

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zahradní a krajinné architektury**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Hodnocení stromů akustickým tomografem**

**Diplomová práce**

**Bc. Eliška Chrzová, DiS.**

**Management zakládání a péče o zeleň**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Matouš Jebavý, Ph.D.**

**Konzultant: Ing. Miroslav Ezechel**

© 2023 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Hodnocení stromů akustickým tomografem" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2023

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu doc. Ing. Matouši Jebavému, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a 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. Dále bych chtěla poděkovat přátelům Anetě Červenkové, Valentíně Michlíkové, Lucii Sandtnerové, Valentíně Sekalové, Karolíně Šťastné, Tomáši Táborskému a Ondřeji Turkovi, své rodině a přáteli za jejich podporu.

# Hodnocení stromů akustickým tomografem

## Souhrn

Tato diplomová práce se zabývala hodnocením dřevin, diagnostickými přístroji, šířením zvuku a poškozením dřevin.

Hodnocení dřevin se mohlo provádět dvěma způsoby, vizuálním hodnocením nebo pomocí přístrojů. Jedním z diagnostických přístrojů byl akustický tomograf, s kterým bylo poškození měřeno. Akustický přístroj využíval rychlost šíření zvuku. Zvuk se šířil dřevem, pokud se ve dřevě vyskytl defekt, zvuk ho bral jako překážku a jeho rychlost se zpomalila, nebo překážku obešel. U poškození dřevin záleželo na velikosti, jeho umístění a čím bylo způsobeno. Poškození mohlo být způsobeno mechanickým poškozením a abiotickými činiteli, těmito poškozeními mohlo dojít k rozšíření biotických činitelů, které způsobili další poškození.

Akustickým tomografem se měřila nasimulovaná poškození na špalcích dřevin jabloň domácí (*Malus domestica*), smrk ztepilý (*Picea abies*), vrba bílá (*Salix alba*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*), modřín opadavý (*Larix decidua*) a buk lesní (*Fagus sylvatica*). Celkem bylo provedeno jedenáct měření, dvě byly bez poškození a devět jich bylo s nasimulovaným poškozením.

Simulovanými poškozeními byly vydlabání tlení (vzorek 1(b) - *Malus domestica*), vytvoření dutin dvou různých rozměrů (dva vzorky 2 a 3 - *Salix alba*), dutina naplněná vodou a zamrazená (vzorek 4 (a) - *Picea abies*), dutina s vodou (vzorek 4 (b) - *Picea abies*), obtočení drátu kolem obvodu (vzorek 5 (b) - *Fagus sylvatica*), na třech vzorcích bylo vytvořeno poškození motorovou pilou přes celý průměr vzorku, na hloubku lišty pily (vzorek 6 - *Larix decidua*, vzorek 7 - *Picea abies* a vzorek 8 - *Pinus sylvestris*). Nedotčenými vzorky byly vzorek 1 (a) *Malus domestica* s původním tlením a vzorek 5 (a) *Fagus sylvatica*, který byl zdravý.

Výsledky byly zajímavé, vzorky 1a, 1b, 2, 3, 4b a 5a se zobrazily v takovém stavu, v jakém byly vidět. U vzorku 5b se poškození neprojevalo. Vzorek 4b byl zobrazen překvapivě v dobrém stavu. Led, který vyplňoval dutinu, nahradil dřevo z hlediska šíření zvuku. U vzorků 6, 7 a 8 se poškození ukázalo v menším rozsahu, než bylo vytvořeno.

Tato práce by mohla být přínosná pro arboristy hodnotící dřeviny v zimním období se střídáním oblevy a velkých mrazů, kdy by byla dutina vyplněná roztátým sněhem a následným zmrznutím.

**Klíčová slova:** hodnocení dřevin, akustický tomograf, poškození dřevin, stabilita dřevin, bezpečnost dřevin

# Acoustic tomography for assessment of trees

## Summary

The thesis deals with the evaluation of woody plants, diagnostic tools, sound propagation and damage to woody plants.

The evaluation of woody plants was done in two ways, either visually or with the use of machinery. One of the methods used was acoustic tomography, which assessed the damage. The acoustic tomography used the speed of sound propagation. The sound travelled through the wood and if any damage was present, it was an obstacle for the sound and caused it to travel slower or avoid the obstacle completely. The most important aspects of the damage to trees were its size, location and possible causes. It could have been caused by mechanical damage and abiotic agents; this could in turn lead to the expansion of biotic agents, which caused further damage.

Acoustic tomography was used to assess simulated damage in logs from apple tree (*Malus domestica*), spruce (*Picea abies*), willow (*Salix alba*), pine (*Pinus sylvestris*), larch (*Larix decidua*) and beech (*Fagus sylvatica*). Eleven measurements were taken overall, of which two were undamaged and nine with simulated damage.

Simulated damage included hollows with decay (sample 1 (b) – *Malus domestica*), two hollows with varying size (samples 2 and 3 – *Salix alba*), hollow filled with water and then frozen (sample 4 (a) – *Picea abies*), hollow with water (sample 4 (b) – *Picea abies*), wrapping a wire around the trunk (sample 5 (b) – *Fagus sylvatica*). Three samples were damaged using a chainsaw; the damage was done by inserting the chainsaw up to the full length of its bar (sample 6 – *Larix decidua*, sample 7 – *Picea abies*, sample 8 – *Pinus sylvestris*). The untouched samples were sample 1 (a) – *Malus domestica*, which already contained decay, and sample 5 (a) – *Fagus sylvatica*, which was healthy.

The results were intriguing; samples 1a, 1b, 2, 3, 4b and 5a were displayed in the same condition as could be seen with visual assessment. Sample 5b was displayed without any damage. Sample 4b was displayed in a surprisingly good condition – the ice which filled the hollow has replaced the wood in terms of sound propagation. Samples 6, 7 and 8 displayed damage in a smaller scale than what was actually done.

This experiment could be useful for arborists who evaluate woody plants during winter, when severe frost and thaw alternate; in particular, when the hollows in trees are filled with melting snow, which then freezes.

**Keywords:** assesemen of trees, acoustic tomography, injury of woody plants, stability of trees, safety of woody plants

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>11</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce</b>	<b>12</b>
<b>3 Literární rešerše</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Hodnocení dřevin</b>	<b>13</b>
3.1.1 Lokalizace dřevin	13
3.1.2 Taxon dřeviny	14
3.1.3 Dendrometrické hodnoty	14
3.1.3.1 Dimenze kmene	14
3.1.3.2 Výška stromu	15
3.1.3.3 Šířka koruny	16
3.1.3.4 Výška nasazení koruny	16
3.1.4 Fyziologické stáří dřevin	16
3.1.5 Vitalita dřevin	17
3.1.5.1 Olistění	17
3.1.5.2 Přeměna tvaru větví	17
3.1.5.3 Prosychání koruny	18
3.1.5.4 Jiná kritéria	18
3.1.5.5 Celkové hodnocení vitality	18
3.1.6 Zdravotní stav	19
3.1.6.1 Defekty podle vlastností dřevin (habitu)	19
<b>3.2 Stabilita dřeviny</b>	<b>21</b>
3.2.1 Stupnice pro hodnocení stability	22
3.2.2 Provozní bezpečnost	22
3.2.3 Mechanické vlastnosti dřeva	22
3.2.3.1 Smrkové dřevo	22
3.2.3.2 Modřínové dřevo	23
3.2.3.3 Borové dřevo	23
3.2.3.4 Jabloňové dřevo	24
3.2.3.5 Bukové dřevo	24
3.2.3.6 Vrbové dřevo	25
<b>3.3 Přístrojové metody</b>	<b>25</b>
3.3.1 Testovací tyče a kladívko	26
3.3.2 Presslerův nebozez	26
3.3.3 Fraktometr	27
3.3.4 Endoskop	27
3.3.5 Penetrometr	27



3.3.5.1	Přenosná vrtačka .....	27
3.3.5.2	Resistograf .....	27
3.3.5.3	Sibert DDD 200.....	28
3.3.5.4	Teredo.....	28
3.3.6	Shigometer.....	28
3.3.7	Vitamat.....	28
3.3.8	Odporová tomografie .....	28
3.3.9	Tahové zkoušky .....	28
3.3.9.1	Zátěžový rozbor .....	29
3.3.9.2	Měření.....	29
3.3.9.3	Vysvětlení výsledků .....	29
<b>3.4</b>	<b>Akustický tomograf .....</b>	<b>29</b>
3.4.1	Druhy .....	30
3.4.1.1	Silvatest .....	30
3.4.1.2	Impulzivní kladívko .....	31
3.4.1.3	Arbosonic.....	31
3.4.1.4	Picus .....	31
3.4.2	Šíření zvuku.....	31
<b>3.5</b>	<b>Poškození dřevin.....</b>	<b>32</b>
3.5.1	Abiotičtí činitelé .....	32
3.5.1.1	Teplota.....	32
3.5.1.2	Srážky.....	33
3.5.1.3	Světelné podmínky .....	35
3.5.1.4	Vítr .....	35
3.5.1.5	Bouřka .....	35
3.5.1.6	Herbicidy a jiné pesticidy .....	36
3.5.1.7	Podzemní voda.....	36
3.5.1.8	Skladba půd a pH .....	36
3.5.1.9	Zasolení půd.....	36
3.5.1.10	Únik plynu .....	37
3.5.1.11	Vliv psích výkalů .....	37
3.5.1.12	Prašnost prostředí .....	37
3.5.1.13	Živiny .....	38
3.5.1.14	Zemní práce .....	38
3.5.1.15	Ostatní.....	38
3.5.2	Biotičtí činitelé.....	39
3.5.2.1	Malus .....	39

3.5.2.2	Salix .....	39
3.5.2.3	Fagus .....	40
3.5.2.4	Picea.....	40
3.5.2.5	Pinus.....	40
3.5.2.6	Larix.....	41
3.5.3	Dřevokazné houby .....	41
3.5.3.1	Celulosovorní.....	41
3.5.3.2	Ligninovorní .....	41
<b>4</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>43</b>
4.1	Pomůcky .....	43
4.2	Příprava .....	43
4.3	Měření.....	43
4.4	Simulace poškození.....	44
4.5	Vyhodnocení výsledků.....	45
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>46</b>
5.1	Vzorek 1(a) – jabloň domácí ( <i>Malus domestica</i> ) – bez simulace, původní tlení ...	47
5.2	Vzorek 1(b) – jabloň domácí ( <i>Malus domestica</i> ) – simulace dutiny .....	49
5.3	Vzorek 2 – vrba bílá ( <i>Salix alba</i> ) – simulace dutiny .....	51
5.4	Vzorek 3 – vrba bílá ( <i>Salix alba</i> ) – simulace dutiny .....	53
5.5	Vzorek 4 (a) – smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> ) – simulace zmrznutí kmene.....	55
5.6	Vzorek 4 (b) – smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> ) – simulace rozmrznutí kmene.....	57
5.7	Vzorek 5 (a) – buk lesní ( <i>Fagus sylvatica</i> ) – bez simulace, bez poškození.....	59
5.8	Vzorek 5 (b) – buk lesní ( <i>Fagus sylvatica</i> ) – simulace kovového předmětu kolem kmene	61
5.9	Vzorek 6 – modřín opadavý ( <i>Larix decidua</i> ) – simulace řezu.....	63
5.10	Vzorek 7 – smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> ) – simulace řezu .....	65
5.11	Vzorek 8 – borovice lesní ( <i>Pinus sylvestris</i> ) – simulace řezu.....	67
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>71</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>72</b>
<b>9</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>

# 1 Úvod

Má diplomová práce se zabývá stejným tématem, jako má bakalářská práce, jen s jinými pokusy. Téma se týká hodnocení dřevin, hodnocení dřevin pomocí přístrojové metody. Přístroj, se kterým pracuji, se nazývá akustický tomograf. Dále se týká poškození dřevin a jejich stability.

Zeleň ve městech, zahradách a parcích je důležitým elementem, který má na člověka mnoho důležitých vlivů např. mikroklimatický, zdravotní, psychický, rekreační, kulturní, estetický, reprezentativní a hospodářský (Hurych et al. 2011).

Větší péči o neovocné dřeviny, které rostly mimo les, lze v České republice, rovněž jako ve světě, zařadit do doby, kdy došlo k zakládání okrasných zahrad, parků a později i arboret (Kolařík et al. 2003). „Stále víc a víc si uvědomujeme, že náš život je se životem stromů těsně spjat. Toto soužití se z volné přírody přeneslo i do míst, která si člověk zcela přetvořil ke své podobě. Do měst.“ (Kolařík 1994) Prostředí měst je těžké přetvořit pomocí výsadby dřevin, převážně stromů. Protože stromy mají omezené možnosti růstu na takto mimořádně intenzivních stanovištích (Kolařík et al. 2003).

„Jako lidé, trpí i stromy celou řadou neduhů. Zjištění jejich příčin není tak jednoduché. Během vývoje byla poznána celá řada chorob a škůdců, objevují se nové a zákeřnější. V mnoha případech si za tento stav může sám člověk. Negativně mění životní podmínky nejen pro sebe, ale i pro stromy.“ (Gregorová et. al. 2006)

Stromy, které rostou v lese, tedy ve svém přirozeném prostředí, se řezat nemusejí. Tím, že rostou v zápoji, v zastínění a s různými mikroorganismy dochází k samovolné redukci dřevní hmoty a v koruně tak zůstávají jen zdravé větve. Při větším poškození v důsledku vichřice či sněhové kalamitě dochází k dutinám, které mohou napadnout patogeny. Dále může dojít k narušení stability a strom spadne. Spadlý strom slouží jako zdroj živin a vzniklé místo se uvolní pro jiné dřeviny. U stromů, které rostou v městském prostředí, se řez provádět musí, protože zde byly vysazeny účelně a nejsou tu pro ně příznivé podmínky. Řez slouží k zachování dobrého stavu dřeviny a k zabránění ohrožení okolí. (Kolařík et al. 2003)

Hodnocení dřevin se provádí vizuálně a s možností speciálních metodik. Přístrojový test slouží k podrobnějšímu prozkoumání. Dělá se v případě stromů, které stojí na důležitém, nezastíněném a frekventovaném stanovišti s podezřením na rozsáhlejší vnitřní poškození, nebo na narušení kořenového systému. (Kolařík et al. 2005)

## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

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

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

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

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Hodnocení dřevin

Hodnocení dřevin se provádí z důvodu bezpečnosti, ke zjištění hodnoty dřeviny a pro určení následné péče (Kolařík et al. 2005).

Může se provádět v libovolnou dobu během roku, výjimka je pouze v období sněhové pokrývky. Vitalita stromů by se měla u listnatých dřevin posuzovat při fázi vegetace, pokud se zjišťuje mimo vegetaci, musí se to zaznamenat do protokolu. U stálezelených dřevin to jde celoročně. Plodnice jednoletých dřevních hub se na dřevinách vyskytují v době konce léta až podzimu, v tuto dobu by se mělo provádět zjišťování jejich možného výskytu. V každém protokolu by měl být datum inventarizace nebo její poslední aktualizace. (SPPK A01 001:2018)

U hodnocení dřevin se zjišťuje druh dřeviny, tedy správný název a kultivar a určuje se lokalizace. Dále její výška, nasazení koruny, obvod kmene a šířka koruny (Kolařík et. al. 2005). Dalším určením je dendrologický průzkum, který obsahuje soupis stromů, fyziologické stáří, vitalitu, zdravotní stav, stabilitu, perspektivu a datum hodnocení (SPPK A01 001:2018). Důležité je zvolit vhodné opatření, které zajistí lepší podmínky na stanovišti a přispějí ke stabilizaci dřeviny (Kolařík et. al. 2005).

Nejprve se provádí vizuální hodnocení, kterým se hodnotí znatelné příznaky, zjednodušeně to co vidím. Další možné hodnocení je podle speciálních metodik, které jsou VTA (Visual Tree Assessment), SIA (Static Integrated Assessment), EHT (Evaluation of Hazard Trees in Urban Areas) (Kolařík et. al. 2005), QTRA (Quantified Tree Risk Assessment), TRAQ (Tree Risk Assessment Qualification) a WLA (Wind Load Analysis) (SPPK A01 001:2018).

#### 3.1.1 Lokalizace dřevin

K jasné identifikaci je možné použít umístění dřevin, protože stromy svou polohu nemění. Přesné umístění je důležité pro hodnocení stavu dřeviny, její následnou péči a k určení majitele dřeviny v katastru nemovitostí (SPPK A01 001:2018).

Bod, který určuje polohu dřeviny, se vytyčuje vertikálou, která prochází úpatím kmene. Vícekmenné stromy mají bod, který je situován ve středu větvení. Dřeviny, které rostou na svahu, se vytyčují pomocí vrstevnic (Kolařík et. al. 2005). Dále se stromy rozlišují podle očíslování (SPPK A01 001:2018). U hojně rozmístěných dřevin, které zabírají velkou plochu, je lepší využít tagování (Kolařík et. al. 2005).

Při tagování se používají identifikační štítky nebo čipy (SPPK A01 001:2018). Štítky mohou být vyrobeny z hliníku, do těch jsou vyryté názvy a čísla. Připevňují se na dřeviny pomocí hřebíků, jejich výhodou je dostupná cena a nepoškození dřeviny při tloustnutí kmene. Nevýhodou je narušení slunečním zářením a ošoupání, což způsobuje nečitelnost textu. Další nevýhodou je pak ničení a odstranění štítků vandaly.

Štítky mohou být dále vyrobeny z plastu, na ty je natisklý číselný a čárový kód. Plastové štítky se na stromy umísťují nožičkami, které se zapřou mezi kůru, nebo se použije hřebík či vrut, který se dá povolovat, aby štítek do kmene nezarůstal. Pro předcházení

vandalismu a zarůstání se používá speciální kladivo, které umožní umístit štítek do výšky nad 2 metry a při přirůstání kmene se štítek posouvá po hřebíku. Po nějaké době je nutné štítek znovu namontovat, aby nedošlo k úplnému vytěsnění. (Kolařík J. et al. 2005)

Dále existují rozpoznávací čipy, které jsou vsazené či zavrtané do svrchní vrstvy dřeva mezi jádrem a lýkem (SPPK A01 001:2018). Tyto čipy jsou rádiové (RFID) a informace z nich se získávají prostřednictvím skeneru, který slouží k jejich čtení. Kód je rozpoznatelný do hloubky 25 cm, jeho nevýhodou je vysoká cena a nejspolehlivost kódu bez čtecího zařízení (Kolařík J. et al. 2005).

Dřeviny se lokalizují buď podle orientace zákresem do mapy, podle GPS souřadnicemi, nebo geodetickým zaměřením. Zákresem do mapy není moc přesný, může tam být rozdíl cca od 1 do 15 metrů (Kolařík et. al. 2005). Katastrální mapa nebo ortofoto mapa má přijatelnou odchylku do 3 metrů, technická mapa má přijatelnou odchylku do 0,5 metru. U dřevin v hustých porostech, na svahu a na špatně přístupných stanovištích je odhad náročnější a odchylka je tak velká (SPPK A01 001:2018). Konečné údaje je lepší převést do kteréhokoliv programu GIS. Jako podkladovou mapu lze použít rastrové černobílé mapy, rastrové barevné mapy a vektorové mapy (Kolařík et. al. 2005).

GPS systém je přesnější a rychlejší, ale záleží na použití přístroje. Jeho odchylka se pohybuje od centimetrů po metry. Nevýhodou je zastínění signálu korunami dřevin (SPPK A01 001:2018).

Geodetické měření je časově náročné, ale zároveň nepřesnější. Odchylka se pohybuje od centimetrů po decimetry. Využívá se při lokalizaci rozměrnějších míst s četným porostem, např. parky a lesoparky (SPPK 01 001:2018).

### 3.1.2 Taxon dřeviny

U dřeviny se musí stanovit druh, popřípadě kultivar nebo varieta (Kolařík et. al. 2005). Při hodnocení dřevin mimo vegetační období se může určit jen rod dřeviny (SPPK 01 001:2018). Při inventarizaci se názvy píšou odborně, používá se tedy latinský jazyk. Při hodnocení porostů se mohou uplatňovat zkratky dřevin a číselné kódy. Do vytvořené tabulky se napíše název určené dřeviny, podle názvu se vytvoří zkratka a stanoví se pořadí neboli číselný kód dřeviny. Tabulka bude vypadat například takto číselný kód: 40, zkratka: DBL, český název: dub letní a vědecký název: *Quercus robur*. Pro přehlednost plánu se zakreslená dřevina označí jen číselným kódem, nebo číselným kódem a zkratkou. (Kolařík et. al. 2005)

### 3.1.3 Dendrometrické hodnoty

#### 3.1.3.1 Dimenze kmene

Nejdříve se měří dimenze kmene, která představuje průměr nebo obvod kmene. Možná odchylka při měření je 5 % (SPPK 01 001:2018). Měří se podle ustáleného postupu ve výšce 130 cm, což je vlastně prsní výška, která má z měření vyloučit kořenové náběhy. Výjimku tvoří měření alejových stromů, protože mají zapěstované korunky. Měření se provádí ve výšce 100 cm (Kolařík et. al. 2005). Pokud se v místě prsní výšky nachází poškození kmene, jako jsou boule a rány, kmen se měří nad nebo pod poškozením. Záleží na výšce kořenových náběhů nebo na větvení (SPPK 01 001:2018). Jestliže se v místě prsního měření

nachází větvení, měřit se bude v místě pod větvením (Kolařík et. al. 2005). U stromu, který roste ve svahu, se prsní výška bude měřit od místa kontaktu kmene s terénem (SPPK 01 001:2018). V případě dvoukmenů či vícekmenů se měří kmen ve výšce 130 cm od kořenových náběhů na každém kmeni zvlášť, na nejsilnějším kmeni, nebo na čtyřech nejsilnějších (Kolařík et. al. 2005). Do poznámky je vhodné uvést celkový počet kmenů (SPPK 01 001:2018).

Obvod kmene se měří pomocí pásma, které by mělo být látkové, protože kovové pásmo se špatně přitiskne ke kmeni. Dále by mělo mít pásmo háček, kterým se zachytí v borce. Průměr kmene se může odečítat ze speciální stupnice (Kolařík et. al. 2005), nebo spočítat pomocí matematického vzorečku  $d = O/\pi$ , kde  $O$  je obvod,  $d$  je průměr a  $\pi$  je Ludolfovo číslo (3,14) (SPPK 01 001:2018). Nejrychlejší způsob určení průměru je použitím dvouramenné průměrky, její velikost je až do 170 cm. Při měření průměru kmene velkého počtu dřevin je snazší použít elektrickou průměrku. Její odchylka se pohybuje okolo 1 cm. Existuje i jednoramenná průměrka, která je hodně nepřesná (Kolařík et. al. 2005).

U vícekmenů se používá náhradní průměr kmene podle vzorce  $d = \sqrt{d^2_{\max} + d^2_{\text{ostatní}}}$ , kde  $d_{\max}$  = průměr nejsilnějšího kmene a  $d_{\text{ostatní}}$  = aritmetický průměr průměrů ostatních kmenů. Průměr kmene z pařezu se vypočítá ze vzorce  $d_{1,3} = d_{\text{pařez}}/1,37$ , kde  $d_{1,3}$  = průměr kmene v prsní výšce a pařez = průměr kmene na pařezu. Dá se použít ještě přepočtový koeficient, kdy se pro porovnání měří průměr dřevin na stejném stanovišti, stejného taxonu a podobného věku. (SPPK 01 001:2018)

### 3.1.3.2 Výška stromu

Jako druhá se měří výška stromu, která je vymezena od vrcholu koruny k bázi kmene (SPPK 01 001:2018). Je to velice náročně měřitelná charakteristika, která se spíše odhaduje, používají se tedy nepřímé metody měření (Kolařík et. al. 2005). Přímé měření se dělá alespoň u jednoho důležitého jedince v každém prostoru, aby se upřesnil odhad (SPPK 01 001:2018).

Jednou z nepřímých metod je porovnávání předmětu s výškou stromu a dopočítání vzdálenosti od báze kmene po stanoviště člověka, který měření provádí. Je možné použít přímou větev, která by měla mít délku, jako je vzdálenost od oka po pěst. Větev je potřeba držet vertikálně s nataženou paží před dřevinou a vzdalovat se, dokud se nebude větev se stromem překrývat. Následně se provede měření vzdálenosti, která odpovídá podle principu rovnoramenného trojúhelníku výšce stromu. (Kolařík et. al. 2005)

Dále se mohou používat přístrojové výškoměry, které jsou buď na principu rovnoramenného trojúhelníku, jako u předešlé metody s větví, nebo na principu úhlů. Výškoměry na principu rovnoramenného trojúhelníku jsou například Christenův výškoměr, Blumeleisův výškoměr a zrcadlový relaskop. U principu měření pomocí úhlů se provádí dvě měření. První měření je na vrchol koruny a druhé na úpatí kmene. Nachází-li se dřevina v rovině, budou se měření k sobě přičítat. Nachází-li se dřevina ve svahu, měření se od sebe musí odečíst. Tím vznikne konečná výška dřeviny. (Kolařík et. al. 2005)

Možná odchylka při měření výšky dřevin je pro různé výšky jiná. U stromů, které mají výšku do 20 m, je to 20 %. U stromů, které mají výšku 21 až 30 m, je to 25 %. A u stromů, které jsou vysoké nad 31 m, je to 30 %. (SPPK 01 001:2018) Odchylky mohou vznikat špatně měřenou vzdáleností od stromu, proto by se mělo měřit pásmem nebo

dálkoměrem a neměla by se vzdálenost krokovat. Další chybou je špatné určení vrcholu stromu, který je nakloněný nebo má košatou korunu. (Kolařík et. al. 2005)

### 3.1.3.3 Šířka koruny

Třetím měřením je měření šířky neboli průmětu koruny, měří se jako dva na sebe kolmé průměry, z kterých se udělá průměr aritmetický (Kolařík et. al. 2005). Může se měřit i poloměrem, který by měl být na sebe také kolmý a hodnoty se sečtou (SPPK 01 001:2018).

Šířka koruny záleží na druhu dřeviny, na okolních dřevinách a na stavbách, které brání stromům v růstu. Její hodnota je důležitá pro vyobrazení v digitální mapě, kde je možné vidět, jak moc jsou dřeviny nahuštěné na sobě a jejich poloha, která je důležitá v případě další možné výsadby. (Kolařík et. al. 2005)

Její odchylka by neměla překročit 30 % (SPPK 01 001:2018), příčinou špatného měření může být velmi nesouměrná koruna. Dále to mohou být větve, které ční z kompaktní koruny, nebo větve, které si lze splést od vedlejšího stromu (Kolařík et. al. 2005).

### 3.1.3.4 Výška nasazení koruny

Výška nasazení koruny se určuje v místě, kde se vyskytuje nejvíce větví a listů, měří se vzdálenost od úpatí kmene až po toto místo. Používá se při popisu objemu nebo náporové ploše koruny. Možná odchylka by neměla překročit 30 %. (SPPK 01 001:2018)

## 3.1.4 Fyziologické stáří dřevin

Fyziologické stáří popisuje významné vývojové stádium stromů. Důležitý pro určení správného vývojového stádia je taxon dřeviny, protože každý druh dřeviny, každý kultivar roste různou rychlostí. Dalším důležitým ukazatelem, podle kterého se dřevina zařadí do správného vývojového stádia, je obvod kmene. (Kolařík et. al. 2005)

Stupnice, podle kterých se dřevina zařazuje do vývojových fází, má 5 nebo 6 kategorií. První kategorií je mladý jedinec ve fázi ujímání, která je definovaná dřevinou do 1 m výšky, nebo dřevinou, která je nově vysazená a zvyká si na nové prostředí.

Druhou kategorií je aklimatizovaný jedinec, který na stanovišti už zakořenil a začíná si vytvářet tvar koruny.

Třetí kategorií je dospívající jedinec, který má typické rysy taxonu a roste do výšky.

Čtvrtou kategorií je dospělý jedinec, který dosáhl své požadované výšky a dále neroste. Prodlužují se jen větve a tím se zvětšuje rozsah koruny. (Kolařík et. al. 2005; SPPK 01 001:2018)

Podle standardu je pátou kategorií senescentní jedinec, který po obvodovém rozkladu koruny tvoří jako kompenzaci druhotný obrost níže v koruně. Na dřevině se vyskytují viditelné znaky přítomnosti jiných organismů. V koruně se nachází větší část mrtvého a rozkladu podléhajícího dřeva. Často se vyskytují prvky se zvýšeným biologickým potenciálem, tedy dutiny od ptáků, dutiny po větvích, hmyzí otvory, kmenové dutiny, plodnice hub, poškození borky, pahýly po větvích, přítomnost rozštípnutého dřeva, suché odumřelé větve, trhliny a nezahojené jizvy, vodní kapsy, výtoky mízy a exudátů, zduřelé, členité kořenové náběhy. (SPPK 01 001:2018)



Kolařík uvádí pátou kategorii jako starý jedinec, který se vyznačuje vytrácením koruny. Šestou kategorií pak jako senescentní strom, kterému začíná odumírat základní koruna (Kolařík et. al. 2005).

Podle průměru kmene se také může dřevina zařadit do kategorie fyziologického stáří např. průměr kmene větší než 0,80 m u *Acer campestre* se dřevina řadí do kategorie 6, tedy jako senescentní strom. *Pinus nigra* s průměrem kmene mezi 1,1 – 1,3 m se řadí do kategorie 5, tedy starý jedinec. *Fagus sylvatica* s průměrem menším než 1,3 se řadí do kategorie 4, tedy dospělý jedinec. (Fay & De Berker 1997)

### 3.1.5 Vitalita dřevin

Vitalita se hodnotí jako celek projevů dřeviny, tedy jak se dřevina vypořádává s různým vnitřním a vnějším působením vlivů (Kolařík et. al. 2005). Je podmíněná stářím dřeviny, dědičnými vlastnostmi a okolnostmi prostředí (Pejchal 1994). Vitalita se vyznačuje schopností růstu, vývojem, vytvářením reprodukčních orgánů, aklimatizováním na stanovišti, rezistencí proti škůdcům a chorobám, obnovovací schopností a zdravotním stavem (Ehsen 1992). K hodnocení vitality se může použít metoda VTA (Mattheck 1992).

#### 3.1.5.1 Olistění

U vitality se pozoruje objem olistění, u jehličnanů posouzení počtu ročníků jehlic (SPPK 01 001:2018). Listy reagují jako první na snížení vitality, proto jsou nejlepším indikátorem. Nejčastěji se hodnotí vrchní část koruny, tedy část, která není v zápoji. Velikost a barva olistění není hlavním indikátorem, ale jako doplňkový faktor, který se může brát v potaz. (Pejchal 1994) Na olistění působí např. znečištěné ovzduší, vodní stres, kontaminace půdy, choroby a škůdci. U jehlic působí např. stres, nedostatek vody, znečištění vzduchu, choroby, škůdci. Aby mohl jehličnatý strom získávat energii přes fotosyntézu, musí mít určitý počet ročníků jehlic, čím méně jich má, tím hůř jí získává. Jako příklad je *Pinus sylvestris*, u které je normální počet ročníků 4 – 5. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.1.5.2 Přeměna tvaru větví

Dále se sleduje přeměna tvaru větvení vrchní části koruny (SPPK 01 001:2018). Různé stupně pro hodnocení vitality mají popis pro odlišný vztah mezi krátkými a dlouhými výhony a zároveň i odlišný popis zavětvení koruny (Pejchal 1994).

Fáze explorace, která je pro stupeň vitality nula, popisuje korunu jako plnou, oblou. Se zavětvením hluboko v ní, bez větví, které trčí. Z postranních a vrcholových pupenů se každý rok vytváří dlouhé výhony. Listy jsou v koruně i uvnitř ní rovnoměrně a hustě rozmístěny.

Další je fáze degradace, která je pro stupeň vitality jedna, popisuje korunu, která má na krajích roztrhané konce a převládají rovné a kontinuální hlavní osy vrcholových výhonů. Z vrcholových pupenů se vytváří dlouhé výhony a z postranních pupenů vznikají krátké výhony. Tím je větvení řídkší a vznikají tzv. rozně. Listy jsou uvnitř koruny stále hustě rozmístěny.

Následuje fáze stagnace, která je pro stupeň vitality dva a popisuje korunu, která má na krajích tzv. pařátovité větve. Ty jsou způsobeny vytvářením krátkých výhonů jak

z vrcholových, tak z bočních pupenů a protože nevzniká další větvení a nárůst výšky dřeviny. Koruna se začíná prosvětlovat a listy tvoří chomáčky na koncích větví, které svým vzhledem připomínají štětku.

Poslední fází je rezignace, která je typická pro stupeň vitality tři a v koruně dochází k vylamování silnějších větví, k odumírání částí z ní a prosvětlování. Z velké koruny vzniklo více menších korun a došlo k odhalení kosterních větví. (Roloff 1989)

U této metody se musí brát v potaz různé tvoření pupenů a to u dřevin s vázaným růstem, což jsou např. *Acer*, *Aesculus*, *Carpinus*, *Fagus*, *Fraxinus*, *Pinus*, *Prunus*, *Quercus*, *Robinia* a *Tilia*. A dále u dřevin volným růstem, které jsou např. *Alnus*, *Betula*, *Larix*, *Populus* a *Salix*. (Kolařík et. al. 2005)

### 3.1.5.3 Prosychání koruny

Kritérium, podle kterého se dále hodnotí je prosychání koruny na okraji (SPPK 01 001:2018). Je podstatné vhodně posoudit, který úsek koruny prosychá a co je toho příčinou, vyloučit důvody zastínění blízkými dřevinami a dopadu husté koruny. Stupnice pro hodnocení prosychání koruny má 5 kategorií.

Kategorie nula hodnotí prosychání jako nulové, nebo nepatrné. Do kategorie jedna se řadí prosychání jednoletých až dvouletých výhonů, korunový plášť je zmenšen maximálně do 20 % a prosychání je rovnoměrné. U kategorie dvě je korunový plášť zmenšen nejvíce o 50 %, usychání je stále rovnoměrně rozptýleno v koruně. Prosychání dochází u tří a víceletých větví. V kategorii tři je prosychání korunového pláště přes 50 %. Dochází k chřadnutí hlavních kosterních větví a to způsobuje i chřadnutí celých úseků koruny. Poslední kategorií je fáze mrtvé dřeviny. (Pejchal 1994)

### 3.1.5.4 Jiná kritéria

Další kritéria, podle kterých se dá vitalita hodnotit, jsou vznik kalusu a jeho rychlost při poranění, dále vznik reakčního dřeva, nebo možnost použití diagnostických zařízení (Kolařík et. al. 2005).

### 3.1.5.5 Celkové hodnocení vitality

Celkové hodnocení vitality má buď stupnici 1 – 5 (SPPK 01 001:2018) nebo 0 – 4 (Pejchal 1994; Kolařík et. al. 2005). První kategorie je hodnocena jako výborná až mírně snížená. Koruna je pevná, souvislá, s hustě rozmístěnými listy, nemá žádné znaky prosychání, v horní části dochází k nepřetržitému vyvíjení auxiblastů, nedochází ke vzniku druhotných výhonů bez podnětu. U jehličnanů je dosažen počet ročníků jehlic, který je stanovený pro druh dřeviny.

Druhá kategorie je hodnocena jako zřetelně snížená, kdy dochází k zastavení růstu, prosychání koruny, k viditelnému odlisťování. Ve vrchní části koruny se tvoří zkrácené větvičky, vznikají druhotné výhony, které se nachází v koruně, na kmenech, nebo na rozhraní kořenů a kmene. U jehličnanů je redukován počet ročníků jehlicí.

Třetí kategorie je hodnocena jako výrazně snižená, kdy dochází k výraznému odlistění, koruna se rozčlenila, vrchní část je suchá a krátké větvičky už vyrůstají i z bočních pupenů. Jehličnany mají jen jeden až dva ročníky jehlic.

Čtvrtá kategorie je zbytková, skoro celá koruna je uschlá, jen minimální úsek je živý. Poslední kategorií je úplně suchá dřevina. (SPPK 01 001:2018)

Vitalita je hodnota proměnlivá, proto by se měla sledovat několik let a až potom se vyhodnotit, této vitalitě se říká absolutní. V mnoha případech je ale potřeba vyhodnotit vitalitu po jednom dni, této vitalitě se říká relativní (Kolařík et. al. 2005).

### 3.1.6 Zdravotní stav

Pejchal (1994) označuje zdravotní stav jako vitalitu biomechanickou, kdy by se mělo sledovat mechanické poškození, tedy narušení borky a kůry, zásah do kambia nebo nejmladších letokruhů a zásah do hlubokého dřeva. To vše představuje riziko vstupu dřevokazných hub.

Stupnice, která hodnotí zdravotní stav, zrcadlí míru mechanického narušení a poškození dřeviny (Kolařík et. al. 2013). První kategorie hodnotí zdravotní stav jako výborný až dobrý. Dřevina je bez mechanických poškození kmene a robustnějších větví, nemá suché tlusté větve a nenacházejí se tam žádné známky dřevních hub. Výjimky tvoří rány po řezu, saprofyty na suchých částech a vadné větvení jen ve fázi vývoje.

Druhá kategorie hodnotí zdravotní stav jako zhoršený. Na stromě se může vyskytovat poškození kmene nebo větví, viditelné prvotní znaky dřevních hub, suché tlusté větve, které mohou být vylomené nebo zlomené. Dále se mohou objevovat výletové dutiny v koruně, chybné větvení, trhliny, rakovinné buňky, nestabilní spojení roubu a podnože.

Třetí kategorie určuje zdravotní stav jako výrazně zhoršený, kdy poškození zkracuje životnost dřeviny. Na dřevině je mechanické poškození kmene, do kterého se dostala dřevní houba, nachází se tam větší dutiny a vyšší počet výletových otvorů na více místech. Dále je viditelný ulomený díl koruny, na kosterních větvích je infekce, nachází se tam vidličnaté větvení a mechanické zasáhnutí do kořenů.

Čtvrtá kategorie je popsána jako silně narušený zdravotní stav, tedy když už jsou dřeviny ve fázi dožití a mají pokleslou perspektivu. Jedinec má rozměrné dutiny ve kmeni, zlomený velký kus koruny, na kořenech se objevuje infekce a velké mechanické poškození. Na tlakovém větvení vznikají trhliny a dřevní houby.

Poslední kategorií je hodnocen strom jako kritický nebo rozpadlý. Teprve dochází k rozpadu, nebo už vzniklo torzo stromu. (SPPK 01 001:2018)

Aby se získala velikost a umístění vady, musí se použít speciální metodiky nebo přístrojové metody (Pejchal 1994).

Defekty se dělí podle vlastností dřeviny (habitu) a podle poškození, které je způsobené něčím nebo někým (Kolařík et. al. 2005). Poškození dřevin je popsáno v kapitole 3.5.

#### 3.1.6.1 Defekty podle vlastností dřevin (habitu)

##### 3.1.6.1.1 Přeštíhlení kmene

Přeštíhlení kmene vzniká, pokud dřevina rychle zvýší svou výšku, ale průměr kmene zůstane nízký. Za to může převaha prvotního růstu nebo růst za světlejšími podmínkami, toto

je typické pro dřeviny, které rostou v seskupení. Odstraněním okolního porostu se dřevina vyskytne na nechráněném místě, a to má dopad na její stabilitu, zároveň může dojít k vyššímu tlaku kmitáním. V obou případech je riziko selhání jedince. (Kolařík et. al. 2005) Vyskytuje se u dřevin v hojně rostoucích seskupeních, alejích a parcích (Kolařík et. al. 2008)

#### 3.1.6.1.2 Sekundární koruna

Druhotná koruna vzniká z náhradních (spících) pupenů, kdy byla původní koruna narušena různými vlivy, nebo řezem. Je důležité si tohoto jevu všimnout, protože může dojít k narušení bezpečnosti. (Kolařík et. al. 2005)

Nejprve je dobré brát v úvahu větvní spojení. U normálního větvního spojení dochází každoročně k nepravidelnému přírůstku větví prvního a druhého stupně, tím dochází k fixnímu spojení pomocí větvního límečku. (Shigo 1991) U sekundárního větvení přestává fungovat pevnost spoje a přírůsty jsou tlusté. Proto dochází k oslabení ve spoji a výhony se mohou kdykoliv vylamovat.

Další komplikací je infekce hlavních větví, která se tam dostane při tvarovacím řezu, ten způsobí mnoho ran a pokud se provádí na starším dřevě, rány jsou velké. Při neopakování řezu a nechání koruny se samovolně vyvíjet, dochází k rozpadu sekundární koruny.

Třetím problémem jsou fytohormony, které u sekundární koruny nejsou rovnovážné. Proto spolu všechny výhony mezi sebou soupeří a rostou za světlem, tím vzniká ostrý úhel ve spoji jednotlivých větví a vytváří se tlakové větvení, do kterého vrůstá kůra. Je zde riziko selhání koruny. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.1.6.1.3 Nevhodný tvar koruny

Nevhodný tvar koruny může vzniknout díky nesprávné péči už v mládí dřeviny. Pokud dřevina přijde o terminál, nahradí jí větve, které rostou a tloustnou stejně a soutěží o to, která se stane hlavním terminálem. Tyto větve si stíní a překáží si, to způsobí, že koruna vypadá jako koště.

Další situací je již zmiňovaná druhotná koruna. Viz kapitola 3.1.7.1.2 Sekundární koruna.

Následující problém se týká nepravidelnosti koruny, která může vzniknout konkurencí ostatních dřevin. Dřevina pak roste jen jedním směrem, je vykloněná ze své osy. K problému dochází po odstranění okolních stromů, kdy do stromu bočně naráží vítr. Nebo může dojít k odlomení koruny či větve a strom není dostatečně vyvážený. (Kolařík et. al. 2005)

Další záležitostí je vyvětňování koruny, aby se udělalo místo pro pěší a auta, v některých situacích i kvůli stavbám. Vывětňování by se mělo provádět postupně od výsadby stromu a ne odstranit všechny spodní větve najednou, když už je strom vzrostlý. Pokud se vše odstraní v jeden okamžik, dojde k přemístění těžiště v koruně a dřevina se může vlivem silného větru vyvrátit nebo zlomit. (Kolařík et. al. 2008)

#### 3.1.6.1.4 Tlaková vidlice

Tlaková vidlice je nejčastější defekt, který se u růstu vyskytuje. Vzniká u větví, které rostou vedle sebe a nenachází se mezi nimi místo pro normální pevné propojení. (Kolařík et. al. 2005) Tento blízký růst může způsobit vytažení za světlem (Mattheck 1992). Při propojení větví dochází k vrůstání kůry a dřevní část k sobě nesroste. Tím že je plocha spojení malá, má

menší počet chemických vazeb pro přenos napětí a spoj mezi větvemi ztrácí svou pevnost. Strom se snaží vyrovnat tuto plochu a tvoří na boku větví další hmotu. (Kolařík et. al. 2008) Při dalším růstu dřevní hmoty uvnitř vidlice jdou větve víc proti sobě a vzniká tlak. Tím se snižuje stabilizace a hrozí selhání. (Kolařík et. al. 2005)

Vznik tlakového větvení závisí na druhu dřeviny. Lonsdale v roce 1999 vytvořil tabulku, která zaznamenává náchylnost k vytváření tlakových vidlic. Nejvíce náchylný z jehličnatých dřevin je *Chamaecyparis* a největší možnost selhání koruny má též *Chamaecyparis*. U listnatých dřevin jsou nejvíce náchylní *Fraxinus*, *Aesculus*, *Populus*, *Fagus* a *Salix* a největší možnost selhání koruny mají *Ailanthus*, *Robinia*, *Fagus*, *Aesculus*, *Populus* a *Salix*. (Lonsdale 1999)

### 3.2 Stabilita dřeviny

U systému rostlin a živočichů se stabilita definuje spíše jako dynamická rovnováha, ta se formuluje jako komplex principů. Tyto principy uvnitř organismů na základě získaných dat vedou k vyrovnání rozdílů prostředí působícího zvenku a tím dojde k dynamické rovnováze prostředí, které působí uvnitř. Toto vnitřní prostředí se tak stává poměrně nezávislým na vnější prostředí. (Míchal 1994) U dřevin se spíše používají principy, jako je výběr nejvhodnějšího tvaru a přizpůsobovací růst, výběr nejlepších materiálových charakteristik a jeho energetický vztah (Kolařík et. al. 2008).

Dalším způsobem, jak popsat stabilitu dřevin, je z hlediska mechaniky. Mechanika dřevin popisuje stabilitu jako stav, kdy nehrozí nebezpečí vyvrácení, zlomu kmene či větví, ulomení takového kusu koruny, který by zapříčinil existenci dřeviny na místě z důvodu vlivů. Vnějšími vlivy jsou vítr, voda, sníh, půdní podmínky, dřevokazné houby a člověk. Vnitřními vlivy jsou struktura kmene, růstové nedostatky, nepříznivý celkový vzhled. (Kolařík et. al. 2005)

Mírou stability je provozní bezpečnost, která říká, jaká je pravděpodobnost, že strom nebo jeho součást selže. Je důležité rozlišovat stabilitu a provozní bezpečnost, stabilita je charakter a řeší jen dřevinu, zatímco provozní bezpečnost je rozsah stability a řeší stav a vyhodnocení stanoviště, míru ohrožení a cíl pádu. (Matheny & Clark 1994)

Stabilita se dá hodnotit pomocí přístrojových metod např. tahovou zkouškou, po provedení měření vyjde výsledek, který je v procentech a uvádí odolnost dřeviny vůči vyvrácení nebo zlomení kmene (Wessolly & Erb 1998). Další možností je vizuální hodnocení (Mattheck 1991). Dále se může použít stupnice pro hodnocení stability (Kolařík et. al. 2005)

U hodnocení stability se u koruny sleduje výskyt dřevokazných hub a hmyzu živícího se dřevem, výletových otvorů, trhlin a dutin. Dále přítomnost vadného větvení, dlouhých druhotných výhonů a chybný celkový vzhled dřeviny. Je důležité sledovat kořeny, jestli se tam nevyskytuje houba či hmyz, nebo jestli nejsou mechanicky poškozeny. U kmene se musí sledovat jeho sklon, zda ho dřevina zvládá vyrovnávat. (SPPK 01 001:2018)

Stromy, které mají vnitřní poškození, mohou být i tak stabilní. Záleží na průměru kmene, velké průměry jsou stabilnější, protože zbytková stěna je silná. (Praus 2016)

### 3.2.1 Stupnice pro hodnocení stability

První kategorií stupnice pro hodnocení stability je výborná až dobrá, kdy nebylo na dřevině nic zjištěno.

Druhá kategorie je hodnocena jako zhoršená, na dřevině jsou viditelná narušení v období vývinu, u kterých není předpoklad selhání. Ve většině případů se narušení vyřeší pomocí pěstebních zásahů.

Třetí kategorie se charakterizuje jako výrazně zhoršená, jedná se o nález jednoho rozvinutého narušení, u kterého je možnost selhání dřeviny. Může se vyskytovat i více narušení, které jsou zatím v období vývinu. Je nutné nainstalovat bezpečnostní vazby nebo provést stabilizační řezy.

Čtvrtou kategorií je stabilita silně narušená, což znamená, že se na dřevině vyskytuje několik rozvinutých narušení. V tomto stavu se použijí bezpečnostní vazby, bezpečnostní řezy, které mohou mít vliv na perspektivu dřeviny, nebo se přistoupí ke kácení.

Pátá kategorie se hodnotí jako kritická, u těchto dřevin hrozí absolutní pád nebo zlomení. Musí se realizovat destrukční pěstební zásah. (SPPK 01 001:2018)

### 3.2.2 Provozní bezpečnost

Týká se především dřevin, které se nachází na území patřící městům a obcím. Dřeviny by neměly ohrožovat životy lidí, jejich zdraví a také cenný majetek, za to odpovídá majitel dřeviny, ten musí zvolit vhodné ošetření a údržbu.

Hodnotí se stanoviště, kde se dřevina nachází, tedy jeho nynější stav, pokud je to důležité i dřívější stav. Dále se hodnotí změna stavby dřeviny, jestli došlo ke změně na kořenech, koruně nebo kmeni. Zjišťuje se takový důvod porušení stromu, který je nejvíce předpokládán a nejvíce závažný. Nakonec se určí potenciální škody, ty se týkají předmětů, které se nacházejí v dopadové vzdálenosti. (Kolařík et. al. 2005)

### 3.2.3 Mechanické vlastnosti dřeva

Dřevo je specifickým a hůře charakterizovatelným jevem mezi jinými materiály, kvůli své konstrukci a struktuře.

Konečné hodnoty tuhosti, deformovatelnosti, pevnosti a vlastnosti chování dřeva, kterými jsou plasticita a elasticita jsou závislé na druhu namáhání např. ohyb, smyk, krut, tah a tlak, dále jsou závislé na směru působení síly např. paprscitě, ve směru tečny a ve směru vláken, poté záleží na vlivech prostředí, jako je rychlost zatížení, vlhkost dřeva i jeho okolí a teplota. (Kolařík et. al. 2005) Dalšími vlastnostmi, na kterých jsou tyto vlivy závislé, jsou štípatelnost a trvanlivost. Kromě mechanických vlastností má dřevo i fyzikální vlastnosti, těmi jsou barva, lesk, chuť, vůně, objemová a specifická váha, hygroskopicitata, vodivost tepla, elektřiny, zvuku atd. (Balabán 1955)

#### 3.2.3.1 Smrkové dřevo

Do znaků, které jsou viditelné pouhým okem, řadíme barvu dřeva, ta je světle žlutá, letokruhy jsou zřetelně značené, kdy pozdní dřevo postupně přechází do dřeva jarního. Suky

se vyskytují hojně, jsou malé, žluté a vystupují šikmo ostře nahoru. Dřeň je tenká, má průměr maximálně 0,5 cm, její paprsky jsou viditelné jen pod lupou. Při příčném řezu se žádný lesk nevyskytuje a při podélném řezu jen minimální. Dřevo voní po pryskyřici.

Znaky, které jsou vidět pouze pod mikroskopem, jsou pryskyřičné kanálky, ty se podle řezu rozdělují na vertikální a horizontální. Další jsou dřevné paprsky, nejčastěji mají jednu vrstvu, ojediněle více. Uprostřed se nachází parenchym a po stranách jsou příčné tracheidy s hladkými, trochu zvlněnými stěnami, které jsou dvojtečkované. Buňky parenchymu jsou prázdné, bez pryskyřice.

Dřevo je měkké, docela lehké, z jehličnatých stromů, které rostou u nás, je nejvíce pružné a pevné, to je způsobeno dlouhými vlákny. Je lehce štípatelné, méně výhřevné, má nízkou trvanlivost a dobře sesychá.

Nejvíce se používá ve stavebnictví, v papírenském průmyslu, v nábytkářství, v truhlářství a pro výrobu hudebních nástrojů. (Balabán 1955)

### 3.2.3.2 Modřínové dřevo

Mezi znaky, které mohou být viditelné okem, se řadí jádro, které je dobře rozeznatelné, má červenohnědou barvu, ta se stářím více tmavne, je široké a obsahuje smůlu. Běl je tenká 1,5 – 3 cm, má nažloutlou dokonce načervenalou barvu. Letokruhy jsou dobře rozeznatelné, pozdní dřevo je ohraničené a tmavší než jarní. Pryskyřičné kanálky viditelné jen pod mikroskopem. Podélné řezy jsou lesklé a voní po pryskyřici. Suky jsou rozptýlené a maličké.

Znaky, které nejsou vidět, mají stejný charakter jako u smrku, jediný rozdíl je u parenchymatických buněk, které obsahují oranžovou ba dokonce i červenohnědou pryskyřici.

Dřevo je lehké, snadno se štípe, je pružné a pevné, pomalu sesychá, je nejtrvanlivější, nejlepší a nejcennější.

Používá se na stavby ve vodě, v dolech, na stavbu lodí, nábytkářství a truhlářství. (Balabán 1955)

### 3.2.3.3 Borové dřevo

Viditelnými znaky jsou bělavá, nažloutlá až narůžovělá barva dřeva, jádro a běl lze rozlišit až po delší době. Běl má 5 – 10 cm a rozprostírá se přes 20 – 80 letokruhů, vyznačuje se nažloutlou ba i narůžovělou barvou. Jádro má červenohnědou dokonce hnědou barvu, je užší, obsahuje smůlu a odolává hnilobě. Letokruhy jsou dobře rozeznatelné, s ostrou hranicí. U příčného řezu je vidět lesk a tečky, u podélného řezu jsou vidět vertikální čárky, které značí pryskyřičné kanálky. Suky se nacházejí rozptýleně, jsou tmavé a větší.

Mezi znaky, které nejsou vidět, se řadí velký počet pryskyřičných kanálků, které mají tenké stěny parenchymatických buněk. Vertikální pryskyřičné kanálky jsou oddělené, je jich více a jsou větší. Dřevné paprsky mají uprostřed parenchymatické buňky s širokými tečkami, vedle nich se nachází tracheidy, které jsou příčné, jejich stěna je zubatě tlustá.

Dřevo je tvrdé, tuhé, pružné, velice trvanlivé ve vodě, ale už méně na suchu, značně dobře hoří a je výhřevné.

Používá se ve stavebnictví, v dolech, na rozvodové a chmelařské sloupy, v nábytkářství a pro stavbu strojů. (Balabán 1955)

#### 3.2.3.4 Jabloňové dřevo

Do viditelných znaků se řadí póry, které se nacházejí rozptýleně ve dřevě, dál narůžovělá běl, viditelné rozdělení letokruhů, kde je tmavé pozdní dřevo, jádro má červenohnědou barvu a občas se vyskytují dřeňové tečky. Cévy nejsou v příčném řezu viditelné, v paprscitém jsou viditelné jen jako krátké trhlíčky. Podélný řez není lesklý.

Do znaků, které nejsou vidět okem, patří tracheje, které mají hladké stěny a slabé proděravění. Vlákňité tracheidy nahrazují libriform, který chybí i u hrušně, mezi nimi se nachází dřevní parenchym. Dřeňové paprsky mají buňky s tlustými stěnami, které mají hojně tečkování, tyto paprsky mohou mít jednu nebo více vrstev.

Dřevo není lesklé, moc trvanlivé, je rovnoměrně husté, tvrdé, středně těžké, pevné, špatně se štípe, rychle sesychá, hodně praská, je minimálně pružné, dobře hoří, rozpadá se.

Využívá se na hospodářské stroje, v soustružnictví, v řezbářství a v truhlářství. (Balabán 1955)

#### 3.2.3.5 Bukové dřevo

Jádro není barevně rozpoznatelné, vše má pleťovou barvu. Póry jsou rozptýlené ve dřevě a cévy nejsou vidět. Viditelné jsou dřeňové paprsky, které jsou tlusté a na příčném řezu jsou jako tlusté světlé přímky, radiálně se divergují ze dřevě svisle na letokruhy. V paprscitém řezu se dřeňové paprsky ukazují jako nad sebou naskládaná světlá zrcátka, v tečném řezu se pak vyskytují jako temné, 2 mm vysoké, hnědé čárky.

Mezi okem neviditelné znaky patří tracheje, těch je velký počet a jsou hojně usprádané buď jednotlivě, nebo ve skupinách od dvou do šesti. V jarní části letokruhu se nacházejí cévy, které jsou široké a mají elementární proděravění. V pozdějším dřevě se nacházejí cévy, které jsou tenké a mají síťované proděravění. Stěny cév mají ojedinele tečkování a větší počet teček se nachází u stěny, která sousedí s dřeňovými paprsky. Dřeňové paprsky jsou tlusté, vysoké a mohou mít jednu vrstvu, nebo více vrstev, které se skládají z parenchymu. Ve dřevě se vyskytují vrstevnaté tracheidy, kterých je hodně a přecházejí do dřevních vláken. Dřevní vlákna vypadají protáhle, mají tlustou stěnu a sporadicky se vyskytují tečky, obsahují také parenchym.

Dřevo je středně tvrdé, snadno štípatelné, pevné, těžké, má velkou nosnost, je málo pružné, velice výhřevné. Hodně vysychá, je trvanlivé ve vodě, na vzduchu ho brzy napadnou dřevní houby a hmyz.

Používá se na pražce, jako náhražka za drahá dřeva, dále na parkety, dlažební kostky, podpatky, pravítka, kuchyňské náčiní a na výrobu ohýbaného nábytku. Využívají ho koláři, soustružníci a truhláři. Vyrábí se z něho umělá vlákna. (Balabán 1955)



### 3.2.3.6 Vrbové dřevo

Makroskopickými znaky jsou letokruhy, které jsou široké, viditelné. Jádro je odlišeno hnědou až načernalou barvou, běl je nažloutlá. Dřevo, které je řídké, má hrubá vlákna, má charakteristicky rozptýlené póry, na řezu je lesklé a má podélně umístěné trhlinky.

Mikroskopickými znaky jsou tracheje, které se rovnají paprskovitě v řadě po jednom, nebo ve skupinkách po 2 až 5, ty mají na podélných stěnách hojně rozptýlené dvojtečky. Cévy jsou normálně proděravělé. Ty, které se nachází v jádrovém dřevě, nemají thylly. Dřeňové paprsky jsou charakteristicky jednovrstevné, na jejich okraji se rozprostírají vzpřímené buňky, které svojí výškou přesahují dvakrát až čtyřikrát velikost buněk ležících. Tomuto jevu se říká různorodý dřeňový paprsek. Dřevní vlákno je značné, skládá se ze širokých buněk s tlustými stěnami malinkými tečkami. Dřevní parenchym se nachází pouze v malé míře na hranici letokruhu pozdějšího dřeva.

Dřevo je velice měkké, hodně ohebné, lehké, pružné, hrubě vláknité, houževnaté, lehce štípatelné, je málo trvanlivé, protože jádro rychle napadá hniloba.

Používá se v výrobě překližek, dřevité vlny, rýsovacích prken, dřeváků, beden, člunů, obručí, pletiva, košíků. Hodí se na celulosu a dřevovinu, při zuhelnatění se stává kreslířským uhlím, vyrábí se z ní pevné lýko. (Balabán 1955)

## 3.3 Přístrojové metody

Přístrojové metody se používají v případě nedostačujícího viditelného hodnocení, dále pokud je dřevina značně hodnotná nebo je její stav pochybný. Poskytují upřesnění hodnocení vitality a zdravotního stavu dřevin, určují velikost defektů a poškození, také vyhodnotí předpoklad selhání dřeviny. Vždy jsou vázány na předešlé souhrnné průzkumy. (SPPK 01 001:2018) Provádí se zpravidla u stromů rostoucích na stanovištích, která jsou velice navštěvovaná (Kolařík et. al. 2005).

Postup je nutné zapsat do protokolu, aby bylo možné ho kdykoliv opakovat, musí ho zvládnout opakovat kdokoli, kdykoliv. Zápis obsahuje popis výstupu, tedy např. zjištění velikosti nebo určení předpokladu selhání dřeviny. (SPPK 01 001:2018) Důležité je pochopit, jak přístroje fungují a na jaký defekt jsou vhodné. Pokud se použije špatný přístroj, dojde zbytečně k peněžní ztrátě, k přílišnému poškození dřeviny a způsobí špatné vyhodnocení. (Kolařík et. al. 2005)

Použitím přístroje by neměla být dřevina poničena, dále nemůže být vytvořeno permanentní porušení dřevních pletiv, které vedou do dřeně. Pomocí neadekvátních látek nemůže být prostředí dřeviny nijak poškozeno. (SPPK 01 001:2018) Metody se dělí podle způsobu použití (Kolařík et. al. 2005) a podle druhu zjišťování (SPPK 01 001:2018).

Podle způsobu použití se dělí na invazivní, destruktivní a nedestruktivní. Invazivní metody jsou takové, při kterých jsou zasažena, odebrána nebo odstraněna pletiva kmene. U destruktivních metod dochází k vrtům do defektu, do jádrového dřeva, nebo do obranné zóny. Používá se na odumřelých dřevinách, či na živých dřevinách, u kterých není jiná možnost. Nedestruktivní metody nepoškozují dřevinu a při opakování v různých časech lze zjistit, zda se defekt šíří dál, nebo si s ním dřevina poradila. (Kolařík et al. 2008)

Dalším rozdělením jsou pak metody bodového hodnocení, metody hodnocení nosného profilu a metody komplexního hodnocení. Metody bodového hodnocení jsou popsány jako metody, které zkoumají jen jeden bod na dřevině, řadí se do metod destruktivních. Metody hodnocení nosného profilu jsou charakterizovány jako nedeštruktivní nebo invazivní, zjišťuje stav a kvalita materiálu nosného prvku. Metody komplexního hodnocení jsou metodou nedeštruktivní, dochází k hodnocení větší části kmene, kde se kontrolují materiálové vlastnosti. (Kolařík et. al. 2005)

Kategorizace podle druhu zjišťování je hodnocení vitality, určení stability koruny, určení stability kmene, určení stability kořenového systému a analýza architektury. U hodnocení vitality se specifikují kritéria dynamiky procesu přirozených funkcí dřeviny, nebo se také může vyhodnotit časový posun tohoto kritéria. Nejčastějšími metodami jsou gazometrická měření, tedy jaká je rychlost výměny plynů mezi listem a okolní atmosférou, další metoda je měření transpiračního toku. Poslední metodou je dendroekologická analýza, která je metodou invazivní.

Další kategorií je určení stability koruny, provede se rozbor stability kosterních větví a kmenů, které tvoří korunu. Metody musí být proveditelné v koruně dřevin. Nejčastější jsou zvuková měření a zvuková tomografie.

Další je určení stability kořenového systému. Cílem je zjištění velikosti porušení důležitých kořenů, nehledí se na příčinu porušení. Nejčastěji se používá tahová zkouška.

Potom je analýza architektury, která se věnuje podrobné charakteristice podzemní či nadzemní části dřeviny. Nejpoužívanější metody jsou půdní radar, LIDAR a akustické vytyčení kořenového systému. (SPPK 01 001:2018)

### 3.3.1 Testovací tyče a kladívko

Testovací tyče slouží ke zjištění velikosti defektů, které jsou nejčastěji trhliny a hniloby bází kmene. Tyče mají různé průměry, slabými se měří trhliny, silnými podzemní části kořenových náběhů, nebo se s nimi odhalují infekce kmenů. (Kolařík et. al. 2005) Náhrada testovací tyče může být špice z jízdního kola, která se vsunuje do trhlín (Pejchal 1994)

Testovací kladívko musí mít pogumovanou palici, s tou se poklepe na kmen a zvuk se vyhodnotí (Kolařík et. al. 2005). Spirálovité klepání od báze kmene nahoru, může rozdílným zvukem odhalit větší dutinu (Pejchal 1994). Tato metoda je závislá na obsluze, která má letité zkušenosti a umí výsledek správně vysvětlit (Kolařík et. al. 2005).

### 3.3.2 Presslerův nebozez

Tato metoda je velice destruktivní a používá se jen mimořádně, je to nejdéle používanou metodu (Kolařík et. al. 2005). Vzorky se odebírají pro letokruhový rozbor, pro nalezení pravděpodobných nepřístupných hnilob a dutin a pro zjištění tloušťky zbytkového dřeva (Pejchal 1994). Tímto přístrojem se odebírá dřevní váleček, který je vytažen pomocí dutého vrtáku. Průměr vrtáku se pohybuje mezi 5 – 10 mm a délka je různá. Dále se vzorky zpracovávají vizuálním hodnocením, dalšími přístroji, nebo laboratorními technikami. (Kolařík et. al. 2005)

### 3.3.3 Fraktometr

Tento přístroj byl roku 1994 patentován Mattheckem a jeho kolegy, slouží k upřesnění výsledků z odejmutých vzorků dřeva Presslerovým nebozezem (Kolařík et. al. 2005). Hodnotí se tedy kvalita dřeva a měří se energie, která je potřebná k lámání dřevního válečku. Tyto hodnoty se srovnávají s hodnotami z tabulky, ve které jsou uvedené přímo druhy dřeva. (Pejchal 1994) V případě déle trvajícího zlomu a malého úhlu se dřevo indikuje jako zdravé, naopak při snížení doby zlomu a velkém úhlu se ve dřevě nachází hniloba. Vždy by se měly výsledky porovnávat s měřením na zdravém dřevě. (Kolařík et. al. 2005)

### 3.3.4 Endoskop

Endoskop je přístroj destruktivní, používá se při nedostupných dutinách (Kolařík et. al. 2005). Funguje na stejném způsobu, jako lékařský endoskop (Pejchal 1994). Jde o kameru umístěnou na dlouhém flexibilním kabelu, která se zasouvá do dutiny, nebo předem vyvrtané díry, průměr vrtáčku je asi 3 mm (Kolařík et. al. 2005)

### 3.3.5 Penetrometr

Tato metoda je destruktivní, neměla by se moc aplikovat na živé dřeviny. Zjišťuje se příkon, který udává penetraci úzkého vrtáku dřevem. (SPPK 01 001:2018) Výstup z měření je ovlivněn směrem penetrace, vlhkostí a mechanickou charakteristikou dřeva (Kolařík et. al. 2005). Podle hustoty dřeva se určuje příkon, když je hustota vysoká, dochází k většímu příkonu (SPPK 01 001:2018). Jehla by měla vždy do dřeva vstupovat vertikálně, jinak dojde ke zkreslení výsledků. Další mylné měření může být způsobeno, u silnějších průměrů dřevin, třením o stěnu. I dřevokazné houby mohou změnit stav výsledků, některé v začátcích infekce nemění hustotu dřeva. (Kolařík et. al. 2005). Schwarze & Fink v roce 1994 uvádí, jak vypadá dřevo po 12 týdnech od infekce dřevokaznou houbou. Například *Fomes fomentarius*, který způsobuje bílou hnilobu a nachází se na dřevině *Quercus robur*, má ztrátu váhy 23,31 % a snížení odporu průniku je 50 %. *Fomitopsis pinicola*, který způsobuje hnědou hnilobu, se vyskytuje na dřevině *Fagus sylvatica* a má ztrátu váhy 20,86 %, snížení odporu průniku má větší než 75 %. Odpor u bílých hnilob se zmenšuje až při velkém napadení (Kolařík et. al. 2005).

#### 3.3.5.1 Přenosná vrtačka

Přenosná vrtačka je nejjednodušší, ale zároveň destruktivní metodou, kdy se vyvrtává několik dírek za sebou po 3 cm s průměrem 2 až 3 mm. Tím se zjistí odpor, který je na vrták vyvíjen, dále se sledují piliny, jejich barva a zápach, podle kterých zkušený odborník pozná možnou hnilobu. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.3.5.2 Resistograf

Resistograf je vrtačka s jehlou, která má průměr 2 mm, poháněná baterií. K průniku dochází do hloubky 30, 40 či 50 cm, za rychlosti 0,34, 0,68 nebo 1,02 cm/s. Výsledky

o odporu jsou zaznamenávány na voděodolný papír, který vyjíždí z přístroje. Vysoký odpor značí zdravé dřevo a nízký odpor značí hnilobu. Lze výsledky přenést i do digitální podoby. Nevýhodou je váha a časté tupení jehly a její výměna. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.3.5.3 Sibert DDD 200

Tento přístroj má rychlejší pronikající jehly s průměrem 1,27 mm, ale zapisuje méně dat. Jehla s délkou 20 cm měří pouze kmeny s průměrem do 40 cm. Protože je jehla tupá, nemusí se tak často měnit jako u resistografu, výsledky mohou být buď na papíru, nebo digitální. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.3.5.4 Teredo

U toho přístroje se provádí tři měření v jedné hladině pod úhlem 120 °. Jehla je dlouhá 60 cm s průměrem 0,6 – 0,8 mm, nebo má délku 100 cm a průměr do 1 mm. Může být rozšířen o vyvrtávač dřevního válečku, jako u nebozezu. Vyhodnocení je v digitální podobě. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.3.6 Shigometer

Shigometer používá ke zjištění odporu nízké impulzy proudu, který je jednosměrný. Přítomností dřevními houbami se zvyšuje počet volných iontů a tím se mění odpor (Kolařík et. al. 2005). Před každým měřením potenciálně narušené dřeviny, by se mělo provést měření na zdravém jedinci stejného druhu na porovnání (Pejchal 1994). Elektrodami ohmmetru se měří elektrický odpor, aby bylo možné zavést tyto dvě elektrody do kmene, musí se dopředu udělat dírky s průměrem 2,8 mm a dlouhé asi 30 cm a více. U zdravého dřeva je odpor asi 400 - 500 k $\Omega$ , dřevo, které je infikované hnilobou např. hnědou, má odpor asi 190 – 200 k $\Omega$ . Výsledky, které mají pod 50 k $\Omega$ , jsou kritické. Nevýhodou je saturace vodou (Kolařík et. al. 2005).

#### 3.3.7 Vitamat

Elektrická charakteristika dřeva se měří dvěma elektrodami, které jsou zatlačovány do měřeného vzorku během probíhající činnosti. Ty měří odpor pletiv v jejich okolí. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.3.8 Odporová tomografie

Tato metoda se stále zkoumá, jedná se o uměle vytvořené elektrické pole kolem měřeného jedince, kdy se do kmene zatluče 24 sond. Vždy dvě sondy slouží jako přijímač a další dvě jako vysílač elektrických impulzů. Do sond jde střídavý proud s nízkou frekvencí asi 10 Hz. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.3.9 Tahové zkoušky

Tato metoda slouží k hodnocení stability celého stromu a stanovuje provozní bezpečnost dřeviny (Kolařík et. al. 2005). Má tři části a to zátěžový rozbor, měření

a vysvětlení výsledků (SPPK 01 001:2018). Je jednou z mála metod, která dokáže odhalit kondici kořenů a jejich narušení. Ze závěru lze stanovit návrh zákroku, který zvýší stabilitu dřeviny. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.3.9.1 Zátěžový rozbor

Pro zátěžový rozbor jsou důležité dendrometrické údaje, dále fotografie dřeviny, z které se použije její silueta a odchylnost od osy růstu. Stanovuje se prostřednictvím specifického programového vybavení (Kolařík et. al. 2005). V tomto specifickém programu se nastaví různé vybrané rychlosti větru a vytvoří se eventuální zatížení, které může dřevinu ovlivnit (SPPK 01 001:2018). Počítá se síla, do které se použije rychlost orkánu, ta činí 117 km/h, pokud dřevina tuto rychlost vydrží, její provozní bezpečnost je vynikající. Tato rovnice, ale nezahrnuje různost rychlostí větru v rozdílných výškách a počítá s prouděním vzduchu, které je v paralelních vrstvách. Proto se koruna rozdělí na části, v každé části se spočítá odpovídající rychlost větru a síla. Síly se složí dohromady a podle výslednice se určí působišť v těžišti plochy. Nakonec se zjistí, při jaké síle větru se dřevině začne kroutit a ohýbat kmen. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.3.9.2 Měření

Měření už probíhá na reálné dřevině a posuzuje se mechanické chování (Kolařík et. al. 2005). Měřený strom se uměle zatíží a souběžně je zaznamenána síla, která na dřevinu působí, přeměna kmene a sklon kmene na bázi (SPPK 01 001:2018).

#### 3.3.9.3 Vysvětlení výsledků

Pomocí přeměny kmene a síly, která na reálnou dřevinu působí a pomocí zatížení větrem ze zátěžového rozboru se spočítá přeměna kmene, ta se dále srovná s hodnotami pevnosti dřeva určitého druhu, které jsou v katalogu. Z toho vyjde výsledek, který je v procentech a vyjadřuje kvalitu bezpečnosti. (Kolařík et. al. 2005)

### 3.4 Akustický tomograf

Tomografie poskytuje vyobrazení průřezu předmětu pomocí měření, která se dělají na povrchu a pomocí měření energie, která jím prochází (Worhington 1984). Různé druhy energií mohou skýtat informace o různorodých vlastnostech měřeného předmětu. Těmito energiemi jsou ultrazvukové vlny, kterými se může zjišťovat pružnost dřeva, dále elektrická pole a elektromagnetické vlny, které mohou zjišťovat vodivost, obsah vlhkosti a koncentraci iontů. Nakonec je tu záření gama a rentgen, s jejichž pomocí můžeme zjistit hustotu dřeva. (Nicolotti et al. 2003)

Akustický tomograf je přístroj, kterým se pomocí zvuku odhalí vnitřní poškození, jako je např. dutina nebo hniloba. Zvuk se šíří dřevem, a pokud je tam některé z poškození, zvuk ho bere jako překážku a projde přes něj pomaleji, nebo ho obejde. (Štefl 2013)

Největšími problémy při měření jsou anizotropní vlastnosti dřeva, špatné připevnění čidel do kůry a tlumení signálu, kterými by mohly být narušeny výsledky. Tedy měření doby průchodu a prostorové zobrazení. (Nicolotti et al. 2003)

Akustickým tomografem lze měřit i kořeny a to za pomoci přídavného přístroje Arboradix, který má sondy strkající se do země mezi kořenový systém (Štefl 2013).

Používají se čidla, jejichž minimální počet je dvě (Juhás 2013), musí být začínající a končící sonda trasy (Štefl 2013). Maximální počet je dvanáct čidel, ne vždy se všechny používají (ArborSonic 3D)

Některé výsledky se zobrazí na displeji přístroje, jiné se vytisknou (Kolařík et. al. 2005) a další pomocí speciálního počítačového programu se zobrazí ve 2D nebo 3D zobrazení (Štefl 2013).

V části, kde se nachází hniloba, se rychlost pohybuje v rozmezí od 600 – 1 200 m/s, kdežto části, ve kterých se nachází zdravé dřevo, se pohybují v rozmezí od 1 200 – 2 000 m/s. (Sandoz et al. 2000) Bylo zjištěno, že ultrazvuková rychlost dokáže odhalit degradaci dřeva už v počáteční fázi (Bauer et al. 1991).

Nakonec se vypracuje návrh opatření, který nezmění zdravotní stav k horšímu a zlepší vitalitu a stabilitu stromu. V některých případech je potřeba opatření zopakovat. Pokud už bude poškození veliké, navrhne se kácení. (Juhás et al. 2013)

Maňák v roce 2013 napsal bakalářskou práci, která se týkala zjištění poškození kmene pomocí akustického tomografu Fakkop. Poškození uměle nasimuloval vrtačkou a motorovou pilou, vytvořil různé dutiny a trhliny. Při jednotlivých dutinách se poškození neprokázalo, u shluku dutin už se poškození prokázalo. Při narušení vzorku motorovou pilou bylo poškození průkazné, ale jevílo se menší, než do vzorku bylo skutečně provedeno. Tento jev mohl být způsoben při šíření zvuku, kdy zvukové vlny poškození obešly podél vláken buď pod snímači, nebo nad snímači.

Stach v roce 2018/2019 napsal bakalářskou práci, která se zabývala hodnocením akustickým tomografem. Simuloval poškození dutinou, kterou postupně vyplňoval pilinami, pískem, pěnou, vodou a betonem, beton nechal vyzrát a potom do něj několikrát udeřil palicí. Z výsledků zjistil, že materiály, které přilnuly ke dřevu, se zobrazovaly jako zdravé dřevo, ale materiály, které byly porézní, se zobrazovaly jako dutina. Voda se zobrazovala jako hniloba.

Chrzová v roce 2021 ve své bakalářské práci měřila akustickým tomografem malá nasimulovaná poškození např. zatlučený hřebík, simulace otvoru vrtačkou, zatlučení několika hřebíků na jedno místo a simulace podélné dutiny vytvořená vrtačkou a frézku.

### 3.4.1 Druhy

Šíření zvuku využívají přístroje, jako jsou např. Silvatest, Impulzivní kladívko, Arbosonic a Picus (Kolařík et. al. 2005).

#### 3.4.1.1 Silvatest

Tato metoda je destruktivní, ale jako jediná umí měřit kmen příčně i podélně. Silvatest měří pomocí dvou senzorů, které se musí navrtat do kmene po 4 - 5 cm hloubky. Pracuje s ultrazvukovými vlnami, které mají frekvenci 16 kHz. Rychlost vln se prostřednictvím

vzdálenosti srovnává s rychlostí, která je dána pro každý druh dřeviny. Výsledky se čtou na displeji přístroje. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.4.1.2 Impulzivní kladívko

Je to nejstarší metoda, přístroj se dá připojit k tiskárně, nebo k počítači. Obsahuje dva senzory, které se do kmene zašroubují, do jednoho se ťuká kladívkem a zvuk se na druhé straně zaznamená v druhém senzoru. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.4.1.3 Arbosonic

Tento přístroj pracuje na principu šíření ultrazvukových vln, které mají frekvenci 78 kHz a zdravým dřevem se pohybují rychlostí 2 000 m/s. Obsahuje kruhový senzor průměrem 40 mm, který se přidělá buď na kůru, u dřevin s tenkou borkou, nebo na dřevo u dřevin s tlustou borkou, pomocí razidla, které kůru odstraní, ta se po použití může umístit zpět. Výsledky se vyčtou z displeje přístroje. Je možné hodnotit kmen, korunu i větve. (Kolařík et. al. 2005)

#### 3.4.1.4 Picus

Přístroj je neinvazivní a zjišťuje hnilobu v dřevinách (Gilbert, Smiley 2004). Obsahuje dvanáct sond, které se rozmístí po obvodu kmene. Sondy jsou magneticky přidělané ke kolíkům, které jsou zatlučeny přes kůru do bělu. Pro poklepání se používá ocelové kladívko. (Wang 2009) Zvuk má frekvenci od 50 do 200 kHz, řešením je počítačově vytvořený barevný průřez kmene (Kolařík et. al. 2005).

### 3.4.2 Šíření zvuku

Akustický tomograf funguje na principu šíření zvuku (Kolařík et al. 2008).

Pokud začnou částice prostředí oscilovat, nazývá se to rozruch. Když rozruch prostupuje okolím pomocí vln od zdroje vysílání, nazývá se to jako vlnění. Vlnění, které prochází kapalným nebo plynným prostředím se charakterizuje jako zvuk, v pevné hmotě se pak popisuje jako vibrace. Frekvence, kterou je možné slyšet, je uváděna v rozmezí od 16 Hz do 20 000 Hz. Oscilace způsobuje chvění a hluk, je zapříčiněna působením vnějších a vnitřních pohybových sil na strukturu a systém. Při kmitání se částice prostředí odkloní a tím se vzruch přenesou i na okolní částice. Částice jsou v klidu pouze, když pohybová síla neúčinkuje. V některých místech se vyskytuje větší hustota a v jiných částech zase menší hustota částic, to je způsobeno směrem odklonění, který je buď příčný, nebo podélný. Tato nepravidelná hustota může způsobit změnu tlaku plynu ve vzduchu, té se říká zvukový tlak. (Smetana et al. 1998) Zvukový tlak je veličinou skalární, což znamená, že je daný velikostí. (Salava 1979)

Čelem vlny se nazývá místo, do kterého vlnění doletí ve stejnou dobu, vlnoplochou je potom smyšlené místo, které může propojit místa, kde v jednu chvíli dorazí vzruch ve shodné etapě. Vlnoplocha má kulový tvar, tento tvar je dán díky paprskům, kterými se šíří. (Smetana et al. 1998)

Rychlost, kterou se rozruch šíří, je podmíněná hustotou prostředí, teplotou a dalšími hodnotami, jako je např. směr, ale jen u nestejnorodého prostředí. Ve stejnorodém prostředí rychlost na směr závislá není. (Salava 1979; Smetana et al. 1998) Rychlost šíření se podílí na tom, jakým způsobem se rozruch šíří, proto je vhodné vzít na vědomí mnohé z těchto hodnot (Smetana et al. 1998). Např. ve vodě při 14 °C se šíří rychlostí 1 450 m/s, ve vzduchu při 20 °C a tlaku  $10^5$  Pa se šíří rychlostí 343 m/s, při 0 °C a stejném tlaku se šíří rychlostí 332 m/s, (Salava 1979; Smetana et al. 1998) při 40 °C se šíří rychlostí 356 m/s a při – 40 °C je rychlost 319 m/s. Dalším materiálem je dřevo napříč let, který má rychlost šíření 1 500 m/s a dřevo po letech má rychlost šíření 4 300 m/s. (Smetana et al. 1998) V oleji se šíří rychlostí 1 390 m/s, v křemenu se šíří rychlostí 5 750 m/s a v mědi je to 4 620 m/s (Salava 1979).

Při šíření přenášené energie, se změní směr přímého šíření díky odrazu od bariér, díky refrakci z jednoho prostředí do druhého, které má jiné rysy, díky difrakci, která je v prostředí s měnícími se rysy. Charakteristická impedance rozhoduje o míře difrakce, refrakce a odrazu.

Jednou z nejdůležitějších veličin při šíření zvuku, je vlnová délka. Při normálním atmosférickém tlaku a teplotě 20 °C je závislost vlnové délky na kmitočet různá. Kmitočet 16 Hz má vlnovou délku 21,5 m (Smetana et al. 1998), kmitočet 20 Hz má vlnovou délku 17,2 m (Salava 1979), pokud má kmitočet 32 Hz je vlnová délka 10,7 m, při kmitočtu 125 Hz je vlnová délka 2,7 m a kmitočet 1 000 má vlnovou délku 0,34 m. Pokud se hodnota kmitočtu zvyšuje, tak hodnota vlnové délky se snižuje (Smetana et al. 1998).

Dřevo má vysokou vodivost zvuku, rychlost zvuku je závislá na druhu dřeviny a směru vláken. Dřevo vede zvuk lépe, když je suché, vlhkým dřevem prochází zvuk hůře. Další vlastností pro lepší vodivost je pravidelnější tvar. (Balabán 1955)

### 3.5 Poškození dřevin

Akustický tomograf vyhodnocuje poškození dřevin, jejich tvar, velikost a umístění (Kolařík et al. 2005).

Poškození způsobeno okolními vlivy (Kolařík et al. 2005), těmi jsou abiotičtí činitelé, kterými jsou klimatické vlivy a vlivy člověka a biotičtí činitelé (Gregorová et al. 2006). Poškození se dělí na vnitřní a vnější, za vnitřní poranění se považují dutiny, trhliny a hniloby. Vnější poškozením je např. zlomená větev, zničená kůra a okus. (Kolařík et al. 2003) Okolní vlivy mají vliv na zdravotní stav a stabilitu stromu (Gregorová et al. 2006), závažnost poškození určuje rozsah a lokalizace (Kolařík et al. 2005).

#### 3.5.1 Abiotičtí činitelé

Abiotickými činiteli jsou teplota, srážky, světelné podmínky, vítr, bouřka, herbicidy a jiné pesticidy (Gregorová et al. 2006), spodní voda, skladba půd a pH, zasolení půd, únik plynu, vliv psích výkalů, prašnost prostředí, živiny, zemní práce, vandalismus a motorová vozidla (Kolařík et al. 2003)

##### 3.5.1.1 Teplota

Dřeviny jsou schopny přizpůsobit se odlišným teplotám prostředí, vyhovující teplota je kolem 20 – 25 °C (Gregorová et al. 2006). Prostředí měst je ovlivněno zpevněnými povrchy,



kteře se více prohřívají než zeleň, ta odráží 10 – 35 % slunečního záření a zpevněné plochy odráží pouze 4 – 10 % slunečního záření (Suchara 1977).

Aby fotosyntéza správně probíhala, potřebuje teplotu v rozmezí 25 – 30 °C, pokud se teplota zvýší, dojde ke zvýšení intenzity dýchání a tím se funkce fotosyntézy sníží (Kolařík et al. 2003).

#### 3.5.1.1.1 Vysoké teploty

Mimořádně vysoké teploty, to jsou teploty přesahující 50 °C, zapříčiňují poškození membrán, dochází ke ztrátě prostorové druhotné struktury a ke ztrátě rozpustnosti bílkovin a nukleových kyselin. Jejich rozpadem, dojde k akumulaci dusíkatých sloučenin a jedovatých látek v buňce. Díky tomuto dochází k progresivnímu odumírání rostlinných pletiv. (Gregorová et al. 2006)

Vysokou teplotou dochází k přehřátí půdy a kořeny začnou více dýchat, to způsobí snížení kyslíku v půdě a v pletivech kořenů. Důsledkem částečné absence kyslíku zastaví kořeny růst. (Kaspar, Bland 1992)

Další poškození se týká kambia, které odumírá příčinou přehřátí pletiv (Kolařík et al. 2005). Tento úkaz se nazývá jako letní korní spála (Tattar 1989). V místě poškození už nedochází k tloušťkovému přirůstání a vytváří se trhlina, ta se stává vstupní bránou pro dřevokazné houby. Nejčastěji se vyskytuje u stromů, které byly nově vysazeny a nemají ochranu kmene, dále na větvích starších dřevin, které mají slabou borku, jako je *Platanus x hispanica* a *Fagus sylvatica* 'Pendula'. (Kolařík et al. 2005)

Vzhledem ke zvyšování teplot ve městech dochází ke změně druhu dřevin ve stromořadích. Domácí zeleň vystřídaly dřeviny z teplejších částí světa, které zvládají nedostatečné množství vody a vysoké teploty. (Kolařík et al. 2003)

#### 3.5.1.1.2 Nízké teploty

Nejsou prospěšné pro správný růst a jiné životní funkce stromů, každý druh dřeviny má jinou marginální teplotu, při které dochází k poškození. Ke snížení fotosyntézy a omezení činnosti průduchů dochází při teplotě mezi 5 – 0 °C, při teplotě od 0 °C do -5 °C se průduchy uzavřou úplně. U mimořádně nízkých teplot dochází k poškození buněčných struktur, kmenů a větví. (Gregorová et al. 2006)

Nejčastějším poškozením jsou mrazové trhliny, vznikají náhlým rozdílem teplot, kdy se uvnitř dřeva drží stále teplo, ale kolem je zima. Stává se to u dřevin mladých a dřevin s úzkou borkou. Starší trhliny se v zimě ještě více rozšiřují, protože dochází ke smršťování letokruhů. (Kolařík et al. 2005)

Pokud se během zimy oteplí, dojde k tání sněhu nebo oblevě, pupeny vyraší moc brzy a při opětovném klesnutí teploty pomrzou (Gregorová 2006).

#### 3.5.1.2 Srážky

Srážek může být nedostatek nebo nadbytek (Gregorová et al. 2006). Dělíme je na déšť, sníh, námrazu a krupobití (Kolařík et al. 2005)

#### 3.5.1.2.1 Nedostatek srážek

Důležitý je poměr srážek a výparu za určitou dobu, pokud se vypaří více vody, než ve srážkách spadne, dojde k suchu. Dohromady s vysokými teplotami vznikají tzv. přísušky (Gregorová et al. 2006). Jsou nebezpečné hlavně na jaře a na konci léta, kdy začínají růst listy a tvoří se zásoba látek na zimu (Kolařík et al. 2005).

Pokud dojde k delší odstavce vody během vegetačního období, zdravotní stav zeleně se rapidně zhorší, omezí se tvorba biomasy, klíčení semen, růstový vývoj, dýchání a fotosyntéza, vstřebávání živin z půdy a přemísťování produktů látkové přeměny. Poškozují se biomembrány a dochází k odumření buňky, kořeny odumírají nejčastěji na konci léta. (Gregorová et al. 2006) Dále dochází k usychání obvodů listů a vrcholů jehlic, tento jev se nazývá listová spála (Tattar 1989), dalším problémem je nekróza listů. Může dojít i k úplnému odlistění dřeviny, pokud se sucho opakuje několik let po sobě, může dojít k prosychání koruny až k úplnému odumření. Některé dřeviny na nedostatek vody reagují zmenšením listů, tím dochází ke snížení plochy ze, které se voda odpařuje. (Gregorová et al. 2006)

#### 3.5.1.2.2 Nadbytek srážek

Nadbytkem srážek trpí hlavně kořeny, které vyžadují k růstu a své činnosti kyslík, ten se s velkým množstvím vody snižuje (Tattar 1989). Nejvíce jsou postiženy dřeviny nacházející se na březích toků, kde dochází často k záplavám. Může vznikat hniloba, může dojít k odumírání kořenových vlásků, k odumírání hlavních kořenů, k prosychání korun a k celkovému úhynu dřevin. (Gregorová et al. 2006) V některých případech může dojít k vyvrácení dřeviny (Kolařík et al. 2005). Dřevinami, které špatně snáší zamokření, jsou například *Acer campestre*, *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Platanus hispanica*, *Pinus strobus*, *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus rubra*, *Sophora japonika*, *Taxus baccata*, *Tilia cordata* a *Tsuga canadensis*. Odolnými dřevinami jsou *Acer pseudoplatanus*, *Aesculus parviflora*, *Betula nigra*, *Cornus racemosa*, *Juniperus virginiana*, *Magnolia grandiflora*, *Platanus occidentalis*, *Quercus lyrata*, *Quercus palustris*, *Salix* spp., *Taxodium distichum*, *Tilia americana* a *Ulmus* spp. (Gregorová et al. 2006)

#### 3.5.1.2.3 Sníh

Sníh, který se zadržuje v koruně, zvětšuje několikrát svou hmotnost. Nejhorší je sníh mokrý, který tvoří kontinuální vrstvu, která se uvádí jako kritická v hodnotě 25 až 40 cm a jeho hustota se pohybuje mezi 300 a 500 kg/m<sup>3</sup>. (Vicena et al. 1979) Při vrstvě 60 cm hrozí poškození dřeviny (Petola et al. 1997). Může dojít ke zlomu, nebo narušení větve či celé koruny (Gregorová et al. 2006). Vlivem toho poškození napadnou dřevinu různé škůdci a dřevní houby (Kolařík et al. 2005). Při působení sněhu a větru se mohou poškodit pupeny. (Gregorová et al. 2006)

#### 3.5.1.2.4 Námraza

Jsou tři druhy námrazy a to jinovatka, zrnitá námraza a ledovka. Nejvíce nebezpečná je zrnitá námraza, což jsou rychle zmrzající kapky a ledovka, která se tvoří volným tuhnutím deště. Vlivem tíhy v koruně se větve lámou a koruna může selhat. (Kolařík et al. 2005)

Při mrazech, které trvají delší dobu je omezené doplnění vodních zásob, odnášejí to mladé stromky (Gregorová et al. 2006).

V případě snížení teploty ve kmeni, dochází ke křehčení dřeva a hrozí polomy (Kolařík et. al 2005).

#### 3.5.1.2.5 Krupobití

Kroupy se vytvoří v letním období, kdy jsou velmi vysoké teploty, náhlým přemístěním studených proudů vzduchu do nižších vrstev atmosféry. Důsledkem je zničení plodů, listů, pupenů, květů, větví, dokonce i kůry. Toto poškození může později sloužit jako vstup pro lýkožrouty, lýkohuby a smoláky.

Nejvíce náchylné jsou dřeviny ve školkách a při nových výsadbách. Mezi stromy, které bývají nejvíce poškozeny, patří *Fagus Sylvatica*, *Alnus*, *Quercus*, *Pinus*, *Populus* a *Picea*. (Kolařík et al. 2005)

#### 3.5.1.3 Světelné podmínky

Záření je pro dřeviny nezbytné, ale zároveň jim škodí. Slouží jako hlavní zdroj energie, která je potřebná pro proces fotosyntézy. Při dlouhodobém působení ultrafialového záření dochází k vážnému poškození pletiv a následnému odumření, ke snížení fotosyntetické kapacity, k dlouhivému růstu, k růstu pylových láček, k tvorbě genetických přeměn.

Dalším problémem je noční modré světlo, které ovlivní světelné podmínky a u náchylnějších dřevin způsobuje transformaci fotosyntézy, denní funkce, klidového období, růstu a činnost kořenů. (Gregorová et al. 2006)

#### 3.5.1.4 Vítr

Zastavěný povrch města zmenšuje rychlost větru, ale v některých částech může docházet k rychlejšímu proudění (Suchara 1994). U budov vzniká turbulence a u paralelních ulic vzniká kaňonový efekt (Gregorová et al. 2006).

Ničivé větry se rozlišují na silný stálější vítr, nárazový vítr, větrnou smršť, tornádo, větrnou bouři a přepadové větry. Záleží na ročním období a stanovišti. (Kolařík et al. 2005)

V důsledku vysokého větru dochází k poškození kořenového systému, ke zvyšování transpirace a tím se vysušují pletiva, k lámání větví a částí korun, ke zlomení kmene nebo vývratu celé dřeviny. (Gregorová et al. 2006) Nejvíce ohrožené jsou například dřeviny jako je *Alnus glutinosa*, *Betula*, *Picea*, *Abies* a *Populus* (Kolařík et al. 2005)

#### 3.5.1.5 Bouřka

Při poškození bleskem může vzniknout požár, poničení koruny, zlomení kosterních větví, roztržení kmene, zásah do kořenů a defekty menších rozměrů. Dále může dojít k odlistění nebo až k celkovému odumření jedince. (Gregorová et al. 2006)

Méně jsou poškozeny dřeviny, které mají rychle nasákovou kůru, těmi jsou například *Acer*, *Fagus sylvatica* a *Carpinus betulus* (Kolařík et al. 2005).

### 3.5.1.6 Herbicidy a jiné pesticidy

Jinými pesticidy jsou myšleny nematocidy, insekticidy, fungicidy, miticidy a antibiotika. Nejzávažnější poškození je na kořenech, další poškození se nachází u listů, tím může být nekróza, stáčení a tenké bledé pruhy po obvodu listů. Dochází k omezení slučování listové zeleně a listy se mění do bíla či růžova a zastaví se fotosyntéza. Pokud je poškození pouze na listech, v příštím roce už po něm nejsou žádné známky. (Gregorová et al. 2006)

### 3.5.1.7 Podzemní voda

Při zvýšení podzemní vody, se kořeny ocitnou na delší dobu v mokru, tím může docházet k hnilobám a odumírání. Má vliv na množství organických a anorganických látek, riziko přichází při vyplavení toxických látek, které se do podzemní vody dostaly z pole, silnice, továren atd. (Gregorová et al. 2006)

### 3.5.1.8 Skladba půd a pH

Velké množství půd ve městech je složeno z navážek a ze stavebnin, ve velké míře chybí humus, to vede k omezení cirkulace živin (Kolařík 1994).

V půdě se nachází alkalické pH, které je způsobené vápníkem obsaženým ve stavebních sutiích a omítkách, dále solí používající pro roztání sněhu. Toto pH má špatný vliv na mykorrhizní houby a vitalitu zeleně. (Kolařík et al. 2003)

### 3.5.1.9 Zasolení půd

Zasolení půdy probíhá kolem chemických podniků, středisek průmyslové produkce, skládek a silnic. Nejčastěji se jako posypová sůl používá chlorid sodný, chlorid vápenatý a chlorid hořečnatý. (Gregorová et al. 2006) Jako nejtypičtější místo, kde k zasolení dochází, je město a jeho okolí (Kolařík 1994). Do dřeviny se dostává přímou nebo nepřímou cestou (Kolařík et al. 2003).

Přímá cesta je přes nadzemní části dřevin, kdy je posypová sůl spolu se sněhem rozstříknuta auty do okolí. To způsobuje hlavně na jaře odumírání pupenů a mladších větví, dále dochází k dehydrataci pletiv a k neobvyklému růstu výhonů tzv. efekt čarodějnického koštěte. Rozsah poškození záleží na provozu automobilů, na síle větru, na počtu dřevin, na přítomnosti vrstvy sněhu, na vzdálenosti dřeviny od silnice. (Gregorová et al. 2006) Odolnými dřevinami jsou například *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum*, *Aesculus carnea* a *Ulmus minor* (Kolařík 1994), náchylné jsou dřeviny, které mají slabou a hladkou borku, nahé pupeny nebo hladké jehlice s malou vrstvou kutikuly (Gregorová et al. 2006).

Nepřímá cesta je příjem posypového materiálu kořeny z půdy. V půdě zapříčiňuje vyšší pH, vyplavování vápníku, draslíku či hořčíku z půdy, rozpadnutí vnitřního složení půdy a vysoké osmotické hodnoty půdního roztoku. (Kolařík et al. 2003) Na dřevinách se příznaky poškození zobrazují jako zakrnělý růst, odumírání koruny, přeměna velikosti a barvy listů, schnutí listů po obvodu, předčasné odlistění, pupeny raší později, vyšší počet semen a u jehličnatých dřevin dochází k hnědnutí jehlic od vrcholu. Záleží na srážkách, na typu

půdy, na hustotě soli, na tloušťce sněhové vrstvy a na zdravotním stavu dřevin. (Gregorová et al. 2006) Odolnými dřevinami jsou například *Ailanthus altissima*, *Quercus robur*, *Sophora japonica* (Kolařík 1994), *Aesculus pavia*, *Catalpa bignonioides*, *Eleagnus* spp., *Prunus padus*, *Ginkgo biloba*, *Pinus mugo*, *Pinus nigra* a *Chamaecyparis pisifera*. Náchylnými dřevinami jsou například *Carpinus betulus*, *Corylus avellana*, *Fagus sylvatica*, *Platanus hispanica*, *Sorbus aucuparia*, *Tilia cordata*, *Ulmus americana*, *Larix decidua*, *Picea abies*, *Picea pungens*, *Pinus strobus*, *Pseudotsuga menziesii*, *Taxus* spp. a *Tsuga canadensis*. (Gregorová et al. 2006)

Aby se snížily následky poškození zasolením, je vhodné snížit množství soli, nahradit chlorid sodný jinou látkou, použít zábrany či zvýšení terénu, přihnojovat, prolévat půdu na jaře minimálním množstvím vody 100 l/m<sup>2</sup>. Že se jedná přímo o poškození soli, lze dokázat analýzou z listů a odběry půdních vzorků. (Kolařík et al. 2003)

#### 3.5.1.10 Únik plynu

Plynové potrubí se nachází níže než kořeny (Gregorová et al. 2006), problém nastává ve špatném těsnění a dochází k úniku zemního plynu (Kolařík et al. 2003). Plyn stoupá nahoru ke kořenům a tím vytlačuje kyslík z půdy a vysušuje ji (Gregorová et al. 2006). Vlivem půdních bakterií je metan oxidován, vylučuje se oxid uhličitý a zpracovává se kyslík. Důsledkem je nedostatek kyslíku v půdě, odumírání kořenů (Kolařík et al. 2003) a odlistění dřeviny (Gregorová et al. 2006). Během několika měsíců dojde k celkovému uhynutí dřeviny (Kolařík et al. 2003).

#### 3.5.1.11 Vliv psích výkalů

Důsledkem zvyšování počtu psů ve městech a snižování míst, kde mohou psi volně běhat a vykonávat potřebu, se velice rozšířilo poškození dřevin psí močí (Kolařík et al. 2003).

Psi si značkují své teritorium a moč je hodně zásaditá látka, která má vliv na nadzemní části rostlin do výšky 60 cm (Gregorová et al. 2006). Velice náchylné jsou mladé stromky (Kolařík et al. 2003) a jehličnaté dřeviny (Gregorová et al. 2006).

Pes denně vymočí 40 až 2000 ml, záleží na rase. Studie v Berlíně ukázala, že za rok u stromů na velice rušném místě může být vyprodukováno až 10 l moči. Zmenšit poškození lze vydatnou zálivkou, výsadbou trnitých keřů kolem kmenů dřevin či použitím štěpky. (Kolařík et al. 2003)

#### 3.5.1.12 Prašnost prostředí

Prašnost ve městě je ovlivněna dopravou, továrnami a topením v kotlích na tuhá paliva (Kolařík 1994). Ukládáním prachu na listech dochází k ucpávání průduchů a k jeho přehřívání, v prachu se mohou nacházet i těžké kovy či radioaktivní látky dostávající se pomocí srážek do pletiv dřeviny (Kolařík et al. 2003).

### 3.5.1.13 Živiny

Zdravotní stav dřevin se odvíjí od množství prvků a minerálních látek, pokud je jich moc nebo málo, může to snížit důležité funkce (Gregorová et al. 2006).

Nedostatek živin má vliv na proces fotosyntézy a dýchání, na množství, velikost a vzhled chloroplastů.

Při nedostatku například chloru se listy kroutí a kořeny se ztlustí, u bóru dojde k nekrotickým meristémům a k neúměrné produkci korku, při dusíku mají dřeviny zakrslou velikost a listy mění barvu na žlutou, u mědi dochází k usychání vrchní části koruny, ke kroucení listů a k chloróze u mladých listů. Celkově strom usychá a v průběhu několika let může dřevina uhynout. (Gregorová et al. 2006)

Nadbytek živin má vliv na průběh fotosyntézy, zvyšuje dýchání a působí toxicky. Nejvíce k nadbytku dochází na zasolených půdách, zásaditých půdách nebo na půdách s těžkými kovy. (Gregorová et al. 2006)

### 3.5.1.14 Zemní práce

Ke snižování zdravotního stavu dřevin dochází při úpravě komunikací a při zpevnování povrchů, tím se zmenšuje prostor pro kořeny a pro záhlavku a dochází k přehřívání kořenových částí (Gregorová et al. 2006). Dělníci zhutňují povrch přístroji a tím dochází ke konfliktu s kořeny (Urban 2008). Dále může dojít k toxicitě kořenů způsobené nedostačujícím množstvím kyslíku v půdě (Gregorová et al. 2006), k poškození kmenů a kořenových náběhů, k přetrhání kořenů, k uložení navážky v prostoru kořenů, k odhalení kořenových náběhů a k odstranění kořenů na jedné straně (Kolařík 1994).

Prevence před těmito poškozeními je zavedení patřičné ochrany a důkladný stavební dozor (Kolařík et al. 2003).

### 3.5.1.15 Ostatní

Chodci svou častou návštěvou zhutňují povrch, tím se do půdy nedostane dostatečné množství vody a kyslíku, dřeviny omezí růst, změní plochu a barvu listů a dojde k uschnutí koruny (Gregorová et al. 2006).

Experimentem se zjistilo, že průměrný chodec pobude pod stromem cca 5 sekund, pokud by se tam denně objevilo 10 chodců, bude to 50 sekund. V případě že se strom nachází na místě, kde je i budova, lavička či kavárna s předzahrádkou, bude tam člověk trávit více času a to by způsobilo větší koncentraci pohybujících se chodců třeba i 6 hodin a půda by byla více utužená. (Quantified Tree Risk Assessment 2010)

Poškození může být způsobeno vandalismem, nejčastěji se objevuje ve velkých městech, nebo na místech, která jsou důležitá, největší poškození se vyskytuje u mladých, nově vysazených jedinců (Kolařík et al. 2003). Kolařík řadí do vandalismu i vysazování malých a nevhodných dřevin do stromořadí ve městech a zanedbání následné péče (1994).

Následně se mezi poškození řadí radikální sesazení koruny, které je závažnější než poškození vandaly (Kolařík J. et al. 2003).

Další poškození může vzniknout při neodborné péči dřevin (Gregorová et al. 2006), např. při poničení kmene strunovou sekačkou (Kolařík J. et al. 2003), následky mohou být jen

estetické či fatální. Odolnější jsou dřeviny, které mají silnou vrásčitou kůru, náchylnějšími jsou dřeviny s kůrou slabou a hladkou. Důsledky toho poranění se mohou na koruně projevit klidně i za několik let. Jako prevence se dá kolem kmene použít mulč (Lilly (ed.) 2001).

Řadí se sem i poškození motorovými vozidly, které mají vliv na dřeviny únikem olejů, benzínu a nafty do půdy, zhutňováním povrchu, poraněním kmenu při parkování a dopravních nehodách. Především těmto poraněním by bylo možné s lepší ochranou kolem výsadeb (Kolařík 1994)

### 3.5.2 Biotičtí činitelé

Poškození abiotickými činiteli, stres a zhoršený stav má za následek výskyt biotických činitelů (Kolařík et al. 2005).

#### 3.5.2.1 Malus

U jabloní se může objevit virus, který vyvolává čarověniky, metlovitost a nádory (Polák 1994), další je virus mozaiky jabloně (Nienhaus et al. 1996).

Houby na jabloních jsou např. strupovitost jabloní (*Spilocaea pomi*), rez hrušňová (*Gymnosporangium tremelloides*), monilióza (*Monilia*), korová rakovina (*Nectria galligena*).

Listy jsou poškozovány hmyzem např. podkopníček spirálový (*Cemiosstoma scitella*), bejlomorka jabloňová (*Dasineura mali*), mšice jabloňová (*Aphis pomi*), pěnodějka (*Philaenus spumarius*), červci (*Phenacoccus aceris*), vlnovník jabloňový (*Eriophyes mali*), píďalka podzimní (*Operophtera brumata*), bekyně zlatořitná (*Euproctis chrysorrhoea*).

Na kmenech se vyskytuje vlnatka krvavá (*Eriosoma lanigerum*), bělokaz švestkový (*Scolytus mali*).

Bakterie nacházející se na jabloních je bakteriální spála růžovitých (*Erwinia amylovora*), bakteriální nádorovitost (*Agrobacterium tumefaciens*) (Nienhaus et al. 1996).

#### 3.5.2.2 Salix

Viróza se projevuje chlorózou listů, infekce mykoplazma způsobuje nahloučení pokroucených listů (Polák 1994).

Houbovými chorobami na vrbách jsou např. padlí vrbové (*Uncinula adunca*), antraknóza vrby (*Marssonina salicicola*), rez (*Melampsora*), strupovitost listů vrby (*Pollacia saliciperda*), korová rakovina (*Nectria galligena*).

Listy jsou napadeny sviluškami (*Tetranychus* spp.; *Schizotetranychus schizopus*), mšicemi (*Chaitophorus*, *Cavariella*, *Aphis farinosa*), pěnodějkou vrbovou (*Aphrophora salicina*), pilatkami (*Pontania*), bejlomorkami (*Rhabdophaga*; *Iteomyia*; *Dasineura*), mandelinky (*Melasoma*; *Phyllodecta*; *Lochmaea capreae*; *Plagioderma versicolora*).

Bakterie vyskytující se na vrbě je bakteriální spála vrbovitých (*Erwinia salicis*), bakteriální nádorovitost (*Agrobacterium tumefaciens*).

Roztoči napadající vrby jsou vlnovníci vrboví (*Eriophyes triradiatus*).

Ve dřevě se nacházejí krasci (*Melanophila*), polníci (*Agrilus*), drvopleň obecný (*Cossus cossus*), tesařík pižmový (*Aromia moschata*) (Nienhaus et al. 1996).

### 3.5.2.3 Fagus

Virotickými symptomy jsou žlutozelené mozaiky, kruhové tvary a fleky. Nejčastější virus vyskytující se na bukách je virus svinutky třešně, virus mozaiky jílků a viry z rodu potyvírů. Dalším onemocněním je výskyt čarověníků, metlovitosti a nádorů- (Polák 1994)

Listy buku mohou být napadnuty roztoči *Aceria nervisequa nerviseqa* a *Aceria stenaspis stenaspis*, díky kterým se listy svinují. Dalším škůdcem je savý hmyz, tím je například mšice stromovnice buková (*Phyllaphis fagi*), křísek (*Fagocyba cruenta*), skákač bukový (*Rhynchaenus fagi*) (Hartmann et al. 1995), pikřísek bukový (*Typhlocyba douglasi*) (Nienhaus et al. 1996).

Na kmeni se může vyskytovat např. črvec bukový (*Cryptococcus fagisuga*), lesan hnědý (*Hylecoetus dermestoides*), dřevokaz bukový (*Xyloterus domesticus*) (Hartmann et al. 1995), drvopleň topolový (*Cossus coccus*), kmen může napadnout i hlodavec například hraboš (*Microtus* sp.) (Nienhaus et al. 1996).

Houbové choroby na bukách jsou např. antraknóza buku (*Apiognomonium errabunda*), nektriová rakovina buku (*Nectria ditissima*) (Hartmann et al. 1995).

### 3.5.2.4 Picea

U smrků se vyskytuje virus černé kroužkovitosti rajčete a virus z rodu potyvírů. Jeví se krátkými kartáčovitými větvičkami a chlorózou. Dalšími virotickými onemocněními je mykoplazmatická etiologie, která vyvolává čarověníky, metlovitost a nádory. (Polák 1994)

Na jehlicích sajou mšice smrkové (*Liosomaphis abietina*), dále na jehlicích škodí např. ploskohřbetka smrková (*Cephalcia abietis*), obaleč smrkový (*Epinotia tedella*), pilatka smrková (*Pristiphora abietina*), korovnice smrková (*Sacchiphantes abietis*). (Hartmann et al. 1995)

Na kmeni se mohou vyskytovat lýkožrout smrkový (*Ips typographus*), lýkožrout lesklý (*Pityogenes chalcographus*), lýkožrout menší (*Ips amitinus*) (Hartmann et al. 1995).

### 3.5.2.5 Pinus

Jehlicím se změni barva, tak se projeví vir nektrózy tabáku (Polák 1994)

Poškození borovic způsobuje hmyz např. obaleč pryskyřičný (*Retinia/Evetria resinella*), lýkohub borový (*Tomicus piniperda*), obaleč prýtový (*Rhyacionia buoliana*), listopas borový (*Brachyderes incanus*), nosatec borový (*Brachonyx pineti*), bázlivec tmavý (*Luperus pinicola*), štítenky z rodu *Leucospis*, bejlomorka Baerová (*Contarinia baeri*), bejlomorka borová (*Thecodiplosis brachyntera*), hřebenule borová (*Diprion pini*), hřebenule ryšavá (*Neodiprion sertifer*). (Hartmann et al. 1995)

Houbové choroby vyskytující se na borovicích jsou například sypavka borovic (*Lophodermium pinastri*), sydowia polyspora (*Sclerophoma pithyophila*), rez jehlicová (*Coleosporium senecionis*), mramorová sypavka borovic (*Cyclaneusma minus*), kornice borová (*Cenangium ferruginosum*), rez vejmutovková (*Cronartium ribicola*), rez sosnokrut (*Melampsora pinitorqua*), přípletka černá (*Herpotrichia juniperi*). (Hartmann et al. 1995)



### 3.5.2.6 Larix

Trpí na čarověňky, které jsou způsobené virotickým onemocněním (Polák 1994)

Poškození jehlic je způsoben například pouzdrovníčkem modřínovým (*Coleophora laricella*) (Hartmann et al. 1995), třásněnkou modřínovou (*Taeniothrips laricivorus*), obalečem modřínovým (*Zeirahera diniana*), mšicí modřínovou (*Cholodkovskya viridana*) (Nienhaus et al. 1996).

Na kmeni se mohou vyskytovat molovka modřínová (*Blastotere laevigatella*), lýkožrout modřínový (*Ips cembrae*) (Nienhaus et al. 1996).

Houbové choroby vyskytující se na modřínu jsou např. kuželovka (*Cytospora* sp.), sypavka modřínu (*Meria laricis*), plíseň šedá (*Botrytis cinerea*), brvenka modřínová (*Lachnellula willkommii*) (Hartmann et al. 1995), rez březová (*Melampsorium betulinum*) (Nienhaus et al. 1996).

### 3.5.3 Dřevokazné houby

Dřevokazné houby mají za následek chemické a fyzikální změny dřeva (Příhoda 1953), to může způsobit narušení stability, vznik dutin, nebo úplný úhyn dřeviny (Kolařík et al. 2005), kdy dochází k uzmutí zásobních látek, k rozkladu a narušení buněk (Příhoda 1953).

Při výskytu dřevokazných hub se mění barva a vůně dřeva, houbami jsou vylučovány enzymy, které rozkládají dřevo. Nejprve se houby rozprostírají v parenchymatických buňkách, kde se nachází nejvíce zásobních látek a odtud se poté šíří do okolního dřeva. Rozdělují se na celulosovorní a ligninovorní. (Příhoda 1953)

#### 3.5.3.1 Celulosovorní

Houby celulosovorní neboli houby hnědého tlení rozkládají celulosu. Ligninu se nedotknou, nebo ho jen minimálně pozmění (Příhoda 1953). Dřevo ztrácí svůj objem i hmotnost, barva se mění do hněda, je křehké, drobivé (Kolařík et al. 2005). Dochází k tzv. destrukčnímu rozpadu dřeva, kdy kostkovitě praská, to způsobuje např. trámovka (*Gloeophyllum*) a dřevomorka (*Merulius*) (Příhoda 1953).

Dalšími dřevokaznými houbami hnědého tlení jsou pstřeň dubový (*Fistulina hepatica*), březovník obecný (*Piptoporus betulinus*), sírovec žlutooranžový (*Laetiporus sulphureus*) (Tomiczek et al. 2005), hnědák Schweinitzův (*Phaeolus schwenitzii*), pevník krvavějící (*Stereum sanguinolentum*), kořenovník vrstevnatý (*Heterobasidion annosum*) (Gregorová et al. 2006).

#### 3.5.3.2 Ligninovorní

Ligninovorní houby neboli houby bílého tlení rozkládají rapidně lignin a dokonce i celulosu (Příhoda 1953) Dřevo si udržuje stejný objem, ale zmenšuje se jeho hmotnost (Kolařík et al. 2005), proto není dlouho poznat nějaká změna a přítomnost hniloby (Příhoda 1953).

Dělí se na tři typy, prvním typem jsou houby rozkládající nejdříve lignin a potom celulosu, takovou houbou je například outkovkova pestrá (*Trametes versicolor*). Druhým typem jsou houby, které rozkládají nejprve celulosu a až potom lignin, do této skupiny patří např. václavky (*Armillaria* spp.). Třetím typem jsou houby, které rozkládají celulosu i lignin ve stejnou dobu, je to například rezavec štetinatý (*Inonotus hispidus*). (Kolařík et al. 2005)

Poslední fází je rozklad, kdy je dřevo měkké, není pevné a listkovitě se rozpadá. Zvláštní hnilobou je voštinová hniloba, kterou způsobuje např. rod ohňovec (*Phellinus*) a rod dřubkatec (*Onnia*), další zvláštní hnilobou je hniloba kostičkovitá, která rozkládá dřevo na malé kostičky nebo hranolky, to způsobuje např. plstnateček severský (*Climacocystis borealis*). (Kolařík et al. 2005)

Další dřevokazné houby, které způsobují bílé tlení, jsou např. lesklokorka jehličnanová (*Ganoderma carnosum*) (Zúbrik et al. 2008), troudnatec kopitovitý (*Fomes fomentarius*), vějířovec obrovský (*Meripilus giganteus*), hlíva ústříčná (*Pleurotus ostreatus*) (Gregorová et al. 2006), spálenka skořepkatá (*Ustulina deustata*), klanolístka obecná (*Schizophyllum commune*), choroš šupinatý (*Polysporus squamosus*) a trsnatec lupenitý (*Grifola frondosa*) (Tomiczek et al 2005).

## 4 Metodika

Měření bylo provedeno ve městě Žatci, kde bylo k dispozici zázemí. Akustický tomograf FAKKOPP, mi zapůjčila Česká zahradnická akademie v Mělníku. Můj konzultant práce byl u měření přítomný jako dozor.

Pro mou práci bylo použito osm špalků, čtyři jehličnaté dřeviny a čtyři listnaté dřeviny. Z jehličnatých dřevin to byly dva vzorky ze smrku ztepilého (*Picea abies*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a modřín opadavý (*Larix decidua*). Z listnatých dřevin to byly jablono domáci (*Malus domestica*), buk lesní (*Fagus sylvatica*) a dva vzorky z vrby bílé (*Salix alba*) z jednoho stromu. Celkem bylo provedeno 11 měření, dvě bez zásahu pro srovnání a devět se simulací poškození.

### 4.1 Pomůcky

Při provádění experimentu byly potřeba tyto pomůcky: Akustický tomograf s příslušenstvím, notebook s programem ArborSonic 3D, motorová pila, vrtačka, dláto, vrtací korunka k vrtačce, prodlužovací kabel, stůl a špalky.

### 4.2 Příprava

Nejprve bylo potřeba vybrat vhodné místo, umožnit přístup ke zdroji elektrické energie a připravit stůl pro odložení notebooku a měření špalků.

Špalek se postavil na desku stolu. Zapnul se notebook, kde se spustil speciální program ArborSonic 3D. Pásmem se změřil obvod špalku v místě, kde se potom připevnila čidla. 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 kufru 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, očíslované zesilovače a čidla se mezi sebou propojila. Nakonec se poslední zesilovač připojil k akumulátoru a ten přes USB kabelem k notebooku.

### 4.3 Měření

Spínačem se zapnul akumulátor, z kufříku se vyndalo speciální kovové kladívko, kterým se klepalo do čidel. Do každého čidla se pětkrát klepalo, aby se předešlo chybám v měření. Každé klepnutí program zaregistroval a vypočítal z toho směrodatnou odchylku. Jak moc byly hodnoty odchýleny od průměrných hodnot. Pokud byla odchylka velká, hodnota byla červená a musela se hledat chyba, která se poté odstranila. K chybě mohlo dojít silnějším klepnutím, dvojitým klepnutím, zavaděním o čidlo či neúplným klepnutím, tedy klepnutím částečně mimo čidlo. Po odstranění chyby se provedlo opět klepání na čidlo, u kterého byla hodnota smazána, aby se doplnil počet klepání na pět. Po úspěšném klepání se ukázal graf, 2D mapa a matice, na kterých byly vidět výsledky. Mezi jednotlivými měřeními se akumulátor spínačem vypnul, aby nedošlo k nechtěným chybám a rozhození výsledků.

První měření se dělalo u špalku jabloně domácí (*Malus domestica*), který měl rozsáhlé tlení, střed vzorku byl plný vlhké zetlelé hmoty. Toto měření se dělalo pro své výsledky a následné porovnání výsledků s druhým pokusem. Čidla se nechala na stejných místech pro další měření a akumulátor se spínačem vypnul.

Před druhým měřením se opatrně odstranila vlhká zetlelá hmota ze špalku jabloně domácí (*Malus domestica*), aby se nepohnula čidla. Akumulátor se spínačem zapnul a provedlo se měření. Po měření se akumulátor znovu vypnul a čidla se vyndala.

Třetí měření proběhlo u špalku vrby bílé (*Salix alba*), která měla nasimulované poškození. Po měření se akumulátor vypnul a čidla se odstranila.

Čtvrté měření bylo u druhého vzorku špalku vrby bílé (*Salix alba*), která měla větší nasimulované poškození. Obě měření se poté porovnávala. Po měření se spínač vypnul a čidla vyndala.

Páté měření se dělalo u špalku smrku ztepilého (*Picea abies*) se simulací poškození. Po měření se akumulátor vypnul a čidla se vyndala.

Šesté měření probíhalo špalku buku lesního (*Fagus sylvatica*), který byl bez poškození. Čidla se nechala na stejných místech, jen se vypnul akumulátor.

Šedmé měření se provedlo se opět u špalku buku lesního (*Fagus sylvatica*), u kterého bylo nasimulované poškození. Po měření se akumulátor vypnul a čidla se odstranila.

Osmé měření proběhlo u špalku modřínu opadavého (*Larix decidua*), se simulací poškození. Po měření se akumulátor vypnul a čidla se vyndala.

Deváté měření bylo u špalku smrku ztepilého (*Picea abies*), který měl simulaci poškození jako u osmého měření. Poté se akumulátor vypnul a čidla se odebrala.

Desáté měření bylo provedeno u špalku borovice lesní (*Pinus sylvestris*), který měl stejné simulační poškození, jako u měření osm a devět. Po měření došlo opět k vypnutí akumulátoru a k vyjmutí čidel. Osmé, deváté a desáté měření se porovnávalo.

Jedenácté měření se dělalo se vzorkem špalku smrku ztepilého (*Picea abies*) z pátého měření.

Poté se výsledky porovnali. Po měření se akumulátor vypnul, vypojoilo se USB z notebooku, čidla se vyndala, rozpojily se propojovací kabely a zesilovače. Vše se uklidilo zpět do kufru.

#### **4.4 Simulace poškození**

Aby nedošlo k poškození stromů při experimentu, byly použity špalky. Pro lepší viditelnost poškození se nasimulovalo poškození uměle.

Prvním simulovaným poškozením bylo vydlabání zetlelé hmoty dlátem u jabloně domácí (*Malus domestica*) a utvoření dutiny.

Druhým a třetím poškozením byla simulace dvou různě velkých otvorů, které byly vytvořeny vrtačkou, korunkou k vrtačce a motorovou pilou u špalků vrby bílé (*Salix alba*).

Čtvrté a páté simulované poškození bylo způsobeno zmrzlou vodou a následným roztáním u smrku ztepilého (*Picea abies*). Do špalku byl vytvořen otvor, který se napustil vodou a špalek se dal zamrazit do mrazáku. Po měření se nechal led rozpustit.

Šesté poškození mělo simulovat kovový předmět kolem kmene, bylo provedeno oloupání kůry a omotání drátu kolem obvodu špalku buku lesního (*Fagus sylvatica*).

U sedmého, osmého a devátého poškození byl simulován řez podélný a to u špalku modřínu opadavého (*Larix decidua*), smrku ztepilého (*Picea abies*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*).

#### **4.5 Vyhodnocení výsledků**

Vyhodnocení výsledků probíhalo pomocí matic, grafu a 2D mapy. U matic bylo vidět, jak rychle se zvuk šíří. Ve 2D mapě bylo možné vidět rozsah poškození pomocí barevné škály. V programu ArborSonic 3D byly použity odstíny zelené pro nulové poškození, odstíny červené či fialové pro místo s hnilobou a modré odstíny pro místo s možnou dutinou. V grafu bylo možné pomocí přímek spojujících čidla, přesněji určit místo, kde se simulace poškození nacházela a jestli šly vyzpozorovat nějaké změny.

## 5 Výsledky

Vzorků špalků bylo použito osm, byl to smrk ztepilý (*Picea abies*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*), modřín opadavý (*Larix decidua*), jabloň domácí (*Malus domestica*), buk lesní (*Fagus sylvatica*) a vrba bílá (*Salix alba*).

Výška prvního vzorku byla 30 cm, výška druhého a třetího vzorku byla 50 cm, výška čtvrtého vzorku byla 40 cm a výška pátého, šestého, sedmého a osmého vzorku byla opět 50 cm.

Obvod kmene v místě měření u prvního vzorku byl 76 cm, u druhého a třetího vzorku byl obvod 79 cm, u čtvrtého vzorku byl obvod 56 cm, u pátého vzorku byl obvod 65 cm, u šestého vzorku byl obvod 93 cm, u sedmého vzorku byl obvod 101,5 cm a u osmého vzorku byl obvod 96 cm.

Další hodnotou byl průměr kmene, který u prvního vzorku měl 26 cm a 21,5 cm, jednalo se o delší a kratší stranu, u druhého a u třetího měl 25,2 cm, u čtvrtého měl 17,9 cm, u pátého měl 20,7 cm, u šestého měl 29,6 cm, u sedmého měl 32,3 cm a u osmého měl 30,6 cm.

U prvního vzorku byl zvolen tvar špalku elipsa a u ostatních vzorků byl zvolen tvar špalku kruh.

Tloušťka kůry byla změřena u prvního vzorku na 0,7 cm, u druhého a třetího vzorku na 2 cm, u čtvrtého a pátého vzorku na 0,2 cm, u šestého vzorku na 1 cm, u sedmého vzorku na 0,5 cm, u osmého vzorku na 1,5 cm,

Hloubka penetrace byla zvolena u vzorku osm 2 cm, u vzorků dva a tři 2,5 cm, u vzorku šest 1,5 cm a u ostatních byla zvolena hloubka penetrace 1 cm.

Rychlost šíření zvuku u každého měření byla vložena do přílohy diplomové práce.

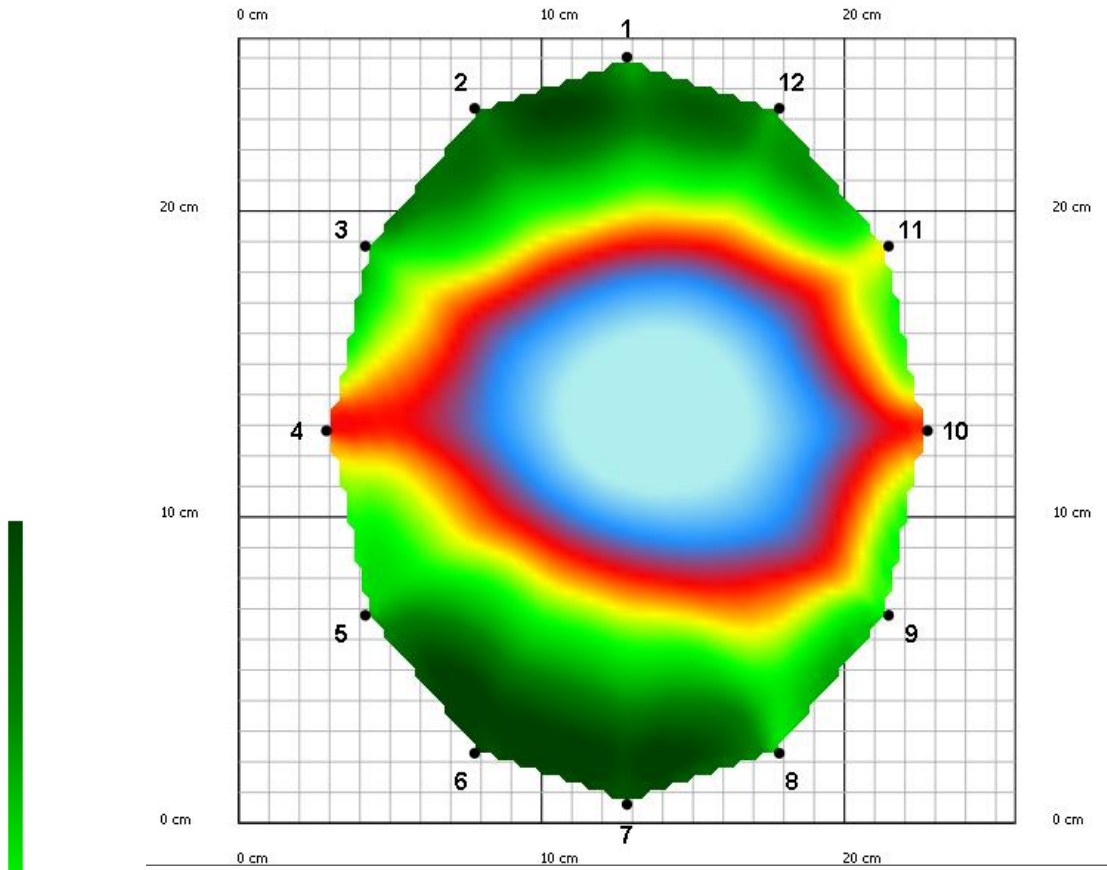
## 5.1 Vzorek 1(a) – jabloň domácí (*Malus domestica*) – bez simulace, původní tlení

Jako první se měřil vzorek 1, který byl bez simulovaného poškození s původním tlením, to byla vidět na obrázku 1. Tlení začínalo cca 4 cm od okraje špalku a postupovalo dále do středu.

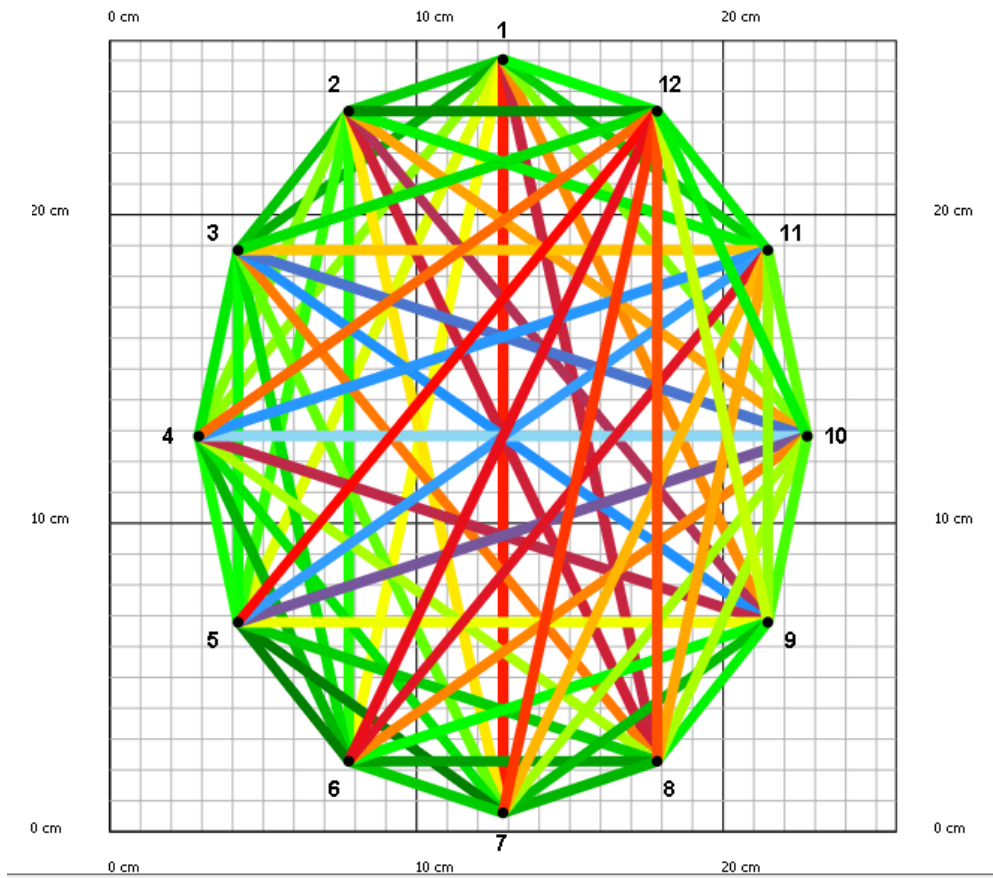
Na obrázku 2 a 3 se ukázala barva od tmavě zelené až po světle modrou. U čidel 4 a 10 byla systémová chyba, která vznikla kvůli tlustší borce. Ta způsobila, že byla čidla málo zatlučena do špalku. Tato chyba nemá vliv na vyhodnocení, protože se porovnával vzorek uvnitř kmene. Tlení se zobrazovalo jako dutina.



Obrázek 1 - Tlení



Obrázek 2 – 2D mapa



Obrázek 3 - Graf



## 5.2 Vzorek 1(b) – jabloň domácí (*Malus domestica*) – simulace dutiny

Tlení ve špalku bylo vydlabáno a vznikla tak dutina skrz celý vzorek, která měla průměr cca 17 cm. Ta byla vidět na obrázcích 4 a 5. Protože čidla zůstala při odstranění tlení na svých místech, byla tam stejná systémová chyba u čidel 4 a 10, jako u předchozího měření.

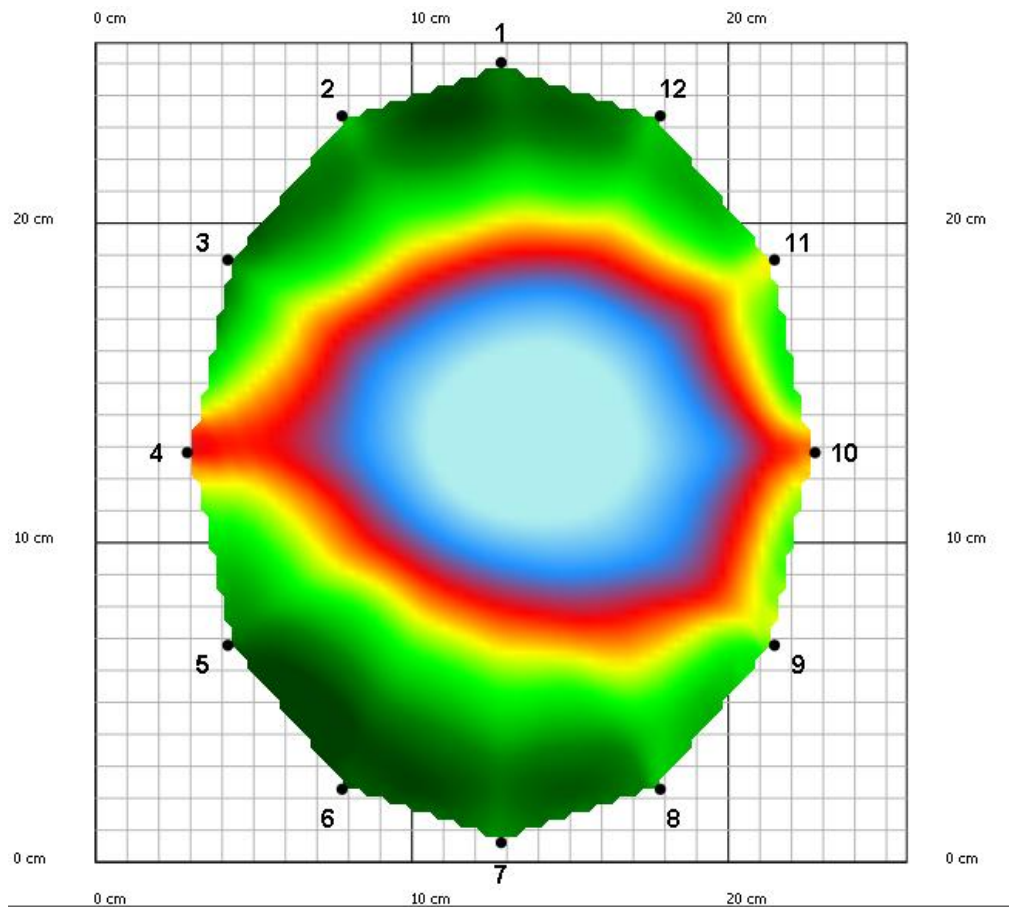
Na obrázcích 6 a 7 byla též viditelná barva od tmavě zelené po světle modrou. Při porovnání obrázku 2 a 6 bylo zjištěno, že se poškození jeví stejně.



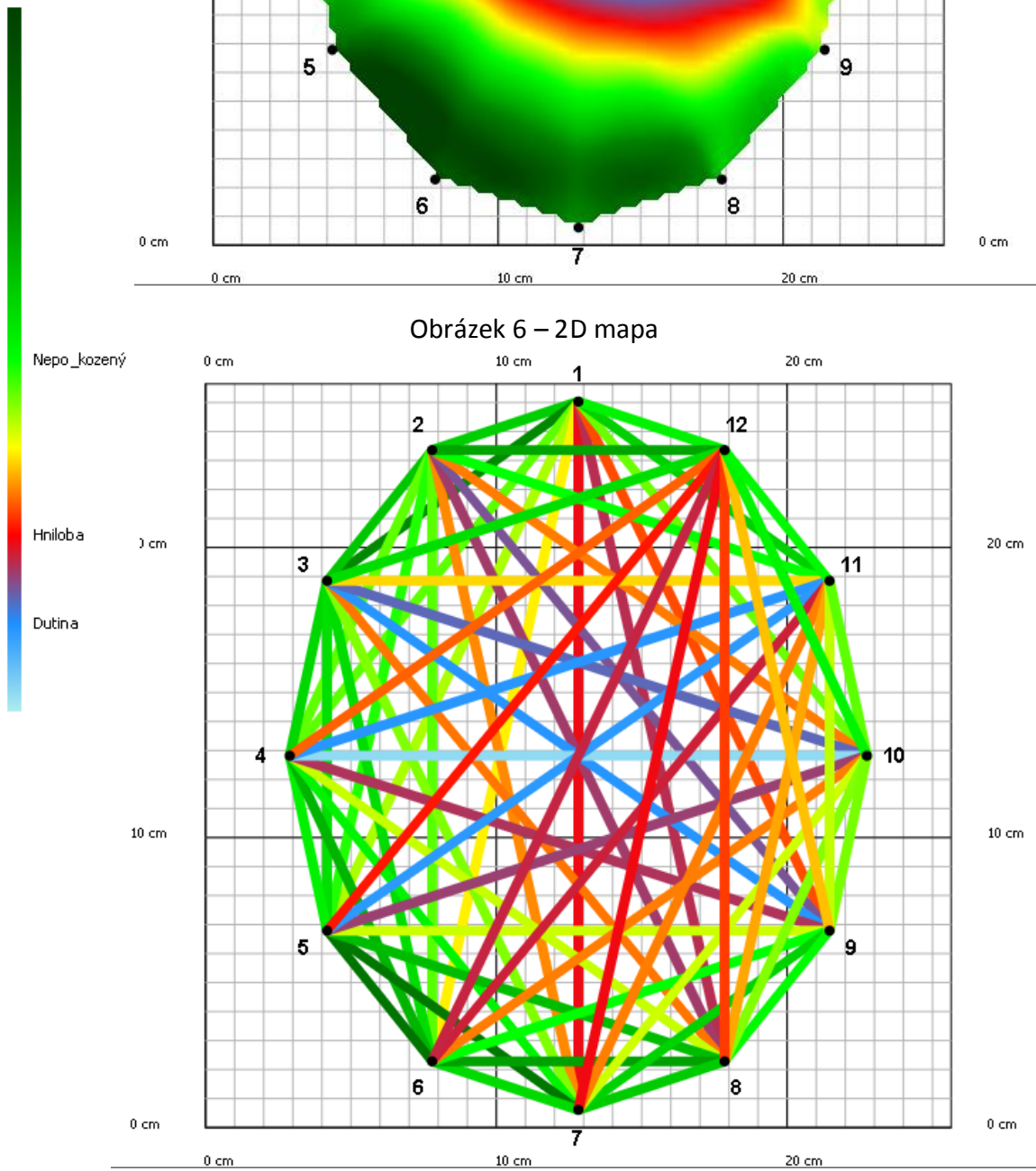
Obrázek 4 - Dutina



Obrázek 5 – Dutina s pásmem



Obrázek 6 – 2D mapa



Obrázek 7 - Graf

### 5.3 Vzorek 2 – vrba bílá (*Salix alba*) – simulace dutiny

Dutina vzorku byla vytvořena vrtačkou s korunkou a motorovou pilou. Průměr dutiny byl cca 11 cm. Protože strom měl už i tlení, celkový průměr dutiny s tlením tvořilo 16 cm. Lze vidět na obrázcích 8 a 9.

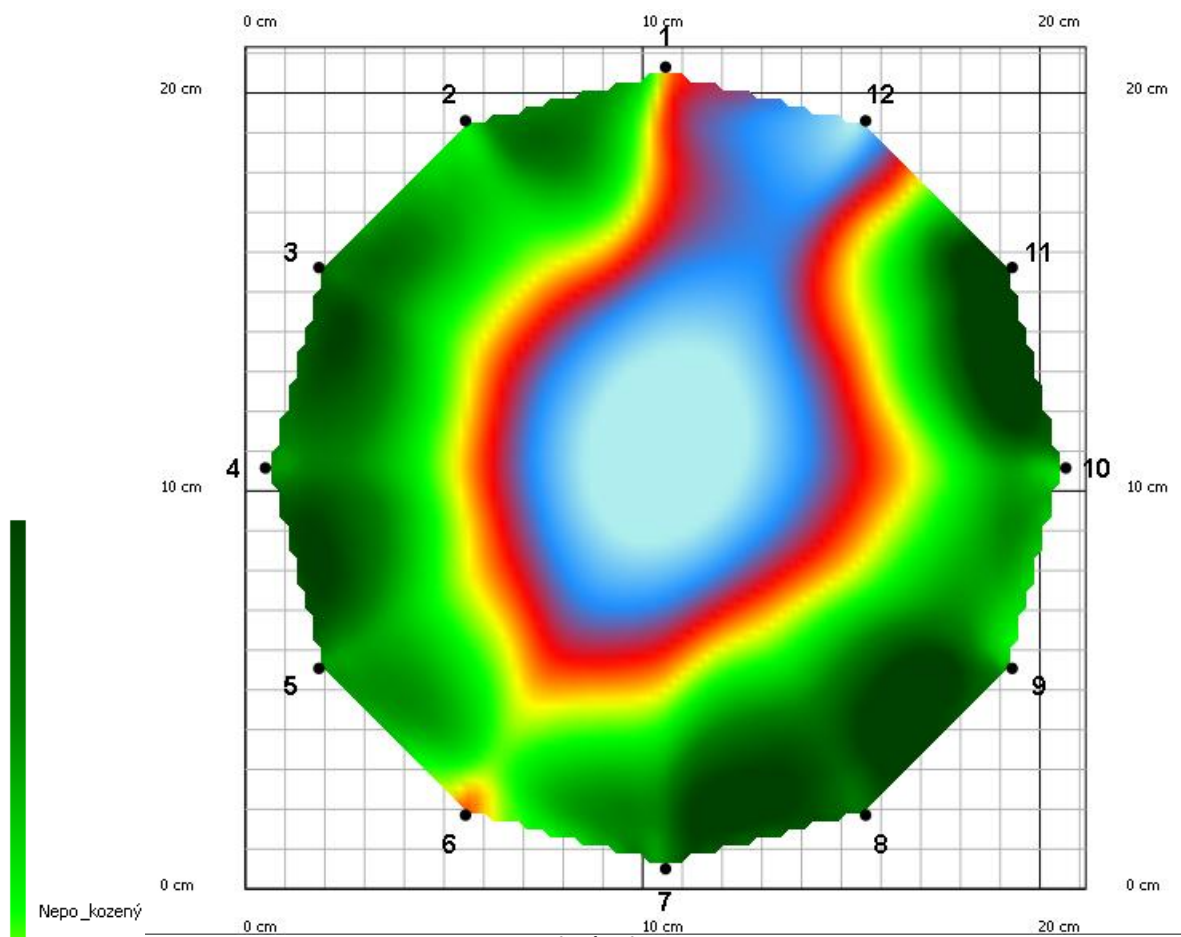
Na obrázcích 10 a 11 byla vidět též barva od tmavě zelené po světle modrou. Dutina zde byla viditelná a tlení se též zobrazovalo jako dutina.



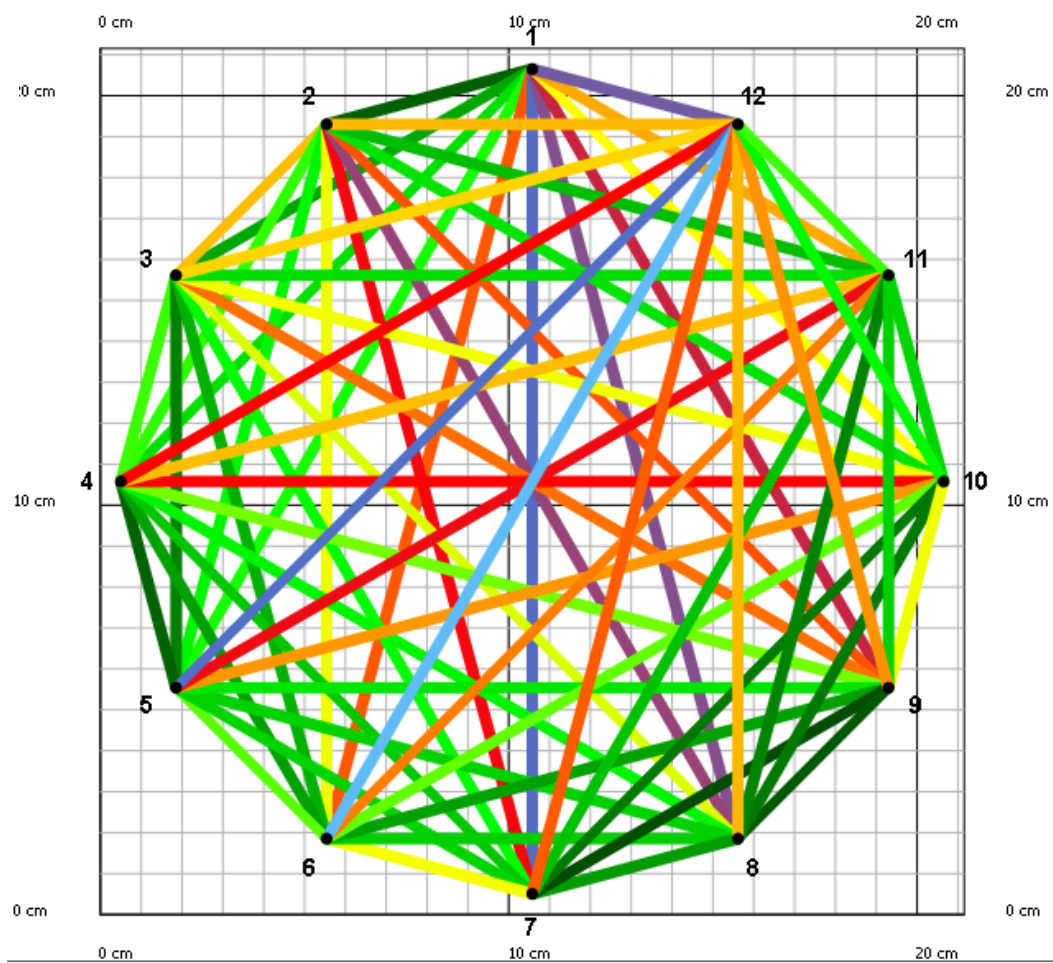
Obrázek 8 - Dutina



Obrázek 9 – Dutina s pásmem



Obrázek 10 – 2D mapa



Obrázek 11 - Graf

#### 5.4 Vzorek 3 – vrba bílá (*Salix alba*) – simulace dutiny

Dutina byla vytvořena stejně jako u předešlého vzorku vrtačkou s korunkou a motorovou pilou. Dutina měla průměr cca 15 cm. Simulovaná dutina byla viditelná na obrázcích 12 a 13.

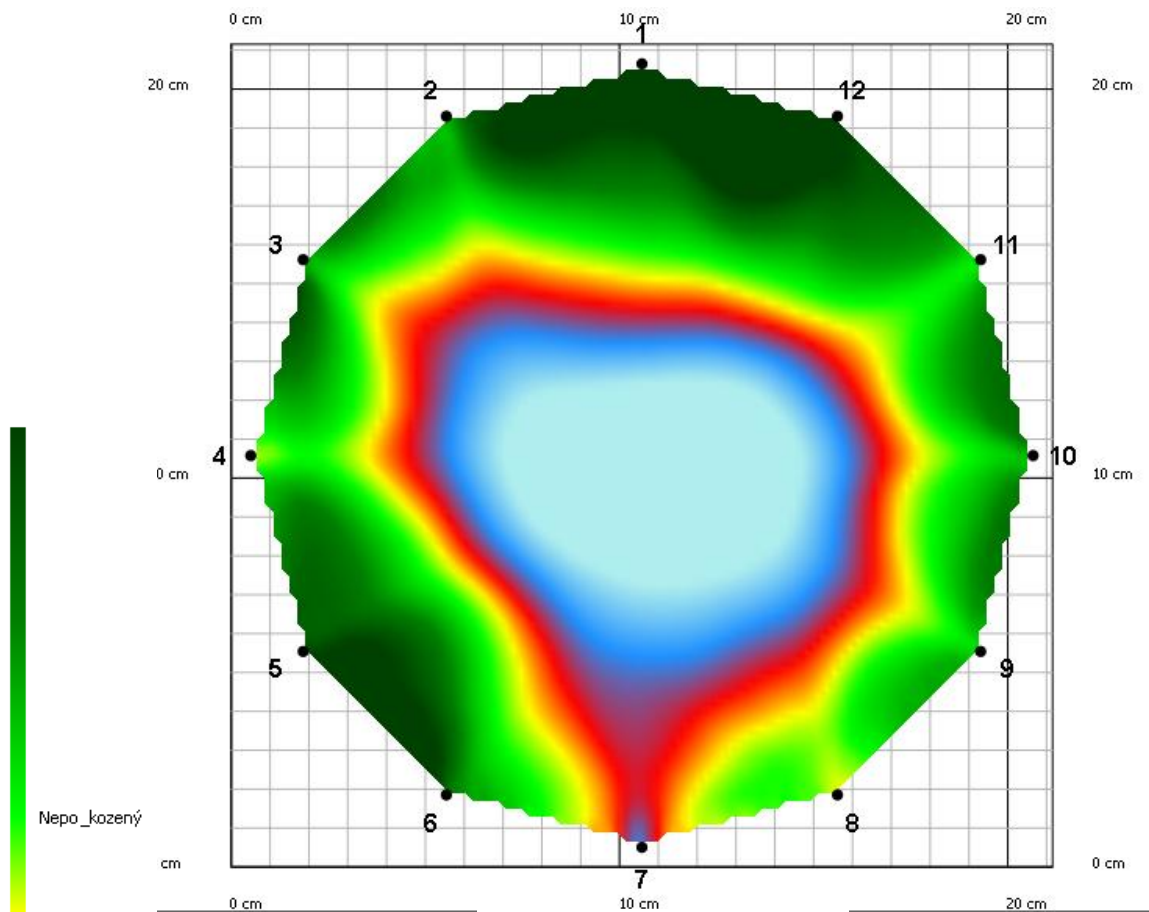
Na obrázcích 14 a 15 byla vidět barva od tmavé zelené po světle modrou. Dutina zde byla vidět.



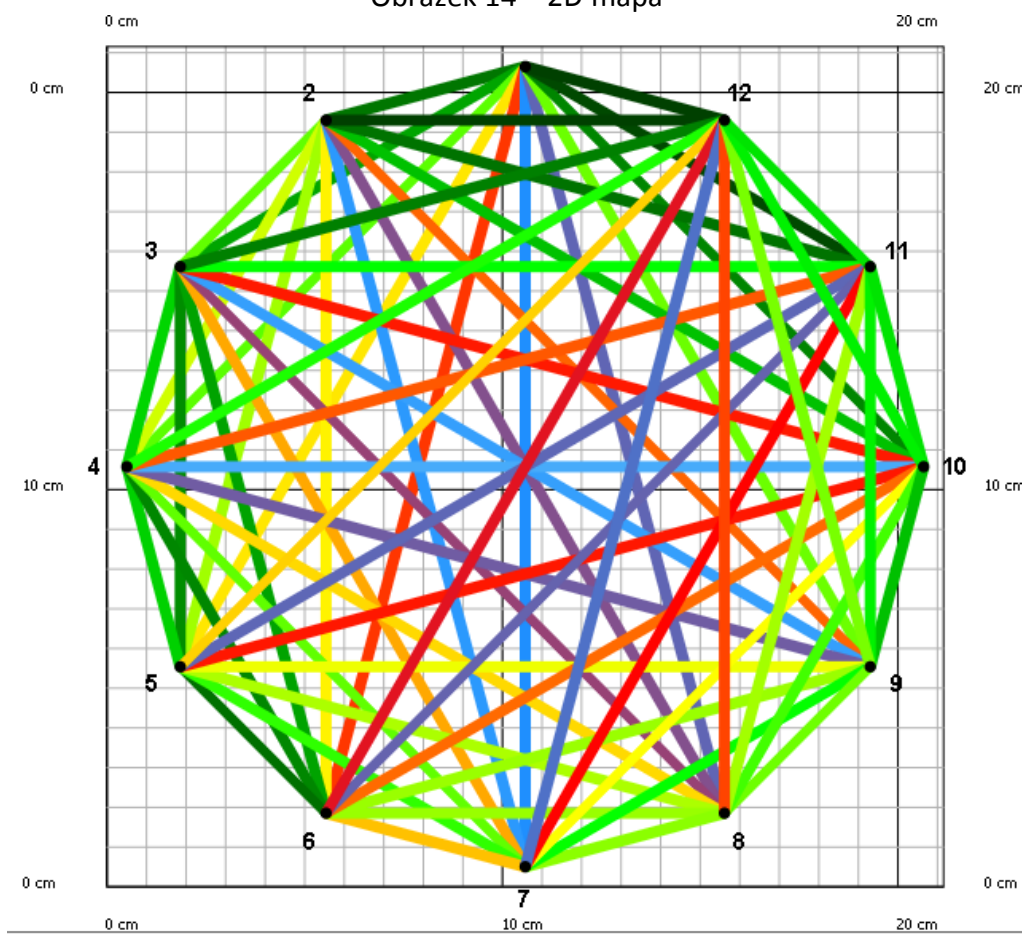
Obrázek 12 - Dutina



Obrázek 13 – Dutina s pásmem



Obrázek 14 – 2D mapa



Obrázek 15 - Graf

## 5.5 Vzorek 4 (a) – smrk ztepilý (*Picea abies*) – simulace zmrznutí kmene

Do špalku byla udělána s pomocí vrtačky s korunkou dutina, která měla průměr 10 cm. Do dutiny se napustila voda a celý vzorek se dal zamrazit do mrazáku. Dutina s ledem byla vidět na obrázcích 16 a 17.

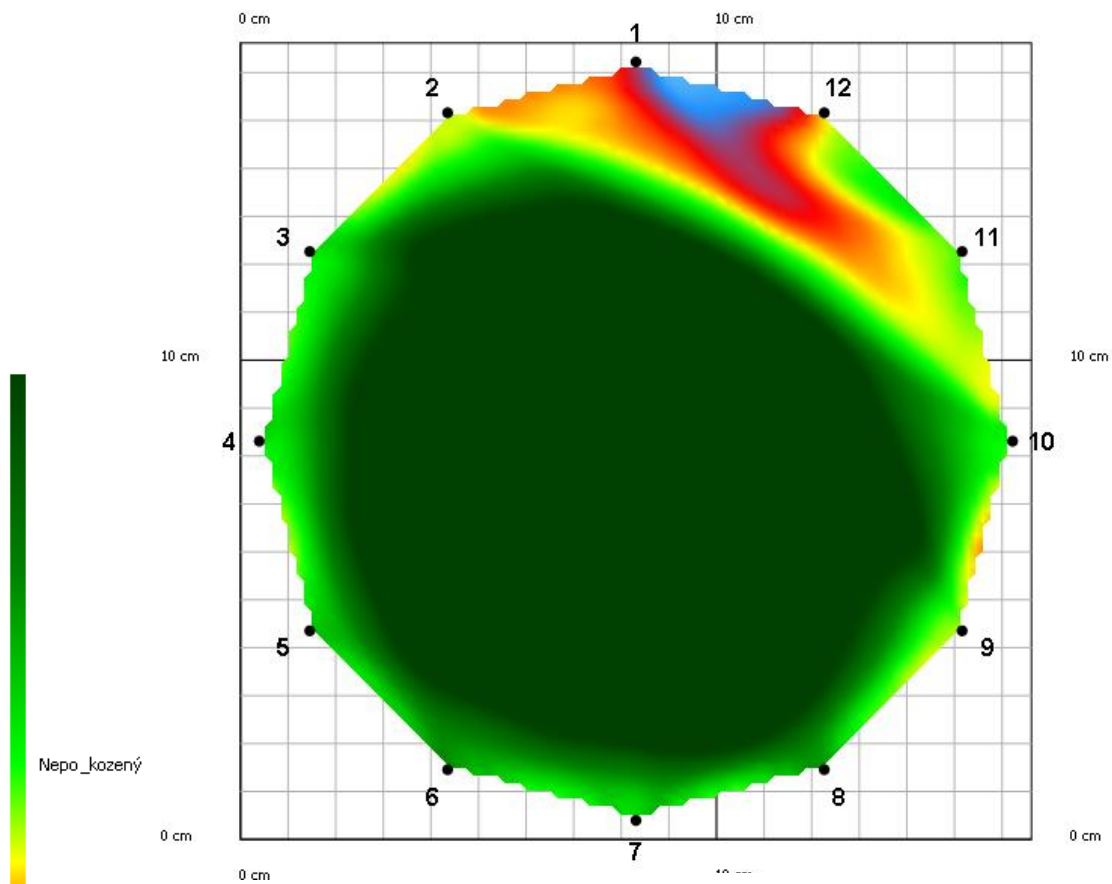
Při mrazení došlo k prasklině, ta se nacházela mezi čidlem 1 - 12. Prasklina byla široká 1 cm a dlouhá přes celou výšku vzorku. Na obrázcích 18 a 19 se nacházela barva od tmavě zelené po světle modrou. Zde byla zaregistrována pouze prasklina.



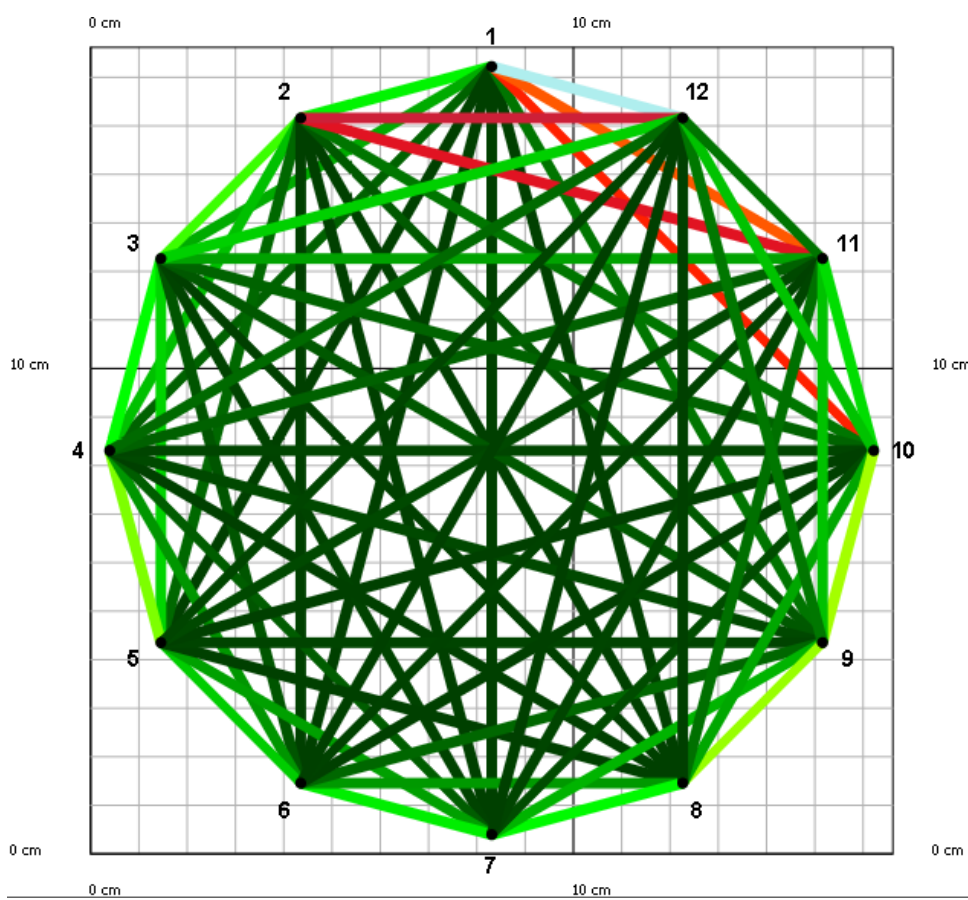
Obrázek 16 – Dutina s ledem



Obrázek 17 – Dutina s ledem a pásmem



Obrázek 18 – 2D mapa



Obrázek 19 - Graf



## 5.6 Vzorek 4 (b) – smrk ztepilý (*Picea abies*) – simulace rozmrznutí kmene

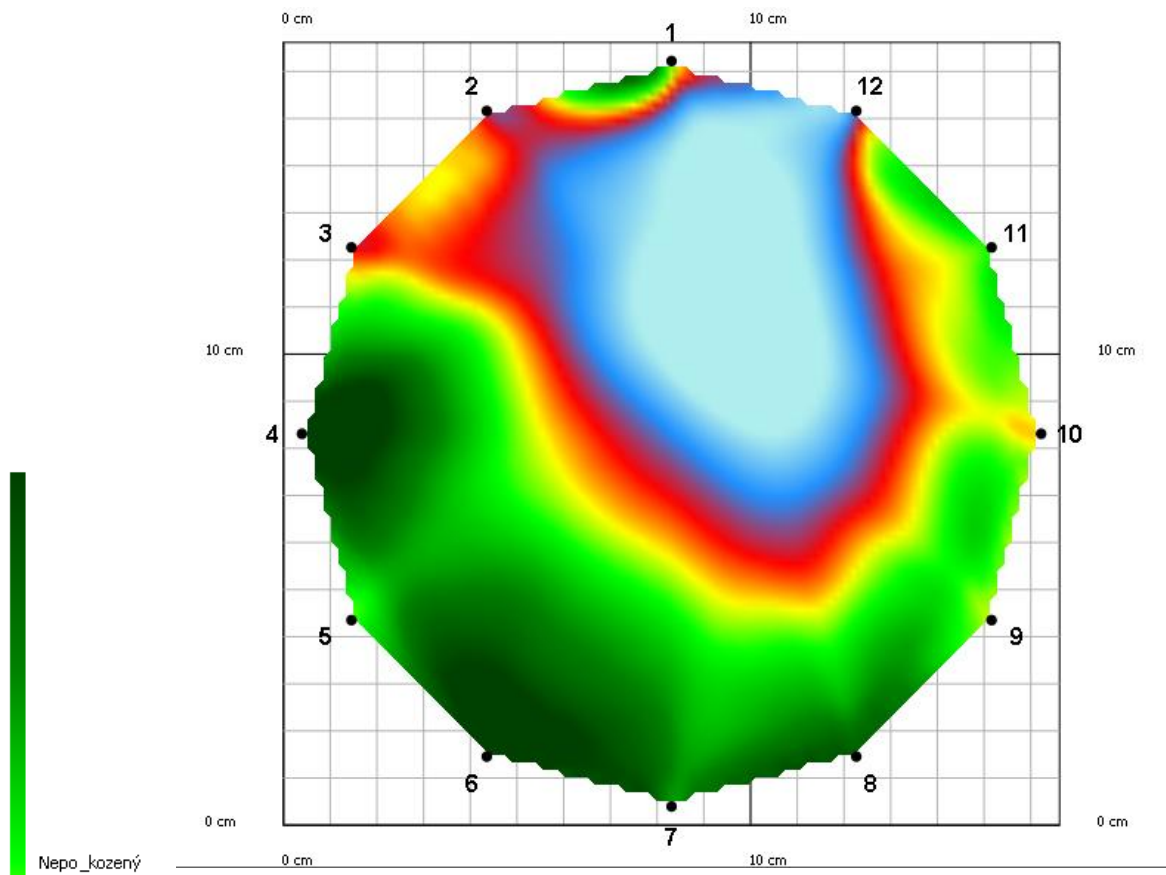
Dutina s ledem se nechala rozmrznout a zbytek vody se vylil. Čidla byla na stejném místě, proto byla prasklina opět mezi čidly 1 - 12. Dutinu bylo vidět na obrázcích 20 a 21. Na obrázcích 22 a 23 byla barva od tmavě zelené po světle modrou. Tady už byla dutina znatelná.



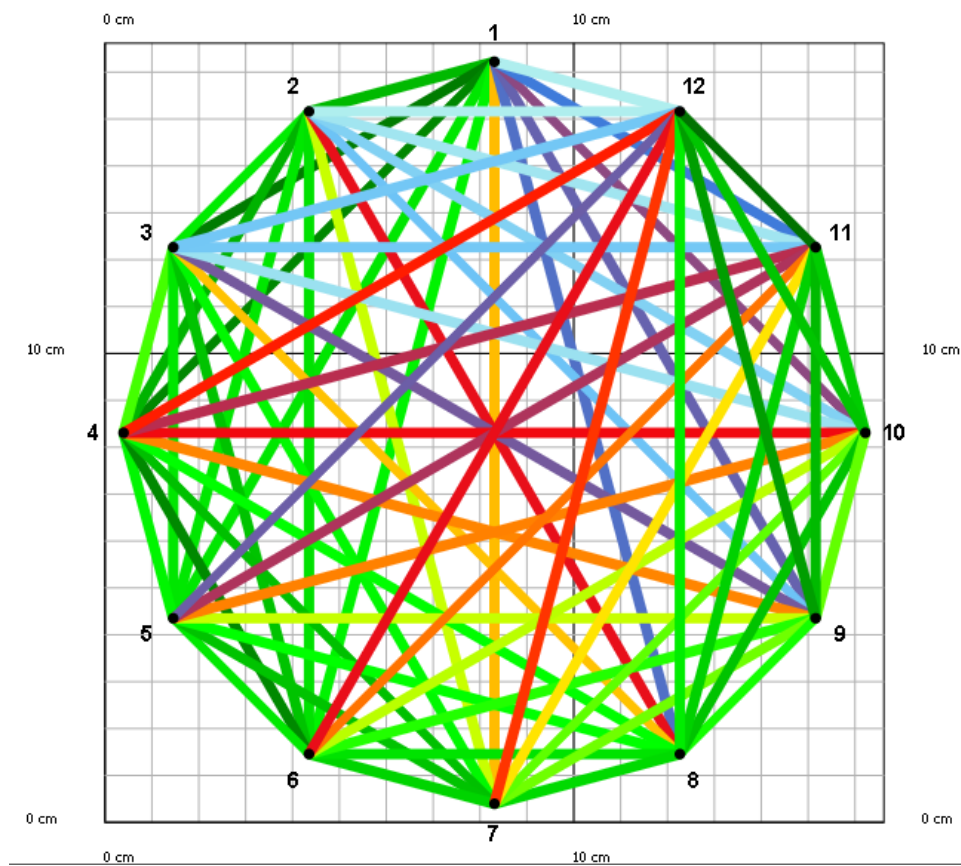
Obrázek 20 - Dutina



Obrázek 21 – Dutina a prasklina



Obrázek 22 – 2D mapa



Obrázek 23 - Graf

## 5.7 Vzorek 5 (a) – buk lesní (*Fagus sylvatica*) – bez simulace, bez poškození

U toho vzorku se odstranila kůra a čidla se umístila 24 cm od vrchu. Bylo to možné vidět na obrázcích 24 a 25. Toto měření se dělalo pro porovnání s následujícím měřením, u kterého bylo simulováno poškození.

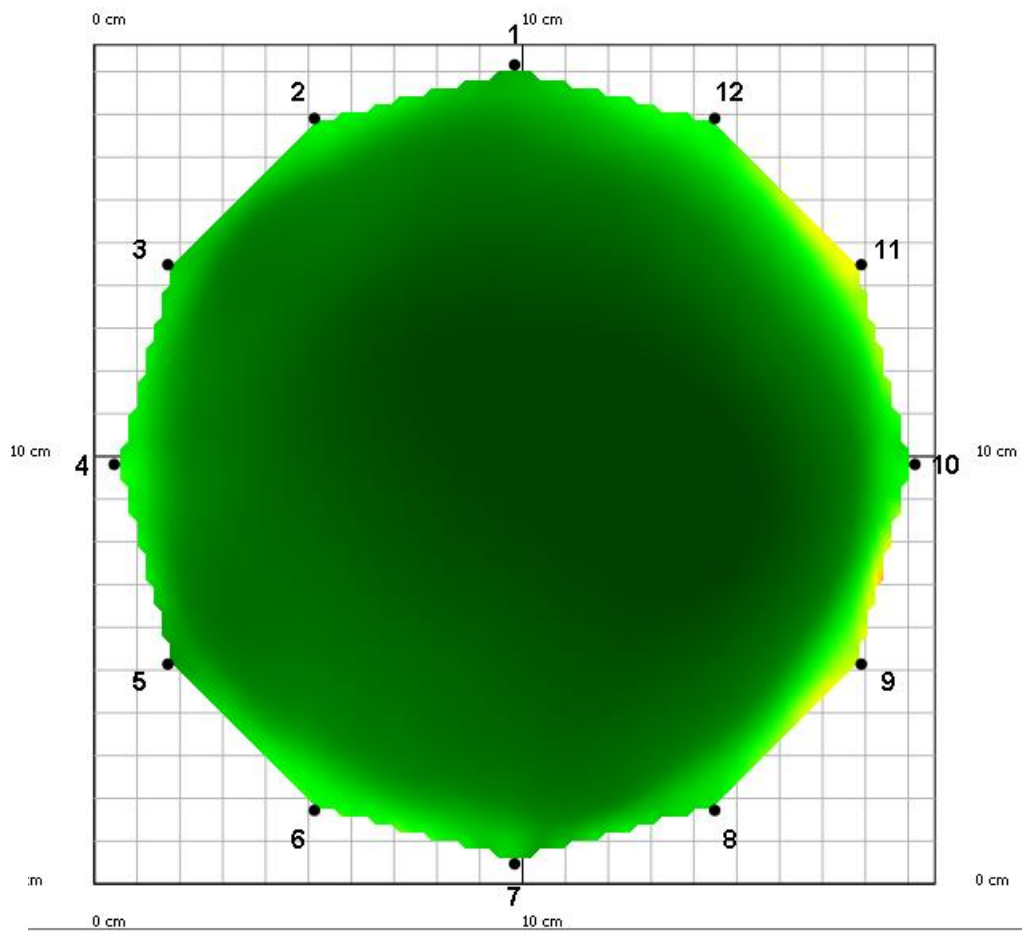
Na obrázcích 26 a 27 byla vidět jen odstíny zelené barvy, která určovala, že byl vzorek bez poškození.



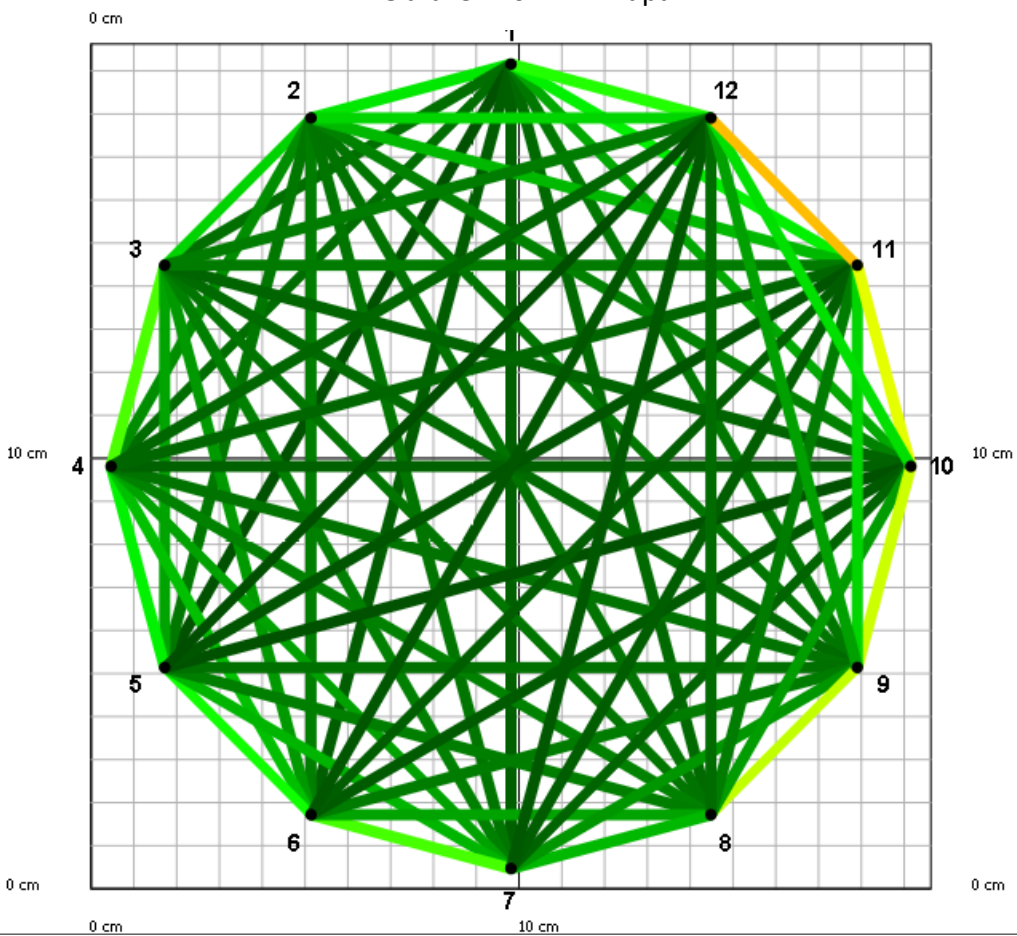
Obrázek 24 – Bez poškození



Obrázek 25 – Bez poškození, pohled ze shora



Obrázek 26 – 2D mapa



Obrázek 27 - Graf

## 5.8 Vzorek 5 (b) – buk lesní (*Fagus sylvatica*) – simulace kovového předmětu kolem kmene

Na oloupanou kůru se omotal drát, který byl 17 cm nad čidly. Čidla byla na stejném místě jako u předchozího měření. Tento simulovaný kovový předmět kolem kmene byl vidět na obrázcích 28 a 29.

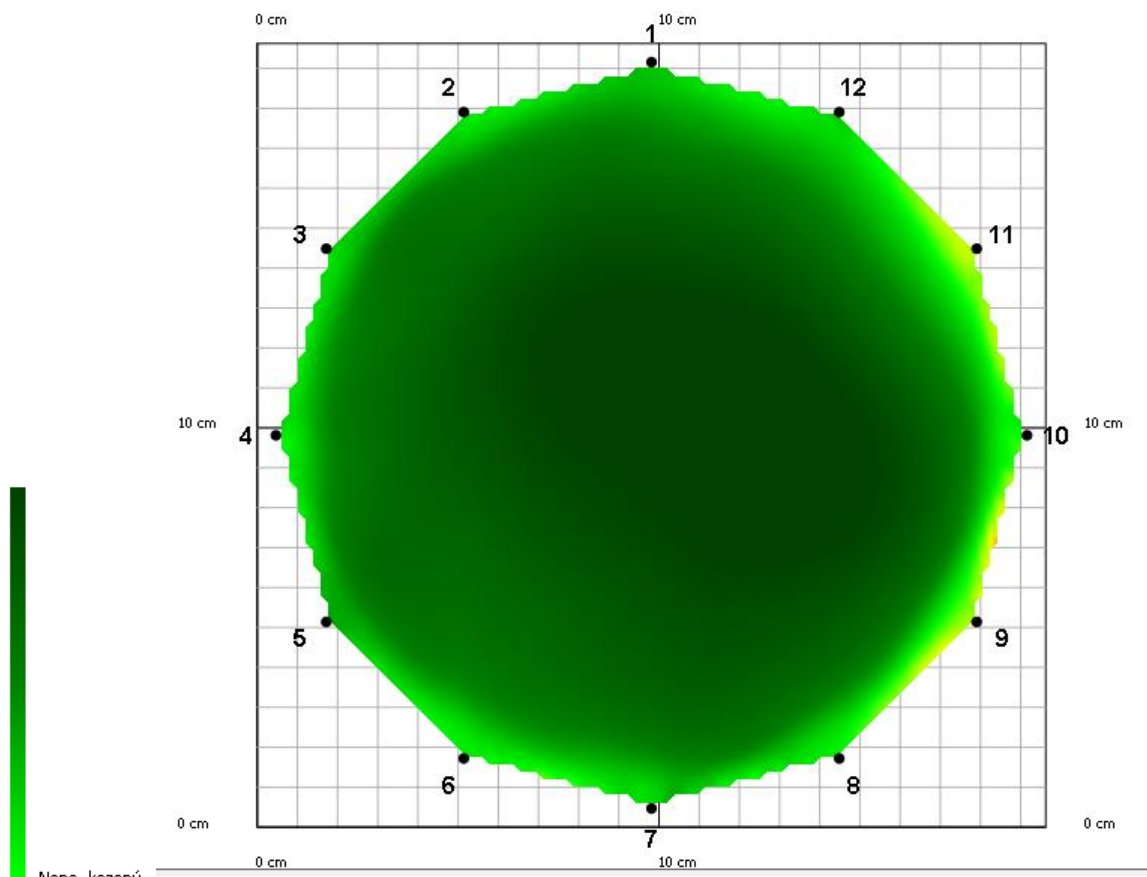
Na obrázcích 30 a 31 byl vidět pouze odstín zelené barvy. Toto poškození bylo pro program nepatrné a nezaregistroval ho.



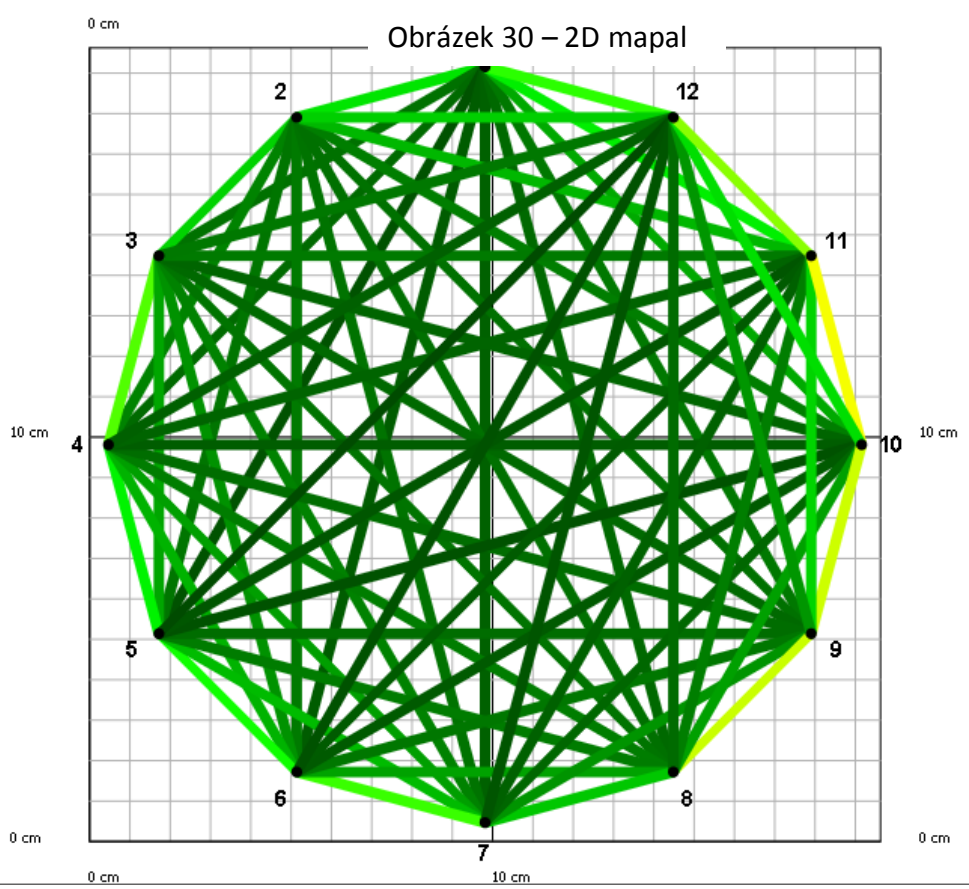
Obrázek 28 – Kovový předmět



Obrázek 29 – Kovový předmět a pásmo



Obrázek 30 – 2D mapal



Obrázek 31 - Graf

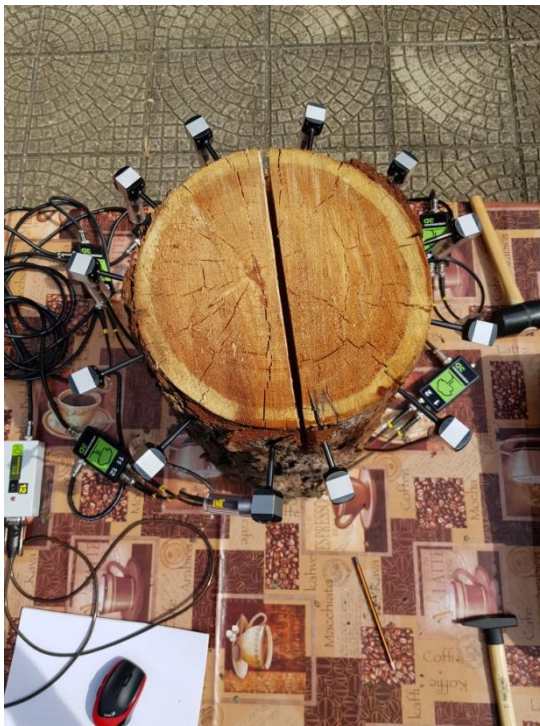
## 5.9 Vzorek 6 – modřín opadavý (*Larix decidua*) – simulace řezu

U vzorku byl veden řez motorovou pilou přes průměr špalku, mezi čidly 1 – 12 a 6 – 7. Hloubka řezu byla 6,2 cm, šířka řezu byla 1 cm. Poškození bylo možné sledovat na obrázcích 32 a 33.

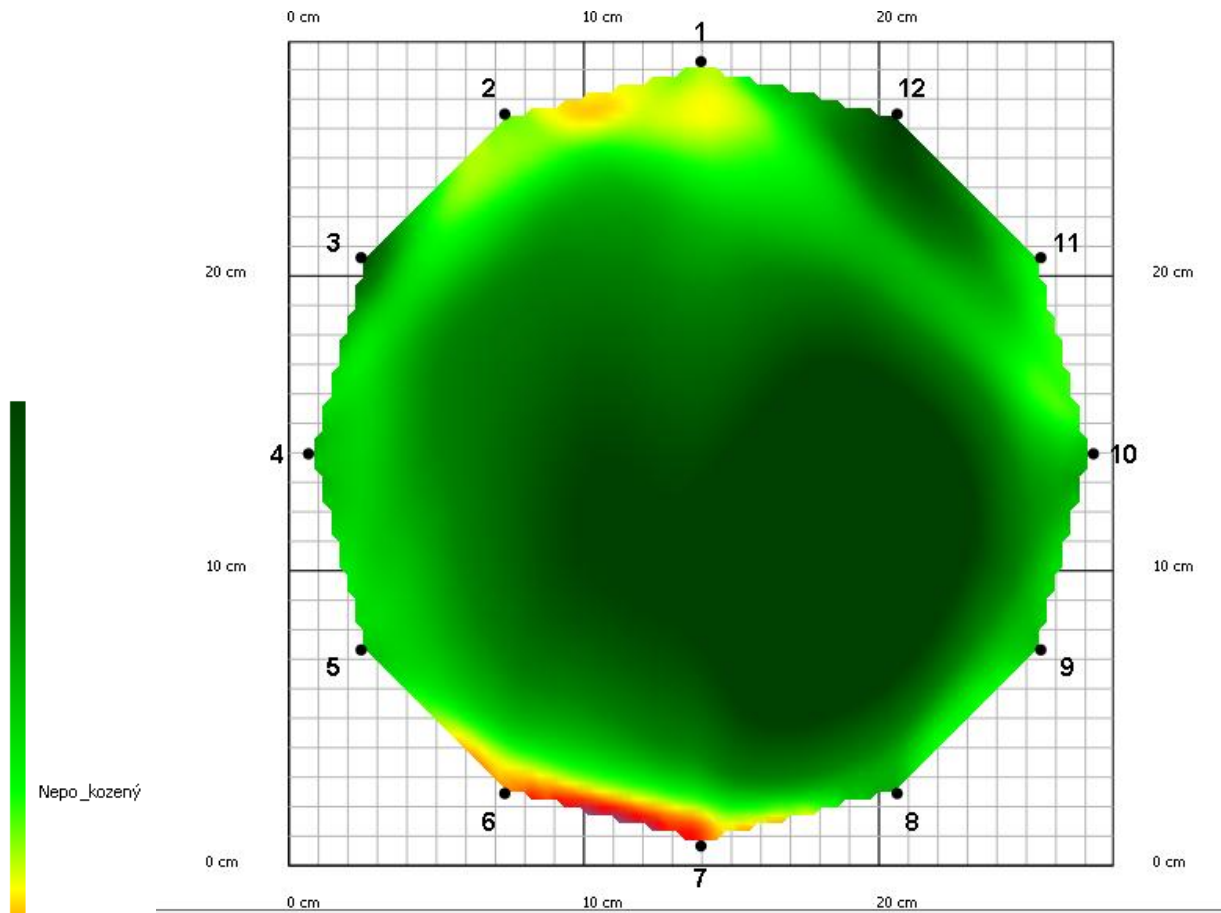
Na obrázcích 34 a 35 byla rozpoznatelná barva od tmavě zelené po fialovou. Poškození je znatelné pouze mezi čidly 6 – 7.



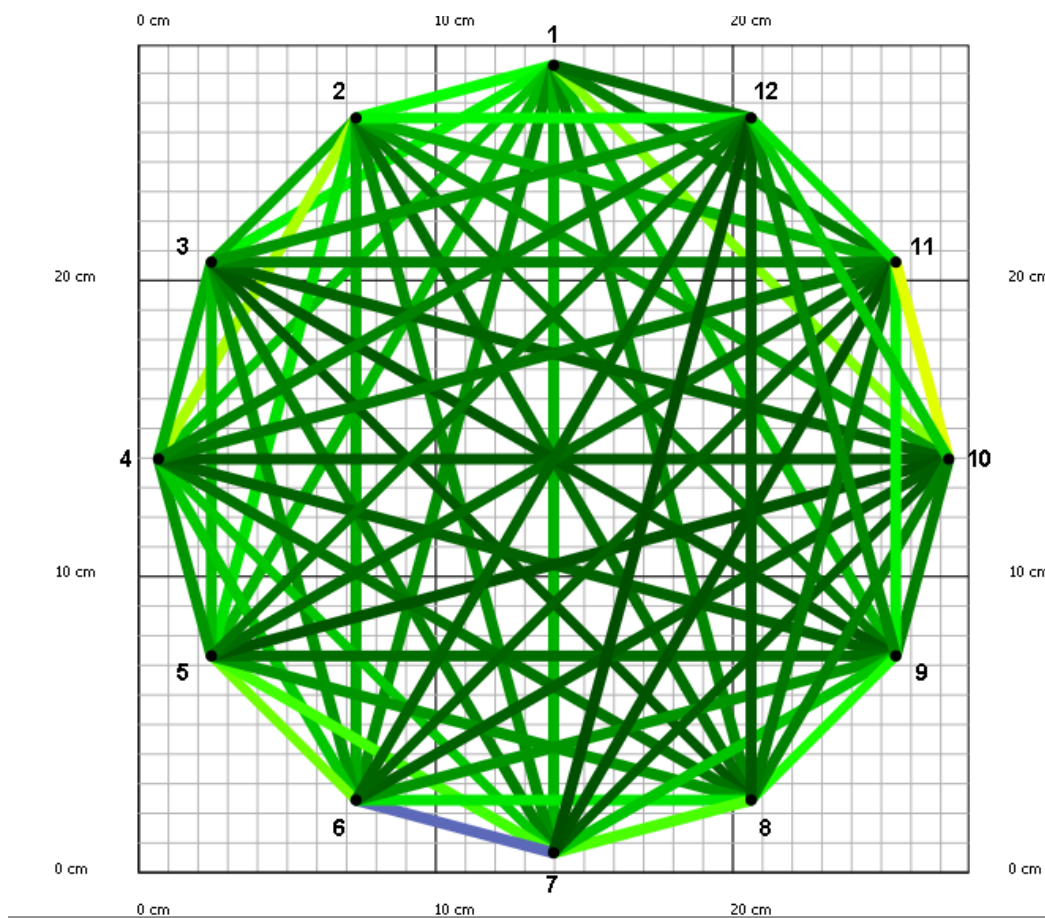
Obrázek 32 – Řez



Obrázek 33 – Řez



Obrázek 34 – 2D mapa



Obrázek 35 - Graf



## 5.10 Vzorek 7 – smrk ztepilý (*Picea abies*) – simulace řezu

U vzorku byl veden řez motorovou pilou přes průměr špalku, mezi čidly 1 – 12 a 6 - 7. Hloubka řezu byla 6,2 cm, šířka řezu byla 1 cm. Poškození bylo možné sledovat na obrázcích 36 a 37.

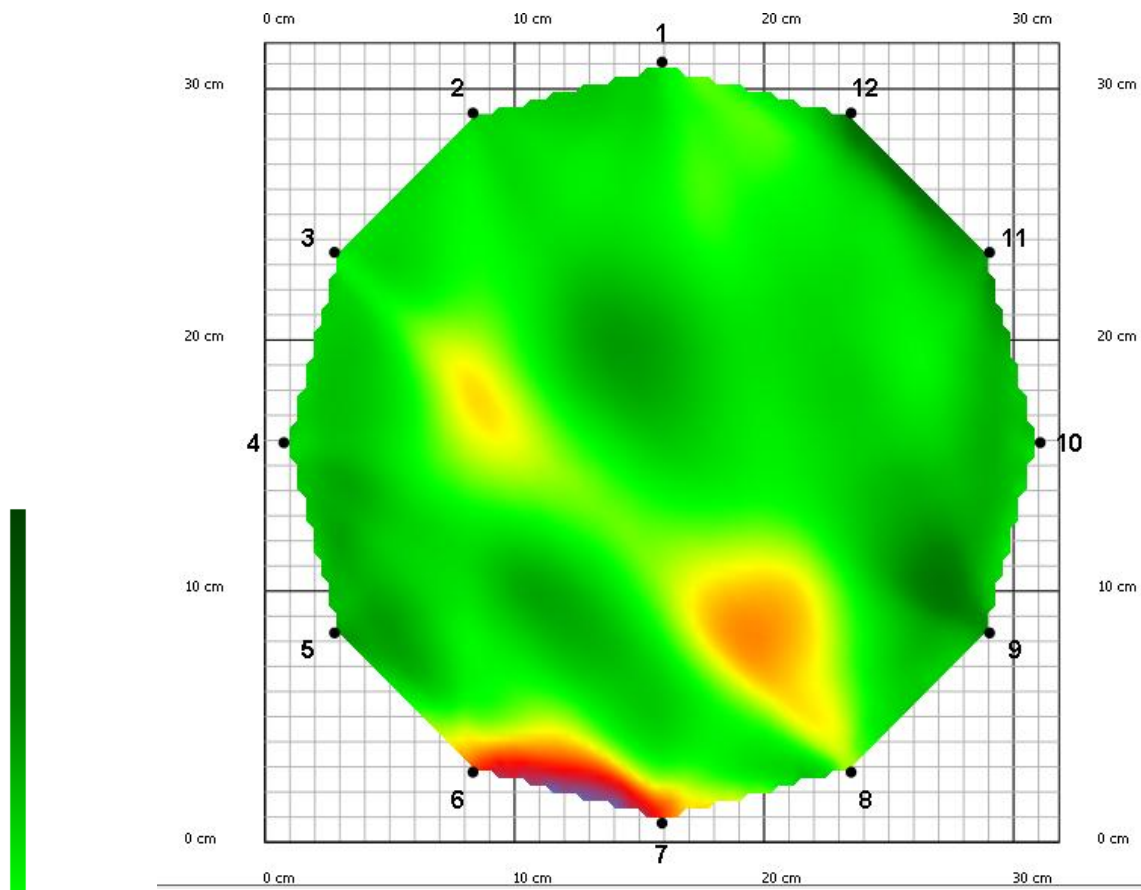
Na obrázcích 38 a 39 byla rozpoznatelná barva od tmavě zelené po světle modrou. Poškození je znatelné pouze mezi čidly 6 – 7.



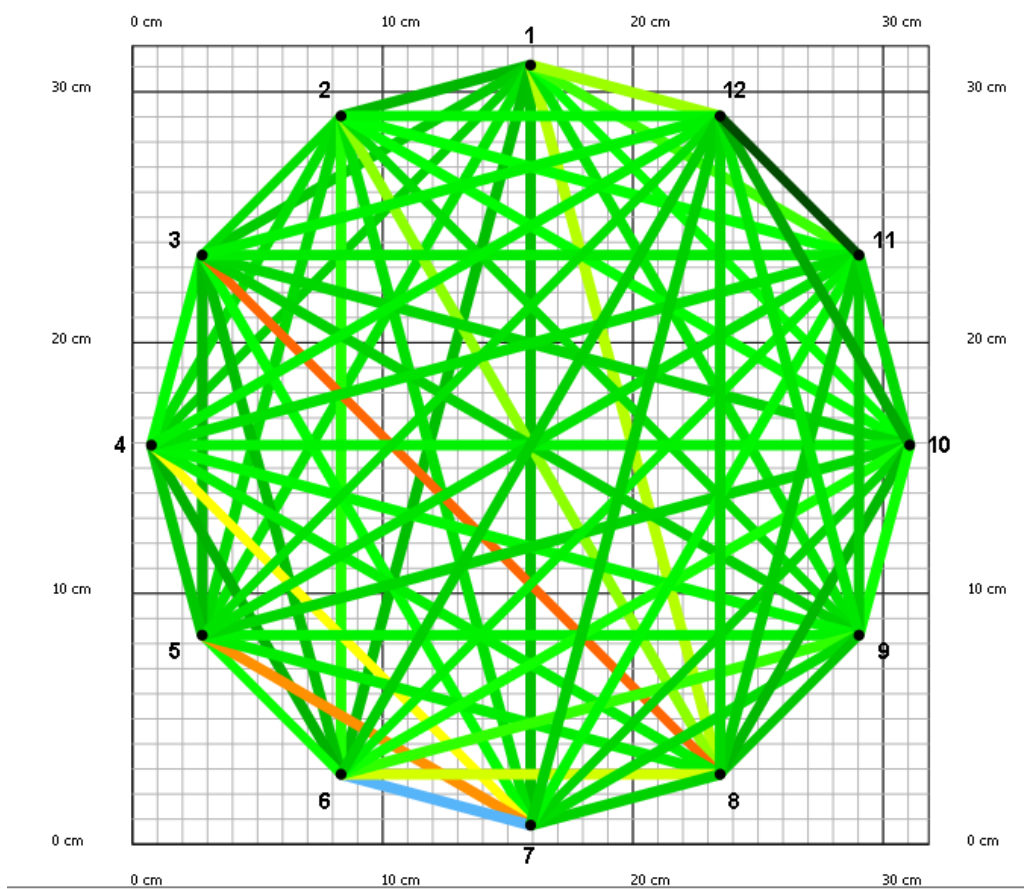
Obrázek 36 - Řez



Obrázek 37 - Řez



Obrázek 38 – 2D mapa



Obrázek 39 - Graf

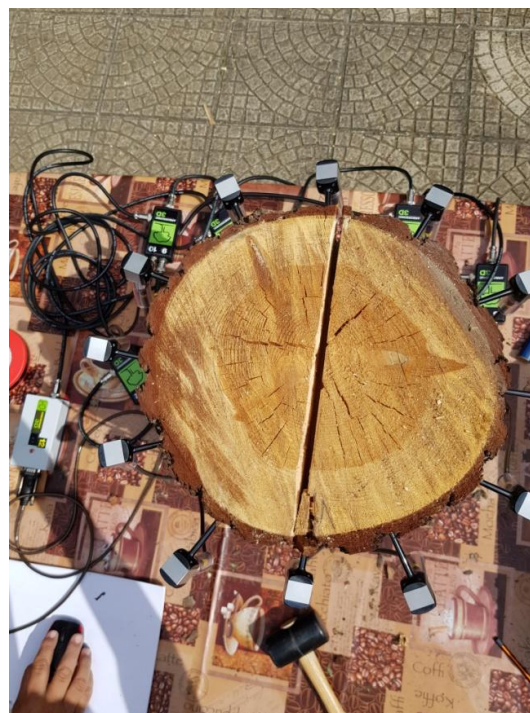
### 5.11 Vzorek 8 – borovice lesní (*Pinus sylvestris*) – simulace řezu

U vzorku byl veden řez motorovou pilou přes průměr špalku, mezi čidly 1 – 12 a 6 – 7. Hloubka řezu byla 6,2 cm, šířka řezu byla 1 cm. Poškození bylo možné sledovat na obrázcích 40 a 41.

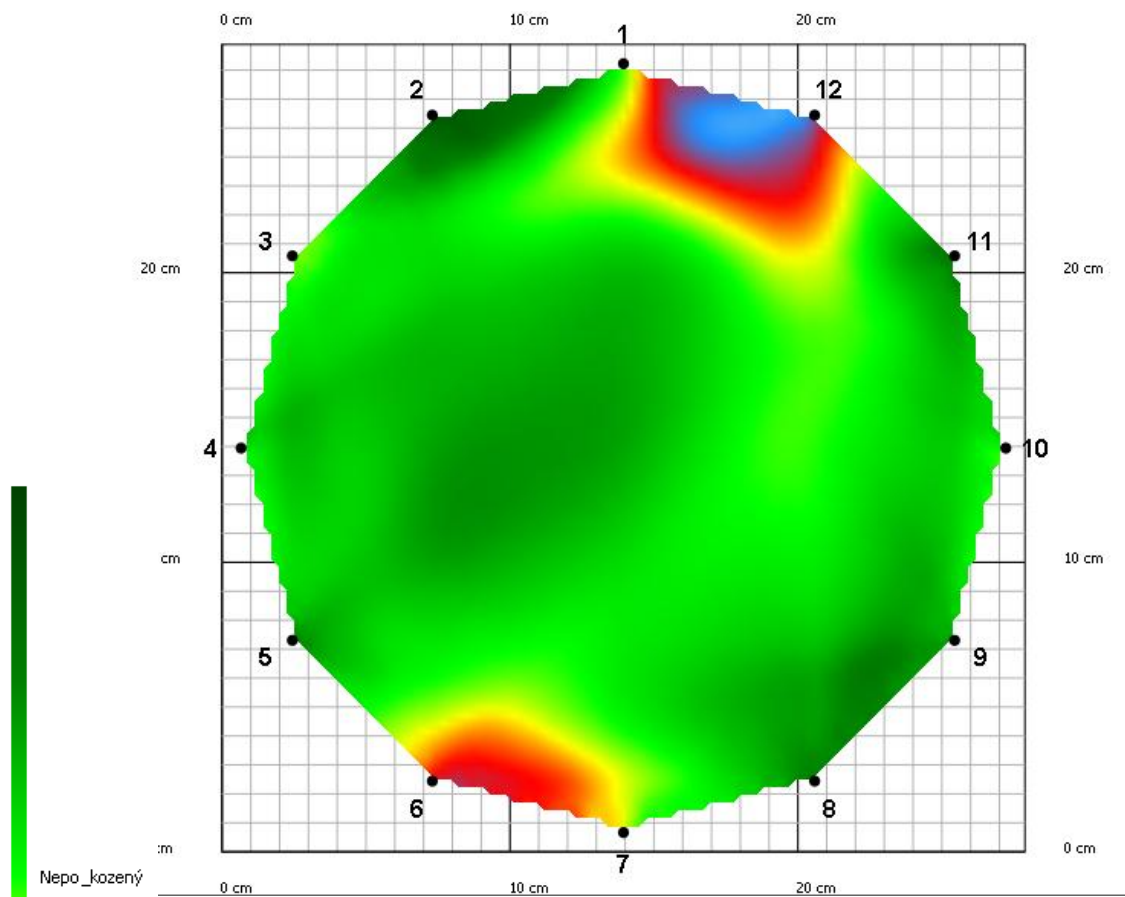
Na obrázcích 42 a 43 byla rozpoznatelná barva od tmavě zelené po tmavě modrou. Poškození je znatelné mezi čidly 1 – 12 a 6 – 7.



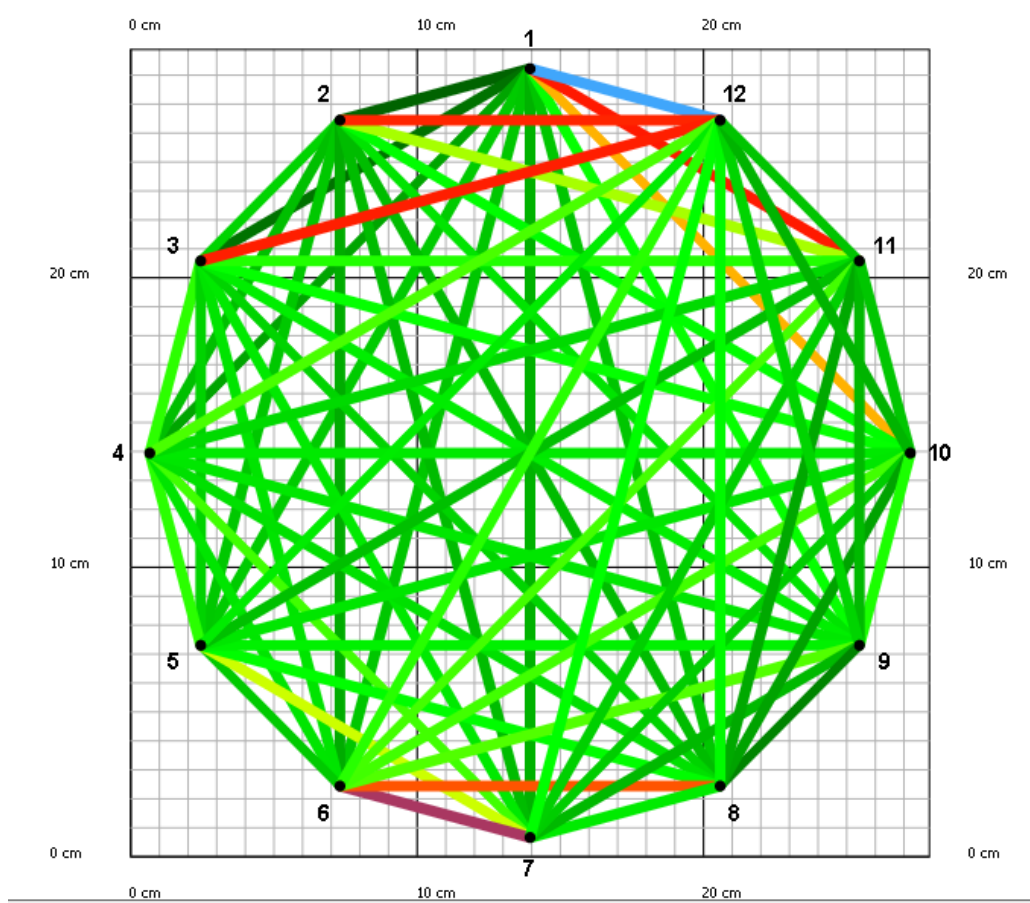
Obrázek 40 - Řez



Obrázek 41 - Řez



Obrázek 42 – 2D mapa



Obrázek 43 - Graf

## 6 Diskuze

Diplomová práce se zabývá poškozením dřevin, hodnocením dřevin, použitím akustického přístroje, šířením zvuku, zobrazením nasimulovaných poškození, porovnáním výsledků a jejich vysvětlením.

Má diplomová práce navazovala na moji bakalářskou práci, v které jsem simulovala na vzorcích dřevin menší poškození, jako jsou např. hřebík, více hřebíků na jednom místě, otvor vrtačkou, svislá dutina vytvořená vrtačkou a frézku. Tato poškození akustický tomograf skoro nezachytil. Dále má diplomová práce navazovala na bakalářské práce Maňáka z roku 2013 a Stacha z roku 2018/2019.

Sandoz et al. v roce 2000 uvádějí rychlost zvuku ve dřevě s hnilobou v rozmezí 600 – 1 200 m/s a rychlost zvuku procházející ve zdravém dřevě v rozmezí 1 200 - 2 000 m/s. V mé diplomové práci byla u vzorku 1(a) jabloně domácí (*Malus domestica*) nejnižší rychlost 618 m/s mezi čidlem 10 a 4 a nejvyšší rychlost 1372 m/s ve zdravé části. U vzorku 1(b) jabloně domácí (*Malus domestica*) byla nejnižší rychlost 635 m/s mezi čidly 10 a 4 a nejvyšší rychlost 1463 m/s ve zdravé části. Dále u vzorku 2 vrby bílé (*Salix alba*) byla nejnižší rychlost 615 m/s mezi čidly 6 a 12 a nejvyšší rychlost byla 1474 m/s ve zdravém dřevě. Vzorek 3 vrby bílé (*Salix alba*) měl nejmenší naměřenou rychlost 611 m/s, která se nacházela mezi čidly 10 a 4 a největší rychlostí byla hodnota 1857 m/s ve zdravém dřevě. Další byl vzorek 4(a) smrku ztepilého (*Picea abies*), který měl nejmenší rychlost 622 m/s mezi čidly 12 a 1, největší rychlostí 1870 m/s ve zdravé části. U vzorku 4(b) smrku ztepilého (*Picea abies*) byla naměřená nejnižší rychlost 500 m/s mezi čidly 1 a 12 a nejvyšší rychlost byla 1366 m/s u zdravého dřeva. Vzorek 5(a) buku lesního (*Fagus sylvatica*) měl obě rychlosti ve zdravém dřevě, nejnižší rychlost byla 1048 m/s a nejvyšší 1693 m/s. U vzorku 5(b) buku lesního (*Fagus sylvatica*) byly též obě rychlosti ve zdravém dřevě, nejmenší rychlost byla 1025 m/s a největší rychlost byla 1693 m/s. U vzorku 6 modřínu opadavého (*Larix decidua*) byla nejnižší rychlost 692 m/s mezi čidly 6 a 7 a nejvyšší rychlost 1448 m/s ve zdravém dřevě. U vzorku 7 smrku ztepilého (*Picea abies*) byla nejnižší rychlost 665 m/s mezi čidly 6 a 7 a nejvyšší rychlost byla 1589 m/s ve zdravé části. Vzorek 8 borovice lesní (*Pinus sylvestris*) měl nejmenší rychlost 700 m/s mezi čidly 1 a 12 a největší rychlost měla 1514 m/s ve zdravé části. Změřené hodnoty tedy souhlasí s daným rozmezím rychlostí ve zdravém dřevě a ve dřevě s hnilobou.

Salava v roce 1979 uvádí rychlost zvuku procházející napříč lety jako hodnotu 1 500 m/s. Tato hodnota se řadí do rozmezí rychlosti zvuku pro zdravé dřevo stanovené Sandoz et al. v roce 2000.

Balabán v roce 1955 sděluje v roce 1955, že dřevo vede zvuk lépe, když je suché, vlhkým dřevem prochází zvuk hůře. Toto může být důvod, proč se u měření dutiny smrku (*Picea abies*), která byla vlhká, změřila nejnižší rychlost 500 m/s.

Balabán dále uvádí, že rychlost zvuku je závislá na druhu dřeviny. Toto tvrzení se potvrdilo při řezu motorovou pilou, kdy při stejném poškození se výsledky u rozdílných dřevin (*Larix decidua*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*) zobrazily jinak.

Praus uvádí, že při vizuálním hodnocení, které prováděl, bylo rozhodnuto u dřeviny *Tilia plathyphyllos* (lípa velkolistá) k rozšíření hodnocení akustickým tomografem. *Tilia* byla měřena ve třech úrovních, ale v prostřední úrovni došlo pravděpodobně k chybě, která ukazovala, že by měl být kmen bez poškození, ale vizuální hodnocení tomu neodpovídalo. Mohlo to být způsobeno předpokladem přístroje, že dřeň stromu bývá nejzdravější. Po úpravě nastavení rychlosti zvuku, se už v prostřední úrovni ukázalo rozsáhlé poškození, které bylo o 60 % větší. Výsledek by měl být pravděpodobnou situací mezi těmito úpravami. (2016) Z toho vyplývá, že přístroje nevyhodnotí vždy správné výsledky a mohou se tak stát nedůvěryhodnými. Člověk, který měření provádí, by toto měl vzít v potaz. Pokud výsledky neodpovídaly, mělo by se měření udělat víckrát nebo použít k ověření jiný diagnostický přístroj.

V bakalářské práci, která byla napsaná v roce 2013, Maňák měřil akustickým tomografem vzorky dřevin s nasimulovaným poškozením. Jedním z nasimulovaných poškození byl řez motorovou pilou přes celý průměr vzorku buku (*Fagus sylvatica*) s různou hloubkou řezu, tedy 30 cm, 40 cm a 50 cm. U řezu s hloubkou 30 cm se žádné poškození neobjevilo, největší poškození se zobrazilo při hloubce 50 cm. V mé diplomové práci při měření na vzorcích z modřínu (*Larix decidua*) a ze smrku (*Picea abies*) s hloubkou řezu 6,5 cm se poškození objevilo jen na jednom okraji řezu, tedy mezi čidly 6 a 7. U vzorku z borovice (*Pinus sylvestris*) se při stejné hloubce objevilo poškození na obou okrajích řezu, tedy mezi čidly 6, 7 a 1, 12. Tento rozdíl u výsledků Maňáka a u mých výsledků mohl být způsoben odlišností druhů dřevin, tedy listnaté a jehličnaté dřeviny.

Stach se v roce 2018 a 2019 věnoval ve své bakalářské práci také měřením akustickým tomografem na simulacích poškození vzorků. Použil dva vzorky dřevin lípa (*Tilia cordata*) a smrk (*Picea abies*) a v každém změřil špalek bez dutiny, s dutinou, s dutinou vyplněnou pilinami, pískem, pěnou, vodou, betonem, vyžralým betonem a betonem do kterého se mlátilo palicí. Z jeho výsledku se zjistilo, že materiály, které přilnuly ke dřevu a nebyly porézní, se zobrazovaly jako zdravé dřevo bez dutiny. Tímto materiálem byl beton. V mé diplomové práci byl vzorek vydlabán, napuštěn vodou a zamrazen. Při měření tohoto vzorku se ve výsledné 2D mapě zobrazilo poškození jako zdravé dřevo, to mohlo být též způsobeno neporézností a přilnutím ledu ke zbytku dřeva. Dále se z jeho výsledků zjistilo, že materiály jako písek, piliny a pěna jsou porézní a zobrazují se jako dutiny. Stejně zobrazení výsledku při mém měření mělo tlení jabloně domácí (*Malus domestica*), u které se tlení ukazovalo jako dutina. To mohlo být způsobeno též porézností materiálu, kdy dochází k rozkladu dřeva.

## 7 Závěr

- Cílem této práce bylo nasimulovat poškození na vzorku dřeviny a porovnat průchod zvuku nepoškozeným a poškozeným vzorkem. Dále porovnat zjištěné údaje s rozsahem vytvořeného poškození.
- K hodnocení vzorků dřevin byl použit akustický tomograf, díky rychlosti průchodu zvuku se mohlo vyhodnotit zdravé a poškozené dřevo.
- Z tabulek, grafů a 2D map bylo možné porovnat vytvořené poškození a zobrazené poškození v počítačovém programu.
- Vzorky 1a, 1b, 2, 3, 4b, 5a se zobrazily ve stavu, v jakém se nacházely.
- U vzorku 5b se poškození neprojevovalo.
- Vzorek 4b byl zobrazen překvapivě v dobrém stavu. Led, který vyplňoval dutinu, nahradil dřevo.
- U vzorků 6, 7 a 8 se poškození ukázalo v menším rozsahu, než bylo vytvořeno.
- Tato práce by mohla být využita k dalšímu měření, ať už v závěrečné práci, nebo v jiném výzkumu, dále třeba jako ukázka studentům ve výuce.

## 8 Literatura

Tištěná monografie:

- ArborSonic 3D. 2012. User's Manual. V5.1.66. June 5.
- BALABÁN, K. 1955. Nauka o dřevě, první část, Anatomie dřeva. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- EHSEN, H. 1992. Anforderungen an das Baumfeld städtischer Strassenbaume – Kriterien zur Vitalitätserhaltung und Unterpflanzung. 10. Österreichische Baumpflegeagung, Wien.
- FAY, N.; DE BERKER, N. 1997. Specialist Survey Method, English Nature, London.
- GREGOROVÁ, B. et al. 2006. Poškození dřevin a jeho příčiny. AOPK ČR, Praha. ISBN 80-86064-97-2.
- HARTMANN, G.; NIENHAUS, F.; BUTIN H. 1995. Farbatlas Waldschäden. Ulmer Verlag, Stuttgart. ISBN 3-8001-3351-2.
- HURYCH, V. 2011. Tvorba zeleně, Sadovnictví – krajinářství. Vyšší odborná škola zahradnická a Střední zahradnická škola, Mělník. ISBN 978-80-904782-0-6.
- KOLAŘÍK, J. 1994. Strom ve městě. ČSOP Valašské Meziříčí. 68 s. / KOLAŘÍK, Jaroslav. 1994. *Strom ve městě*. Brno: EDEN.
- KOLAŘÍK, J. 2003. *Péče o dřeviny rostoucí mimo les*. 1. díl. Vlašim: ČSOP Vlašim. ISBN 80-86327-36-1.
- KOLAŘÍK, J. 2005. *Péče o dřeviny rostoucí mimo les*. 2. díl. Vlašim: ČSOP. Metodika Českého svazu ochránců přírody, č. 6. ISBN 80-86327-44-2.
- KOLAŘÍK, J. 2008. Arboristika V. pro celoživotní vzdělávání v arboristice. VOŠ Za a SZaŠ Mělník.
- KOLAŘÍK, J. 2013. Oceňování dřevin rostoucích mimo les. Praha. ISBN 978-80-87457-82-5.
- LILLY S. J. (ed.) 2001. Arborist's certification study guide, International Society of Arbiculture, Champaign. ISBN 1-881956-26-1.
- LONSDALE, D. 1999. Principles of tree hazard assessment and management. Stationery Office, London. ISBN 0-11-753355-6.
- MATHENY, N. P.; CLARK, J. R. 1994. A Photographic Guide to the Evaluation of Hazard Trees in Urban Areas. Second Edition. International Society of Arboriculture Champaign, Illinois, USA. ISBN 1-881956-04-0.
- MATTHECK, C. 1991. Trees – the mechanical design. Springer Verlag, New York. ISBN 9780387542768.
- 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.
- MÍČHAL, I. 1994. Ekologická Stabilita. Veronica, Brno. ISBN 80-85368-22-6.
- NIENHAUS, F.; BUTIN H.; BÖHMER B. 1994. Farbatlas Gehölzkrankheiten – Ziersträucher und Parkbäume. Ulmer Verlag, Stuttgart. ISBN 3800141221.
- PEJČHAL M.. 1994. Stromy v ulicích. Sborník přednášek. SZKT, Praha.
- POLÁK, Z. Stručný přehled nejčastěji se vyskytujících virotických jevů na okrasných dřevinách. Střední zahradnická škola, Mělník.
- PŘÍHODA, A. 1953. Houby a bakterie poškozující dřevo. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.



- QUANTIFIED TREE RISK ASSESSMENT LTD. 2010. Quantified Tree Risk Assessment Practice Note. Macclesfield, United Kingdom.
- ROLOFF, A. 1989. Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung ausgewählter Baumarten der gemäßigten Breiten. Sauerländer, Frankfurt am Main. ISBN 3-7939-5093-X.
- Salava, T. 1979. Elektroakustická a elektromechanická měření. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha. ISBN 04-533-79.
- SHIGO, A. L. 1991. Baumschnitt. Thalacker. ISBN 9783878150336.
- SCHWARZE, F.; FINK, Siegfried. 1994. Die Ermittlung der Holzersetzungsmuster am lebenden Baum. Neue Landschaft.
- SMETANA, C. et al. 1998. Hluk a vibrace, měření a hodnocení. Sdělovací technika, Praha. ISBN 80-901936-2-5.
- SUCHARA, I. 1977. Bioklimatické funkce zeleně. Informační zpráva státního výzkumného úkolu C-16-360-031. VÚOZ Průhonice.
- SUCHARA, I. 1994. Stromy v ulicích. Sborník přednášek. SZKT, Praha.
- TATTAR, T. A. 1989. Diseases of shade trees (revised edition). Academic Press, USA. ISBN 978-0-12-684351-4.
- TOMICZEK, Ch.; CECH, T.; KREHAN, H.; PERNY, B.; HLUCHÝ, M.. 2005. Atlas chorob a škůdců okrasných dřevin. Biocont Laboratory, Brno. ISBN 80-901874-5-5.
- URBAN J. 2008. Up by roots: healthy soil and trees in the build environment. International Society of Arboriculture. Minnesota. ISBN 1-881956-65-2.
- VICENA, I; KONŮPKA, J.; PAŘEZ, J. 1979. Ochrana lesa proti polomům. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR, Praha.
- WESSOLLY, L.; ERB, M. 1998. Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. Patzer Verlag. ISBN 3876170931.
- WHITE, J. 1998. Estimating the Age of Large and Veteran Trees in Britain. Forestry Commission, Edinburgh.
- ZÚBRIK, M.; KUNCA, A.; NOVOTNÝ, J. 2008. Hmyz a huby: atlas poškození lesných dřevin. Národné lesnícké centrum – Lesnícky výskumný ústav, Banská Bystrica. ISBN 978-80-8093-044-8.

#### Tištěná periodika:

- BAUER, C.; KILBERTUS, G.; BUCUR, V. 1991. Technique ultrasonore de caractérisation du degré d'altération des bois de hêtre et de pin soumis à l'attaque de différents champignons. *Holzforschung* 45 (1). 41 – 46.
- GILBERT, E. A.; SMILEY, T. E. 2004. Picus sonic tomography for the quantification of decay in white oak (*Quercus alba*) and hickory (*Carya* spp.). *Journal of Arboriculture*. September 2004. 30 (5).
- JUHÁS, D.; KOBZA, M.; JUHÁSOVÁ, G. 2013. Hodnotenie stability stromov zvukovým tomografom. *Rostlinolékař* 24/6: 26-27.
- KASPAR, T. C.; BLAND, W. L. 1992. Soil temperature and root growth. *Soil science*. 154/4. October 1994. 290 – 299.
- NICOLOTTI, G.; SOCCO, L. V.; MARTINIS, R.; GODIO, A.; SAMBUELLI L. 2003. Application and comparison of free tomographic techniques for detection of decay in trees. *Journal of Arboriculture*. 29 (2). March 2003. 66 – 78.

- PELTOLA, H.; NYKÄNEN, M. L.; KELLOMÄKI, S. 1997. Model computations on the critical combination of snow loading and wind speed for snow damage of scots pine, Norway spruce and Birch sp. at stand edge. *Ecology and Management*. 95. 229 – 241.
- PRAUS, Luděk. 2016. Analýza stavu stromu pomocí akustického tomografu Fakopp. *Zahrada – park – krajina*. 26/4: 20 – 22.
- SANDOZ, J. L.; BENOIT, Y.; DEMAY, L. 2000. Wood testing using sousto - ultrasonic. 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. 2000/9. 97 – 104.
- ŠTEFL, L. 2013. Přístrojové metody hodnocení stability stromů – přehled možností. *Zahrada – park- krajina* 23/2: 24-27.
- WANG, X.; WIEDENBECK, J.; LIANG, S. 2009. Acoustic tomography for decay detection in black cherry trees. *Wood and fiber science: journal of the Society of Wood Science and Technology*. April 2009. 41 (2). 127 – 137.
- WORTHINGTON, M. H. 1984. An introduction to geophysical tomography. *First Break*. 2. November 1984. 20 – 26.

Závěrečné práce:

- CHRZOVÁ E.. 2021. Využití akustického tomografu pro hodnocení stromů. Bakalářská práce. Zemědělská univerzita, Praha.
- MAŇÁK V. 2013. Detekce poškození kmene akustickým tomografem Fakopp. Bakalářská práce. Mendelova univerzita, Brno.
- STACH D. 2018/2019. Zhodnocení vlivu vyplnění dutiny na akustickým tomografem detekovaný rozsah poškození. Bakalářská práce. Mendelova univerzita, Brno.

Legislativní dokument:

- Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. 2018. Standard Péče o přírodu a krajinu. SPPK A01 001:2018.

## 9 Samostatné přílohy

### Příloha A: Tabulky rychlosti šíření zvuku (matice)

Tabulka číslo 1 – rychlost zvuku (vzorek 1 (a))

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1204 m/s	1272 m/s	1034 m/s	993 m/s	980 m/s	860 m/s	813 m/s	917 m/s	1043 m/s	1199 m/s	1114 m/s
2	1204 m/s		1228 m/s	1041 m/s	1082 m/s	1091 m/s	964 m/s	818 m/s	802 m/s	929 m/s	1133 m/s	1343 m/s
3	1272 m/s	1228 m/s		1148 m/s	1104 m/s	1170 m/s	1057 m/s	908 m/s	715 m/s	742 m/s	947 m/s	1168 m/s
4	1034 m/s	1041 m/s	1148 m/s		1098 m/s	1257 m/s	1162 m/s	1019 m/s	809 m/s	618 m/s	708 m/s	900 m/s
5	993 m/s	1082 m/s	1104 m/s	1098 m/s		1372 m/s	1371 m/s	1210 m/s	984 m/s	767 m/s	698 m/s	849 m/s
6	980 m/s	1091 m/s	1170 m/s	1257 m/s	1372 m/s		1210 m/s	1304 m/s	1116 m/s	913 m/s	828 m/s	833 m/s
7	860 m/s	964 m/s	1057 m/s	1162 m/s	1371 m/s	1210 m/s		1258 m/s	1243 m/s	1023 m/s	939 m/s	873 m/s
8	813 m/s	818 m/s	908 m/s	1019 m/s	1210 m/s	1304 m/s	1258 m/s		1130 m/s	1020 m/s	931 m/s	886 m/s
9	917 m/s	802 m/s	715 m/s	809 m/s	984 m/s	1116 m/s	1243 m/s	1130 m/s		1071 m/s	1032 m/s	1006 m/s
10	1043 m/s	929 m/s	742 m/s	618 m/s	767 m/s	913 m/s	1023 m/s	1020 m/s	1071 m/s		1058 m/s	1133 m/s
11	1199 m/s	1133 m/s	947 m/s	708 m/s	698 m/s	828 m/s	939 m/s	931 m/s	1032 m/s	1058 m/s		1139 m/s
12	1114 m/s	1343 m/s	1168 m/s	900 m/s	849 m/s	833 m/s	873 m/s	886 m/s	1006 m/s	1133 m/s	1139 m/s	

Tabulka číslo 2 – rychlost zvuku (vzorek 1 (b))

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1248 m/s	1396 m/s	1097 m/s	1056 m/s	1003 m/s	865 m/s	833 m/s	915 m/s	1090 m/s	1247 m/s	1172 m/s
2	1248 m/s		1267 m/s	1096 m/s	1128 m/s	1099 m/s	948 m/s	820 m/s	797 m/s	941 m/s	1145 m/s	1338 m/s
3	1396 m/s	1267 m/s		1233 m/s	1212 m/s	1220 m/s	1077 m/s	938 m/s	734 m/s	779 m/s	989 m/s	1216 m/s
4	1097 m/s	1096 m/s	1233 m/s		1178 m/s	1303 m/s	1171 m/s	1041 m/s	827 m/s	635 m/s	732 m/s	926 m/s
5	1056 m/s	1128 m/s	1212 m/s	1178 m/s		1463 m/s	1448 m/s	1288 m/s	1038 m/s	815 m/s	728 m/s	887 m/s
6	1003 m/s	1099 m/s	1220 m/s	1303 m/s	1463 m/s		1225 m/s	1347 m/s	1145 m/s	942 m/s	845 m/s	841 m/s
7	865 m/s	948 m/s	1077 m/s	1171 m/s	1448 m/s	1225 m/s		1256 m/s	1243 m/s	1037 m/s	942 m/s	867 m/s
8	833 m/s	820 m/s	938 m/s	1041 m/s	1288 m/s	1347 m/s	1256 m/s		1156 m/s	1076 m/s	963 m/s	907 m/s
9	915 m/s	797 m/s	734 m/s	827 m/s	1038 m/s	1145 m/s	1243 m/s	1156 m/s		1082 m/s	1045 m/s	977 m/s
10	1090 m/s	941 m/s	779 m/s	635 m/s	815 m/s	942 m/s	1037 m/s	1076 m/s	1082 m/s		1096 m/s	1168 m/s
11	1247 m/s	1145 m/s	989 m/s	732 m/s	728 m/s	845 m/s	942 m/s	963 m/s	1045 m/s	1096 m/s		1159 m/s
12	1172 m/s	1338 m/s	1216 m/s	926 m/s	887 m/s	841 m/s	867 m/s	907 m/s	977 m/s	1168 m/s	1159 m/s	

Tabulka číslo 3 – rychlost zvuku (vzorek 2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1407 m/s	1206 m/s	1095 m/s	1024 m/s	834 m/s	701 m/s	725 m/s	761 m/s	914 m/s	873 m/s	715 m/s
2	1407 m/s		883 m/s	1013 m/s	1054 m/s	922 m/s	785 m/s	736 m/s	831 m/s	1089 m/s	1162 m/s	881 m/s
3	1206 m/s	883 m/s		1007 m/s	1277 m/s	1186 m/s	1044 m/s	931 m/s	845 m/s	921 m/s	1099 m/s	894 m/s
4	1095 m/s	1013 m/s	1007 m/s		1392 m/s	1217 m/s	1145 m/s	1057 m/s	981 m/s	793 m/s	883 m/s	793 m/s
5	1024 m/s	1054 m/s	1277 m/s	1392 m/s		994 m/s	1120 m/s	1124 m/s	1084 m/s	865 m/s	782 m/s	698 m/s
6	834 m/s	922 m/s	1186 m/s	1217 m/s	994 m/s		918 m/s	1130 m/s	1216 m/s	989 m/s	852 m/s	615 m/s
7	701 m/s	785 m/s	1044 m/s	1145 m/s	1120 m/s	918 m/s		1227 m/s	1474 m/s	1308 m/s	1154 m/s	836 m/s
8	725 m/s	736 m/s	931 m/s	1057 m/s	1124 m/s	1130 m/s	1227 m/s		1431 m/s	1307 m/s	1271 m/s	880 m/s
9	761 m/s	831 m/s	845 m/s	981 m/s	1084 m/s	1216 m/s	1474 m/s	1431 m/s		921 m/s	1126 m/s	863 m/s
10	914 m/s	1089 m/s	921 m/s	793 m/s	865 m/s	989 m/s	1308 m/s	1307 m/s	921 m/s		1117 m/s	1047 m/s
11	873 m/s	1162 m/s	1099 m/s	883 m/s	782 m/s	852 m/s	1154 m/s	1271 m/s	1126 m/s	1117 m/s		1007 m/s
12	715 m/s	881 m/s	894 m/s	793 m/s	698 m/s	615 m/s	836 m/s	880 m/s	863 m/s	1047 m/s	1007 m/s	

Tabulka číslo 4 – rychlost zvuku (vzorek 3)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1267 m/s	1162 m/s	954 m/s	867 m/s	786 m/s	645 m/s	679 m/s	946 m/s	1219 m/s	1430 m/s	1857 m/s
2	1267 m/s		951 m/s	900 m/s	922 m/s	873 m/s	633 m/s	697 m/s	807 m/s	1110 m/s	1278 m/s	1616 m/s
3	1162 m/s	951 m/s		1074 m/s	1205 m/s	1165 m/s	839 m/s	707 m/s	626 m/s	773 m/s	998 m/s	1231 m/s
4	954 m/s	900 m/s	1074 m/s		1081 m/s	1217 m/s	952 m/s	861 m/s	687 m/s	611 m/s	802 m/s	983 m/s
5	867 m/s	922 m/s	1205 m/s	1081 m/s		1288 m/s	974 m/s	916 m/s	886 m/s	772 m/s	677 m/s	857 m/s
6	786 m/s	873 m/s	1165 m/s	1217 m/s	1288 m/s		850 m/s	925 m/s	925 m/s	810 m/s	681 m/s	746 m/s
7	645 m/s	633 m/s	839 m/s	952 m/s	974 m/s	850 m/s		931 m/s	994 m/s	879 m/s	762 m/s	670 m/s
8	679 m/s	697 m/s	707 m/s	861 m/s	916 m/s	925 m/s	931 m/s		945 m/s	965 m/s	920 m/s	792 m/s
9	946 m/s	807 m/s	626 m/s	687 m/s	886 m/s	925 m/s	994 m/s	945 m/s		1112 m/s	1020 m/s	940 m/s
10	1219 m/s	1110 m/s	773 m/s	611 m/s	772 m/s	810 m/s	879 m/s	965 m/s	1112 m/s		1046 m/s	1020 m/s
11	1430 m/s	1278 m/s	998 m/s	802 m/s	677 m/s	681 m/s	762 m/s	920 m/s	1020 m/s	1046 m/s		1046 m/s
12	1857 m/s	1616 m/s	1231 m/s	983 m/s	857 m/s	746 m/s	670 m/s	792 m/s	940 m/s	1020 m/s	1046 m/s	

Tabulka číslo 5 – rychlost zvuku (vzorek 4 (a))

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1199 m/s	1357 m/s	1578 m/s	1748 m/s	1870 m/s	1796 m/s	1767 m/s	1496 m/s	915 m/s	945 m/s	622 m/s
2	1199 m/s		1142 m/s	1312 m/s	1555 m/s	1767 m/s	1778 m/s	1816 m/s	1617 m/s	1494 m/s	880 m/s	867 m/s
3	1357 m/s	1142 m/s		1177 m/s	1267 m/s	1637 m/s	1713 m/s	1818 m/s	1622 m/s	1574 m/s	1376 m/s	1276 m/s
4	1578 m/s	1312 m/s	1177 m/s		1106 m/s	1401 m/s	1603 m/s	1828 m/s	1686 m/s	1704 m/s	1585 m/s	1545 m/s
5	1748 m/s	1555 m/s	1267 m/s	1106 m/s		1283 m/s	1381 m/s	1740 m/s	1707 m/s	1787 m/s	1689 m/s	1706 m/s
6	1870 m/s	1767 m/s	1637 m/s	1401 m/s	1283 m/s		1210 m/s	1395 m/s	1558 m/s	1761 m/s	1719 m/s	1763 m/s
7	1796 m/s	1778 m/s	1713 m/s	1603 m/s	1381 m/s	1210 m/s		1184 m/s	1338 m/s	1676 m/s	1706 m/s	1804 m/s
8	1767 m/s	1816 m/s	1818 m/s	1828 m/s	1740 m/s	1395 m/s	1184 m/s		1092 m/s	1366 m/s	1521 m/s	1749 m/s
9	1496 m/s	1617 m/s	1622 m/s	1686 m/s	1707 m/s	1558 m/s	1338 m/s	1092 m/s		1085 m/s	1309 m/s	1489 m/s
10	915 m/s	1494 m/s	1574 m/s	1704 m/s	1787 m/s	1761 m/s	1676 m/s	1366 m/s	1085 m/s		1247 m/s	1307 m/s
11	945 m/s	880 m/s	1376 m/s	1585 m/s	1689 m/s	1719 m/s	1706 m/s	1521 m/s	1309 m/s	1247 m/s		1504 m/s
12	622 m/s	867 m/s	1276 m/s	1545 m/s	1706 m/s	1763 m/s	1804 m/s	1749 m/s	1489 m/s	1307 m/s	1504 m/s	

Tabulka číslo 6 – rychlost zvuku (vzorek 4 (b))

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1204 m/s	1335 m/s	1304 m/s	1117 m/s	1090 m/s	908 m/s	718 m/s	730 m/s	752 m/s	708 m/s	500 m/s
2	1204 m/s		1104 m/s	1217 m/s	1113 m/s	1125 m/s	968 m/s	803 m/s	621 m/s	604 m/s	576 m/s	533 m/s
3	1335 m/s	1104 m/s		1033 m/s	1116 m/s	1184 m/s	1079 m/s	911 m/s	738 m/s	582 m/s	615 m/s	616 m/s
4	1304 m/s	1217 m/s	1033 m/s		1087 m/s	1300 m/s	1191 m/s	1068 m/s	881 m/s	808 m/s	776 m/s	830 m/s
5	1117 m/s	1113 m/s	1116 m/s	1087 m/s		1109 m/s	1186 m/s	1066 m/s	969 m/s	879 m/s	770 m/s	733 m/s
6	1090 m/s	1125 m/s	1184 m/s	1300 m/s	1109 m/s		1152 m/s	1122 m/s	1050 m/s	975 m/s	872 m/s	803 m/s
7	908 m/s	968 m/s	1079 m/s	1191 m/s	1186 m/s	1152 m/s		1139 m/s	1012 m/s	1020 m/s	928 m/s	841 m/s
8	718 m/s	803 m/s	911 m/s	1068 m/s	1066 m/s	1122 m/s	1139 m/s		1057 m/s	1184 m/s	1158 m/s	1103 m/s
9	730 m/s	621 m/s	738 m/s	881 m/s	969 m/s	1050 m/s	1012 m/s	1057 m/s		1018 m/s	1203 m/s	1259 m/s
10	752 m/s	604 m/s	582 m/s	808 m/s	879 m/s	975 m/s	1020 m/s	1184 m/s	1018 m/s		1166 m/s	1181 m/s
11	708 m/s	576 m/s	615 m/s	776 m/s	770 m/s	872 m/s	928 m/s	1158 m/s	1203 m/s	1166 m/s		1366 m/s
12	500 m/s	533 m/s	616 m/s	830 m/s	733 m/s	803 m/s	841 m/s	1103 m/s	1259 m/s	1181 m/s	1366 m/s	

Tabulka číslo 7 – rychlost zvuku (vzorek 5 (a))

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1240 m/s	1524 m/s	1556 m/s	1660 m/s	1618 m/s	1597 m/s	1559 m/s	1496 m/s	1371 m/s	1217 m/s	1159 m/s
2	1240 m/s		1278 m/s	1455 m/s	1509 m/s	1488 m/s	1519 m/s	1529 m/s	1527 m/s	1469 m/s	1339 m/s	1288 m/s
3	1524 m/s	1278 m/s		1138 m/s	1377 m/s	1422 m/s	1456 m/s	1513 m/s	1561 m/s	1578 m/s	1487 m/s	1494 m/s
4	1556 m/s	1455 m/s	1138 m/s		1209 m/s	1350 m/s	1394 m/s	1472 m/s	1541 m/s	1613 m/s	1580 m/s	1601 m/s
5	1660 m/s	1509 m/s	1377 m/s	1209 m/s		1174 m/s	1331 m/s	1479 m/s	1545 m/s	1659 m/s	1643 m/s	1693 m/s
6	1618 m/s	1488 m/s	1422 m/s	1350 m/s	1174 m/s		1152 m/s	1387 m/s	1500 m/s	1627 m/s	1621 m/s	1661 m/s
7	1597 m/s	1519 m/s	1456 m/s	1394 m/s	1331 m/s	1152 m/s		1305 m/s	1418 m/s	1571 m/s	1595 m/s	1648 m/s
8	1559 m/s	1529 m/s	1513 m/s	1472 m/s	1479 m/s	1387 m/s	1305 m/s		1073 m/s	1391 m/s	1471 m/s	1553 m/s
9	1496 m/s	1527 m/s	1561 m/s	1541 m/s	1545 m/s	1500 m/s	1418 m/s	1073 m/s		1071 m/s	1276 m/s	1413 m/s
10	1371 m/s	1469 m/s	1578 m/s	1613 m/s	1659 m/s	1627 m/s	1571 m/s	1391 m/s	1071 m/s		1048 m/s	1256 m/s
11	1217 m/s	1339 m/s	1487 m/s	1580 m/s	1643 m/s	1621 m/s	1595 m/s	1471 m/s	1276 m/s	1048 m/s		1107 m/s
12	1159 m/s	1288 m/s	1494 m/s	1601 m/s	1693 m/s	1661 m/s	1648 m/s	1553 m/s	1413 m/s	1256 m/s	1107 m/s	

Tabulka číslo 8 – rychlost zvuku (vzorek 5 (b))

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1257 m/s	1561 m/s	1569 m/s	1693 m/s	1636 m/s	1628 m/s	1583 m/s	1520 m/s	1396 m/s	1236 m/s	1184 m/s
2	1257 m/s		1299 m/s	1454 m/s	1523 m/s	1494 m/s	1530 m/s	1543 m/s	1530 m/s	1482 m/s	1361 m/s	1297 m/s
3	1561 m/s	1299 m/s		1161 m/s	1406 m/s	1429 m/s	1486 m/s	1536 m/s	1580 m/s	1610 m/s	1508 m/s	1504 m/s
4	1569 m/s	1454 m/s	1161 m/s		1232 m/s	1344 m/s	1409 m/s	1482 m/s	1543 m/s	1622 m/s	1594 m/s	1601 m/s
5	1693 m/s	1523 m/s	1406 m/s	1232 m/s		1194 m/s	1369 m/s	1494 m/s	1557 m/s	1689 m/s	1673 m/s	1706 m/s
6	1636 m/s	1494 m/s	1429 m/s	1344 m/s	1194 m/s		1164 m/s	1408 m/s	1504 m/s	1648 m/s	1634 m/s	1669 m/s
7	1628 m/s	1530 m/s	1486 m/s	1409 m/s	1369 m/s	1164 m/s		1360 m/s	1437 m/s	1608 m/s	1640 m/s	1657 m/s
8	1583 m/s	1543 m/s	1536 m/s	1482 m/s	1494 m/s	1408 m/s	1360 m/s		1096 m/s	1423 m/s	1497 m/s	1574 m/s
9	1520 m/s	1530 m/s	1580 m/s	1543 m/s	1557 m/s	1504 m/s	1437 m/s	1096 m/s		1090 m/s	1296 m/s	1415 m/s
10	1396 m/s	1482 m/s	1610 m/s	1622 m/s	1689 m/s	1648 m/s	1608 m/s	1423 m/s	1090 m/s		1075 m/s	1274 m/s
11	1236 m/s	1361 m/s	1508 m/s	1594 m/s	1673 m/s	1634 m/s	1640 m/s	1497 m/s	1296 m/s	1075 m/s		1025 m/s
12	1184 m/s	1297 m/s	1504 m/s	1601 m/s	1706 m/s	1669 m/s	1657 m/s	1574 m/s	1415 m/s	1274 m/s	1025 m/s	

Tabulka číslo 9 – rychlost zvuku (vzorek 6)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1017 m/s	1046 m/s	1133 m/s	1156 m/s	1234 m/s	1164 m/s	1250 m/s	1156 m/s	959 m/s	1278 m/s	1336 m/s
2	1017 m/s		1179 m/s	939 m/s	1078 m/s	1177 m/s	1237 m/s	1326 m/s	1291 m/s	1213 m/s	1169 m/s	1039 m/s
3	1046 m/s	1179 m/s		1172 m/s	1149 m/s	1224 m/s	1263 m/s	1407 m/s	1405 m/s	1370 m/s	1259 m/s	1217 m/s
4	1133 m/s	939 m/s	1172 m/s		1218 m/s	1126 m/s	1125 m/s	1312 m/s	1372 m/s	1399 m/s	1293 m/s	1254 m/s
5	1156 m/s	1078 m/s	1149 m/s	1218 m/s		968 m/s	989 m/s	1218 m/s	1333 m/s	1423 m/s	1340 m/s	1293 m/s
6	1234 m/s	1177 m/s	1224 m/s	1126 m/s	968 m/s		692 m/s	1067 m/s	1219 m/s	1381 m/s	1367 m/s	1363 m/s
7	1164 m/s	1237 m/s	1263 m/s	1125 m/s	989 m/s	692 m/s		985 m/s	1131 m/s	1388 m/s	1424 m/s	1448 m/s
8	1250 m/s	1326 m/s	1407 m/s	1312 m/s	1218 m/s	1067 m/s	985 m/s		1008 m/s	1256 m/s	1292 m/s	1408 m/s
9	1156 m/s	1291 m/s	1405 m/s	1372 m/s	1333 m/s	1219 m/s	1131 m/s	1008 m/s		1267 m/s	1050 m/s	1245 m/s
10	959 m/s	1213 m/s	1370 m/s	1399 m/s	1423 m/s	1381 m/s	1388 m/s	1256 m/s	1267 m/s		913 m/s	1123 m/s
11	1278 m/s	1169 m/s	1259 m/s	1293 m/s	1340 m/s	1367 m/s	1424 m/s	1292 m/s	1050 m/s	913 m/s		1073 m/s
12	1336 m/s	1039 m/s	1217 m/s	1254 m/s	1293 m/s	1363 m/s	1448 m/s	1408 m/s	1245 m/s	1123 m/s	1073 m/s	

Tabulka číslo 10 – rychlost zvuku (vzorek 7)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1254 m/s	1210 m/s	1198 m/s	1158 m/s	1237 m/s	1232 m/s	1013 m/s	1159 m/s	1109 m/s	1076 m/s	1026 m/s
2	1254 m/s		1174 m/s	1168 m/s	1181 m/s	1092 m/s	1170 m/s	1034 m/s	1174 m/s	1112 m/s	1111 m/s	1125 m/s
3	1210 m/s	1174 m/s		1118 m/s	1247 m/s	1237 m/s	1115 m/s	897 m/s	1197 m/s	1188 m/s	1146 m/s	1134 m/s
4	1198 m/s	1168 m/s	1118 m/s		1219 m/s	1264 m/s	976 m/s	1140 m/s	1124 m/s	1133 m/s	1168 m/s	1135 m/s
5	1158 m/s	1181 m/s	1247 m/s	1219 m/s		1102 m/s	919 m/s	1142 m/s	1133 m/s	1191 m/s	1165 m/s	1167 m/s
6	1237 m/s	1092 m/s	1237 m/s	1264 m/s	1102 m/s		665 m/s	998 m/s	1081 m/s	1098 m/s	1136 m/s	1204 m/s
7	1232 m/s	1170 m/s	1115 m/s	976 m/s	919 m/s	665 m/s		1198 m/s	1178 m/s	1192 m/s	1125 m/s	1204 m/s
8	1013 m/s	1034 m/s	897 m/s	1140 m/s	1142 m/s	998 m/s	1198 m/s		1221 m/s	1248 m/s	1208 m/s	1184 m/s
9	1159 m/s	1174 m/s	1197 m/s	1124 m/s	1133 m/s	1081 m/s	1178 m/s	1221 m/s		1100 m/s	1209 m/s	1157 m/s
10	1109 m/s	1112 m/s	1188 m/s	1133 m/s	1191 m/s	1098 m/s	1192 m/s	1248 m/s	1100 m/s		1182 m/s	1283 m/s
11	1076 m/s	1111 m/s	1146 m/s	1168 m/s	1165 m/s	1136 m/s	1125 m/s	1208 m/s	1209 m/s	1182 m/s		1589 m/s
12	1026 m/s	1125 m/s	1134 m/s	1135 m/s	1167 m/s	1204 m/s	1204 m/s	1184 m/s	1157 m/s	1283 m/s	1589 m/s	

Tabulka číslo 11 – rychlost zvuku (vzorek 8)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1514 m/s	1453 m/s	1318 m/s	1239 m/s	1248 m/s	1291 m/s	1248 m/s	1127 m/s	957 m/s	877 m/s	700 m/s
2	1514 m/s		1219 m/s	1263 m/s	1245 m/s	1303 m/s	1269 m/s	1271 m/s	1187 m/s	1135 m/s	1043 m/s	883 m/s
3	1453 m/s	1219 m/s		1107 m/s	1222 m/s	1187 m/s	1177 m/s	1219 m/s	1165 m/s	1128 m/s	1113 m/s	879 m/s
4	1318 m/s	1263 m/s	1107 m/s		1108 m/s	1185 m/s	1096 m/s	1196 m/s	1181 m/s	1176 m/s	1207 m/s	1092 m/s
5	1239 m/s	1245 m/s	1222 m/s	1108 m/s		1241 m/s	1023 m/s	1134 m/s	1160 m/s	1183 m/s	1261 m/s	1169 m/s
6	1248 m/s	1303 m/s	1187 m/s	1185 m/s	1241 m/s		813 m/s	908 m/s	1088 m/s	1096 m/s	1095 m/s	1110 m/s
7	1291 m/s	1269 m/s	1177 m/s	1096 m/s	1023 m/s	813 m/s		1172 m/s	1277 m/s	1235 m/s	1229 m/s	1133 m/s
8	1248 m/s	1271 m/s	1219 m/s	1196 m/s	1134 m/s	908 m/s	1172 m/s		1387 m/s	1322 m/s	1309 m/s	1140 m/s
9	1127 m/s	1187 m/s	1165 m/s	1181 m/s	1160 m/s	1088 m/s	1277 m/s	1387 m/s		1116 m/s	1277 m/s	1220 m/s
10	957 m/s	1135 m/s	1128 m/s	1176 m/s	1183 m/s	1096 m/s	1235 m/s	1322 m/s	1116 m/s		1250 m/s	1287 m/s
11	877 m/s	1043 m/s	1113 m/s	1207 m/s	1261 m/s	1095 m/s	1229 m/s	1309 m/s	1277 m/s	1250 m/s		1252 m/s
12	700 m/s	883 m/s	879 m/s	1092 m/s	1169 m/s	1110 m/s	1133 m/s	1140 m/s	1220 m/s	1287 m/s	1252 m/s	

## Příloha B: Fotodokumentace

### Seznam fotografií:

1. Vzorek 1 (a)
2. Vzorek 1 (a)
3. Vzorek 2
4. Vzorek 2
5. Vzorek 3
6. Vzorek 3
7. Vzorek 4 (a)
8. Vzorek 4 (a)
9. Vzorek 5 (b)
10. Vzorek 5 (b)
11. Vzorek 6
12. Vzorek 6
13. Vzorek 7
14. Vzorek 7
15. Vzorek 8
16. Vzorek 8
17. Všechny vzorky
18. Práce s výsledky v PC

- Foto vlastní
- Tabulky z programu ArborSonic 3D



Obrázek 1 – vzorek 1 (a)



Obrázek 2 – vzorek 1 (a)





Obrázek 3 – vzorek 2



Obrázek 4 – vzorek 2



Obrázek 5 – vzorek 3



Obrázek 6 – vzorek 3



Obrázek 7 – vzorek 4 (a)



Obrázek 8 – vzorek 4 (a)



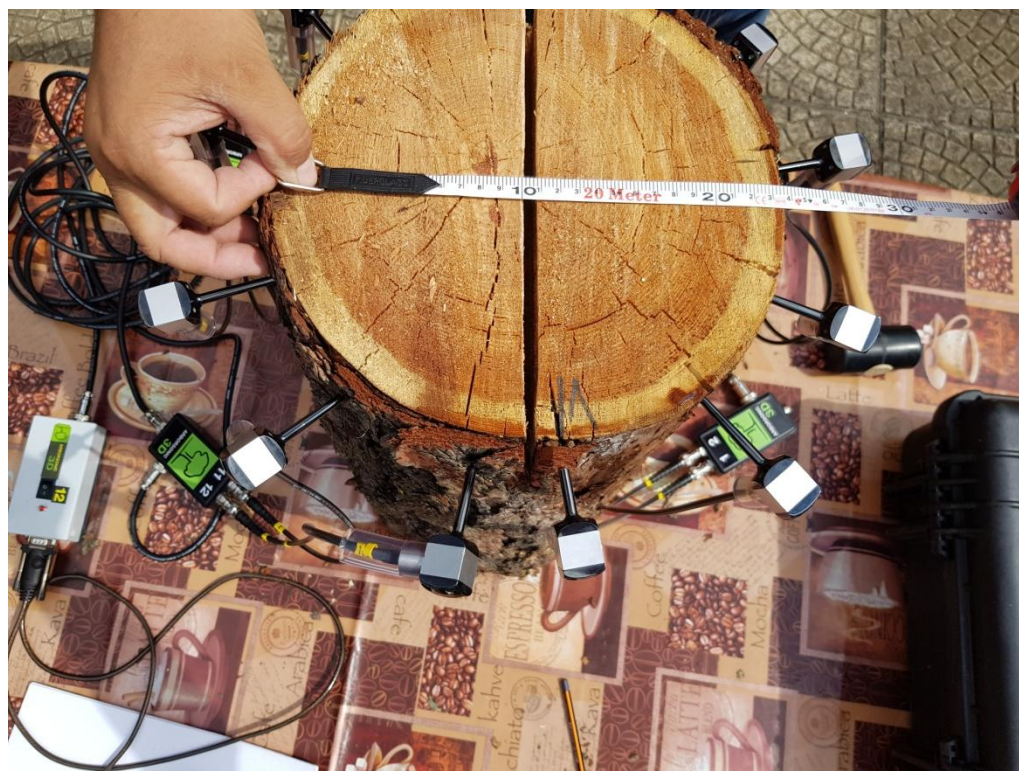
Obrázek 9 – vzorek 5 (b)



Obrázek 10 – vzorek 5 (b)



Obrázek 11 – vzorek 6



Obrázek 12 – vzorek 6



Obrázek 13 – vzorek 7



Obrázek 14 – vzorek 7



Obrázek 15 – vzorek 8



Obrázek 16 – vzorek 8



Obrázek 17 – všechny vzorky



Obrázek 18 – Práce s výsledky na PC