

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta pedagogická

Centrum biologie, geověd a envigogiky

ANALÝZA FUKČNÍCH VLASTNOSTÍ  
PODZEMNÍCH ORGÁNŮ *PLANTAGO*

*LANCEOLATA*

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Lukáš Vlk**

Biologie se zaměřením na vzdělání

Vedoucí práce: RNDr. Sylvie Pecháčková, Ph.D.

**Plzeň, 2014**

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

*V Plzni, 15. dubna 2014*

.....

Lukáš Vlk

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat své školitelce Sylvii Pecháčkové za cenné rady, trpělivost s mou prací a možnost pracovat na takto zajímavém tématu. Rád bych poděkoval i svým rodičům za neustálou podporu a všem ostatním, kdo mi v průběhu práce byli jakkoliv oporou.



# OBSAH

1. Úvod .....	8
2. Cíle práce .....	10
3. Literární rešerše .....	11
3.1 Úvod do problematiky funkčních znaků .....	11
3.1.1 Funkční vlastnosti v historické perspektivě .....	11
3.1.2 Funkční typy rostlin a potřeba standardizace měření .....	12
3.1.3 V jakém smyslu se termínu funkční vlastnost užívá? .....	12
3.1.4 Vytvoření společné metodiky.....	13
3.1.5 Tvrdé a měkké funkční vlastnosti .....	13
3.1.6 Využití funkčních vlastností ve zkoumání dynamiky prostředí .....	14
3.1.7 Význam funkčních vlastností pro vyšší úroveň hierarchie .....	15
3.2 Význam funkčních znaků v ekologii společenstev.....	15
3.2.1 Shimperův a Hubbellův svět .....	15
3.2.2 Hubbellův neutrální model biodiverzity .....	16
3.2.3 Dnešní koncepce funkčních vlastností.....	17
3.2.4 Měkké a tvrdé funkční vlastnosti .....	17
3.2.5 Response a effect znaky a filtry prostředí.....	18
3.2.6 Znaky výkonnostní a znaky M-P-P .....	20
3.2.7 Přístup shora a zdola .....	20
3.3 Stručný přehled vybraných funkčních vlastností .....	21
3.4 Získávání živin podle složení půdy.....	23
3.4.1 Hlinité půdy .....	23
3.4.2 Písčité půdy .....	23
3.4.3 Jílovité půdy .....	24
3.4.4 Výhřevnost půdy .....	24
3.5 Architektura kořenového systému.....	25
3.5.1 Proč nás zajímá architektura a ne morfologie?.....	25
3.5.2 Co ovlivňuje výslednou architekturu? .....	25
3.5.3 Dva extrémní typy větvení kořene .....	26

3.5.4 Efektivita změny strategie a evoluční význam .....	26
3.7 Problematika odběru a popisu kořenů.....	27
4. Charakteristika lokality a okolí.....	29
4.1 Chlumčanská výsypka.....	29
4.2 Historie výsypky .....	29
4.3 Geologická a geomorfologická charakteristika .....	30
4.4 Klimatické poměry.....	30
4.5 Vegetační kryt .....	31
4.6 Popis modelového druhu .....	31
5. Metodika .....	32
5.1 Výběr a charakteristika plochy.....	32
5.2 Odběr a vymývání kořenů.....	32
5.3 Postup při měření funkčních a architektonických vlastností .....	33
5.3.1 Měření konkrétních znaků .....	34
5.3.2 Zpracování znaků jednotlivých kořenů pomocí programu RootArch .....	35
6. Výsledky.....	37
6.1 Výsledky naměřených hodnot funkčních vlastností.....	37
6.1.1 Pokryvnost .....	37
6.1.2 Celková hmotnost nadzemní části.....	37
6.1.3 Celková hmotnost listů .....	37
6.1.4 Počet kvetoucích stvolů .....	37
6.1.5 Průměrná délka kvetoucích stvolů .....	37
6.1.6 Listová plocha.....	38
6.1.7 Průměrná délka listů.....	38
6.1.8 Oddenek.....	38
6.1.9 Dosah hlavního kořene .....	38
6.1.10 Kořeny 1. řádu a jejich distribuce na hlavním kořeni a na oddenku .....	39
6.1.11 Celkový dosah kořene.....	39
6.1.12 Celková hmotnost kořene .....	39
6.1.13 Poměr hmotnosti podzemní a nadzemní části (Root to shoot ratio – R : S ratio).....	39
6.1.14 SLA .....	40
6.2 Výsledky analýzy architektury kořenového systému .....	40
6.2.1 Magnituda.....	40

6.2.2 Altitude – výška kořene .....	40
6.2.3 Délka vnějších článků.....	40
6.2.4 DBI (Dichotomous branching index).....	40
7. Diskuze .....	41
7.1 Funkční vlastnosti.....	41
7.2 Architektonické znaky .....	42
8. Závěr.....	44
9. Seznam obrázků.....	45
10. Seznam literatury.....	46
11. Resumé.....	50
12. Přílohy .....	I

# 1. ÚVOD

Předložená bakalářská práce se zabývá analýzou funkčních vlastností rostlin *Plantago lanceolata* a architektonickou analýzou jejich kořenových částí. Podnětem pro zvolení tohoto tématu byla konzultace s prof. Tomášem Herbenem z oddělení geobotaniky na Univerzitě Karlově na podzim 2012 o moderních metodách ekologie rostlin.

Metoda funkčních vlastností je v mnoha ohledech poměrně nová a hlavně nekompletní. Chybí zvláště data a poznatky o podzemních částech rostlin a jejich interakcích s okolím i mezi kořeny jedné rostliny navzájem. V mnoha ohledech také chybí znalosti o dynamice a fungování některých jak nadzemních, tak podzemních funkčních vlastností.

V rešerši jsem se pokusil nastínit, co víme o funkčních vlastnostech a architektonických vlastnostech rostlin ve smyslu reakcí na podněty z jejich okolí a procesy, které je obklopují. Mnohé z této dynamiky je však dosud zahaleno tajemstvím a u několika věcí dokonce jakákoliv data chybí (např. některé kořenové znaky, nebo vzájemný vztah velké části nadzemních a podzemních znaků). Část rešerše se pokouší nastínit postup od úrovně jedince po celé ekosystémy při vykládání významu hodnot funkčních vlastností. Tomu jsem se snažil dodat určitou úroveň v rámci moderní ekologie a rešerše se proto opírá o učebnice Jessicy Gurevitch, Roberta E. Ricklefse a samozřejmě proslulou učebnici Ekologie od Michaela Begona a kol.

Mnou zvolená lokalita má pro geobotanickou práci několik ideálních vlastností. Především díky svému charakteru umožňuje rozdělení vzorků na dvě skupiny podle substrátu, na kterém se vyskytují (a tedy i konkurence, jíž jsou vystaveny). Na tom se pak dá názorně ukázat rozdílné fungování rostlin v prostředí, podle jeho povahy.

Praktická část práce se zabývala konkrétními funkčními a architektonickými vlastnostmi. To zahrnovalo i v literatuře dosud nepopsané vlastnosti, které jsem se rozhodl změřit, i když o nich data chybí. Učinil jsem tak, protože se domnívám, že pomocí i zatím nepopsaných znaků se dají nalézt mnohdy překvapivé vztahy v přírodě. Rostliny totiž nejsou fixně navržené, ale mají tendenci využívat morfológickou a fyziologickou plasticitu pro efektivnější existenci v daném prostředí.



Sám se domnívám, že je rozvoj podobné kvantifikační metody pro poznávání přírodních vztahů velmi důležitý. Je to možnost, jak odhalit naše chyby v automatických úvahách o tom, co se v přírodě děje a zároveň šance zjistit a popsat mnohem komplexnější a jemnější vztahy, než jsme si dosud dokázali představit.

## 2. CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této práce bylo v rámci výzkumu najít takové vlastnosti rostlin, které měly z nejméně náročného měření největší výpovědní hodnotu o vztazích rostliny k jejímu okolí. Data z takto změřených vlastností a jejich interpretace by měla v budoucnu výzkumníkovi rychle vytvořit určité ponětí o tom, čemu je organismus v jaké míře vystaven a s čím se při své existenci musí potýkat.

Dalším cílem bylo vytvořit rešerši, shrnující současné informace o problematice funkčních vlastností a jejich vsazení do kontextu metod moderní ekologie.

Třetím cílem bylo změřením jak známých, tak zatím nepoužívaných funkčních a architektonických (pouze podzemních) vlastností a interpretace získaných dat pomocí dvou programů: RootArch pro analýzu kořenů a Statistica pro vizuální zpracování naměřených dat.

### **3. LITERÁRNÍ REŠERŠE**

#### **3.1 Úvod do problematiky funkčních znaků**

Pokud chceme pochopit, jak fungují organismy ve svém prostředí a zodpovědět nejnaléhavější otázky ekologie společenstev, pak je nutné vytvořit určitý funkční model. O to se ekologie společenstev pokouší pomocí nejmodernějších kvantifikačních metod a v jejím rámci je akcentována potřeba porozumění funkčním vlastnostem organismů (Violle a kol. 2007). S tímto modelem se pak můžeme pokoušet o co nejpřesnější vysvětlení toho, co v přírodě pozorujeme a samozřejmě i o predikci toho, co v ní pozorovat budeme v budoucnosti. S ohledem na výše zmíněné je ale také čím dál jasnější, že klasický taxonomický přístup má pro toto porozumění příliš úzké limity (Cornelissen a kol. 2003) a je proto vhodné modelovat vegetaci na základě funkčních vlastností a jejich vzájemných vztahů a interakcí. Funkční vlastnosti jsou takové vlastnosti, které mají určitý vztah ke konkrétní funkci rostliny a k prostředí, ve kterém se rostlina vyskytuje (jde o morfologicko-fyziologické znaky, ovlivňující růst, reprodukci a přežívání rostliny (Violle a kol. 2007).

##### **3.1.1 Funkční vlastnosti v historické perspektivě**

Samo o sobě se nejedná o nic nového – už Charles Darwin se zabýval problematikou podobných znaků a navrhoval, aby znak byl vnímán jako prediktor toho, jak bude organismus úspěšný v prostředí (Violle a kol. 2007). Na samotný pojem znak se dá v pracích starších evolucionistů také často narazit, jeho význam a samotná náplň se však v kontextu moderní ekologie společenstev změnily. Dánský botanik Christen C. Raunkiær rozpoznával rozdílné růstové a životní formy rostlin a tento přístup se dá vysledovat až k řeckému vědci a filozofovi Theofrastovi (Weiher a kol. 1999, Garnier a Navas 2012), jehož měření zahrnovalo dělení rostlin podle jejich dřevnatosti a výšky a např. jejich rozdělení na byliny, keře a stromy (Weiher a kol. 1999). Spojení pozorovatelného a měřitelného znaku s nějakou určitou funkcí je pak dalším logickým krokem. Pokud změřené znaky srovnáme s fungováním konkrétních rostlin v ekosystémech, dojdeme k rozdílným dimenzím parametrů jejich znaků, ukazujících na určité společně se vyskytující sady těchto znaků (Westoby a Wright 2006), objevujících se podél gradientů vlhkosti, teploty, množství srážek apod.

### 3.1.2 Funkční typy rostlin a potřeba standardizace měření

Tyto společně se vyskytující sady znaků jsou pak nazývány funkční typy rostlin, tedy skupiny rostlin, mající společné podobné fungování a výkonnost na individuální úrovni a podobnou odpověď a vliv na faktory svého okolí (Cornelissen a kol. 2003). Funkční typy rostlin nám pak umožňují vytvořit poměrně přesný model, na jehož základě můžeme porozumět vztahu funkčních vlastností vůči lokální vegetaci a dynamice ekosystémů (Cornelissen a kol. 2003).

S ohledem na výše uvedená fakta není překvapující, že vznikla potřeba shromáždit spolehlivá data o co největším počtu druhů standardizovanou technikou (Pausas a kol. 2003), pokud by výzkum problematiky měl mít nějaký sjednocující rámec. Zároveň s tím se stalo samozřejmostí získat informace o složení a změnách druhů podél významných geografických gradientů (Pausas a kol. 2003). Se získáním těchto dat pak logicky přišel požadavek standardizace sledování, posuzování a měření funkčních vlastností (Lavorel a kol. 2007). Srovnávání těchto informací je dalším krokem v úspěšném poznání a zodpovězení zásadních otázek ekologie společenstev: V jakém vztahu jsou vůči sobě organismy ve společenstvu? Jak se tyto vztahy liší podél fyzikálně - geografických gradientů a jak to ovlivňuje fungování a dynamiku celých ekosystémů (Garnier a Navas 2012)?

### 3.1.3 V jakém smyslu se termínu funkční vlastnost užívá?

Jaký je tedy současný význam spojení „funkční vlastnost“? Jedná se o jakýkoliv morfologický, fyziologický nebo fenologický rys rostliny, měřitelný pouze v rámci jedince (Violle a kol. 2007) a mající vztah ke konkrétní funkci organismu (Lavorel a kol. 2007). Často je zdůrazňován vliv naměřených hodnot znaku na 3 základní složky individuální výkonnosti: růst, reprodukce a přežívání (Violle a kol. 2007). K naměření funkční vlastnosti není nutná žádná externí informace, pouze konkrétní rysy jedince a naměřené hodnoty se logicky budou měnit podle fyzikálně-geografických gradientů prostředí (Garnier a Navas 2012), jako např. výše zmíněné změny vlhkosti, teploty apod. Zdůrazňovaná svázanost funkční vlastnosti s jedincem je zcela zásadní. Například diverzita pak logicky nebude funkční vlastností společenstva (společenstvo se nechápe jako jedinec), ale bude označována jako vlastnost vyššího řádu (Violle a kol. 2007), na níž vlastnosti jedinců společenstva budou mít bezprostřední vliv. V angličtině se pro toto vlastnost vyššího řádu užívá pojem „property“, na rozdíl od pojmu „functional trait“ – což je právě funkční vlastnost na úrovni jedince.

### 3.1.4 Vytvoření společné metodiky

Chceme-li snahy o sjednocení pohledu na funkční vlastnosti popsat, musíme se napřed ohlédnout za společným úsilím o uchopení této problematiky a pokusem o společnou shodu vědců na klíčových otázkách. Těmi jsou např. standardizovaný odběr vzorků, jejich uložení, zpracování v laboratoři apod. Tato příležitost se naskytla v roce 2000, kdy program ICBP-GCTE (Global change and terrestrial ecosystems) organizoval workshop na ostrově Isle Sur la Sorgue ve Francii (Cornelissen a kol. 2003). Cílem bylo sestavit minimální seznam funkčních vlastností cévnatých rostlin podle následujících kritérií (převzato – Cornelissen a kol. 2003):

1. reprezentují odpovědi a vlivy na prostředí na různých škálách (biomy až kontinenty)
2. mohou být použity k uspokojivé funkční klasifikaci, jako nástroje k modelování na regionální až globální škále a v paleoekologii geo-biosféry
3. mohou zodpovědět otázky, týkající se ekologie, zachování přírody a využití půdy
4. relativně lehké, levné a přesné měření kdekoliv na světě

Tyto snahy mají vést v první řadě k měření funkčních vlastností převažujících druhů v ekosystémech (na vůdčí neboli charakteristické druhy je brán hlavní zřetel i v rámci tzv. curyšsko-montpelliérské školy).

### 3.1.5 Tvrdé a měkké funkční vlastnosti

Poměrně zásadní je rozdělení na tzv. tvrdé a měkké funkční znaky. Měkké můžeme lehce a levně změřit a především je dokážeme v přírodě přímo pozorovat (a dají se většinou logicky předem odvodit ze znalosti morfologie a fyziologie rostlin – jde např. o délku listu, výšku rostliny apod.), tvrdé znaky jsou pak nepřímě odvozené z hodnot měkkých a jejich výpovědní hodnota je mnohem komplexnější a širší (Violle a kol. 2007). Tvrdé znaky jsou především přesnějšími indikátory toho, jak rostlina reaguje na změny prostředí a jak ho zpětně ovlivňuje svými vlastnostmi (Cornelissen a kol. 2003). Jako jednoduchý příklad lze uvést měkké znaky hmotnost a tvar semen, jejichž kombinací se dá poměrně přesně odvodit odolnost semen, což je už tvrdý znak, který se nedá přímo v terénu jednoduše změřit

(Cornelissen a kol. 2003). Také SLA, což je poměr listové plochy a váhy, vypovídá mnohé: pro r-stratégy bude spíše vyšší než pro k-stratégy, s ohledem na jejich rychlý růst na místě s dostupnými živinami a menšími investicemi do pletivových znaků (Lavorel a kol. 2007).

Tvrdé znaky nám také umožňují porozumět procesům na vyšším stupni hierarchie, než je jedinec – vypovídají totiž o jeho vlivu na prostředí, ve kterém se vyskytuje. Řada výzkumníků, zabývajících se touto problematikou, dále upozorňuje na to, že je třeba zabývat se poměřováním změn životního prostředí na různých úrovních hierarchie (Suding a kol. 2008), aby se zvýšila síla argumentů pro konzervaci přirozených ekosystémů a efektivnější ochranu životního prostředí v důsledku globálních změn (Ricklefs 2008). Současný vývoj této problematiky pak skutečně ukazuje na posun ve vnímání funkčních vlastností od jedince k ekosystémům. Není to ale v rozporu s výše zmiňovanou vazbou funkční vlastnosti na jedince, pouze je věnováno více úsilí odvodit z tvrdých znaků obecně platné zákonitosti na úrovni společenstev nebo celých ekosystémů a jejich změn (Violle a kol. 2007).

### **3.1.6 Využití funkčních vlastností ve zkoumání dynamiky prostředí**

V důsledku se tak tímto způsobem nabízí moderní a objektivní nástroj poznávání změn společenstev a jejich důsledků podél důležitých fyzikálně-geografických gradientů. Jestliže přiřadíme znakům atributy (hodnoty, které jsme naměřili – s ohledem na to, že se v prostoru podle místních podmínek budou měnit v souladu s přirozenou fenotypovou plasticitou rostlin) a porovnáme tyto atributy s místem měření a místními faktory (což je u měření bezpodmínečně nutné), pak získáme reálný přehled o variabilitě znaků v prostředí (Violle a kol. 2007). Jinými slovy budeme znát hrubou podobu reakce vegetace na změnu prostředí (v tomto případě kvantifikovanou a objektivnější, než pouhý odhad), což je v dnešní době stále aktuálnější téma. Především se to týká globální změny klimatu lidskou aktivitou, a s ní související změny ve společenstvech (Violle a kol. 2007). Lze také očekávat vznik nových společenstev a jejich změna může postrádat charakter toho, co známe z přírody nebo z fosilního záznamu (Violle a kol. 2007). Reakce vegetace na tyto změny je pak logicky silně závislá na druhovém složení a funkční charakteristice společenstva.

Důležitým rysem formování společenstev nejsou ale pouze abiotické podmínky, související v tomto kontextu se změnami klimatu, ale samozřejmě i faktory biotické – konkrétně pak intra- a interspecifická konkurence. Panuje shoda na tom, že funkční vlastnosti umožňují konkurenci rostlin porozumět lépe, než tomu bylo dosud (Schellberg a

Pontes 2012). Dosavadní pokusy totiž stály na posuzování konkurence podle konkrétních druhů a jejich požadavků a adaptací a posuzování stavu ekosystémů podle výskytu určitých druhů a jejich početnosti (Moravec a kol. 1994). Funkční model, který zde popisují, nám ale umožňuje sledovat tento komplexní a pro strukturu společenstev zásadní jev (jakým konkurence bezesporu je) v kontextu morfologických a fyziologických vlastností a ne náhodou je toto přirovnáváno ke změně paradigmatu, jak se o tom sami výzkumníci zmiňují (Schellberg a Pontes 2012). Velice zjednodušeně se dá fungování tohoto modelu vystihnout následovně:

Fitness jedince > konečná hodnota nárůstu populace > fungování ekosystému  
(převzato Violle a kol. 2007)

### **3.1.7 Význam funkčních vlastností pro vyšší úroveň hierarchie**

Funkční vlastnosti ovlivňují fitness jedince. Často se ale dá např. u popularizátorů evoluční teorie narazit na to, že úplně každý znak je výsledkem evolučních procesů a proto ovlivňuje fitness jedince. V rozporu s tím je ale např. tzv. epigenetika, což je zjednodušeně řečeno systém, řídicí expresi genů a jehož výsledkem může být zdánlivé dědění získaných vlastností (Latzel a kol. 2013). Funkční vlastnosti ovlivňují na vyšší úrovni hierarchie růst populace a to má logicky v důsledku vliv na složení a strukturu společenstva (Violle a kol. 2007). V tomto ohledu se tak vyjevuje v plné síle důležitost tohoto směru výzkumu nejen v teoretické rovině, ale i v rovině následné aplikace. Setkáváme se s požadavkem, aby byla tato metoda využívána i v aplikované biologii a ne jenom v biologických a ekologických žurnálech (Schellberg a Pontes 2012). Vytvoření managementu zemědělsky využívané půdy s ohledem na funkční vlastnosti organismů na ní pěstovaných pak může vést k větší stabilitě a dlouhodobé udržitelnosti těchto člověkem formovaných ekosystémů (Schellberg a Pontes 2012), což je pouze jeden z řady příkladů praktičnosti aplikace této problematiky.

## **3.2 Význam funkčních znaků v ekologii společenstev**

### **3.2.1 Shimperův a Hubbellův svět**

Na tomto místě jsem považoval za nutné zmínit se o dvou rozdílných historických pohledech na fungování ekosystémů, v jejichž kontextu se dá využít a smysl funkčních znaků v moderní ekologii snáze pochopit.

Podle tzv. Schimperovy teorie (Andreas Franz Wilhelm Schimper byl německý botanik a fytogeograf, žijící v druhé polovině 19. století) jsou různé druhy organismů úspěšné v různých prostředích kvůli odlišnostem v kvantitativních fyzikálních znacích svých těl (Westoby a Wright 2006). V podstatě se jedná o soft traits, jak byly vymezeny výše. Tyto vlastnosti pak samozřejmě mají bezprostřední vliv na morfologii a celkový charakter ekosystému a hlavní je to, že se postupně mění po fyzikálně-geografických gradientech srážek, teploty, vlhkosti apod.

Dá se to úplně zobecnit tak, že habitat všech druhů organismů je určen funkčními znaky okolních rostlin a jejich trojrozměrným plánem (Westoby a Wright 2006). Za všechny vlivy rostlin na podobu ekosystému uveďme např. albedo, denní výkyvy teplot na povrchu (budou ovlivněny architekturou rostlin a zápojem); stavba listu může ovlivňovat míru herbivorie a podobných příkladů bychom našli velmi mnoho (Westoby a Wright 2006). Tyto vlivy se zrcadí v hodnotách funkčních vlastností (např. výška rostlin nebo průměrná délka jejich listů) a tím tyto vlastnosti podobu prostředí přímo předurčují. Díky tomu, že vegetace má takto zásadní vliv na charakter krajiny je pochopitelné, že těmto vlastnostem a jejich dynamice je věnováno tolik pozornosti. Dá se předpokládat to, že pokud porozumíme změnám znaků a architektury rostlin fyzicko-geografických gradientů, učiníme nejdůležitější krok k pochopení vztahů mezi krajinou a ekologií (Westoby a Wright 2006).

### **3.2.2 Hubbellův neutrální model biodiverzity**

V současné době se spíše dostává pozornosti konceptu tzv. Hubbellova světa (Stephen P. Hubbell je současný ekolog, působící na University of California v Los Angeles, autor neutrální teorie biodiverzity), který byl definován v knize *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Samotný koncept se pak především zabývá tzv. rank-abundance křivkou, popisující zastoupení jednotlivých druhů a jejich počet (v podstatě se jedná o relativní abundanci v ekosystému) a dále tzv. species-area křivkou, což je vztah počtu druhů vůči ploše, na níž se vyskytují (Westoby a Wright 2006). Teorie Hubbella nebude vypovídat o funkčních znacích, fyziologii a fyziognomii rostlin, ale hlavně a především o diverzitě. Zásadní v tomto pojetí je to, že druhy jsou ekvivalentní a tedy mají stejné šance na narození, rozmnožení, smrt a speciaci (Harpole 2012). Krajina je v tomto konceptu indiferentní a stírány jsou i rozdíly ve znacích organismů. Tyto vlastnosti z ní činí teorii určitým způsobem extrémní, protože některé věci prostě nevysvětluje (Westoby a Wright



2006). Z výše uvedeného je tedy jasné, že se nejedná o alternativní teorie, odpovídající na stejné otázky jinak, ale spíše obě kladou jiné otázky.

Je tedy jasné, že funkční znaky najdou své uplatnění v konceptu Schimperova světa a jejich tři hlavní funkce budou následující (převzato Westoby a Wright 2006):

1. porozumění vztahu cen a výhod jednotlivých znaků podle změny geografických gradientů (anglicky cost-benefit, jeden z klíčových pojmů ekologie a evoluční biologie)
2. získání sady dat a na jejich základě vytváření modelů ve světovém měřítku
3. vytvoření nové generace modelů světové vegetace, které umístí hodnoty cen a výhod (cost-benefit) na reálný fyzikálně-geografický profil ekosystémů a tím značně ulehčí a zpřesní vytváření obecných závěrů o jejich podobě a funkci (od nejnižších po ty nejvyšší úrovně)

### **3.2.3 Dnešní koncepce funkčních vlastností**

Pokud se ohlédneme za významem výše zmíněných darwinovských znaků, tak uvidíme, že se týkaly tradičně především živočichů. Byly to znaky týkající se fitness jedince – velikost těla, doba pohlavní dospělosti (Violle a kol. 2007) – a jejich hlavní výpovědní hodnota spočívala v podání informace o úspěšnosti určitého druhu v konkrétním prostředí.

Mluví-li se o současném využití a roli funkčních vlastností v ekologii společenstev, pak jde o mnohem komplexnější záležitost. Předně je nutné zdůraznit rozdělení těchto vlastností na ty, mající vliv na prostředí, kde se organismus nachází a pak na ty, kterými organismus odpovídá na podněty ve svém okolí (Lavorel a kol. 2007, Cornelissen a kol. 2003).

### **3.2.4 Měkké a tvrdé funkční vlastnosti**

Ekologii v roce 1866 vymezil Ernst Haeckel jako vědu, studující organismy, jejich vzájemné interakce a jejich vztahy k prostředí, v němž žijí. Funkční vlastnosti míří k jádru této problematiky, protože se pokouší z jednoduchých vlastností vytvářet funkční modely těch nejvyšších stupňů ekologické hierarchie. Je zde snaha o kvantifikaci tzv. „soft“ traits

(„měkkých znaků“) a na jejich základě identifikace „response“ traits (znaků, které určují odpověď organismu na okolní podmínky) vůči disturbancím a změnám v ekosystému (Lavorel a kol. 2007). To ale není vše – pokud tedy známe podmínky určující stav ekosystému, získáváme zároveň ponětí o tom, jaké „response“ znaky se v něm budou s vyšší pravděpodobností vyskytovat a tedy jaké druhy zde nejspíše nalezneme – vše živé podléhá fyzikálním a chemickým zákonům (Ricklefs 2008). Je pak zcela logické, že druhy v prostředí se vyskytující budou jeho činnost ovlivňovat – objeví se tedy vliv „effect“ traits (znaků, majících efekt na prostředí – ty, které ho ovlivňují) na fungování ekosystému.

Podle Grimeovy tzv. „biomass ratio hypothesis“ ovlivňují fungování ekosystému nejvíce ty druhy, které v něm dominují (Schellberg a Pontes 2012, Grime 1998). To se ale samo o sobě zdá až příliš zjednodušující a proto se zdůrazňuje, že fungování ekosystému ovlivňují i emergentní, tedy nové a unikátní vlastnosti vyššího řádu hierarchie (Begon a kol. 1997). Z tohoto důvodu je praktické znát ty znaky, které ovlivňují výslednou produkci a povahu společenstva (a na vzniku emergentních vlastností se tak svými znaky zásadně podílejí). Neexistuje přitom jednoduchá shoda na tom, co je přesně „response“ trait a co už je „effect“ trait a toto rozhraní spíše připomíná kontinuální přechod. Mnohými znaky, jimiž organismus odpovídá na změny ve svém prostředí, ho totiž vzápětí zpětně ovlivňuje a mění. Jako příklad se dají uvést znaky, jimiž odpovídá rostlina na dostatek dusíku v prostředí, jimiž jsou zejména: hmotnost sušiny listu, obsah listového dusíku a SLA. Poté, co se vegetace změní, ale samozřejmě společenstvo zpětně jeho množství v prostředí ovlivňuje (Al Haj Khaled a kol. 2005, Schellberg a Pontes 2012).

### **3.2.5 Response a effect znaky a filtry prostředí**

Z výše uvedeného vyplývá, že znaky se mohou stát spolehlivějším vodítkem k úvahám o tom, zda se v prostředí organismus bude vyskytovat a jak ho později bude ovlivňovat. Dále se upozorňuje na to, že díky funkčním znakům získáváme vodítko k odhalování skutečných interakcí mezi jedinci a prostředím (Garnier a Navas 2012). Vzniklé modely pak nebudou zatíženy pouhým pozorováním změn v krajině (a vznikem chyb, plynoucích ze zjednodušování), ale budou posíleny kvantitativním důkazním materiálem. Zvláště vážná se tato problematika jeví, vezmeme-li v úvahu neustálé zdůrazňování vědeckého přístupu a skutečného porozumění ekologické problematice, pokud mají tyto informace někdy vést k

prosazení důležitých opatření v oblasti ochrany a konzervace životního prostředí (Ricklefs 2008).

Další úvahy o výskytu organismů v prostředí musí nutně vést k problematice tzv. filtrů prostředí. Význam filtrů prostředí je úzce svázán s biotickými a abiotickými faktory, stejně jako s dostupnými zdroji (týká se to všech faktorů, které budou existenci organismu limitovat). Filtrem můžeme v kontextu funkčních vlastností rozumět komplexní systém podmínek v konkrétním prostředí, vylučující ty druhy, které nemají určité znaky nebo jejich kombinace (Keddy 1992). Známe 3 hlavní filtry, působící na výskyt organismu v určitém prostředí: evoluční historie dané lokality, biotické podmínky a abiotické podmínky (Garnier a Navas 2012). Často pak v literatuře narážíme na důležitost nacházení těchto filtrů, bránících prosazení určitých fenotypů v prostředí (Garnier a Navas 2012) a zároveň tak fungujících jako analogie přírodního výběru na úrovni společenstev (Keddy 1992). V tomto kontextu je to vnímáno jako zásadní téma celé ekologie (jednou z hlavních otázek ekologie společenstev je, proč se některé druhy nacházejí jen na určitých místech a ne jinde). Na jiných místech se pak zdůrazňuje jako hlavní cíl ekologie společenstev nalezení toho, jak určité procesy ovlivňují rozložení znaků ve společenstvech, což se dá označit jako současný přístup (McGill a kol. 2006, Garnier a Navas 2012).

Prakticky to celé znamená, že už neexistují jen klasické funkční typy rostlin podle klasického rozdělení J. P. Grimea, tedy rostliny se strategiemi C, R a S. Vedle funkčních typů rostlin, které jsou zpracovávány také obšírněji než pouhé rozdělení na C, R, a S (Schellberg a Pontes 2012) bylo v moderní ekologii nutné zavést i tzv. funkční typy na prostředí reagující a funkční typy prostředí ovlivňující, jak se k celé této problematice vyjádřil i sám J. P. Grime (Grime 2006). Složení společenstva ovlivňuje jeho stav a výslednou podobu pomocí „effect“ traits zúčastněných druhů (tím se samo stává složkou biotických filtrů). Toto složení je ovlivněno třídícími procesy, které v něm proběhnou (Grime 2006), protože ekosystémy se nikdy nenachází v neměnném stavu klimaxu, ale jsou vystaveny náhodným změnám a dokonalý, dlouhodobě statický stav přírody je samozřejmě iluze (Ricklefs 2008). Tato dynamika je pak doplněna nepřímým, ale logickým ovlivněním interakcí mezi druhy těmi vlastnostmi, které mají efekt na prostředí (Suding a kol. 2008). Zde se znovu ukazuje, že nejsou zásadní pouze vlastnosti konkrétních druhů, které „vyhovují“ daným podmínkám, ale i

vlastnosti vyššího hierarchického řádu (Harper a kol. 1997), na nichž se podílí komplexně fungování celého společenstva.

### **3.2.6 Znamky výkonnostní a znamky M-P-P**

U rostlin se dají obecně vystihnout 3 znamky, mající vliv na jejich fitness a „výkon“ (performance) v prostředí - na jejich růst, reprodukci a přežívání. Jsou jimi vegetativní biomasa, reprodukční výkon (v podstatě biomasa vyprodukovaných semen – neznamená to ale počet vyklíčených nových rostlin) a přežití rostliny, což se udává binárně, tzn. buď žije nebo ne (Violle a kol. 2007). Toto jsou „tvrdé“ znamky, na které ostatní „měkké“ znamky, kterých je podstatně více, poukazují a z nichž se dají odvodit (Garnier a Navas 2012). V další části podrobně rozeberu konkrétní znamky, ale nyní zůstaňme pouze na obecnější rovině. Obecně se ještě k tomu znamky dají rozdělit na tzv. M-P-P skupiny, to znamená morfologické, fyziologické a fenologické skupiny znaků (toto jsou skutečně funkční vlastnosti – v angličtině přímo functional traits) a na další kategorii tzv. výkonnostních znaků (v angličtině performance traits). V obou kategoriích budou existovat rozdíly v komplexitě znaků a především v tom, zda se bude jednat o měkké nebo tvrdé znamky (v obou skupinách budou jak měkké, tak tvrdé znamky). Jako příklad se dá uvést výkonnostní znak relativní růstová míra (relative growth rate), kterou ovlivňuje např. funkční vlastnost SLA (Violle a kol. 2007). Ve své práci mám obě kategorie a ne jenom „pravé“ funkční vlastnosti, protože tak jsou i zpracovávány v dostupné literatuře a problematika výkonnostních znaků se nikde nevynechává.

### **3.2.7 Přístup shora a zdola**

Z výše zmíněného vyplývá, že lze tedy postupovat buď směrem „zdola“ (což jsem udělal ve své práci já) nebo „shora“. Přístup „zdola“ znamená změření hodnot měkkých funkčních vlastností v terénu a jejich následné využití k zjištění tvrdých funkčních vlastností – analogií je bottom-up přístup v ekologii, kdy výzkum začíná u vlastností a charakteristik jednotlivých druhů a pokračuje směrem k vlastnostem společenstev z nich odvozených. Ze zjištěných tvrdých vlastností pak lze sestavit obrázek celkové stavby společenstva, který už nestojí pouze na jednotlivých organismech, ale vytváří jejich znakovou mapu. Nabízí se v tomto kontextu analogie k evoluční biologii, kdy nás v případě neodarwinistické syntézy už nezajímají pouze jedinci v populaci, ale spíše celý genetic pool, což je soubor všech genů v populaci. Aplikací znalostí z ostatních oblastí ekologie, jako je krajinná ekologie, ekologie

živočichů apod. lze následně získat ucelenější představu o fungování celých ekosystémů, než by byla pouhá aplikace našeho pozorování.

Naproti tomu se ale objevuje i přístup „shora“. Ten často využívají vědci zabývající se změnami životního prostředí v průběhu přírodní historie naší planety. Vychází z malých sad předpokládaných vlastností (z těch nejvyšších úrovní hierarchie, kde každá chyba může extrémně manipulovat s výsledným měřením) a jejich výzkum bývá občas obviňován z nedostatku empirických důkazů (Cornelissen a kol. 2003) a pouhých odhadů, což snižuje jejich výpovědní hodnotu. Pokud bychom se ale této metodice chtěli vyhnout, je napřed třeba vyvinout obecně platné principy modelování ekologických jevů z nejnižších stupňů hierarchie až po ty globální (Cornelissen a kol. 2003).

Nakonec si dovolím pár slov k obecné hodnotě řešení této problematiky pro poznání přírody. S metodikou funkčních vlastností se zde objevuje snaha vytvořit ekologický model, nepodléhající pouze našim myšlenkovým konstruktům o dokonalé vyváženosti a stabilitě přírody. Ekologii společenstev bylo v minulosti vytýkáno, že pouze popisuje interakce rostlin a živočichů a je pouze „měkkou“ vědou (Keddy 1992). Místo toho by se mělo usilovat o vytváření takových modelů, které budou striktně vědecky podloženy mnohými terénními měřeními, budou podléhat bohaté diskuzi odborníků na základě zjištěných dat a pozorování ve spolupráci s nejmodernějšími matematickými modely a budou respektovat neustálou proměnlivost živé přírody, jejíž dynamika je pro nás naštěstí stále alespoň z části zahalena tajemstvím.

### **3.3 Stručný přehled vybraných funkčních vlastností**

**Životní forma:** Rozdělení podle toho, jak rostlina přežívá nepříznivé podmínky. Jedná se o rozdělení navržené roku 1934 Raunkiaærem na fanerofyty, geofyty apod. (Knevel a kol. 2005).

**Výška stonku:** Bere se v úvahu výška stonku, tedy nejvýše položeným fotosyntetizujícím pletivem a bází rostliny (Weiher a kol. 1999).

**Plocha listu:** Měří se jen jedna strana plochy lisové čepele (Knevel a kol. 2005).

**Růstová forma stonku:** Popisuje způsob větvení stonku a další architektonické znaky nadzemní části rostliny (Knevel a kol. 2005).

**Klonální růst:** Jakým způsobem dochází (pokud vůbec) k nepohlavnímu rozmnožování (Knevel a kol. 2005).

**Znaky spojené se semeny:** Celá řada znaků spojených se semeny rostlin, jako např.: frekvence plození v jedné sezóně, množství semen, hmotnost semen nebo tvar semen (Knevel a kol. 2005).

**LDMC (Leaf dry matter content):** Jedná se o hodnotu, udávající poměr hmotnosti usušených listů a hmotnosti čerstvě odříznutých listů. Vyjadřuje zejména hustotu pletiva a také to, jakému tlaku může být list vystavován, např. herbivorie apod. (Cornelissen a kol. 2003).

**LNC (Leaf nitrogen concentration) a LCP (Leaf phosphorus concentration):** Tyto znaky uvádí koncentraci dusíku a fosforu v pletivech a mimo jiné tak podávají informaci o tom, jak moc je rostlina výživná pro herbivory. Nutno podotknout, že naměřené hodnoty se často liší v různých prostředích podle množství dusíku a fosforu v půdě a jejich dostupnosti (Cornelissen a kol. 2003).

**SLA:** Specific leaf area, zkráceně SLA, patří mezi nejpoužívanější znaky a hlavně mezi ty, o nichž se toho ví nejvíce. Udává poměr plochy jedné strany listu a váhy jeho sušiny (Cornelissen a kol. 2003). Udává se v mm<sup>2</sup> na mg, případně také m<sup>2</sup> na kg. SLA se výrazně mění podle dostupnosti živin v ekosystému a souvisí tedy s tím, jak s nimi rostlina dokáže hospodařit (Garnier a Navas 2012). Nižší hodnoty jsou typické pro rostliny ze stanovišť vystavených stresu a často limitovaných výskytem určitého prvku (Lavorel a kol. 2007). Vysvětluje se to mimo jiné tím, že jsou nuceny do svých listů více investovat, nebo se na nich často objevují různé povrchové struktury, jako trichomy apod. V neposlední řadě je nutno zmínit, že tyto rostliny si své listy uchovávají delší dobu (Cornelissen a kol. 2003). Vyšší hodnoty jsou pak spojené s rostlinami, vyskytujícími se v prostředí bohatém na živiny a často velmi rychle rostoucími (Cornelissen a kol. 2003).

**Celková délka kořenů:** Celková délka kořenů je do velké míry ovlivněna dostatkem vody v půdě (Kleidon a Heimann 1997). Existuje pozitivní korelace mezi množstvím dostupné vody v půdě, produktivitou rostliny a délkou jejího kořenového systému, ale toto optimum má určitý vrchol při hranici vody v půdě, po němž se už produktivita nezvyšuje (Kleidon a Heimann 1997). Nutno dodat, že délka kořenového systému tedy není jasným důkazem o

vyšší produktivě rostliny. Tento znak ve velké míře souvisí s mnoha faktory, jmenovitě jsou to zejména odpověď na klima, CO<sub>2</sub>, množství živin, disturbance, nebo např. míru konkurence ze strany okolních rostlin (Cornelissen a kol. 2003). Hloubka většinou podle literatury až na výjimky nepřesahuje 2 m (Kleidon a Heimann 1997) a většina (90%) kořenového systému je často distribuována v horních 30 cm půdy (Cornelissen a kol. 2003).

**Distribuce kořene v půdě a 95% kořenové hloubky:** Znaky, udávající způsob, jakým je kořen distribuován v půdě. Dává informaci o míře a formě podzemní konkurence, dostupnosti živin apod. (Cornelissen a kol. 2003).

**Typ mykorhizy:** Udávající typ mykorhizy, např.: endomykorhiza (arbuskulární, erikoidní nebo orchideoidní), ektomykorhiza nebo popřípadě žádná (Cornelissen a kol. 2003).

### **3.4 Získávání živin podle složení půdy**

V dostupné literatuře se setkáváme s rozdílnými klasifikacemi druhů půd podle zrnitosti. V české literatuře se používá např. rozdělení podle Nováka na půdy těžké (jílovité), středně těžké (hlinité – složky písku, jílu a prachu jsou vzájemně zhruba v rovnováze) a lehké (tvoří je z největší části písek). Toto rozdělení souvisí se schopností půdy vázat a držet v sobě vodu. Jílovité půdy vodu drží dlouhou dobu, naopak písčité půdy rychle propouští vodu a při odběru stejně velkého vzorku jsou mnohem lehčí. V moderní ekologické literatuře se rozdělují půdní druhy na 3 kategorie podle zrnitosti: písčité, prachové a jílovité půdy (Gurevitch 2006, Ricklefs 2008). Z těchto kategorií jsem se rozhodl dále vycházet.

#### **3.4.1 Hlinité půdy**

Zemědělsky nejvýhodnější půdy tvoří hlinité půdy (loamy soils), vzniklé ze všech třech výše zmíněných složek v podobném poměru (Gurevitch 2006).

#### **3.4.2 Písčité půdy**

Písčité půdy jsou tvořeny z více než 50% pískem a toto z fyzikálního hlediska předurčuje jejich vlastnosti. Substrát je zde tvořen malými úlomky zhruba kulatého až krychlového tvaru (s přechody mezi těmito dvěma extrémy) a výsledkem jsou velké prostory mezi částicemi. Tyto prostory jsou příliš velké pro držení vody a hlavní síla, která se zde uplatňuje, je gravitace (Gurevitch 2006). Voda s živinami se rychle vyplachuje do podloží a tyto půdy jsou obvykle z tohoto důvodu chudší a často kyselejší. V podobném prostředí se

z hlediska stavby kořenového systému bude pravděpodobně častěji vyskytovat tzv. herringbone vzor (Fitter a Hay 1987).

### 3.4.3 Jílovité půdy

Tyto půdy jsou běžně označovány kvůli obrovské schopnosti vázat vodu jako půdy těžké. Tato vlastnost je dána především strukturou jílovitých částic. Ty jsou zpravidla menší než 0,002 mm (v zahraniční literatuře se uvádí i větší velikost 0,004-0,005 mm). Jejich tvar a minimální velikost je předurčuje k obrovské vazebné síle – mají silný negativní elektrochemický náboj a vodu a živiny tak proto velmi silně vážou. Jedná se zejména o kationty Ca, Mg, K, Na, H (Gurevitch 2006). Jílovité částice jsou tvořeny několika krystalovými plátky a to poměr jejich povrchu oproti objemu ještě zvětšuje – v půdě vystupují jako koloidy a vážou na svůj povrch jiné sloučeniny (Gurevitch 2006). Vzhledem k uvedeným faktům bude voda mnohem silněji držena, než v hlinitých půdách a bude zabírat mnohem více objemu. Udává se 50-60% vody v půdě oproti písku, kde bude voda tvořit asi 10% (Ricklefs 2008). Když k tomu přičteme srážení jílových částic s organickými, dojdeme k tomu, že jsou živiny pro rostliny příliš silně poutány v půdě (Ricklefs 2008). Struktura jílovité půdy je tvořena miniaturními póry, ve kterých je voda poutána mnohem silněji van der Waalsovými silami než gravitací a je stejně tak téměř nedostupná. Z toho pro rostliny vyplývá problém v podobě neschopnosti překonat vodní potenciál potřebný k získání živin a vody v těchto půdách (Ricklefs 2008). Živiny i voda jsou zde přítomné a dokonce se zde déle brání vyplavování, ale pro rostliny jsou nedostupné. Aby většina druhů prosperovala, pak je nutné, aby jíl byl smíchán s jinými složkami půdy, pokud uvedené druhy neumí samy zvyšovat osmotický potenciál svých kořenových buněk, např. syntézou složitých makromolekul v kořenových buňkách (Ricklefs 2008).

### 3.4.4 Výhřevnost půdy

Na závěr tohoto shrnutí základních vlastností půd podle jejich zrnitosti je ještě třeba zmínit jejich rozdílnou teplotu. Čím budou půdy lehčí (budou obsahovat větší množství písku), tím snadněji budou teplo získávat i ztrácet. Na jaře se rychleji ohřejí (čímž rostliny získají zpočátku náskok, vzápětí vykoupený rychlejším vysycháním) a na podzim se rychleji ochladí (Gurevitch 2006). Jílovité půdy pak budou oproti normálu reagovat opačně – na jaře rostliny budou pozdrženy ve vývoji, protože bude déle trvat, než se půda ohřeje. S tím bude pak mimo jiné spojeno i to, že se v nich budou déle držet lidmi používané chemikálie jako



pesticidy (Gurevitch 2006), které v těchto půdách budou mít mnohem déle vliv na zdejší vegetaci.

### **3.5 Architektura kořenového systému**

S poznatky o morfologii kořene se výzkumníci už od počátku studia kořenů setkávali s problémem nedostatku morfologických znaků, vzájemně odlišujících jednotlivé druhy rostlin. Namísto toho se výzkum stále více zaměřoval na topologické znaky kořenového systému, protože záhy začalo být jasné, že morfologie kořenového systému je dána jednak geneticky, ale v obrovské míře také chemicko-fyzikálním složením substrátu, v němž rostlina roste (Gregory 2006) a tudíž fenotypově plastickou odpovědí (Fitter 1991).

#### **3.5.1 Proč nás zajímá architektura a ne morfologie?**

V naprosté většině moderní literatury o kořenových systémech je věnován největší prostor architektonickým znakům (topologii) kořenů – tzn. tomu, jak se kořen větví, jak na sebe větve nasedají a jak jsou distribuované v substrátu (Gregory 2006). Zdůrazňuje se, že je třeba (spíše než zkoumat jednotlivé kořeny) vyhledávat obecněji platné zákonitosti, charakterizující celý kořenový systém, a nejen jeho části (Fitter a Hay 1987). Souvisí to celou řadou problémů a zvláště s tím, že pro pochopení komplexnějších ekologických vztahů (např. konkurence) je nutné znát poměr cen a výhod určitých strategií, které mohou kořenové systémy v půdě uplatňovat. Je zde nutné upozornit na to, že konkurence kořenů neprobíhá pouze mezi různými jedinci, ale konkurují si i kořeny jedince navzájem (Fitter a Hay 1987).

#### **3.5.2 Co ovlivňuje výslednou architekturu?**

Architektura kořenových systémů je v první řadě ovlivněna rozmístěním živin a dostupností vody v půdě. Může se stát, že některé živiny mohou mít obrovský vliv – např. při nedostatku fosforu v půdě může být celý kořenový systém mnohem mělčí (Gregory 2006). Velký vliv ale rozhodně mají genetické předpoklady, to je dobře vidět např. u *Lupinus* sp. s až 1,9 m dlouhým hlavní kořenem, nebo *Pisum* sp. s 0,63 m dlouhým hlavním kořenem (Gregory 2006). I nepříbuzné druhy rostlin může spojovat podobná vlastnost jejich kořenových systémů, např. to, že kořeny vyššího řádu rostou zpočátku spíše horizontálně a později (v nižších úrovních půdy) čím dál více vertikálně (Gregory 2006).

### 3.5.3 Dva extrémní typy větvení kořene

Prvním typem je tzv. herringbone vzor, do češtiny překládán jako vzor kostry ryby (herring je v češtině doslova sled). Tento typ je charakteristický pro kořeny zkoumající půdu (Fitter a Hay 1987) a jeho výhodou je určitá levnost jeho konstrukce pro rostlinu v porovnání s jeho dosahem. Pro jeho vývoj je totiž potřeba mnohem méně biomasy, než pro klasický větvený kořen. To je způsobeno zejména tím, že je zde pozastaveno boční větvení až do té chvíle, kdy kořen v chudší půdě narazí na živiny (Fitter a Hay 1987). Ve chvíli kdy se tak stane, začne se teprve kořen dichotomicky větvit, až může dojít i k úplnému potlačení růstu hlavního kořene (Fitter a Hay 1987).

Druhým extrémem je potom dichotomicky větvený vzor kořenového systému (anglicky označován dichotomic pattern). Tento druh architektury se vyplácí, pokud má rostlina k dispozici dostatek živin a objevuje se tedy tam, kde narazí kořen jedince na vyšší koncentraci živin v půdě, kterými byl do té doby limitován (Fitter a Hay 1987).

Občas se uvádí i čeledě, mající sklony k jednomu z extrémů (může to ale souviset s jejich evolučním vznikem v oblastech, kde jsou více živinami limitovány, nebo je těžší je z půdy získávat) – např. Polygonaceae, Chenopodiaceae (dnes součást Amaranthaceae) nebo právě Plantaginaceae mají větší sklony k herringbone vzoru kořenů, než např. Fabaceae nebo Caryophyllaceae, u nichž nacházíme častěji dichotomické větvení (Fitter a Hay 1987).

### 3.5.4 Efektivita změny strategie a evoluční význam

Za zmínku stojí i skutečnost, že míra efektivity změny těchto strategií se může lišit napříč ekologickými nároky určitých rostlin. Např. podle experimentu provedeného s *Agrostis stolonifera* a *Scirpus sylvaticus* bylo zjištěno, že při změně jejich obvyklých podmínek dokázal živiny čerpat mnohem efektivněji v bohatších půdách žijící *A. stolonifera* než *S. sylvaticus* (Crick a Grime 1987).

Abych to tedy shrnul z pohledu toho, co o rostlině její zanalyzovaný kořen vypovídá: klíčový je tedy trade-off mezi maximální účinností průzkumu půdy (exploration) a maximální účinností transportu živin do rostliny (Fitter a Hay 1987) – tento trade-off a jeho rozdílná povaha v konkrétních ekosystémech se zcela jistě uplatnily při evoluci kořenových systémů krytosemenných rostlin (Fitter 1987).

### 3.7 Problematika odběru a popisu kořenů

Současné metody se mohou zdát velmi náročné na čas a únavné, ale stále jsou méně náročné, než ostatní používané metody pro zkoumání kořenového systému (Smit a kol. 2000). Nepřekvapuje proto, že s ohledem na výše uvedené je stále vynakládáno více energie na hledání metod odběru kořenů, než na studium samotných kořenů (Harper a kol. 2010). Je tomu tak především z toho důvodu, že každý odběr je pevně svázán s problémem jak šetrně vymýt kořeny tak, aby nedošlo k jejich poškození či úplnému přetrhání. Objevuje se zde tedy kompromis mezi precizním zpracováním několika málo kořenů, nebo zpracování většího počtu vzorků (což je statisticky samozřejmě mnohem hodnotnější) na úkor kvality (zvláště pokud je výzkumník limitován časem).

Ke mnou zvolené metodice je nutno podotknout, že principiálně vychází z modelů architektury kořenového systému jako soustavy os (Smit a kol. 2000), kdy místa větvení (uzly) oddělují internodiální nevětvicí se linie. Tato představa kořene jako geometrického systému pak počítá s geometrickými veličinami, jako např. délka jednotlivých internodií, míra jejich větvení apod.

Zde se pak uvádí dva náhledy na daný model.

a) Prvním z nich je statistický pohled, analyzující různé vlastnosti kořenového systému. Např. se jedná o délku, směr růstu, ohyby, úhly větvení, míra větvení kořenů (Smit a kol. 2000). Výzkum těchto vlastností prováděl Henderson a kol. a došel k překvapivé pravidelnosti dat (Henderson a kol. 1983). Později své poznatky statisticky potvrdil na stochastickém modelu (Smit a kol. 2000).

b) Druhým pohledem je pak způsob nahlížení na kořenový systém jako na geometrický model z hydrologie, připomínající vodovodní síť. To samozřejmě s ohledem ke všem vlastnostem z toho vyplývajících (průtok, hustota sítě, způsob jejího větvení). To vše s ohledem na to, že vedení vody a minerálních látek je jednou z hlavních funkcí kořene jako rostlinného orgánu (Fitter a Hay 1987). Zde opět vystupuje do popředí soustava uzlových (větvicích) bodů a rovných internodiálních linií. Systém se pohybuje mezi dvěma extrémy (Fitter a Hay 1987): tzv. „herringbone“ vzor a dichotomicky větvený vzor.

Výše uvedené patterny (vzory) tedy platí spíše za vodítko než absolutní měřítko o podmínkách a zdrojích prostředí, kde konkrétní kořen roste (Smit a kol. 2000). Stejně tak

legitimní jsou samozřejmě oba zmíněné pohledy (statistický a hydrologický), které se vzájemně nevylučují, ale naopak doplňují. Lze je použít při srovnávání rostlin z podobného prostředí, kde se oba zmíněné vzory nejvíce vyskytují (viz ideální stav, kdy „herringbone“ vzor nacházíme na homogenních chudších půdách a dichotomicky větvený vzor na půdách bohatších). Stále je ale nutno mít na paměti, že v terénu nikdy nic není takto ideálně rozdělené a nedopouštět se proto opačného omylu, a to spoléhání se pouze na vytvořené modely.

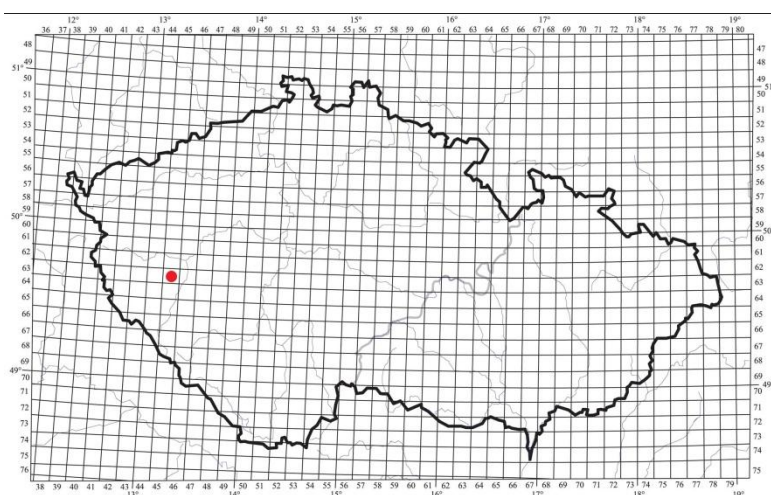
## 4. CHARAKTERISTIKA LOKALITY A OKOLÍ

### 4.1 Chlumčanská výsypka

Chlumčanská výsypka se nachází asi 3,5 kilometru od Chlumčan u Přeštic směrem na jihozápad v katastrálním území obce Chlumčany u Přeštic, okres Plzeň-Jih, cca 17 kilometrů jihozápadním směrem od Plzně. Lokalita se nachází na území výsypky, zbylé po těžbě kaolinu a písku (49°36'55.737"N, 13°16'27.179"E) poblíž chlumčanské keramičky.

Lokalita se nachází ve čtverci 6354d (Obr. 1) podle evropského botanického mapování metody KFME (<http://www.biolib.cz/cz/toolKFME/>):

Obrázek 1 - Pozice zvolené lokality v mapovacím čtverci 6354 podle KFME



### 4.2 Historie výsypky

Historie těžby kaolinu v okolí obce Chlumčan sahá až k roku 1873, kdy zde byl nalezen kaolin německým podnikatelem Gustavem Oberreitem při hledání uhlí, tehdy zásadní strategické suroviny (<http://www.kbi.zcu.cz/OG/index.php>). Z obou rybníků v okolí lokality se používala voda k vyplavování vytěženého jílu (<http://www.kbi.zcu.cz/OG/index.php>). Od té doby se na území začal kaolin těžit a těžba se stále zdokonalovala a modernizovala. Od roku 1912 zde působila akciová společnost Dobřanské kaolinové a šamotové závody, která produkovala cihly, písek, kaolin a šamot. Konečně od roku 1914 zde fungovala továrna na výrobu keramických dlaždic. V současné době v místě funguje závod Lasselsberger, s.r.o., Plzeň (<http://www.rako.cz/o-nas/historie-spolecnosti/historie-chkz.html>).

### 4.3 Geologická a geomorfologická charakteristika

Podle geologických podkladů se lokalita nachází na území neoproterozoických drob, prachovců a břidlic (zpevněné sedimentární horniny) z kralupsko-zbraslavské skupiny ([www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show\\_map.php](http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php)). Samotné ložisko tvoří bílé, světle šedé až žluté kaolinové arkózy a pískovce (<http://www.kbi.zcu.cz/OG/index.php>) a dále se na lokalitě nachází červeně zbarvené písky z období třetihor. Pro lokalitu typický kaolin vzniká zvětráváním a hydrotermálními pochody granitoidů, arkóz, rul a dalších živcem bohatých hornin (<http://www.geofond.cz/>).

Tato oblast regionálně spadá pod Barrandien a v rámci geologické soustavy do Českého masivu (krystalinikum a prevariské paleozoikum). Vlivem lidské činnosti se však geologické podloží na zvolené lokalitě řadí mezi antropogenní uloženiny nezpevněných sedimentů doplněných zpevněnými horninami slepencem, pískovcem, prachovcem, jílovcem a okrajově tufity ([http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show\\_map.php](http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php)).

Tato skutečnost se také projevuje na půdním charakteru zvolené lokality. Zdejší půda se dá obecně charakterizovat mozaikovitým uspořádáním hlinitých, písčitohlinitých, hlinitopísčitých, jílovitohlinitých a jílovitých druhů půd. Samozřejmě se na lokalitě vyskytují i extrémnější a méně obecně udávané půdní druhy – např. v místech s nejmenší vegetační pokrývností (jihovýchodní část lokality), odkud byly odebrány vzorky s minimální konkurencí, se vyskytovala kombinace jílu a písku s minimem hlíny.

### 4.4 Klimatické poměry

V okolí lokality se nacházejí průmyslovou činností vzniklé vodní plochy, zvláště pak v přiléhajícím kaolinovém dole a dále dva rybníky. Větší Utopený rybník je většinu roku ve vypuštěném stavu a dále se zde nachází o něco dále směrem na východ rybník Šavlice. Oba rybníky propojuje Suchanovský potok, pramenící v Přešticích-Zastávce.

Podle klimatologického členění území České republiky se zvolená lokalita nachází na území oblasti MT11. Oblast je typická 40-50 letními dny, průměrnými červencovými teplotami 17-18 °C, spíše průměrnými srážkami ve vegetačním období (350-400mm) a průměrným počtem jasných dnů (120-150) v porovnání s průměrnými hodnotami na území České republiky (<http://www.ovocnarska-unie.cz/>). Z klimatologických hodnot pro jednotlivé oblasti je jasné, že z mírně teplé podoblasti (MT1-MT11) je MT11 nejteplejší a nejsušší.

Uvedené rozdělení vychází z regionalizace území Československa do jednotlivých klimatologických oblastí, provedené v osmdesátých letech českým geografem a klimatologem Evženem Quittem (Quitt 1971). V ní se užívá 14 klimatologických charakteristik jako je např. počet mrazových dnů, průměrné lednové, červencové a říjnové teploty a srážkové průměry.

Na tomto místě se je nutné zmínit o neobvyklém průběhu léta (zvláště pak července) 2013. Počasí bylo typické dlouhými obdobími (několika týdnů) sucha beze srážek a denní teploty téměř po celou dobu přesahovaly 30°C. To mělo velký vliv na odběr a kvalitu vzorků.

#### 4.5 Vegetační kryt

Na lokalitě a v její těsné blízkosti se vyskytuje svaz *Dauco carotae-Melilotion*, což je poměrně bohatý svaz s převážně xerofilními a termofilními druhy. Svaz je častý na antropogenní činností ovlivněných stanovištích, podél silnic a železnic a na navážkách. Pro tento svaz jsou typické diagnostické druhy *Artemisia vulgaris*, *Echinops sphaerocephalus* (na lokalitě nenalezen), *Melilotus albus*, *Solidago canadensis* a *Tanacetum vulgare*, doprovázené *Achillea millefolium*, *Cirsium arvense*, *Elytrigia repens*, *Daucus carota* a *Poa compressa* (<http://flora.upol.cz>).

Dalšími druhy na lokalitě byly *Prunella vulgaris*, *Deschampsia cespitosa*, *Centaureum erythraea*, *Calamagrostis epigejos*, *Hieracium pilosella*, *Salix caprea*, *Trifolium hybridum*, *Lotus corniculatus*, *Poa annua* a *Stachys sylvatica*.

#### 4.6 Popis modelového druhu

*Plantago lanceolata* je trsnatá vytrvalá bylina vyskytující se převážně na vlhkých a hlubších hlinitých až hlinitopísčitých půdách. Je nápadná krátkým větveným oddenkem a listy v přízemní růžici, které mohou být poléhavé až vystoupavé. Po odkvětu se stvoly nápadně prodlužují (Slavík 2000). Existuje mnoho variet, z nichž mnohé jsou popsány jako poddruhy. *Plantago l.* patří mezi naše nejhojnější druhy a je řazen mezi 12 nejúspěšnějších kolonizátorů (Grime a kol. 2007). Rostlina je často známá jako plevel a je hojně využívána pro farmaceutické účely (Slavík 2000).

## 5. METODIKA

### 5.1 Výběr a charakteristika plochy

Nejdříve bylo nutno zvolit lokalitu výskytu zvolené rostliny *Plantago lanceolata*, která by vyhovovala potřebě nejen změřit funkční znaky, ale i jejich srovnání ve dvou odlišných částech podle pokryvnosti okolních rostlin. Okolí chlumčanské výsypky toto umožňuje vzhledem k značné mozaikovitosti zdejších půdních podmínek a náročnosti požadavků, kladených na místní rostliny. Lokalita byla rozdělena do dvou částí podle míry pokryvnosti vegetace. Na lokalitě můžeme pozorovat přechod od osamocených, žádnou jinou vegetací neobklopených *P. lanceolata*, až po vysokou (až 90%) hustotu okolní vegetace. Existuje zde nárůst pokryvnosti v severozápadním směru, kdy v jihovýchodní části lokality nacházíme nejholejší místa (nejmenší konkurence ze strany okolních rostlin, protože kromě odebíraných vzorků zde téměř žádné jiné nerostou) a severozápadním směrem jsou postupně rostliny *Plantago lanceolata* nejvíce zapojené v okolní vegetaci. Při výběru metody bylo tedy přihlédnuto k základním pravidlům rozdělení vzorků z lokality na základě její heterogenity (Begon a kol. 2010) a nemohlo proto dojít k deformaci výsledků z důvodu výběru vzorků ve špatném poměru s ohledem na výše zmíněný přechod a s ním související změny v konkurenci a dalším faktorům. Dalším kritériem tohoto rozdělení je předpoklad, že rostliny z obou částí lokality se budou ve funkčních znacích nápadně lišit s ohledem na míru konkurence, zdroje vody a živin a jejich přístupnost a složení substrátu, ve kterém rostou. Dohromady jsem vybral 17 rostlin pro srovnávání. Sedm z nich pocházelo ze zarostlé části a 10 z holé části lokality.

### 5.2 Odběr a vymývání kořenů

Po výběru byla plocha vytyčena drátem (čtverec o straně 20 cm, uprostřed něhož se nachází samotná rostlina) a vyfotografována. Následně byl proveden odhad pokryvnosti vegetace vytyčené plochy a pak byla plocha podél stran odkopána rýčem do hloubky 20 cm (Cornelissen a kol. 2003). Výsledkem byl tedy monolit o rozměrech 20 × 20 × 20 cm (ideálně tedy krychle, vzhledem k různorodému substrátu se ale často odebraný monolit z velké části při odběru rozsypal), který byl okamžitě vložen do plastového pytle a odvezen z lokality.

Při této metodě však narážíme na první problém a ten spočívá ve složení a struktuře substrátu, ze kterého monolit odebíráme. Rostliny z nezapojených míst se nacházejí v



poměrně písčité půdě (přechod od písčitohlinité přes hlinitopísčitou až po písčitou s příměsí jílu) a při odběru se tedy o značnou část monolitu přijde rozdrobením. Přitom samozřejmě hrozí mechanické poškození kořenů a tato skutečnost pravděpodobně ovlivní alespoň zčásti naměřené hodnoty. Dalším extrémem (hlavně v zapojené části) je pak přítomnost vodou zpevněného jílu, vodou těžko rozpustného a v konečném důsledku i přes maximální pečlivost odběru kořeny poškozujícího při následném vymývání. Ideální stav mezi těmito extrémy samozřejmě neexistuje, ale nejbližší mu byl výskyt *P. lanceolata* na substrátu alespoň z poloviny tvořeném zeminou nebo pískem (hlinitá, písčitohlinitá a hlinitopísčitá půda) bez přítomnosti jílu, kdy při vymývání nedocházelo nutně k poškozování kořenů.

Po vykopání monolitu byl nutný přístup k vodě, kde následně mohlo probíhat vymývání. Vzhledem ke struktuře a fyzikálním vlastnostem kořenů (zvláště těch druhého řádu a zvláště pak těch živých) musí při vymývání docházet logicky i k jejich poškození. Toto ohrožení lze snížit na minimum, pokud budeme pracovat jemně a pomalu, ale práce je pak extrémně časově náročná. Je přitom nutné pracovat už od začátku opatrně, protože většina živých a křehkých kořenů se nachází spíše dále od středu povrchové části monolitu (kde se nachází stonek rostliny). Monolit je tedy ponořen do vody a pomalu jemným masírováním kořenů prsty zespoda vymýván. Méně náročné je pak na první pohled vymývání kořenů z písčitých substrátů, ale zde je zároveň nutná zvýšená pozornost, aby nedocházelo k výše zmíněnému trhání kořenů. Nejdelsí čas je pak nutno věnovat kořenům slepeným jílem (který je problém vodou rozpustit), protože je extrémně těžké ho vymýt bez jejich poškození.

### **5.3 Postup při měření funkčních a architektonických vlastností**

Po vymytí byly změřeny jednotlivé parametry. Zaznamenával jsem rozměry oddenku a to jak jeho celkovou délku, tak šířku v dolní a šířku v horní části. Dále byl změřen dosah hlavního kořene, průměrná výška kvetoucích stvolů, počet kvetoucích stvolů a průměrná délka listů. Poté došlo k oddělení kořene od nadzemní části a jeho vyfotografování s měřítkem. Všechny tyto hodnoty byly zapisovány do tabulky č. 1, která je v příloze této práce. Poté byly odděleny listy, rozprostřeny na průhlednou fólii a oskenovány za účelem zjištění celkové listové plochy a následného výpočtu SLA (Cornelissen a kol. 2003). Dalším krokem pak bylo spočítání kořenů prvního řádu a jejich rozdělení na kořeny, rostoucí z oddenku a na kořeny, rostoucí z hlavního kořene. Všechny 3 hodnoty byly zaznamenány do tabulky. Z hlavního kořene bylo pak náhodně vybráno 5 kořenů druhého řádu. Tyto kořeny byly

rozprostřeny pomocí preparační jehly a pinzety na průhledné fólii a naskenovány. Příklady naskenovaných kořenů lze najít v příloze. Tyto fotografie byly následně zpracovány pomocí programu RootArch a byly tak zjištěny architektonické hodnoty jednotlivých kořenů vyššího řádu. Při skenování vzorků 5, 6, 7 a 8 však došlo k chybnému naskenování a přesvětlení fotografií, díky čemuž nemohlo být následně provedeno zpracování pomocí RootArchu. Architektura kořenových systémů byla tedy zpracována jen pro vzorky 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 a 17.

Pro měření hmotnosti kořene a nadzemních částí byly následně veškeré části uskladněny a usušeny pro zvážení, z jehož výsledků se dále počítá SLA, což je zkratka vyjadřující tzv. *specific leaf area* (Cornelissen a kol. 2003).

### 5.3.1 Měření konkrétních znaků

**Počet kvetoucích stvolů:** Rostliny z obou částí lokality vykazovaly velkou variabilitu v počtu kvetoucích stvolů. Ty byly spočítány a zaznamenány.

**Průměrná délka kvetoucích stvolů:** Byla změřena délka kvetoucích stvolů a následně z ní vypočten aritmetický průměr. Stvolů byly odděleny od oddenku a následně změřeny.

**Listová plocha:** Listy byly odděleny a rozprostřeny na průhlednou fólii a černobíle oskenovány. Následně byla v programu Adobe PhotoShop spočítána plocha černých částí obrazu (listů) vůči bezbarevnému podkladu.

**Průměrná délka listů:** U každé rostliny byly odděleny listy a byl spočítán průměr jejich délky.

**Celková hmotnost listů:** Usušené listy byly přesně zváženy na digitálních vahách na katedře biologie na Západočeské univerzitě.

**Oddenek:** Měření oddenku začalo oddělením kořene a listů (oddělení nejen hlavního kořene, ale i kořenů vyrůstajících přímo z oddenku). Poté se měřila vzdálenost spodního okraje až k místu, kde z oddenku vyrůstají první listy. Pro lepší prostorovou představu se pak změřila šířka v dolní části a v horní části. Bylo tak činěno z toho důvodu, že velikost zvláště oddenkové části rostliny *P. lanceolata* je poměrně nevyzpytatelná z pouhého pohledu na nadzemní část rostliny a vykazuje obrovskou míru variability. Z tohoto důvodu je tedy

vhodné znát nejen její délku, ale i další rozměry. U vzorku číslo 5 se oddenek rozvětvil do 3 částí (z nichž každá byla jednotlivě změřena a uvedena ve výsledkové tabulce).

**Celkový dosah kořenového systému:** Ještě před oddělením oddenku je změřen dosah celého kořenového systému jako celku. Toto měření je podobné měření dosahu hlavního kořene, ale vzhledem k materiální povaze ostatních kořenů je toto měření poněkud nepřesnější (nikdy nelze mít přesnou představu jaký konkrétní tvar kořeny v půdě zaobíraly, zvláště vezmeme-li v úvahu, že půda není nikdy natolik homogenní, aby byly výsledkem ve všech směrech stejně vyvinuté kořeny). Celkový dosah je tedy stejný nebo větší, než dosah hlavního kořene.

**Dosah hlavního kořene:** Občas se u *P. lanceolata* hlavní kořen nevyvíjí a nahrazují ho kořeny vyššího řádu (Cavers a kol. 1980). Při mém měření to ale nebyl ani jeden případ a hlavní kořen byl vždy vyvinutý. Je vhodné zde zdůraznit, že nebyla měřena délka hlavního kořene (protože je zde jednak otázka, zda lze měření provádět s velkou přesností, protože hl. kořen byl vždy značně pokroucený, a pak i to, zda má vůbec nějakou větší výpovědní hodnotu – jeho tvar může pouze odrážet náhodně rozmístěné živiny v půdě, na které při svém vývoji narazí), ale jeho dosah, tzn. vzdálenost od půdního okraje k nejhlubšímu místu, kam hlavní kořen dosáhl.

**Počet kořenů prvního řádu:** Dalším měřeným znakem byl počet kořenů prvního řádu (v angličtině *first order branches*). V užším slova smyslu se jedná o první kořeny, větvcí se bokem od hlavního kořene. U *P. lanceolata* ale dochází k ovlivnění ze strany oddenku ve formě kořenů, které z něj vyrůstají. Byly proto sečteny všechny kořeny prvního řádu a následně byly rozděleny do dvou kategorií: kořenů 1. řádu vyrůstajících z hlavního kořene a pak kořenů 1. řádu, vyrůstajících z oddenku. Nutno dodat, že morfologicky se sice oba typy těchto kořenů rozlišují, pro rostlinu je ale jejich ekologická funkce pravděpodobně stejná.

### 5.3.2 Zpracování znaků jednotlivých kořenů pomocí programu RootArch

Program RootArch (Šmilauer, nepublikováno) vytvořil český botanik Petr Šmilauer, působící na Jihočeské univerzitě a zabývající se studiem kořenů. Po naskenování kořene je třeba v tomto programu kořen obkreslit, přičemž je třeba označovat body větvení, koncové body a body nevětvcí se, potřebné pouze pro přesnější zobrazení kořene. Program dokáže z výsledného obrázku následně vypočítat důležité parametry kořene, většinou už dříve

publikované v jiných pracích (Fitter 1991). Jedná se zejména o velikost (magnituda – počet kořenových špiček), celkovou délku kořene, počet vnějších a vnitřních spojů a především pak nově zavedený index DBI. Dichotomous branching index (DBI) udává na stupnici od 0 do 1 (hodnota se vždy pohybuje někde mezi) jak moc dichotomický nebo herringbone vzor kořen v zemi zaujímá (Šmilauerová a Šmilauer 2002). Na tom je názorně vidět, že oba Fitterem navrhované vzory jsou extrémní a skutečné kořeny se vždy nacházejí někde mezi nimi.

Vzhledem k tématu práce, lokalitě a její heterogenitě jsem se rozhodl jako hlavní část analýzy kořenových systémů vzorkových rostlin uvést architektonické znaky, související s tzv. DBI neboli dichotomous branching index (Šmilauerová a Šmilauer 2002), uvádějícím na stupnici 0-1 míru, s jakou kořen využívá jednu ze dvou základních strategií podle Fittera (Fitter a Hay 1987).

Architekturu jednotlivých kořenů jsem zpracovával pomocí programu RootArch (Šmilauer, nepublikováno). Napřed jsem oddělil 5 náhodně vybraných kořenů (nebyly vybírány podle nějakého určitého kritéria, aby tím nebyl výsledek manipulován – např. tím, že bych zvolil jen ty nejdelší nebo nejrozvětvenější) – dohromady bylo tedy zpracováno 85 jednotlivých kořenů (kvůli chybě při skenování bylo ale použito pro srovnání jen 65 kořenů). Kořen druhého řádu jsem potom od hlavního kořene oddělil žiletkou a rozložil na průhlednou fólii (kořen musí být rozložen tak, aby se jednotlivé větve nepřekrývaly) pomocí pinzety. Následně byl kořen naskenován ve formátu bitmap a uložen jako rastrový obrázek.

Tento obrázek jsem pak otevřel v programu RootArch a vytvořil na jeho podkladě pro každý kořen tzv. pathway, uloženou jako soubor se zkratkou pth. RootArch umí následně po obkreslení kořene vytvořit data např. o délce vnitřních a koncových článků, magnitudě, DBI a dalších parametrech.

## **6. VÝSLEDKY**

### **6.1 Výsledky naměřených hodnot funkčních vlastností**

#### **6.1.1 Pokryvnost**

Obě části lokality, podle kterých jsem zpracované rostliny rozdělval, se výrazně liší v pokryvnosti. U vzorků z méně zarostlé části lokality sahal rozptyl od téměř nulové okolní vegetace (10% pokryvnost, tvořená často pouze odebíraným vzorkem) k maximálním 35%. Poté následuje velká část přechodu do zapojeného porostu, kterou jsem neměřil. Ve výsledku tedy zapojená část porostu, z níž jsem odebral vzorky, dosahuje hodnot v rozmezí 55% (je zde tedy rozdíl alespoň 20% mezi pokryvností na nezarostlé části a na zarostlé části) až k maximálním 80% u vzorků 9, 12 a 13.

Díky těmto výsledkům se lze domnívat, že mezi rostlinami se mohou objevovat výraznější změny a adaptace na dvě různá prostředí, zvláště pak co se týče architektury kořenového systému.

#### **6.1.2 Celková hmotnost nadzemní části**

Vzorky z holých míst byly charakteristické nižší hmotností a menší variabilitou dat. Naopak rostliny ze zakrytých míst měly větší hmotnost nadzemní části (v průměru 1,60 g) oproti těm z holých míst (0,7 g). Variabilita byla u vzorků ze zarostlých míst poměrně velká.

#### **6.1.3 Celková hmotnost listů**

V holé části byla o něco menší variabilita dat a nižší průměrná hodnota hmotnosti (0,38 g) a v zarostlé byla vyšší variabilita dat i průměrná hmotnost (0,54 g).

#### **6.1.4 Počet kvetoucích stvolů**

Při podobné velikosti měly vzorky ze zarostlé části v průměru více kvetoucích stvolů (5,43), než ty z holé části (2,4).

#### **6.1.5 Průměrná délka kvetoucích stvolů**

V průměru byly kvetoucí stvolky rostlin z holejší části lokality nižší asi o 5 cm, než rostliny ze zarostlejší části lokality. 2. a 3. kvartil se u rostlin ze zarostlejší části nachází nad průměrem hodnot vzorků z holé části lokality.

### **6.1.6 Listová plocha**

Listová plocha byla v průměru větší u rostlin ze zarostlejší části lokality, v obou případech byl ale velký rozptyl hodnot.

### **6.1.7 Průměrná délka listů**

Zde je opět vyšší průměrná hodnota délky listů mezi vzorky ze zakrytější části lokality (asi o 40 mm) než těch z holé části. Ve druhé polovině grafu (zarostlá část) je ale velký rozptyl dat.

### **6.1.8 Oddenek**

Délka oddenku byla u vzorků ze zarostlejší části lokality průměrně větší (průměr okolo 15 mm oproti 11 mm z nezarostlé části). Rozptyl hodnot byl jen nevýrazně větší u vzorků ze zarostlé části. Největším a velmi neobvyklým byl oddenek u vzorku 9, nápadně převyšující ostatní oddenky. U vzorku 5 pak nastala zajímavá situace, kdy po vymytí bylo zjištěno, že se oddenek skládá z 3 srostlých částí. S ohledem na to, abych vzorek nezničil a data zbytečně nezmanipuloval, jsem ho neodděloval na jednotlivé části. Místo toho jsem zaznamenal všechny 3 hodnoty a při zpracování dat jsem použil jejich aritmetický průměr.

Výrazně nejmenší variabilita se objevila u dolní šířky oddenku v případě vzorků z méně vegetací zakryté části lokality. Naopak variabilita dolní šířky ze zakryté části byla jedna z nejvyšších z měřených hodnot oddenku vůbec. Dolní šířka oddenku byla opět v průměru vyšší u vzorků ze zarostlé části než u těch z méně zarostlé.

Poměrně zajímavé bylo zjištění, že horní šířka měla podobné průměrné hodnoty vzorků z obou částí lokality. Při zpracování dat s ohledem na jejich variabilitu a distribuci hodnot jsem zjistil, že rozměry ze zarostlejší části jsou mnohem variabilnější, jak je ostatně vidět z grafu.

### **6.1.9 Dosah hlavního kořene**

U dosahu hlavního kořene opět dosahuje vyšších průměrných hodnot skupina vzorků ze zarostlejší části lokality. Pokud vezmeme v úvahu distribuci dat v 2. a 3. kvartilu, uvidíme, že data ze zarostlejší části se liší o mnoho víc. I přesto je z grafu jasně vidět, že polovina hodnot (2. a 3. kvartil) ze zarostlé části lokality je nad průměrem všech hodnot z holé části.

#### **6.1.10 Kořeny 1. řádu a jejich distribuce na hlavním kořeni a na oddenku**

Co se týče počtu kořenů 1. řádu, byl ve variabilitě jejich počtu z obou částí lokality výrazný rozdíl. Počet kořenů 1. řádu byl mnohem variabilnější u holejší části a bylo jich průměrně o něco málo méně (ale rozhodně to není výrazné a bylo by třeba změřit to pro mnohem více vzorků).

Zajímavá byla naopak velice malá variabilita v počtu kořenů 1. řádu rostoucích na oddenku u vzorků z holé části. Zvláště pak zaujme jejich nižší průměrný počet, než kořenů 1. řádu rostoucích na oddenku u rostlin ze zakryté části.

Naopak na hlavním kořeni je průměrně více kořenů 1. řádu na holé části lokality, ale je opět otázkou, do jaké míry je toto statisticky signifikantní. Rozptyl naměřených hodnot u holé části je totiž obrovský vůči hodnotám ze zarostlé části lokality. Vzorky měly tedy na holejší části více kořenů 1. řádu na hlavním kořeni a méně kořenů 1. řádu na oddenku a na zarostlé části měli obou typů kořenů zhruba stejně i se stejným rozptylem naměřených hodnot.

#### **6.1.11 Celkový dosah kořene**

Celkový dosah kořene byl průměrně větší u holé části lokality než u té zarostlé. Je zde ale v obou případech obrovský rozptyl v naměřených hodnotách a lze se proto domnívat, že pro přesnější měření by bylo potřeba o mnoho více vzorků.

#### **6.1.12 Celková hmotnost kořene**

V průměru měly větší hmotnost kořenové systémy ze zakryté části lokality, kdy se jejich průměrná hmotnost pohybovala okolo 1,5 g oproti 0,5 g kořenových systémů z holé části lokality. Je nutno poznamenat, že variabilita dat byla v případě kořenů z holých míst mnohem nižší (sotva poloviční), než těch ze zakryté plochy.

#### **6.1.13 Poměr hmotnosti podzemní a nadzemní části (Root to shoot ratio – R : S ratio)**

Nižší hodnotu měly vzorky odebrané z holé části lokality s průměrnou hodnotou 0,75 a vzorky ze zakryté části lokality dosáhly průměrné hodnoty 1,34. Variabilita dat byla v případě vzorků z holejších míst nižší a v případě vzorků ze zarostlejší části byla obrovská.

#### **6.1.14 SLA**

Průměrná hodnota specifické listové plochy byla v obou případech stejná. Rozdílná byla ale variabilita. U vzorků z holé části byla obrovská a u vzorků ze zarostlé části měla výrazně užší rozptyl hodnot.

### **6.2 Výsledky analýzy architektury kořenového systému**

#### **6.2.1 Magnituda**

Magnituda (počet vnějších článků) se ukázala být v průměru větší u kořenů z holejší části lokality, ale je zde obrovský rozptyl dat. Méně patrný je u první skupiny dat z holé části, avšak data ze zakryté části byla variabilní extrémně, jak je z grafu patrné.

#### **6.2.2 Altitude – výška kořene**

Altitude (v běžné angličtině překládáno jako nadmořská výška) vyjadřuje v podstatě to, jak moc se větví kořen do délky místo do šířky. V průměru vedly dále kořeny v holejší části, ale nepříliš patrně. Rozptyl byl mnohem větší u kořenů ze zarostlé části.

#### **6.2.3 Délka vnějších článků**

Vnější články byly v průměru delší u rostlin v holé části lokality, ale rozdíl opět nebyl příliš výrazný. Zvláště pak když vezmeme v úvahu opět obrovský rozptyl dat v zarostlé části.

#### **6.2.4 DBI (Dichotomous branching index)**

DBI se projevilo průměrně nižší u kořenů z holejší části lokality, než u kořenů ze zarostlejší části. U obou je poměrně velká variabilita dat, ale rozdíl je patrný. Znamená to, že herringbone vzor se na lokalitě vyskytoval v průměru častěji na zarostlejší části lokality a dichotomicky větvený vzor na holé části.



## 7. DISKUZE

### 7.1 Funkční vlastnosti

Odlišnosti v **pokryvnosti** jsou popsány ve výsledkové části. Z výsledků vyplynulo, že rostliny rostoucí na holejších místech (jílovitopísčité půda) se v měřených znacích často v průměru odlišovaly od těch rostoucích v zarostlé části lokality (spíše hlinitá půda). V některých případech se jednalo o zřetelné rozdíly, jinde se vyskytoval obrovský rozptyl dat (zajímavé je, že byl téměř vždy vyšší v zapojené vegetaci).

Vyšší **průměrná délka kvetoucích stvolů** se v zarostlejší části dá zdůvodnit možností vyšší investice do reprodukčních orgánů, způsobenou lepší dostupností (nebo prostě jen dostupností) živin. Dynamika vyšších nadzemních částí je zdokumentována s ohledem na konkurenci o světlo, kdy histogram výšek rostlin lze použít k odhadu konkurence rostlin o světlo (McGill a kol. 2006). *P. lanceolata* ale vyšší stonek využívá spíše k reprodukci a navíc po vykvetení vyroste do délky (Slavík 2000).

Výsledky ukázaly, že průměrné hodnoty **SLA** se příliš nelišily. Lišila se ale míra jejich variability, kdy rostliny holé části měly obrovský rozptyl hodnot. Je zdokumentováno, že SLA u jedinců jednoho druhu se ale může i výrazně měnit (Wilson a kol. 1999). Dále může být SLA ovlivňováno i zastíněním (v tomto případě vlastními listy) a dostatkem živin (Wilson a kol. 1999). Výše uvedené faktory tak mohly mít na výsledek vliv.

V **dosahu hlavního kořene** docházelo opět k odlišnostem ve prospěch zarostlé části lokality. Průměrná délka hlavního kořene tam byla větší, i když variabilita byla v obou případech obrovská. Může to být způsobeno tím, že hlavní kořen z holejší části lokality po několika centimetrech půdy narazí na jílovou vrstvu, která po vyschnutí vytváří mechanicky neprostupnou bariéru. Ta i ve vlhkých dnech váže okolní vodu a živiny tak silně, že jsou pro rostliny stejně nedostupné (Gurevitch 2006). Navíc je zdokumentováno, že existují poměrně velké rozdíly mezi různými rostlinami *P. lanceolata* podle toho, kde rostou. Hloubka jejich kořenů se v literatuře např. liší až mezi 26 a 80 cm (Kotaňska 1970).

Na první pohled možná překvapuje nepříliš velký rozdíl v poměru **podzemní vůči nadzemní hmotnosti (root to shoot ratio)**, protože by se dalo očekávat, že na zarostlejší půdě bylo více živin a na holejší části musely rostliny více investovat do zásob v kořenech.

Ukazuje se ale, že samotná hmotnost rostliny je komplexní záležitost a že tento znak ukazuje více na stres v prostředí, než na konkrétní množství živin v půdě (Fitter a Hay 1987). Přesto se ale dá očekávat, že poměr hmotnosti podzemní části oproti nadzemní bude vyšší ve prospěch rostlin z více stresu vystavených stanovišť (Fitter a Hay 1987). Vzhledem k povaze lokality je třeba upozornit i na to, že i zarostlá část lokality se svými podmínkami vymyká např. typické louce a tak může být výsledná hodnota i výsledkem postupných pomalých změn v půdě, kdy naopak horší podmínky na holé části nejsou vystaveny přílišným změnám. Je totiž zdokumentováno, že tento poměr není pro rostliny fixní, ale má tendenci se měnit podle okolí rostliny a mluví se proto o tzv. funkčním ekvilibriu (Gregory 2006).

## 7.2 Architektonické znaky

**Magnituda** vyjadřuje pouze „velikost“ kořenového systému (počet externích článků), ale nenese informaci o tom, jakým způsobem se kořen v půdě větví a jaká je tedy jeho hlavní funkce (Fitter 1991). Větší magnitudu měly tedy kořeny z holé části (pouze nevýrazně), ale pro více informací o fungování konkrétního kořene je třeba dalších údajů. Těmi jsou především **altitude** (výrazně ve prospěch holé části) a celková délka externích článků (opět nevýrazně ve prospěch holé části). Zajímavé je, že altitude tedy vychází zhruba tak, jak se dalo podle její definice očekávat (Fitter 1991). Výsledky v holé části naznačují, že při stejné magnitudě se kořen méně větví. Znamená to, že by kořeny zaujímaly spíše herringbone vzor, který je výhodný především z hlediska průzkumu půdy (Šmilauerová a Šmilauer 2002).

Kořeny v holé části měly mírně delší **externí články** při obrovském rozptylu hodnot a nebylo to proto příliš výrazné. Delší externí články jsou spojeny s herringbone vzorem, protože při průzkumu půdy už nedochází na koncích k přílišnému větvení (Fitter a kol. 1991). To se v tomto případě sice nepotvrdilo, ale na vině může být více faktorů. Jednak se právě o delší a nevětvené články jemných koncových kořenů snadněji přijde při vymývání a pak i proto, že rostliny ze zarostlejší části byly pravděpodobně nuceny měnit často strategii v půdě podle obou výše zmíněných vzorů (Fitter a Hay 1987) a výsledná analýza dat tím mohla být do určité míry negativně ovlivněna.

Na první pohled se mohl zdát překvapivý výsledek **DBI (dichotomous branching index)**. Podle původního očekávání měly kořeny v holejší části lokality spíše fungovat jako průzkumníci a v zarostlejší části (kde mohlo být více živin) spíše jako transportní systémy (kořeny mají samozřejmě obě funkce, jedná se zde tedy o to, ke které ze strategií se spíše

budou přiklánět). Situace může ale být komplikovanější. Pokud má kořen nedostatek živin, využívá herringbone vzor (Fitter a Hay 1987), ale nemusí to být způsobeno pouze tímto nedostatkem. Např. při silnější konkurenci se dá narazit i na to, že kořeny spíše využívají herringbone vzor v živinami bohatším prostředí (Casper 1997). Je tomu tak pravděpodobně proto, že je na ně jednak vyvíjen konkurenční tlak ze strany okolních rostlin a také je to výhodné, protože při objevení nevyužitého rezervoáru živin dochází k absorpci živin kořeny vyššího řádu a transportační vzdálenost je tak menší (Fitter a kol. 1991). Obě skupiny vzorků na lokalitě měly hodnoty DBI v horní třetině (blíže hodnotě 1, tedy herringbone vzoru) a rostliny ze zarostlé části lokality měly vyšší DBI než ty z holé části. Na tomto případě lze tak opět demonstrovat skutečnost, že při výkladu podobných výsledků nelze přihlížet jen k letným tvrzením o nejčastějším výskytu těchto strategií, ale je třeba zohlednit i další aspekty této dynamiky (v tomto případě konkurenci v živinami bohatším substrátu).

## 8. ZÁVĚR

Základním cílem práce bylo nalézt funkční znaky rostlin, vhodné pro další výzkum. Proto byla vybrána lokalita s extrémními podmínkami, kde byl předpoklad velkých rozdílů ve vlastnostech rostlin. Rozdíly se projevily jak v hodnotách, tak ve variabilitě. V holé části lokality byly prokazatelně vyšší hodnoty dosahu kořenového systému a počet kořenů 1. řádu na hlavním kořeni. Na zarostlé části lokality byly prokazatelně vyšší hodnoty těchto vlastností: hmotnost kořene, dosah hlavního kořene, počet kořenů 1. řádu na oddenku, délka oddenku k prvním listům a DBI. Tyto znaky se jeví být dostatečně vypovídající o rozdílech mezi oběma částmi lokality a rostliny se v nich výrazněji odlišovaly.

Další vlastnosti měly i přes určité rozdíly velký rozptyl hodnot a pravděpodobně by pro jejich zkoumání bylo potřeba shromáždit více vzorků. Na holé části tak byly vyšší průměrné hodnoty magnitudy a altitude jednotlivých kořenů. Na zarostlé části měly oproti tomu vyšší hodnoty hmotnost listů, hmotnost nadzemní části, průměrná délka kvetoucích stvolů, průměrná délka listů, poměr hmotnosti podzemní a nadzemní části, počet kořenů 1. řádu (celkový) a dolní šířka oddenku. U těchto vlastností hrála určitou nezanedbatelnou roli variabilita, zajímavá zvláště když byla širší u jedné skupiny a užší u jiné.

To vše potvrzovalo původní hypotézu, že se budou rostliny rostoucí na rozdílných substrátech odlišovat ve svých funkčních znacích. Navíc se ukázalo, že dynamika těchto rozdílů je poměrně neintuitivní a složitější, než původní očekávání (viz např. DBI).

Závěrem se by se daly označit hmotnost kořene, počet kořenů 1. řádu na oddenku a také počet květenství za takové znaky, kterým by stálo za to věnovat větší pozornost v budoucnu. U dalších vlastností, jako např. SLA, hmotnost nadzemní části, poměr hmotnosti podzemní a nadzemní části nebo počtu kořenů 1. řádu by stálo za to získat více experimentálních dat. Zdá se totiž, že jejich výsledky naznačují určitou skrytou dynamiku na rozdílných substrátech.

## 9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Pozice zvolené lokality v mapovacím čtverci 6354 podle KFME .....	29
Obrázek 2 - Fotografie lokality .....	I
Obrázek 3 - Ukázka právě vykopaného monolitu .....	I
Obrázek 4 - Vzorek z holé části lokality.....	II
Obrázek 5 - Vzorek ze zarostlé části lokality .....	II
Obrázek 6 - Kořeny ve vodě před vymytím .....	III
Obrázek 7 - Vymytý kořen vzorku č. 1 .....	III
Obrázek 8 - Celková tabulka naměřených funkčních vlastností (1. část) .....	IV
Obrázek 9 - Celková tabulka naměřených funkčních vlastností (2. část) .....	V
Obrázek 10 - Celková tabulka naměřených funkčních vlastností (3. část) .....	VI
Obrázek 11 - Tabulka okolních druhů jednotlivých rostlin.....	VII
Obrázek 12 - Graf pokryvnosti.....	VIII
Obrázek 13 - Graf celkové hmotnosti listů .....	VIII
Obrázek 14 - Graf SLA [cm <sup>2</sup> /g] .....	IX
Obrázek 15 - Graf celkové hmotnosti nadzemní části [g] .....	IX
Obrázek 16 - Graf průměrné délky kvetoucích stvolů [mm] .....	X
Obrázek 17 - Graf průměrné délky listů [mm].....	X
Obrázek 18 - Graf poměru podzemní a nadzemní hmotnosti (R : S ratio) .....	XI
Obrázek 19 - Graf celkové hmotnosti kořene [g] .....	XI
Obrázek 20 - Graf celkového dosahu kořene [mm] .....	XII
Obrázek 21 - Graf dosahu hlavního kořene [mm] .....	XII
Obrázek 22 - Graf, srovnávající počet kořenů 1. řádu .....	XIII
Obrázek 23 - Graf, srovnávající rozměry oddenku [mm] .....	XIII
Obrázek 24 - Graf počtu kvetoucích stvolů .....	XIV
Obrázek 25 - Tabulka závěrečného srovnání funkčních vlastností a architektury kořenů.....	XIV
Obrázek 26 - Zpracovaný kořen v programu RootArch.....	XV
Obrázek 27 - Tabulka naměřených architektonických vlastností kořenů (1. část) .....	XV
Obrázek 28 - Tabulka naměřených architektonických vlastností kořenů (2. část) .....	XVI
Obrázek 29 - Graf magnitudy jednotlivých kořenů.....	XVII
Obrázek 30 - Graf altitude jednotlivých kořenů .....	XVII
Obrázek 31 - Graf, srovnávající DBI jednotlivých kořenů .....	XVIII
Obrázek 32 - Graf délky koncových článků jednotlivých kořenů.....	XVIII

## 10. SEZNAM LITERATURY

Al Haj Khaled, R., Duru, M., Theau, J.P., Plantureux, S. a Cruz, P. 2005. Variation in leaf traits through seasons and N-availability levels and its consequences for ranking grassland species. – *Journal of vegetation science* 16(4): 391-398.

Begon, M., Harper, J.L. a Townsend, C.R. 1997. Ekologie: jedinci, populace a společenstva. – *Vydavatelství Univerzity Palackého*, 949s. Olomouc.

Begon, M., Harper, J.L. a Townsend, C.R. 2010. Základy ekologie. – *Vydavatelství Univerzity Palackého*, 505s. Olomouc.

Casper, B.B. 1997. Plant competition underground. – *Annual review of ecology and systematics* 28(11): 545-570.

Cavers, P.B., Bassett, I.J. a Crompton, C.W. 1980. The biology of canadian weeds.: 47. *Plantago lanceolata* L. – *Canadian journal of plant science* 60(4): 1269-1282.

Cornelissen, J.H.C., Lavorel S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D.E., Reich, P.B., ter Steege, H., Morgan, H.D., van der Heijden, M.G.A., Pausas, J.G. a Poorter, H. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. – *Australian journal of botany* 51: 335-380.

Crick, J.C. a Grime, J.P. 1987. Morphological plasticity and mineral nutrient capture in two herbaceous species of contrasted ecology. – *New phytologist* 107(2): 403-414.

Fitter, A.H. a Hay, R.K.M. 1987. Environmental physiology of plants. – *Academic Press Inc.*, 423s. London.

Fitter, A.H. 1987. An architectural approach to the comparative ecology of plant root systems. – *New phytologist* 106(1): 61-77.

Fitter, A.H., Stickland, T.R., Harvey, M.L. and Wilson, G. W. 1991. Architectural analysis of plant root systems. 1. Architectural correlates of exploitation efficiency. – *New Phytologist* 118(3): 375-382.

- Fitter, A.H. 1991. Characteristics and functions of root systems. *In* Kafkafi, U., Waisel, Y. a Eshel, A. (ed.). *The hidden half.* – *Marcel Dekker, Inc.*,15-32. Basel. [Third edition]
- Garnier, E. a Navas, M.-L. 2012. A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. – *Agronomy for sustainable development* 32: 365-399.
- Gregory, P. 2006. *Plant roots: Growth, activity and interactions with the soil.* – *Blackwell Publishing Ltd.*, 328s. Oxford.
- Grime, J.P. 1998. Benefits of plant diversity to ecosystems: Immediate, filter and founder effects. – *Journal of ecology* 86(6): 902-910.
- Grime, J.P. 2006. Trait convergence and trait divergence in herbaceous plant communities: Mechanisms and consequences. – *Journal of vegetation science* 17(2): 255-260.
- Grime, J.P., Hodgson, J.G. a Hunt, R. 2007. *Comparative plant ecology.* – *Catlepoint Press*, 470-471s. Dalbeattie. [Second edition]
- Gurevitch, J., Scheiner, S.M. a Fox, G.A. 2006. *The ecology of plants.* – *Sinauer Associates*, 518s. Sunderland.
- Harpole, W. 2012. Neutral Theory of Species Diversity. – *Nature education knowledge* 3(10): 60. [Dostupné pouze online na www: <<http://www.nature.com>>]
- Henderson, R., Ford, E.D. a Renshaw, E. 1983. Morphology of the structural root system of sitka spruce 2. Computer simulation of rooting patterns. – *Forestry* 56(2): 137-153.
- Keddy, P.A. 1992. Assembly and response rules: Two goals for predictive community ecology. – *Journal of Vegetation Science* 3(2): 157-164.
- Kleidon, A. a Heimann, M. 1997. A method of determining rooting depth from a terrestrial biosphere model and its impacts on the global water and carbon cycle. – *Global change biology* 4(3): 275-286.
- Knevel, I.C., Bekker, R.M., Kunzmann, D., Stadler, M. a Thompson, K. (ed.) 2005. *The LEDA traitbase collecting and measuring standards of life-history traits of the northwest european flora.* – *LEDA traitbase project*, 124-133s. Groningen.

- Latzel, V., Allan, E., Bortolini Silveira, A., Colot, V., Fisher, M. a Bossdorf, O. 2013. Epigenetic diversity increases the productivity and stability of plant populations. – *Nature Communications* 4 [doi: 10.1038/ncomms3875]
- Lavorel, S., Díaz, S., Cornelissen, J.H.C., Garnier, E., Harrison, S.P., McIntyre, S., Pausas, J.G., Pérez-Harguindeguy, N., Roumet, C. a Urcelay, C. 2007. Plant functional types: Are we getting any closer to the holy grail? In Canadell, J.G., Pataki, D.E. a Pitelka, L.F. (ed.). *Terrestrial ecosystems in a changing world*. – *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 149-164. New York.
- McGill, B.J., Enquist, B.J., Weiher, E. a Westoby, M. 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. – *Trends in ecology & evolution* 21(4): 178-185.
- Moravec, J. a kol. 1994. *Fytocenologie*. – *Academia*, 404s. Praha.
- Pausas, J.G, Rusch, G. a Lepš, J. 2003. Plant functional types in relation to disturbance and land use – introduction. – *Journal of vegetation science* 14(3): 307-310.
- Quitt, E. 1971. *Klimatické oblasti Československa*. – *Academia*, 73s. Brno.
- Ricklefs, R.E. 2008. *Economy of nature*. – *W. H. Freeman and Company*, 700s. New York. [Sixth edition]
- Schellberg, J. a Pontes L. da S. 2012. Plant functional traits and nutrient gradients on grassland. – *Grass and forage science* 67(3): 305-319.
- Šmilauerová, M., a Šmilauer, P. 2002. Morphological responses of plant roots to heterogeneity of soil resources. – *New phytologist* 154(3): 703-715.
- Smit, A.L., Bengough, A.G., Engels, C., van Noordwijk, M., Pellerin, S. a van de Geijn, S.C. (ed.) 2000. *Root methods: A handbook*. – *Springer-Verlag*, 587s. Heidelberg.
- Slavík, B. (Ed.) 2000: *Květena ČR*. – *Academia*, 770s. Praha. [Díl 6]
- Suding, K.N., Lavorel, S., Chapin III, F.S., Cornellisen, J.H.C, Díaz, S., Garnier, E., Goldberg, D., Hooper, D.U., Jackson S.T. a Navas, M.-L. 2008. Scaling environmental change through the community-level: A trait-based response-and-effect framework for plants. – *Global change ecology* 14(5): 1125-1140.



Violle, C., Navas, M.-L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I. a Garnier, E. 2007. Let the concept of trait be functional!. – *Oikos* 116(5): 882-892.

Weiher, E., van der Werf, A., Thompson, K., Roderick, M., Garnier, E. a Eriksson, O. 1999. Challenging Theophrastus: A common core list of plant traits for functional ecology. – *Journal of vegetation science* 10(5): 609-620.

Westoby, M. a Wright, I.J. 2006. Land-plant ecology on the basis of functional traits. – *Trends in ecology & evolution* 21(5): 261-268.

### **Internetové zdroje:**

BioLib. [online]. 2014 [citováno dne 16. 3. 2014]. Dostupné z www: <<http://www.biolib.cz/>>

Česká geologická služba. [online]. 2014 [citováno dne 16. 3. 2014]. Dostupné z www: <[http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show\\_map.php](http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php)>

Geologická služba – geofond. [online]. 2014 [citováno dne 16.3. 2014]. Dostupné z www: <[http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur\\_rocenky/rocenkanerudy99/html/kaolin.html](http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur_rocenky/rocenkanerudy99/html/kaolin.html)>

Oddělení geověd FPE ZČU v Plzni. [online]. 2014 [citováno dne 16. 3. 2014]. Dostupné z www: <[http:// http://www.kbi.zcu.cz/OG/index.php/](http://http://www.kbi.zcu.cz/OG/index.php/)>

Portál české flóry. [online]. 2014 [citováno dne 17. 3. 2014]. Dostupné z www: <<http://flora.upol.cz>>

RAKO. [online]. 2014 [citováno dne 16. 3. 2014]. Dostupné z www: <<http://www.rako.cz/onas/historie-spolecnosti/historie-chkz.html>>

Svaz pro integrované systémy pěstování ovoce, Holovousy. [online]. 2014 [citováno dne 16. 3. 2014]. Dostupné z www: <<http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa>>

## 11. RESUMÉ

This bachelor thesis deals with functional traits and architectural analysis of 17 *Plantago lanceolata* plants. Specimens were excavated on a locality near Chlumčany u Přeštic nearby an old clay mine about 17 km southwest of Pilsen. The main focus of research was comparison of plants growing in bare soil and plants growing in dense vegetation. A total of 16 functional and 4 architectural characteristics were measured. The hypothesis was that plants from both groups would differ in functional traits and root system architecture depending on differences between both parts of the locality. Results showed that they differed in some traits significantly (root mass, main root length, dichotomous branching index), while other insignificant differences were also recorded (R : S ratio or total number of first order roots). Architectural differences were also recorded in DBI, magnitude, altitude and external path length of individual roots. Significance of selected functional traits was discussed.

## 12. PŘÍLOHY

Obrázek 2 - Fotografie lokality



Obrázek 3 - Ukázka právě vykopaného monolitu



**Obrázek 4 - Vzorek z holé části lokality**



**Obrázek 5 - Vzorek ze zarostlé části lokality**



Obrázek 6 - Kořeny ve vodě před vymytím



Obrázek 7 - Vymytý kořen vzorku č. 1



Obrázek 8 - Celková tabulka naměřených funkčních vlastností (1. část)

Celková tabulka hodnot naměřených funkčních znaků		* Z = zarostlá část			
	Pokryvnost [%]	Oddenek - odspodu k 1. listům [mm]	Oddenek - dole šířka [mm]	Oddenek - nahoře šířka [mm]	Dosah hl. kořene [mm]
Vzorek 1	15%	14	6	11	80
Vzorek 2	35%	14	5	6	60
Vzorek 3	30%	19	16	15	105
Vzorek 4	25%	9	4	8	26
Vzorek 5 (Z)	55%	13,3	7	8	85
Vzorek 6 (Z)	70%	15	6	12	114
Vzorek 7	10%	7	5	10	60
Vzorek 8	15%	20	6	21	140
Vzorek 9 (Z)	80%	25	25	30	135
Vzorek 10 (Z)	75%	5	6	8	120
Vzorek 11 (Z)	70%	13	5	7	65
Vzorek 12 (Z)	80%	15	5	8	140
Vzorek 13 (Z)	80%	20	9	7	125
Vzorek 14	25%	10	5	19	100
Vzorek 15	30%	8	8	11	45
Vzorek 16	15%	6	4	7	104
Vzorek 17	10%	6	5	7	70
		*vzorek 5			
		15,12,13	7,7,6	8,8,7	

Obrázek 9 - Celková tabulka naměřených funkčních vlastností (2. část)

	Kořeny 1. řádu	- Z toho na oddenku	- Z toho nahl. kořenu	Celkový dosah kořene [mm]	Celková hmotnost kořene [g]	Celková hmotnost nadzemní č. [g]
Vzorek 1	30	7	23	127	0,35	
Vzorek 2	61	11	50	190	0,7	0,95
Vzorek 3	89	22	67	200	1,54	1,56
Vzorek 4	37	2	35	230	0,4	0,35
Vzorek 5 (Z)	59	23	36	130	2,75	3,65
Vzorek 6 (Z)	47	26	21	190	1,43	3,05
Vzorek 7	33	18	15	180	0,46	0,73
Vzorek 8	29	6	23	145	0,5	1,48
Vzorek 9 (Z)	61	35	26	135	2,38	1,95
Vzorek 10 (Z)	53	29	23	120	2,34	0,94
Vzorek 11 (Z)	29	11	18	100	0,63	0,49
Vzorek 12 (Z)	31	17	14	225	0,88	0,7
Vzorek 13 (Z)	38	19	17	125	0,83	0,44
Vzorek 14	25	11	14	160	0,34	0,47
Vzorek 15	24	7	17	180	0,37	0,55
Vzorek 16	49	16	33	104	0,32	0,29
Vzorek 17	27	19	8	150	0,26	0,61

>

Obrázek 10 - Celková tabulka naměřených funkčních vlastností (3. část)

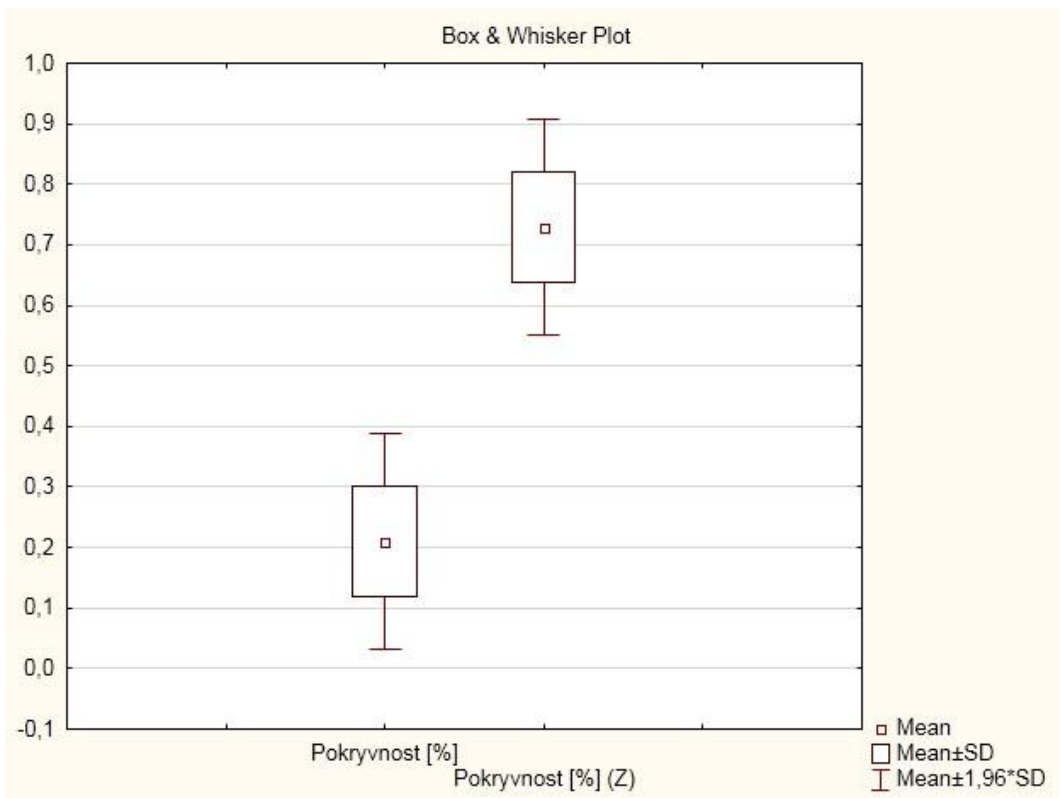
	Celková váha listů [g]	RS ratio	Kvetoucí stvoly - počet	Kvetoucí stvoly - průměrná délka [mm]	List - plocha [cm <sup>2</sup> ]	SLA	List - průměrná délka [mm]
Vzorek 1	0,44		1	110	30,78108517	69,95701175	50
Vzorek 2	0,55	0,74	2	240	130,573573	237,4064964	95
Vzorek 3	1,07	0,98	4	240	198,892289	185,8806439	110
Vzorek 4	0,14	1,14	1	260	47,93976041	342,4268601	70
Vzorek 5 (Z)	0,65	0,75	13	280	103,8607234	159,7857284	130
Vzorek 6 (Z)	1,46	0,47	4	300	184,0339675	126,0506627	140
Vzorek 7	0,4	0,63	2	270	37,83540793	94,58851982	120
Vzorek 8	0,36	0,34	3	290	37,56953033	104,3598065	80
Vzorek 9 (Z)	0,68	1,22	4	300	128,2142946	188,5504333	120
Vzorek 10 (Z)	0,32	2,49	7	240	45,23223896	141,3507468	140
Vzorek 11 (Z)	0,2	1,29	7	200	36,76587603	183,8293801	120
Vzorek 12 (Z)	0,26	1,26	2	250	55,11515819	211,9813777	150
Vzorek 13 (Z)	0,2	1,89	1	390	26,97055518	134,8527759	17
Vzorek 14	0,25	0,72	2	225	29,50553218	118,0221287	75
Vzorek 15	0,16	0,67	3	200	25,71815626	160,7384767	60
Vzorek 16	0,22	1,102	2	175	29,08323912	132,1965414	55
Vzorek 17	0,2	0,43	4	160	26,12016263	130,6008131	35



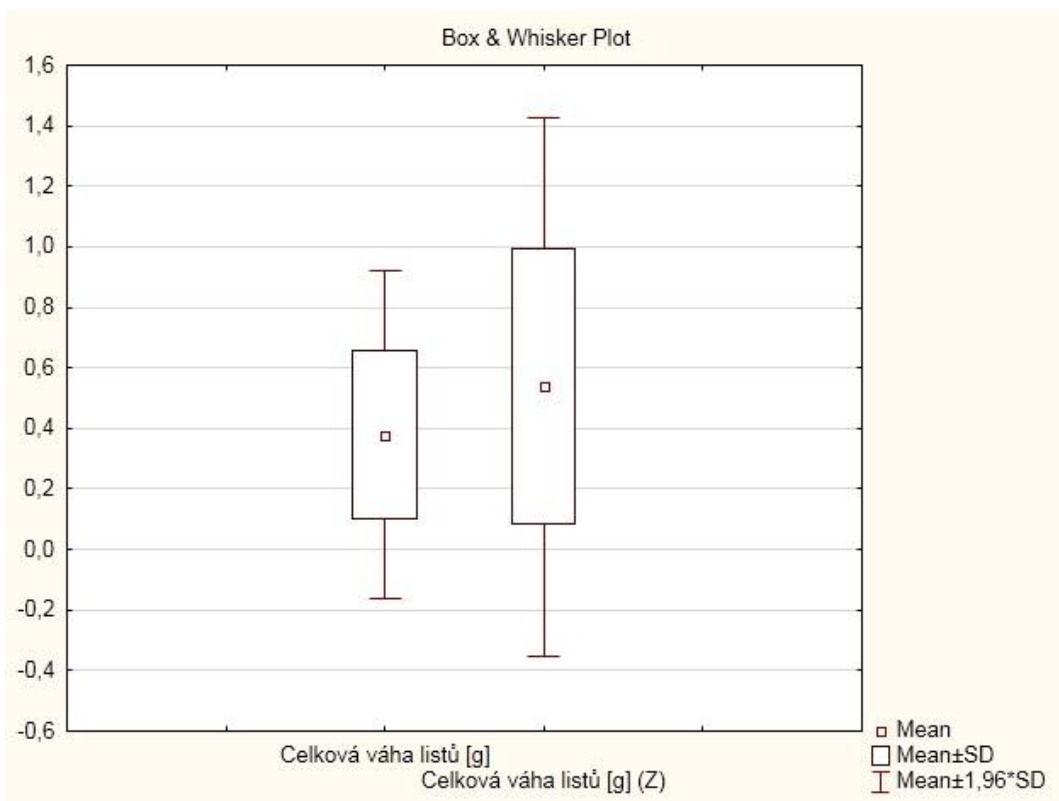
Obrázek 11 - Tabulka okolních druhů jednotlivých rostlin

	Okolní rostliny
Vzorek 1	<i>Prunella vulgaris</i> (3x), <i>Deschampsia cespitosa</i> (4x), <i>Centaurium erythraea</i>
Vzorek 2	<i>Juncus effusus</i> , <i>Centaurium erythraea</i> , <i>Tanacetum vulgare</i> , <i>Plantago lanceolata</i> (3x), <i>Calamagrostis epigejos</i>
Vzorek 3	<i>Calamagrostis epigejos</i>
Vzorek 4	<i>Hieracium pilosella</i> (2x)
Vzorek 5 (Z)	<i>Tanacetum vulgare</i> , <i>Trifolium hybridum</i> , <i>Centaurium erythraea</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Lotus corniculatus</i> , <i>Calamagrostis epigejos</i>
Vzorek 6 (Z)	<i>Centaurium erythraea</i> , <i>Calamagrostis epigejos</i> , <i>Poa annua</i> , <i>Lotus corniculatus</i>
Vzorek 7	
Vzorek 8	<i>Hieracium pilosella</i>
Vzorek 9 (Z)	<i>Daucus carota</i> , <i>Lotus corniculatus</i> (2x), <i>Trifolium pratense</i> (2x), <i>Tanacetum vulgare</i> (2x)
Vzorek 10 (Z)	<i>Achillea millefolium</i> , <i>Trifolium pratense</i> (6x), <i>Melilotus albus</i> , <i>Hieracium pilosella</i> , <i>Lotus corniculatus</i> , <i>Calamagrostis epigejos</i>
Vzorek 11 (Z)	<i>Calamagrostis epigejos</i> , <i>Hieracium pilosella</i> , <i>Trifolium pratense</i> (3x), <i>Plantago lanceolata</i> (2x)
Vzorek 12 (Z)	<i>Lotus corniculatus</i> (3x), <i>Plantago lanceolata</i> (4x), <i>Calamagrostis epigejos</i>
Vzorek 13 (Z)	<i>Stachys sylvatica</i> , <i>Salix caprea</i> , <i>Hieracium pilosella</i> , <i>Trifolium pratense</i> (4x), <i>Calamagrostis epigejos</i> , <i>Plantago lanceolata</i>
Vzorek 14	<i>Hieracium pilosella</i> , <i>Calamagrostis epigejos</i> , <i>Lotus corniculatus</i>
Vzorek 15	<i>Tanacetum vulgare</i> , <i>Plantago lanceolata</i> , <i>Calamagrostis epigejos</i> , <i>Salix caprea</i>
Vzorek 16	
Vzorek 17	

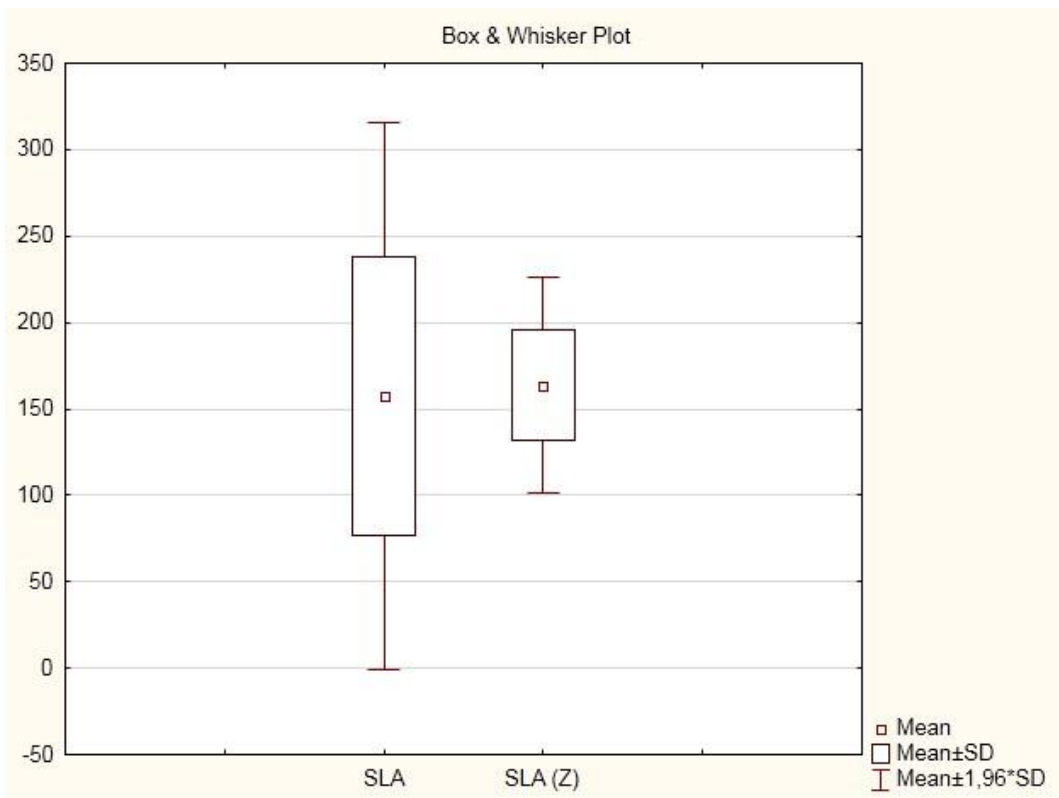
Obrázek 12 - Graf pokryvnosti



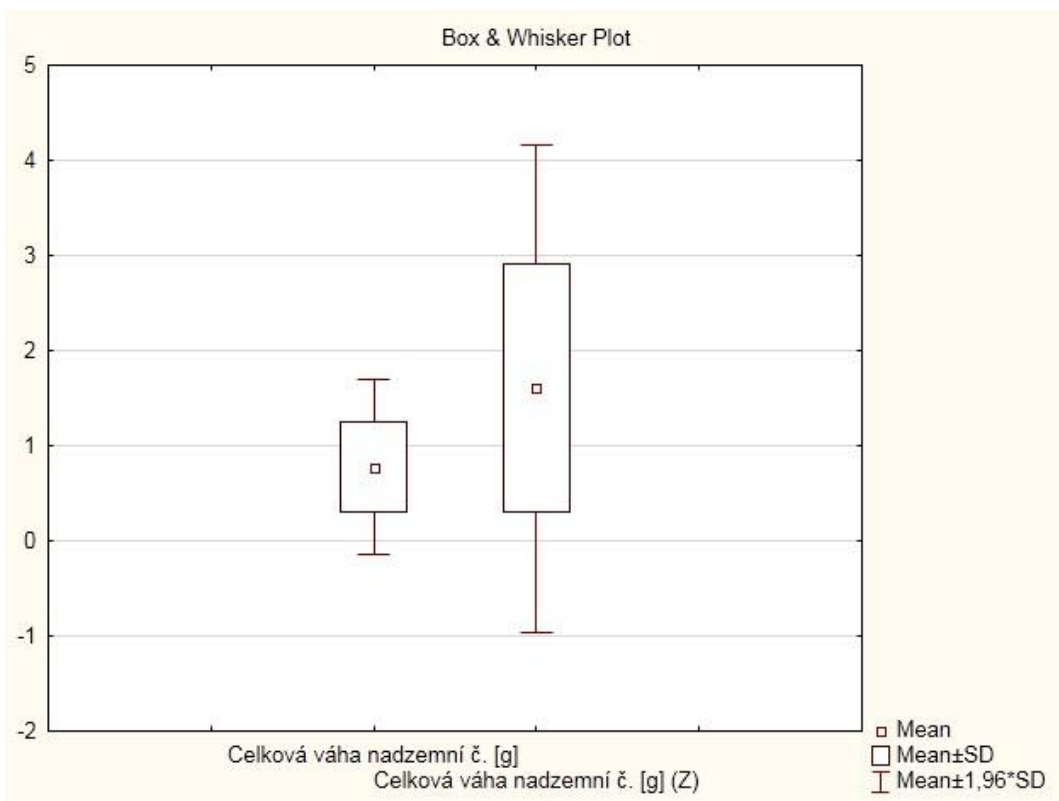
Obrázek 13 - Graf celkové hmotnosti listů



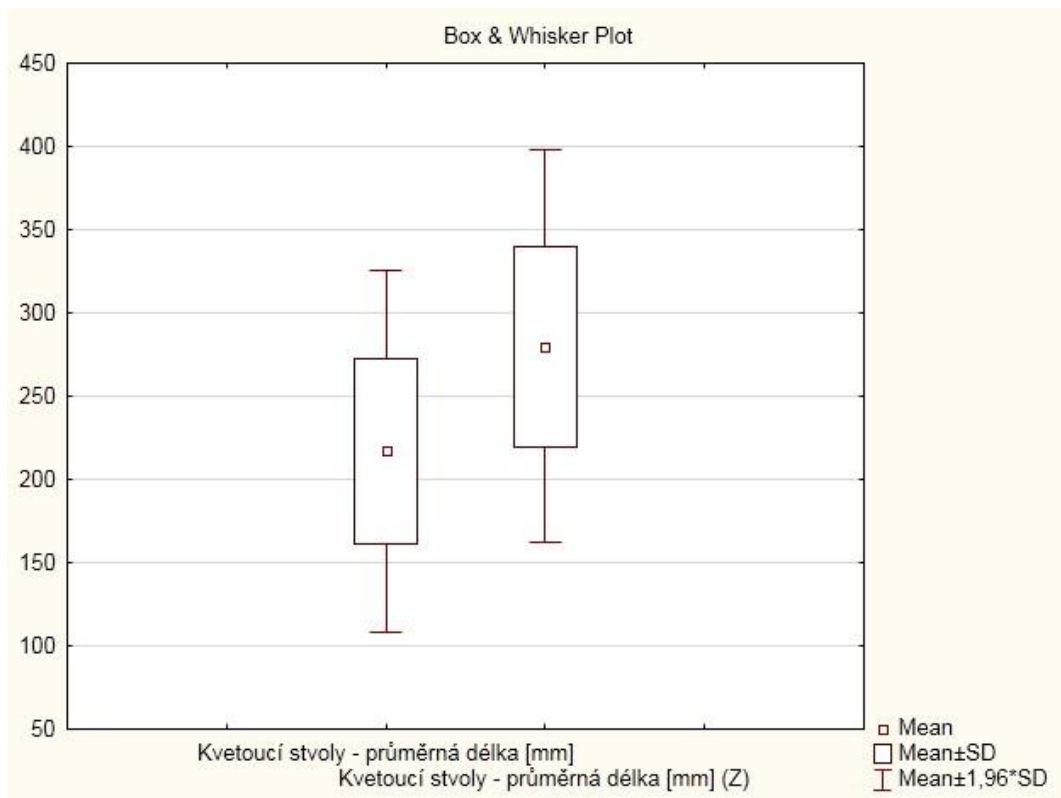
Obrázek 14 - Graf SLA [cm<sup>3</sup>/g]



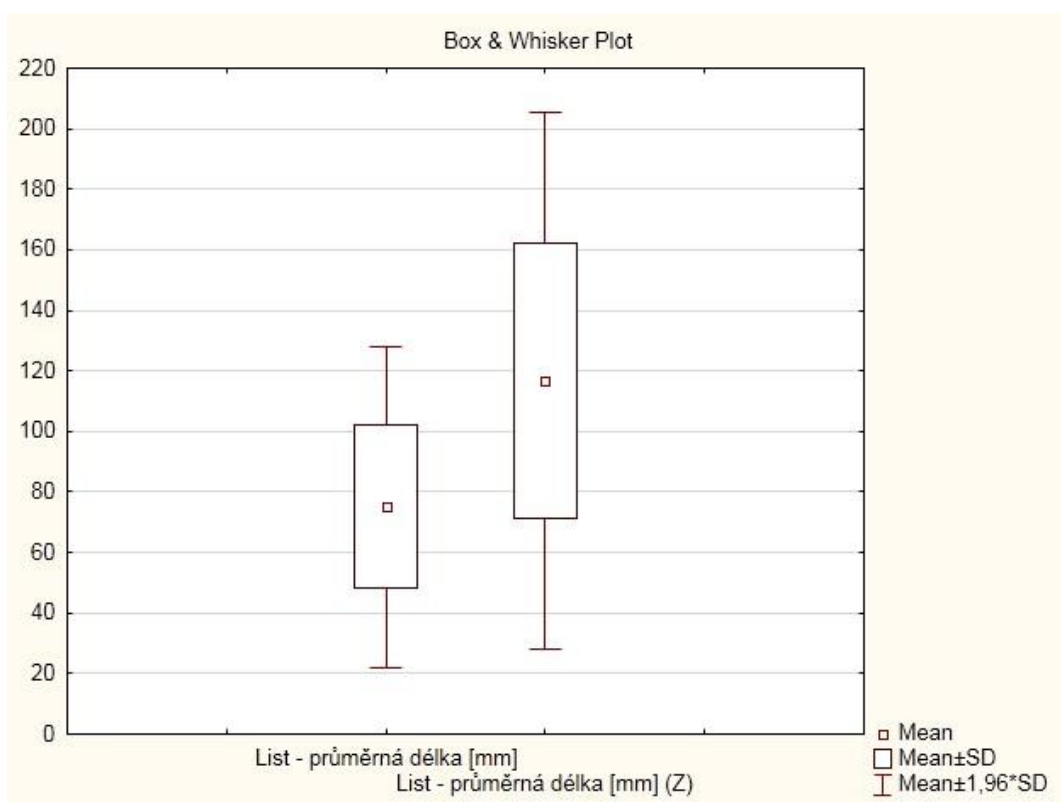
Obrázek 15 - Graf celkové hmotnosti nadzemní části [g]



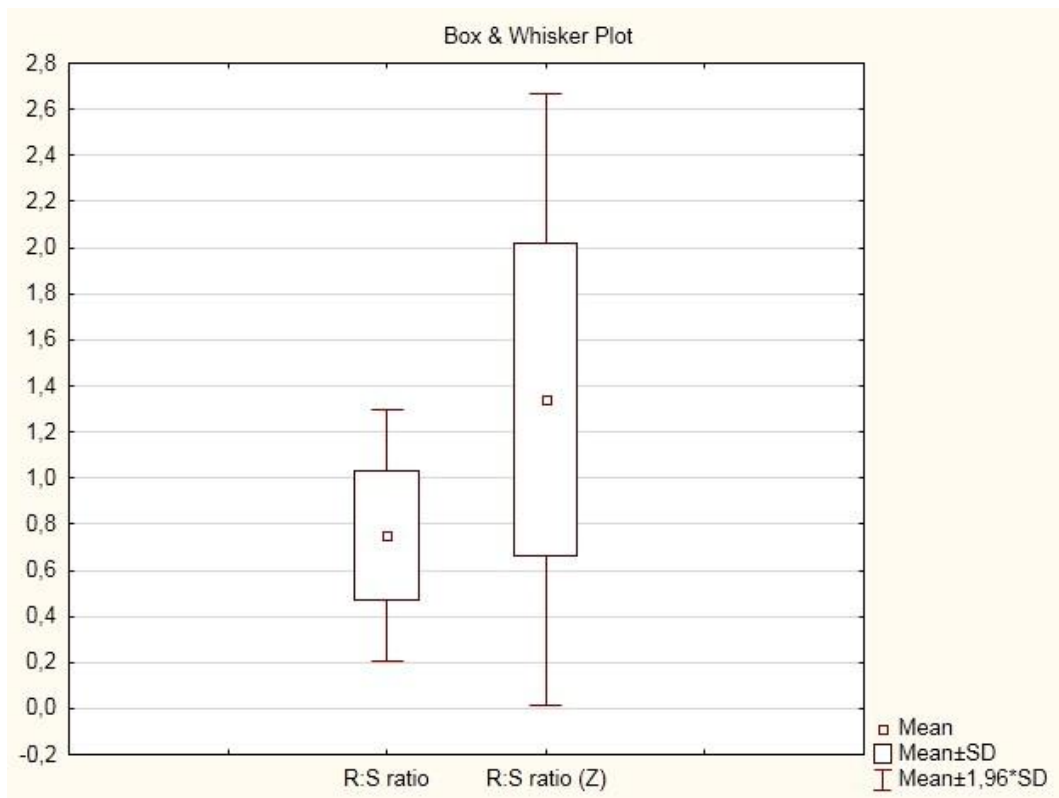
Obrázek 16 - Graf průměrné délky kvetoucích stvolů [mm]



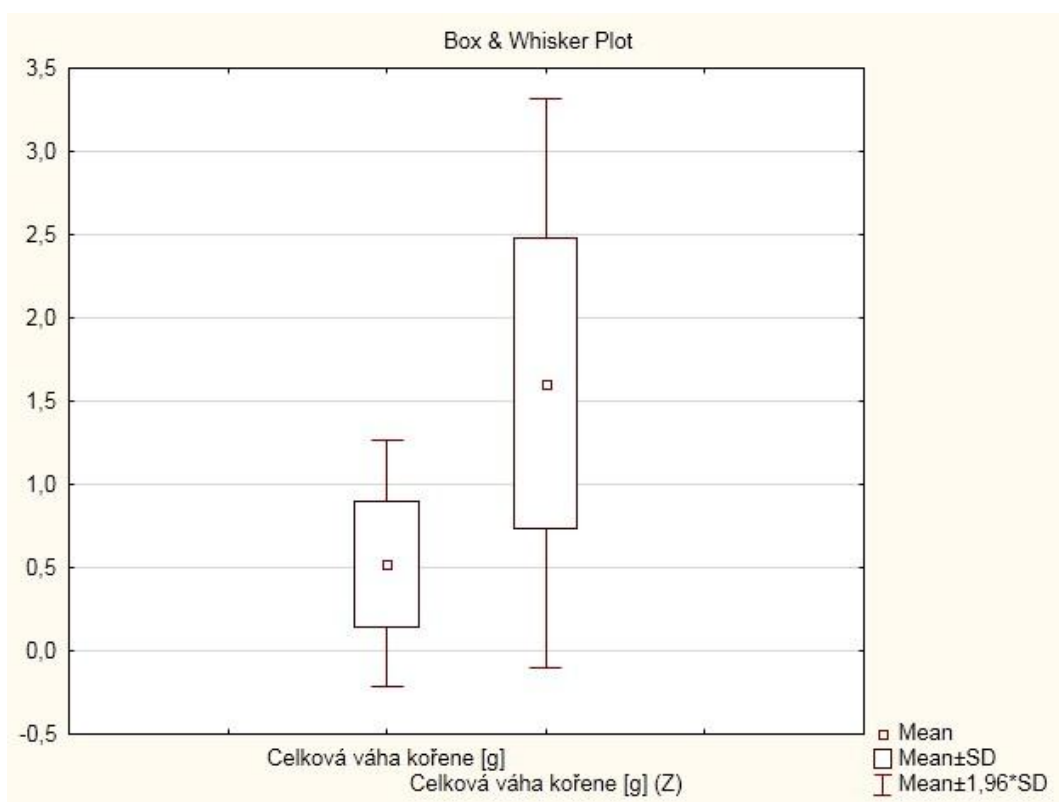
Obrázek 17 - Graf průměrné délky listů [mm]



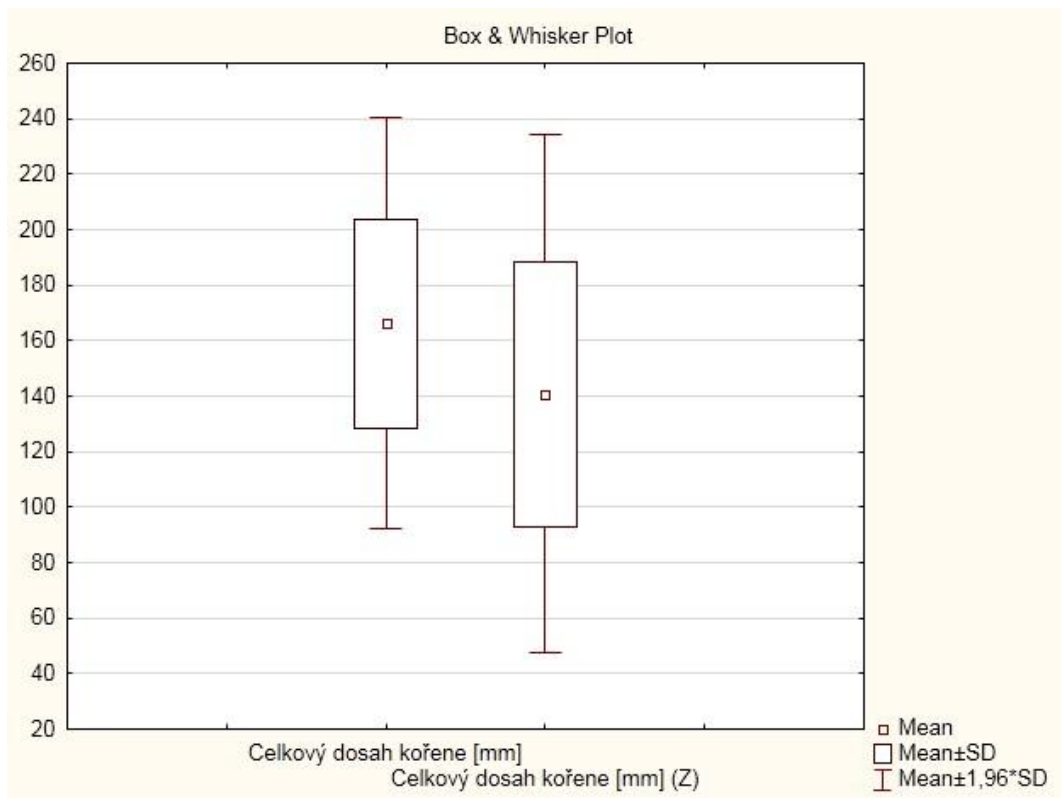
Obrázek 18 - Graf poměru podzemní a nadzemní hmotnosti (R : S ratio)



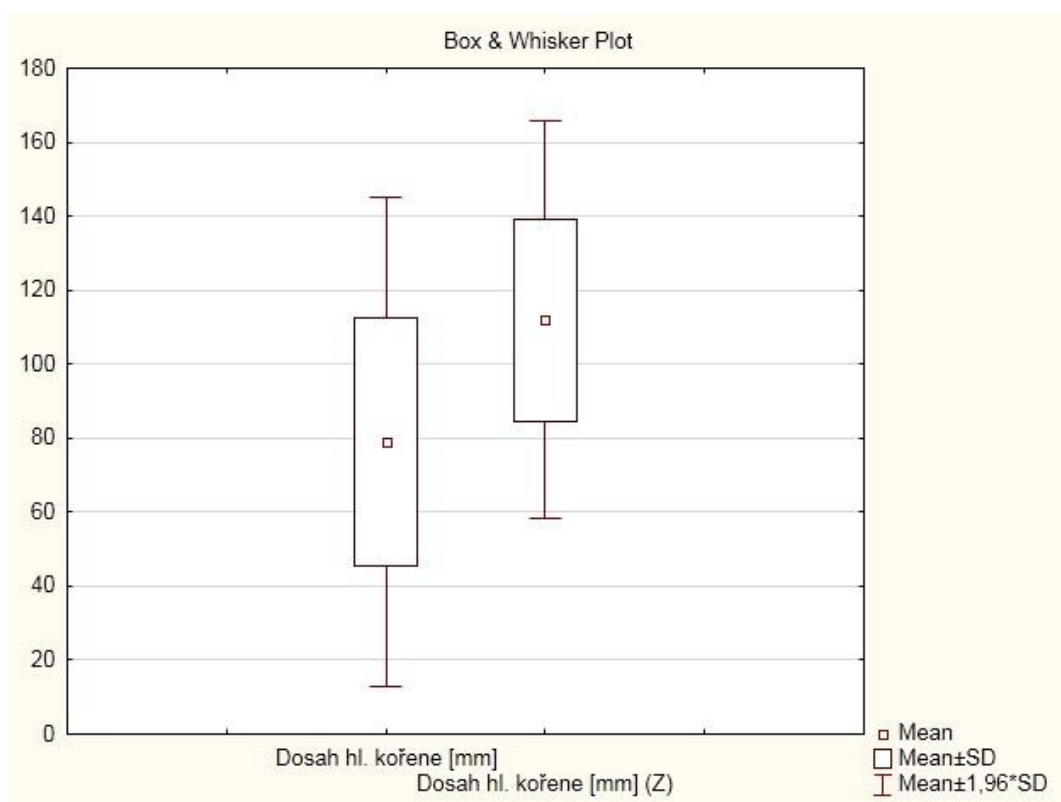
Obrázek 19 - Graf celkové hmotnosti kořene [g]



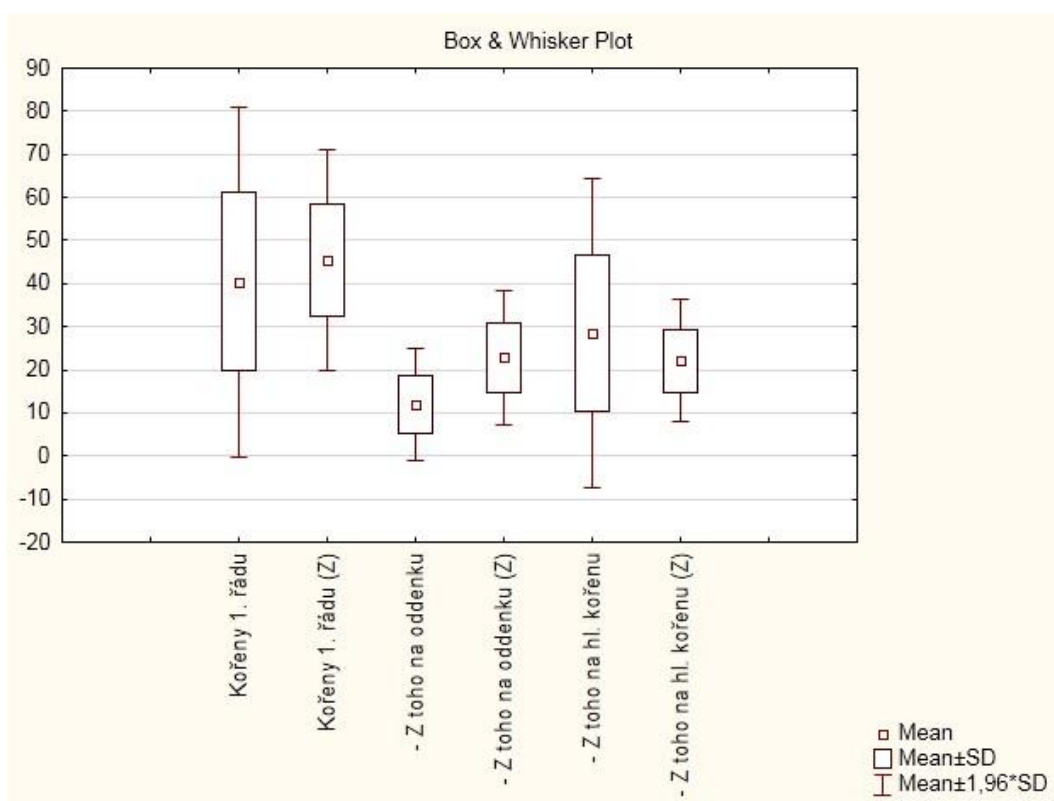
Obrázek 20 - Graf celkového dosahu kořene [mm]



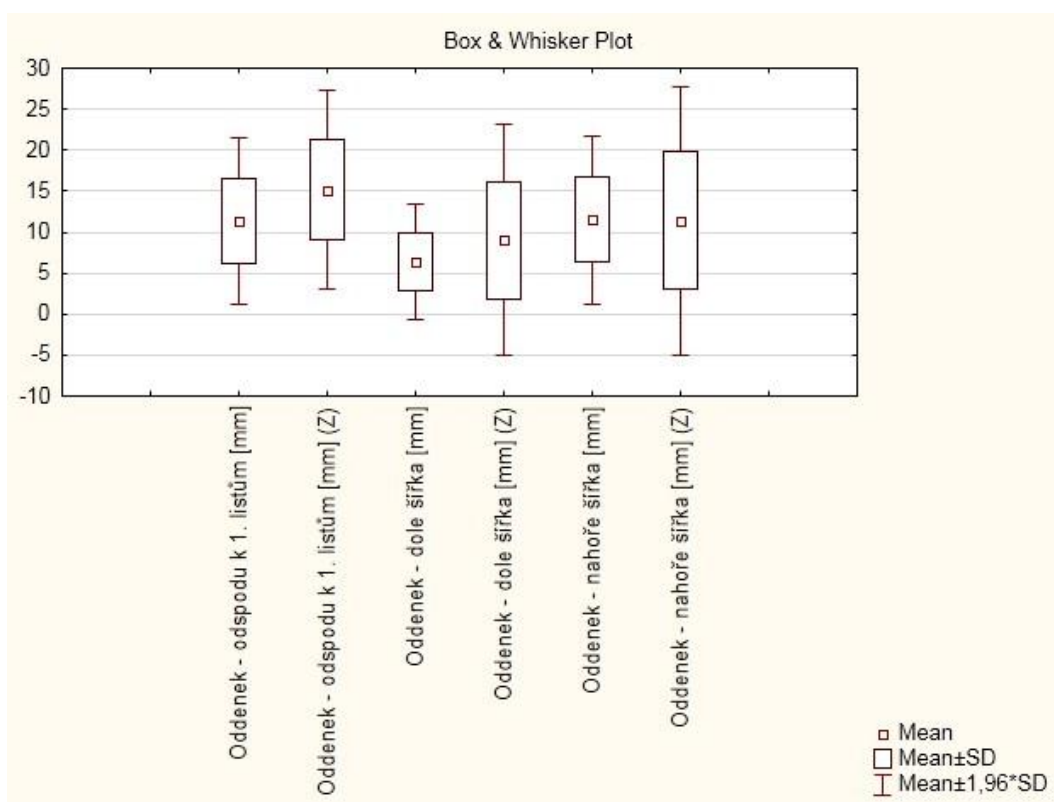
Obrázek 21 - Graf dosahu hlavního kořene [mm]



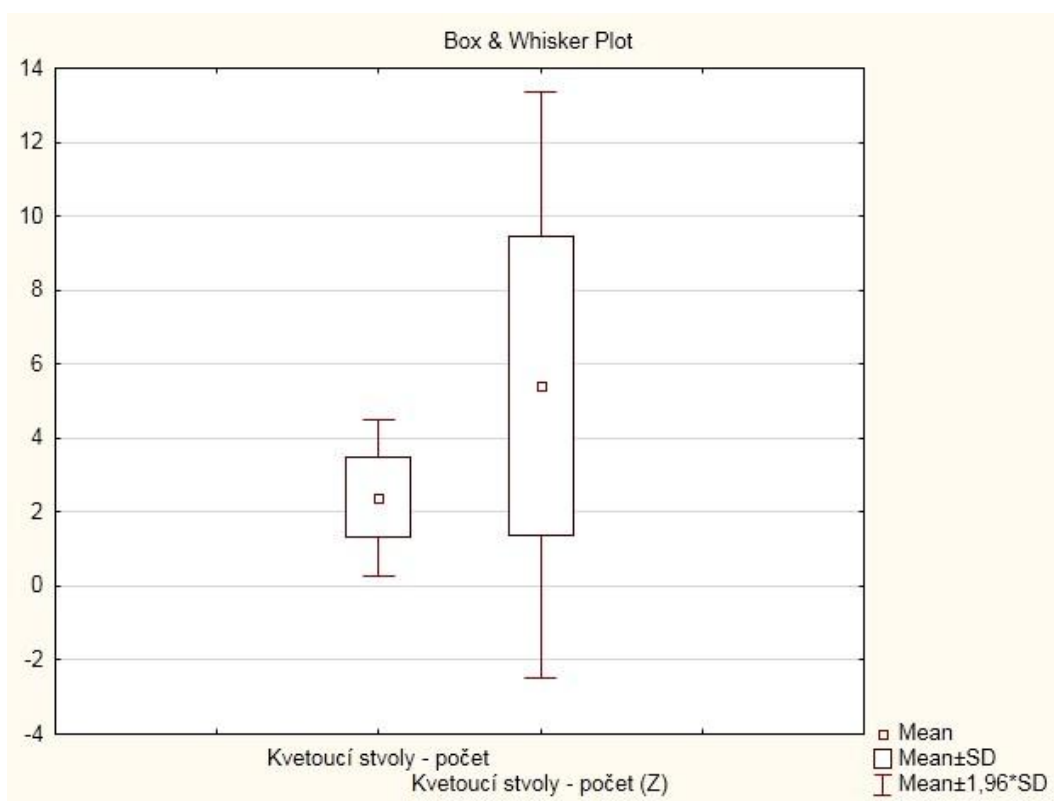
Obrázek 22 - Graf, srovnávající počet kořenů 1. řádu



Obrázek 23 - Graf, srovnávající rozměry oddenku [mm]



Obrázek 24 - Graf počtu kvetoucích stvolů

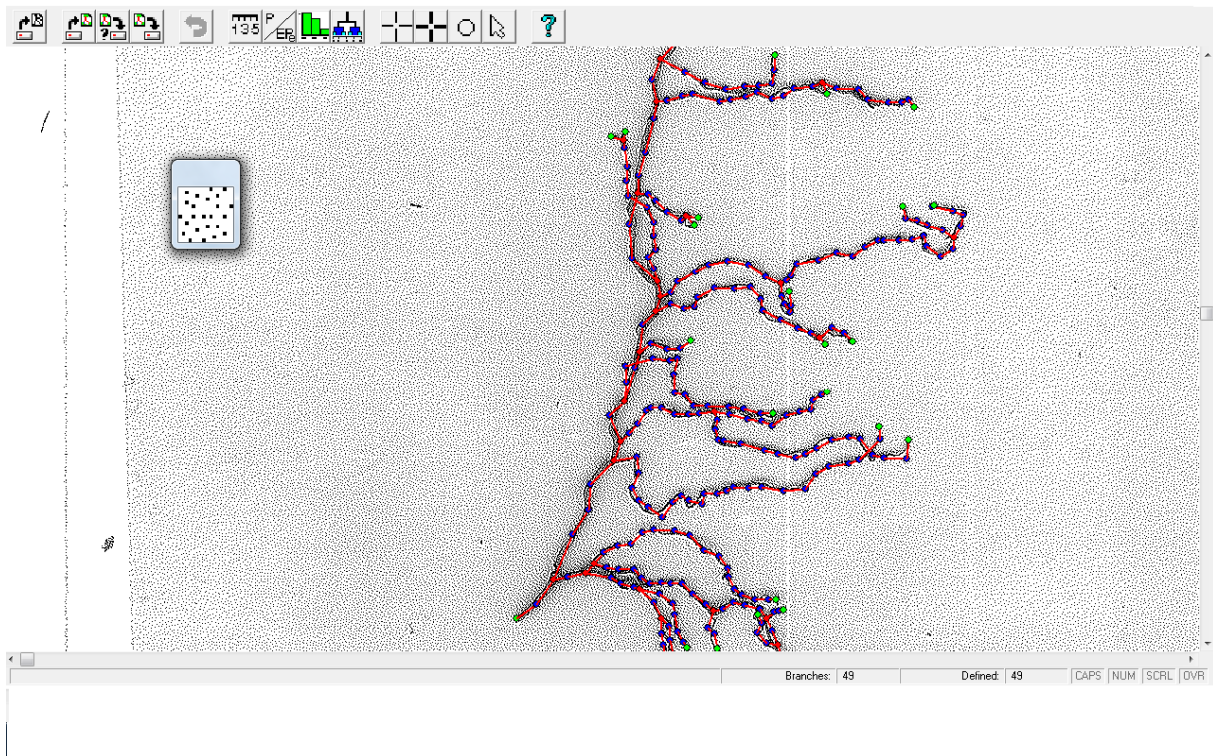


Obrázek 25 - Tabulka závěrečného srovnání funkčních vlastností a architektury kořenů

	Holá část - Zarostlá část
Pokryvnost	<
Hmotnost listů	(<)
SLA	=
Hmotnost nadzemní části	(<)
Ø Délka kvetoucích stvolů	(<)
Ø Délka listů	(<)
Poměr R : S	(<)
Hmotnost kořene	<
Dosah kořene	>
Dosah hlavního kořene	<
Kořeny 1. řádu	(<)
- na oddenku	<
- na hlavním kořeni	>
Oddenek - odspodu k 1. listům	<
- dole šířka	(<)
- nahoře šířka	=
DBI	<
Magnituda	(>)
Altitude	(>)



Obrázek 26 - Zpracovaný kořen v programu RootArch



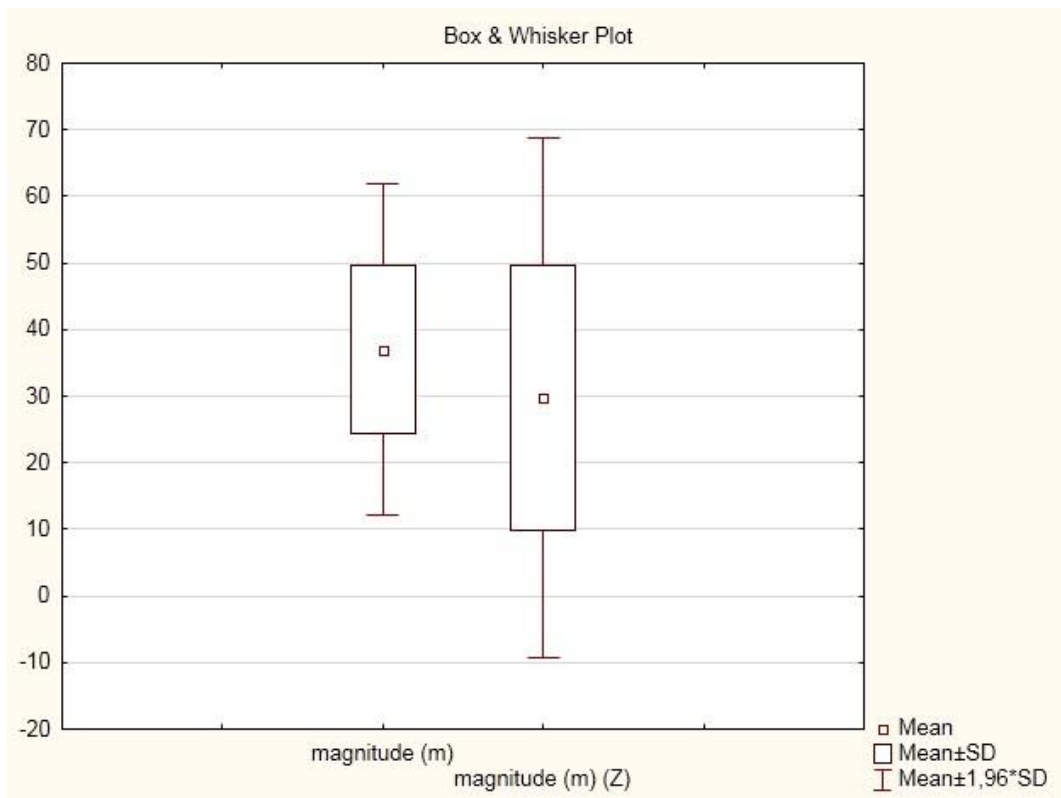
Obrázek 27 - Tabulka naměřených architektonických vlastností kořenů (1. část)

	magnitude (m)	altitude (a)	ext. Pathlength (Pe)	Maximum Pe (MPe)	DBI
Kořen 1					
Kořen 1_1	39	25	589	818	0,711223203
Kořen 1_2	32	22	422	559	0,744878957
Kořen 1_3	54	21	678	1538	0,433091628
Kořen 1_4	50	23	564	1324	0,415833974
Kořen 1_5	69	35	1290	2483	0,512663399
Kořen 2					
Kořen 2_1	28	19	310	433	0,702898551
Kořen 2_2	37	30	631	739	0,847672779
Kořen 2_3	30	22	370	494	0,737288136
Kořen 2_4	33	28	525	593	0,879646018
Kořen 2_5	26	22	330	376	0,870056497
Kořen 3					
Kořen 3_1	59	23	690	1828	0,369529086
Kořen 3_2	21	17	211	251	0,829059829
Kořen 3_3	47	23	598	1174	0,499565595
Kořen 3_4	30	24	413	494	0,827659574
Kořen 3_5	20	14	191	229	0,823255814
Kořen 4					
Kořen 4_1	34	23	403	628	0,628099174
Kořen 4_2	19	13	165	208	0,779487179
Kořen 4_3	31	17	342	526	0,638506876
Kořen 4_4	40	21	536	859	0,614558473
Kořen 4_5	33	21	398	593	0,659090909

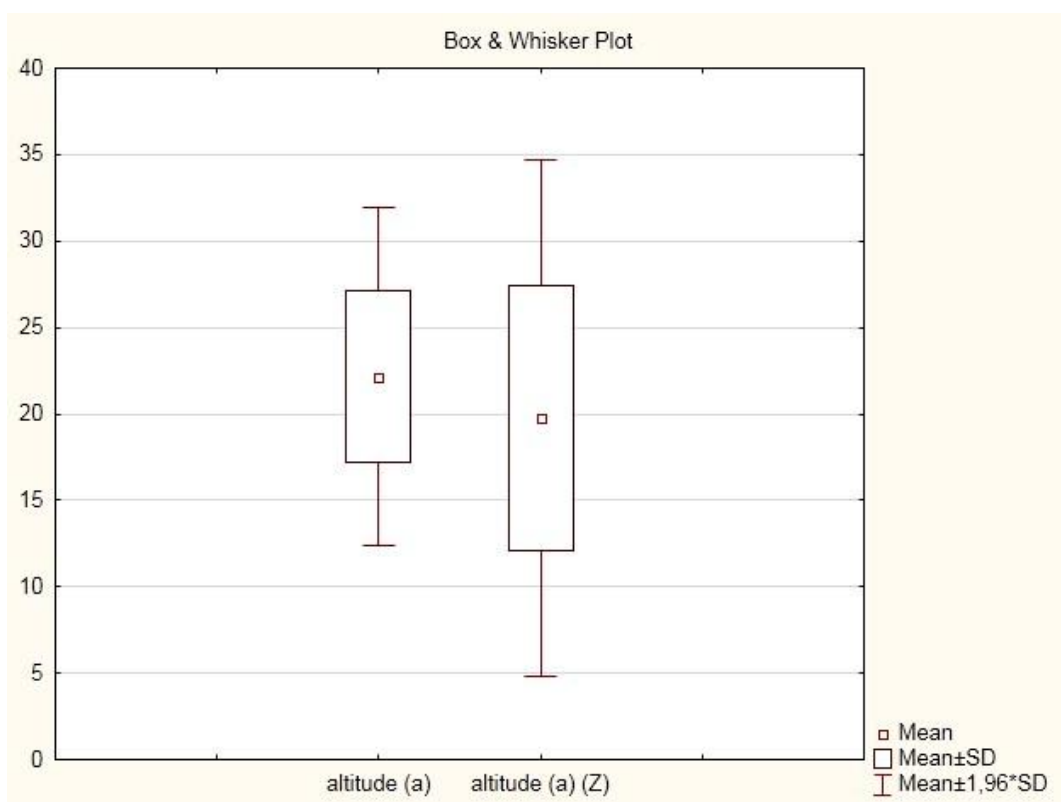
Obrázek 28 - Tabulka naměřených architektonických vlastností kořenů (2. část)

	magnitude (m)	altitude (a)	ext. Pathlength (Pe)	Maximum Pe (MPe)	DBI
Kořen 9					
Kořen 9_1	23	17	231	298	0,761565836
Kořen 9_2	19	14	160	208	0,75257732
Kořen 9_3	21	18	225	251	0,888412017
Kořen 9_4	18	18	188	188	1
Kořen 9_5	10	8	54	64	0,821428571
Kořen 10					
Kořen 10_1	19	18	192	208	0,915789474
Kořen 10_2	28	18	329	433	0,74939759
Kořen 10_3	39	23	491	818	0,588679245
Kořen 10_4	54	43	1269	1538	0,82006689
Kořen 10_5	20	13	176	229	0,75462963
Kořen 11					
Kořen 11_1	12	12	89	89	1
Kořen 11_2	25	23	332	349	0,947852761
Kořen 11_3	33	21	382	593	0,631118881
Kořen 11_4	31	18	347	526	0,647637795
Kořen 11_5	14	13	114	118	0,961904762
Kořen 12					
Kořen 12_1	24	21	283	323	0,867549669
Kořen 12_2	63	33	1140	2078	0,541320293
Kořen 12_3	65	30	1150	2209	0,513997246
Kořen 12_4	21	17	211	251	0,829059829
Kořen 12_5	94	24	1478	4558	0,320688134
Kořen 13					
Kořen 13_1	19	18	206	208	0,989473684
Kořen 13_2	9	9	53	53	1
Kořen 13_3	29	26	412	463	0,883295195
Kořen 13_4	19	16	185	208	0,880208333
Kořen 13_5	35	23	410	664	0,60374415
Kořen 14					
Kořen 14_1	54	19	539	1538	0,342330481
Kořen 14_2	19	12	148	208	0,693877551
Kořen 14_3	36	20	387	701	0,538913363
Kořen 14_4	36	23	509	701	0,716814159
Kořen 14_5	49	23	580	1273	0,4456
Kořen 15					
Kořen 15_1	32	24	430	559	0,758878505
Kořen 15_2	24	15	249	323	0,75974026
Kořen 15_3	32	31	537	559	0,958333333
Kořen 15_4	60	19	741	1889	0,386096257
Kořen 15_5	28	18	277	433	0,624096386
Kořen 16					
Kořen 16_1	27	25	382	404	0,941952507
Kořen 16_2	41	26	696	901	0,765714286
Kořen 16_3	62	30	1133	2014	0,555947581
Kořen 16_4	28	23	392	433	0,9
Kořen 16_5	32	25	459	559	0,812734082
Kořen 17					
Kořen 17_1	31	22	373	526	0,696428571
Kořen 17_2	37	24	522	739	0,696503497
Kořen 17_3	28	20	339	433	0,772397094
Kořen 17_4	35	15	306	664	0,448382126
Kořen 17_5	57	29	888	1709	0,511309524

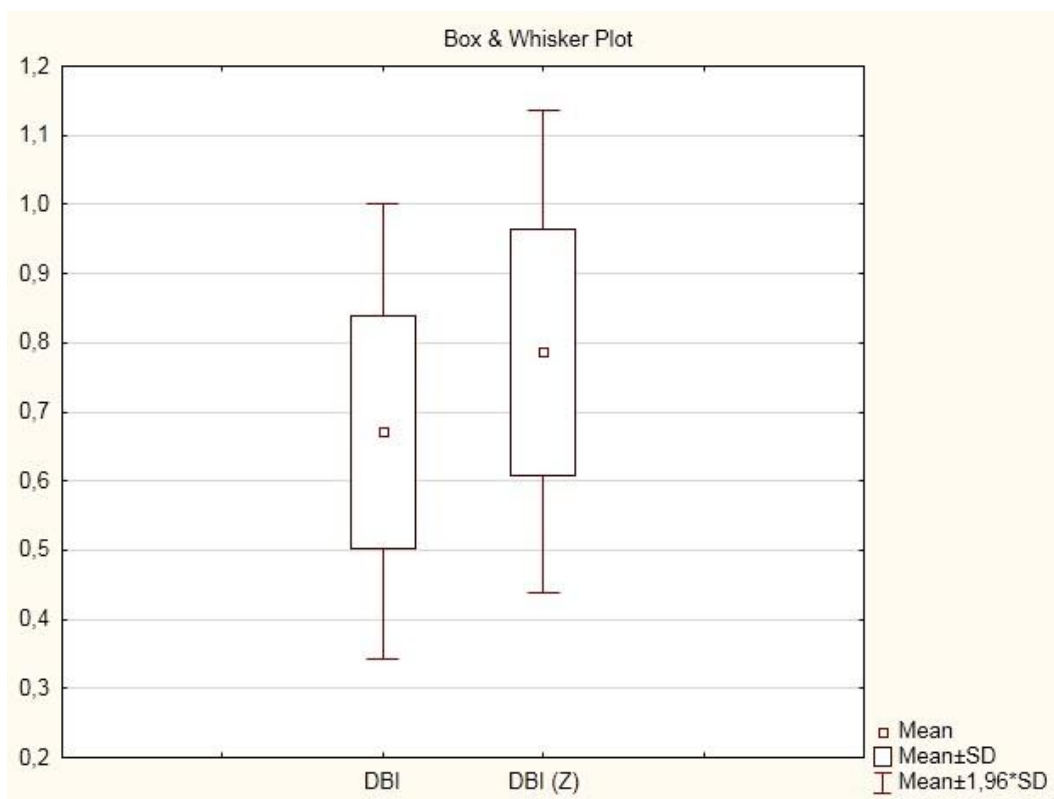
Obrázek 29 - Graf magnitudy jednotlivých kořenů



Obrázek 30 - Graf altitudy jednotlivých kořenů



Obrázek 31 - Graf, srovnávající DBI jednotlivých kořenů



Obrázek 32 - Graf délky koncových článků jednotlivých kořenů

