

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA
ÚSTAV NAUKY O DŘEVĚ

VLIV ASYMETRIE KOŘENOVÉHO SYSTÉMU NA
ODOLNOST VŮČI VYVRÁCENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015/2016

Vladimír Pekárek

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci na téma **Vliv asymetrie kořenového systému na odolnost vůči vyvrácení** vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:

podpis

.....

.....

Poděkování

Zde bych rád vyjádřil velký dík panu Ing. Lud'ku Prausovi PhD. za vedení této bakalářské práce, za pomoc a podporu, které se mi při jeho vedení dostalo a za jeho trpělivost a ochotu. Dále bych zde chtěl poděkovat firmě Arbonet, s.r.o. za poskytnutá data, pomocí kterých byla tato práce vyhotovena a bez kterých by nebylo možné aby tato bakalářská práce vznikla.

Neodmyslytelně zde také patří veliké poděkování mé matce za dlouhodobou podporu při studiu.

Jméno

Vladimír Pekárek

Název práce

Vliv asymetrie kořenového systému na odolnost vůči vyvrácení

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou stability stromů v závislosti na symetrii či asymetrii kořenového systému, sběrem dat pomocí tahových zkoušek a jejich zpracováním. Dále pracuje se schopnostmi jehličnatých a listnatých dřevin vyrovnat se s asymetrií kořenového systému pomocí adaptačního růstu. Popisuje také základní faktory, které v urbanizovaném prostředí působí na vývoj kořenového systému. Výsledky práce pak jasně ukazují, že ani výrazná asymetrie kořenového systému nemusí mít na stabilitu stromu významný vliv.

Klíčová slova

Strom, Kořenový systém, Stabilita, Odolnost, Urbanizované prostředí, Tahové zkoušky

Name

Vladimír Pekárek

Title

Effect of the asymmetry of the root system on tree stability

ABSTRACT

This thesis deals with the stability of trees depending on the symmetry or asymmetry of the root system, collecting data using tensile tests and processing of data. It also works with the capabilities to deal with the asymmetry of the root system of conifers and deciduous trees using their adaptation growth. And describes the basic factors in urbanized environment acts on the root system. In the end of this thesis was proved by outcomes, that even very big asymmetry of the tree doesn't have to have relevant effect on the tree stability

Keywords

Tree, Roots system, Stability, Urbanized environment, Tensile test

1 Obsah

1 Obsah.....	6
2 Úvod.....	8
3 Cíl.....	10
4 Literární přehled.....	11
4.1 Složení dřevní hmoty.....	11
4.2 Stavba dřeva.....	12
4.2.1 Submikroskopická stavba dřeva.....	12
4.2.2 Mikroskopická stavba dřeva.....	12
4.2.3 Makroskopická stavba dřeva.....	13
4.3 Mechanické vlastnosti dřeva.....	15
4.4 Stabilita stromů.....	16
4.5 Tahová zkouška.....	17
4.6 Kořenové systémy dřevin.....	18
4.6.1 Funkce kořenového systému.....	18
4.6.2 Typizace kořenů.....	18
4.6.3 Růst kořenového systému.....	19
4.6.4 Půdní prostředí ve městě.....	20
4.6.5 Mapování kořenových systémů	21
4.6.5.1 Manuální odkryv kořenů.....	21
4.6.5.2 Geofyzikální radar (Georadar).....	21
4.6.5.3 Air Spade (Supersonický proud vzduchu).....	22
4.6.5.4 Tahová zkouška.....	22
5 Metodika.....	23
5.1 Strom.....	23
5.2 Měření tahové zkoušky.....	23
5.3 Vyhodnocení dat.....	24

6 Výsledky.....	26
7 Diskuze.....	30
8 Závěr.....	32
9 Summary.....	33
10 Přehled literatury.....	34
11 Přílohy.....	38
12 Seznam použitých obrázků.....	43
13 Seznam použitých grafů.....	44
14 Seznam použitých tabulek.....	45

2 Úvod

Vzrostlé dřeviny jsou pro člověka a biodiverzitu zcela nepostradatelné. Pozitivní dopady, které mají na čistotu ovzduší, hospodaření s vodou a její zadržování v krajině nebo na regulaci teploty ve městech člověk nemůže ani pomocí moderních technologií zastoupit. Výhody využití dřeva jako stavebního materiálu nebo jako zásobárny energie jsou známy už od pravěku. V urbanizovaném prostředí však s sebou vzrostlí jedinci přinášejí i jistá rizika.

Díky objemu dřevní hmoty a výšce, které mohou některé druhy dřevin dosahovat, je největší rizikem možnost selhání (neřízený pád) části nebo celé dřeviny. Ve většině případů dochází k selhání dřeviny díky vnějším vlivům, ať už jde o vlivy přírodní, kterými jsou poryvy větru, rozmočení půdy deštěm nebo její odplavení, ale také působení dřevokazných hub a organismů, které snižují kvalitu dřeva a tím zvyšují jeho náchylnost k selhání. Dalším faktorem, který dřeviny a jejich provozní bezpečnost silně ovlivňuje je činnost člověka.

Ke značnému ovlivnění stability a bezpečnosti vzrostlých dřevin ve velké míře dochází při provádění zemních prací nebo při pojezdu těžké techniky. Při výkopových pracích dochází k obnažování kořenového systému, který je tak náchylnější k napadení různými patogeny, nebo přímo k odstranění nebo mechanickému poškození jeho částí. Při pojezdu těžké techniky pak dochází ke zhutnění půdy, které může mít vliv na nerovnoměrný vývoj kořenového systému, k mechanickému poškození nebo k zamezení dostatečnému přístupu vody ale také vzduchu k části kořenů a tím k jejich odumírání. V takových případech proto může i u dřevin, které se při pohledu do koruny jeví jako vitální, dojít k náhlému selhání a tím ohrožení majetku nebo života osob.

Tato práce se proto za využití moderních neinvazivních metod zaměřuje na získání a zpracování informací o tom, jaký vliv má asymetrie kořenového systému na stabilitu stromu. Pro lepší proniknutí do problematiky stability stromů a pochopení jejich adaptačních schopností se část práce zabývá také popisem dřeviny jako žijícího organismu vyvíjejícím se v čase a prostoru, jeho biologickými funkcemi, nadzemní ale i kořenové části a mechanickým vlastnostem dřeva.

Další část se pak věnuje práci s měřicími přístroji a následným zpracováním a vyhodnocením dat. Data získaná v rámci této práce pak mohou být dále využitelná při

návrzích na zvýšení provozní bezpečnosti stromů. Například pomocí stabilizace dřeviny ořezem. Nebo při určování míry rizika, které s sebou přinese předpokládaný zásah do kořenového systému například při realizaci pozemních staveb nebo budování inženýrských sítí. Předpokládám proto, že výsledky práce budou dále využitelné nejen na akademické půdě, ale i v běžném životě a mohou tak pomoci dalšímu vývoji arboristiky, jako vědního oboru aplikovaného v praxi.

3 Cíl

Cílem práce je získat a zpracovat data o stabilitě stromu *Robinia pseudoacacia* Linné, stojící na kraji zdi zámeckého příkopu, pomocí tahových zkoušek. Tyto data poté zpracovat a statisticky vyhodnotit a pomocí nich zjistit, jestli má asymetrie kořenového systému nějaký vliv na stabilitu měřeného jedince.

4 Literární přehled

4.1 Složení dřevní hmoty

Dřevní hmota jako základní stavební prvek dřevin se skládá ze tří základních složek. Jsou jimi celulóza, hemicelulóza a lignin. Procentuální zastoupení těchto složek ve dřevě se mění podle stanoviště, na kterém dřevina roste a podle druhu dřeviny.

Celulóza je polysacharid beta-glukózy, který tvoří hlavní stavební jednotku dřevní hmoty a buněčných stěn. Její obsah se u jehličnanů pohybuje mezi 46 - 56%, u listnatých dřevin mezi 41 - 46%. Samotná celulóza se skládá z krystalické složky (40% - 70%) a amorfni složky (26%). Jednotlivé řetězce celulózy jsou mezi sebou propojeny vodíkovými můstky, které určují její vysokou pevnost v tahu. Poměrně vysoká je i její hustota pohybující se okolo 1600 kg/m³.

Hemicelulóza je stejně jako celulóza vláknité makromolekulární povahy, makromolekuly má však kratší než celulóza, a proto má také nižší pevnost v tahu a hůře odolává chemikáliím. Její procentuální zastoupení u listnatých stromů je 25-45% a u jehličnanů se pohybuje mezi 15-25%, tedy opačné než u celulózy.

Lignin je po celulóze druhou nejdůležitější stavební jednotkou dřevní hmoty. Ve dřevě jehličnanů je zastoupen 25-35% a u listnatých stromů pouze ve 20-30%. Naopak od celulózy, která dodává dřevu pevnost v tahu, lignin dodává dřevu pevnost v tlaku, z čehož vychází i reakce dřevin na namáhání a vytváření reakčního dřeva, které je u listnatých dřevin tahové a u jehličnanů tlakové.

Znalost tvorby reakčního dřeva u jehličnatých a listnatých stromů je nezbytná pro pochopení základních mechanických vlastností dřeviny a jejich reakcí proti selhání. Je možné předpokládat, že listnatá dřevina bude mít silnější kořeny na straně odkud přichází namáhání (například větrem), zato jehličnatá vytvoří kořenové náběhy na straně opačné.

4.2 Stavba dřeva

4.2.1 Submikroskopická stavba dřeva

Submikroskopická stavba dřeva se zabývá popisem stavby buněčné stěny. Buněčná stěna není jednolitá, ale je složena z více vrstev. Skládá se z primární buněčné

stěny, která je poměrně tenká. Sekundární buněčné stěny, která je mohutná a tvoří ji tři vrstvy z nichž střední je nejmohutnější. Mezi buňkami se dále také nachází vrstva, která je společná pro obě buňky – pojí je dohromady, označovaná bývá jako střední lamela. Jednotlivé vrstvy se neliší pouze svou tloušťkou, ale také obsahem hlavních stavebních složek dřeva. Směrem od střední lamely do sekundární buněčné stěny klesá podíl lignin, podíl celulózy se naopak zvyšuje. (Friess a kol.)

V jednotlivých vrstvách buněčné stěny je uspořádání celulózových vláken rozdílné. Způsob jejich orientace má rozhodující vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva. Toto rozdílné uspořádání má za následek také odlišné vlastnosti dřeva v různých směrech. Buněčná stěna není kompaktní. Nacházejí se v ní místa, kde sekundární buněčná stěna může chybět a kde může mezi buňkami snadno procházet voda a další látky. Tato místa se nazývají ztenčeniny. Podle složitosti stavby rozlišujeme jednoduché ztenčeniny neboli tečky, které jsou jednodušší stavby a které jsou typickou ztenčeninou parenchymatických buněk. Složitější stavbou se vyznačují ztenčeniny nazývané dvůrkaté ztenčeniny neboli dvojtečky, které se vyskytují u cév a cévic. (Friess a kol.)

4.2.2 Mikroskopická savba dřeva

Dřevo listnatých dřevin je tvořeno větším počtem různých buněk, které jsou více specializovány a přizpůsobeny své funkci při porovnání s buňkami jehličnatých dřevin. Dřevo listnáčů obsahuje následující typy buněk:

- tracheje (cévy) – vodivá funkce
- tracheidy (cévice) – vodivá a vyztužovací funkce
- libriformní buňky (dřevní vlákna) – vyztužovací funkce
- parenchymatické buňky – vodivá a zásobní funkce

Tracheje (cévy) – jsou jedny ze základních vodivých buněk xylému. Jsou tvořeny prodlouženými buňkami se sekundárními buněčnými stěnami, bez protoplastů a se ztenčeninami (tečky a dvojtečky) ve stěnách. Tracheální články jsou spojeny a vytváří kontinuální sloupce a trubice, které slouží k vedení vody v rostlině. Tracheje mohou být dlouhé až několik metrů. (Laboratorní práce)

Tracheidy (cévice) – jsou další ze základních vodivých buněk xylému a taktéž, jako předchozí tracheje, jsou tvořeny prodlouženými buňkami se sekundárními buněčnými stěnami. Stejně tak jako u trachejí se i u tracheid vyskytují ve stěnách tenčeniny (tečky a dvojtečky) (Laboratorní práce).

Narozdíl od trachejí se však u tracheid nevyskytují ještě dokonalé perforace, evolučně jsou totiž původnější nežli tracheje. (Katedra botaniky)

Libriformní buňky – jsou protáhlé větvenovité buňky se zašpičatělými konci a malými tečkami. Jejich rozměry jsou závislé na druhu dřeviny a poloze ve kmeni apod., v průměru jejich délka dosahuje cca 0,2-2 mm a šířka 0,015-0,05 mm. Libriformní vlákna jsou ve dřevě úzce specializovaná na mechanickou funkci. Na příčném řezu mají 4-6 úhelníkový tvar a je na něm patrná šířka jejich lumenů a buněčných stěn. Na podélných řezech se libriformní vlákna zobrazují jako dlouhé zašpičatělé buňky. U některých dřevin mohou mít ztluštěniny. (Laboratorní práce)

Parenchymatické buňky – jsou buňky hranolovitého, krychlového nebo větvenovitého tvaru. Typickými ztenčeninami parenchymatických buněk jsou jednoduché ztenčeniny neboli tečky. Vyšší zastoupení než ve dřevě jehličnanů. Radiálně uložené parenchymatické buňky tvoří dřevňové paprsky. Axiálně uložené parenchymatické buňky tvoří podélný dřevní parenchym. Hlavní funkcí parenchymatických buněk je funkce zásobní ale také má pomocnou vodivou funkci a u jehličnatých stromů ještě funkci sekreční. (Ústav nauky o dřevě)

4.2.3 Makroskopická stavba dřeva

Makroskopickou stavbou dřeva můžeme rozumět vše, co se dá pozorovat pouhým okem. K tomu, abychom mohli pozorovat strukturu dřeva, nám slouží 3 hlavní řezy kmenem.

- Příčný řez – je vedený kolmo na osu kmene či větve, charakteristický svým soustředěně uspořádanými letokruhy
- Radiální řez – je vedený rovnoběžně k ose, přímo středem kmene nebo větve
- Tangenciální řez – je veden rovnoběžně s osou kmene v určité vzdálenosti od středu kmene.

Při makroskopickém prozkoumání mohou být viditelné následující znaky, které se ale nemusí vyskytovat u všech druhů dřevin: letokruhy, dřeňové paprsky, dřeňové skvrny, pryskyřičné kanálky, jádro, běl aj.

Letokruh – letokruhem je myšlen tloušťkový přírůst dřeva za vegetační období vlivem činnosti kambia. Letokruhy jsou výsledkem přerušení tloušťkového růstu stromu zapříčiněným vegetačním klidem. U některých dřevin je možno rozlišit v letokruhu světlejší část (jarní dřevo) a tmavší část (letní dřevo).

Dřeňové paprsky – jsou různě velká seskupení parenchymatických buněk orientovaná kolmo k ose kmene.

Dřeňové skvrny – jsou takzvané pásy hojivého parenchym, které mohou vznikat vlivem poškození kambia hmyzem či bakteriemi.

Pryskyřičné kanálky – jsou tvořeny buňkami, které jsou schopné utvářet a vylučovat pryskyřici. Charakteristické jsou především pro jehličnaté dřeviny.

Jádro – je vnitřní část kmene, obvykle se vyznačuje tmavou barvou, čímž se odlišuje od světlejší běle. Vodivé kanály (tracheje, tracheidy) jsou neprůchodné a dřevo neobsahuje parenchymatické buňky.

Běl – je ke kambiu přiléhající vnější část dřeva, která je charakteristická volnými vodivými kanály a přítomností parenchymatických buněk ve dřevě rostoucího stromu. Barva běle je zpravidla velmi světlá, na rozdíl od jádra. (Nauka o dřevě)

4.3 Mechanické vlastnosti dřeva

Mechanické vlastnosti dřeva charakterizují schopnost dřeva odolávat účinku vnějších sil. Děj při kterém dochází k interakci mezi působícími mechanickými silami a dřevem nazýváme mechanické namáhání. Základní druhy mechanického namáhání rozlišujeme podle druhu napětí, které v tělese vzniká působením vnější síly.

Vlivem působení mechanických sil dochází ke změně tvarů a rozměrů dřeva, které nazýváme deformací. Odpor materiálu proti pružné deformaci vyjadřují moduly pružnosti, typické pro každý druh dřeva. Pevnost dřeva charakterizuje odolnost dřeva proti jeho trvalému porušení. Kvantitativně se pevnost vyjadřuje napětím, při kterém se poruší soudržnost tělesa – napětím na mezi pevnosti. Údaje o pevnosti dřeva se zjišťují prostřednictvím zkoušek, kde se sleduje skutečné napětí v okamžiku porušení tělesa.

Mechanické vlastnosti dřeva jsou ovlivněny vlhkostí dřeva, hustotou, stavbou dřeva, teplotou, vadami, a také druhem dřeva (Horáček, 2002)

Jako několik příkladů, pro nás důležitých, mechanických vlastností dřeva je nutno zmínit pevnost, pružnost a tuhost dřeva.

Pevnost dřeva – je odolnost vůči nevratné změně (deformaci) nebo i celkovému selhání vlivem působení vnějších sil. Podle působení různých sil je pevnost dřeva dále rozdělována na:

- Pevnost v tahu – je odolnost dřeva vůči působení síly, která se dřevo snaží prodloužit. Po překročení meze pevnosti dřevo praskne. Na pevnost dřeva v tahu má vliv vlhkost dřeva, směr vláken, objemová hmotnost nebo například také anatomická stavba dřeva. Deformace se projevuje prodlužováním tělesa až do překročení meze pevnosti, kdy dřevo praská.
- Pevnost v tlaku – je odpor, který dřevo klade vnější síle, která se snaží dřevo stlačit. Pevnost v tlaku ovlivňují, tak jako v předchozím případě, směr vláken, vlhkost dřeva, objemová hmotnost a anatomická stavba dřeva. Působením tlaku na těleso dochází k deformaci projevující se zkracováním délky tělesa.
- Pevnost ve smyku – je schopnost dřeva odolávat a poskytovat odpor vnějším silám, které se snaží posunout jednu část tělesa po druhé. Ovlivňují jí objemová hmotnost, vlhkost a anatomická stavba.

- Pevnost v ohybu – je odolnost dřeva odolávat zatížení které, je-li dřevo podepřeno, působí na místa mimo toto podložení. Tato pevnost je důležitá například pro nosnost a tím i bezpečnost stropních trámů a nosníků. Dřevo se chová při působení síly tak, že na jedné straně dochází k deformacím a zkracování tělesa a na straně druhé k prodlužování tělesa. Pokud dojde k překročení meze úměrnosti, dřevo na tahové straně praská.

Kvantitativně se pevnost vyjadřuje napětím, při kterém se poruší soudržnost tělesa – napětím na mezi pevnosti. Pevnosti dřeva se zjišťují použitím zkoušek, kde se sleduje síla, v okamžiku porušení tělesa.

Tuhost dřeva je vnitřní odpor materiálu, který klade proti silám snažícím se materiál přetvořit. Tento odpor je definován modulem pružnosti, což je podíl působícího napětí a vznikající deformace. (Homel).

4.4 Stabilita stromů

Stabilita stromu neboli jeho odolnost vůči selhání (např. vývratu) může být ovlivněna více faktory. Jako jeden z hlavních, pro stabilitu stromu velice důležitý, můžeme považovat ukotvení stromu do půdního substrátu kořenovým systémem stromu.

Aby strom žil, musí neustále růst. Aby zajistil svůj růst, musí naplnit určité požadavky, které jsou často v rozporu. Jde zejména o vodivou funkci – vedení vody a v ní rozpuštěných živin z kořenů do listů a vedení asimilátů z listů do kořenů; mechanickou funkci – zajištění stability; a o vytvoření zásob. Všechny tyto funkce je schopno zajistit dřevo díky své specifické struktuře (Kolařík a kol., 2005).

Samotná stabilita se skládá ze tří složek. Je to způsob a velikost zatížení, materiál – vlastnosti dřeva a tvar jednotlivých částí stromu. Zatížení stromu představuje působení větru, vlastní váha stromu a přídatná zátěž, kterou je např. sníh nebo námraza. Vznikající síly jsou přeneseny z koruny přes kmen až do kořenů, kde se třením s půdou rozptýlí. K přenosu napětí, které vznikne vlivem působení síly, je nutná dostatečná nosnost jak větví, tak i samotného kmene. Strom reaguje na zátěž tím, že se snaží optimalizovat svůj tvar a materiálové vlastnosti prostřednictvím adaptačního růstu (Kolařík a kol., 2005; Praus, 2006).

Stabilita stromů může být ovlivněna hloubkou půdy, do které mohou vodorovně rostoucí kořeny a kořeny kotevní pronikat (Coutts 1986)

Stabilita stromu je dána vztahem mezi působícím zatížením a pevností kořenů, kmene a větví stromu. Mechanická pevnost ukotvení stromu odpovídá množství kořenů, jejich prostorovému uspořádání a vlastnostem půdy (Praus, 2006)

4.5 Tahová zkouška

Pomocí tahové zkoušky se zjišťuje stabilita stromu proti vývratu, ale také vůči zlomu, a to především ve spodní části kmene (Wessolly, Erb 1998).

Tahová zkouška je přístrojová metoda díky které můžeme určit odolnost stromu vůči zlomu a vývratu. Její princip je založen na porovnání reakce zjištěné měřením konkrétního stromu na určité (bezpečné) zatížení. Tuto metodu vyvinuli pánové Sinn a Wessolly a publikovali ji pod názvem Static Integrated Method (SIM). V České republice je používána od roku 1996. V současnosti už existuje i modernější varianta přístrojů pro provádění tahové zkoušky, která byla vyvinuta na Ústavu nauky o dřevě Lesnické a dřevařské fakulty na Mendelově univerzitě v Brně (Kolařík a kol., 2005; Praus, Szórádová, 2010).

Celá tato metoda se skládá ze třech hlavních částí, jimiž jsou vlastní tahová zkouška, zátěžová analýza a vypočítání bezpečnosti konkrétního měřeného stromu proti zlomu a vývratu.

Zátěžová analýza nám umožňuje zjistit skutečnou náporovou plochu stromu a excentricitu koruny. Ze zjištěné náporové plochy koruny se použitím vzorečku vypočítá síla, která se vytváří vlivem působení větru o rychlosti 32 m/s na tuto plochu. K tomuto účelu je využívána Newtonova rovnice pro proudění kapalin.

$$F = 0,5 \times C_w \times A \times \rho \times v^2$$

F – vznikající síla; **C_w** - koeficient aerodynamického odporu; **A** - náporová plocha stromu; **ρ** - hustota vzduchu; **v** - rychlost proudění vichřice – 117 km/h

Z těchto dat je možné dále vypočítat očekávanou deformaci kmene stromu. (Kolařík a kol., 2005)

Odolnost vůči vývratu je získávána ze záznamů snímačů naklonu, které zjišťují náklon báze kmene porovnáním s tzv. všeobecnou vývratovou křivkou. Všeobecná vývratová křivka vznikla na základě uměle provedených vyvrácení více než 400 stromů, přičemž byl sledován vztah mezi průběhem působící síly a náklonem. Bylo zjištěno, že všechny stromy se vyvrátily, když jejich kořenový talíř dosáhl náklonu 2,5°- 4°. Na základě tohoto výzkumu se křivka stala obecně platnou a díky tomu můžeme spolehlivě určit zátěž, při které se strom vyvrátí (Wessolly, Erb, 1998)

Výpočet bezpečnosti – ze známé deformace při známé síle se vypočte deformace vznikající větrem ze zátěžové analýzy. Získané výsledky se provnají s pevností kmene. Výsledkem je potom procentická hodnota bezpečnosti. Ta nám udává, kolikrát je strom naddimenzován oproti rozměrům potřebným k bezpečnému přenesení síly vznikající při zatížení vichřicí (Wessolly, 1998)

4.6 Kořenové systémy dřevin

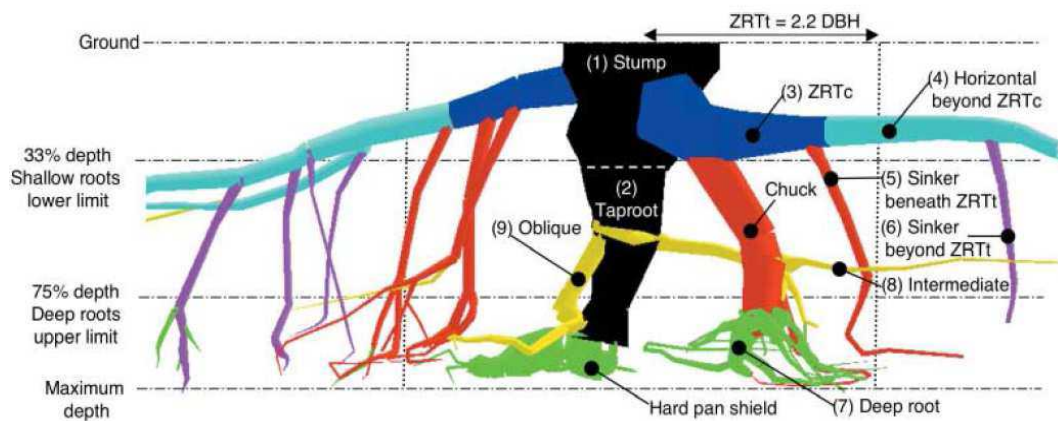
4.6.1 Funkce kořenového systému

Kořenový systém dřevin má několik hlavních funkcí, mezi než patří například zajištění příjmu vody a minerálních látek ve vodě obsažených, ukládání zásobních látek, dále také syntézu některých sloučenin a ukotvení rostliny/dřeviny v půdním substrátu (Kramer a Boyer 1995). A právě ukotvení dřeviny v půdě můžeme považovat za velice významnou mechanickou funkci kořenového systému. Nástup, zabránění prostoru a udržení se na daném místě byl u většiny rostlin a dřevin přímo závislý právě na schopnosti vzpřímeně stát a růst (Kramer a Boyer 1995). Neméně důležitá je také mechanická pevnost kořenového systému která je zodpovědná za stabilní upevnění a zamezení vývratu dřeviny který by mohl být zapříčiněn například působením povětrnostních podmínek (Blackburn 1997).

4.6.2 Typizace kořenů

Při posuzování kořenových systémů se můžeme setkat s mnoha rozdílnými rozděleními, jelikož většina vedců, jež se problematikou typizace kořenových systémů zabývala, si utvořila vlastní nomenklaturu pro posuzování a rozdělování kořenového systému. Z tohoto důvodu se můžeme v různých literaturách setkat s různým rozdělením kořenů, a to například podle jejich: 1) velikosti – kořeny dlouhé a kořeny krátké (Wilcox 1964). Dále pak dle jejich 2) anatomické charakteristiky – kořeny

dřevnaté a kořeny nedřevnaté (Lyford a Wilson 1964, Lyfoyd 1980) a také podle jejich 3) funkce – kořeny kotevní a ty, jejichž hlavní funkcí je příjem vody (můžou být označeny jako „feedin roots“) (Kubikova 1967). Kořeny mohou být také děleny podle 4) vzniku a funkce na kořeny A) kořen hlavní (první, ten který je založený už v embryu) B) kořeny boční (jež jsou větvemi jiných kořenů) C) kořeny bazální (které vznikají v hypokotylu) a D) kořeny které vznikají na výhoncích nebo jiných orgánech („shoot-borne roots) (Zobel a Waisel 2010). Samozřejmě jsou i další možnosti rozdělení kořenů, jako poslední uvádím to, které používá Danjon (2005) který rozděluje kořeny (viz. obr.) na 1) kořen hlavní („tap root“) a dále na 2) kořeny horizontální a 3) kořeny kotevní.



Obr. 1: Rozlišení typů kořenů (Danjon, 2005)

4.6.3 Růst kořenového systému

Růst kořenového systému, stejně jako nadzemních částí dřeviny, probíhá v celém průběhu života jedince. Avšak velikost kořenového systému u dospělého jedince se nijak zásadně nemění, naopak zůstává vesměs stejná, jelikož rychlost tvorby nových kořenů se víceméně rovná rychlosti odumírání kořenů starých (Gregory 2006, Pallardy 2008). Kořeny rostou ve dvou směrech, a to jak do délky (axiální růst) tak do šířky (radiální růst), přičemž má většinou kořenový systém snahu zabírat prostor, který se nachází ve svrchní části půdního profilu a tak největší objem kořenů se nachází v cca 60 cm od povrchu půdy a celkové prokořenění nezasahuje ve většině případů do hloubky více než 2 m (Crow 2005).

Kořeny mají oportunistický styl růstu, tzn. že rostou a dostávají se do těch míst, kam jim to umožní jejich prostředí (Danjon 2005). Přítomnost míst z nepropustných

vrstev kořenům znesnadňuje se do těchto míst dostat a inhibuje jejich růst v tomto směru (Krieter 1986, Danjon 2005). Naopak tyto nepropustná místa a pevná tělesa jež se v půdě nacházejí, může strom využívat ke své stabilizaci (Mattheck a Breoler 1995, Danjon 2005). Kořenům dělá značné obtíže pronikat do malých, rigidních pórů těžkých půd a také půd zhutněných. Tím dochází ke změně tvaru kořenů především tak, že zvětšují svůj průměr a zpomalují svůj dlouhivý růst a také to má vliv na tvorbu bočních kořenů (Russel 1997)

Pro dlouhivý růst kořenů je zapotřebí dostatečné množství kyslíku (Drew 1997). Pokud dojde k poklesu vzduchu v půdě pod 10-15% zpomalí se růst kořenů u většiny dřevin a pokud dojde k poklesu až pod hladinu 3-5% růst se zastaví úplně (Dobson, Moffatt, 1999). Na tvorbu kořenového systému a růst kořenů samotných má vliv hned několik faktorů. Může to být například obsah vody v půdě, obsah vzduchu v půdě, dále třeba obsah živin, ale i samotná teplota půdy i její mechanické a jiné vlastnosti.

4.6.4 Půdní prostředí ve městě

Půdní podmínky v urbanizovaném prostředí jsou diametrálně rozdílné od podmínek, se kterými se strom může setkat ve svém původním prostředí. Půdní „substrát“ ve městech je často tvořen materiálem který je složen ze zbytků stavebních materiálů při stavbách, šterků a navážek nejrůznějších druhů.

Půdní substrát složený z takovýchto materiálů může mít za následek redukcii kořenů v důsledku omezeného prostoru, hypoxie a nebo poškození kořenů. Nedostatečný přísun vody který je způsoben nedostatečným průsakem vody do půdního substrátu z důvodu zpevněných povrchů a utužení půdy. Dále se tyto půdy vyznačují zvýšeným pH a silnou kontaminací vápenitými látkami. Nejsou zde výjimkou ani úniky plynů, silná skeletovitost nebo velké množství různých městských sítí (Urban forestry skriptum)

Problémem městských půd je většinou špatný vodní režim, kontaminace různými látkami, zasolení nebo zhutnění půdy. Mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti půdy a především však ty mechanické, jsou důležitým faktorem ovlivňující stabilitu stromu (Rahardjo 2009)

4.6.5 Mapování kořenových systémů

Měření kořenových systémů může být poměrně komplikovaná záležitost díky tomu faktu, že kořeny se nacházejí pod povrchem půdy a tím pádem jsou pro pozorování pouhým okem pro nás skryty. V minulosti bylo prováděno mapování kořenových systémů zpravidla jen mechanickým odstraněním půdy, což bylo jak velmi pracné, tak i časově náročné a podávalo informace pouze o kosterních kořenech, ne však o dalších důležitých parametrech, jako o celkovém objemu kořenového systému nebo množství sušiny. Dnes můžeme dojít k tomu, abychom zjistili jak kořenový systém pod půdním povrchem vypadá, použitím jedné (a nebo kombinacemi) z následujících metod jako jsou například tyto:

4.6.5.1 Manuální odkryv kořenů

Často využívanou metodou v minulosti, která je ale někdy prováděna i v současné době je použití výkopu kořenových systémů (Vyskot 1971, Mauer, Palátová 1990). Takovýmto způsobem lze celkově zjišťovat pouze kosterní kořeny které tvoří základ kořenového systému. Bohužel však už neumožňuje zjišťovat ostatní (menší) kořeny. Takovéto práce, z převážné části manuální, jsou velmi pracné a časově velice náročné, avšak určování množství dalších jiných parametrů než celkového objemu nebo množství sušiny je velice obtížné.

4.6.5.2 Geofyzikální radar (Georadar)

Tato metoda zjišťování tvaru kořenového systému reprezentuje moderní technologii která se používá poměrně často a to především díky té výhodě, že se jedná o neinvazivní vizualizaci a prostorovou analýzu skeletových kořenů dřevin. V praxi byly získány velmi dobré zkušenosti v lesích, ale také ve městech a to především na homogeních půdách, zvláště také nebylo-li zakořenění stromů příliš husté (Čermák, Nadezhdina 1998). Ke své činnosti radar využívá dvě antény, se kterými je pohybováno (většinou ručně) podél nějaké linie (např. pásma) které je položeno napříč objektem, který si přejeme změřit. Radarové paprsky, které procházejí půdou jsou odráženy nepropustnými nebo jen málo propustnými objekty, které se nacházejí v půdě. Pomocí georadaru je možné sledovat kořeny v půdě s přesností 2 cm pokud se týče specifikace polohy a nebo hloubky výskytu odrazu a to až do hloubky 1,5 m. Velikost kořenů, které lze georadarem pozorovat mohou být až do rozměru 1 cm. Georadar však nemá schopnost identifikovat kořeny jemné, které lze detekovat jen přímo (Čermák 2015).

4.6.5.3 Air Spade (Supersonický proud vzduchu)

Jako další metoda pro zjišťování tvaru kořenových systémů dřevin se zde nabízí tzv. vzdušný rýč, což je velice specializovaná metoda jež ke své práci využívá supersonický proud vzduchu. Odkryv kořenového systému nemusí být bezpodmínečně celoplošný, může postačit pouze částečný (úzký transekt či 90° kvadrant a nebo 2 na sebe kolmé 90° kvadranty). U celoplošného odkryvu je bezpečnější strom před započítím odkryvu pokácet, u částečného odkryvu nám postačí strom zajistit lany proti vývratu. Samotný odkryv je prováděn speciální tryskou (Air-Spade Technology, series 2000, Concept Engineering Group, Inc., Verona, Pasadena, USA). Tato tryska je spojena se silným kompresorem. Kompresor musí poskytovat vzdušný proud alespoň 8-12 m³/min⁻¹ při tlaku 8-12 nebo i více barů. Při tomto způsobu bychom měli dostávat při ústí trysky proud vzduchu o rychlosti 660 m/s⁻¹. Za situace, kdy má vzdušný proud správnou potřebnou rychlost, stává se viditelným (světle modrým). Supersonický proud vzduchu nevyužívá pro svou práci tlak vzduchu, nýbrž rychlost. Pokud se takovýto proud vzduchu dotkne předmětu s hladkým povrchem, nestane se vůbec nic a vzduch po povrchu předmětu sklouzne. Pokud ovšem nastane situace, kdy tento proud vzduchu narazí na povrch, ve kterém je i nepatrný pór, vzduch se do póru vtláčí a pór exploduje. Takovýto průběh práce nastává, pokud má půda optimální vlhkost (ne moc vlhká ani přesušená). Odhalení kořenů tak probíhá s minimálními škodami, mnohem jemněji a mnohem rychleji, než manuální odkryv. (Čermák 2015)

4.6.5.4 Tahová zkouška

Tato metoda je zaměřena na zjištění funkční dostatečnosti stromu v oblasti mechanické stability. Je složena ze tří kroků – zátěžové analýzy, měření a interpretace dat. V rámci zátěžové analýzy je stanoveno potenciální možné zatížení působící na strom při zvolené rychlosti větru. Vlastní měření se skládá z umělého zatížení stromu tahovou silou, přičemž je simultánně měřena působící síla, přetvoření (deformace) kmene a náklon kmene na jeho bázi. Tato data jsou extrapolována na hodnotu potenciálního zatížení, přičemž je stanovena odolnost stromu proti zlomu a vývratu a to na základě porovnání potenciální deformace s limitní deformací a potenciálního náklonu s tzv. všeobecnou vývratovou křivkou. Výhodou je stanovení přímo pravděpodobnosti selhání, resp. odolnosti vůči selhání vývratem či zlomem. (Sborník přednášek, 2014)

5 Metodika

5.1 Strom

Předmět zkoumání, strom, Trnovník akát (*Robinia pseudoacacia* L.) se nachází v hlavním městě Praha v zámeckém areálu Ctěnice, kde roste jako dvoják u zdi příkopu zámku. Tento strom byl vybrán k posouzení vlivu asymetrie kořenového systému právě z toho důvodu, že roste přímo u zdi příkopu, kde se z jedné strany má možnost kořenový systém plně rozvinout a utvořit takový tvar kořenového systému, který můžeme považovat za optimální (vzhledem k danému druhu dřeviny), naopak na straně druhé, vzhledem k umístění u zdi která tvoří zámecký příkop, je strom v utváření kořenového systému značně omezený. Na této straně strom nemá v podstatě žádnou možnost utvořit kořenový systém, který by mohl být symetrický. Strom zde nemá jinou možnost, kde utvářet kořenový systém, než je podél zdi a to jak ve směru horizontálním, tak i ve směru vertikálním. V ideálním případě by se dalo říci, že strom by naopak tuto komplikaci mohl využít ve svůj prospěch, jelikož stromy mohou pevnou překážku v půdě jako mohou být např. velký kámen a jiné, využít pro svou větší stabilizaci. Tzn., že i tento strom by mohl vertikálně kolmou stěnu v půdě z jedné strany využít jako stabilizační prvek a tím vykompenzovat chybějící část kořenového systému.

5.2 Měření tahové zkoušky

Jednou z nejdůležitějších věcí, které s touto bakalářskou prací souvisejí, je právě tahová zkouška, díky které jsme získali exaktní data, s nimiž můžeme dále pracovat a po správném zpracování a vyhodnocení můžeme z těchto dat vyvodit určité závěry. Tahová zkouška je nedestruktivní a velice přesná přístrojová metoda pomocí které měříme odolnost různých stromů vůči vývratu a nebo také zlomu kmene. Při správném měření a použití tahové zkoušky dochází jen k jedinému mechanickému poškození dřeva stromu a to navíc jen ve velmi malém rozsahu, v několika málo letokruzích těsně pod povrchem borky stromu a to v důsledku použití malých ostrých hřebů, kterými jsou stabilizovány ke kmeni a ke kořenovým náběhům citlivé měřicí přístroje.

K měření tahové zkoušky která je využita pro účely této bakalářské práce byly použity přístroje firmy Abronet, s.r.o. která k těmto účelům využívá přístrojový systém německé firmy Argus electronic GmbH, TreeQinetic® System. Tento přístrojový systém se skládá ze 4 částí kterými jsou:

1. Jeden siloměr, který měří a zaznamenává sílu, která je použita v tahu.
2. Alespoň jeden Elastometr (zpravidla však aslepoň 2), který měří změnu délky marginálních vláken.
3. Minimálně jeden Inclinometr neboli náklonoměr (zpravidla však alespoň 3), který měří náklon stromu v průběhu měření.
4. Vyhodnocovací software ArboStat.

Výhody použití měřicího systému TreeQinetic® System jsou například jednoduché, bezdrátové měření a nepřetržitý sběr dat. Uživatel může vypočítat výsledky samostatně pomocí **ArboStat** softwareu poskytnutého na <http://www.arbosafe.com> a dále nám tento systém poskytuje jednoduše srozumitelné grafické výsledky.

Specifikace jednotlivých komponentů TreeQinetic® System:

Elastometr - rozlišovací schopnost: 0,1 μm ; měřicí rozsah: +/- 2mm

Inclinometr - rozlišovací schopnost: 0,005°; přesnost: 0,005°

měřicí rozsah +/- 15°

Siloměr - rozlišovací schopnost: 0,1 kN; měřicí rozsah 0 – 40 kN

5.3 Vyhodnocení dat

Po získání naměřených dat tahovou zkouškou jsem pro větší transparentnost a přehlednost celé práce poupravil data takovým způsobem, že jsem jako počátek dat stanovil na hodnotu 1 kN/100Kg z naměřených hodnot siloměru a dále jsem pracoval s daty až do maxima měření. Z takto upravených dat byly následně vytvořeny grafy pro nutnost porovnání dat z obou náklonoměrů od každého kmene. Tyto grafy pomohly vyhodnotit, která data z jakého náklonoměru mají vyšší hodnoty a tyto data, jelikož mají pro nás vyšší vypovídací hodnotu, byly dále použity pro porovnávání náklonů mezi

oběma směry jednoho kmene. Pro použití statistických vyhodnocovacích testů jsem poté z celého obsahu dat vyseparoval jen částečné množství hodnot náklonů (většího z obou náklonoměrů) závislých na síle (přepočtené horizontální-což je důležité pro možnost exaktního porovnání, jelikož při počítání s horizontální silou dochází k zohlednění všech proměnných při pořizování různých měření na jiných místech a za odlišných podmínek), a to od 5 kN, což je 500 Kg do 15 kN (1500 Kg). Z takového výběru byly opět udělány grafy pro účely porovnání směrnic regresních přímek proložených hodnotami náklonoměrů.

Následně byl také tento zvolený výběr dat použit do dvou neparametrických párových testů z nichž prvním byl Wilcoxonův párový test a jako druhý test který byl použit pro porovnání byl Znaménkový párový test.

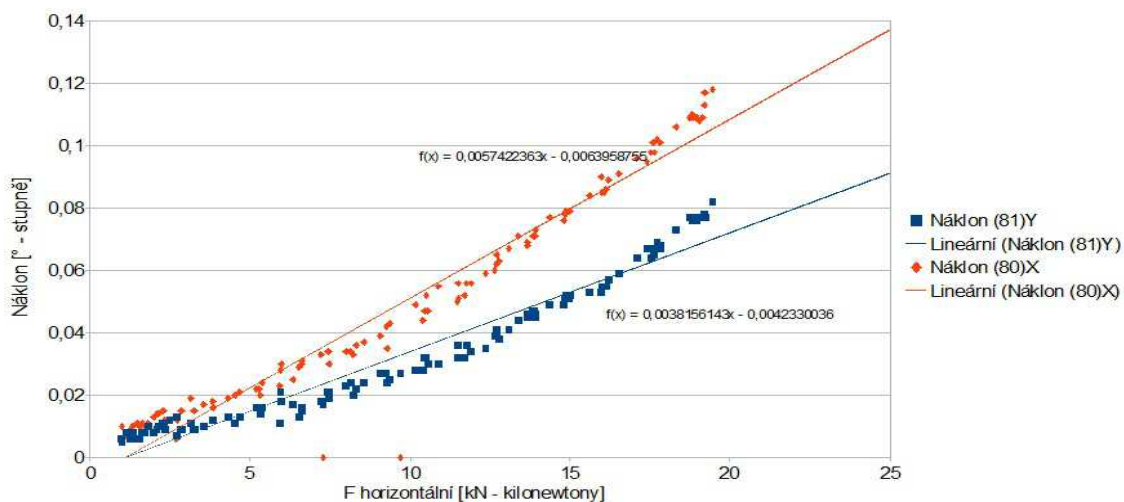
Wilcoxonův párový test byl použit, jelikož v praxi je využíván pro hodnocení párových pokusů, kdy sledovaná veličina neodpovídá Gaussovu normálnímu rozdělení. Porovnává dvě měření u jednoho výběrového souboru. Testuje hypotézu rovnosti distribučních funkcí na základě ověření symetrického rozložení sledované náhodné veličiny.

Znaménkový párový test byl využit díky tomu, že se používá pro vyhodnocení párových pokusů v případech, kdy studovanou veličinu nemůžeme přesně měřit. Jedná se v podstatě o zjednodušený Wilcoxonův test, kdy nejsou používány hodnoty rozdílů, ale pouze jejich znaménka.

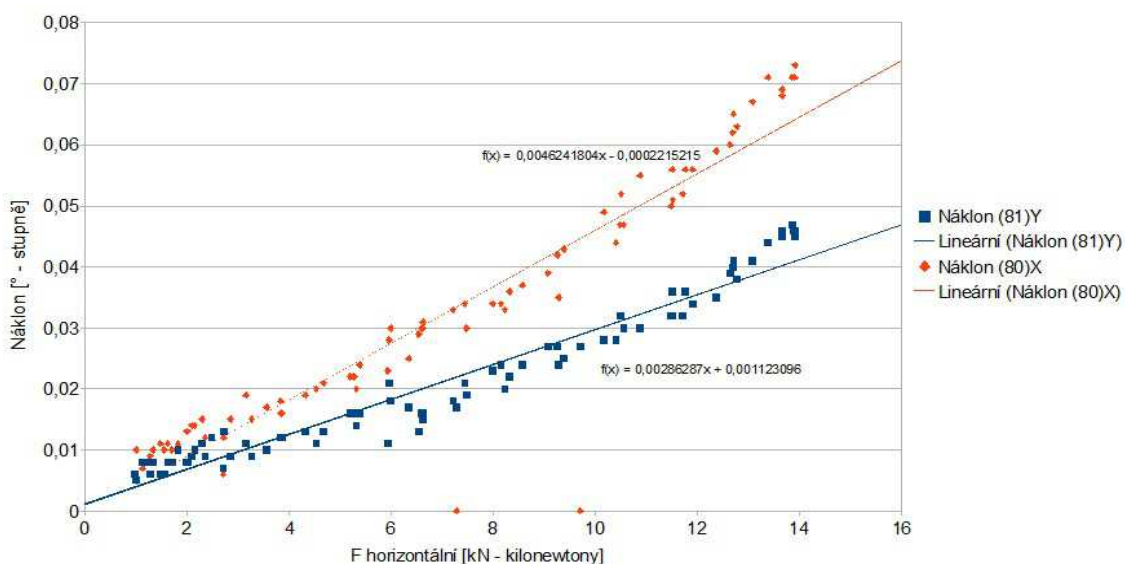
K vyhodnocování dat a provedení statistických testů byl použit softwar PSPP. PSPP je stabilní a spolehlivá aplikace, která umí plnit funkce deskriptivní statistiky jako jsou např. T-test, anova, lineární a logarytmické regrese, neparametrické testy aj. PSPP software, který je volně dostupný ke stažení na <https://www.gnu.org/software/pspp/> a který byl publikován prostřednictvím Free Software Foundation.

6 Výsledky

Na základě naměřených dat a jejich zpracování byly vyhotoveny čtyři grafy (obr. 2 - obr. 5), ve kterých byly porovnány velikosti hodnot obou náklonoměrů závislé na horizontální síle působené na kmen. Naprosto stejné porovnání pak proběhlo i u kmene pravého.



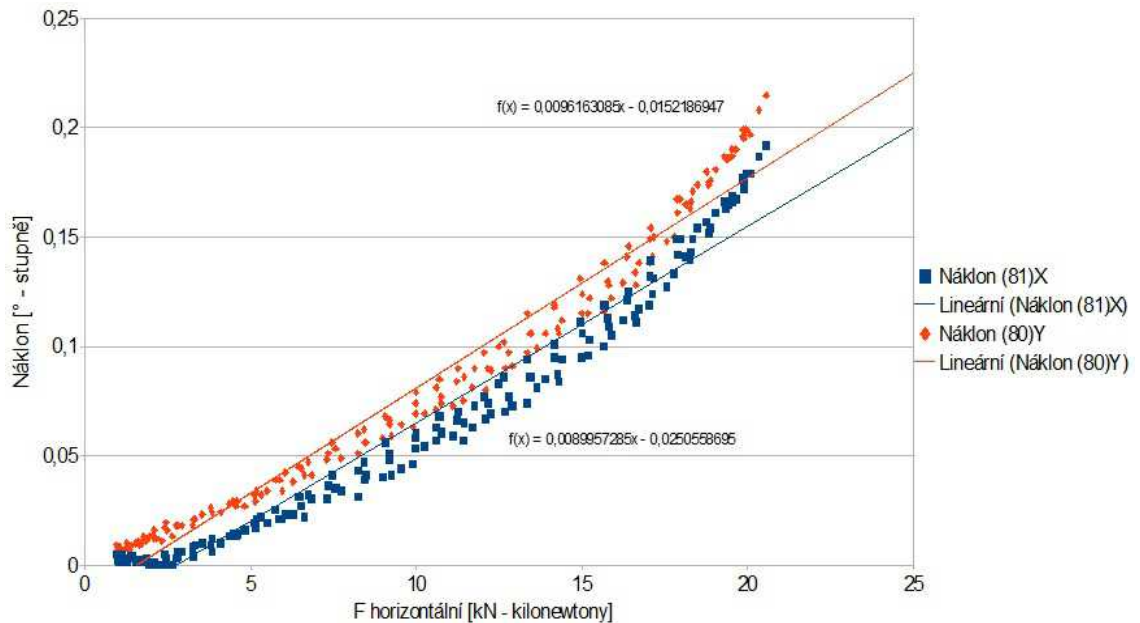
Graf 1: Levý kmen - směr 90



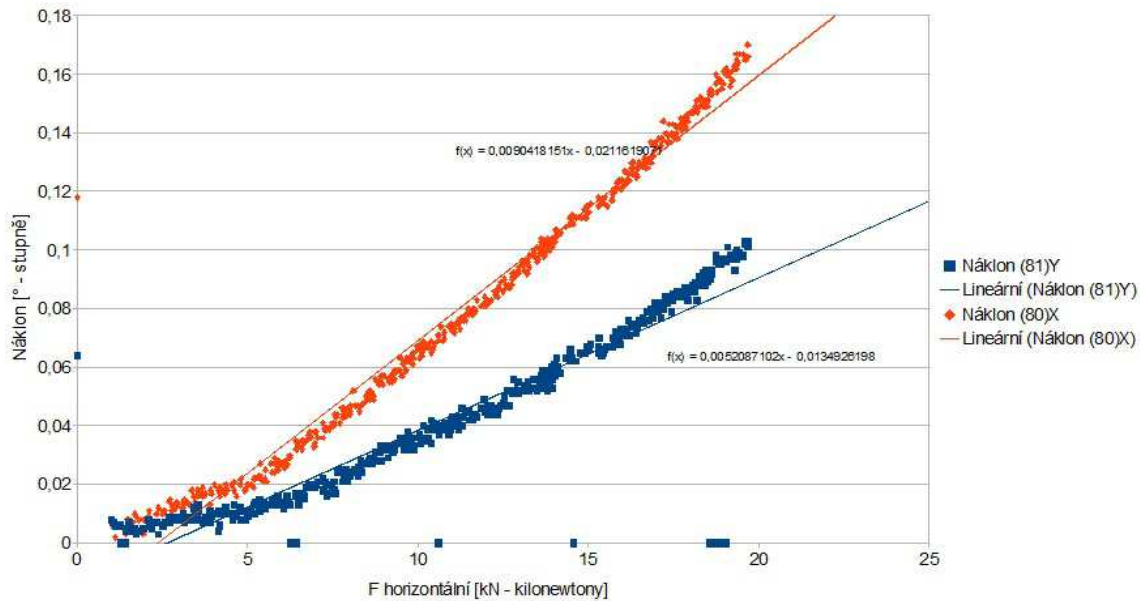
Graf 2: Levý kmen - směr 162

Na grafech 1, 2, 3 a 4 je názorně vidět, které hodnoty z jakých náklonoměrů jsou při působení stejné síly větší. Tato data byla vybrána pro další porovnávání a

vyhodnocování, konkrétně byly pro porovnání vždy vybrány části s lineárním průběhem.



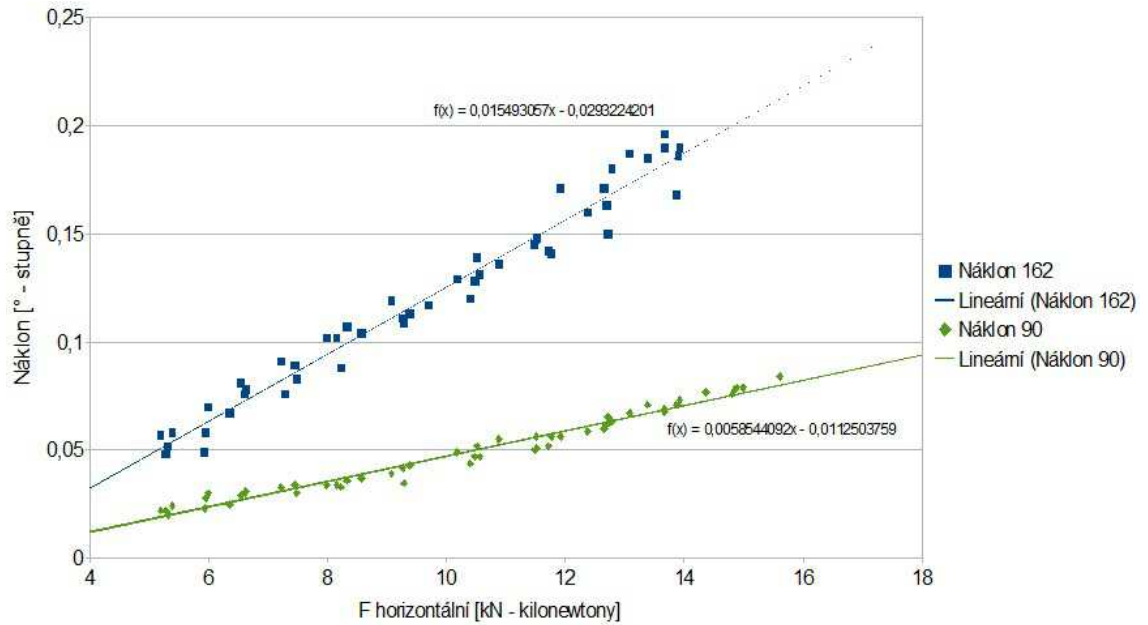
Graf 3: Pravý kmen - směr 162



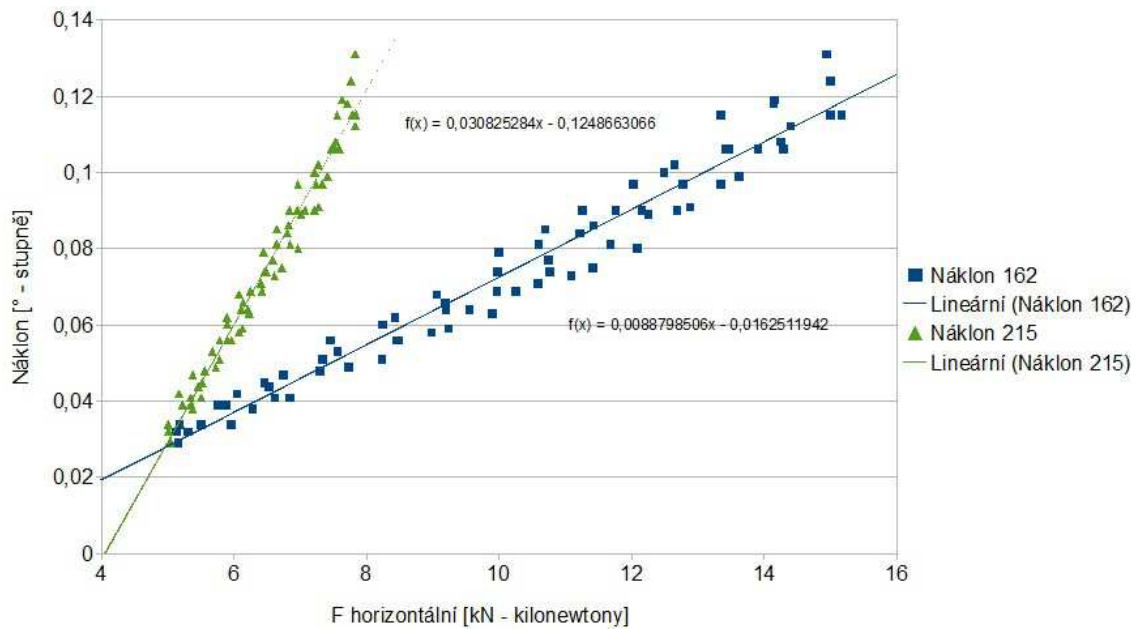
Graf 4: Pravý kmen - směr 215

Pro potvrzení byly dále z těchto grafů porovnány také směrnice regresních přímk (viz. přílohy, tabulka č. 2 a 3), přičemž pokaždé byl pro další použití vybrán výběr se směrnici s vyšší hodnotou. Z upravených výběrů vyšších náklonů obou směrů v obou kmenech byly dále udělány pro konečné vyhodnocování další 2 grafy (obr. 6 a

7), díky kterým bylo možné získat směrnici přímk proložených daty obou náklonoměrů a náklony vyhodnotit.



Graf 5: Levý kmen - porovnání náklonů v rozdílných směrech



Graf 6: Pravý kmen - porovnání náklonů v rozdílných směrech

Z grafů č. 5 a 6 je patrné, že reakce kmene na určité stejné zatížení se v rozdílných směrech liší a tím pádem i tuhost ukotvení a stabilita stromu není v různých směrech měření jednoho kmene stejná.

Tento fakt nám potvrzují i použité statistické testy, jak je možné vidět v tabulkách č. a č. (viz přílohy). Výsledkem zde v obou případech bylo, že porovnávané hodnoty náklonu v různých směrech v jednom kmeni jsou odlišné.

Avšak jak můžeme vidět v tabulce č. 1, vyšší hodnota směrnice regresní přímky, která je pro názornost vyznačena červenou barvou, je u jednoho kmene u jiného směru měření než-li u kmene druhého, kde je tomu právě naopak . Díky tomu můžeme tvrdit, že i takto výrazná asymetrie kořenového systému nemusí mít na celkovou stabilitu stromu významný vliv.

Levý kmen		Pravý kmen	
Směr měření	Směrnice regresní přímky	Směr měření	Směrnice regresní přímky
162°	0,015493057	162°	0,0088798506
90°	0,0015854409	215°	0,030825284

Tabulka č. 1) Porovnání směrnic obou kmenů v obou směrech měření

7 Diskuze

Pro účely této práce byl vybrán stromu druhu *Robinia pseudoacacia* L. a to kvůli jeho extrémnímu omezení kořenového systému z jedné strany stromu, díky němuž bylo možné spolehlivě tvrdit, že kořenový systém je silně asymetrický.

Cílem práce bylo zjistit, zda má právě asymetrie kořenového systému na stabilitu stromu nějaký vliv, jelikož na toto téma jsou 2 zcela odlišné názory jako například názor pánů Matthecka (1998) a Couttse (et al. 1999), kteří ve svých pracích píšou, že stromy s asymetrickým kořenovým systémem nemusí být a priori nestabilní nebo pánů Mickovskise a Ennose (2002), kteří svým výzkumem na druhu *Pinus sylvestris* L. přišli na to, že většina stromů sice vykazovala odlišnou odolnost vůči umělému zatížení v různých směrech, avšak ta nekorespondovala s asymetrií prostorové distribuce kořenů.

Naopak Semerekovská (2012) ve své práci uvádí, že velký rozdíl mezi jednotlivými měřeními u jednoho stromu může poukazovat na nerovnoměrně rozložený kořenový systém. S tímto názorem se shoduje i pan Coutts (1983), který tvrdí, že asymetrie kořenového systému resp. nepřítomnost strukturálních kořenů v některé z částí obvodu stromu způsobuje snížení stability. V rozporu s tímto tvrzením by byla naopak další věc na kterou přišla Semerekovská (2012), a to, že z několika sledovaných stromů se u jedince s nejméně asymetrickým kořenovým systémem, tzn. tím, který se vyznačoval největší symetrií kořenového systému, vyskytovala i nejnižší naměřená hodnota bezpečnosti vůči vyvrácení a to 197 %. I Mickowski a Ennos uvádějí, že při zkoumání stromů s asymetrickým kořenovým systémem přišli na to, že stromy vykazovaly různou odolnost vůči ohybovým silám v různých směrech zatížení, ale tato asymetrie ukotvení nekorelovala s asymetrií kořenového systému.

Z výsledků mé práce je pak patrné, že ačkoli má měřený strom extrémně omezený kořenový systém v důsledku přítomnosti obvodové zdi příkopu zámku, na jeho stabilitu tento fakt nemá nijak zvláště významný vliv. Toto tvrzení je možné podpořit tím, co ve své práci uvádí pánové Mattheck a Breloer (1995), kteří poukazují na schopnost stromu využít pevné překážky ke své stabilizaci. Tento názor může dále korelovat s názorem pánů Mickovskise a Ennose (2002), kteří tvrdí, že nikoli horizontální kořeny, ale kulový kořen a kořeny kotevní hrají v ukotvení stromu

nejvýznamnější roli. S tímto názorem naopak nesouhlasí pan Coutts (1983) který ve své práci uvádí, že pokud strukturální kořeny chybí, nebo jsou vyvinuty jen na jedné straně od kmene, stabilita stromu je snížena.

Blackwell et al. (1990) uvádí, že z hlediska stability je velmi významný kořenový systém právě na tahové straně (respektive na návětrné straně), což jsem u své práce také předpokládal. Předpoklad zněl tudíž tak, že strom bude mít díky výraznému omezení kořenového systému z jedné strany sníženou stabilitu při zatížení kmene ze směru, kde je právě kořenový systém omezen. Aby byl vliv asymetrie kořenového systému na stabilitu tohoto stromu prokázán, reakce stromu na zatížení by musela být větší u obou kmenů ve stejném směru, tzn. ve směru který je kolmo na osu zdi zámeckého příkopu, kde se kořeny fakticky vůbec nevyskytovaly. Tak tomu však v případě mnou pozorovaného stromu nebylo. U levého kmene byla sice rozdílná reakce stromu na zatížení statisticky významná a větší reakce kmene byla ve směru měření která je kolmo na osu překážky, ale u kmene pravého tomu bylo právě naopak. Větší reakce na zatížení se projevila ve směru který nebyl kolmo k ose zdi příkopu a reakce to byla ze všech 4 měření jednoznačně největší, jak je patrné z porovnání směrnic v tabulce č. 1.

Vzhledem k tomuto faktu, jak bylo statistickými testy následně prokázáno, nemá u tohoto jedince asymetrie kořenového systému významný vliv.

8 Závěr

Cílem této práce bylo zjistit, jestli má asymetrie kořenového systému vliv na stabilitu zkoumané dřeviny. Důležitá proto byla volba dřeviny, která má zjevně asymetricky vyvinutý kořenový systém. Pro tuto práci byl vybrán Trnovník akát (*Robinia pseudoacacia* L.) rostoucí jako dvojkmen v zámeckém areálu Ctěnice. Asymetricky vyvinutý kořenový systém byl u dřeviny předpokládán kvůli jeho extrémnímu jednostrannému omezení růstu kořenů kamennou zdí zpevňující terénní sníženinu znemožňující rozvoj kořenového systému. Plocha před zdí pak poskytovala dostatečný prostor pro plný vývoj kořenového systému.

Tato práce je založena na vyhodnocení dat získaných pomocí tahové zkoušky. Její pomocí pak byly zkoumány reakce dřeviny na uměle vytvořené zatížení u každého kmene zvlášť. Samotná tahová zkouška byla provedena na obou kmenech zvlášť a to ve dvou směrech měření. Využitím přístroje TreeQinetic® byla získaná data vyhodnocována programem TreeQinetic Measure.

Po zpracování a vyhodnocení dat statistickými testy a porovnání směrnic regresních přímek všech směrů měření jsem dospěl k takovému závěru, že reakce stromu na působené zatížení sice v obou kmenech mezi směry není stejná nebo srovnatelná což namená, že kmen se v jednom směru při zatížení naklání více než při stejném zatížení ve směru druhém, avšak větší reakce na zatížení není ani v obou kmenech ve stejném směru. Největší náklon kmene ze všech čtyř měření byl navíc zaznamenán v opačném směru, než by se mohlo očekávat.

Ačkoli strom má zjevně z jedné strany omezený růst kořenového systému a tím kořenový systém velmi výrazně asymetrický, z čehož by se dalo předpokládat že vliv na stabilitu stromu v tomto směru zatížení bude značný, nemusí mít tento fakt na celkovou stabilitu stromu zvláště významný vliv.

9 Summary

The main target of this bachelory thesis was find out, if the asymetry of the root system has some influence on the stability of the tree wich was for this thesis chosen. Very important was for this intent to chose right tree, which has asymetric root system. For this work was chosen tree Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) wich grow like one tree with two trunks. This tree grow in Ctěnice castle's area. The asymetric root system was assumed because of from one side of the tree is missing whole half side of ground as there is wall of castle's fosse. The other side of the wall, is by contraries able to provide lot of space for roots.

This bachelory thesis is build on plotting of data, wich was measeured by tensile test. The trees were measured by tensile test and each trunk was measured in two different directions, and then data from this tests. The data was got by utilization TreeQinetic® system and then evaluated by TreeQinetic Measure program.

After, when was data processed and evaluated, was compared also tanget of the regressive strainght line. From results all of these tests is clear, that reaction of the tree on weighting is different, thats mean the trunk has different inclination on one side of measuring and different inclination from other side, but the bigger reaction of the trunks isn't from the same direction. The biggest inclination of the trunk from all of the measuring was even noticed from oposite directin then could be expected.

Altought the tree has form one side obvioulsy limited grow possibility of the roots and then extremely asymetric root systém, from which we could suppose that effect on stability of the tre would be geiping, this fact doesn't have to have considerable effect on the stability of the tree.

10 Přehled literatury

Blackburn, G. 1997. The growth and mechanical response of trees to wind loading. Unpublished PhD thesis, University of Manchester.

Blackwell, P. G., Rennolls, K., Coutts, M. P. 1990. A Root Anchorage Model for Shallowly Rooted Sitka spruce. *Forestry* 63 (1): 72-93

Coutts, M. P. 1983. Root Architecture and Tree Stability. *Plant Soil* 71 (1-3): 170-189

Coutts, M.P. 1986. Components of tree stability in Sitka Spruce on peaty gley soil. *Forestry* 59: 172-198

Coutts, M. P., Nielsen, C.C.N., Nicoll, B. C. 1999. The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers. *Plant and Soil* 217: 1-15.

Crow, P. 2005. The influence of soil and species on the tree depth. Information Note FCINO78 Forestry Commission Edinburgh. 8 s.

Čermák J., Nadezhdina H. 1998. Sapwood as the scaling parameter-defining according to xylem water content or radial pattern of sap flow. *Annales Des Sciences Forestières*, 55: 509-521.

Danjon, F., Fourcraud, T., Bert, D. 2005. Root architecture and wind-firmness of mature *Pinus pinaster*. *New Phytologist* 168: 386-401

Dobson, M.C. And Moffatt, A.J. 1993. The potential for woodland establishment on landfill sites. HMSO, London, 88pp.

Drew, M.C. 1997. Oxygen deficiency and root metabolism: Injury and Acclimation Under Hypoxia and Anoxia. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 48: 223-250.

Friess, František, Jan Reisner a Aleš Zeidler. *Materiály I: pro UO Truhlář*. Praha: Informatorium, 2008. ISBN 978-80-7333-070-5.

Gregory, P.J. 2006. *Plant roots*. Blackwell Publishing. Oxford. UK. 309 s.

Humlak. <http://www.humlak.cz/> [online]. [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/2.pdf

Jan Čermák. 2015. In: *Výzkumný ústav lesnického hospodářství a myslivosti* [online]. [cit. 2016-02-3]. Dostupné z: <http://www.vulhm.cz/sites/File/ZLV/fulltext/415.pdf>

Katedra Botaniky. <http://www.botanika.upol.cz/>. [online]. [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.botanika.upol.cz/atlasy/anatomie/anatomieCR21.pdf>

Kolařík, J. a kol., 2005. Péče o dřeviny rostoucí mimo les II. Vlašim, ČSOP, 710 s. ISBN: 80-86327-44-2

Kramer, P. J., Boyer, J. S. 1995. Water relations of plants and soils. Academic Press. Michigan. USA. 489 s.

Krieter, M. 1986. Untersuchungen von Bodeneigenschaften und Wurzelverteilungen an Strassenbaumstandorten (Linde). *Das Gartenamt* 35: 675-679

Kubikova J. 1967. Contribution to the classifications of root systems of woody plants. *Preslia Prague* 39: 235-244

Lyford, W.H., Wilson, B. F. 1964. Developmet of the root systems of *Acer rubrum* L. Harvard forest paper, No 10.

Lyford, W.H. 1980. Developmet of the root system of northern red oak (*Quercus rubra* L.). Harvard forest paper. Petersham. Massachusetts.

Mattheck. M., Breoler, H. 1995. The Body Language of Trees: A handbook for failure analysis, (Research for Amenity Trees 4), HMSO, London, 240 s.

Mauer O., Palátová E. 1990. Effect of environment acidification on the development of root system in some forest tree species. In: Persson, H. (ed.): Above and below-ground interactions in forest trees in acifield soils. Proceedings of a workshop. Sweden, 21-23

May 1990. Uppsala: 79-84. Air Pollution Research Report, 32.

Obecna botanika. <http://web2.mendelu.cz/> [online]. [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_211_multitext/obecna_botanika/texty-histologie-pletiva_vodiva.html

Ústav nauky o dřevě. <http://www.ldf.mendelu.cz/>. [online]. [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/vyuka/mikro/paren

chymaticke_bunky_listnace.htm

a

http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/vyuka/mikro/paren

chymaticke_bunky_jehlicnany.htm

Mickovski, S. B., Ennos, A. R. 2002. A Morphological and Mechanical Study of the Root Systems of Suppressed Crown Scots Pine *Pinus sylvestris*. *Trees*, 16 (4-5): 274-280

Mickovski S.B., Ennos A. R. 2003. The effect of unidirectional stem flexing on shoot and root morphology and architecture in young *Pinus sylvestris* trees. *Can. J. Forest Res.* 33: 2202-2209.

Pallardy, S. G. 2008. *Physiology of woody plants*. Academic Press. Burlington, MA. USA. 3 vydání. 453 s.

Panoramio. <https://ssl.panoramio.com>. [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupné z: https://ssl.panoramio.com/photo_explorer#view=photo&position=2&with_photo_id=3565068&order=date_desc&user=713186 (Obrázek7)

Panoramio. <https://ssl.panoramio.com>. [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupné z: https://ssl.panoramio.com/photo_explorer#view=photo&position=22&with_photo_id=4354882&order=date_desc&user=860484 (Obrázek 8)

PRAUS, L., 2006. Mechanická stabilita stromů a metody jejího zjišťování [online] Dostupné z: <http://wood.mendelu.cz>

Rahardjo, H., Harnas, F.R., Leong, E.C., Tan, P.Y., Fong, Y.K. And Sim,E.K. 2009. Tree stability in an improved soil to withstand wind loading. *Urban Forestry and Urban Greening* 8, 237-247

Russel, R.S. 1997. *Plant Root systems: Their Funtion and Interaction with the Soil*. McGraw-Hill, London. 298 s.

Sborník přednášek. 2014. Diagnostika stavu stromu. <http://ldf.mendelu.cz/>. [online]. [cit. 2016-02-08]. Dostupné z: <http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/sborn%C3%ADk.pdf>

Smerekovská Darina. 2012. Zhodnocení dynamiky stabilizace stromu pomocí tahové zkoušky. Bakalářská práce. Mendelova Univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Luděk Praus PhD. Brno.

Urban forestry skriptum. <https://akela.mendelu.cz>. [online]. [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/skripta/Urban_Forestry_skriptum.pdf

Ústav nauky o dřevě. <Http://www.ldf.mendelu.cz/>. [online]. [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/vyuka/makro/html

Laboratorní práce. <http://vscht.cz/> [online]. [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/

Vyskot M. 1971. Základy růstu a produkce lesů. Praha, SZN: 440s.

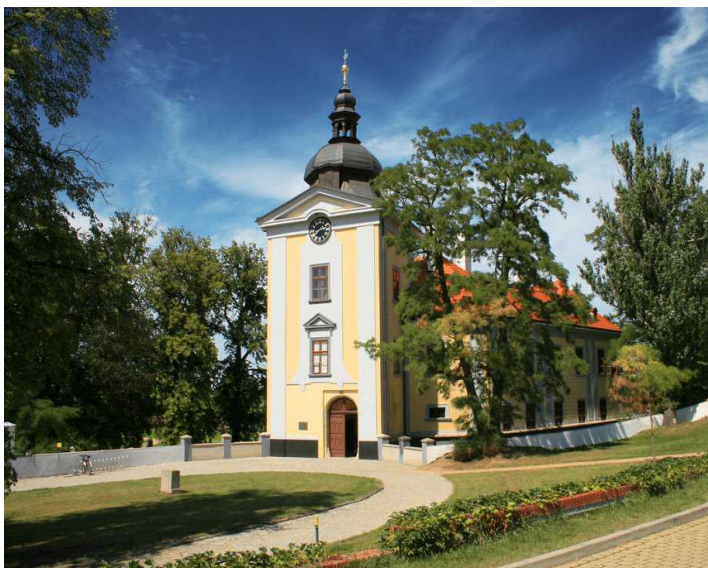
Wessolly, L., Erb, M. 1998. Hnadbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. ISBN 387610931

Wilcox, H.E. 1964. Xylem in the roots of *Pinus resinosa* Ait. In relation to heterorhizy and growth activity. In: Zimmermann, M.H., ed. The formation of wood in forest trees. Academic Press. New York. 458-479.

Zkoušení stavebních hmot a výrobků. <http://homel.vsb.cz/>. [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zkouseni

Zobel, R.W., Waisel, Y. 2010. A plant root system architectural taxonomy: A framework for root nomenclature. Plant Biosystems 144 (2): 506-513

11 Přílohy



Obr. 2: Ctěnice - hlavní vchod s měřeným stromem



Obr. 3: Ctěnice - měřený strom



Obr. 4: Náklonoměr připevněný k bázi kmene



Obr. 5: Komunikační jednotka propojující počítač s měřícím systémem



Obr. 6: Siloměr (forcemetr)



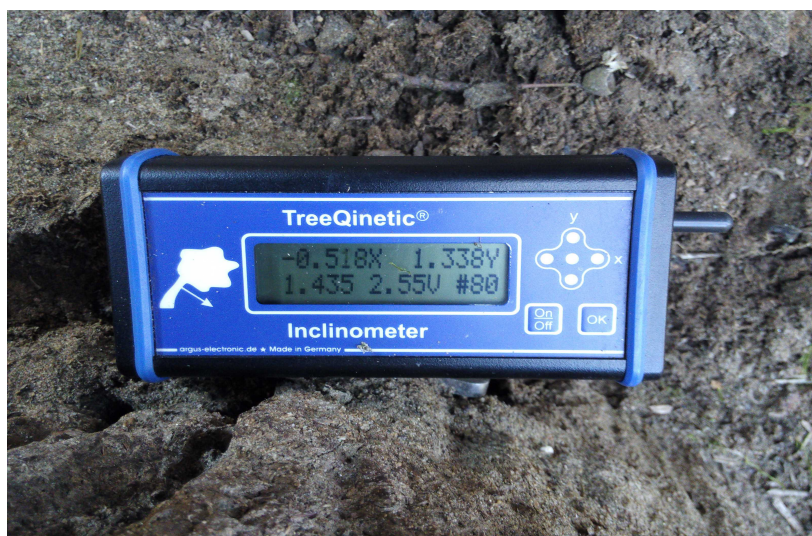
Obr. 7: Tahací zařízení (pulling machine)



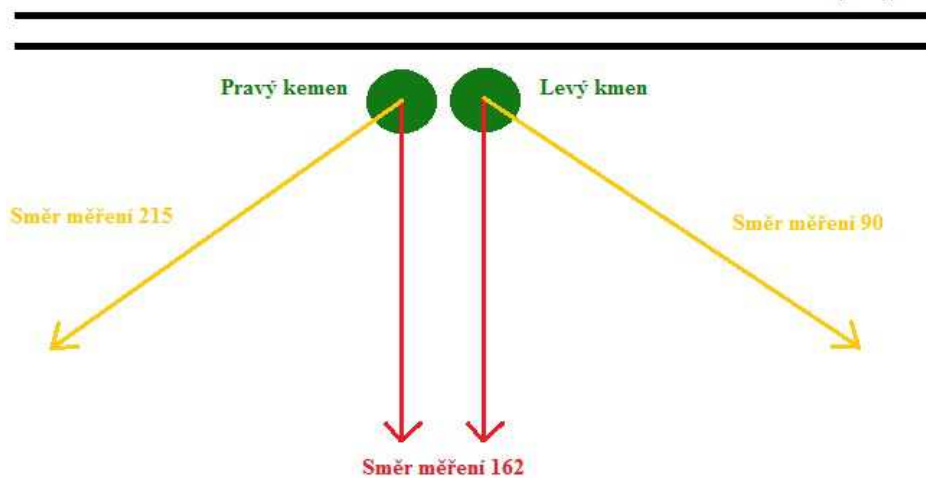
Obr. 9: Upevňovací hřeby



Obr. 8: Měřič deformace (elastometr)



Obr. 10: Náklonoměr (inclinometr)



Obr. 11: Znáznornění směrů tahů

Levý kmen – směr 90°		Levý kmen – směr 162°	
Náklon	Směrnice regresní přímky	Náklon	Směrnice regresní přímky
(81)Y	0,0038156143	(81)Y	0,00286287
(80)X	0,0057422363	(80)X	0,0046241804

Tabulka č. 2) Porovnání směrnic obou náklonoměrů v obou směrech levého kmene

Pravý kmen – směr 162°		Pravý kmen – směr 215°	
Náklon	Směrnice regresní přímky	Náklon	Směrnice regresní přímky
(81)X	0,0089957285	(81)Y	0,0052087102
(80)Y	0,0096163085	(80)X	0,0090418151

Tabulka č. 3) Porovnání směrnic obou náklonoměrů v obou směrech pravého kmene

Neparametrické testy

Wilcoxonův párový test

Levý kmen

L90 – L162	N	Průměr řad	Součet řad
Záporné řady	48	24,5	1176
Kladné řady	0	NaN	0
Vzaby	0		
Total	48		

L90 - L162	
Z	-6,03
Asymp. Sig. (dvoustranná)	0

Pravý kmen

P162 – P215	N	Průměr řad	Součet řad
Záporné řady	0	NaN	0
Kladné řady	72	36,5	2628
Vzaby	0		
Total	72		

P162 – P215	
Z	-7,37
Asymp. Sig. (dvoustranná)	0

Znaménkový párový test

L90 – L162	N
Záporné rozdíly	48
Kladné rozdíly	0
Vzaby	0
Total	48

L90 - L162	
Exact Sig. (dvoustranná)	0
Exact Sig. (jednostranná)	0
Stupeň pravděpodobnosti	0

P162 – P215	N
Záporné rozdíly	0
Kladné rozdíly	72
Vzaby	0
Total	72

P162 – P215	
Exact Sig. (dvoustranná)	0
Exact Sig. (jednostranná)	0
Stupeň pravděpodobnosti	0

Tabulka č. 3) Všechny testy jsou prokazatelné na hladině $\alpha=99\%$

12 Seznam použitých obrázků

Obrázek č. 1: Rozlišení typů kořenů (Danjon, 2005).	str. 19
Obrázek č. 2: Ctěnice - hlavní vchod s měřeným stromem (Panoramio).	str. 38
Obrázek č. 3: Ctěnice - měřený strom (Panoramio).	str. 38
Obrázek č. 4: Náklonoměr připevněný k bázi kmene (autor Vladimír Pekárek). . .	str. 39
Obrázek č. 5: Komunikační jednotka propojující počítač s měřícím systémem (autor Vladimír Pekárek).	str. 39
Obrázek č. 6: Siloměr (forcemetr) (autor Vladimír Pekárek).	str. 39
Obrázek č. 7: Tahací zařízení (pulling machine) (autor Vladimír Pekárek).	str. 40
Obrázek č. 8: Měřič deformace (elastometr) (autor Vladimír Pekárek).	str. 40
Obrázek č. 9: Upevňovací hřeby (autor Vladimír Pekárek).	str. 40
Obrázek č. 10: Náklonoměr (inclinometr) (autor Vladimír Pekárek).	str. 40
Obrázek č. 11: Znázornění směrů tahů (autor Vladimír Pekárek).	str. 41

13 Seznam použitých grafů

Graf č. 1: Levý kmen - směr 90.	str. 25
Graf č. 2: Levý kmen - směr 162.	str. 25
Graf č. 3: Pravý kmen - směr 162.	str. 26
Graf č. 4: Pravý kmen - směr 215.	str. 26
Graf č. 5: Levý kmen - porovnání náklonů v rozdílných směrech.	str. 27
Graf č. 6: Pravý kmen - porovnání náklonů v rozdílných směrech.	str. 27

14 Seznam použitých tabulek

Tabulka č. 1: Porovnání směrníc obou kmenů v obou směrech měření. str. 28

Tabulka č. 2: Porovnání směrníc obou náklonoměrů v obou směrech levého kmene. str. 35

Tabulka č. 3: Porovnání směrníc obou náklonoměrů v obou směrech pravého kmene. str. 35

Tabulka č. 4: Tabulka č. 4) Všechny testy jsou prokazatelné na hladině $\alpha=99\%$. . str. 42