

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zahradní a krajinné architektury



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Využití akustického tomografu pro hodnocení stromů

Bakalářská práce

Eliška Chrzová, DiS.

Zahradní a krajinářské úpravy

Ing. Miroslav Ezechel

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití akustického tomografu pro hodnocení stromů" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Miroslavu Ezechelovi za jeho věcné připomínky, čas a trpělivost, které mi věnoval při konzultacích. Také bych ráda poděkovala České zahradnické akademii v Mělníce za propůjčení akustického tomografu a zázemí, které mi poskytli. Dále bych chtěla poděkovat přátelům a rodině za jejich podporu.

Využití akustického tomografu pro hodnocení stromů

Souhrn

Práce je zaměřena na hodnocení dřevin a zjištění jejich poškození. U poškození dřevin záleží na způsobu, umístění a vlivu škodlivých činitelů. Aby se defekt správně zhodnotil, použijí se přístrojové metody. Některé fungují na principu šíření zvuku, mezi takové patří akustický tomograf.

Akustickým tomografem se měřila nasimulovaná poškození na špalcích. Jednalo se o simulovaná poškození otvoru, kovového předmětu, podélné dutiny a zatlučeného hřebíku. Protože byla poškození malá, tak je akustický tomograf nezměřil. Což je dobré vědět u měření dřevin, v kterých je třeba zatlučen hřebík, měření nebude tímto poškozením narušeno.

Klíčová slova: akustický tomograf, hodnocení dřevin, šíření zvuku, poškození dřevin, stabilita

Application of the acoustic tomography for assessment of trees

Summary

This thesis is focused on assessment of trees and detection of their injury. At injury of woody plants depends on process location and effect of harmful factor. So the defect of rightly appraised with using device method. Some of them working on principle spreading of sound, between those ones belongs acoustic tomography.

Acoustic tomography measured dissimilar injury on logs. These were simulated damages to a hole, a metal object, a longitudinal cavity and a hammered nail. Because injuries were small, so acoustic tomography couldn't measure it. Well that's good to know at measuring woody plants in which ones are pound nail, measurement of this injury will be not disrupted.

Keywords: acoustic tomography, assessment of trees, spreading of sound, injury of woody plants, stability

Obsah

1 Úvod	9
2 Cíl práce	10
3 Literární rešerše	11
3.1 Hodnocení dřevin	11
3.1.1 Lokalizace dřevin	11
3.1.1 Taxon dřeviny	12
3.1.2 Měření dřeviny	12
3.1.3 Stáří dřeviny	12
3.1.4 Fyziologické stáří	13
3.1.5 Fyziologická vitalita	13
3.1.6 Zdravotní stav	13
3.2 Přístrojové metody	14
3.2.1 Testovací tyče a kladívko	15
3.2.2 Presslerův nebozez	15
3.2.3 Fraktometr	15
3.2.4 Endoskop	15
3.2.5 Penetrometry	15
3.2.6 Shigometer	16
3.2.7 Tahové zkoušky	16
3.3 Akustický tomograf	16
3.3.1 Použití tomografu	18
3.3.2 Šíření zvuku	17
3.4 Poškození dřevin	18
3.4.1 Abiotičtí činitelé a vliv člověka	18
3.4.1.1 Teplota	19
3.4.1.2 Srážky	19
3.4.1.3 Vítr	20
3.4.1.4 Blesk	20
3.4.1.5 Krupobití	20
3.4.1.6 Světlo	20
3.4.1.7 Půda	21
3.4.1.8 Živiny v půdě	21
3.4.1.9 Kontaminace půdy	21
3.4.1.10 Zasolení půdy	21

3.4.1.11	Psí vykaly.....	22
3.4.1.12	Únik zemního plynu.....	22
3.4.1.13	Těžké kovy.....	22
3.4.1.14	Herbicidy a jiné pesticidy.....	22
3.4.1.15	Podzemní voda.....	23
3.4.1.16	Prašnost prostředí.....	23
3.4.1.17	Zemní práce a mechanická poškození.....	23
3.4.2	Biotičtí činitelé.....	24
3.4.2.1	Viry.....	24
3.4.2.2	Bakterie.....	24
3.4.2.3	Houby.....	24
3.4.2.4	Rostliny.....	26
3.4.2.5	Roztoči.....	26
3.4.2.6	Hmyz.....	27
3.4.2.7	Obratlovci.....	27
4	Metodika.....	28
4.1	Pomůcky.....	28
4.2	Příprava.....	28
4.3	Měření.....	28
4.4	Simulace poškození.....	29
4.5	Vyhodnocení výsledků.....	29
5	Výsledky.....	30
5.1	Vzorek 1 – bez vytvoření defektu.....	30
5.2	Vzorek 1 – Zatlučený hřebík.....	32
5.3	Vzorek 1 – Simulace otvoru.....	33
5.4	Vzorek 1 – Simulace kovového předmětu.....	35
5.5	Vzorek 2 – bez vytvoření defektu.....	36
5.6	Vzorek 2 – Simulace podélné dutiny.....	38
6	Diskuze.....	40
7	Závěr.....	41
8	Literatura.....	42
9	Samostatné přílohy.....	I

1 Úvod

Téma bakalářské práce jsem si vybrala z více důvodů. Jedním z nich je, že mám ráda přírodu a druhým důvodem je, že jsem si chtěla vyzkoušet měření akustickým tomografem.

Bakalářská práce se zabývá hodnocením dřevin, měřením akustickým tomografem a poškozením dřevin.

„Vztah lidí a stromů je vztahem starým jako lidstvo samo. Stromy byly od nepaměti lidmi uctívány, velebeny i chráněny. Je otázkou, jestli je prapříčinou této úcty společný kus evoluční cesty, ochrana poskytovaná stromy lidem, obdiv k jejich mohutnosti a dlouhověkosti nebo také význam stromů jako zdroje suroviny či ovoce, či jejich prostá harmonie a krása. Nejspíše to asi bude od všeho kousek, jisté však je, že strom je pro mnohé lidi symbolem života. Strom poznání stojí na počátku biblických dějin a úmrtí posledního stromu je vnímáno jako znamení lidské bezohlednosti k přírodě, vedoucí k zániku“ (Kolařík J. et al. 2003).

Protože u některých vysazených dřevin chybí dostatečná péče nebo se jim nedostává vůbec, jejich stav se zhoršuje a mnoho mladých jedinců hyne. To má za následek snižování počtu dřevin. Má to vliv na charakter krajiny, z které mizí význačné krajinné prvky, jako jsou solitérní stromy, skupina dřevin, výsadba podél silnic atd. To způsobuje také úbytek živých organismů, které jsou na dřeviny závislé (Gregorová B. et al. 2006).

Při vizuálním hodnocení poškozených dřevin, nelze spolehlivě zhodnotit některé defekty. Proto se používají diagnostické přístroje, které co nejpřesněji určí míru rizika selhání. A zachrání jedince, který by byl vizuálním hodnocením odsouzen k pokácení. Jedním z diagnostických přístrojů je akustický tomograf (Kolařík J. et al. 2005).

2 Cíl práce

Cílem práce bylo na modelových situacích simulovat poškození vzorku dřeviny, porovnat průchod zvuku nepoškozeným a poškozeným vzorkem a porovnat zjištěné údaje s rozsahem umělého poškození.

Hypotézy:

Na základě porovnání rychlosti zvuku procházející zdravým a poškozeným dřevem lze stanovit rozsah poškození dřeviny.

Umělým poškozením špalku ze stromu lze simulovat určité typy poškození dřeviny a zjistit u nich rychlost šíření zvuku.

3 Literární rešerše

3.1 Hodnocení dřevin

Při hodnocení dřevin se obvykle hodnotí popis dřeviny tedy název dřeviny, její výška, nasazení koruny atd. Dále se musí zhodnotit zdravotní a fyziologický stav dřeviny a také rizikovost stromu na stanovišti, což znamená zjistit stav a zajistit provozní bezpečnost. Nejdůležitější je určit opatření pro zlepšení podmínek a stabilizaci stromu. Může se hodnotit i estetický a ekologický význam (Kolařík J. et al. 2005).

Hodnocení se dělá vizuální, kdy se hodnotí viditelné projevy a záleží na zkušenostech hodnotitele. Potom hodnocení podle speciálních metodik například VTA, WLA, SIA, EHT. Nebo pomocí přístrojů jako je např. Picus, fraktometr, Arbosonic, resistograf a další (Kolařík J. et al. 2005).

Pro inventarizaci je důležitý sběr dat, který se provede různými metodami. Buď se použije jednoduchá metoda, kdy se dřevina hodnotí slovním popisem, kdy se vyjmenují riziková místa, a navrhne se opatření. Nebo se použijí hodnotící tabulky, kde se podle návodu posuzují dřeviny a podle obrázků se určují vyskytující se defekty a podle toho se zvolí návrh opatření. U velkého počtu dřevin se využívá kódové označení, které je možné statisticky zpracovat (Kolařík J. et al. 2005). Existuje Národní skupina pro bezpečnost stromů (National Tree Safety Group), která pomáhá např. vlastníkům pozemků udržet dřeviny bez poškození a v dobré kondici (www.symbiosisconsultinguk.com).

3.1.1 Lokalizace dřevin

Protože dřeviny své polohy nemění, je možné jejich polohu použít k identifikaci. Bod se určuje svislou čarou, která prochází středem kmene. U vícekmene je bod uprostřed rozvětvení. U stromu, který je ve svahu, se použije zaměření po vrstevnici. Pokud je více stromů na jednom místě, použije se tagování.

Tagy jsou štítky, kterými se označují stromy. Mohou být hliníkové, na kterých jsou vyryté názvy a čísla a jsou připevněny hřebíkem. Problém nastává, když se destička ošoupe a značení je nečitelné. Další možností jsou plastové štítky, na kterých jsou čísla a čárový kód. Některé mohou být připevněné pomocí nožiček a některé pomocí hřebíku. U hliníkových a plastových štítků je riziko vandalství a štítky se mohou ztratit. Existují ještě radiové čipy (RFID), které jsou zaváděny do kmene a nehrozí tak jejich ztráta. Z čipů se informace čtou pomocí čtečky a mohou se do nich přidávat i další nové informace.

Dřeviny se zakreslují do mapového podkladu, přesnost se bere od ± 1 do 15m. Jako mapové podklady se používají tři typy map, a to rastrová černobílá mapa, rastrová barevná mapa a vektorová mapa (Kolařík J. et al. 2005).

3.1.1 Taxon dřeviny

Dřevina se musí určit a pojmenovat, určuje se druh, a pokud je to nutné, tak kultivar nebo varieta. Používají se hlavně vědecké názvy, tedy v latině. Pro lepší orientaci se používají zkratky a číselné kódy např. číselník ÚHUL. Vytvoří se tabulka, kde se ke každé dřevině přiřadí číslo a podle názvu se vytvoří zkratka. Takže bude např. číselný kód: 5, zkratka: LP, Český název: lípa srdčitá a Vědecký název: *Tilia cordata*. Aby byl pláněk přehlednější, k zakreslené dřevině se napíše buď pouze číslo, nebo číslo a zkratka (Kolařík J. et al. 2005).

3.1.2 Měření dřeviny

Nejprve se měří obvod kmene, nejčastěji je to ve výšce 130 cm nad zemí, kvůli kořenovým náběhům. Pokud se měří kmen u vícekmenu, měří se to výšce 130 cm nad zemí a každý kmen zvlášť nebo se vyberou ty nejsilnější. K měření se používá látkové plátno, které lépe přilne ke kmeni. Další věcí u kmene se měří průměr, buď se spočítá přes vzoreček obvodu, nebo se změří pomocí dvouramenné průměrky. Ta může být obyčejná nebo elektronická, odchylka se pohybuje okolo 1 cm. Může se použít i jednoramenná průměrka, ale ta je více nepřesná.

Jako další je výška stromu, která se velice náročně měří, a proto se využívá odhad výšky. První metoda je pomocí nějakého předmětu např. rovná větev, ta musí být tak dlouhá, jako je vzdálenost mezi okem a pěstí. Potom se větev uchopí svisle na délku paže a přiloží se před strom. Člověk s větví musí couvat od stromu tak daleko, dokud větev nepřekrývá strom od špičky koruny po bázi kmene. Vzdálenost člověka od báze kmene se změří pásmem nebo elektrickým měřičem vzdálenosti, a to by měla být výška stromu. Další metoda je pomocí výškoměrů např. Christenův nebo zrcadlový relaskop. Princip zůstává stejný, akorát se potom z přístroje odečítá odstupová vzdálenost, měření se provádí dvakrát. Jednou se zaměří na špičku koruny a podruhé na bázi kmene. Pokud strom stojí na rovině, oba odečty se k sobě přičtou. Pokud stojí strom ve svahu, oba odečty se od sebe odečtou.

Posledním měřením je měření průmětu koruny, které se počítá jako aritmetický průměr dvou na sebe kolmých přímek. Přesnost je ± 1 m, ale nepřesnosti mohou způsobit např. větve z vedlejšího stromu. Průmět koruny slouží ke znázornění v digitální mapě a pro zhodnocení hustoty porostu a pro lepší orientaci při umístění nové výsadby. Dále pro výpočet ochranného prostoru pro kořeny při stavebních činnostech (Kolařík J. et al. 2005).

3.1.3 Stáří dřeviny

Stáří dřeviny lze určit několika způsoby, nejpřesnější je metoda pomocí Presslerova nebozezu. Je to dutý vrták s šířkou 5 až 10 mm, který má lžičku na vyndání dřevního válečku. V dřevním válečku jsou vidět letokruhy, podle kterých se určí stáří dřeviny a lze poznat, kdy dřevina trpěla stresem. Protože při odběru vzorku, dochází k velkému poškození dřeviny, tato metoda se používá velice málo. Další metoda je odhad stáří podle průměru kmene. Změří se kmen, vypočítá průměr a najde se v tabulce taxon dřeviny, u toho jsou napsané tloušťky letokruhů, minimální, maximální a průměrná tloušťka. Např. *Juglans regia*, průměrná tloušťka letokruhů 3,550; tloušťka letokruhů od 2,15 do 4,95. Hodnoty se dosadí do vzorečku $V=$

$(5/[\pi*d])*R_L$, kde V je věk, d je průměr kmene a R_L je tloušťka letokruhu a výjde věk dřeviny. Poslední metoda je podle křivkyrůstového modelu. Kdy je zase potřeba průměr kmene a v tabulce se najde taxon dřeviny a k tomu určené parametry. Např. *Quercus cerris*, B1 1,241802, B2 109,9123 a B3 1,512968. Hodnoty se dosadí do vzorečku $V=B2*(d/[B1*d])^{(1/B3)}$, kde d je průměr kmene a B1,B2,B3 jsou parametry (Kolařík J. et al. 2005).

3.1.4 Fyziologické stáří

Pro hodnocení dřevin není věk tak důležitý jako vývojové stádium. Pro správné zařazení je potřeba změřit obvod kmene a určit taxon. Kategorie pro zařazení jsou: 1 – nově vysazený jedinec, neaklimatizovaný; 2 – mladý aklimatizovaný strom ve fázi dynamického růstu; 3 – dospívající jedinec, dorůstající do velikosti dospělého stromu; 4 – dospělý jedinec, začíná se projevovat stagnace růstu; 5 – starý jedinec, projevuje se ústup koruny; 6 – senescentní jedinec – strom s postupně odumírající primární korunou. Např. *Sorbus* spp. s obvodem kmene větší než 2,5 m má hodnotu fyziologického stáří 6, tedy je to senescentní jedinec. U *Quercus* spp. s obvodem menší než 3,5 m má hodnotu fyziologického stáří 4, tedy dospívající jedinec. *Tilia* spp. s obvodem 4 – 4,5 m má hodnotu fyziologického stáří 5, tedy starý jedinec (Kolařík J. et al. 2005).

3.1.5 Fyziologická vitalita

Fyziologická vitalita je stav, kdy je dřevina schopna reagovat a regenerovat vnitřní i vnější vlivy, které na ní působí a nemá to trvalý ani viditelný vliv na funkčnost. Na jednom stanovišti může být vitalita rozdílná, záleží na druhu dřeviny, na fyziologickém stáří a na množství srážek. Fyziologická vitalita se tak může hodnotit pouze v daném čase, protože se často mění, proto se nemůže zapisovat do dlouhodobých statistik a musí se dle potřeby dělat znovu. Projev vitality může být viděn na stavu olistění, kdy jsou buď listy v pořádku, nebo na dřevinu působí více škodlivých vlivů, jako je znečištění ovzduší, vodní stres, kontaminace půdy, listožravý hmyz, hubová či bakteriální onemocnění. Další projev je vidět na větvích např. na vrcholových výhonech. Dále se objevují projevy na koruně, zda dochází k prosychání či nikoliv (Kolařík J. et al. 2005).

Hodnocení je: 1 – výborná až mírně snížená, 2 – zřetelně snížená, 3 – výrazně snížená, 4 – zbytková vitalita, 5 – suchý strom ([www. standardy.nature.cz](http://www.standardy.nature.cz))

3.1.6 Zdravotní stav

U zdravotního stavu se jedná o mechanické poškození a oslabení dřeviny např. dřevokaznými houbami, dutinami, deformací růstu. Hodnotí se z důvodu provozní bezpečnosti. Pokud se ve dřevě vyskytne poškození, zvýší se napětí a tato změna může způsobit jiný směr šíření napětí. Dojde k rozkladu sil napříč a podél, napříč je pevnost dřeva malá a může dojít k prasklině či trhlině, která se šíří dál po kmeni. Je důležité u defektu zhodnotit místo výskytu a velikost. Aby to bylo přesnější, je lepší použít nějakou speciální

metodikou či přístrojovou metodu. Podle způsobu vzniku se mohou defekty rozdělit na habituální defekty a poškození. Habituální defekty jsou tvarové defekty, jako je přeštíhlení kmene, sekundární koruny, nevhodný tvar koruny a defektivní větvení, tzv. tlaková vidlice.

Při přeštíhlení kmene je narušen poměr mezi výškou a průměrem kmene dřeviny, buď je strom příliš vysoký, nebo má kmen příliš malý průměr. Důvodem je převaha výškového růstu nebo růst za světlem. Pokud dřevina roste v hustém porostu a uvolní se kolem ní místo, je tu riziko selhání, protože dřevina nemá vybudovanou stabilitu. Vyskytuje se u dřevin rostoucích v hustém porostu, v hustých alejích a v parkových výsadbách.

Sekundární koruny vznikají po zlomení původní nebo jako následek tvarovacího řezu. Problém nastává u větevního nasazení, kdy jsou rozdílné přírůstky dřeva, u výhonu jsou tloušťkové přírůstky větší a spoj nasednutí má přírůstky malé a hrozí vylomení. Druhý problém je u tvarovacích řezů, kdy vzniká plno ran a může vzniknout napadení houbami a infekce. Třetím problémem je soutěživost výhonů, kdy není jeden dominantní, jako u primární koruny. Proto se táhnou všechny za světlem a vznikají ostré úhly, které přecházejí do tlakových vidlic s vrůstající kůrou. Těmito problémy se zvyšuje riziko selhání koruny stromu.

Nevhodný tvar koruny vzniká, pokud si více výhonů rostoucích z hlavního větvení konkuruje, stíní si a překáží si, dalším příkladem je už zmíněná sekundární koruna. Dále to může být způsobeno poškozením např. odlomení větve, části koruny. Nebo to může být způsobeno vyvětčováním koruny, které by mělo být provedeno postupně, v opačném případě se změní těžiště stromu a může dojít ke špatné stabilitě a při velkém větru ke zlomení či vyvrácení dřeviny.

Tlaková vidlice vzniká u úzkého větvení, kde nelze vytvořit pevné propojení větví, korní hřebínek zarástá mezi větvemi (Kolařík J. et al. 2005). Jako jeden z důvodů, proč se to může stát, je ten, že se úzké větve táhly pevně za světlem (Mattheck C. 1992).

Uvnitř vidlice vzniká napětí a hrozí selhání. Záleží také na druhu dřeviny, u některých dřevin je větší pravděpodobnost výskytu. Nejčastěji se vyskytuje u sloupovitých kultivarů jako například *Populus nigra* 'Italica' a potom u lip např. *Tilia tomentosa* (Kolařík J. et al. 2005).

Pro hodnocení zdravotního stavu slouží tyto hodnoty: 1- výborný až dobrý, 2 – zhoršený, 3 – výrazně zhoršený, 4 – silně narušený, 5 – kritický/rozpadlý strom (www.standardy.nature.cz).

3.2 Přístrojové metody

Protože se nedá zhodnotit defekt pouze vizuálně, dělají se přístrojové metody, které se rozdělují podle toho, zda jsou invazivní, destruktivní či nedestruktivní. Invazivní jsou ty, při kterých je nutný zásah do pletiv, což je například ADD, Silvatest. Destruktivní jsou ty, při kterých se se vrtá až do poškozené části, např. Presslerův nebozez, penetrometry. Destruktivní metody se používají zřídka u živých dřevin. Nedestruktivní metody jsou ty, při kterých žádné poškození nevzniká, a mohou se několikrát opakovat, např. Picus, tomograf, tahové zkoušky (Kolařík J. et al. 2005).

3.2.1 Testovací tyče a kladívko

U této metody musí být obsluha správně vyškolená, ale zároveň je to metoda nenáročná. Testovací tyče jsou tenké a silné, tenké slouží pro měření velikosti trhlin a silné pro testování podzemních kořenových náběhů. Kladívko je gumová palice, se kterou se klepe na kmen a podle zvuku se určuje přítomnost dutiny (Kolařík J. et al. 2005).

3.2.2 Presslerův nebozez

Je to nejstarší metoda, při které se hodnotí dřevní část kmene. Je to dutý vrták na konci se lžičkou, kterým se vyjme dřevní váleček, má průměr 5-10 mm s různou délkou. Odebraný vzorek se může hodnotit vizuálně, pomocí přístrojů nebo laboratorních technik (Kolařík J. et al. 2005).

3.2.3 Fraktometr

Je to přístroj, na kterém se měří pevnost dřeva, ohybovou pevnost a smykovou pevnost. Vzorek se odebere pomocí Presslerova nebozezu a po částech se ulamuje ve fraktometru, kde se měří odpor a úhel zlomu. Pokud je dřevo zdravé, trvá déle, než se vzorek zlomí a má malý úhel. Pokud je ale ohyb rychlý a úhel je velký, detekuje to hnilobu (Kolařík J. et al. 2005).

3.2.4 Endoskop

Při této metodě se používá normální endoskop s kamerou, který se zavádí do trhliny nebo do otvoru vyvrtaným vrtáček s průměrem 3 mm ((Kolařík J. et al. 2005).

3.2.5 Penetrometry

Tyto přístroje měří odpor při průniku vrtáčku nebo tenké jehly do dřeva. Výsledky záleží na směru průniku, na vlhkosti a na mechanických vlastnostech dřeva. (Kolařík J. et al. 2005).

Přenosná vrtačka - Záleží na znalostech obsluhy, použije se vrtáček s průměrem 2-3 mm a zavrtává se do dřeva a pozoruje se odpor, piliny, ze kterých je možné poznat hnilobu díky zápachu a barvě (Kolařík J. et al. 2005).

Resistograf - Je to bateriová vrtačka s tenkou jehlou 2 mm, která vrtá do hloubky 30, 40 nebo 50 cm různou rychlostí. Zase se pozoruje odpor, který je zapisován na voděodolný papír. Piliny zůstávají uvnitř, vysoký odpor je u zdravého dřeva, nízký odpor je u hniloby (Kolařík J. et al. 2005).

Sibert DDD 200 - Jehla u tohoto přístroje má průměr 1,27 mm a proniká rychleji, má 20 cm a můžou se s ní testovat kmeny, které mají průměr do 40 cm. Výsledky se zapisují buď na papír, nebo má přístroj výstup pro počítač (Kolařík J. et al. 2005).

Teredo - U tohoto přístroje se používají jehli do průměru 1 mm a jsou dlouhé 60 - 100 cm. Přístroj má možnost odebrat vývrt jako u Presslerova nebozezu. Je napojen počítač a speciální program vyhodnocuje výsledky do grafické podoby (Kolařík J. et al. 2005).

3.2.6 Shigometer

Přístroj se musí před každým měřením nastavit na zdravé dřevinně stejného taxonu, jako vzorek, poté se do dřeviny vyvrtají dva 30 cm dlouhé 2,8 mm široké otvory a do nich se strčí sondy a při zasunování se měří elektrický odpor. Zdravé dřevo má 400 – 500 k Ω , dřevo infikované hnědou hnilobou má odpor 190 – 200 k Ω . Pokud jsou hodnoty 50 k Ω , je to kritické. Další podobné přístroje jsou Vitamat a odporová tomografie (Kolařík J. et al. 2005).

3.2.7 Tahové zkoušky

Určuje se tím provozní bezpečnost dřeviny, má tři části, a to zátěžovou analýzu, tahovou zkoušku a výpočet bezpečnosti stromu proti vyvrácení či zlomení. U zátěžové analýzy se nejprve se udělá dendrometrie, potom se pořídí snímek stromu, z kterého se použije obrys a zjistí se excentricita do speciálního programu. Dále se spočítá referenční hodnota síly, kde se použije hodnota orkánu, pokud dřevina vydrží tuto rychlost větru, je jeho provozní bezpečnost výborná. Ale protože vítr fouká v různých výškách jinak, je to přepočítáno podle jiných vzorečků a výjde výsledná deformace stromu při působení větru. V druhé části probíhá umělé zatížení stromu, které je měřeno. Měří se působící síla, vznikající deformace a náklon kmene. V poslední části se zjistí, zda je dřevina bezpečná, údaj se udává v procentech. Ze změřené síly a deformace se vypočítá deformace, která vznikne při zatížení větrem, který se zjistil v zátěžové analýze. Tyto dvě hodnoty se porovnají s pevností kmene a výjde hodnota bezpečnosti (Kolařík J. et al. 200).

3.3 Akustický tomograf

Akustický tomograf neboli zvukový tomograf je přístroj, který slouží k hodnocení stability stromů (Štefl 2013). Měří rychlost šíření zvukových vln v objektech různé hustoty (Juhás et al. 2013). Umožňuje nečivým způsobem odhadnout a stanovit stav dřeva. Dokáže zjistit vnitřní dutiny, určit jejich tvar, zbylou stěnu dřeva a zhodnotit celkový stav kmene (www.ekotechnika.cz).

V základní sadě se nachází 12 senzorů, které jsou vzájemně propojitelné mezi sebou. Ale ne vždy se všechny používají, někdy se jich použije méně a někdy se jich použije více (www.vyspra.cz).

Maňák V. v roce 2013 dělal v bakalářské práci Detekce poškození kmene akustickým tomografem Fakkop výzkum, ve kterém simuloval poškození různých typů dutin a trhlin, způsobené vrtačkou a motorovou pilou. Při poškození vyvrtáním několika otvorů svrchu bylo

zjištěno, že je toto poškození neprůkazné. Při větší hustotě otvorů, se již poškození prokázalo. Dále nařízl špalek napříč a zjistil, že je zobrazené poškození o něco menší než to skutečné. To bylo způsobené přeskočením zvukových vln při šíření zvuku.

3.3.1 Šíření zvuku

V rozsahu slyšitelných frekvencí, což je 16 Hz – 20 000 Hz, se vlnění v plynném nebo kapalném prostředí označuje jako zvuk a v pevných látkách se označuje jako vibrace. Působením vnitřních a vnějších sil ve flexibilním prostředí na mechanické soustavy a konstrukce způsobuje oscilaci a ta je příčinou chvění a hluku. Pokud částice prostředí začne oscilovat, začne se i odklánět a tím se přenese vzruch pomocí flexibilních vazeb i na ostatní přilehlé částice. Když neúčinkuje pohybová síla, jsou částice v klidu, v tzv. klidové poloze. Částice se odklánějí buď příčně ke směru, nebo podélně ve směru, proto je v určitých místech větší hustota částic a v jiných úsecích se zase hustota zmenšuje. To může způsobit změnu tlaku plynu ve vzduchu a tato změna se nazývá zvukový tlak (Smetana C. et al. 1998). Zvukový tlak je veličina skalární (Salava T. 1979).

Šíření vzruchu se označuje jako vlnění a proniká pomocí vln. Místa, kam vlnění doletí ve stejnou chvíli, se naývají čelo vlny a kam se dostane vzruch ve shodnou chvíli a se shodnou etapou, se může propojit smyšlenou plochou, která se označuje jako vlnoplocha. Vlnoplocha se šíří pomocí paprsků, které se ze vzruchu pohybují každým směrem rovně, a proto má vlnoplocha kulový tvar (Smetana C. et al. 1998).

Rychlost šíření vzruchu v ovzduší má vazbu na hustotě prostředí, teplotě a jejich hodnotách. Ve stejnorodém prostředí není rychlost závislá na směru šíření, ale u nestejnorodého prostředí je rychlost závislá na směru. Protože se rychlost šíření podílí na způsobu šíření rozruchu, je dobré si vzít na vědomí některé z těchto hodnot. Např. ve vzduchu při 0 °C a tlaku 10^5 Pa je rychlost šíření 332 m/s, při 20 °C je to rychlost 343 m/s, ve vodě při 14 °C je rychlost šíření 1450 m/s (Smetana C. et al. 1998; Salava T. 1979). Při 40 °C je to 356 m/s a při -40 °C je to 319 m/s. Další hodnota je ve dřevě (po letech) a rychlost šíření je 4300 m/s, další hodnota se také týká dřeva, ale napříč lety a rychlost šíření je 1500 m/s. Ve vlákni je to 40 m/s (Smetana C. et al. 1998). V oleji je rychlost šíření 1390 m/s, v mědi je rychlost šíření 4620 m/s a v křemenu je to 5750 m/s (Salava T. 1979).

Při šíření vlnění se předpokládá prostředí, které obsahuje hmotnostní malé částice a projevuje se stlačitelností nebo flexibilitou. Šíření začne vznikat vlivem silového působení budícího kmitání, kde přenášená energie se přenáší od buzené částice rychlostí šíření. Při šíření přenášené energie dochází k usměrňování rychlosti vlivem odrazu od překážek, difrakcí v prostředí s měnícími se rysy anebo refrakcí při přechodu jednoho prostředí do prostředí s jinými rysy; o míře odrazu, difrakce i refrakce rozhoduje změna vlnového odporu prostředí. Odraz se uskuteční při šíření vln přenášené energie proti překážce. Síla odražené vlny záleží na pohltivých rysech reflexní plochy na vlnové delce signálu (Smetana C. et al. 1998).

Vlnová délka je jednou z důležitých veličin při šíření zvuku, chování zdrojů zvuku a při vzniku zvukového pole. Závislost vlnové délky na kmitočtu, při normálním atmosférickém tlaku a teplotě 20 °C, je různá. Když má kmitočet 16 Hz je vlnová délka 21,5 m, pokud má kmitočet 32 Hz je vlnová délka 10,7 m. Jestliže je kmitočet třeba 125 Hz je vlnová délka 2,7

m, při kmitočtu 1000 Hz je vlnová délka 0,34 m. Při zvyšování hodnoty kmitočtu se vlnová délka snižuje (Smetana C. et al. 1998). Při 20 °C a kmitočtu 20 Hz je vlnová délka 17,2 m (Salava T. 1979).

3.3.2 Použití tomografu

Vždy se při měření volí místo, které je nejvíce podezřelé a dá se očekávat, že uvnitř se nachází nějaký problém (www.penzincan.sk).

Potřebný počet senzorů se umístí po celém obvodu kmene (www.ekotechnika.cz) a s přenosným počítačem je to spojeno přes Bluetooth model nebo USB kabel (www.vyspra.cz).

Zvuku, který je potřeba, je dosaženo jemným poklepáním kladívka na senzor (Juhás et al. 2013). Je vyslán zvukový signál a přístroj měří čas od průchodu signálu z aktivovaného senzoru do ostatních senzorů (www.vyspra.cz). Potencionální hniloby, dutiny či jiné vlivy zpomalují tento signál. Ten pak prochází pomaleji, nebo defekty úplně obíhá (Štefl 2013).

Softwarovým zpracováním vzniká díky průchodu zvukového signálu 2D model hodnocené části kmene. Při měření ve více vrstvách nad sebou vníká i 3D model (Štefl 2013).

Pokud tomograf zobrazí dutinu nebo hnilobu, udělá se ještě další měření. Připevní se senzory nad a pod místo prvního měření, aby se zjistilo, jestli se poškození nachází jen na jednom místě nebo pokračuje i dále. Pokud se dělá měření dole, měření se budou dělat nad prvním měřením (www.penzinok.sk).

Data zajištěná z přístrojového honocení stromů by neměla být jediným původem informací (Štefl 2013).

Dále se vypracuje návrh opatření, které ustálí zdravotní stav a zlepší vitalitu stromu. Pokud bude potřeba, opatření se zopakuje. Když už bude poškození veliké, navrhne se pokácení (Juhás et al. 2013),

3.4 Poškození dřevin

Poškození dřevin se podepisuje na zdravotním stavu jednotlivých dřevin. Podle symptomů se zjišťuje, o co se jedná (Gregorová B. et al. 2006). Defekty mohou být vnitřní a vnější (Kolařík J. et al. 2005). Jako vnitřní poškození se mohou označit dutiny, trhliny, hniloba. Vnější poškození je potom zlomená větev, okus, zničená kůra apod. (Kolařík J. et al. 2003). Je spousta škodlivých činitelů, kteří způsobují poškození dřevin, a to abiotičtí a biotičtí (Gregorová B. et al. 2006).

Biotičtí činitelé jsou viry, bakterie, houby, rostliny, hmyz a obratlovci (Kolařík J. et al. 2003).

3.4.1 Abiotičtí činitelé

Mezi abiotické činitele patří teplota, pH půdy, blesk, vítr, kroupy atd. (Kolařík J. et al. 2003).

3.4.1.1 Teplota

Nízké teploty jsou problematické, vytvářejí nevhodné podmínky pro růst a funkce. U rozdílných druhů jsou teploty, při kterých dochází k poškození, odlišné. Při teplotě 0-5 °C se omezí fungování průduchů a tím se sníží fotosyntetická činnost. Při teplotě 0 až -5 °C se funkce průduchů úplně zastaví (Gregorová B. et al. 2006).

Při extrémně nízkých teplotách dochází k vážnému poškození buněčných struktur, vznikají defekty na kmenech a větvích. Poškození mrazem se nazývá mrazové trhliny, které se stávají terčem pro infekci dřevokaznými houbami (Gregorová B. et al. 2006). Mrazové trhliny vznikají nejčastěji u mladých dřevin a dřevin se slabou borkou. Důvod je špatná tepelná vodivost, kdy vnitřní vrstvy jsou ohřáté, a tím jak klesne teplota, rychle se ochladí a smrští. U starších dřevin většinou nevznikají nové mrazové trhliny, ale zvětšují se ty dosavadní (Kolařík J. et al. 2005).

Při náhlém zvýšení teploty či oblevy může dojít k narašení pupenů, které při poklesu teploty zase zmrznou. Další poškození může být vyvoláno střídáním teplých a chladných zimních dní, to se nazývá jako zimní korní spála. Projeví se viditelně až v létě (Gregorová B. et al. 2006). Má vzhled podélných trhlin, které vznikají odumřením kambia. Vzniká to u nově vysazených dřevin, které nemají ochranu kmene, dále na svrchní straně větví dospělých dřevin a u dřevin se slabou borkou (Kolařík J. et al. 2005).

Při vysokých teplotách dochází k vysychání korových pletiv a můžou se tvořit rakovinné útvary, což se nazývá letní korní spála (Tattar T.A. 1989). Tam kde odumře kambium, už nedochází k tloušťkovému přírůstku a i po překrytí kalusem se zde tvoří poškození, které přejde do tvaru trhliny. Touto trhlinou sem pronikají infekce dřevokazných hub (Kolařík J. et al. 2005).

Extrémně vysoké teploty se nacházejí ve městech, kde mohou způsobit poškození membrán, zvyšují transpiraci a snižují vzdušnou vlhkost. Dále dochází k denaturaci bílkovin, kdy se bílkoviny přemění a mohou vznikat dusíkaté sloučeniny a toxické látky, dojde k odumírání buněk, rostlinných pletiv. Dále dochází k přehřívání půdy, a to zvyšuje intenzitu dýchání kořenů, tím dochází ke snížení kyslíku v pletivech kořenů a ke zpomalení růstu kořenů. Urychlují fenologickou fázi a zkracují dormanci (Gregorová B. et al. 2006).

3.4.1.2 Srážky

Nedostatek srážek dohromady s vysokými teplotami může způsobit tzv. přísušek. Záleží na tom, kolik vody se vypaří a kolik jí spadne. Pokud je více vody vypařováno, pomalu se dostaví sucho (Gregorová B. et al. 2006). Přísušek je nebezpečný na jaře, kdy začínají růst listy a potom na konci léta, kdy se tvoří zásobní látky na zimu (Kolařík J. et al. 2005).

Při dlouhodobějším nedostatku vody dochází ke zhoršení zdravotního stavu dřeviny. Tím může být zpomalení až úplné zastavení výměny CO₂, odumření buňky, odumírání kořenů, zasychání listů a jehlic (listová spála), nekrózy na listech, prosychání koruny, vyrůstání výmladů, opad listů, celkové uhynutí (Gregorová B. et al. 2006).

Nebezpečný je také sníh, především mokrý sníh, který zůstává v koruně na větvích a jeho hmotnost může způsobit zlomení. Námraza způsobuje zlomení vrcholových částí, do kterých se mohou dostat škůdci nebo houby (Kolařík J. et al. 2005).

Nadměrné množství srážek zapříčiní úbytek kyslíku v půdě, a to podtí zastavení růstu kořenů. Dochází ke hnití kořenů, odumírání vlasových kořenů i kořenů silnějších, až může dojít k odumření celé dřeviny (Gregorová B. et al 2006).

3.4.1.3 Vítr

Velký vítr může polámat větve, zlomit kmen nebo vyvrátit dřevinu. Ve městech je vítr zpomalen budovami. Pokud je vítr silný, tvoří se kolem budov turbulence a v souběžných ulicích vzniká tzv. kaňonový efekt. Při tomto proudění je kořenový systém hodně namáhán. Silný vítr též vysušuje pletiva dřevin (Gregorová B. et al 2006). Nejvíce náchylné jsou dřeviny s krátkou, hustou, vysoko posazenou korunou nebo dřeviny s křehkým dřevem. Mohou to být smrky, jedle, topoly, břízy a olše (Kolařík J. et al. 2005).

3.4.1.4 Blesk

Elektrický výboj může zapříčinit požár celého stromu, zničení koruny, zlomení větví, rozštěpení kmene, zasažení kořenů a odumření celé dřeviny (Gregorová B et al. 2006).

3.4.1.5 Krupobití

Vzniká při velkých teplotách, kdy velké množství studeného vzduchu náhle projde do nižší vrstvy atmosféry. Kroupy způsobují poničení listů, pupenů, květů, plodů a větví, může být poškozena i kůra. Poškození má vliv na zdravotní stav dřeviny, pokud jsou rány velké, může se tam později objevit škůdce nebo houba. Nejvíce poškozené bývají mladé stromky ve školkách nebo nové výsadby (Kolařík J. et al. 2005).

3.4.1.6 Světlo

Je to základní zdroj energie a je důležité při fotosyntéze. Protože se zhoršila filtrační vrstva proti ultrafialovému záření, dochází k vážnému poškození rostlinných pletiv u dřevin, k poruchám růstu, ke vzniku mutací a k odumření buněk. Ve městech dochází k poškození také následkem nočních světél, kdy se změní světelné podmínky. Má to vliv na kořeny, na dormantní období, na růst a na fotosyntézu (Gregorová B. et al 2006).

3.4.1.7 Půda

Větší část půdy ve městech tvoří navážka, např. to může být nepotřebná zemina, zbytky ze staveb, kde chybí humusový rozklad. V této půdě chybí minerály, živiny a díky zbytkům ze stavby je půda alkalická (Kolařík J. et al. 2003).

3.4.1.8 Živiny v půdě

Při dlouhodobém nedostatku živin může dojít ke zhoršení zdravotního stavu a je ovlivněna fotosyntéza a dýchání. Např. při nedostatku železa dochází k prosychání koruny a po několika letech může dřevina úplně odumřít. Při nedostatku dusíku jsou rostliny zakrnělé a žloutnou jim listy. Při nedostatku draslíku dochází k zasychání vrcholků, ke zvlnění okrajů u starších listů, kořenová hniloba a předčasný opad starších jehlic. Dále při nedostatku fosforu dochází ke zpožděnému kvetení, listy se zbarvují do tmavě zelené nebo bronzově fialové barvy a u jehlic dochází k zasychání špiček. Nedostatek bóru způsobuje poruchy růstu a plodnosti, kořeny málo větví a tvoří se hodně korku. Pokud je živin moc, může docházet k toxickým účinkům nebo ke snížení fotosyntézy (Gregorová B. et al 2006).

3.4.2 Vliv člověka

Mezi vliv člověka patří sůl v půdě, kontaminace vody, mechanická poškození a zemní práce (Kolařík J. et al. 2003).

3.4.2.1 Kontaminace půdy

Znečištění půdy způsobuje zasolování, psí výkaly, únik zemního plynu z potrubí, únik pohonných hmot a olejů, těžké kovy, herbicidy a jiné chemické láty (Kolařík J. et al. 2003).

3.4.2.2 Zasolení půdy

Vyskytuje se blízko center průmyslové výroby, chemických továren a skládek (Gregorová B. et al 2006). Další problém je solení silnic v zimě, kdy se posypová sůl dostává do půdy a ke kořenům dřevin (Kolařík J. et al. 2003). Do dřeviny se také může dostat přes listy při letu se sněhem z vozovky (Gregorová B. et al 2006). V půdě to způsobí zvýšení pH, rozpad půdy, změnu osmotického tlaku a odstranění některých prvků z půdy, jako je vápník, draslík a horčík (Kolařík J. et al. 2003). Poškození dřevin záleží na koncentraci soli, množství sněhu, četnosti srážek, typu půdy a na zdravotním stavu dřeviny (Gregorová B. et al 2006).

Projevuje se poškozením pupenů, nezdřevnatěných výhonů, kůry, nektrózou kambia, listů a opadem listů. Způsobuje iontový stres, osmotický stres, omezený příjem iontů a poruchy v minerální výživě (Kolařík J. et al. 2003). Dále dochází ke zpomalení fotosyntézy a růstu dřeviny, ke změně barvy a velikosti listů (Gregorová B. et al 2006). Aby se poškození neobjevovalo v takové míře, mohla by se snížit dávka soli, nahradit něčím méně škodlivým, na jaře prolít půda, přihnojit půda vápníkem a zabránit zasolení stanoviště. Poškození soli lze

zjistit analýzou z listů. Z půdy to lze také, ale lze to měřit, až po delší době (Kolařík J. et al. 2003).

3.4.2.3 Psí vykaly

Psům slouží dřeviny k označování svého teritoria. Jejich moč je silně alkalická a poškozují větve a listy, ty od spodu dřeviny začínají hnědnout. Nejvíce náchylné jsou jehličnaté dřeviny (Gregorová B. et al 2006). U mladých jedinců může dojít k odumření kambia na kmínku. Nejlépe se tomu zabrání výsadbou trnitých keřů pod strom nebo použitím štěpky. U mladších jedinců je důležité pravidelné zalévání. Při pokusu v Berlíně bylo zjištěno, že u silně navštěvovaných dřevin bylo vyprodukováno až 10 litrů moči za rok (Kolařík J. et al. 2003).

3.4.2.4 Únik zemního plynu

Únik zemního plynu z potrubí může způsobit značná poškození nebo dokonce úplné odumření dřeviny. Zemní plyn není pro dřeviny toxický, ale způsobuje změny v půdním prostředí kolem křenů. K úniku plynu dochází hlouběji pod kořeny, ten prostupuje nahoru ke kořenům a zároveň vytlačuje kyslík a tím dochází k vysychání půdy. V půdě se mění mikroorganismy a živiny, dále se přemnoží bakterie, které se živí methanem a vytvoří anaerobní podmínky. Bakterie vytvářejí sirovodík a jejich přeměnné aktivity jsou toxické. Kořeny, které byly zasaženy plynem, přestávají růst a začínají odumírat, zároveň začínají opadávat listy (Gregorová B. et al 2006). Oproti poškození solí je poškození plynem mnohem rychlejší, většinou během několika měsíců. Oprava je velmi náročná, nejhorší je to u utužených a jílovitých půd (Kolařík J. et al. 2005).

3.4.2.5 Těžké kovy

Těžké kovy se do půdy dostanou spadem plynných nebo tuhých látek v oblasti průmyslu, z výfukových plynů, při použití fungicidů. Mezi těžké kovy se řadí měď, rtuť, zinek, arsen, olovo, mangan a kadmium. Jejich přítomnost způsobuje u dřevin značné poškození. Například měď způsobuje mezižilkovou chlorózu, různé nekrózy, změnu činnosti průduchů, snížení činnosti fotosyntézy, zpomalení růstu, zakrnění růstu kořenů, snížení enzymů a dýchací problémy. Při dlouhodobém působení mědi dochází k chřadnutí dřeviny až k úplnému odumření (Gregorová B. et al 2006).

3.4.2.6 Herbicidy a jiné pesticidy

Při použití herbicidy dochází k poškození kořenů. Způsobuje úzké chlorotické pruhy na okrajích listů, listové nekrózy, stáčení listů a řapíků, může bránit chlorofylu a způsobovat světlání listů. I přestože poškození vypadá vážně, dřeviny se zotaví a další sezónu už jsou

v pořádku. Další poškození mohou být způsobena antibiotiky, fungicidy, insekticidy, akaricidy a nematocidy (Gregorová B. et al 2006).

3.4.2.7 Podzemní voda

Pokud je podzemní voda v blízkosti kořenů, je to nebezpečné. Může odšťavnět živiny, přinášet pomocí deště toxické látky nebo způsobit zahánění kořenů (Gregorová B. et al 2006).

3.4.2.8 Prašnost prostředí

Velká prašnost je způsobena silničním provozem, spalováním fosilních paliv v továrnách. Usazení prachu na listech má špatný vliv na činnost fyziologických dějů. Způsobuje ucpávání průduchů na listech a přehřívání listů. Spolu s prachem se mohou na listu usadit těžké kovy nebo radioaktivní látka, která se pomocí vody dostane do pletiv a způsobí zdravotní potíže. Nejvíce jsou ohroženy dřeviny s pýřitými listy (Kolařík J. et al. 2003).

3.4.2.9 Zemní práce a mechanická poškození

Při rozšiřování silnic a zpevňování povrchů v blízkosti stromů dochází ke zmenšování prostoru pro kořeny, tím se zmenší i příjem vody a živin. V tak malém prostoru se kořeny přehřívají a nedochází k dostatečnému provzdušňování substrátu a dochází k anaerobní výrobě toxických látek. Působením hmotnosti chodců, zvířat a dopravních prostředků se povrch utužuje, kořeny přestávají růst, listy změny velikost a barvu a koruna začne prosychat (Gregorová B. et al 2006). Bylo zjištěno, že průměrný chodec stráví pod stromem cca 5 sekund, pokud tam denně stráví 10 chodců, bude to 50 sekund. Když se strom nachází na místě, kde je budova, lavička nebo venkovní kavárna, bude tam člověk trávit více času a tím by se kolem stromu pohybovali chodci třeba i 6 hodin a půda by byla více utužená (Quantified Tree Risk Assessment 2010)

Další poškození je mechanické poranění kmenů a kořenových náběhů, přetrhání důležitých silných kořenů, kde se rány stanou bránou pro kořenové houby. Dále je to navážení a skladování zeminy na místech, kde jsou kořeny, snížení vrstvy půdy, odkrytí a porušení vrstvy kořenového systému, odstranění části kořenů na jedné straně dřeviny, navedení zeminy ke kmeni stromu, kde se pod tíhou nové zeminy utuží původní vrstva a nebude možné, aby pronikal do půdy kyslík (Kolařík J. et al. 2003). Jiné mechanické poškození může být způsobeno dopravní nehodou nebo špatnými zásahy do dřeviny (Gregorová B. et al 2006), což je například osekání kmene strunovou sekačkou (Kolařík J. et al. 2003), kdy mohou být následky jen estetické, nebo fatální. Více odolné jsou dřeviny se silnou vrásčitou kůrou než ty s kůrou slabou a hladkou. Tato poranění se mohou na koruně projevit klidně i za několik let. Dá se tomu předejít, pokud se dá kolem kmene mulč (Lilly S. J. (ed.) 2001).

Další mechanické poškození je radikální sesazení kouny (Kolařík J. et al. 2003).

Zabránit poškozením lze pečlivým zpracováním projektové přípravy pro správnou technologii ochrany stromů a důsledným stavebním dozorem. U špatné údržby lze potrestat firmu či pracovníka finančním postihem (Kolařík J. et al. 2003).

3.4.3 Biotičtí činitelé

Biotičtí činitelé jsou viry, bakterie, houby, rostliny, hmyz a obratlovci (Kolařík J. et al. 2003).

3.4.3.1 Viry

Viry způsobují virózy rostlin, živočichů i hub. Viróza přivodí rostlinám deformaci listů, jako je kadeřavost listů. Dále virůzu plodů, jako je strupovitost, šárka švestek nebo kaménkovitost hrušek. Způsobují barevné změny na listech, květech i plodech, jako jsou mozaika, pestrokvětost, kroužkovitost, žloutenka atd. Způsobují zakrslost, vrásčitost či zploštělost větví. Nejčastějším přenašečem je savý hmyz nebo člověk (Kolařík J. et al. 2005).

3.4.3.2 Bakterie

Bakteriízy mohou mít skoro všechny druhy rostlin, nejčastěji se vyskytují za vlhkého počasí. U dřevin se vyskytují např. bakteriální spála růžovitých rostlin u rodů *Crataegus*, *Sorbus* apod., u oliv a u jasanů se vyskytuje *Pseudomonas savastanoi*. Symptomy bakteriíz jsou žloutnutí, nekrózy, rakovinné nádory, mokrá hniloba plodů, kořenů a zásobních orgánů, ucpávání odivých pletiv, strupovitosti, slizovitost a spála (Kolařík J. et al. 2005).

3.4.3.3 Houby

Dřeviny rostoucí mimo les mají větší předpoklady k napadení houbami, protože jsou více vystaveny stresu, jako jsou nepříznivé podmínky prostředí, změna mikroklimatu, změna teploty, znečištění půdy, mechanická poškození aj. Tím je dřevina oslabena a snáze do ní mohou pronikat patogeny (Gregorová B. et al 2006). Přes poškození dřeviny se dostane do pletiv spora, která tam začne klíčit. Na dřevinu se dostane vzduchem, s vodou, přes člověka, zvíře, spolu s podkorním a dřevním hmyzem, na zobáčích datlovitých ptáků nebo se přenese z nářadí (Kolařík J. et al. 2005).

Houby se dělí na mikroskopické a makroskopické. Mikroskopické houby nejdou vidět a špatně se rozpoznávají, protože symptomy mohou být podobné jako u abiotických vlivů nebo poškození hmyzem, udělá se vzorek. Makroskopické houby jsou viditelné a jsou příčinou těžkých poškození (Gregorová B. et al 2006).

Další dělení je podle napadené části dřeviny (list, kmen, kořeny) a jestli je napadeno živé nebo mrtvé dřevo (Kolařík J. et al. 2005).

3.4.3.3.1 Houby listů

Napadení listů je více nebezpečné pro neopadavé dřeviny. U opadavých, pokud nejsou napadeny i výhony, listy opadnou i s houbami. Napadení začíná ve spodní vrstě koruny a stoupá vzhůru (Gregorová B. et al 2006).

Houby způsobují různé choroby, např. *Apiognomonina veneta* způsobuje Antraknózu a chřadnutí výhonů platanů. Ta zapříčiní nekrózy listů a výhonů, usychání pupenů, rakovinu drobných větví, deformaci koruny a může dojít k úplné ztrátě listů. *Venturia Sacc*, která vyvolává usychání listů a výhonů topolů. Houba způsobuje skvrnitost mladých listů, odumírání výhonů a pupenů. *Guignardia aesculi* způsobuje listovou skvrnitost jírovců. Což má za následek rozptýlené nekrózy, redukci listů, špatné dozrávání výhonů a oslabení dřeviny. *Microsphaera alphitoides* je příčinou padlí dubového, které vytváří na spodní i svrchní straně bílé a šedé povlaky pokrývající klidně i celý list. Listy žloutnou, hnědnou a opadnou. *Melampsora larici-populina* zapříčiňuje napadení listů topolů rzí. Více se vyskytuje v dolní části koruny a na spodních stranách listů vznikají chlorotické skvrny, které přecházejí do letních oranžových ložisek, kolem kterých jsou rozsáhlé žluté plochy. Na podzim se vytváří hnědá ložiska tzv. zimní výtrusy. *Lophodermium* spp. způsobuje sypavky borovic. Dochází k předčasnému odumírání a opadu jehlic, může dojít i k úplnému odlistění až k úhynu dřeviny (Gregorová B. et al 2006). *Phytophthora cactorum* způsobující plíseň bukovou. Vznikají hnědé vlhké skvrny skvrny u semenáčků, u dospělých jedinců se objevují nekrózy listů (Kolařík J. et al. 2005).

3.4.3.3.2 Houby způsobující rakoviny větví a kmenů

Při napadení houbami mohou vznikat rakovinné nádory, kdy dochází k odumírání borky a k rozkladu dřeva. Postupně se oslabují pletiva nad nádorem, protože se tam špatně dostává voda a minerály a dochází k odumření. Například *Botryosphaeria* Ces. & De Not., která vyvolává rakovinu větví. *Cryptodiaporthe populea* (Sacc.) zapříčiňující rakovinu topolů, kvůli jejímu působení dochází k deformacím koruny, k metlovitosti větví a dokonce i k odumření dřeviny. *Nectria cinnabarina* [Tode] Fr. způsobuje rakoviny větví, nekróza je mírně vpadlá, hnědá s drobnými prasklinkami. V pozdější době se tam objeví narůžovělý bradavičnatý svazek konidioforů, na podzim jsou tam oranžové plodnice. *Fusarium* spp. vyvolává rakovinu větví a výhonů, projevující se plochými, červeně až černě zbarvenými plochy. U slabých větví nebo výhonů může dojít k jejich uschnutí, u silných větví nebo kmenů vznikají zavalená poškození ve tvaru T (Gregorová B. et al 2006).

3.4.3.3.3 Dřevokazné houby

Další jsou dřevokazné houby, které působí na stabilitu dřeviny a způsobují tlení (Gregorová B. et al 2006). Tlení je aerobní proces, kdy houby ke své činnosti potřebují kyslík. Rozděluje se na bílé tlení a hnědé tlení (Kolařík J. et al. 2005).

Houby při bílém tlení rozkládají celulózu, hemicelulózu a lignin. Dřevo ztrácí na hmotnosti, ale ne na objemu, proto si dlouho zachovává svůj tvar. Druhů hub bílého tlení je mnohem více a rozdělují se do tří skupin podle pořadí rozkladu složek dřeva. První skupina rozkládá nejprve lignin a až po tom celulózu, např. outkovka pestrá (*Trametes versicolor*). Druhá skupina rozkládá nejprve celulózu a až potom lignin např. václavky (*Armillaria* spp.). Třetí skupina rozkládá celulózu i lignin najednou např. kořenovník vrstevnatý (*Heterobasidion annosum*), lesklokorka ploská (*Ganoderma applanatum*), hlíva ústříčná (*Pleurotus ostreatus*) a rezavec štetinatý (*Inonotus hispidus*). Dřevo ze začátku nemění své fyzikální a mechanické vlastnosti, je tvrdé, bílé, s černým ohraničením mycelia nebo s hnědočervenými až hnědočernými plochami. Potom je dřevo smětanově bílé, lehké, křehké, ale neztrácí objem a nerozpadá se. Technické vlastnosti už jsou narušené a u letokruhů vznikají trhlinky, které jsou vyplněné bílým nebo žlutým syrrociem. V poslední části je dřevo bílo-žluté, měkké a vláknitě nebo lístkovitě se rozpadá (Kolařík J. et al. 2005). Další houby bílého tlení jsou např. dřevomor kořenový (*Ustulina deusta*), choroš šupinatý (*Polyporus squamosus*), vějířovec brovský (*Meripilus giganteus*), ohňovec obecný (*Phellinus igniarius*), troudnatec kopitovitý (*Fomes fomentarius*) (Gregorová B. et al 2006). Dále to může být lesklokorka jehličnanová (*Ganoderma carnosum*) a bránovítec jedlový (*Trichaptum abietinum*) (Zúbrik M. et al. 2008).

Houby při hnědém tlení rozkládají jen celulózu a hemicelulózu. Dřevo rychle ztrácí na objemu i na hmotnosti. Při hnědém tlení převládají huminové kyseliny a rozklad dřeva je destruktivní. Dřevo tmavne, protože se uvolňuje lignin, je křehké, lehce se láme a drobí a hranolovitě se rozpadá. Mezi houby hnědého tlení patří například troudnatec pásovaný (*Fomitopsis pinicola*), hnědák Schweinitzův (*Phaeolus schweinitzii*), sírovec žlutooranžový (*Laetiporus sulphureus*), březovník březový (*Piptoporus betulinus*), poprašky (*Coniophora* spp.), trámovky (*Gloeophyllum* spp.), sítkovec dubový (*Fistulina hepatica*) a dřevomorka domácí (*Merulius lacrymans*) (Kolařík J. et al. 2005). Další houba hnědého tlení může být např. pevník krvavějící (*Stereum sanguinolentum*) (Gregorová B. et al 2006).

3.4.3.4 Rostliny

Některé rostliny mohou využívat dřeviny ke svému životu. Parazitické rostliny čerpají z dřevin živiny, vodu a asimiláty. Poloparazitické rostliny si berou dřeviny jen vodu a živiny a jsou schopny fotosyntézy. Dřeviny poškozují tak, že nechávají otevřené průduchy a dochází k vysychání. Nejznámějšími poloparazitickými rostlinami jsou ochmet evropský, který se vyskytuje nejčastěji na dubech a na kaštanovníku. Dále druhy jmelí, které jsou na jedlích, borovicích a listnácích, například *Viscum album* nebo *Arceuthobium* spp. Na kořenech parazituje podbílek šupinatý, vyskytuje se na habrech, lípách a olších. Způsobit problémy může i kokotice (Kolařík J. et al. 2005).

3.4.3.5 Roztoči

Roztoči jsou zvláštní skupina organismů, která napadá rostlinná pletiva, která saje. Nejznámější jsou svilušky, které nejvíce škodí ve skleníku a ve školkách. U okrasných dřevin

jsou nejvíce napadány jehličnaté stromy. Například sviluška smrková napadá nejvíce kultivar *Picea glauca* 'Conica' (Kolařík J. et al. 2005).

3.4.3.6 Hmyz

Na rostlinách škodí různá stádia hmyzu, někdy je to larva, nymfa nebo dospělý jedinec (Gregorová B. et al 2006). Škodlivý hmyz se rozděluje do několika skupin, a to na listožravý, podkorní a dřevní, kambioxylofágní a savý (Kolařík J. et al. 2005). Některá poškození způsobují jenom estetický problém, jiná mohou mít fatální následky a některá mohou být vstupem pro bakterie nebo houby (Gregorová B. et al 2006).

Listožravý hmyz požírá listy, tím se omezí činnost fotosyntézy a zmenšuje se množství asimilátů, to způsobuje zhoršení vitality. Může dojít i k holožiru, což znamená, že škůdce sežere všechno nebo skoro všechno listí (Kolařík J. et al. 2005). Poškození jsou povrchové požerky, miny, skeletování, přehýbání, zkrucování, svinování nebo tvorba nových útvarů tzv. hálek. Tato poškození jsou více řešena u okrasných dřevin a dřevin v parku než u dřevin v lese (Gregorová B. et al 2006). Řadí se sem např. předivky, obaleči, píďalky, bekyně, vzpřímenky, bourovci, vztyčnořitky, bourovčící, lišajové, mandelinky, chroustí a dřepčící (Kolařík J. et al. 2005).

Podkorní a dřevní, kambioxylofágní hmyz způsobuje vstupní a výletové otvory, snubní komůrky, chodby vyhlodané pod kůrou, v lýku, ale dokonce i ve dřevě (Gregorová B. et al 2006). Jedná se o brouky, kterým se larvy líhnou pod kůrou, v lýku nebo ve dřevě, tedy jde především o kůrovce, tesaříky a krasce. Dále se jedná o motýly drvopleně a nesytku (Kolařík J. et al. 2005).

Savý hmyz saje pomocí bodavě sacího ústrojí rostlinné šťávy, to se může projevit zkadeřením mladých listů, zaschnutím a opadem, dále usycháním starších větví a úhynem mladších jedinců. Nebezpečné jsou mšice, mery a červci (Kolařík J. et al. 2005).

Hmyz se může vyskytovat i na kořenech a to např. krtonožka, kovařící (drátovci), chroustí, klikoroh, háďátka a kořenové mšice (Kolařík J. et al. 2005).

3.4.3.7 Obratlovci

U mladších dřevin nebo dřevin podsadbě je velké nebezpečí okusu kmene nebo odření kmen, popřípadě úplné zlomení či vyvrácení. Tomu se dá zabránit oplocením nebo použitím tubusu okolo kmene či nátěru proti okusu. Další poškození můžou způsobit draví ptáci, kteří sedají do koruny stromů a mohou slabší větve rozlámat. Tomu se dá předejít nainstalováním sedací podpěry ve tvaru T, která bude vyšší než stromy a dravci na ní budou sedět a pozorovat svou kořist (Kolařík J. et al. 2003).

4 Metodika

Měření bylo provedeno v Mělníku, v areálu České zahradnické akademie, která mi akustický tomograf FAKKOPP zapůjčila. Můj vedoucí práce byl u měření přítomný jako dozor.

Pro experiment byly použity dva špalky, jeden kratší s výškou 110 cm a druhý vyšší 130 cm. Oba byly z jednoho stromu a to z jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*). Celkem bylo uděláno šest měření, dvě kontrolní a simulace čtyř poškození.

4.1 Pomůcky

Při provádění experimentu byly potřeba tyto pomůcky: Akustický tomograf s příslušenstvím, notebook s programem ArborSonic 3D, různě dlouhé hřebíky, kladívko, malá akumulátorová vrtačka Bosch, velká obyčejná vrtačka Bosch, nástavec frézky, vrtáky, prodlužovací kabel a špalky.

4.2 Příprava

Nejprve bylo potřeba si vybrat místo, přístup k elektrice a stůl na odkládání věcí.

Potom se začal připravovat špalek, postavil se na rovný povrch, pásmem se změřil jeho obvod v místě, kam se potom připevnila čidla. Zapnul se notebook, kde se spustil speciální program ArborSonic 3D. Do programu se zadal taxon dřeviny, tvar kmene, obvod kmene, počet čidel, které se budou používat, hloubka zabodnutí čidla a šířka kůry. Program ze zadaných hodnot vypočítal, jak daleko od sebe mají čidla být.

Z kufříku s přístrojem se vyndala očíslovaná čidla, pomocí pásma se rozměřily vzdálenosti a kladívkem s gumovou palicí se čidla zatloukla do špalku. Potom se vyndaly propojovací kabely a očíslované zesilovače a čidla se mezi sebou propojila. Nakonec se poslední zesilovač propojil k akumulátoru a ten přes USB kabelem k notebooku.

4.3 Měření

Spínačem se zapnul akumulátor, vyndalo se speciální kovové kladívko, kterým se klepalo do čidel. Do každého čidla se klepalo 5x, aby se předešlo nesrovnalostem. Každé klepnutí program zaznamenal hodnotou a vypočítal z toho směrodatnou odchylku, tedy jak moc byly hodnoty odchýleny od průměrných hodnot. Pokud to bylo odchýleno hodně, hodnota zčervenala a musela se najít chyba, která se odstranila. K chybě mohlo dojít silnějším klepnutím, dvojitým klepnutím, zavaděním o čidlo či klepnutím na stranu. Po odstranění se provedlo znovu klepání na čidlo, u kterého byla hodnota smazána, aby se doplnilo na počet pěti klepání. Po úspěšném klepání se ukázal graf a 2D mapa, na kterých byly vidět výsledky. Mezi měřeními se akumulátor spínačem vypnul, aby nedošlo k nechtěným chybám a rozhození výsledků.

První měření se dělalo u menšího špalku, který byl bez poškození. Toto měření se dělalo pro pozdější porovnání výsledků. Čidla se nechala na stejných místech pro další měření.

Druhé měření s poškozením se mohlo dělat hned po prvním měření, které na jeho výsledky nemělo vliv.

Protože se poškození z druhého měření ve výsledcích neukázalo, mohlo se i třetí měření s poškozením dělat hned po druhém. V opačném případě by se muselo odpojit USB od notebooku a čidla odpojit ze špalku. Dále by se špalek musel otočit nebo vyměnit a znovu provést zatlučení čidel. Naštěstí už by se nemuselo dělat propojování čidel, neboť to by zůstalo propojené. USB kabel by se zpátky připojil k notebooku a mohlo by probíhat nové měření.

Protože nedošlo k průkazným změnám, mohlo se provést měření číslo čtyři s poškozením.

Jelikož byl už první špalek nepoužitelný, vzal se druhý špalek, u kterého se udělalo měření bez poškození. Čidla se nechala na stejných místech pro další měření.

Měření číslo šest s poškozením se dělalo také hned po předešlém měření.

4.4 Simulace poškození

Aby se nepoškozovaly stromy při experimentu, použily se špalky. A aby bylo vidět nějaké poškození, nasimulovalo se poškození uměle.

Na první poškození se použil hřebík, který se zatloukl mezi dvě čidla z boku.

Druhým poškozením byla simulace otvoru, který byl vytvořen vrtačkou mezi dvěma čidly.

Třetí poškození mělo simulovat kovový předmět, poškození bylo způsobeno zatlučením několika hřebíků vedle sebe ze shora

A poslední poškození mělo napodobovat podélnou dutinu, která se nacházela mezi čidly a byla vyvrtána vrtačkou a doladěna frézku.

4.5 Vyhodnocení výsledků

Vyhodnocení výsledků se dělalo pomocí matice s měřeními, grafu a 2D grafu. Ve 2D grafu bylo možné pozorovat rozsah poškození pomocí barev. V programu ArborSonic 3D jsou použity odstíny zelené pro nulové poškození, odstíny červené či fialové pro místo s možnou dutinou. V grafu bylo možné pomocí přímek spojujících čidla, přesněji určit místo, kde se simulace poškození nacházela a jestli byla vidět nějaká změna.

5 Výsledky

Vzorky špalků byly použity dva, jejich taxonem byl jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*). Výška prvního vzorku byla 110 cm a výška druhého vzorku byla 130 cm, obvod kmene u prvního vzorku byl 89 cm, u druhého byl obvod 93 cm. Další hodnotou byl průměr, který u prvního špalku měl 28 cm a u druhého měl 30 cm. U obou vzorků byl zvolen nejpodobnější tvar špalku a to byl kruh, dále byla změřena stejná tloušťka kůry 1 cm a u obou špalků byla zvolena hloubka penetrace 2 cm. Rychlost šíření zvuku u každého měření byla vložena do přílohy.

5.1 Vzorek 1 – bez vytvoření defektu

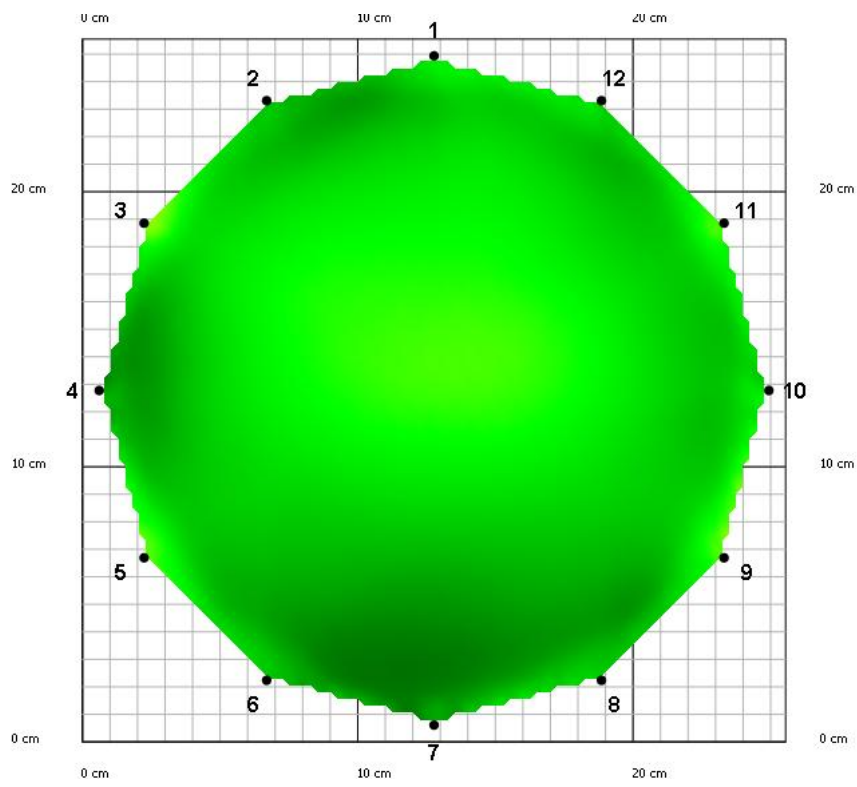
Nejprve bylo provedeno měření prvního vzorku, který neměl žádné simulované poškození, a proto mají grafy na obrázku 3, 4 zelenou barvu. Toto měření je důležité pro porovnání měření s poškozeními.



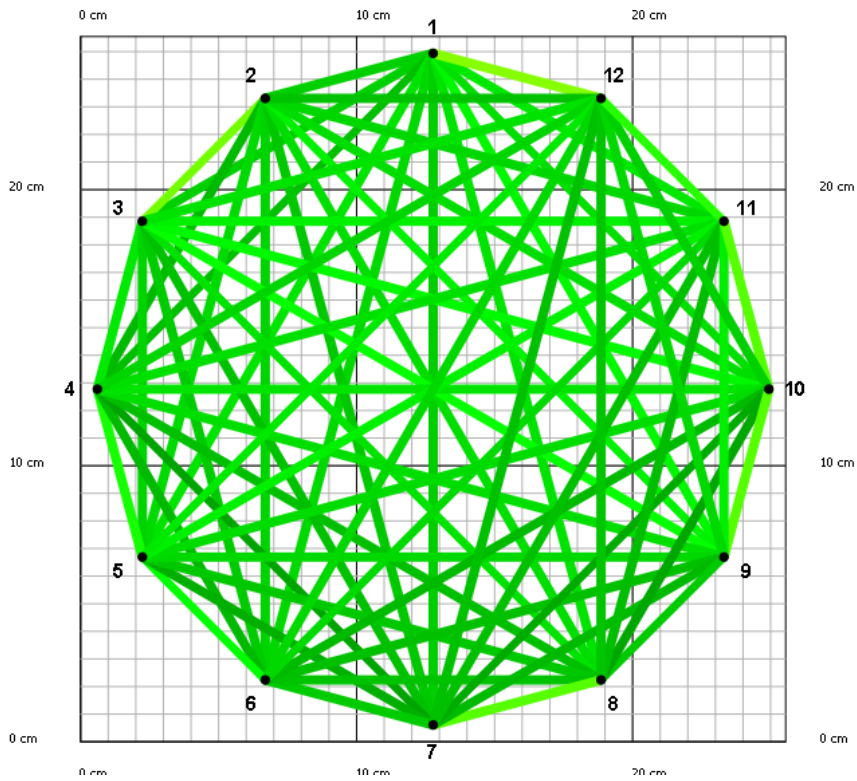
Obrázek 1 – Stav ve skutečnosti (vzorek 1), ze shora



Obrázek 2 – Stav ve skutečnosti (vzorek 1), z boku



Obrázek 3 – Graf 2D



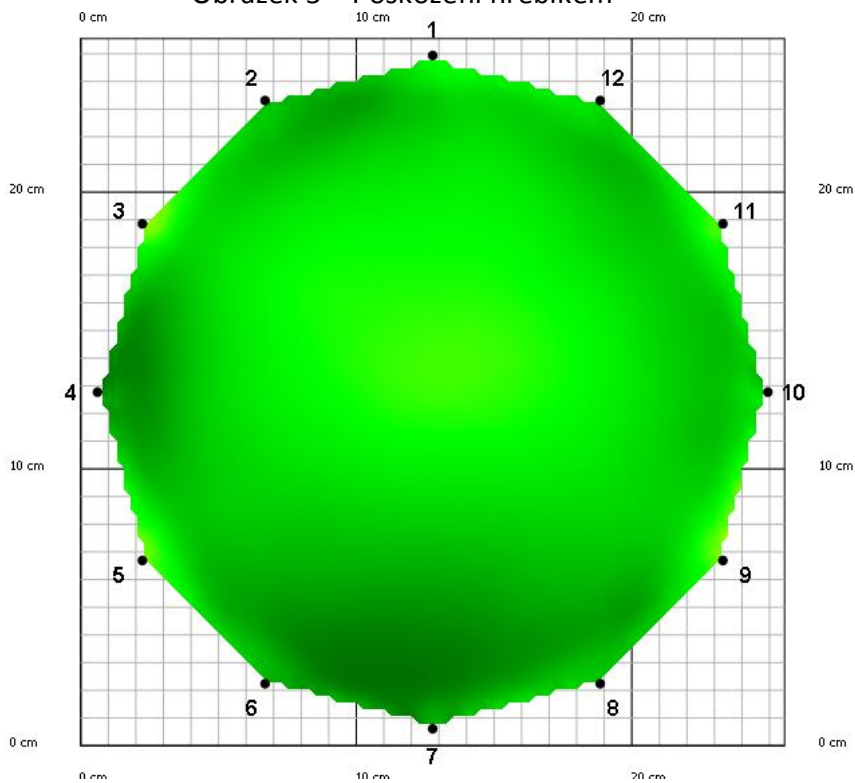
Obrázek 4 – Graf

5.2 Vzorek 1 – Zatlučený hřebík

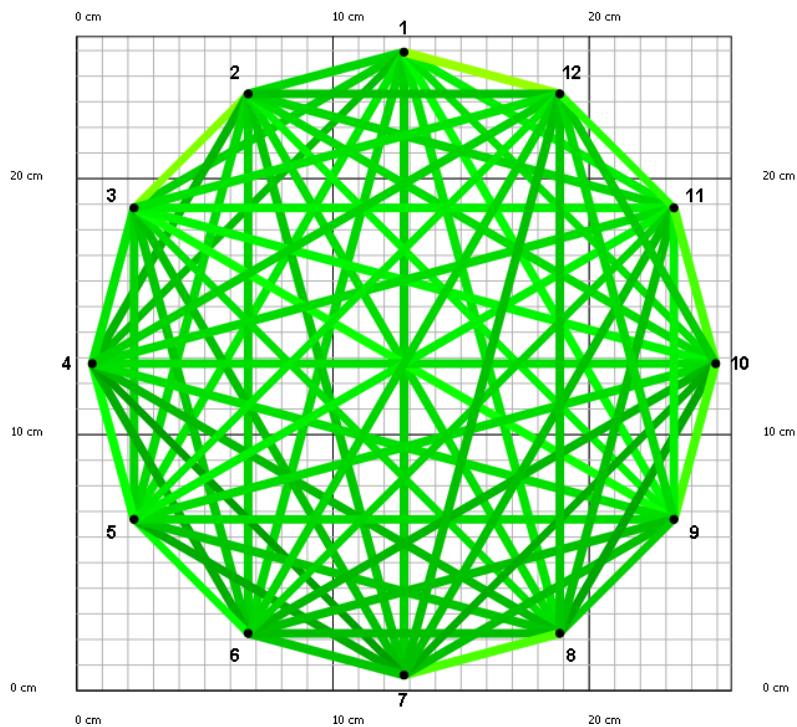
Do špalku byl zatlučen 10 cm dlouhý a 4 mm široký hřebík. Jeho poloha se nacházela mezi čidly 8 a 9, na obrázku 5 byl hřebík vyznačen. Jelikož to podle tomografu byla zanedbatelná rána, na obrázku 6, 7 se poškození neprojevalo.



Obrázek 5 – Poškození hřebíkem



Obrázek 6 – Graf 2D



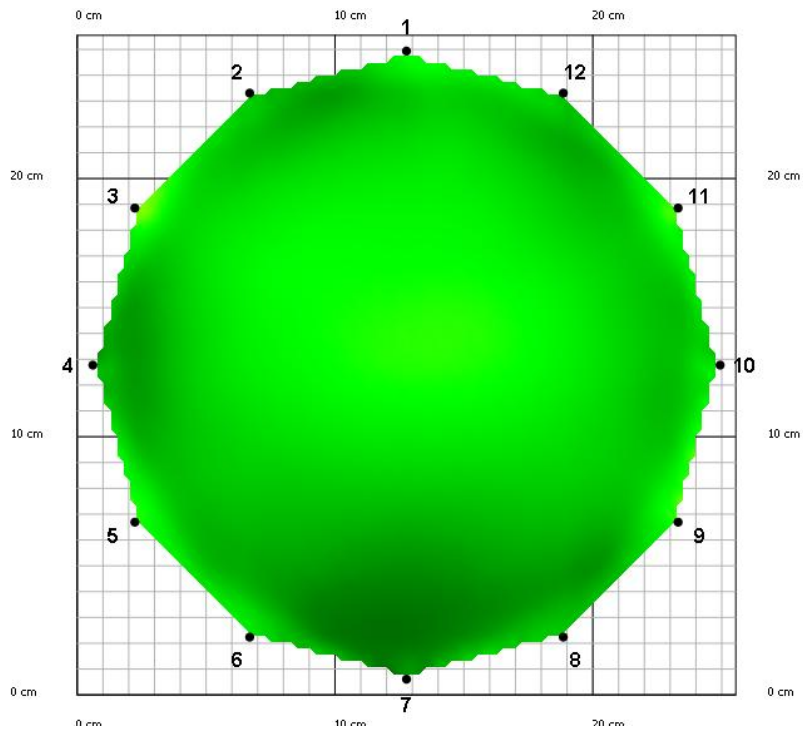
Obrázek 7 – Graf

5.3 Vzorek 1 – Simulace otvoru

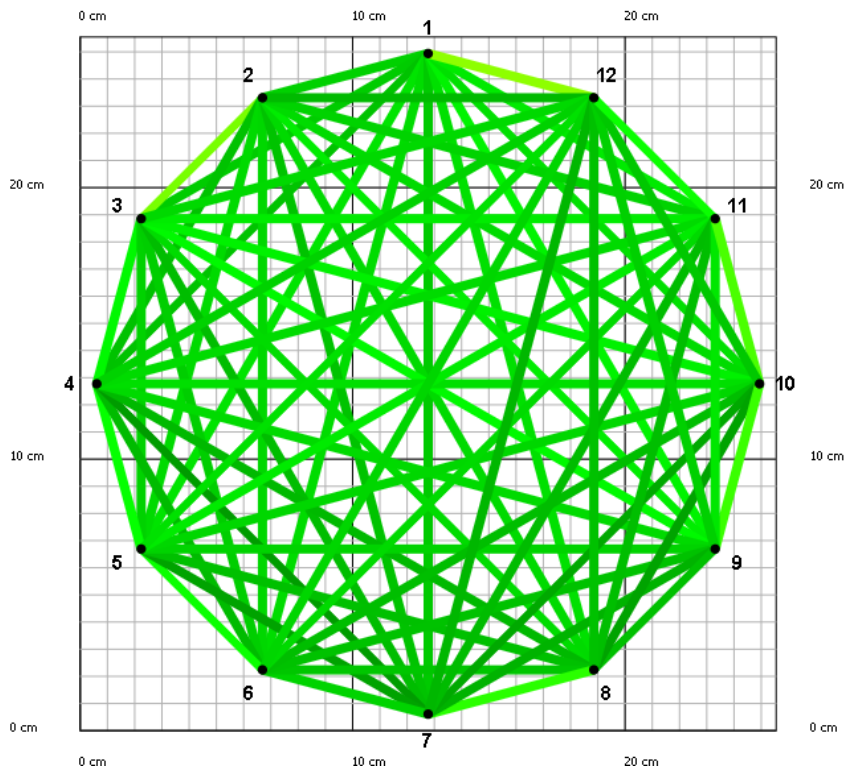
Mezi čidly 3,4 byla vyvrtána díra, která byla široká 8 mm a hluboká 7 cm. Otvor byl vidět na obrázku 8. Ani toto poškození nebylo přístrojem zaznamenáno. A na obrázcích 9, 10 nebyl vidět rozdíl oproti původnímu měření na obrázcích 3, 4.



Obrázek 8 – Simulace otvoru



Obrázek 9 – Graf 2D



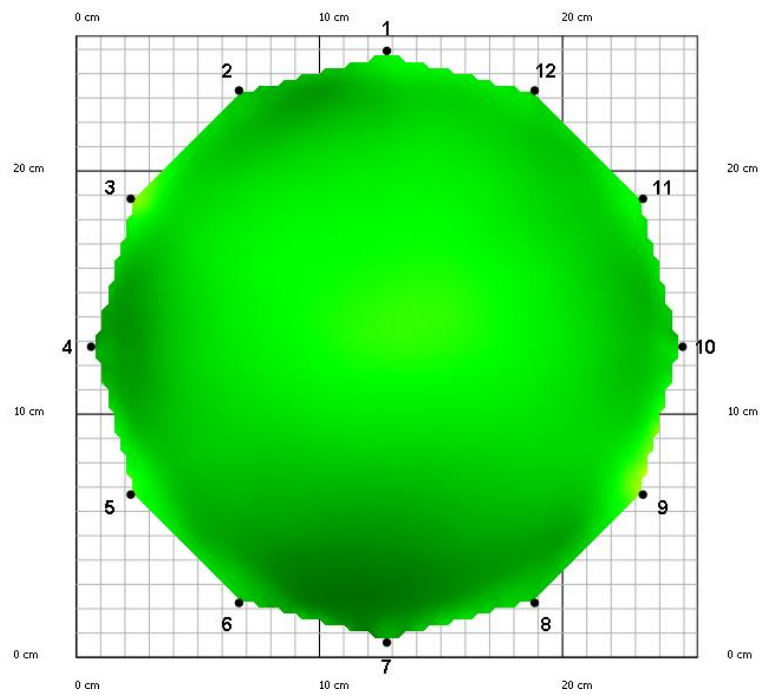
Obrázek 10 – Graf

5.4 Vzorek 1 – Simulace kovového předmětu

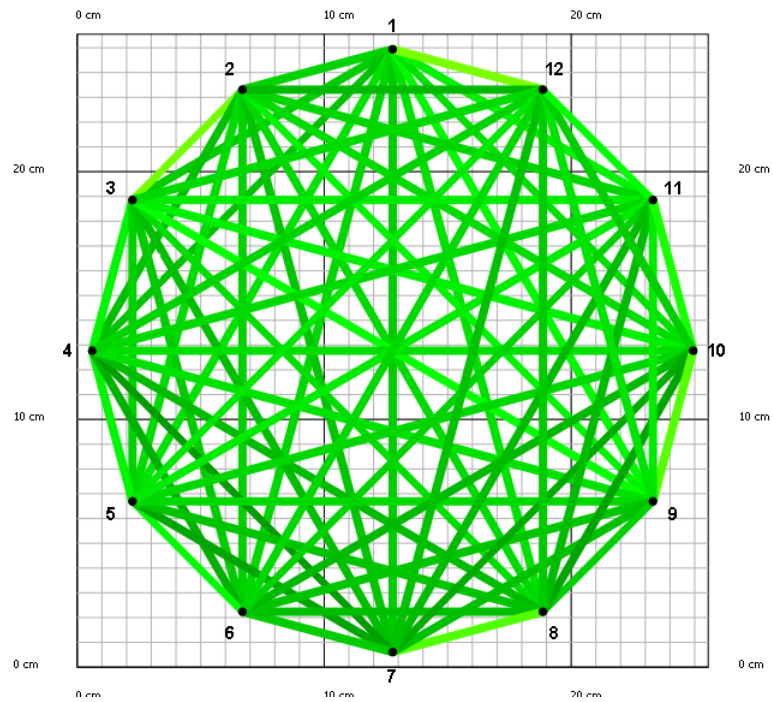
Pro simulaci kovového předmětu bylo použito pět hřebíků délky 10 cm. Hřebíky byly zabity do úrovně čidla číslo 12. I když se to jevílo jako větší poškození, na obrázcích 12, 13 není žádná změna vidět.



Obrázek 11 – Simulace kovového předmětu



Obrázek 12 – Graf 2D



Obrázek 13 – Graf

5.5 Vzorek 2 – bez vytvoření defektu

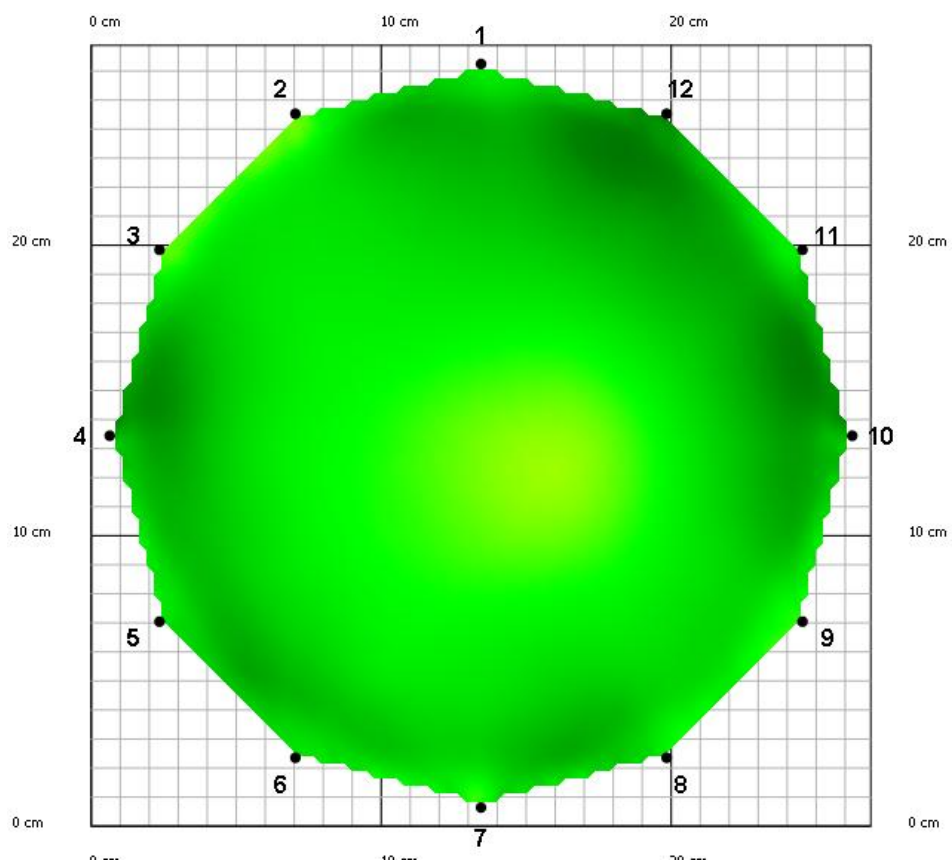
Protože už byl první vzorek hodně použit, měřilo se na druhém vzorku, který byl viděn na obrázcích 14, 15. První měření na druhém špalku bylo zase kontrolní a na obrázcích 16, 17 byla zelená barva značící nulové poškození.



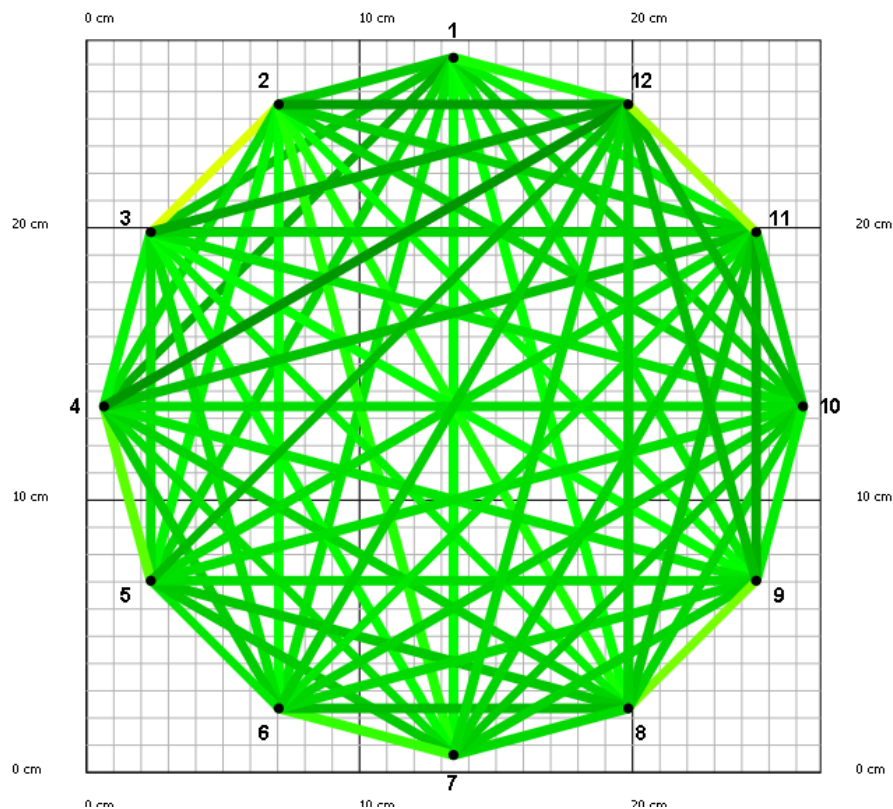
Obrázek 14 – Stav ve skutečnosti (vzorek 2), ze shora



Obrázek 15 – Stav ve skutečnosti (vzorek 2), z boku



Obrázek 16 – Graf 2D



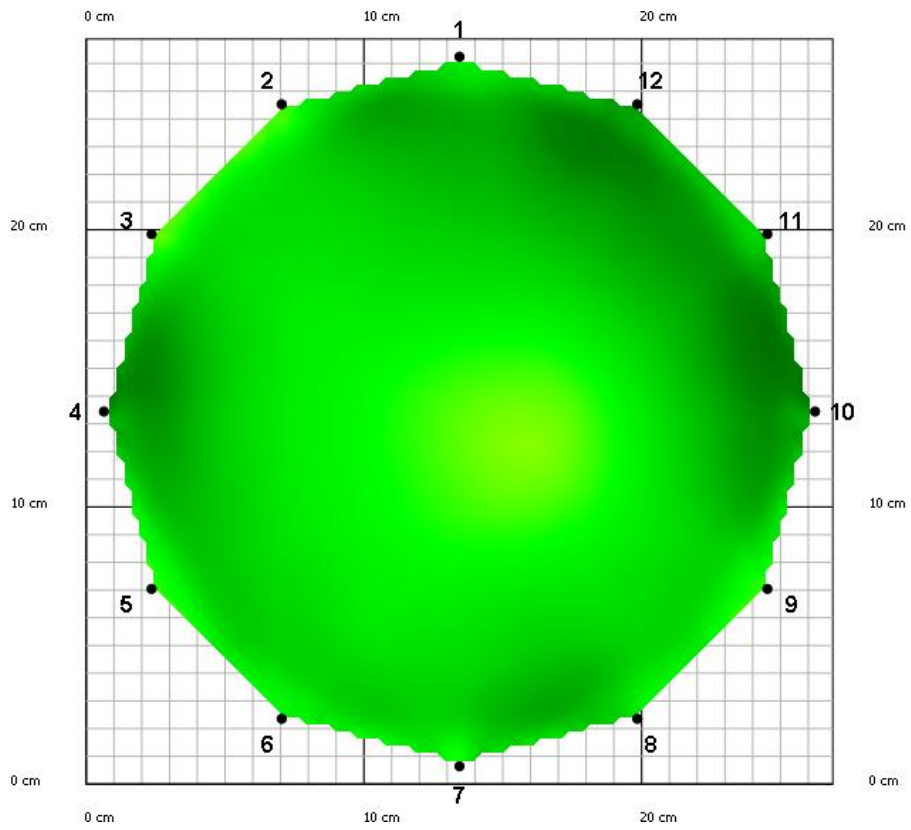
Obrázek 17 – Graf

5.6 Vzorek 2 – Simulace podélné dutiny

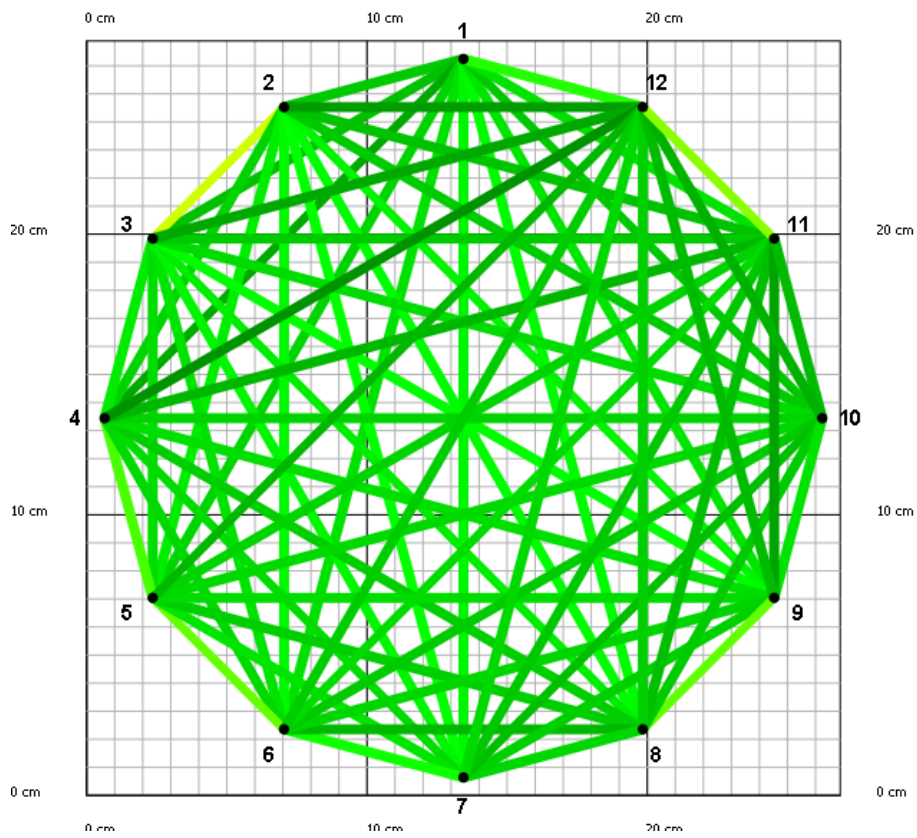
Podélná dutina byla vytvořena pomocí vrtačky a frézky mezi čidly 5 a 6. Dutina byla 4 cm dlouhá, 1 cm široká a 4,3 cm hluboká. Po shlednutí obrázku 19, se graf tvářil stejně. Po prostudování obrázku 20 a porovnáním s obrázkem 17, byla vidět lehká změna v zabarvení. Ale i přesto to bylo poškození nepatrné.



Obrázek 18 – Simulace dutiny



Obrázek 19 – Graf 2D



Obrázek 20 – Graf

6 Diskuze

Při vizuálním hodnocení poškozených dřevin, nelze spolehlivě zhodnotit některé defekty. Proto se používají diagnostické přístroje, které co nejpřesněji určí míru rizika selhání, toto uvádí Kolařík a kolektiv v roce 2005. To se potvrdilo i u mého experimentu. Některá simulovaná poškození vypadají, že jsou rozsáhlá a že můžou být i nebezpečná v případě výskytu na dřevině. Ale akustický tomograf poškození nezaznamenal.

Salava T. v roce 1979 uvádí, že rychlost šíření zvuku napříč lety je 1500 m/s.

Při měření akustickým tomografem je při každém poklepání na čidlo zaznamenána rychlost zvuku. Ve výsledné tabulce se pohybují rychlosti v rozmezí od 1400 m/s do 1750 m/s. Hodnota 1500 m/s by tedy byla spíše hodnotou průměrnou a hodnoty se tedy skutečně pohybují kolem této průměrné hodnoty.

Na podobné téma už byla jedna bakalářská práce vypracována, a to v roce 2013 Vladimírem Maňákem. Ten dělal rozsáhlejší poškození motorovou pilou a vrtačkou. Při poškození několika otvory nebylo příliš patrné zpomalení zvukových vln na grafech. Při rozsáhlejších poškozeních se již zpomalení projevilo, což bylo patrné i při grafickém vyjádření rychlosti zvukových vln převedeném pro lepší názornost do barevného spektra.

Předložená bakalářská práce navazuje na pokusy Maňáka a dále je rozšiřuje o poškození, která při svých pokusech nesimuloval. Bylo prokázáno ve shodě s jeho předchozími pokusy, že drobná poškození přístroj nezaznamená. Potvrdilo se to i při drobných poškozeních ve směru z boku do středu dřeva. Navíc byly simulovány další typy poškození kovovými předměty, které zůstaly ve dřevě.

V. Maňák uvádí, že některá jeho poškození byla změřena v menším rozsahu, než skutečně byla. To měla způsobit zvuková vlna, která to obešla. To by mohl být důvod, proč se poškození na grafu neukázala.

Toho by se dalo využít při hodnocení dřevin, u kterých jsou nějaké malé defekty, které by mohly narušovat měření a výsledky.

Tato práce by mohla být dále použita pro jiné experimenty nebo pro další rozšíření tématu v bakalářské práci.

7 Závěr

- Ve své práci popisují hodnocení dřevin, akustický tomograf, šíření zvuku a poškození dřevin, které je způsobeno abiotickými, biotickými činiteli a vlivem člověka.
- Pro zhodnocení poškození dřevin se může použít několik přístrojů. V práci byl použit akustický tomograf, který využívá principu šíření zvuku. Výsledky, které program přeměnil v tabulky a grafy, ze zjištěných hodnot vyplývá, že tato malá poškození, která se provedla na dřevině (*Fraxinus excelsior*) byla takřka nezpozorovatelná a neměla v podstatě žádný velký vliv na dřevinu.

8 Literatura

Tištěné monografie:

- Gregorová B.** et al. 2006. Poškození dřevin a jeho příčiny. AOPK ČR, Praha. ISBN 80-86064-97-2, 361 s.
- Kolařík J.** et al. 2003. Péče o dřeviny rostoucí mimo les, I. díl. Český svaz ochránců přírody, Vlašim. ISBN 80-86327-36-1, 261 s.
- Kolařík J.** et al. 2005. Péče o dřeviny rostoucí mimo les, II. díl. Český svaz ochránců přírody, Vlašim. ISBN 80-86327-44-2, 710 s.
- Lilly S. J.** (ed.) 2001. Arborist's certification study guide, International Society of Arbiculture, Champaign. ISBN 1-881956-26-1, 222 s.
- Mattheck C.** 1992. Die Baumgestalt als autobiographie, Einführung in die Mechanik der Bäume und ihre Körpersprache. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig: Thalacker. ISBN 3-87815-050-4, 143 s.
- Quantified tree risk assessment LTD.** Quantified Tree Risk Assessment Practice Note, Macclesfield, United Kingdom, 2010. 9s.
- Salava T.** 1979. Elektroakustická a elektromechanická měření. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha. ISBN 04-533-79, 304 s.
- Smetana C.** et al. 1998. Hluk a vibrace, měření a hodnocení. Sdělovací technika, Praha. ISBN 80-901936-2-5, 187 s.
- Tattar T. A.** 1989. Diseases of shade trees (revised edition). Academic Press, USA. ISBN 978-0-12-684351-4, 380 s.
- Zúbrík M.** et al. 2008. Hmyz a huby, atlas poškození lesných dřevin. Zvolen: Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav; Banská Štiavnica: Středisko lesníckej ochrannárskej služby. ISBN 978-80-8093-044-8, 178 s.

Tištěná periodika:

- Juhás D.** et al. 2013. Hodnotenie stability stromov zvukovým tomografom. Rostlinolékař 24/6: 26-27.
- Štefl L.** 2013. Přístrojové metody hodnocení stability stromů – přehled možností. Zahrada – park- krajina 23/2: 24-27.

Internetové zdroje:

- EkoTechnika s.r.o.** www.ekochnika.cz. Available from <http://ekotechnika.cz/vyrobek/arbosonic-3d-akusticky-tomograf> (accessed srpen 2020).
- Marta Svítková – mesačník města Pezinok.** www.pezincan.pezinok.sk. Duben 2016. Available from <http://pezincan.pezinok.sk/index.php?yggid=article&cat=2016-04&article=14060> (accessed srpen 2020).
- Standardy AOPK.** www.standardy.nature.cz. Available from <https://standardy.nature.cz/res/archive/414/068331.pdf?seek=1552472268> (accessed květen 2021)
- Symbiosis consulting.** www.symbiosisconsultinguk.com. Available from <https://symbiosisconsultinguk.com/services/risk-analysis/> (Accessed květen)

Vyspra – specialista na výškové práce. www.vyspra.cz. Available from <http://vyspra.cz/rizikove-kaceni/pristrojove-mereni-kmenu> (accessed srpen 2020).

Závěrečné práce:

Maňák V. 2013. Detekce poškození kmene akustickým tomografem Fakopp [BSc. Thesis]. Mendelova univerzita, Brno.

9 Samostatné přílohy

Příloha A: Tabulky rychlosti šíření zvuku

Tabulka číslo 1 – rychlost zvuku

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1603 m/s	1607 m/s	1650 m/s	1547 m/s	1580 m/s	1610 m/s	1554 m/s	1498 m/s	1561 m/s	1537 m/s	1384 m/s
2	1603 m/s		1396 m/s	1664 m/s	1575 m/s	1593 m/s	1626 m/s	1566 m/s	1510 m/s	1568 m/s	1583 m/s	1643 m/s
3	1607 m/s	1396 m/s		1535 m/s	1593 m/s	1619 m/s	1644 m/s	1553 m/s	1471 m/s	1494 m/s	1512 m/s	1555 m/s
4	1650 m/s	1664 m/s	1535 m/s		1461 m/s	1668 m/s	1723 m/s	1649 m/s	1564 m/s	1548 m/s	1561 m/s	1588 m/s
5	1547 m/s	1575 m/s	1593 m/s	1461 m/s		1476 m/s	1695 m/s	1626 m/s	1580 m/s	1571 m/s	1513 m/s	1532 m/s
6	1580 m/s	1593 m/s	1619 m/s	1668 m/s	1476 m/s		1616 m/s	1638 m/s	1648 m/s	1662 m/s	1577 m/s	1583 m/s
7	1610 m/s	1626 m/s	1644 m/s	1723 m/s	1695 m/s	1616 m/s		1417 m/s	1663 m/s	1703 m/s	1647 m/s	1646 m/s
8	1554 m/s	1566 m/s	1553 m/s	1649 m/s	1626 m/s	1638 m/s	1417 m/s		1621 m/s	1715 m/s	1655 m/s	1634 m/s
9	1498 m/s	1510 m/s	1471 m/s	1564 m/s	1580 m/s	1648 m/s	1663 m/s	1621 m/s		1417 m/s	1522 m/s	1582 m/s
10	1561 m/s	1568 m/s	1494 m/s	1548 m/s	1571 m/s	1662 m/s	1703 m/s	1715 m/s	1417 m/s		1417 m/s	1605 m/s
11	1537 m/s	1583 m/s	1512 m/s	1561 m/s	1513 m/s	1577 m/s	1647 m/s	1655 m/s	1522 m/s	1417 m/s		1450 m/s
12	1384 m/s	1643 m/s	1555 m/s	1588 m/s	1532 m/s	1583 m/s	1646 m/s	1634 m/s	1582 m/s	1605 m/s	1450 m/s	

Tabulka číslo 2 – rychlost zvuku

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1587 m/s	1602 m/s	1654 m/s	1539 m/s	1586 m/s	1603 m/s	1549 m/s	1490 m/s	1557 m/s	1522 m/s	1371 m/s
2	1587 m/s		1389 m/s	1676 m/s	1575 m/s	1601 m/s	1625 m/s	1566 m/s	1508 m/s	1570 m/s	1587 m/s	1639 m/s
3	1602 m/s	1389 m/s		1548 m/s	1596 m/s	1627 m/s	1645 m/s	1561 m/s	1468 m/s	1503 m/s	1513 m/s	1556 m/s
4	1654 m/s	1676 m/s	1548 m/s		1472 m/s	1698 m/s	1738 m/s	1661 m/s	1562 m/s	1563 m/s	1572 m/s	1595 m/s
5	1539 m/s	1575 m/s	1596 m/s	1472 m/s		1484 m/s	1703 m/s	1634 m/s	1573 m/s	1573 m/s	1515 m/s	1534 m/s
6	1586 m/s	1601 m/s	1627 m/s	1698 m/s	1484 m/s		1628 m/s	1655 m/s	1647 m/s	1670 m/s	1589 m/s	1589 m/s
7	1603 m/s	1625 m/s	1645 m/s	1738 m/s	1703 m/s	1628 m/s		1425 m/s	1647 m/s	1697 m/s	1645 m/s	1648 m/s
8	1549 m/s	1566 m/s	1561 m/s	1661 m/s	1634 m/s	1655 m/s	1425 m/s		1610 m/s	1717 m/s	1648 m/s	1625 m/s
9	1490 m/s	1508 m/s	1468 m/s	1562 m/s	1573 m/s	1647 m/s	1647 m/s	1610 m/s		1431 m/s	1517 m/s	1579 m/s
10	1557 m/s	1570 m/s	1503 m/s	1563 m/s	1573 m/s	1670 m/s	1697 m/s	1717 m/s	1431 m/s		1428 m/s	1615 m/s
11	1522 m/s	1587 m/s	1513 m/s	1572 m/s	1515 m/s	1589 m/s	1645 m/s	1648 m/s	1517 m/s	1428 m/s		1453 m/s
12	1371 m/s	1639 m/s	1556 m/s	1595 m/s	1534 m/s	1589 m/s	1648 m/s	1625 m/s	1579 m/s	1615 m/s	1453 m/s	

Tabulka číslo 3 – rychlost zvuku

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1590 m/s	1602 m/s	1627 m/s	1539 m/s	1561 m/s	1609 m/s	1548 m/s	1497 m/s	1550 m/s	1522 m/s	1369 m/s
2	1590 m/s		1384 m/s	1630 m/s	1565 m/s	1574 m/s	1627 m/s	1566 m/s	1512 m/s	1563 m/s	1585 m/s	1651 m/s
3	1602 m/s	1384 m/s		1484 m/s	1587 m/s	1597 m/s	1644 m/s	1560 m/s	1480 m/s	1504 m/s	1517 m/s	1568 m/s
4	1627 m/s	1630 m/s	1484 m/s		1461 m/s	1649 m/s	1733 m/s	1655 m/s	1564 m/s	1551 m/s	1563 m/s	1587 m/s
5	1539 m/s	1565 m/s	1587 m/s	1461 m/s		1458 m/s	1713 m/s	1635 m/s	1585 m/s	1574 m/s	1518 m/s	1547 m/s
6	1561 m/s	1574 m/s	1597 m/s	1649 m/s	1458 m/s		1583 m/s	1620 m/s	1631 m/s	1642 m/s	1564 m/s	1576 m/s
7	1609 m/s	1627 m/s	1644 m/s	1733 m/s	1713 m/s	1583 m/s		1436 m/s	1670 m/s	1699 m/s	1646 m/s	1659 m/s
8	1548 m/s	1566 m/s	1560 m/s	1655 m/s	1635 m/s	1620 m/s	1436 m/s		1635 m/s	1713 m/s	1641 m/s	1633 m/s
9	1497 m/s	1512 m/s	1480 m/s	1564 m/s	1585 m/s	1631 m/s	1670 m/s	1635 m/s		1425 m/s	1530 m/s	1593 m/s
10	1550 m/s	1563 m/s	1504 m/s	1551 m/s	1574 m/s	1642 m/s	1699 m/s	1713 m/s	1425 m/s		1415 m/s	1615 m/s
11	1522 m/s	1585 m/s	1517 m/s	1563 m/s	1518 m/s	1564 m/s	1646 m/s	1641 m/s	1530 m/s	1415 m/s		1458 m/s
12	1369 m/s	1651 m/s	1568 m/s	1587 m/s	1547 m/s	1576 m/s	1659 m/s	1633 m/s	1593 m/s	1615 m/s	1458 m/s	

Tabulka číslo 4 – rychlost zvuku

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1590 m/s	1609 m/s	1635 m/s	1545 m/s	1581 m/s	1608 m/s	1552 m/s	1485 m/s	1553 m/s	1506 m/s	1386 m/s
2	1590 m/s		1391 m/s	1639 m/s	1568 m/s	1591 m/s	1626 m/s	1570 m/s	1498 m/s	1565 m/s	1583 m/s	1658 m/s
3	1609 m/s	1391 m/s		1496 m/s	1591 m/s	1610 m/s	1645 m/s	1560 m/s	1466 m/s	1508 m/s	1519 m/s	1569 m/s
4	1635 m/s	1639 m/s	1496 m/s		1493 m/s	1680 m/s	1736 m/s	1654 m/s	1552 m/s	1558 m/s	1573 m/s	1587 m/s
5	1545 m/s	1568 m/s	1591 m/s	1493 m/s		1481 m/s	1711 m/s	1633 m/s	1573 m/s	1578 m/s	1524 m/s	1535 m/s
6	1581 m/s	1591 m/s	1610 m/s	1680 m/s	1481 m/s		1607 m/s	1645 m/s	1626 m/s	1660 m/s	1590 m/s	1574 m/s
7	1608 m/s	1626 m/s	1645 m/s	1736 m/s	1711 m/s	1607 m/s		1415 m/s	1641 m/s	1697 m/s	1651 m/s	1636 m/s
8	1552 m/s	1570 m/s	1560 m/s	1654 m/s	1633 m/s	1645 m/s	1415 m/s		1600 m/s	1713 m/s	1651 m/s	1609 m/s
9	1485 m/s	1498 m/s	1466 m/s	1552 m/s	1573 m/s	1626 m/s	1641 m/s	1600 m/s		1412 m/s	1524 m/s	1546 m/s
10	1553 m/s	1565 m/s	1508 m/s	1558 m/s	1578 m/s	1660 m/s	1697 m/s	1713 m/s	1412 m/s		1453 m/s	1604 m/s
11	1506 m/s	1583 m/s	1519 m/s	1573 m/s	1524 m/s	1590 m/s	1651 m/s	1651 m/s	1524 m/s	1453 m/s		1472 m/s
12	1386 m/s	1658 m/s	1569 m/s	1587 m/s	1535 m/s	1574 m/s	1636 m/s	1609 m/s	1546 m/s	1604 m/s	1472 m/s	

Tabulka číslo 5 – rychlost zvuku

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1629 m/s	1644 m/s	1705 m/s	1591 m/s	1556 m/s	1500 m/s	1483 m/s	1548 m/s	1615 m/s	1532 m/s	1472 m/s
2	1629 m/s		1334 m/s	1579 m/s	1516 m/s	1492 m/s	1465 m/s	1471 m/s	1500 m/s	1602 m/s	1616 m/s	1753 m/s
3	1644 m/s	1334 m/s		1517 m/s	1574 m/s	1569 m/s	1497 m/s	1523 m/s	1489 m/s	1563 m/s	1605 m/s	1719 m/s
4	1705 m/s	1579 m/s	1517 m/s		1422 m/s	1619 m/s	1573 m/s	1603 m/s	1555 m/s	1578 m/s	1652 m/s	1775 m/s
5	1591 m/s	1516 m/s	1574 m/s	1422 m/s		1549 m/s	1630 m/s	1636 m/s	1582 m/s	1569 m/s	1577 m/s	1671 m/s
6	1556 m/s	1492 m/s	1569 m/s	1619 m/s	1549 m/s		1451 m/s	1668 m/s	1590 m/s	1605 m/s	1554 m/s	1614 m/s
7	1500 m/s	1465 m/s	1497 m/s	1573 m/s	1630 m/s	1451 m/s		1586 m/s	1605 m/s	1631 m/s	1605 m/s	1581 m/s
8	1483 m/s	1471 m/s	1523 m/s	1603 m/s	1636 m/s	1668 m/s	1586 m/s		1405 m/s	1595 m/s	1636 m/s	1610 m/s
9	1548 m/s	1500 m/s	1489 m/s	1555 m/s	1582 m/s	1590 m/s	1605 m/s	1405 m/s		1534 m/s	1709 m/s	1666 m/s
10	1615 m/s	1602 m/s	1563 m/s	1578 m/s	1569 m/s	1605 m/s	1631 m/s	1595 m/s	1534 m/s		1622 m/s	1682 m/s
11	1532 m/s	1616 m/s	1605 m/s	1652 m/s	1577 m/s	1554 m/s	1605 m/s	1636 m/s	1709 m/s	1622 m/s		1375 m/s
12	1472 m/s	1753 m/s	1719 m/s	1775 m/s	1671 m/s	1614 m/s	1581 m/s	1610 m/s	1666 m/s	1682 m/s	1375 m/s	

Tabulka číslo 6 – rychlost zvuku

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1615 m/s	1639 m/s	1702 m/s	1586 m/s	1551 m/s	1495 m/s	1481 m/s	1540 m/s	1617 m/s	1546 m/s	1445 m/s
2	1615 m/s		1327 m/s	1585 m/s	1516 m/s	1485 m/s	1467 m/s	1476 m/s	1499 m/s	1612 m/s	1633 m/s	1737 m/s
3	1639 m/s	1327 m/s		1523 m/s	1561 m/s	1543 m/s	1494 m/s	1519 m/s	1475 m/s	1567 m/s	1613 m/s	1703 m/s
4	1702 m/s	1585 m/s	1523 m/s		1420 m/s	1573 m/s	1566 m/s	1602 m/s	1555 m/s	1589 m/s	1663 m/s	1762 m/s
5	1586 m/s	1516 m/s	1561 m/s	1420 m/s		1400 m/s	1540 m/s	1602 m/s	1565 m/s	1570 m/s	1585 m/s	1661 m/s
6	1551 m/s	1485 m/s	1543 m/s	1573 m/s	1400 m/s		1459 m/s	1663 m/s	1581 m/s	1612 m/s	1563 m/s	1605 m/s
7	1495 m/s	1467 m/s	1494 m/s	1566 m/s	1540 m/s	1459 m/s		1577 m/s	1596 m/s	1641 m/s	1617 m/s	1571 m/s
8	1481 m/s	1476 m/s	1519 m/s	1602 m/s	1602 m/s	1663 m/s	1577 m/s		1402 m/s	1609 m/s	1641 m/s	1598 m/s
9	1540 m/s	1499 m/s	1475 m/s	1555 m/s	1565 m/s	1581 m/s	1596 m/s	1402 m/s		1546 m/s	1715 m/s	1650 m/s
10	1617 m/s	1612 m/s	1567 m/s	1589 m/s	1570 m/s	1612 m/s	1641 m/s	1609 m/s	1546 m/s		1652 m/s	1678 m/s
11	1546 m/s	1633 m/s	1613 m/s	1663 m/s	1585 m/s	1563 m/s	1617 m/s	1641 m/s	1715 m/s	1652 m/s		1375 m/s
12	1445 m/s	1737 m/s	1703 m/s	1762 m/s	1661 m/s	1605 m/s	1571 m/s	1598 m/s	1650 m/s	1678 m/s	1375 m/s	

Příloha B: Fotodokumentace

Seznam fotografií:

1. Místo měření
2. Probíhající měření
3. Ťukání do čidla
4. Otvor z dálky
5. Podélná dutina z dálky
6. Místo měření z druhé strany

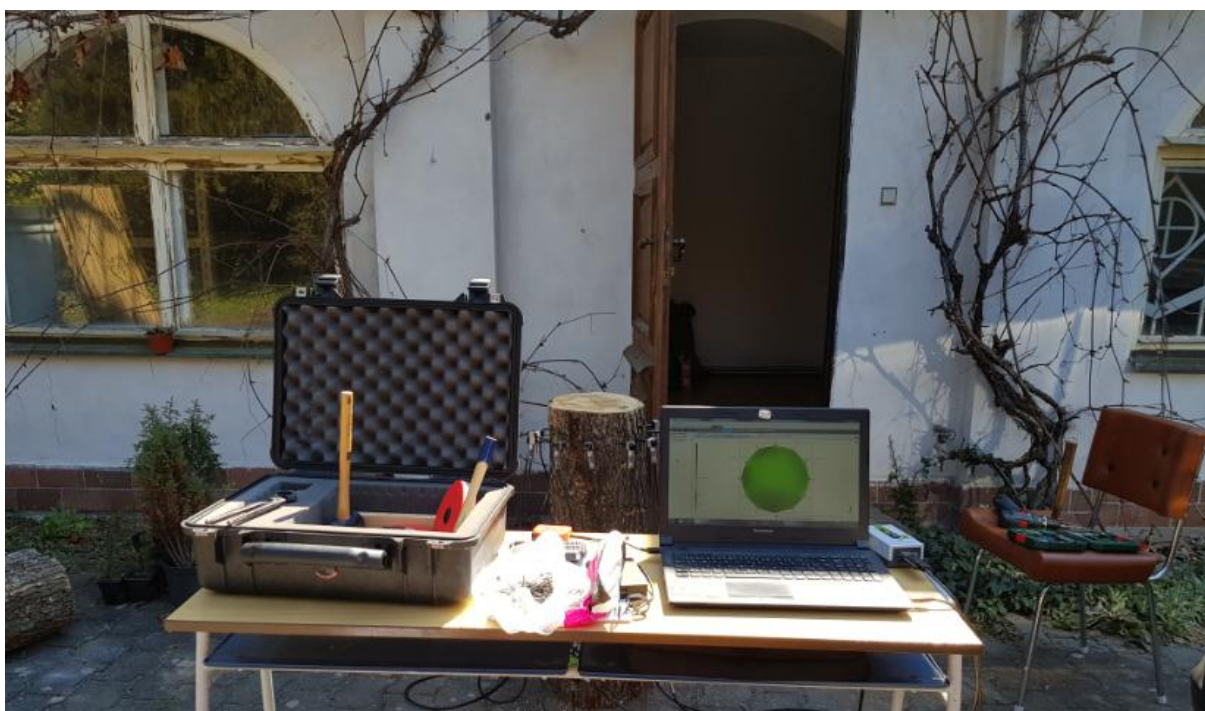


Foto číslo 1: Místo měření



Foto číslo 2: Probíhající měření



Foto číslo 3: Ťukání do čidla



Foto číslo 4: Otvor z dálky



Foto číslo 5: Dutina z dálky



Foto číslo 6: Místo měření z druhé strany