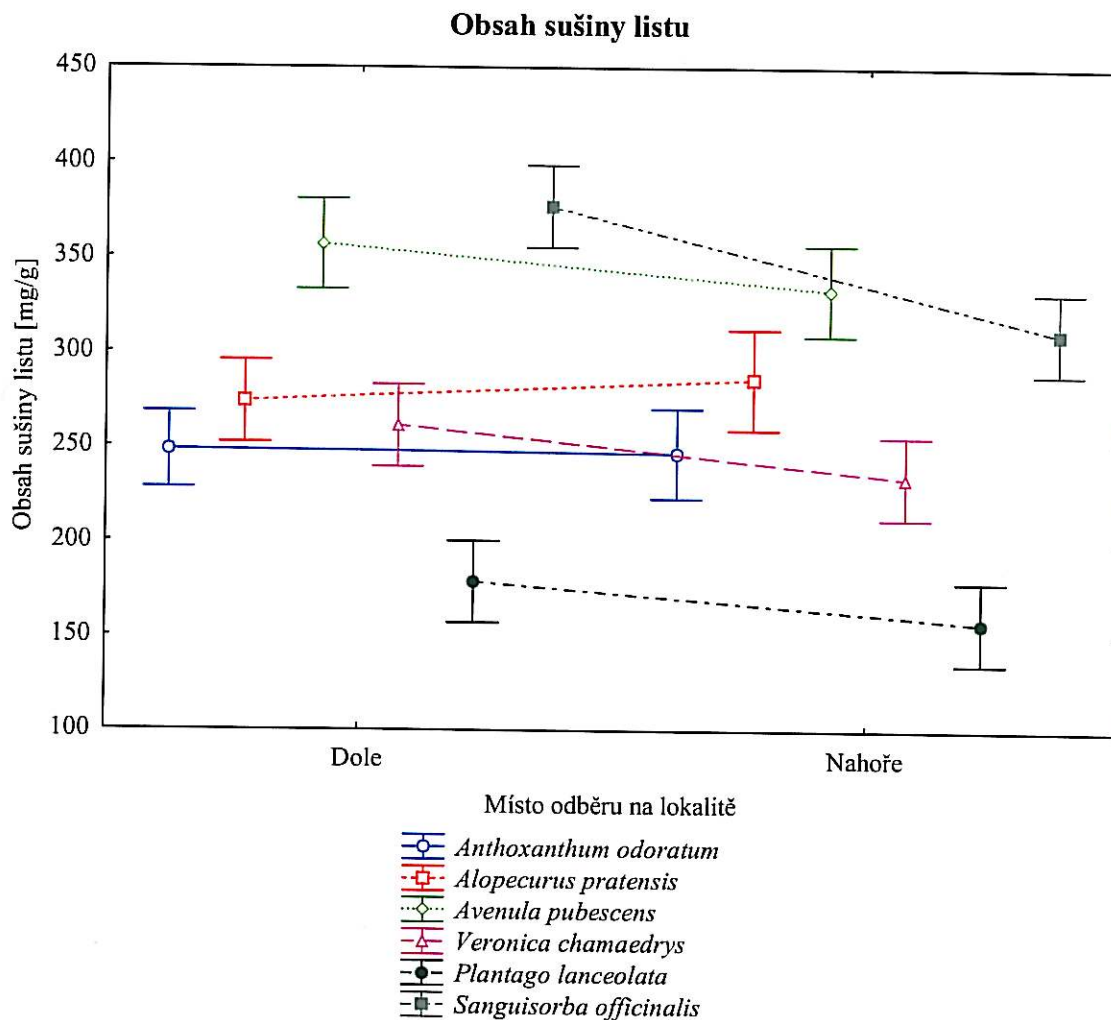
V testu interakce faktorů místo odběru a příslušnost ke druhu se nepodařilo prokázat rozdíl její průkazný vliv na listovou plochu ($F_{5,56}=0,672$, n.s.). Z mnohonásobných porovnáání vyplynulo, že druh *Sanguisorba officinalis* se průkazně lišil od všech ostatních druhů v obou částech lokality, ale jeho listová plocha se nelišila mezi těmito dvěma částmi. Druh *Sanguisorba officinalis* měl ze všech druhů nejvyšší listovou plochu a druh *Anthoxanthum odoratum* měl listovou plochu nejmenší (viz Příloha II).

3. 2. 3 Obsah sušiny listu

Pro efekt faktoru místo odběru na lokalitě vyšel test průkazně ($F_{1,56}=11,164$, $p=0,001$), rostliny měly vyšší obsah sušiny listu v dolní části lokality. Pro efekt faktoru druh byl test také průkazný ($F_{5,56}=73,658$, $p<0,001$). Nejvyšší obsah sušiny listu měly druhy *Avenula pubescens* a *Sanguisorba officinalis*, nejnižší druh *Plantago lanceolata* (viz Příloha II).

Výsledky testu interakce faktorů druh a místo odběru na lokalitě byly průkazné ($F_{5,56}=2,853$, $p=0,023$).

Z Obrázku 2 vyplývá, že rostliny měly buď vyšší obsah sušiny listu v dolní části lokality nebo byla hodnota v obou částech přibližně stejná. Z mnohonásobných porovnáání vyplynulo, že efekt faktoru místo byl průkazný pouze pro druh *Sanguisorba officinalis* ($p=0,003$). V živinově chudší části lokality měl tento druh vyšší obsah sušiny listu. Druhem, který se prokazatelně lišil od všech ostatních druhů na obou místech odběru, je *Plantago lanceolata*. Hodnoty obsahu sušiny listu tohoto druhu byly oproti ostatním druhům nižší (viz Obr. 2).



Obrázek 2: Výsledky faktoriální analýzy variance pro obsah sušiny listu v závislosti na místě odběru a příslušnosti ke druhu. Dole = dolní část louky, Nahoře = horní část louky. Body znázorňují průměrnou hodnotu jednotlivých druhů, úsečky spojují průměry téhož druhu, svislé úsečky vymezují její 95% konfidenční interval.

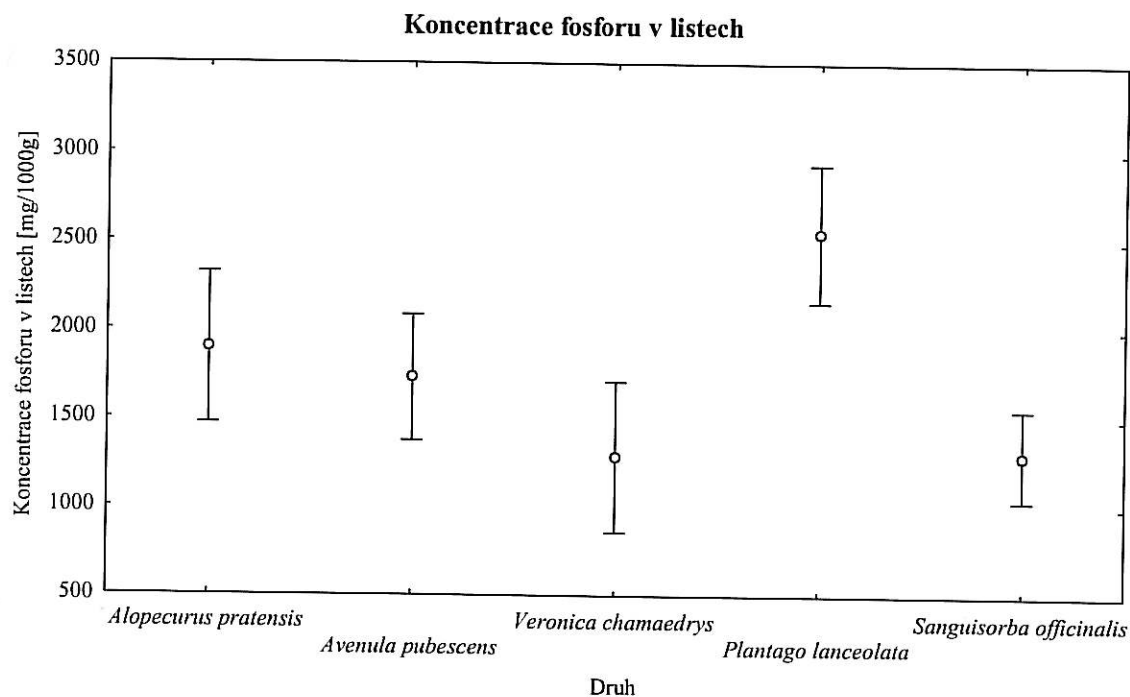
Efekt faktoru příslušnost ke skupině trávy nebo dvouděložné byliny vyšel průkazný ($F_{1,64}=4,622$, $p=0,036$). Trávy vyšly jako skupina s vyšším obsahem sušiny listu než dvouděložné byliny.

3. 2. 4 Koncentrace fosforu, obsah uhlíku a dusíku v listech

Rozdíl v koncentraci fosforu v listech v závislosti na místě odběru na lokalitě byl průkazný ($F_{1,21}=7,004$, $p=0,015$). V horní části louky byla koncentrace fosforu v listech odebraných rostlin vyšší. Také rozdíl koncentrací fosforu mezi druhy byl průkazný

($F_{4,21}=8,984$, $p=0,001$) (Obrázek 3). Z Tukeyho testu vyplynulo, že druh *Plantago lanceolata* se průkazně lišil od dalších dvou dvouděložných druhů vyšší koncentrací fosforu v listech (též Obr. 3).

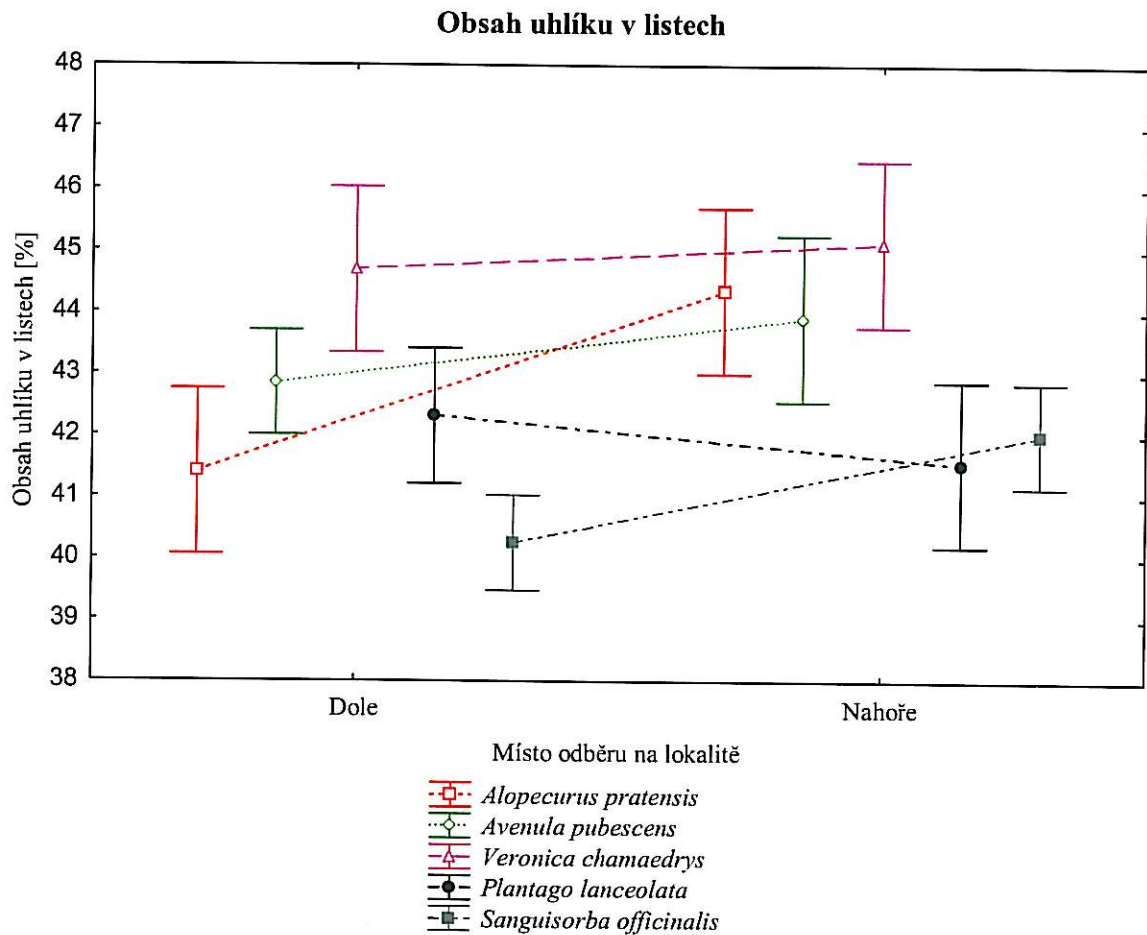
Interakce místa odběru na lokalitě a příslušnosti ke druhu nebyla na hladině významnosti $\alpha < 0,1$ pro koncentraci fosforu v listech průkazná ($F_{4,21}=1,972$, n.s.).



Obrázek 3: Průměrná koncentrace fosforu v listech rostlin studovaných druhů. Body znázorňují průměrnou hodnotu, svislé úsečky vymezují její 95% konfidenční interval.

Efekt faktoru místo odběru na lokalitě byl průkazný pro rozdíl v obsahu uhlíku v listech ($F_{1,21}=8,930$, $p=0,007$). Rostliny měly vyšší obsah uhlíku v horní části lokality. Efekt faktoru druh byl také průkazný ($F_{4,21}=14,970$, $p < 0,001$).

Interakce místa odběru a příslušnosti ke druhu vyšla průkazně ($F_{1,21}=2,750$, $p=0,055$). Jak je vidět z Obrázku 4, jednotlivé druhy měly v horní části obsah uhlíku v listech stejný nebo vyšší než v dolní části lokality.

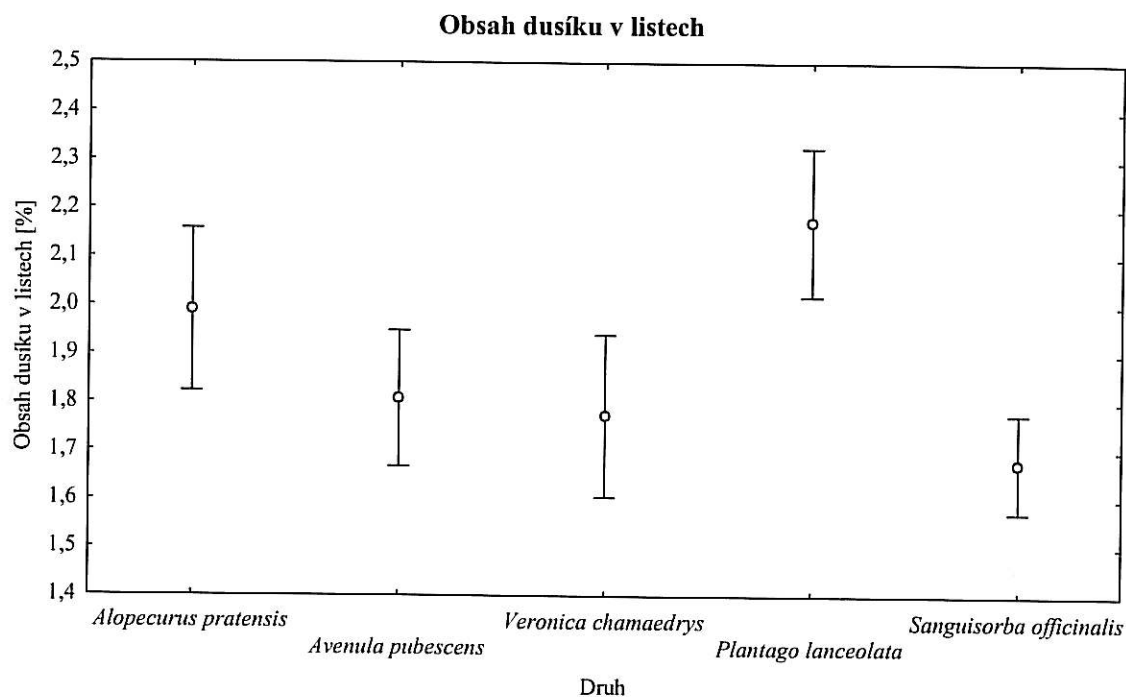


Obrázek 4: Výsledky faktoriální analýzy variance pro obsah uhlíku v listech v závislosti na interakci místa odběru a příslušnosti k druhu. Dole = dolní část louky, Nahoře = horní část louky. Body znázorňují průměrnou hodnotu jednotlivých druhů, úsečky spojují průměry téhož druhu, svislé úsečky vymezují její 95% konfidenční interval.

Pro obsah dusíku v listech byl test faktoru místo odběru průkazný ($F_{1,21}=21,02$, $p=0,001$). Rostliny rostoucí v horní části lokality měly vyšší obsah dusíku v listech.

Efekt faktoru druh byl také průkazný ($F_{4,21}=9,098$, $p<0,001$) (Obr. 5). Z mnohonásobných porovnání je zřejmé, že se průkazně lišil druh *Plantago lanceolata* od ostatních dvou dvouděložných druhů i od *Avenula pubescens* (též Obr. 5).

Nepodařilo se prokázat interakci efektů druhu a místa odběru na louce ($F_{4,21}=0,439$, n.s.).



Obrázek 5: Průměrný obsah dusíku v listech rostlin studovaných druhů. Body znázorňují průměrnou hodnotu, svislé úsečky vymezují její 95% konfidenční interval.

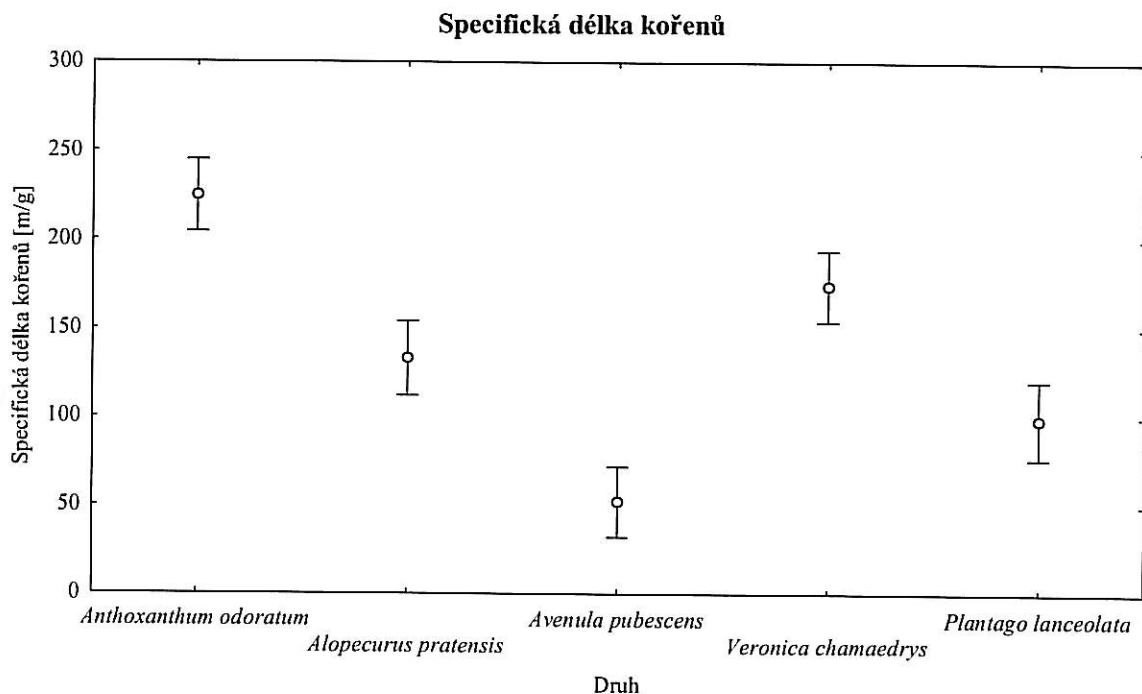
Efekty faktoru skupina (trávy vs dvouděložné byliny) byly pro koncentraci fosforu, obsah uhlíku a obsah dusíku v listech neprůkazné.

3.3 Funkční charakteristiky kořenů

3.3.1 Specifická délka kořenů a průměr jemných kořenů

Specifická délka kořenů se nelišila mezi místy odběru na lokalitě, vliv místa odběru byl neprůkazný ($F_{1,47}=0,267$, n.s.). Vysoce průkazný byl rozdíl v této funkční charakteristice mezi druhy ($F_{4,47}=43,871$, $p<0,001$) (Obr. 6). Tukeyho test ukázal, že se *Anthoxanthum odoratum* a *Veronica chamaedrys* v této funkční charakteristice liší od všech ostatních druhů. Nejvyšší specifickou délku kořenů měl druh *Anthoxanthum odoratum*, nejnižší specifickou délku kořenů druh *Avenula pubescens*.

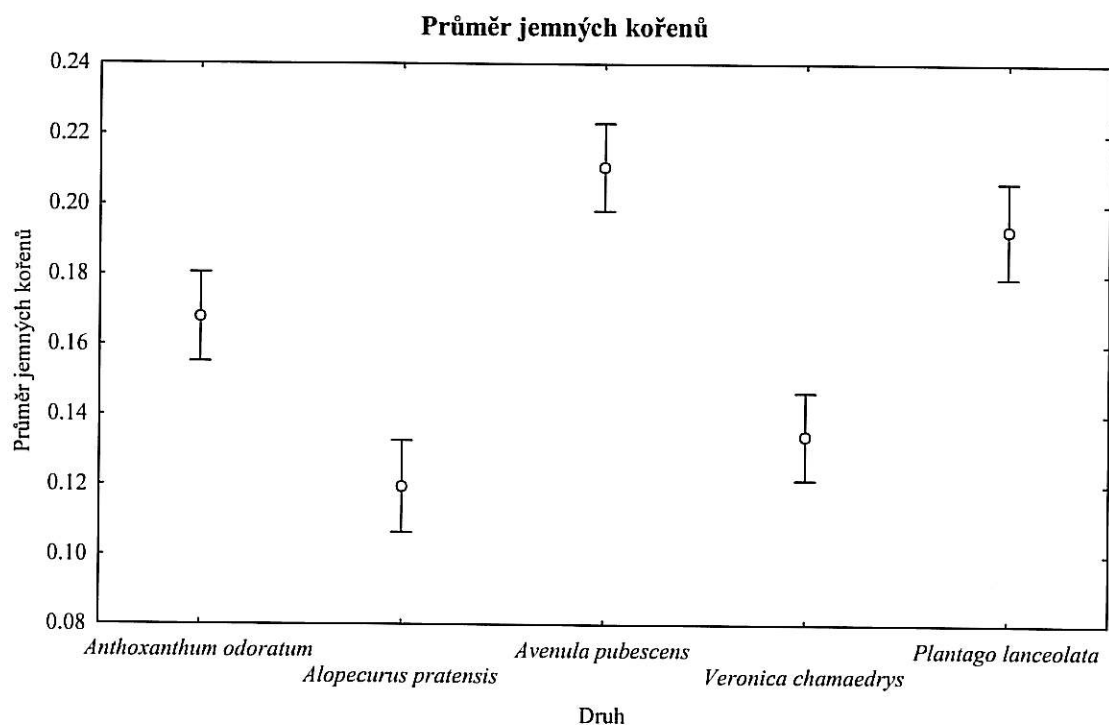
Interakci faktorů místo odběru na lokalitě (živinově chudší vs. živinově bohatší) a příslušnost ke druhu se nepodařilo prokázat ($F_{4,47}=0,376$, n.s.).



Obrázek 6: Průměrná specifická délka kořenů rostlin studovaných druhů. Body znázorňují průměrnou hodnotu, svislé úsečky vymezují její 95% konfidenční interval.

Pro průměr jemných kořenů vyšel efekt faktoru místo neprůkazně ($F_{1,47}=1,826$, n.s.) a pro faktor druh vysoce průkazně ($F_{4,47}=36,275$, $p<0,001$) (Obrázek 7). Test pro interakci místa odběru na lokalitě a příslušnost ke druhu byl neprůkazný ($F_{4,47}=0,697$, n.s.).

Efekty faktoru příslušnost ke skupině trávy a dvouděložné byliny byly pro funkční charakteristiky kořenů neprůkazné.



Obrázek 7: Průměrné hodnoty průměru jemných kořenů rostlin studovaných druhů. Body znázorňují průměrnou hodnotu, svislé úsečky vymezují její 95% konfidenční interval.

3. 3. 2 Odhad procenta arbuskulární mykorhizní infekce

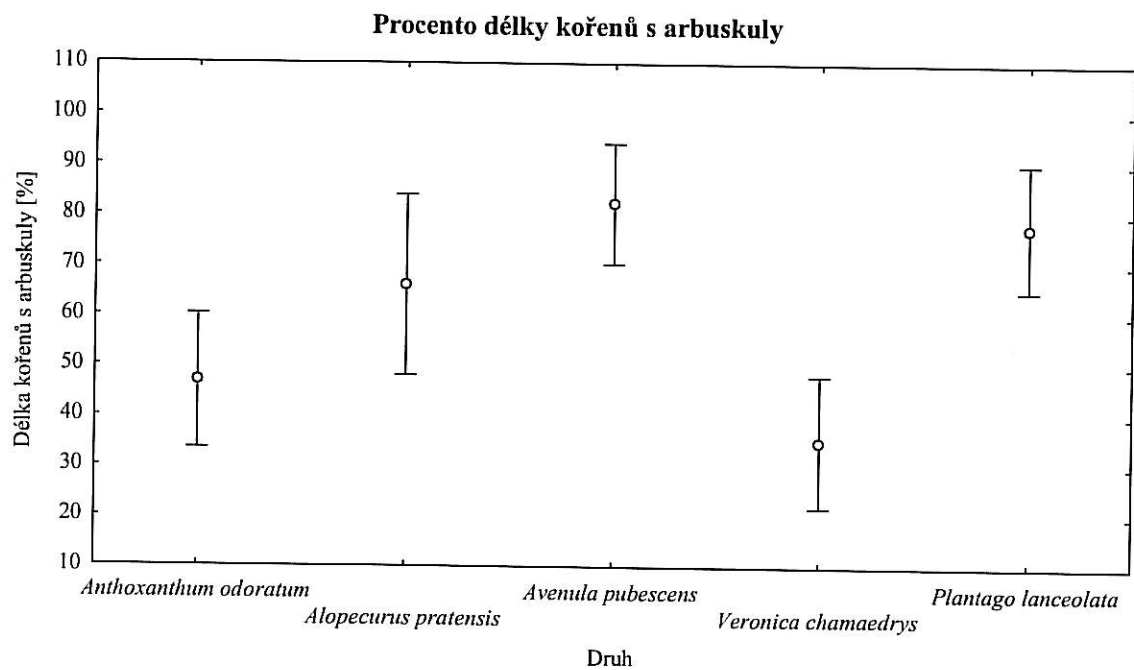
Závislost celkové arbuskulární mykorhizní infekce (v % délky kořenů) na místě odběru na lokalitě se nepodařilo prokázat ($F_{1,39}=1,031$, n.s.). Průkazný byl rozdíl mezi druhy ($F_{4,39}=14,586$, $p<0,001$).

Výsledek testu pro interakci místa odběru na lokalitě a příslušnosti ke druhu byl neprůkazný ($F_{4,39}=0,931$, n.s.).

Závislost procenta délky kořenů s výskytem arbuskulů na místě odběru se nepodařilo prokázat ($F_{1,39}=1,292$, n.s.). Test interakce efektů místo odběru a příslušnost ke druhu byl také neprůkazný ($F_{4,39}=0,863$, n.s.).

Průkazný byl efekt příslušnost ke druhu ($F_{4,39}=10,202$, $p<0,001$) (Obrázek 8). Z obrázku vyplývá, že nejvyšší míru arbuskulární mykorhizní infekce měly druhy *Plantago lanceolata* a *Avenula pubescens*. Nejnižší míru arbuskulární mykorhizní infekce měl druh *Veronica chamaedrys*.

Efekt faktoru místo odběru na lokalitě byl pro odhadnuté procento délky kořenů s vezikuly neprůkazný ($F_{1,39}=0,784$, n.s.) stejně jako efekt příslušnosti ke druhu ($F_{4,39}=2,388$, n.s.) i test interakce obou faktorů ($F_{4,39}=0,702$, n.s.).

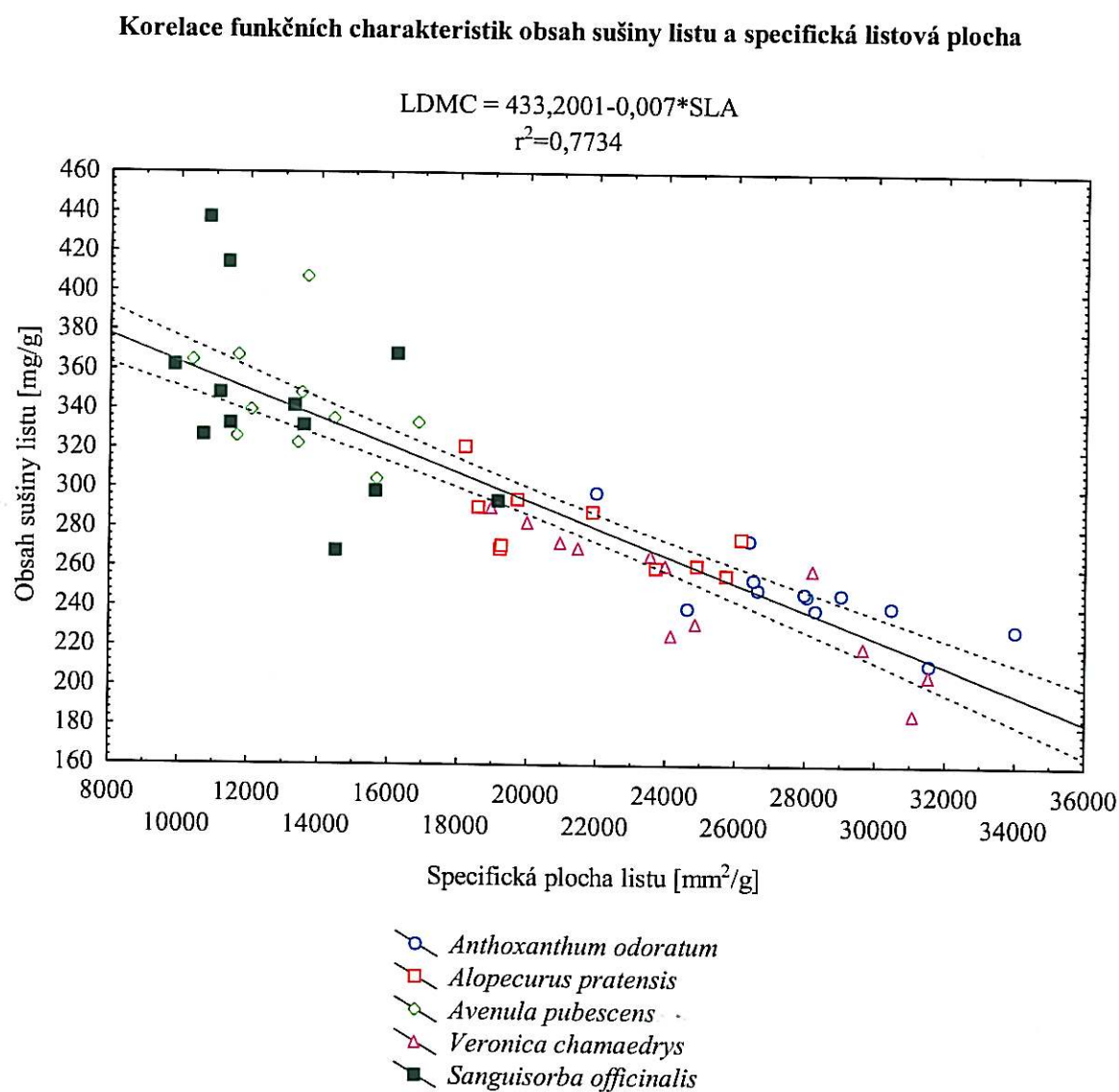


Obrázek 8: Průměrná délka kořenů s arbuskuly (v %) rostlin studovaných druhů. Body znázorňují průměrnou hodnotu, svislé úsečky vymezují její 95% konfidenční interval.

3. 4 Korelace mezi funkčními charakteristikami

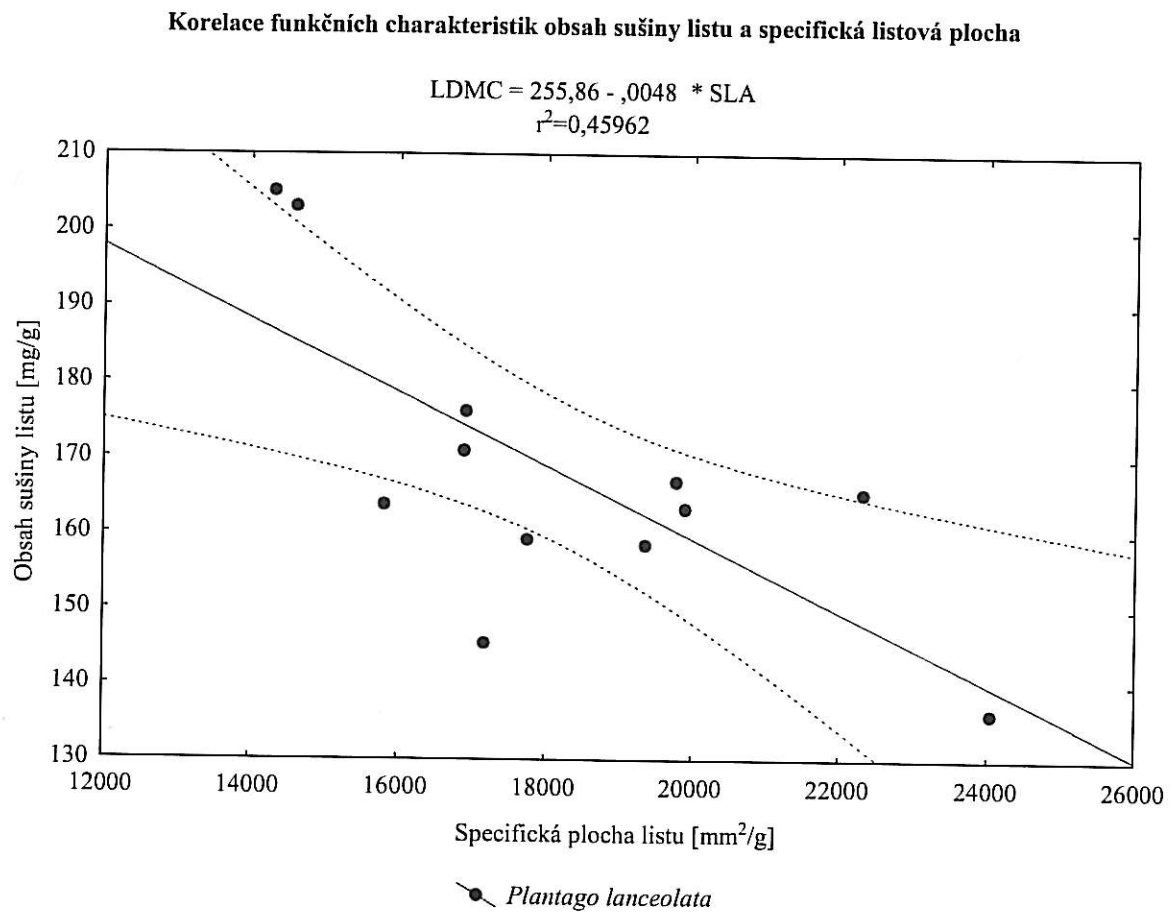
3. 4. 1 Korelace funkčních charakteristik obsah sušiny listu a specifická plocha listu

Obrázek 9 ukazuje výraznou negativní korelaci funkčních charakteristik specifická plocha listu a obsah sušiny listu pro jednotlivé druhy ($F_{1,54}=188,720$, $p<0,001$, $r^2=0,773$).



Obrázek 9: Lineární regrese pro negativní korelaci funkčních charakteristik specifická plocha listu a obsah sušiny listu. Body znázorňují hodnoty jednotlivých pozorování. Čárkované čáry vymezují 95% konfidenční interval.

Pro *Plantago lanceolata* byla analýza provedena samostatně (Obrázek 10) ($F_{1,11}=10,356$, $p=0,009$, $r^2=0,460$), protože hodnoty obsahu sušiny v listu u tohoto druhu jsou výrazně nižší než u všech ostatních druhů (viz kapitola 3. 2. 3).



Obrázek 10: Lineární regrese pro negativní korelaci funkčních charakteristik specifická plocha listu a obsah sušiny listu druhu *Plantago lanceolata*. Body znázorňují hodnoty jednotlivých pozorování. Čárkované čáry vymezují 95% konfidenční interval.

4. Diskuze

Při odběru rostlin k měření funkčních charakteristik jsem rostliny získával ze dvou různých míst na lokalitě, protože mne zajímalo, jak se funkční charakteristiky mění v závislosti na místě výskytu a zda je možné najít průkazné rozdíly mezi dvěma zvolenými místy. Předpokladem úspěchu při takovém porovnání dvou míst je jejich jistá kontrastnost. Z vegetačního složení (vizuální úsudek bez zaznamenání fytoocenologických snímků) a výsledků práce Haraštové (1999), která se na lokalitě zabývala gradienty prostředí, jsem usuzoval, že místa se mezi sebou liší v několika vlastnostech prostředí, především v hladině živin v půdě a z ní vyplývající míry kompetice. Právě na kompetitivnost druhů je často usuzováno z jejich funkčních charakteristik (např. Grime 2001, Cornelissen *et al.* 2003). Vegetace v horní části lokality je zapojenější, vyšší, převládá v ní druh *Alopecurus pratensis* (druh živinami dobře zásobených půd, např. Grime *et al.* 1987) a objevují se nitrofilní druhy, např. *Urtica dioica*, *Elytrigia repens*, *Cirsium arvense*, kdežto v dolní části lokality je vegetace nižší, méně zapojená a tato část je sušší. Společenstvo je zde druhově bohatší a objevují se druhy indikující chudé pastviny jako *Scorzonera humilis*, *Nardus stricta*, *Potentilla erecta*, *Viola canina*. Haraštová (1999) konstatuje, že lokalita je ovlivněna gradientem půdní vlhkosti, která klesá směrem od pole (v horní části lokality sousedí s polem a mírně se svažuje do údolí), a současně klesá množství minerálního dusíku v půdě. Opačný směr měl gradient množství dostupného fosforu v půdě. V horní části bylo dostupného fosforu méně. Tuto skutečnost ve své práci vysvětluje menší hloubkou půdního horizontu v dolní části a pravděpodobně podloží bohatým na fosfor. Jako důvod gradientu množství minerálního dusíku v půdě uvádí splach živin z přilehlého pole. Dále uvádí, že gradienty vlastností prostředí na Zvíkově jsou krátké, faktory jsou si rovnocennější (ve srovnání s lokalitou Ohrazení), mají různé směry a prolínají se. To vede k mozaikovitosti vegetace.

Ve stejném roce, ve kterém jsem rostliny odebíral (2005), probíhala na lokalitě bakalářská práce Martiny Lokvencové (Lokvencová 2007), zabývající se soužitím arbuskulárních mykorhizních hub s druhem *Plantago lanceolata*. Autorka mimo jiné ověřovala rozdíly v chemických vlastnostech půdy v horní a dolní části lokality (pH, C/N poměr, koncentrace amonných a dusičnanových iontů a reaktivního fosforu) a také rozdíly

ve složení vegetace těchto dvou částí. Z chemických analýz vyplynulo, že horní a dolní část lokality se průkazně liší v pH půdy (pH v horní části louky bylo 5,87, v dolní části 6,23) a v sezónní změně obsahu amonných iontů a reaktivního fosforu. Nevyšel průkazný rozdíl v obsahu živin mezi oběma částmi louky, pouze sezónní dynamika obsahu živin. Uprostřed vegetační sezóny (odběr v červenci 2005) byla horní část louky více zásobena amonnými ionty a obsah reaktivního fosforu v půdě byl nižší než v dolní části. Na konci sezóny (odběr v prosinci 2005) měly obě části přibližně stejný obsah amonných iontů (obsah amonných iontů v horní části klesl), ale v horní části byl výrazně vyšší obsah fosforu (viz Příloha I). Tyto výsledky neodpovídají úsudku o vyšším obsahu živin v půdě v horní části lokality (v důsledku splachu živin z pole), ale vypovídají o jejich výrazné sezónní dynamice. Výsledky mohou být částečně ovlivněny dobou odběru. První odběr byl proveden až na počátku července 2005 a už tedy nemusel postihnout krátkodobé obohacení louky živinami z pole, které je možné v určitých obdobích roku (po jarním tání, po aplikaci hnojiv na poli nebo po větších deštích), kdy v horní části louky krátkodobě výrazně vzroste koncentrace živin, která umožňuje výskyt na živiny náročnějších druhů. Jak ale zjistili Šmilauerová & Šmilauer (nepublikovaná data), netrvá efekt jednorázového dodání živin na koncentraci iontů v půdě déle než 14 dní u sloučenin dusíku a několik týdnů u fosforečnanů.

Pro vyvození podrobnějších závěrů o dynamice živin v půdě na lokalitě Zvíkov by byla potřebná studie zabývající se obsahem živin v půdě kontinuálně během roku nebo lépe během několika let.

Problém při snaze jednoznačně rozlišit místa odběru na horní a dolní část lokality činil přirozený výskyt druhů na lokalitě. Konkrétně druh *Anthoxanthum odoratum* je velmi hojný v dolní části lokality, ale v horní části se prakticky nevyskytuje. Důvodem může být, že je zcela vykompetován nebo vlastnosti prostředí neodpovídají jeho ekologickým nárokům. Proto rostliny klasifikované jako „horní“ byly odebírány co nejvýše ve svahu, i když to bylo níže, než u ostatních druhů.

Hodnoty funkčních charakteristik, které jsem naměřil (Příloha II), odpovídají hodnotám a rozsahům uváděným v literatuře a v internetových databázích (viz kapitola 1.2) s několika výjimkami. V následujícím textu porovnávám mnou změřené údaje s publikovanými.

U druhu *Anthoxanthum odoratum* Shippers & Olf (2000) u rostlin pěstovaných ve skleníkovém pokusu uvádějí nižší hodnoty specifické listové plochy, ale jimi zjištěná specifická délka kořenů odpovídá mnou naměřeným hodnotám. Hodnoty koncentrace fosforu a dusíku v biomase tohoto druhu vyšly vyšší než uvádí Ecoflora Database (Fitter & Peat 1994). Pro fosfor uvádí méně než 1 mg/g sušiny, ale z mých dat vyplývá hodnota 2,06 g/mg. U dusíku uvádí 10 - 20 mg/g, ale moje hodnota je 33,3 mg/g.

Pro druh *Alopecurus pratensis* jsou v databázi LEDA Traitbase (Knevel *et al.* 2003) uvedeny hodnoty obsahu sušiny listu, které jsou výrazně vyšší než mnou naměřené hodnoty. Tento rozdíl je zřejmě způsoben tím, že obsah sušiny listu byl měřen bez předchozí rehydratace. Je známo, že rehydratované listy mají nižší obsah sušiny listu (podíl suché a čerstvé hmotnosti listu) (Garnier *et al.* 2001), proto mnou zjištěné hodnoty (s rehydratací listů předcházející měření) jsou nižší.

V LEDA Traitbase (Knevel *et al.* 2003) je také uváděna vyšší průměrná hodnota specifické plochy listu druhu *Avenula pubescens* než průměr mnou naměřených hodnot.

Hodnoty specifické listové plochy *Plantago lanceolata* odpovídají vyhledaným hodnotám naměřeným v terénu, ale hodnoty získané ze skleníkových pokusů Heinemeyer & Fitter (2004) jsou nižší stejně jako u Schippers & Olf (2000), ačkoliv se přibližují mnou naměřeným hodnotám. Mnou získané hodnoty obsahu sušiny listu *Plantago lanceolata* jsou vyšší než uvádí LEDA Traitbase (Knevel *et al.* 2003) pro rehydratované listy, ale odpovídají rozsahu uváděnému Janečkem (nepublikovaná data) pro rostliny z kosené lokality. Pro nekosenou lokalitu uvádí Janeček (nepublikovaná data) vyšší obsah sušiny listu *Plantago lanceolata*.

Heinemeyer & Fitter (2004) uvádějí mírně nižší hodnoty specifické délky kořenů u rostlin z pokusu s arbuskulární mykorhizou a regulovanou teplotou. Hodge (2003) pro monokulturu *Plantago lanceolata* i směs s *Lolium perenne* ve skleníkovém pokusu uvádí výrazně vyšší hodnoty specifické délky kořenů. Mnou naměřené hodnoty průměru jemných kořenů se ale shodují s daty z Ecoflora Database (Fitter & Peat 1994). Stejně jako u *Anthoxanthum odoratum* je mnou zjištěná hodnota obsahu fosforu v listech vyšší než rozmezí, které uvádí Ecoflora Database (Fitter & Peat 1994). Mnou zjištěná hodnota se dobře shoduje s daty získanými pro tento druh na stejné lokalitě (Šmilauerová & Šmilauer, nepublikovaná data).

Zjištěná koncentrace fosforu v listech *Veronica chamaedrys* (1,25 mg/g) je nižší než rozmezí, které uvádí Fitter & Peat (1994) (2 - 3 mg/g). Pro koncentraci dusíku v listech se zjištěná hodnota (17,7 mg/g) přibližuje rozmezí uváděnému (Fitter and Peat 1994) (20 - 30 mg/g).

Naměřené hodnoty specifické listové plochy *Sanguisorba officinalis* jsou blízké hodnotám uváděným v LEDA Traitbase (Knevel *et al.* 2003), ale nižší než uvádí Janeček (nepublikovaná data). Naměřené hodnoty obsahu sušiny listu odpovídají hodnotám Janečka (nepublikovaná data), nejlépe se průměrné hodnoty shodují s daty z kosené louky. Yuan *et al.* (2005) uvádí vyšší průměrnou hodnotu obsahu dusíku v listech, ale data byla získána v hodně rozdílných podmínkách prostředí (čínská step).

U druhu *Sanguisorba officinalis* se mi nepodařilo z rostlin odebraných na lokalitě vypreparovat jemné kořeny podle metodiky pro měření funkčních charakteristik kořene. I přes snahu a opakování na mnoha jedincích se mi vždy povedlo získat maximálně tři velmi krátké absorpční kořínky z jedné rostliny, které navíc byly buď zcela bez kořenové kůry nebo se kořenová kůra v kusech odtrhávala. Získané kořeny nenesly vlášení, i když někdy měly kořenovou špičku. Nikdy jsem nezískal dostatečné množství kvalitních kořenů použitelných pro zjištění specifické délky kořenů. Proto jsem získané kořeny, na kterých zůstala alespoň částečně zachována kořenová kůra, použil pro zjištění míry arbuskulární mykorhizní infekce, ale ukázaly se příliš silné a jejich buněčné stěny se nerozpustily zcela v hydroxidu draselném, a tak se arbuskulární mykorhizní houby buď neobarvily, nebo byly špatně viditelné, případně viditelné jen v malých úsecích kořenů. Jemné kořeny tohoto druhu jsou asi citlivé na jakoukoli manipulaci a už při malém mechanickém porušení půdy se lehce odtrhnou. To jsem zaznamenal i u mladých rostlin pěstovaných ve směsi půdy a písku ve skleníku (nepublikovaný údaj). V přirozené zapojené vegetaci a v silně prokořeněné půdě je pak tato jejich vlastnost zřejmě ještě výraznější.

V horní části lokality je hlubší půdní profil a vyšší půdní vlhkost. To může vést k vyšší kompetici o světlo, rostliny mají vyšší vzrůst, který je pozitivně korelován s kompetitivní silou (např. Cornelissen *et al.* 2003, Knevel *et al.* 2005). Nejvyšším z měřených druhů byl druh *Alopecurus pratensis*, který dominuje v horní části louky, a nejnižším *Anthoxanthum odoratum*, který je hojný v dolní části lokality. Nízký vzrůst *Anthoxanthum odoratum* pravděpodobně ovlivňuje nižší kompetitivnost tohoto druhu.

Ta se možná odráží i v jeho časnější fenologii - jedná se o nejčasněji kvetoucí běžnou travinu (Grime *et al.* 1987).

Specifická plocha listu se u měřených druhů lišila v závislosti na místě odběru. Rostliny z horní části lokality měly vyšší specifickou listovou plochu. Vysoké hodnoty specifické listové plochy znamenají, že rostlina má ploché, tenké listy, které jsou více fotosynteticky účinné, a relativně málo investuje do listových obranných struktur. Nižší hodnoty specifické listové plochy odpovídají silnějším listům s delší životností (leaf lifespan) (Reich *et al.* 1992, Reich *et al.* 1997) a větším investicím do listových obranných struktur (Cornelissen *et al.* 2003) nebo listům s vyšší koncentrací sekundárních metabolitů a škrobu (Waring *et al.* 1985). Listy s nižší specifickou plochou listu jsou odolnější vůči herbivorii, patogenům a ostatním rizikům prostředí, která mohou ohrozit jejich životnost (Diemer *et al.* 1992, Reich *et al.* 1992). Je také známo, že druhy z živinami dobře zásobených stanovišť mají vyšší specifickou listovou plochu (Cornelissen *et al.* 2003). Citované vztahy mezi funkčními charakteristikami a funkčními charakteristikami a prostředím většinou pochází z prací, které se jimi zabývaly na širokém spektru druhů a škále regionální či globální, a tak není možné podobně přesvědčivé výsledky očekávat na škále několika druhů z jedné lokality (Keddy 1992). I přesto je srovnání uváděných vztahů mezi funkčními charakteristikami v malém měřítku zajímavé a některé rozdíly mezi dvěma porovnávanými stanovišti na lokalitě Zvíkov mohou být jimi dobře interpretovány.

Druhem s nejvyšší specifickou listovou plochou bylo *Anthoxanthum odoratum*. Tato travina je velmi časná (Grime *et al.* 1987) a využívá ke kvetení a produkci semen jarní období, kdy kompetice okolních druhů není ještě tak vysoká. Tento druh pravděpodobně využívá kombinace časného fenologického načasování a listů s vysokou specifickou listovou plochou, která zajišťuje vysokou fotosyntetickou účinnost (Westoby 1998). Časnější fenologie je spojena s potřebou rychlého jarního růstu, a tedy budováním listů konstrukčně „levnějších“, které však nemají takovou životnost jako listy s nižší specifickou plochou listu (Reich *et al.* 1992).

Trávy vyšly jako skupina, která má vyšší specifickou plochu listu než dvouděložné rostliny, ale tento výsledek byl na hranici průkaznosti ($F_{1,64}=2,963$, $p=0,090$). To by odpovídalo tvrzení Craine *et al.* (2001), že dvouděložné mají tužší a tlustší listy, což se částečně vyrovnává větší hustotou pletiv listů trav.

Plocha listů je významná pro energetickou bilanci rostlin a jejich hospodaření s vodou. Mezidruhová variabilita velikosti listů je spojena s odpovědí druhů na lokální podmínky (klíma, zeměpisná šířka, délka, ozáření, geologické podloží). Stresující faktory prostředí, jako např. nedostatek živin, vedou k relativně menším listům rostlin (Cornelissen *et al.* 2003). Očekával jsem pro měření stejných druhů na dvou místech na lokalitě, že rostliny budou mít menší listy v dolní části lokality, kde se musejí potýkat s více stresujícími faktory (především nižší půdní vlhkostí), ale výsledky analýz nebyly průkazné. Výsledky mohou být ovlivněny metodou měření převzatou z Cornelissen *et al.* (2003), kde je doporučeno měřit plochu pouze dvou náhodně vybraných listů z každého jedince, které mají být bez většího mechanického, herbivorního nebo patogenního poškození. Samotný výběr listů pro měření byl složitý, protože často byla většina starších listů nějakým způsobem poškozena, a proto mnohé měřené listy byly sice plně rozvinuté, ale mladé. Přesnější metoda měření celkové listové plochy celého jedince by mohla přinést zajímavější výsledky, ale vyvstal by problém s definicí a identifikací jedince u studovaných klonálních druhů.

Obsah sušiny listu je funkční charakteristika, která souvisí s průměrnou hustotou listových pletiv a je negativně korelována se specifickou listovou plochou (Wilson *et al.* 1999 i tato práce, viz kapitola 3.4) a pozitivně korelována s životností listu (tento vztah je ale slabší než vztah se specifickou listovou plochou, Cornelissen *et al.* 2003). Listy s vysokým obsahem sušiny listu jsou relativně tuhé a více odolné k fyzikálním vlivům (herbivorie, vlivy počasí). Druhy s nízkým obsahem sušiny listu jsou spojovány s produktivními, často hodně narušovanými stanovišti (Cornelissen *et al.* 2003).

Obsah sušiny listu se průkazně lišil mezi dvěma místy na lokalitě. V dolní části může být vyšší obsah sušiny listu měřených druhů způsoben nižší půdní vlhkostí a mírně nižší hladinou živin. Výsledkem spolupůsobení těchto stresů může být právě větší investice rostlin do strukturních částí listu, která zajišťuje jejich delší životnost a také odolnost k podmínkám prostředí (Cornelissen *et al.* 2003). Předpokládal jsem, že když mají rostliny vyšší obsah sušiny listu v dolní části lokality, a tudíž více investují do stavebních struktur listů (složených z uhlíkatých sloučenin), tak budou mít v této části i vyšší obsah uhlíku v listech. Bohužel se tento předpoklad nepotvrdil, obsah sušiny listu rostlin ze dvou míst na lokalitě (Obr. 2) má opačný trend než obsah uhlíku v listu (Obr. 4). Možným vysvětlením

může být menší schopnost rostlin ze sušší dolní části lokality saturovat listy vodou než rostlin z horní části a tím ovlivněné výsledky měření obsahu sušiny listu.

Trávy měly vyšší obsah sušiny listu než dvouděložné byliny. Tento výsledek může být způsoben tím, že listy travin mají vyšší hustotu pletiv (Craine *et al.* 2001).

Specifická délka kořenů je podzemní analogií specifické listové plochy. Popisuje množství absorpčních pletiv (resp. délku kořenů) na množství investované biomasy. Rostliny s vysokou specifickou délkou kořenů „umí“ vybudovat delší kořeny z dané jednotky biomasy a docílí toho tak, že jejich kořeny mají menší průměr nebo nižší hustotu pletiv (Cornelissen *et al.* 2003, Ryser 2006). Studie semenáčků pěstovaných ve skleníkových experimentech a malé množství studií z přirozených podmínek tvrdí, že druhy s vysokou specifickou délkou kořenů mají vyšší prodlužovací rychlost kořenů, vyšší hodnoty příjmu živin a vody, rychlejší obrat kořenové biomasy, vyšší hodnoty relativní růstové rychlosti semenáčků a menší pravděpodobnost soužití s mykorhizními houbami (Materechera *et al.* 1992, Cornelissen *et al.* 2003). Silnější kořeny mají větší penetrační sílu, lépe odolávají suchu a mají vyšší rychlost transportu vody uvnitř kořenů, ačkoliv znamenají pro rostlinu vyšší investice biomasy na jednotku délky (Cornelissen *et al.* 2003).

Závislost specifické délky kořenů na místě odběru na lokalitě se nepodařilo prokázat, stejně byla neprůkazná závislost průměru jemných kořenů na místě odběru. Tento výsledek může vypovídat o druhové specifitě této funkční charakteristiky, která nemusí být tolik ovlivněna vlastnostmi prostředí, ve kterém druh roste.

Ze studovaných druhů měl druh *Anthoxanthum odoratum* kořeny s nejvyšší specifickou délkou kořenů (viz Obr. 4), ale přesto neměl jemné kořeny s nejmenším průměrem (viz Obr. 5). V případě *Anthoxanthum odoratum* můžeme tedy očekávat alespoň částečnou změnu hustoty pletiv, i když nebyla přímo měřena.

Druh *Avenula pubescens* měl z měřených druhů kořeny s nejnižší hodnotou specifické délky a zároveň také největší průměr jemných kořenů. V tomto případě výsledek měření odpovídá předpokladu, že kořeny s vyšším průměrem mají nižší specifickou délku kořenů (Ryser 2006).

Chemické analýzy sušiny listů byly provedeny na různých počtech opakování pro každý druh a různých počtech vzorků pro horní a dolní část lokality. Důvodem byla malá navážka některých vzorků, proto byl někdy z více vzorků vytvořen vzorek směsný. Toto snížení počtu opakování mohlo negativně ovlivnit sílu statistických analýz.

Rostliny měly vyšší koncentraci fosforu v listech v horní části lokality, ale rozdíl v obsahu živin v půdě mezi horní a dolní částí louky se nepodařilo prokázat (viz Lokvencová 2007). Nejvyšší koncentraci fosforu v listech měl druh *Plantago lanceolata* (Obr. 3). Je to zároveň druh, který měl nejvyšší procento kořenů s arbuskulární mykorhizní infekcí (Obr. 8), která slouží k výměně látek, především fosforu, mezi rostlinou a houbou (např. Smith & Read 1997, Gryndler *et al.* 2004). Vztah mezi arbuskulární mykorhizní infekcí a obsahem fosforu v listech *Plantago lanceolata* se projevil i v pokuse provedeném na lokalitě Zvíkov, ve kterém byla v zásahových plochách potlačena arbuskulární mykorhizní symbióza aplikací fungicidu bavistin. V plochách s aplikací fungicidu bavistin byl obsah fosforu v listech průměrně 1,634 mg/g, v kontrolních plochách bez potlačení arbuskulární mykorhizní symbiózy byl obsah fosforu v listech *Plantago lanceolata* vyšší, průměrně 2,815 mg/g (Šmilauerová & Šmilauer, nepublikovaná data).

Další dva dvouděložné druhy *Veronica chamaedrys* a *Sanguisorba officinalis* měly oba přibližně stejnou koncentraci fosforu v listech (prokazatelně nižší než *Plantago lanceolata*), druh *Veronica chamaedrys* měl zároveň nejnižší míru arbuskulární mykorhizní infekce (Obr. 8). Míru arbuskulární mykorhizní infekce druhu *Sanguisorba officinalis* se mi nepodařilo zjistit (viz výše).

Druh *Sanguisorba officinalis*, u kterého jsem zjistil nejnižší specifickou plochu listu (viz Příloha II), která indikuje delší životnost listů (Reich *et al.* 1992, Reich *et al.* 1997), měl i nejnižší obsahy dusíku a fosforu v listech (viz Obr. 3 a 4). Obsahy těchto dvou prvků v listech jsou spolu pozitivně korelovány (Wright *et al.* 2005). Nejvyšší obsah dusíku a fosforu v listech měl druh *Plantago lanceolata*. Ačkoliv Wright *et al.* (2005) vycházeli při závěrech o korelacích obsahu dusíku a fosforu ze statistických analýz na obrovském množství druhů z celého světa je možno určitý vztah mezi obsahem těchto dvou prvků v listech objevit i na malé škále druhů.

Druh *Veronica chamaedrys* je dvouděložná rostlina, který má obvykle vysokou míru arbuskulární mykorhizní infekce kořenů (Petr Šmilauer – ústní sdělení). V mých vzorcích tohoto druhu převládaly tlustější kořeny s jemnými laterálními kořeny. Tlustější kořeny nebyly skoro vůbec kolonizovány arbuskulárními mykorhizními houbami, zatímco jejich jemné laterální kořeny byly kolonizovány většinou silně. V některých vzorcích bylo těchto tlustějších kořenů více. Započítání délky všech pozorovaných kořenů do výpočtu celkové procentuální arbuskulární mykorhizní infekce mohlo způsobit, že druh *Veronica*

chamaedrys měl nižší hodnotu celkové délky kořenů s arbuskulární mykorhizou než ostatní druhy.

Podobný problém se vyskytl u druhů *Alopecurus pratensis* a *Anthoxanthum odoratum*. Trávy mají jemnější kořeny než dvouděložné rostliny a jejich barvení poměrně drastickou metodou je hodně poškozují. Po vytvoření roztlakových preparátů se některé kořeny roztrhaly na malé úseky a kořenová kůra se mnohdy zcela oddělila od středního válce kořene. To znemožnilo přesně kvantifikovat míru arbuskulární mykorhizní infekce v některých úsecích kořenů. Úseky, u kterých zůstala kořenová kůra dobře zachována, pocházely většinou z tlustších kořenů, kde byla intenzita arbuskulární mykorhizní infekce nižší (někdy nulová). Délka úseků, u kterých nebylo možné kvantifikovat míru arbuskulární mykorhizní infekce, nebyla do celkové délky pozorovaných kořenů započítána.

Doba inkubace kořenů dvouděložných rostlin v hydroxidu draselném, který rozpustí obsah buněk, jejich stěny a pigmenty, byla delší než u trav. U *Sanguisorba officinalis* se mi podařilo získat jen málo poměrně tlustých kořenů s odtrhávající se kořenovou kůrou. Při použití standardní inkubační doby (vhodné pro *Plantago lanceolata* a další dvouděložné rostliny) pro kořeny *Sanguisorba officinalis* se buněčné stěny jejich kořenové kůry nepodařilo zcela rozpustit, a tudíž se nepodařilo obarvit arbuskulární mykorhizní houby nebo se obarvily jen na malých částech vzorků. Pro malý počet opakování a velmi malou úspěšnost metody barvení arbuskulárních mykorhizních hub byl druh *Sanguisorba officinalis* ze statistických analýz týkajících se arbuskulárních mykorhiz vyloučen.

Největší míru arbuskulární mykorhizní infekce měl druh *Plantago lanceolata*. Jedná se o druh tradičně využívaný jako modelový k pokusům s arbuskulárními mykorhizami, protože ochotně tvoří arbuskulární mykorhizu s mnoha druhy arbuskulárních mykorhizních hub (Rouhier 1998, Heinemeyer & Fitter 2004, Ayres *et al.* 2006). Moje výsledky potvrzují jeho značný symbiotický potenciál. Odhadnuté procento vezikul na délku kořene bylo u všech druhů poměrně nízké, ve shodě s údaji v Linfei *et al.* (2005). Činilo 0 - 5 % délky kořenů u *Anthoxanthum odoratum*, *Alopecurus pratensis* a *Veronica chamaedrys*, 5 - 10 % u *Avenula pubescens* a kolem 15 % u *Plantago lanceolata* (nejvyšší hodnota 57,3 %). U mnoha jedinců byla tato hodnota nulová.

Rostliny byly pro měření funkčních charakteristik odebírány v době květu, tedy v době intenzivní potřeby živin. K jejich získávání od arbuskulárních mykorhizních hub slouží arbuskuly, houbové struktury specializované k výměně živin mezi rostlinou a arbuskulární mykorhizní houbou. Vezikuly jsou naopak struktury houby určené k ukládání zásobních látek v podobě olejových krůpějí (Smith & Read 1997, Gryndler *et al.* 2004) a pravděpodobně se více vytvářejí v části sezóny pro hostitelskou rostlinu méně energeticky vypjaté. Výskyt struktur arbuskulárních mykorhizních hub v kořenech rostlin závisí na čase odběru v průběhu sezóny (Titus & Lepš 2000, Lingfei *et al.* 2005). Lingfei *et al.* (2005) dále uvádí, že maxima a minima kolonizace kořenů hyfami a arbuskuly nastávají v průběhu sezóny v různých měsících pro různé druhy a že výskyt vezikul byl vždy nízký u všech druhů v porovnání s kolonizací kořenů arbuskuly a hyfami a také vykazoval průkazné rozdíly v zastoupení v kořenech během sezóny.

5. Závěr

Měření vybraných funkčních charakteristik celé rostliny a funkčních charakteristik listů a kořenů šesti druhů rostlin lučního společenstva ukázalo rozdíly v některých funkčních charakteristikách jak mezi jednotlivými druhy, funkčními skupinami (trávy a dvouděložné byliny), tak mezi dvěma místy na lokalitě lišícími se půdními charakteristikami.

Průkazně se mezi dvěma místy odběru na lokalitě lišily funkční charakteristiky výška rostliny, specifická plocha listu, obsah sušiny listu, a obsahy fosforu, uhlíku a dusíku v listech.

Většina měřených funkčních charakteristik (kromě listové plochy a procenta délky kořenů s výskytem vezikulů) se průkazně lišila mezi druhy.

Rozdíly mezi funkčními skupinami trávy a dvouděložné byliny vyšly průkazně u výšky rostliny, specifické listové plochy a obsahu sušiny listu. Trávy měly vždy vyšší průměrné hodnoty těchto funkčních charakteristik.

Moje měření potvrdila negativní korelaci mezi specifickou plochou listu a jeho obsahem sušiny.

6. Literatura

- Ayres RL, Gange AC, Aplin DM. 2006. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and intraspecific competition affect size, and size inequality, of *Plantago lanceolata* L. *Journal of Ecology* **94**: 285-294.
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Diaz S, Buchmann N, Gurvich DE, Reich PB, ter Steege H, Morgan HD, van der Heijden MGA, Pausas JG, Poorter H. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* **51**: 335-380.
- Craine JM, Froehle J, Tilman DG, Wedin DA, Chapin FS. 2001. The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients. *Oikos* **93**: 274-285.
- Díaz S, Cabido M, Zak M, Martínez CE, Aranibar J. 1999. Plant functional traits, ecosystem structure and land-use history along a climatic gradient in central-western Argentina. *Journal of Vegetation Science* **10**: 651-660.
- Diemer M, Körner Ch, Prock S. 1992. Leaf life spans in wild perennial herbaceous plants: a survey and attempts at a functional interpretation. *Oecologia* **89**: 10-16.
- Dostál J. 1989. *Nová květena ČSSR*. 2. díl. Praha, ČR: Academia.
- Fitter AH, Peat HJ. 1994. The ecological flora database. *Journal of Ecology* **82**: 412-425. Dostupné na: <http://www.york.ac.uk/res/ecoflora/cfm/ecofl/index.cfm>, ke dni 29. 11. 2006.
- Fransen B, Blijenberg J, de Kroon H. 1999. Root morphological and physiological plasticity of perennial grass species and the exploitation of spatial and temporal heterogeneous nutrient patches. *Plant and Soil* **211**: 179-189.
- Garnier E, Cordonnier P, Guillerm JL, Sonié L. 1997. Specific leaf area and leaf nitrogen concentration in annual and perennial grass species growing in mediterranean old-fields. *Oecologia* **111**: 490-498.
- Garnier E, Shipley B, Roumet C, Laurent G. 2001. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology* **15**: 688-695.

- Grime JP. 2001.** *Plant strategies, vegetation processes and ecosystem properties*. Second edition. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Grime JP, Hodgson JG, Hunt R. 1987.** *Comparative Plant Ecology: A Functional Approach to Common British Species*. London, UK: Unwin Hyman.
- Gryndler M, Baláž M, Hršelová H, Jansa J, Vosátka M. 2004.** *Mykorhizní symbióza. O soužití hub s kořeny rostlin*. Praha, ČR: Academia.
- Haraštová M. 1999.** *Odras gradientů prostředí ve vegetaci, měřítko a prostorové uspořádání*. Magisterská diplomová práce, Jihočeská univerzita, České Budějovice, ČR.
- Harley JL, Harley EL. 1987.** A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytologist* **105**: 1-102.
- Heinemeyer A, Fitter AH. 2004.** Impact of temperature on the arbuscular mycorrhizal (AM) symbiosis: growth responses of the host plant and its AM fungal partner. *Journal of Experimental Botany* **55**: 525-534.
- Hobbs RJ. 1997.** Can we use plant functional types to describe and predict responses to environmental change? In: Smith TM, Shugart HH, Woodward FI, eds. *Plant functional types: their relevance to ecosystem properties and global change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 66-90.
- Hodge A. 2003.** Plant nitrogen capture from organic matter as affected by spatial dispersion, interspecific competition and mycorrhizal colonization. *New Phytologist* **157**: 303-314.
- Hodgson JG, Wilson PJ, Hunt R, Grime JP, Thompson K. 1999.** Allocating C-S-R plant functional types: a soft approach to a hard problem. *Oikos* **85**: 282-294.
- Keddy PA. 1992.** A pragmatic approach to functional ecology. *Functional Ecology* **6**: 621-626.
- Keddy PA. 1992.** Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science* **3**: 157-164.
- Knevel IC, Bekker RM, Kunzmann D, Stadler M, Thompson K, eds. 2005.** *The LEDA Traitbase, Collecting and Measuring Standards of Life-history Traits of Northwest European Flora*. University of Groningen, The Netherlands: Scholma Druk B.V.
- Knevel IC, Bekker RM, Bakker JP, Kleyer M. 2003.** Life-history Traits of the Northwest European flora: The LEDA database. *Journal of Vegetation Science* **14**: 611-614. Dostupné na: www.leda-traitbase.org, ke dni 29. 11. 2006.

- Kubát K, Hrouda L, Chrtek J jun., Kaplan Z, Kirschner J, Štěpánek J, eds. 2002.** *Klíč ke květeně České republiky*. Praha, ČR: Academia.
- Lavorel S, McIntyre S, Landsberg J, Forbes TDA. 1997.** Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology and Evolution* **12**: 474-478.
- Lavorel S, Garnier E. 2002.** Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* **16**: 545-556.
- Linfei L, Anna Y, Zhiwei Z. 2005.** Seasonality of arbuscular mycorrhizal symbiosis and dark septate endophytes in a grassland site in southwest China. *FEMS Microbiology Ecology* **54**: 367-373.
- Lokvencová M. 2007.** *Mykorhizní infekce semenáčků Plantago lanceolata na obhospodařované louce*. Bakalářská práce, Jihočeská univerzita, České Budějovice, ČR.
- Materechera SA, Alston AM, Kirby JM, Dexter AR. 1992.** Influence of root diameter on root penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant and Soil* **144**: 297-303.
- McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M. 2006.** Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* **21**: 178-185.
- Reich PB, Walters MB, Ellsworth DS. 1992.** Leaf lifespan in relation to leaf, plant and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecological Monographs* **62**: 365-392.
- Reich PB, Walters MB, Ellsworth DS. 1997.** From tropics to tundra: Global convergence in plant functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* **94**: 13730-13734.
- Reich PB, Tjoelker MG, Walters MB, Vanderklein DW, Buchena C. 1998.** Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedling of nine boreal tree species grown in high and low light. *Functional Ecology* **12**: 327-338.
- Rouhier H, Read JD. 1998.** The role of mycorrhiza in determining the response of *Plantago lanceolata* to CO₂ enrichment. *New Phytologist* **139**: 367-373.
- Ryser P. 2006.** The mysterious root length. *Plant Soil* **286**: 1-6.
- Schippers P, Olf H. 2000.** Biomass partitioning, architecture and turnover of six herbaceous species from habitats with different nutrient supply. *Plant Ecology* **149**: 219-231.

- Slavík B, editor. 1995.** *Květena České republiky*. 4. svazek. Praha, ČR: Academia.
- Slavík B, editor. 2000.** *Květena České republiky*. 6. svazek. Praha, ČR: Academia.
- Smith SE, Read DJ. 1997.** *Mycorrhizal Symbiosis*. Second edition. San Diego, USA: Academic Press.
- StatSoft, Inc. 2005.** STATISTICA (data analysis software system). Version 7.1. www.statsoft.com.
- Šmilauer P, Šmilauerová M. 2000.** Effect of AM symbiosis exclusion on grassland community composition. *Folia Geobotanica* **35**: 13-25.
- Titus JH, Lepš J. 2000.** The response of arbuscular mycorrhizae to fertilization, mowing, and removal of dominant species in a diverse oligotrophic wet meadow. *American Journal of Botany* **87**: 392-401.
- Vierheiling H, Schweiger P, Brundrett M. 2005.** An overview of methods for the detection and observation of arbuscular mycorrhizal fungi in roots. *Physiologia Plantarum* **125**: 393-404.
- Waring RH, McDonald AJS, Larsson S, Ericsson T, Wiren A, Arwidsson E, Ericsson A, Lohammar T. 1985.** Differences in chemical composition of plants grown at constant relative growth rates with stable mineral nutrition. *Oecologia* **66**: 157-160.
- Weier E, van der Werf A, Thompson K, Roderick M, Garnier E, Eriksson O. 1999.** Challenging Theophrastus: A common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of Vegetation Science* **10**: 609-620.
- Westoby M. 1998.** A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil* **199**: 213-227.
- Westoby M, Leishman M. 1997.** Categorizing plant species into functional types. In: Smith TM, Shugart HH, Woodward FI, eds. *Plant functional types: their relevance to ecosystem properties and global change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 66-90.
- Wilson JP, Thompson K, Hodgson GJ. 1999.** Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist* **143**: 155-162.
- Woodward FI, Diament AD. 1991.** Functional approaches to predicting the ecological effect of global change. *Functional Ecology* **5**: 202-212.

- Wright IJ, Reich PB, Cornelissen JHC, Falster DS, Garnier E, Hikosaka K, Lamont BB, Lee W, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Villar R, Warton DI, Westoby M. 2005.** Assessing the generality of global leaf trait relationships. *New Phytologist* **166**: 485-496.
- Yuan ZY, Li LH, Han XG, Huang JH, Jiang GM, Wan SQ, Zhang WH, Chen QS. 2005.** Nitrogen resorption from senescing leaves in 28 plant species in a semi-arid region of northern China. *Journal of Arid Environments* **63**: 191-202.

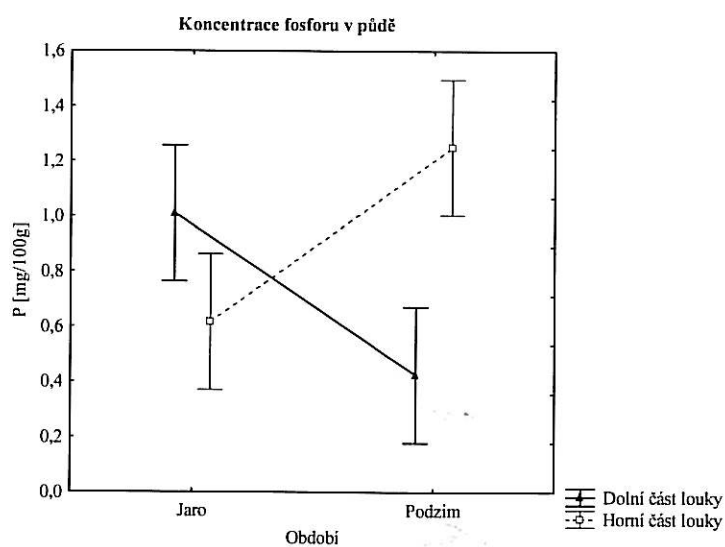
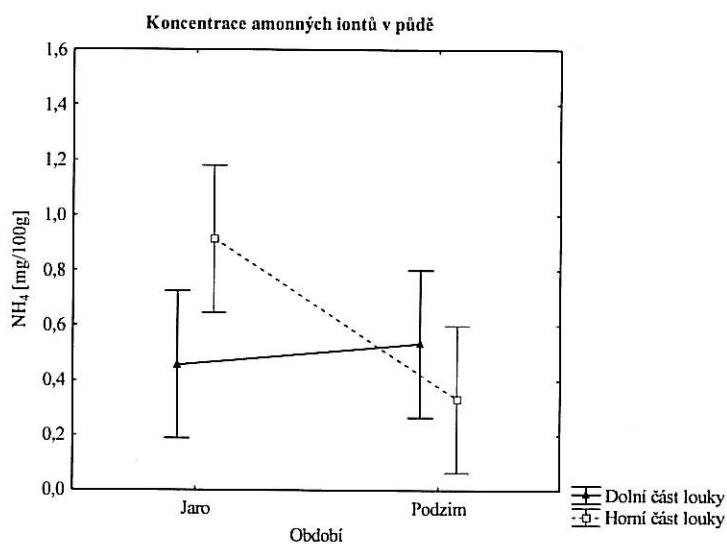
Přílohy

Příloha I Dynamika obsahu živin v půdě na lokalitě Zvíkov

Příloha II Tabulka 1

Příloha I

Výsledky chemických analýz půdy provedených v roce 2005 v horní a dolní části lokality ve dvou obdobích (Jaro = červenec 2005 a Podzim = prosinec 2005). Hodnoty koncentrace amonných iontů a reaktivního fosforu v půdě jsou uvedeny v mg/100g sušiny půdy (převzato z Lokvencová 2007).



Příloha II

Tabulka 1: Průměrné hodnoty měřených funkčních charakteristik pro jednotlivé druhy, ve formátu průměr ± střední chyba průměru (počet opakování).

Druh	Výška rostlin (cm)	Specifická listová plocha (mm ² /g)	Listová plocha (mm ²)	Obsah sušiny listu (mg/g)	Koncentrace fosforu (mg/1000g)	Obsah dusíku (%)	Obsah uhlíku (%)
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	13,7±1,0 (12)	27957,89±914,01 (12)	98,74±12,25 (12)	247,68±6,27 (12)	2057,72±0 (1)	3,33±0 (1)	43,68±0 (1)
<i>Alopecurus pratensis</i>	35,9±1,7 (32)	21733,86±991,61 (10)	647,40±76,33 (10)	278,68±6,34 (10)	1896,48±225,19 (4)	1,99±0,13 (4)	42,88±0,92 (4)
<i>Avenula pubescens</i>	25,4±1,6 (30)	13339,12±623,51 (10)	991,57±94,1 (10)	344,68±9,14 (10)	1606,36±202,41 (7)	1,74±0,10 (7)	43,15±0,26 (7)
<i>Plantago lanceolata</i>	20,8±0,7 (37)	18237,15±854,30 (12)	1305,56±126,09 (12)	167,81±5,78 (12)	2451,30±337,60 (5)	2,16±0,06 (5)	42,00±0,30 (5)
<i>Veronica chamaedrys</i>	20,5±1,0 (35)	24862,88±1248,67 (12)	298,51±50,70 (12)	247,52±9,51 (12)	1248,59±107,27 (4)	1,77±0,10 (4)	44,90±0,16 (4)
<i>Sanguisorba officinalis</i>	21,8±0,8 (40)	13150,44±804,86 (12)	2245,87±219,75 (12)	343,40±13,90 (12)	1304,75±85,20 (11)	1,67±0,06 (11)	41,05±0,45 (11)

Tabulka 1: Pokračování.

Druh	Specifická délka kořenů (m/g)	Průměr jemných kořenů (mm)	Intenzita AM infekce celková (% délky)	Intenz. AM inf. arbuskulární (% délky)	Intenz. AM inf. vezikulární (% délky)
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	224,09±11,14 (12)	0,169±0,007 (12)	57,6±6,9 (10)	46,1±5,9 (10)	4,6±3,3 (10)
<i>Alopecurus pratensis</i>	133,36±11,13 (11)	0,119±0,003 (11)	71,5±6,3 (6)	61,1±7,4 (6)	1,8±1,5 (6)
<i>Avenula pubescens</i>	52,33±3,06 (12)	0,211±0,009 (12)	92,5±2,8 (12)	82,2±7,4 (12)	10,3±3,5 (12)
<i>Plantago lanceolata</i>	98,56±5,50 (10)	0,20±0,0100 (10)	87,1±3,3 (11)	77,5±3,5 (11)	16,3±5,0 (11)
<i>Veronica chamaedrys</i>	174,07±13,41 (12)	0,134±0,003 (12)	42,0±8,2 (10)	35,0±7,3 (10)	3,0±2,0 (10)