

**Mendelova univerzita v Brně**

**Lesnická a dřevařská fakulta**

Ústav nauky o dřevě

**Zjištění dynamiky šíření dřevokazných hub ve kmeni**

Diplomová práce

Brno 2016

Martin Kult

Prohlašuji, že jsem práci: *Zjištění dynamiky šíření dřevokazných hub* zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

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

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

V Brně, dne:

podpis studenta

## **Poděkování**

Mé poděkování patří všem, kteří mi jakkoliv pomohli nebo vyšli vstříc při tvorbě této diplomové práce. Rovněž bych rád poděkoval Lud'ku Prausovi za poskytnutí možnosti zpracovávat tuto práci pod jeho odborným vedením. Obrovský dík patří především mým rodičům za bezmeznou podporu po celou dobu mého studia. V neposlední řadě velmi děkuji své přítelkyni za podporu a hlavně trpělivost.

Martin Kult

## **Zjištění dynamiky šíření dřevokazných hub ve kmeni**

### **Detection of dynamics of wood-decaying fungi spreading inside tree trunk.**

#### **Abstrakt**

Práce se zabývá možnostmi zjištění dynamiky šíření dřevokazných hub ve kmeni. Výzkum byl proveden na základě opakovaných měření akustickým tomografem Fakopp ArborSonic 3D přístrojem Resistograph. Vyhodnocením získaných dat byl stanoven rozsah a změna vnitřního poškození kmene hnilobou ve dvou následujících letech (2015 a 2016), bylo provedeno také srovnání provedených měření s vizuálním hodnocením stromů. Dále práce pojednává o využitelnosti přístrojových metod v krajinářské praxi.

**Klíčová slova:** hniloba kmene, přístrojové metody, hodnocení stromů, akustický tomograf, Resistograph

#### **Abstract**

Thesis deals with detection of dynamics of wood-decaying fungi spread inside the tree trunk. Research was conducted through repeated measurements using acoustic tomograph Fakopp ArborSonic 3D and Resistograph microdrill. Through evaluation of obtained data the range and change of internal damage with rot were and comparison of the executed measurements with visual rating of the trees was made. In the end of the thesis we discuss usability of device supported methods in landscaping practice.

**Key words:** Rot of the tree trunk, device supported methods in tree rating, acoustic tomograph

# Obsah

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CÍL PRÁCE.....</b>	<b>2</b>
<b>3. LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>3</b>
3.1. MIMOLESNÍ ZELEŇ V KRAJINĚ .....	3
3.1.1. <i>Funkce mimolesní zeleně v krajině.....</i>	3
3.1.2. <i>Vývoj mimolesní zeleně.....</i>	4
3.1.3. <i>Územně analytické podklady pro správu zeleně.....</i>	5
3.2. STROMY V KRAJINĚ .....	7
3.2.1. <i>Stabilita stromů .....</i>	7
3.2.2. <i>Cíl pádu .....</i>	8
3.2.3. <i>Provozní bezpečnost ve smyslu zákona .....</i>	8
3.2.4. <i>Odpovědnost za škodu.....</i>	9
3.3. PÉČE O STROMY V KRAJINĚ .....	11
3.3.1. <i>Vývoj péče o stromy na našem území.....</i>	11
3.3.2. <i>Hodnocení stromů.....</i>	12
3.4. DŘEVOKAZNÉ HOUBY .....	15
3.4.1. <i>Působení dřevokazných hub na stromy v krajině.....</i>	15
3.4.2. <i>Ekologické strategie dřevokazných hub.....</i>	16
3.4.3. <i>Rozklad dřeva.....</i>	17
3.5. OBRANNÉ MECHANIZMY STROMŮ .....	17
3.6. METODY K ZJIŠŤOVÁNÍ VNITŘNÍHO POŠKOZENÍ STROMU .....	19
3.7. RYCHLOST ŠÍŘENÍ ZVUKU VE DŘEVĚ .....	20
<b>4. METODIKA .....</b>	<b>23</b>
4.1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O LOKALITĚ .....	23
4.1.1. <i>Arboretum Křtiny .....</i>	23
4.1.2. <i>Polesí Habrůvka .....</i>	25
4.2. METODIKA SBĚRU DAT .....	25
4.2.1. <i>Metodika vizuálního hodnocení.....</i>	26
4.2.2. <i>Metodika sběru dat akustickým tomografem .....</i>	27

4.2.3. Metodika sběru dat Resistographem IML F400-S.....	31
4.2.3. Metodika vyhodnocení dat .....	32
<b>5. VÝSLEDKY .....</b>	<b>35</b>
5.1. VÝSLEDKY AKUSTICKÉ TOMOGRAFIE .....	38
5.1.1. Statistické vyhodnocení dat akustické tomografie .....	42
5.2. POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ AKUSTICKÉ TOMOGRAFIE A RESISTOGRAPHU .....	44
5.3. POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SE SKUTEČNÝM STAVEM .....	45
<b>6. DISKUSE .....</b>	<b>46</b>
<b>7. ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>
<b>8. SUMMARY .....</b>	<b>51</b>
<b>9. POUŽITÁ LITERATURA: .....</b>	<b>52</b>
<b>10. PŘÍLOHY .....</b>	<b>57</b>

## 1. Úvod

Sdílení společného prostoru lidmi a stromy klade důraz na jejich bezpečnost, která je mj. dána stabilitou stromů. Třebaže se na první pohled může zdát, že zeleň v krajině je méně zatížená pohybem lidí, vozidel, či přítomností dalších potenciálních cílů pádu, i zde je nutné provádět hodnocení stavu stromu, ať už vizuální nebo přístrojové. Případná škoda na zdraví či na majetku způsobená pádem stromu v krajině, může mít úplně stejné následky jako v urbanizovaném prostředí. Proto průzkum dynamiky dřevních hnilob a možnosti její detekce je i u stromů rostoucích v krajině velmi důležitý.

Tato diplomová práce je pouze prvotní studií, která je omezená hlavně počtem možných opakovaných měření ale i stanovištěm a volbou stromů co byly k dispozici. Výzkum bude dále pokračovat tak aby bylo možné vyhodnocovat vliv působení parazita na různých taxonech hostitele, v různém prostředí.

## **2. Cíl práce**

Práce je zaměřena na stanovení rozsahu a změn vnitřního poškození kmene dřevokaznými houbami. Pomocí opakovaných měření akustickým tomografem Fakopp ArborSonic 3D byla zjišťována rychlost šíření dřevokazných hub ve kmenech, rozsah poškození byl u vybraných jedinců ověřen přístrojem Resistograph. Předmětem zájmu je ověření přesnosti měření obou přístrojů a porovnání získaných dat s vizuálním hodnocením, především vlivu vitality stromu na dynamiku šíření dřevokazných hub. Získaná data byla na několika vzornících ověřena se skutečným stavem stromů.



### 3. Literární rešerše

#### 3.1. Mimolesní zeleň v krajině

Rozptýlená zeleň je termín označující jednotlivé dřeviny nebo jejich porosty rostoucí ve volné krajině rozptýleně na zemědělské i nezemědělské půdě, které přitom nejsou v katastru nemovitosti zapsány jako les ani jako zemědělská kultura. Mají různý původ, půdorysnou dispozici, prostorovou podobu, druhovou skladbu apod. (Flekalová, 2010). Pro všechny tyto případy lze použít také termín dřevinné vegetační prvky. V rámci legislativy, tedy zákona č. 114/1992 Sb. je dřevina rostoucí mimo les podle §3, odrážky 1, odstavce g, definována takto: „*strom či keř rostoucí jednotlivě i ve skupinách ve volné krajině i v sídelních útvarech na pozemcích mimo lesní půdní fond*“. V tomto pojmu se skrývá jak zeleň původní, tak zeleň uměle vysazovaná člověkem. Zařazujeme sem samostatně stojící stromy, skupiny stromů a keřů, remízky, aleje (Baše, 2006). Specifickými typy mimolesní dřevinné vegetace v krajině jsou také vegetační doprovody vodních toků a komunikací. Břehové a doprovodné porosty významně přispívají k začlenění vodních toků nebo stojaté vody do okolní krajiny (Šlezinger, 2002). Neméně významným krajinným prvkem jsou vegetační doprovody komunikací, které zejména u silnic nižších tříd plní ekologické a krajinné funkce.

##### 3.1.1. Funkce mimolesní zeleně v krajině

Zeleň v krajině tvoří multifunkční systém, na který se můžeme dívat z mnoha hledisek. Při obecném pojetí lze funkce zeleně rozdělit na produkční, ekologické a sociální. Mimolesní zeleň plní především ekologické a sociální funkce. Této problematice se věnuje poměrně velké množství autorů.

Například (Tyrväinen, 1999 in Konijnendijk, 2005) člení výhody a možnosti využití krajinné zeleně na, sociální benefity, estetickou a architektonickou funkci, klimatické a fyzikální funkce, ekologické funkce a ekonomické výhody.

Ekologický pohled, spočívající na existenční hodnotě lesa, v pojetí ve vztahu člověk a les, ve své publikaci “Kvantifikace a hodnocení funkcí lesů ČR“, uvádí Vyskot (2003).

Podle Vyskotovy metody je hodnoceno šest funkcí lesa:

1. bioprodukční,
2. ekologicko-stabilizační,
3. hydricko-vodohospodářská,
4. edaficko-půdoochranná,
5. Sociálně rekreační
6. zdravotně-hygienická

(Vyskot, 2003)

Jedním z požadavků pro naplnění funkcí zeleně v krajině je vytvoření propojené infrastruktury zeleně, která napomůže zachování biodiverzity a fungování ekosystémů. Systémem propojení zeleně ve městech s okolní krajinou a vzájemného propojení ploch zeleně v krajině se zabýváme už v úrovni územního plánování. Proto v současné době spousta mimolesní zeleně spadá do územních systémů ekologické stability (ÚSES). Úkolem územního systému ekologické stability je uchování přirozené biodiverzity krajiny, zajištění příznivého působení na ekologicky méně stabilní části krajiny, podpora polyfunkčního využívání krajiny a uchování významných fenoménů (Flekalová, 2010). Systém ekologické stability je tvořen sítí biocenter a biokoridorů, které v závislosti na společenstvu jsou uspořádány tak, aby biocentra umožňovala trvalou existenci druhů a společenstev a biokoridor podporoval migraci. Poslední složkou ÚSES jsou interakční prvky, jedná se většinou drobnější krajinné prvky a liniová společenstva, která pozitivně působí na ostatní části ÚSES i okolní krajinu (Buček, Lacina et al., 1995).

### **3.1.2. Vývoj mimolesní zeleně**

Mimolesní zeleň byla na našem území historicky formována několika způsoby. Může se jednat o zbytky dřevinných porostů, pak i o samovolné šíření dřevin mimo les a vědomé šíření dřevin člověkem. Za vzhled současné krajiny můžeme děkovat i osvíceným

panovníkům, kteří podporovali výsadby zeleně v krajině. Například Marie Terezie vydala v roce 1752 nařízení sázet podél panských silnic stromy.

Především lípy, moruše, jeřáby, jasany, ořešáky, buky a zvláště ovocné stromy (Vysloužil, 2007). V roce 1769 potom následovalo nařízení o povinnosti sázet stromy v krajině i na vesnicích (Kocourková, 2001). V podobném duchu pokračoval svými nařízeními i Josef II., který zavedl povinnost sázet stromy i u škol, v nichž zavedl výuku ovocnictví. Liniové a plošné vegetační prvky se staly typickým znakem české krajiny (Kocourková, 2000). Lidé často v okolí svých sídel vědomě vysazovali stromy s úmyslem ochrany stavení před bleskem, jako ochranu proti větru, ale i jako letní přístřešky na nádvořích statků a řemeslných dílen. Pomocí liniových výsadeb stromů se často pokoušeli vymezit hranice sousedních pozemků, výsadbou stromů podél cest či na návších propojit své sídlo s krajinou.

Přibližně od roku 1948 docházelo v naší krajině ke spojování pozemků, rozorávání mnoha mezí i polních cest. Což vedlo k velkému snížení podílu rozptýlené zeleně v krajině. Jaké množství dřevinných prvků tímto způsobem v krajině zaniklo lze jen těžko odhadnout. Ale pro představu to podle některých autorů, Weber a Hrochová, (1992) mohlo být až 4 000 km liniové zeleně, 3 600 ha rozptýlené zeleně a rozoráno bylo až 250 000 ha mezí.

### **3.1.3. Územně analytické podklady pro správu zeleně**

Územně analytické podklady týkající se zeleně jsou zpracovávány formou územní studie. Mohou být součástí územních i regulačních plánů. Cílem těchto studií je zajistit rozvoj systému zeleně, který může být jak na úrovni jednotlivce (dendrologické průzkumy), tak i na úrovni jednotlivých objektů zeleně (ploch – pasporty zeleně, model ISAT). Hlavním posláním územního plánování v oblasti správy zeleně je systém rozvojových os v krajině a ve městě, určený k průběžnému rozvoji. Rozvojové osy by měly být navzájem propojeny a měly by vytvářet integrovaný systém volných ploch – zelenou infrastrukturu (Šimek, 2011).

Podklady pro výkon správy zeleně:

**Pasport zeleně** - je základní nástroj pro výkon správy zeleně. Z hlediska územního plánování je možné ho pojmout jako územně plánovací podklad ze skupiny územně analytických podkladů dle zákona 183/2006 Sb. Pasport zeleně poskytuje základní přehled o stavu všech ploch zeleně, které jsou ve správě města. Jedná se o dokument zaměřený především na kvantitu sledovaných vegetačních a technických prvků. Zároveň je jeho součástí i označení intenzity využívání ploch a další informace důležité z pohledu údržby zeleně (Šimek, 2009).

**Dendrologický průzkum** - slouží jako územně plánovací podklad ze skupiny územně analytických podkladů dle zákona 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu v platném znění. Dendrologický průzkum zahrnuje posouzení jednotlivých stromů a jeho předmětem je zjištění vlastností dřevinných vegetačních prvků a posouzení jejich stavu.

**Územní studie** - je součástí základního oborového nástroje výkonu správy zeleně. Slouží jako územně plánovací podklad, který řeší otázky územního rozvoje jednotlivých složek osídlení krajiny. Územní studie navrhuje, prověřuje a posuzuje možná řešení vybraných problémů. Případných úprav nebo rozvoje některých funkčních systémů v území. Například veřejné infrastruktury nebo územního systému ekologické stability, které by mohly významně ovlivňovat nebo podmiňovat využití a uspořádání území (Zákon 183/2006 Sb.).

**Projekt režimu péče** - dokument, specifikující opatření, která zajistí setrvalý rozvoj vegetačních prvků v souladu s programovými, prostorovými a kompozičními záměry daného vegetačního prvku. Součástí projektu režimu péče je projekt údržby a projekt pěstebních opatření.

**Rozvojové programy** - většinou se jedná o projekty zahradních či krajinářských úprav v konkrétní fázi rozpracování (studie, dokumentace k územnímu řízení (DUR), dokumentace ke stavebnímu řízení (DSP), projekt pro provedení stavby (PPS), dále pak podklady pro výběr dodavatele zahradní stavby a úpravy, popř. dokumentace skutečného provedení stavby nebo úpravy (Šimek, 2005).

## **3.2. Stromy v krajině**

Jednou z mnoha podmínek plnění funkce stromů v krajině je jejich stabilita, potažmo provozní bezpečnost. Výskyt stromů ve volné krajině je do jisté míry podmíněn právě provozní bezpečností, čímž se rozumí taková situace, kdy stromy svým výskytem na daném stanovišti neohrožují zdraví lidí pohybujících se v jejich okolí. Zároveň také ani objektů nebo majetku v možném prostoru ohrožení. V obecném pojetí je to vlastně stabilita stromů rozšířená o pravděpodobnost, že při selhání stromu dojde k zasažení cíle pádu (Lonsdale, 1999). U mimolesní zeleně ve volné krajině je pravděpodobnost existence cíle pádu mnohonásobně nižší než u stromů rostoucích v urbanizovaném prostředí. I přesto je třeba se zajištěním provozní bezpečnosti ve volné krajině počítat. Zejména jedná-li se o stromy rostoucí na rekreačně hojně využívaných místech, tedy podél turisticky exponovaných cest v krajině, na hrázích rybníků, podél vodních toků, ale i v blízkosti drobných sakrálních staveb, významných rozcestí a křižovatek, hřbitovů ale také v blízkosti historických cenných a památkově chráněných staveb. Jednoduše všude tam kde riziko při selhání stromu lze vztáhnout k zasažení cíle pádu na dané ploše.

### **3.2.1. Stabilita stromů**

Stabilita je obecně schopnost objektu setrvávat v neměnném stavu i přes případné narušování (Míchal, 1994). V případě provozní bezpečnosti stromů se hodnotí úroveň rizika statického selhání stromu vývratem, zlomem kmene nebo odlomením významné části koruny.

Náplní hodnocení stability stromu je zjištění přítomnosti defektů a poškození, jejich rozsah a možný vliv na mechanické selhání stromu. Podle Wessollyho a Erba, (1998) mechanická stabilita stromu závisí na třech faktorech.

- a) způsobu a velikosti zatížení působící na sledovaný objekt
- b) na mechanických vlastnostech objektu
- c) tvaru

Posouzení stability nepředvídá okamžik selhání. Riziko selhání stromu mohou zásadním způsobem zvýšit nepředvídatelné vnější vlivy, jako je například, vysoká rychlost větru (nad  $32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), turbulentnost proudění, zatížení mokrým sněhem a námrazou (Lonsdale, 1999). K určení kvantifikovatelné hodnoty stability lze využít některou z metod vypočítávající bezpečnostní koeficient (WLA, SIA) nebo přístrojové metody, např. tahové zkoušky či akustickou tomografii. Důležitými faktory při hodnocení stability stromů jsou především:

- defektní větvení (tlakové vidlice, poškozená kosterní větvení apod.)
- symptomy infekce hlavních nosných částí dřevními houbami či xylofágním hmyzem
- přítomnost dutin a výletových otvorů
- habituální defekty (významně zvýšené těžiště koruny, asymetrická koruna)
- výskyt anatomicky nestabilních větvení (sekundární výhony)
- trhliny v hlavních nosných částech
- nekompenzovaný náklon kmene
- symptomy infekce či mechanického poškození kořenů

### **3.2.2. Cíl pádu**

Jedná se o přítomnost osob či majetku, vyskytujícího se v dopadové vzdálenosti stromu v okamžiku jeho selhání. Obecně se charakteristika cíle pádu hodnotí z pohledu možnosti výskytu osob a frekvence jejich pohybu v okolí stromu, nebo existencí staveb v jeho blízkosti (Lonsdale, 1999). Většinou je z pohledu přítomnosti cíle pádu hodnocena celá lokalita, nikoli každý strom zvlášť. V krajině připadají v úvahu aleje, doprovodné a břehové porosty podél frekventovaných turistických tras, stromy v blízkosti drobných sakrálních staveb, na rozcestích a všude tam kde je předpoklad většího pohybu osob.

### **3.2.3. Provozní bezpečnost ve smyslu zákona**

Právní úprava ochrany dřevin rostoucích mimo les je v České republice obsažena v zákoně č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů (dále jen zákon o ochraně přírody) a v příslušné prováděcí vyhlášce č. 395/1992 Sb. Související právní

úprava je pak obsažena v celé řadě dalších právních předpisů. Právě v zákoně o ochraně přírody najdeme v § 7 odst. 2 výslovně uvedeno, že: „*Péče o dřeviny, zejména jejich ošetřování a udržování je povinností vlastníků.*“ Smyslem ustanovení § 7 odst. 2 zákona o ochraně přírody je přitom potřeba zdůraznit, že vlastník pozemku nemůže v žádném případě požadovat zajištění péče o dřeviny po jiných subjektech, například po obci nebo orgánu ochrany přírody (Miko, 2007). Avšak v případě že kořeny nebo větve přerůstající za hranici sousedního pozemku, a vlastník je v přiměřené době od upozornění souseda neodstraní, je podle § 1016 občanského zákoníku (zákon č. 89/2012 Sb.) může je soused šetrným způsobem a ve vhodné roční době odstranit sám. Doslovné znění: „*Soused smí šetrným způsobem a ve vhodné roční době odstranit kořeny nebo větve stromu přesahující na jeho pozemek, působí-li mu to škodu nebo jiné obtíže převyšující zájem na nedotčeném zachování stromu. Jemu také náleží, co z odstraněných kořenů a větví získá*“.

Právní odpovědnost naplnění skutečnosti provozně bezpečného stromu je tedy přenesena na vlastníka stromu. Avšak i zákony a právní předpisy berou v potaz skutečnost, že stromy jsou biologicky živé organismy. Působí na ně celá řada vnějších vlivů, které člověk nemá v moci svými schopnostmi, ani nejlepší vůlí nijak ovlivnit. Proto ani jejich selhání nemůže zcela vyloučit (Horáček, Praus, 2008).

Dále se problematikou péče o dřeviny zabývají některé části těchto právních ustanovení (uvedeny pouze vybrané právní předpisy, týkající se zejména dřevin rostoucích v krajině):

- zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu
- zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích
- zákon č. 266/1994 Sb., o drahách
- zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích (energetický zákon)

### **3.2.4. Odpovědnost za škodu**

Právní odpovědnost za škodu je v občanském zákoníku a dalších předpisech zakotvena na třech zásadních bodech:

### **1) Péče o dřeviny je povinností vlastníka**

Většinou je vlastníkem stromu, majitel pozemku, na kterém strom roste. To vyplývá z občanského zákoníku (zákon č. 89/2012 Sb.). Který definuje vlastnictví stromu takto: „*Součástí pozemku je rostlinstvo na něm vzešlé*“. Avšak v případě že strom vyrůstá na hranici dvou pozemků, patří dle § 1067 občanského zákoníku oběma vlastníkům sousedících pozemků. Zákon to definuje takto: „*Strom náleží tomu, z jehož pozemku vyrůstá kmen. Vyrůstá-li kmen na hranici pozemků různých vlastníků, je strom společný*“.

Výjimku ve vlastnictví stromů však tvoří dřeviny rostoucí jako součást stavby, v případě dřevin rostoucích ve volné krajině jsou to případy stromů rostoucích na hrázích, valech a jiných zemních tělesech, pokud mají charakter stavby. Takové dřeviny jsou součástí stavby a jejich vlastníkem je vlastník stavby, který nemusí být stejný s vlastníkem pozemku. Specifickou, výjimkou je také silniční vegetace.

Péče o dřeviny přitom samozřejmě nezahrnuje pouze provádění jednotlivých zásahů, řezů apod., její nedílnou součástí je rovněž sledování stavu stromu, a to nejen pokud jde o jeho vitalitu, zdravotní stav a podobně. Ale též z hlediska rizika selhání stromu v důsledku zlomu či vývratu, nebo pádu některé jeho částí. Zanedbání péče o dřeviny je porušením právní povinnosti se všemi důsledky.

### **2) Povinnost vlastníka stromu předcházet hrozícím škodám.**

Vlastník stromu je podle občanského zákoníku (zákon č. 89/2012 Sb.). „*povinen počínat si tak, aby nedocházelo ke škodám na zdraví, na majetku, na přírodě a životním prostředí*.“ Požadavky na rozsah a odbornost poskytované péče budou v jednotlivých případech různé, s ohledem na druh dřeviny, charakteru lokality, funkce a významu dřeviny na stanovišti.

### **3) Odpovědnost za škodu, způsobenou někomu jinému je porušení právní povinnosti, ledaže vlastník prokáže, že škodu nezavinil.**

Platná legislativa týkající se vztahů mezi odpovědností majitele stromu a žalobcem řeší prokázání zavinění, a z toho plynoucí i právní odpovědnost za škodu majitelem stromu. A právě v této souvislosti nabývá mimořádného významu hodnocení stromů a zjišťování



jejich provozní bezpečnosti. Vyjde-li totiž při řešení příčin pádu stromu, najevo, že strom trpěl nějakým poškozením, zvyšujícím riziko jeho pádu, nepostačí pro vyloučení odpovědnosti vlastníka takového stromu tvrzení, že o něm nevěděl. Vlastník, aby vyloučil své zavinění, musí prokázat, že o takovém poškození vědět ani nemohl. Pokud se to majiteli stromu nepodaří je to podle občanského zákoníku vnímáno tak že svým jednáním porušil svou povinnost. Proto odpovídá za škodu vzniklou svým jednáním (Horáček, Praus 2008). Z tohoto důvodu se hodnocení stromů a zajištění jejich provozní bezpečnosti stává potřebným nástrojem vlastníků stromů. Respektive majitelů pozemků, na nichž se stromy vyskytují, a lze tam předpokládat výskyt cílů pádu.

### **3.3. Péče o stromy v krajině**

V urbanizovaném prostředí a v kulturní krajině je nutné hledat způsoby, jak sladit lidské potřeby a požadavky s těmi přírodními. Z toho vyplývají dva základní důvody proč vlastně ošetřovat stromy. Snahou člověka při ošetřování stromů je prodloužení jeho perspektivy, respektive předejití jeho předčasnému statickému selhání a především zajištění jeho provozní bezpečnosti, tedy minimalizace nebezpečí selhání a zasažení cíle pádu (Kolařík et al, 2010). Většina stromů, kterým se věnuje individuální přístup, roste sice ve městech, ale jen velmi těžko můžeme z tohoto pohledu stanovit jasnou hranici mezi městy a krajinou. Mnoho stromů, které vyžadují detailní přístup, se nachází i mimo hranice města ve volné kulturní krajině.

Zásahy na stromech by měly být vždy prováděny v minimální možné míře, ale zároveň v takovém rozsahu, aby byla co nejdéle udržena perspektiva stromu na jeho stanovišti. Současně je však nutné zajistit jeho provozní bezpečnost na stanovišti (Lonsdale, 1999).

#### **3.3.1. Vývoj péče o stromy na našem území**

Ošetřování vzrostlých stromů na našem území prošlo dlouhým vývojem. Přes vyzdívání dutin a konzervace stromů prováděných Ing. Janem Fričem ve třicátých letech minulého století, přes období sedmdesátých let kdy byla prováděna takzvaná stromová chirurgie až po současné pojetí arboristiky. Kdy dochází k přesnému vymezení pojmů, technologií a

postupů vedoucích k profesionální péči o stromy. K počátkům této profesionalizace přispělo velkou měrou založení Sekce péče o dřeviny, jako jedné ze složek Společnosti pro zahradní a krajinnou tvorbu. Sekce je členem jak Mezinárodní arboristické společnosti ISA, tak i Evropské arboristické rady EAC.

Dnešní arboristika je neoddělitelnou složkou několika oborů, zahradnictví, sadovnictví, zahradní a krajinné architektury a lesnictví. Propojuje poznatky mnoha vědních disciplín, jako je dendrologie, botanika, fytopatologie, fyziologie dřevin, entomologie, biomechanika apod. Strom je vnímán jako biotop, životní prostor pro spoustu dalších organismů.

### **3.3.2. Hodnocení stromů**

V rámci hodnocení stavu stromů je cílem získat popis stromu a jeho stanoviště. Zhodnocení biologického stavu, zhodnocení z pohledu mechanického stavu, klasifikace rizik spojených s přítomností stromu na stanovišti a v neposlední řadě i odhad dynamiky budoucích změn. Nástin budoucího vývoje přímo souvisí s návrhem opatření směřujících ke zlepšení podmínek pro jeho růst, popřípadě ke stabilizaci zjištěných defektů (Mattheck, 2006).

U nás vznikaly metodiky hodnocení stromů spíše pro potřeby zahradní architektury, tedy se zaměřením především na estetickou hodnotu stromu v kompozici (Machovec, 1982). Celosvětově je zaměření metodik hodnocení stavu stromů orientováno spíše na potřeby hodnocení provozní bezpečnosti stromů. Potřeba bezpečných stromů v urbanizovaném prostředí ale i v kulturní krajině je čím dál více žádaná (Kolařík et al, 2010). V současné době je dokončován standard Hodnocení stavu stromů (v oponentuře, SPPK A01 001 Hodnocení stavu stromů), doporučený Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR.

Vždy je nutné rozhodnout, jakým způsobem bude hodnocení stromů probíhat, ne vždy je přímo nutné provádět individuální hodnocení. U některých ploch, zejména méně navštěvovaných postačuje vyhledat potenciálně nebezpečné a havarijní stromy a ty ošetřit. To se týká zvláště typických vegetačních prvků krajinné zeleně, které ze své podstaty nebývají tak intenzivně navštěvovány a zatíženy existencí cíle pádu jako stromy ve městech.

## **Úrovně hodnocení stromů:**

### **Vizuální hodnocení**

Probíhá formou základní inventarizace, která zahrnuje lokalizaci stromu a určení základních taxonomických a dendrometrických údajů. Dendrologický průzkum zahrnuje: základní inventarizaci, fyziologické stáří, vitalitu, zdravotní stav, stabilitu, perspektivu a datum provedeného hodnocení.

Údaje z dendrologického průzkumu slouží pro návrh zásahu, jehož výsledkem je určení technologie zásahů (co přesně se má provést), naléhavost zásahů (kdy se to má provést) a jejich opakování. Výsledný návrh péče by měl jasně definovat všechny zásahy i s jejich časovým harmonogramem.

### **Speciální průzkumy vizuálního hodnocení**

Slouží k získání dalších specifických informací o hodnocených stromech, jedná se o detailnější nadstavbu dendrologického průzkumu v odůvodněných případech, kdy výsledkem specializovaných průzkumů je navržení přesně mířeného zásahu. Rozsah a účel těchto průzkumů je vhodné mířit přímo na konkrétní stromy a někdy postačí i jejich zjednodušená forma. Tyto průzkumy je vždy nutné provádět v souladu s přáním zadavatele.

Mezi specializované průzkumy řadíme:

- biomechanickou a bezpečnostní analýzou stromu - mohou být využívány všechny publikované metodické postupy: SIA, VTA, QTRA, TRAQ, WLA
- průzkum kořenové zóny - jedná se o vizuální posouzení možnosti ovlivnění stanovištních poměrů v prokořenitelném prostoru stromů
- vyhodnocení biologického potenciálu - zjištění existence biologicky atraktivních prvků na stromě, zaznamenávají se dutiny, hniloby, suché větve, zlomené větve, plodnice hub apod.
- sadovnická hodnota - vyjadřuje současnou a potencionální funkčnost stromu na daném stanovišti, je podmíněna především taxonem, dendrometrickými parametry, architekturou nadzemní části a kvalitativními atributy

- kompoziční hodnota - uvádí se především v památkově chráněných objektech zahradní a krajinářské architektury, hodnocenými atributy jsou lokalizace stromu v kompozici, původnost stromů a historická vhodnost stromů
- fytopatologický průzkum apod.

### **Přístrojové metody hodnocení**

K použití přístrojových metod hodnocení stromů se přistupuje u stromů skutečně významných a hodnotných, u stromů s předpokladem rozsáhlého interního defektu, u nichž by jejich eventuální selhání mohlo způsobit velké škody. Přístrojové metody umožňují zpřesnění a objektivizaci zhodnocení stavu stromu a exaktnějšího zhodnocení defektů v případě stability. Při hodnocení stability a provozní bezpečnosti jsou zaměřeny hlavně na zjištění vlastností dřeva (pevnosti), jeho množství a rozložení v prostoru (Mattheck, 2006). Přístrojové metody jsou založeny na různých fyzikálních principech, např. měření rychlosti šíření zvuku, měření elektrického odporu ve dřevě apod. Lze tak určit dostatečnou kvalitu a množství materiálu pro přenos mechanického napětí. Využití přístrojových metod je posledním krokem při hodnocení stromů na dané ploše a vždy mu musí předcházet vizuální hodnocení (Szórádová, Praus, 2010).

Použití přístrojových metod je možné pokud:

- Vizuální hodnocení není dostačující
- Hodnota stromu je velmi vysoká
- Skutečný stav stromu je sporný, vizuálním hodnocením není možné bezpečně prokázat stav stromu
- Měřením nesmí dojít k poškození dřeviny
- Musí být maximálně komplexní a šetrné

### 3.4. Dřevokazné houby

Dřevokazné houby se řadí většinou mezi stopkovýtrusé houby (*Basidiomycota*) a částečně i vřeckovýtrusné (*Ascomycota*). Podhoubí (mycelium) i plodnice hub se skládají z mnoha mikroskopických, vzájemně propojených hyf, jejíž funkce je podobná s funkcí lidských cév (Huckfeld, 2007). Podhoubí (mycelium) svými vlákny (hyfami) proniká přes pletiva hostitele a působením enzymů je rozrušuje. Za příznivých životních podmínek vyrůstají z podhoubí plodnice, složené z navzájem druhotně srostlých hyf. Plodnice hub mohou mít rozdílné tvary i velikosti, od úplně mikroskopických až po velké útvary. Houby mají schopnost se množit pohlavně i nepohlavně a výtrusy se často šíří vzduchem, vodou nebo na těle živočichů.

V ekosystému zahajují dřevokazné houby sukcesní pochody vedoucí k humifikaci a v některých případech až k mineralizaci dřevní hmoty. Celý tento systém zahrnuje čtyři hlavní složky: biotop s abiotickými faktory (půda, podnebí, mrtvá organická hmota), producenty (autotrofní rostliny), konzumenty (živočichové, člověk) a dekompozitory (rozkladači). Dřevokazné houby patří mezi dekompozitory (rozkladače). Z makromolekul organických látek získávají energii potřebnou k naplnění svých životních funkcí (Klán, 1989). Houby mají nezastupitelné místo v přírodních ekosystémech pro svou schopnost rozkládat veškerou biomasu stromů a navracet jí zpět do koloběhu živin v potřebném množství a v dosažitelné formě. Uhlík uložený v lignocelulózách navrací ve formách snadno dostupných sloučenin.

#### 3.4.1. Působení dřevokazných hub na stromy v krajině

Přítomnost aktivní infekce dřevokazných hub na stromě je jedním z nejdůležitějších parametrů při posuzování stability a zdravotního stavu. Houby jsou skupinou organismů, schopných kompletně rozkládat lignocelulózu dřevní hmoty (Kolařík et al., 2008). Rozklad dřevní hmoty často probíhá v centrální části kmene, proto jsme při detekci hniloby odkázáni na vnější symptomy existence hniloby, jako je zbytnění báze kmene způsobené adaptačním růstem, nebo přítomnost houbových plodnic. Ani jeden

z těchto znaků neumožňuje stanovit rozsah hniloby a zbytkovou pevnost kmene (Lonsdale, 1999).

Plodnice je třeba druhově určit, protože jednotlivé druhy hub mají různé ekofyziologické parametry a jinou agresivitu. V případě víceletých plodnic to nebývá takový problém, ale pokud je plodnice jednoletá je třeba hodnocení podřídít době jejich fruktifikace, nebo kontrolu provádět častěji (Schmidt, 2006). Při posouzení vlivu hniloby je rozhodujícím faktorem její lokalizace, rozsah a poměr tloušťky zbytkové stěny v průměru kmene. Ke zjištění zbytkové stěny lze využít speciálních metod vizuální hodnocení nebo v komplikovanějších případech přístrojových testů.

Jak již bylo řečeno, dřevokazné houby mají vhodné enzymatické vybavení, díky kterému dokáží získávat z celulózy, hemicelulózy a ligninu živiny pro svůj růst. Enzymatický aparát jednotlivých hub je různý a často stejný druh houby produkuje odlišné spektrum enzymů v závislosti na stanovišti a druhu stromu (Schmidt, 2006). Napadení dřeva houbami nastává pouze za vhodných podmínek a to při vhodné kombinaci vlhkosti dřeva a teploty. Obecně musí dřevo obsahovat minimálně 20 % vody, aby došlo k rozvoji houby. Optimální podmínky pro rozvoj hub jsou při vlhkosti dřeva 30-35 %. Optimální teplota pro růst většiny druhů hub je 20-25 °C.

### **3.4.2. Ekologické strategie dřevokazných hub**

Podle vztahu hub ke svému hostiteli rozlišujeme houby saprofytické, působící pouze na odumřelém dřevu a parazitické, které cizopasí na živém dřevu. Nejčastější formou životní strategie je však kombinace saprofytického a parazitického způsobu života. Stejný druh dřevokazné houby můžeme najít na živém stromu i na mrtvém dřevě, v tomto případě mluvíme o saproparazitizmu (Lederer, 1998).

**Parazitické houby** - jsou schopny rozkládat především živé dřevo, jejich schopnost kolonizovat odumřelé dřevo je omezená (Kolařík et al. 2010)

**Saprofytické houby** - rostou na odumřelém dřevě, jejich mycelium nemá schopnost přirůstat do dřeva fyziologicky aktivního. Tyto houby mohou vniknout do živého kmene,

vznikne-li na povrchu větší rána, v níž dřevo odumře. Tímto dřevem pronikne hniloba až do jádra. Právě do této skupiny patří nejvíce druhů dřevokazných hub (Lederer, 1998).

**Saproparazitické houby** - jsou schopné kolonizovat jak živé dřevo, tak i dřevo na odumřelých částech dřevin (Kolařík et al., 2010).

### **3.4.3. Rozklad dřeva**

Všechny druhy dřevokazných hub narušují dřevo jen určitým způsobem. Infekce dřeva houbami má výrazný vliv na jeho chemické a fyzikální vlastnosti. Na základě toho, kterou složku dřeva houby svojí činností rozkládají, je dělíme na celulózožravé a lignivožravé.

Celulózožravé (houby hnědého tlení) rozkládají jen celulózu a hemicelulózu, tím způsobují destruktivní rozklad dřeva, který se označuje jako hnědá hniloba. Výrazná převaha hnědé barvy je způsobena uvolňováním ligninu. Charakteristickým znakem hnědé hniloby je kostkovitý rozklad dřeva, který je výsledkem mechanického oslabení buněčných stěn (Schwarze, Engels, 2000). Dřevo postupně hnědne uvolňovaným ligninem, snižuje se jeho hmotnost i objem, rychle ztrácí pevnost a stává se křehkým a lámavým. V pokročilém stadiu rozkladu zůstane ze dřeva pouze práškovitá beztvářá hmota (Schmidt, 2006).

Lignivožravé houby narušují kromě celulózy i lignin. Způsobují rozklad dřeva, označovaný jako bílá hniloba. Dřevo rozkladem většinou zesvětlá, postupně měkne, ale neztrácí tak rychle pevnost jako při hnědé hnilobě, objem se zmenšuje pomaleji. Dřevo má houbovitý vzhled a jeho rozpad je spíše vláknitý. Při stejném rozsahu napadení, houby bílého tlení snižují pevnost dřeva několikrát pomaleji (Kolařík et al., 2010).

### **3.5. Obranné mechanismy stromů**

Za dlouhou historii společného vývoje stromů a dřevokazných hub, si stromy vytvořily obranné mechanismy proti působení dřevokazných hub. Dřeviny jsou schopné reagovat na poškození či napadení patogenem pomocí svých obranných mechanismů (Gregorová, 2000). Odolnost dřevin vůči patogenním organismům a proti biotickým a abiotickým poraněním je závislá především na druhu dřeviny a jejím konkrétním stavu, především

vitalitě (Shigo, 1990). Dále jsou popsány příklady některých obranných mechanismů stromů.

**Model CODIT** - (Compartmentalization Of Decay In Trees) znamená v překladu „odizolování hniloby ve stromě“ (Kolařík, 2003). Model, který popisuje Dr. A. L. Shigo (Shigo, 1990) je založen na přirozených procesech obrany stromu proti pronikání patogenních organismů, především dřevokazných hub. Zjednodušený model popisuje, odizolování hniloby uvnitř pletiv stromu pomocí tzv. bariér, kterými strom zabraňuje hlubšímu pronikání patogenního organismu do dřeva (Ždárský, 2008). Model CODIT se skládá ze čtyř základních zón, které strom buduje. První se nazývá reakční zóna a je složena ze tří bariér (stěn). První stěna zabraňuje průniku patogenního organismu směrem svisle nahoru nebo dolů, je nejslabší bariérou celého modelu. Stěna dvě brání průniku kolmo přes letokruhy směrem do středu k jádru a je druhou nejslabší. Stěna tři brání průniku patogenu z boku podél hranice letokruhu. Tyto zóny jsou relativně slabé a bývají snadno překonány. V následující vegetační sezóně strom vytváří bariérovou zónu. To je vrstva z anatomicky i chemicky změněných buněk, které oddělují nové přirůstající dřevo, tvoří ji jedna stěna. Tyto buňky tvoří velmi silnou fyziologickou obranu, pro dřevokazné houby těžko překonatelnou (Shigo, 1991).

**Tvorba kalusu** – je hojivé pletivo, které se při poranění aktivuje. Pletiva kalusu, která zavalí ránu, fungují jako obranná bariéra proti vniku nebo rozšiřování patogenu do nově přirůstajícího dřeva. Kalus je pletivo, skládající se ze slabě zdřevnatělých buněk, které mají schopnost dalšího dělení. Aby tuto schopnost měly, a mohly tak aktivně růst a hojit rány, je nutná přítomnost živého kambia (Gregorová, 2000).

**Ucpávání cév** – patří k obranným mechanismům jak dřevin, tak i bylin. Tímto mechanismem reagují na stresy způsobené různým poraněním. Slouží k zabránění průniku bakteriálních a houbových patogenů do zdravých částí cév. Tyto patogeny způsobují bakteriózy a tracheomykózy. Některé dřeviny ucpávají cévy thyly, což jsou protoplasty sousedních parenchymatických buněk (Gregorová, 2000).

**Ronění pryskyřice** - tento způsob obrany se projevuje u některých jehličnatých stromů, které mají pryskyřičné kanálky. Když jsou dostatečně zásobeny vodou, vylučují pryskyřici,



která vyplňuje prostory mezi buňkami a impregnuje buněčné stěny. Ty po ztuhnutí mají mechanickou obranou funkci (Gregorová, 2000).

**Výmladnost** – je schopnost stromů vytvářet nové výhony z adventivních (náhradních) a latentních (spících) pupenů. Dřevina se tímto sice snaží nahradit části, o které přišla, ale zároveň se tím vytváří komplex negativních jevů (Kolařík et al., 2008). Tím že výhony vyrůstají z okrajových pletiv větví, je jejich růst velmi rychlý a dosahují tak za poměrně krátkou dobu velkých rozměrů. Zároveň však postrádají pevné zakotvení do dřeva jako původně vyrostlé větve. Velmi snadno tak může dojít k vylomení sekundárních výhonů. Proto musí být prováděné opakované radikální řezy, při kterých často dochází k tvorbě rozsáhlých ran v kosterním větvení.

### **3.6. Metody k zjišťování vnitřního poškození stromu**

**Akustická měření** - metoda je založena na měření rychlosti šíření zvukového signálu dřevem. Tyto metody měří rychlost zvuku na přímce, pouze mezi dvěma body a proto i jejich vypovídací schopnost je omezená. Jedná se o metodu nepřímou, bodovou a často poměrně destruktivní. Mezi používané přístroje patří: Arborsonic Decay Detector, Pundit, Fakopp 2D Timer, Impulse Hammer, Sylvatest.

**Akustická tomografie** - na základě série měření rychlosti šíření zvukového signálu ve dřevě je sestaven pomocí softwaru plošný dvourozměrný případně i trojrozměrný obraz měřeného průřezu. Používané přístroje jsou: Arbotom, Fakopp, Picus.

**Elektrická impedanční tomografie** - principem metody je měření elektrického napětí a odporu v průřezu kmene. Na základě vyhodnocení měření krátkých impulzů jednosměrného proudu je zjištěna elektrická impedance v průřezu kmene a tím změny rychlosti přenosu tekutin ve vodivých pletivech. Použitím těchto přístrojů lze kvantifikovat fyziologickou vitalitu a přítomnost infekce uvnitř kmene, výsledky měření jsou však závislé na klimatických podmínkách. Spojením s akustickou tomografií lze poměrně úspěšně detekovat typ hniloby i její stádium. Používané přístroje: Picus Tretronic (Kolařík et al., 2010).

**Penetrometrická měření** - principem metody je měření energie nutné k proniknutí tenkého vrtáku kolmo dřevem. Průměr vrtaného otvoru je od 1 do 3 mm a přístroje jsou schopné zaznamenat změny odporu s přesností 0,1 mm. Pomocí této metody je možné zjistit změny hustoty dřeva v měřené oblasti a tím i určit případnou hnilobu. Problémem je, že tyto přístroje jsou schopny indikovat hnilobu až ve fázi masivního napadení, měření je bodové a má destruktivní charakter. Přístroje: Resistograph, Sibbert, Digital MicroProbe (Kolařík et al., 2010).

**Odebírání vývrtů** - vzhledem k destruktivitě měření není používání těchto metod prováděno na živých stromech s interními defekty. Během měření je odebírán vývrt přírůstovým nebozezem, přičemž vzniká otvor o velikosti až 1 cm. Následně jsou odebrané vývrty analyzovány postupným odlamováním částí vývrtu. Přitom je sledován odpor, který je kladen proti zlomení (Mattheck, 2007). Používá se Fractometr, Presslerův nebozez.

### 3.7. Rychlost šíření zvuku ve dřevě

Akustické vlastnosti dřeva jsou schopnosti materiálu utlumit, vést nebo zesílit zvuk. Lze to vyjádřit jako vlnění částic ve dřevě způsobující šíření zvuku při rozkmitání dřeva. Základní akustické vlastnosti dřeva jsou charakterizovány: akustickou konstantou, modulem pružnosti, frekvencí s amplitudou kmitů a logaritickým dekrementem útlumu (Požgaj, 1997). Zvuk se šíří rychlostí  $c$  ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), která je závislá na frekvenci  $f$  ( $\text{Hz}$ ,  $\text{s}^{-1}$ ) a vlnové délce  $\lambda$  (m)

Rychlost šíření zvuku ve dřevě:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$E$  – modul pružnosti ( $\text{Pa}$ )

$\rho$  – hustota dřeva ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

Byly vyvinuty přístroje, které na základě rychlosti šíření zvuku ve dřevě jsou schopné nedestruktivní cestou zjistit změny jeho kvalitativních vlastností.

Fyzikální vlastnosti buněčné stěny ovlivňují ultrazvukové pole dřeva, kde se každý konstrukční prvek dřeva chová jako zesilovač zvuku. Nedestruktivními metodami stanovujeme pružné a plastické charakteristiky dřeva, na základě přímého nebo nepřímého měření rychlosti šíření pružných vln ve dřevě (Bucur, 2010). Rezonance dřeva je jeho schopnost zesílit zvuk bez zkreslení.

Rychlost šíření zvuku ve směru vláken lze přibližně srovnat s některými kovy, avšak v příčném směru je až 3krát menší. Porovnání rychlostí šíření zvuku podél vláken, se směrem kolmo na vlákna (v radiálním a tangenciálním směru) lze přibližně vyjádřit v poměru 15:5:3, tento vztah je však závislý na druhu dřeviny, hustotě dřeva a modulu pružnosti. Vlhkost obsažena ve dřevě má na rychlost šíření zvuku negativní vliv, s rostoucí vlhkostí dřeva klesá rychlost zvuku (Požgaj, 1997).

Tab. 1 Průměrné hodnoty rychlosti šíření zvuku ve dřevě (Horáček, 2008)

Druh dřeva	$\rho$ [kg m <sup>-3</sup> ]	Modul pružnosti E [MPa]		Rychlost zvuku c [m s <sup>-1</sup> ]	
		s vlákny	⊥ na vlákna	s vlákny	⊥ na vlákna
smrk	470	11 000	550	4 790	1 072
jedle	460	11 000	490	4 890	1 033
javor	630	9 400	915	3 826	1 194
buk	730	16 000	1 500	4 638	1 420
ďub	690	13 000	1000	4 304	1 193

**Modul pružnosti** - vyjadřuje vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci. Čím vyšší hodnoty modul pružnosti má, tím větší zatížení je třeba vyvinout k jeho deformaci. Modul pružnosti hodnotí materiál z pohledu jeho mechanických vlastností (Dahmen 2010).

**Akustická konstanta** - vyjadřuje schopnost materiálu odevzdat svou energii do okolního prostředí (vzduchu), je to ukazatel rezonanční vlastnosti dřeva. Vyšší hustota, vlhkost a obsah vad ve dřevě způsobují snížení akustické konstanty (Požgaj 1997).

**Logaritmický dekrement útlumu** – vyjadřuje ztrátu přenosu zvuku přes dřevo. Přestane-li působit síla vyvolávající vibrace materiálu, dochází k poklesu rozkmitu až k jeho úplnému utlumení (Horáček, 2008).

**Akustický vlnový odpor** – je to odpor prostředí působící proti šíření zvukové vlny.

## **4. Metodika**

Pomocí akustického tomografu Fakopp 3D bylo opakovaně provedeno měření vybraných stromů na čtyřech lokalitách na ŠLP Křtiny. První dvě plochy se nachází v Arboretu Křtiny a další dvě lokality v porostech na polesí Habrůvka. Pro lepší orientaci byly pro tvorbu této práce jednotlivé plochy označeny: rok měření (2015, 2016) BK\_ARB., SM\_ARB. a SM\_A. a SM\_B. Porovnáním výsledků opakovaných měření akustickým tomografem a Resistographem bylo procentuálně stanoveno plošné rozšíření hniloby za jeden rok. Stromy byly systematicky vybrány na základě vizuálního posouzení. Snahou bylo vybrat stromy poškozené, napadené hnilobou či jiným patogenem, aby bylo možné vyhodnocovat rozsah a změnu vnitřního poškození. Na závěr bylo pokáceno na ploše SM\_ARB. několik stromů a naměřená data byla porovnána se skutečným stavem kmene.

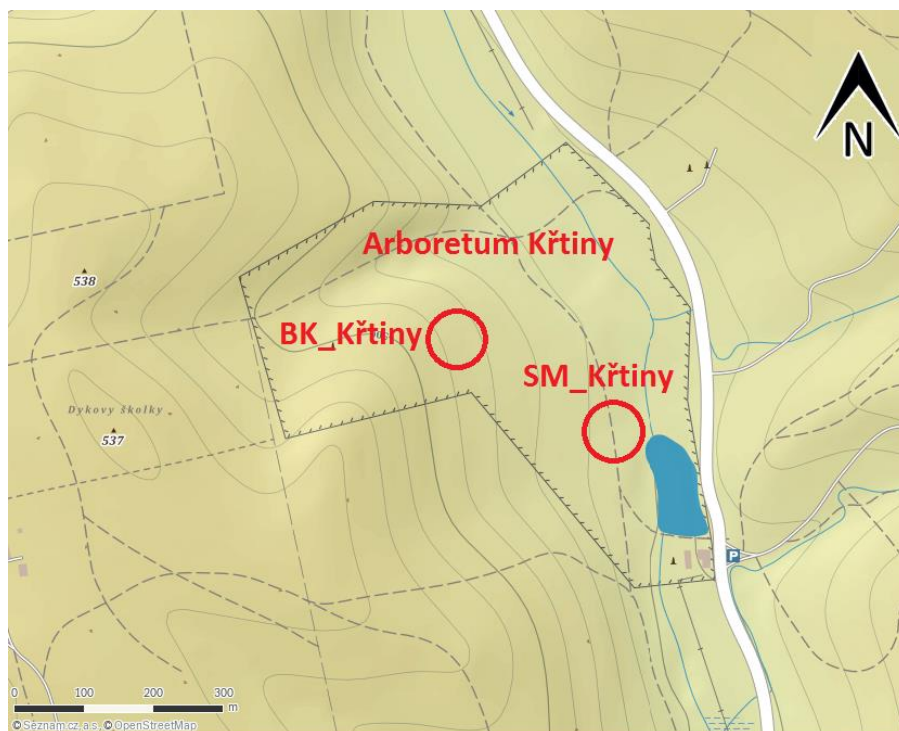
### **4.1. Základní údaje o lokalitě**

Školní lesní podnik „Masarykův les“ Křtiny slouží jako demonstrační zařízení lesnického a dřevařského hospodaření. Jsou zde pořádány exkurze, propagační, výukové a výzkumné akce. ŠLP Křtiny tedy plní funkci účelovou, výchovnou, estetickou a hospodářskou.

#### **4.1.1. Arboretum Křtiny**

Je to nejstarší a svou rozlohou 23 ha, největší arboretum ŠLP „Masarykův les“ Křtiny. Spadá pod polesí Habrůvka. Nachází se v těsné blízkosti CHKO Moravský kras, přesněji mezi městysi Křtiny a Jedovnice, přibližně 20 km severně od Brna. Arboretum bylo založeno profesorem A. Bayerem v letech 1928-1929 a odbornou správu v současnosti vykonává Ústav lesnické botaniky, dendrologie, a geobiocenologie. Nadmořská výška se v území pohybuje od 450 do 520 m, průměrná roční teplota je 6 °C, průměrné roční srážky jsou 640 mm. Skoro třetinu plochy zabírá rovinnaté údolí nivy kolem potoka, táhnoucí se od severu k jihu a tvořící mrazovou kotlinu. V jihovýchodní části arboreta najdeme rybník, většina svahů je orientována na východ (Úradníček, 2010). V arboretu Křtiny byly zvoleny dvě lokality, první v dolní části arboreta západně od rybníka.

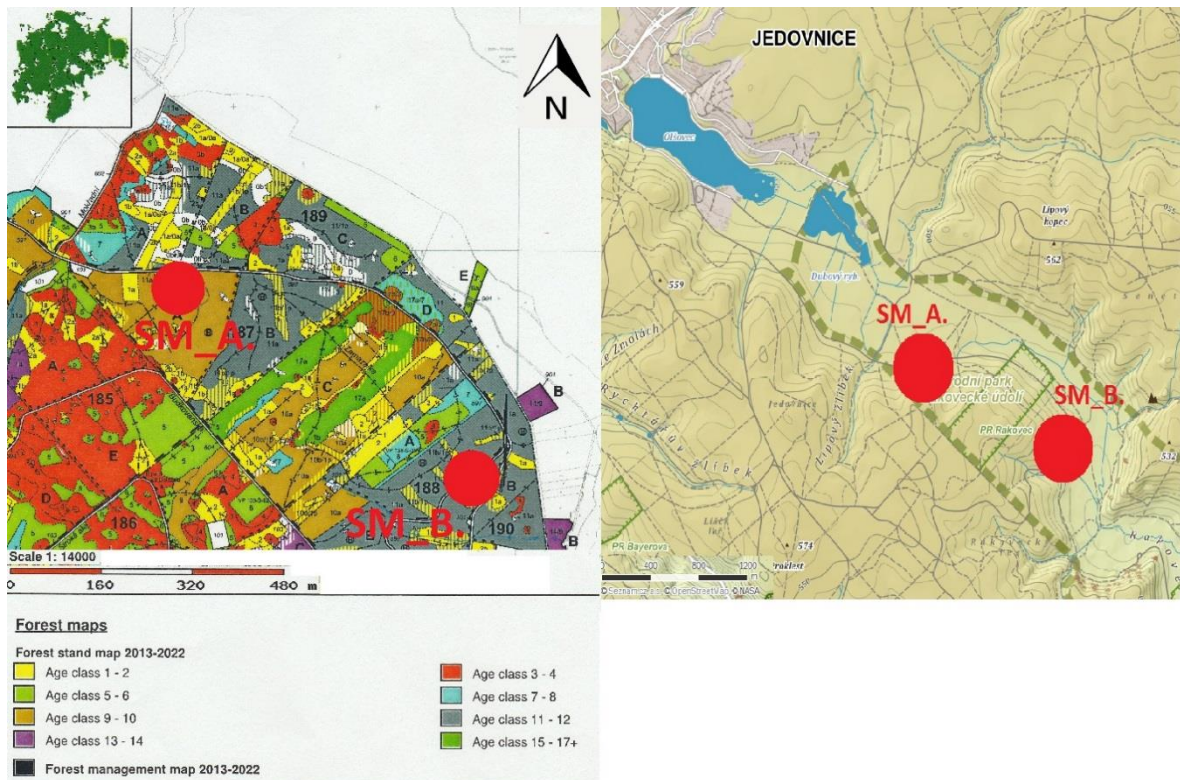
Podél naučné stezky bylo měřeno 11 smrků ztepilých (*Picea abies* L.). A v horní části arboreta zvané „prales“ bylo měřeno 8 vzrostlých buků (*Fagus sylvatica* L.).



Obr. 1 Výzkumné plochy v arboretu Křtiny

### 4.1.2. Polesí Habrůvka

Polesí Habrůvka hospodaří na 4.006 ha lesa, a je členěno na 5 lesnických úseků. Lesní porosty zasahují od Adamova, resp. na východě od Jedovnic, až k Blansku. Proto je i zde velmi významná rekreační a estetická funkce lesa. Měření bylo prováděno v porostech 187A10, 190A11 s dominantním zastoupením smrku.



Obr. 2 Výzkumné plochy u Jedovnic

### 4.2. Metodika sběru dat

Výzkum byl prováděn v období dvou let, první sběr dat proběhl v dubnu 2015 a druhý v dubnu 2016. Celkem na čtyřech lokalitách bylo vybráno a opakovaně měřeno akustickým tomografem 49 stromů, z toho 8 buků (*Fagus sylvatica* L.) a 41 smrků (*Picea abies* L.). Vybrané stromy s detekovanou dutinou byly následně vyšetřeny Resistographem pro porovnání zbytkové stěny.

### 4.2.1. Metodika vizuálního hodnocení

U vybraných stromů byly zaznamenávány tyto parametry:

- Druh stromu
- Výška umístění snímačů akustického tomografu
- Průměr kmene v [cm] v místě měření
- Výška stromu v [m] měřena pomocí laserového výškoměru Nikon Forestry Pro
- Vitalita
- Fotodokumentace

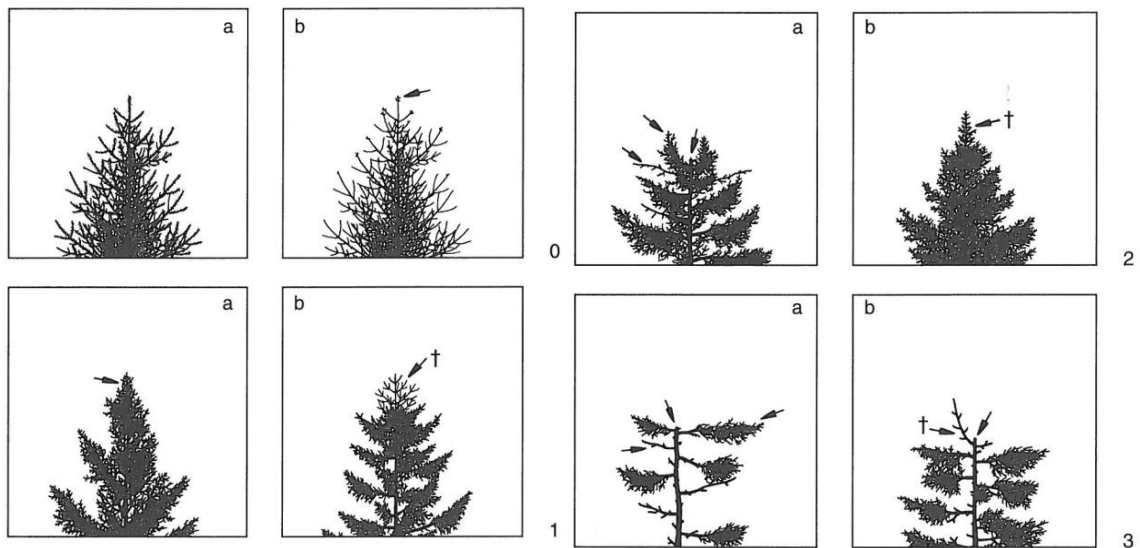
Vizuální hodnocení a sběr dendrometrických dat bylo prováděno dle standardu SPPK A01 001:2014 Hodnocení stavu stromů.

#### Hodnocení vitality

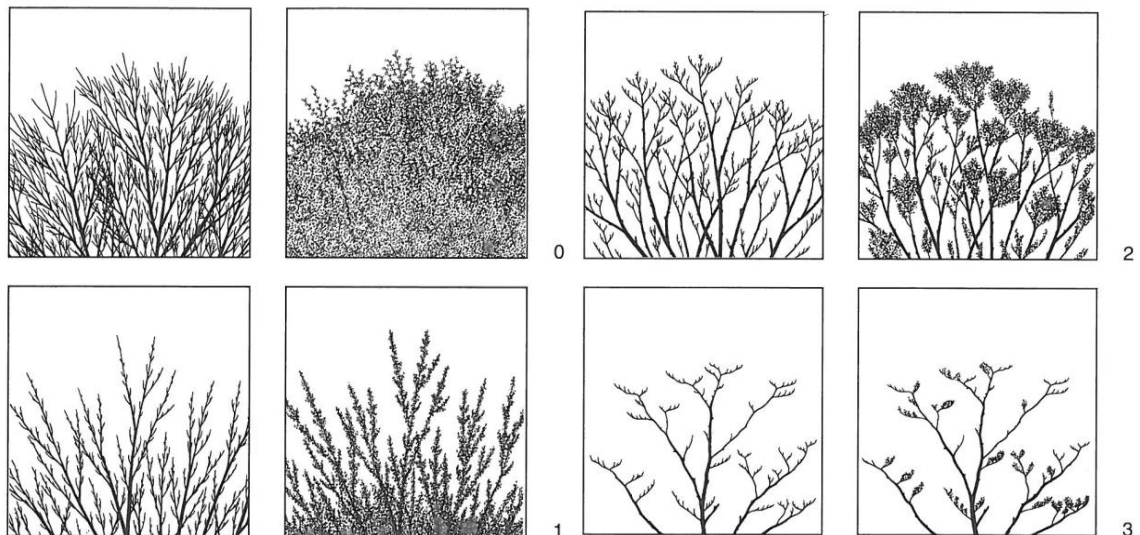
Hodnocení vitality stromů bylo zpracováno dle fázového modelu růstu výhonů dle Roloffa (2015). Tento indikátor vitality stromu vychází z předpokladu, že růst výhonů, jeho dynamika a vznikající změny tvaru větvení odráží dlouhodobý vývoj vitality stromu. Ve fázových modelech růstu výhonů jednotlivých druhů rozlišujeme:

0. fázi explorace – z vrcholových i postranních pupenů každoročně vyrůstají dlouhé výhony, koruna je hustá, zavětvená, kompaktní bez vyčnívajících větví, olistění bez větších mezer
1. fázi degenerace – z terminálního pupenu každý rok vyrůstají dlouhé výhony, z bočních pupenů krátké výhony, větvení je na okrajích opticky řidší, jakoby roztřepené, objevují se suché větve (do 5 %), uvnitř koruna dosud poměrně hustá
2. fázi stagnace – ze všech pupenů vyrůstají jen krátké výhony, ustává další větvení – krátké výhony se nevětví, zastaven či téměř zastaven je výškový přírůst, rovné a průběžné větve na okraji koruny chybí, krátké výhony se shluky listů se snadno ulamují, koruna se zřetelně prosvětluje, vznikají větší mezery v koruně
3. fázi rezignace – vylamují se větší větve, odumírají celé části koruny, včetně vrcholu, koruna se rozpadá na dílčí izolované části (Roloff, 2015).





Obr. 3. Fázový model růstu výhonů dle Roloffa (2015), *Picea abies*



Obr. 4. Fázový model růstu výhonů dle Roloffa (2015), *Fagus sylvatica*

#### 4.2.2. Metodika sběru dat akustickým tomografem

##### Fakopp ArborSonic 3D

Jedná se o přístroj fungující na principu měření rychlosti zvuku při průchodu dřevem. Pomocí série měření průniku zvukového signálu dřevem mezi jednotlivými senzory je sestaven plošný obraz měřeného průřezu kmene. Základním principem je fakt, že rychlost zvuku klesá, v případě že ve sledované části stromu je dřevo poškozené dřevokaznými

houbami nebo se vyskytuje dutina. Tato místa zvuk obchází a tím roste čas průchodu, což se projeví poklesem rychlosti zvukového signálu.

Výsledkem měření těchto přístrojů je mimo jiné i grafické zobrazení nosného profilu kmene včetně míry rozložení dřevní hmoty a míry poškození dřeva, tzv. tomogram. Významným plusem této metody je skutečnost, že se jedná o techniku neinvazivní. Na interpretaci výsledků měření má značný vliv změna vlhkosti ve dřevě. Používají se především v případech, kdy je třeba přistoupit ke zjištění rozsahu defektu ve kmeni.

Akustický tomograf Fakopp ArborSonic 3D se skládá z:

- Přístroj:
  - Senzorů
  - Zesilovačů
  - Bateriového boxu s Bluetooth
  - Kabely k propojení snímačů se zesilovacími krabičkami
  - Kabely k propojení zesilovacích krabiček
- Příslušenství:
  - Notebook nebo tablet s operačním systémem Windows
  - Software ArborSonic 3D
  - Gumová palička
  - Ocelové kladívko
  - Pásmo a svinovací metr

Technická data:

- |                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| - Celková hmotnost bez počítače | 8 kg                 |
| - Baterie                       | 9 V dobíjecí baterie |
| - Příkon zesilovače             | 60 mW                |
| - Průměrná odchylka při měření  | $\pm 2 \mu\text{s}$  |
| - Přenosová rychlost            | 9600 bps             |
| - Propojení s počítačem         | Bluetooth            |

**Senzory** - fungují jako vysílač signálu a zároveň i jako přijímač. Hrot snímače je zatlučen do kmene stromu tak, aby byl zajištěn přenos signálu do dřeva, a úderem kladívka na ocelovou hlavičku je vyslán signál ze snímače do kmene a na ostatní snímače. Ostatní senzory v tu chvíli mají funkci přijímače a signál přijmou. Signál je snímán pomocí piezo - elektrických snímačů.

**Zesilovače** – senzory jsou po párech připojeny k zesilovačům, které sbírají a zesilují signál a zároveň mají pořadové číslo, adresu, která je v systému unikátní. Vstupní konektory jsou očíslovány a je nutné vždy dodržet pořadí čísel, aby systém byl schopen identifikovat časy průniku zvuku mezi jednotlivými senzory. První propojovací konektor ze zesilovací krabičky je umístěn v její spodní části a druhý na pravém boku. Při instalaci je vždy nutné dodržet pořadí konektorů, tedy první krabička je propojena kabelem z bočního spojovacího konektoru do dolního spojovacího druhé krabičky.

**Bateriový box s Bluetooth** - slouží k přenosu dat ze senzorů a zesilovačů do počítače pomocí signálu Bluetooth. Na boxu je umístěno tlačítko OFF/ON s kontrolkou pro zapnutí a vypnutí, je propojena s bočním propojovacím konektorem poslední krabičky.

**Software ArborSonic 3D** - data o rychlostech jsou přes rozhraní Bluetooth přenesena do notebooku nebo tabletu kde jsou z nich pomocí programu sestaveny tomogramy (mapy vnitřního stavu stromu).

U vybraných stromů byl změřen obvod kmene v místě plánovaného umístění snímačů. Tato výška byla zvolena pro každý strom individuálně s ohledem na přítomná poškození a defekty a geometrii kmene těsně nad kořenovými náběhy. V případě pravidelného kruhového průřezu byl obvod kmene ve zvolené výšce zadán do programu ArborSonic 3D, který na základě volby počtu snímačů, obvodu kmene a referenčního tvaru vypočítal přesné rozmístění ocelových snímačů po kruhové ploše obvodu kmene. V případě nepravidelného průřezu byl zvolen jiný typ referenčního tvaru kmene. V programu je možné zvolit tvar elipsy, nebo nepravidelného tvaru. V případě elipsy je zadán obvod a dva na sebe kolmé průměry. V nejširším a v nejužším místě kmene. Dále jsou zadány hodnoty PD. (penetration depth) - hloubka zatlučení snímačů, a BT (bark thickness) tloušťka kůry.

Jednotlivé senzory byly dle údajů ze softwaru zatlačeny pomocí gumové paličky do kmene. Vždy postupně v protisměru hodinových ručiček, s tím že první sonda byla vždy orientována severním směrem a do takové hloubky, aby senzory pronikly kůrou a dostaly se do kontaktu se dřevem. Bylo nutné dodržet stále stejnou výšku po celé kruhové ploše a kolmý směr sond do středu kmene. Po správném umístění všech sond, k nim byly připojeny zesilovací krabičky. Vždy postupně podle pořadových čísel, jedna krabička ke dvěma snímačům. Po připojení všech zesilovačů k sensorům, byly pomocí propojovacích kabelů propojeny vzájemně zesilovače. A to tak že z bočního konektoru první zesilovače, do spodního konektoru druhého zesilovače. Takto byly propojeny všechny zesilovače. K bočnímu konektoru posledního zesilovače byl připojen bateriový box. Ten slouží ke shromažďování dat a následnému přenosu přes Bluetooth do počítače s nainstalovaným softwarem ArborSonic 3D. Program slouží k vyhodnocování naměřených rychlostí a vytvoření obrazového výstupu.

Po nainstalování přístroje na strom bylo přistoupeno k vlastnímu měření - vysílání zvukového signálu. K tomu bylo použito malé ocelové kladívko, jímž bylo 5krát stejnoměrně poklepano na ocelovou hlavici snímače, ze které se šířil zvukový signál kmenem k ostatním snímačům. Získané rychlosti byly odeslány a zpracovány do výsledného grafického obrazu stavu kmene. Výsledné rychlosti jsou průměrem z deseti měření (výsledná matice je symetrizovaná).

Program ArborSonic 3D z výsledků vlastního měření stanovuje referenční rychlosti, podle kterých je následně sestaven grafický obraz stavu kmene. Sestavení referenčních rychlostí funguje na principu vyhodnocení jednotlivých rychlostí mezi jedním senzorem, sousedním a dalším senzorem v řadě. Předpokládá se, že obvodové vrstvy jsou zdravější, než vnitřní. Tedy v případě že provádíme měření u senzoru číslo jedna, program vyhodnocuje referenční rychlosti mezi senzory jedna a dvě a mezi jedna a tři. To jsou tzv. povrchové vrstvy a software předpokládá, že jsou v pořádku. Vyloučí 25 % nejvyšších a nejnižších rychlostí a ze zbytku vypočítá průměr, což je horní referenční mez a 70 % této hodnoty je dolní referenční mez (Bucur, 1995).



*Obr. 5 Ilustrační ukázka instalace přístroje Fakopp.*

#### **4.2.3. Metodika sběru dat Resistographem IML F400-S.**

Odporová mikrovrtáčka Resistograph je zařízení které měří energii, která je potřebná k udržení konstantní rychlosti vrtáku při vrtání skrz dřevo. Odpor, kladený průniku vrtáku, je přenášen na zapisovací zařízení, buď v klasické grafické podobě na papír nebo přes USB port počítače (Rinn, 1994). Tento dendrogram se skládá z osy y, která odpovídá spotřebované energii potřebné na udržení konstantní vrtné rychlosti a osy x, na které je znázorněna délka vývrtnu. Zařízení snímá až 50 záznamů na 1 mm vývrtnu. Dostupné hloubky vrtáku je 380 mm. Průměr hřídele vrtáku je 1,5 mm a zesílená špička 3mm. Zařízení je vybaveno integrovaným snímačem náklonu, protože při měření je nutné mít přístroj přiložený co nejvíce kolmo ke kmeni. V rámci této práce byly na vybraných vzornících prováděny vždy dvě měření, a to ze severní strany a z východní strany kmene.



Princip měření je založen na skutečnosti, že menší vrtný odpor proti vrtáku, tedy i menší nutný točivý moment motorku vrtačky je způsoben menší hustotou dřeva. Menší odpor je tedy většinou spojen s dutinami, poškozením, rozštípnutím a trhlinami ve dřevě. Naopak větší odpor vůči průniku naznačuje vyšší hustotu dřeva a tedy i dobré mechanické vlastnosti dřeva. Vrcholy v dendrogramu odpovídají vyšší energii, tedy vyššímu odporu i vyšší hustotě dřeva. Nižší body jsou spojené s nižší energií, nižším odporem a hustotou.

Rozdílné výsledky pronikání vrtáku do dřeva u listnatých a jehličnatých dřevin způsobuje jejich anatomická stavba (Kolařík et al. 2010). Přístroj proto má dvě varianty nastavení softwaru, pro měkké a pro tvrdé dřevo.



Obr. 6 Resistograph

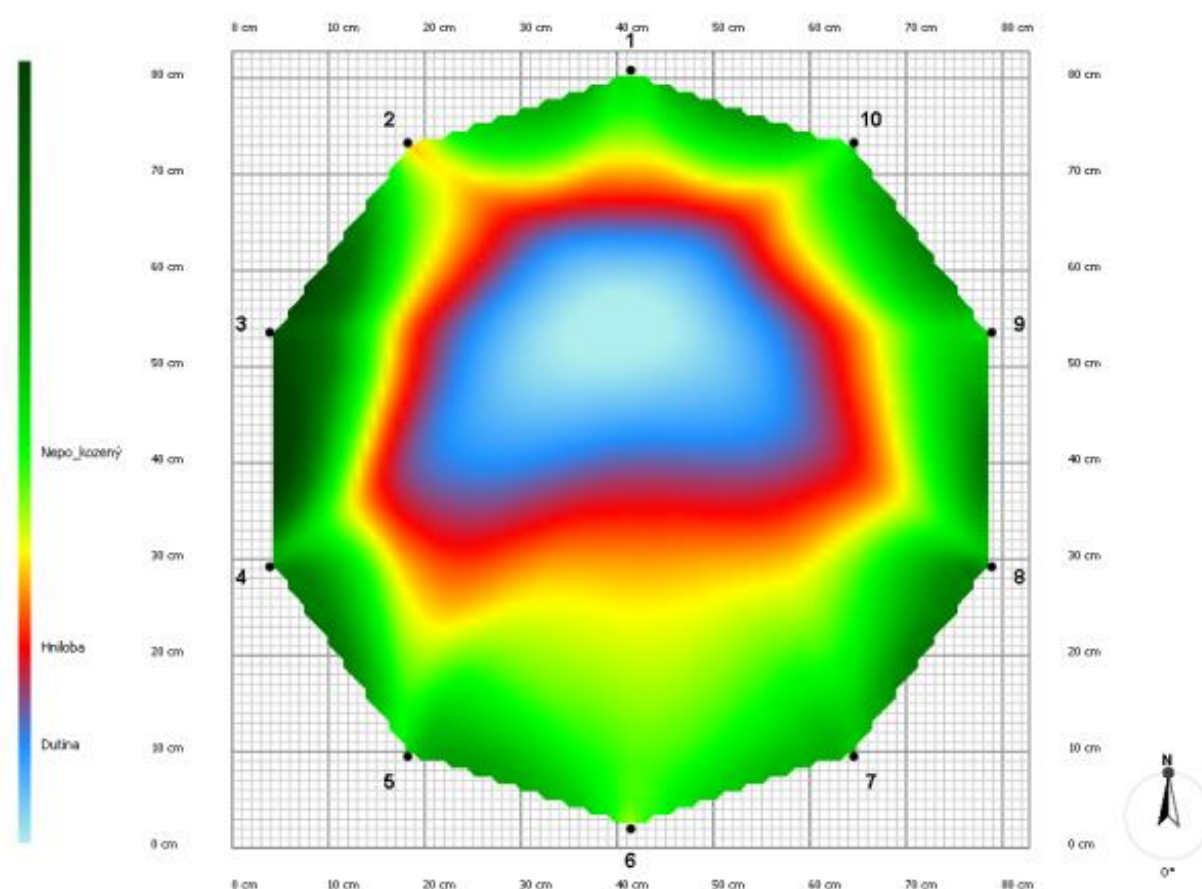
#### 4.2.3. Metodika vyhodnocení dat

Výstupy měření akustického tomografu i Resistographu byly vždy po měření exportovány v elektronické podobě do osobního počítače, kde byly dále zpracovávány do podoby, aby bylo možné je vzájemně porovnat.

#### Vyhodnocení dat akustického tomografu

Software ArborSonic 3D vytvořil časové řady z rychlostí šíření signálu vzniklého mezi senzory ze série pěti poklepů na každý z nich. Z naměřených časových údajů byla sestavena matice průměrných časů.

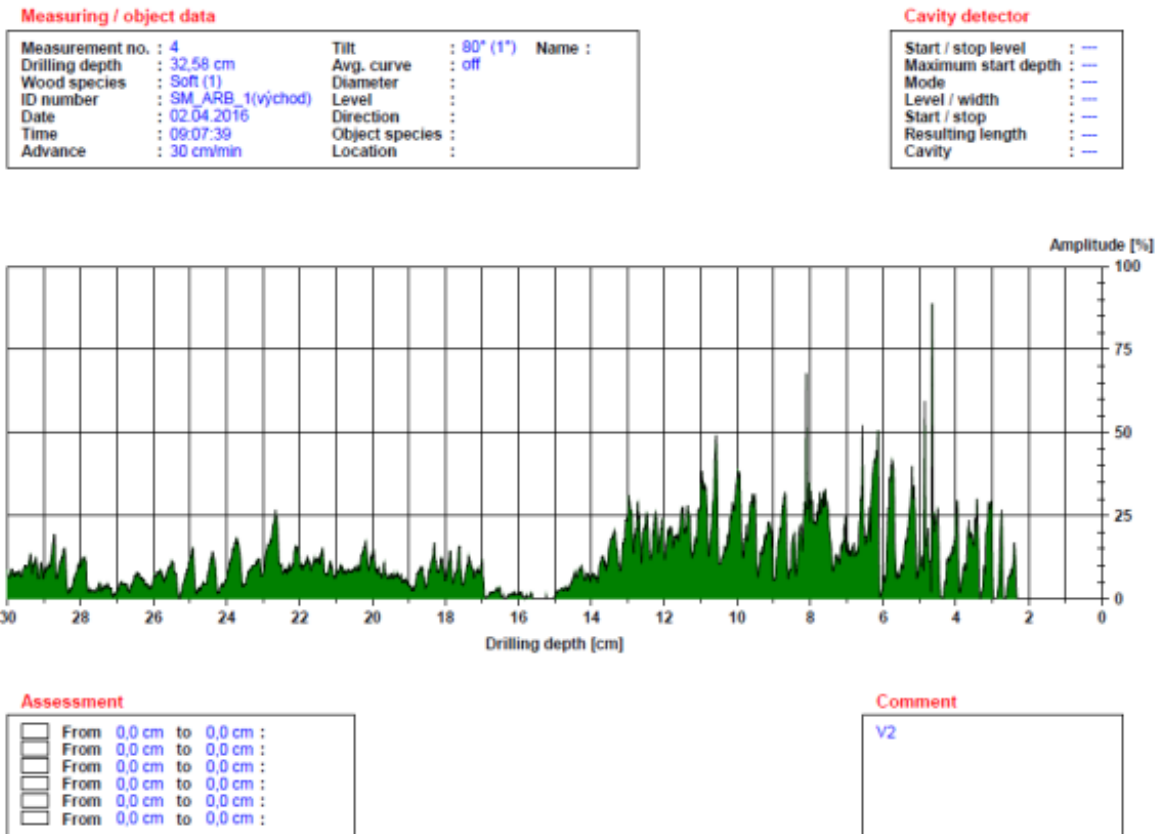
V případě chybného měření bylo třeba odstranit špatný řádek a také odstranit odlehlé hodnoty, které by mohli měnit rozptyl. Akceptovatelný rozptyl hodnot je do 5%, většina naměřených rychlostí se pohybuje rozptylu okolo 1%. Takto upravená data jsou vyexportována a uspořádána tak aby je bylo možné použít pro další statistické vyhodnocení. V programu STATISTICA byla provedena analýza rozptylu (ANOVA) s opakovanými měřeními a výsledky zaznamenány formou grafů. Ze získaných dat bylo provedeno vyhodnocení dynamiky šíření hniloby za rok 2015 a 2016. Na ploše SM\_ARB. byly stromy (1,4,6,7,8) u kterých tomograf diagnostikoval hnilobu pokáceny. Ve výšce měření došlo k odříznutí špalku a zdokumentování skutečného stavu. Pořízená fotografie byla graficky upravena v programu GIMP 2. a překryta tomogramem.



*Obr. 7 Výsledný tomogram z měření akustickým tomografem*

## Vyhodnocení dat Resistographu

Výstupem měření s přístrojem je digitalizovaný výstup ve formě křivky záznamu. Křivka záznamu je kvalitativní vyhodnocení vlastností měřeného kmene v radiálním směru. Křivka záznamu pro zdravý nepoškozený kmen, má pravidelně rozmístěné vrcholy zachycující střídání jarního a letního dřeva. Jejich maximální hodnoty jsou přibližně stejné.



Obr. 8 Výsledný protokol z měření Resistographu

Porovnání dat z akustického tomografu a výstupů z Resistographu bylo prováděno v programu AutoCAD 2014. Výstupy byly upraveny do potřebného formátu a převedeny do stejného měřítka, aby je bylo možné vzájemně překrýt.



## 5. Výsledky

Z výsledků vizuálního hodnocení uvedených v (Tab. 2) je patrné, že při hodnocení fyziologické vitality dle Roloffa (2015), bylo 32 stromů zařazeno do stupně jedna, tedy fáze degenerace. Do druhého stupně, označovaného jako fáze stagnace, spadá 16 stromů. Jediný strom byl zařazen do nejhoršího, třetího stupně, tedy fáze rezignace.

Na první ploše BK\_ARB. je zastoupení v prvním a druhém stupni vitality shodné, třetím stupněm není hodnocen žádný strom. Na ploše SM\_ARB. byly zařazeny do prvního stupně čtyři stromy (36 % stromů na ploše) a do druhého sedm stromů (64%). Na řešené ploše SM\_A. bylo zjištěno v prvním stupni vitality 10 (66 %) stromů, v druhém stupni 4 (27 %) a 1 (7 %) strom byl zařazen do třetího stupně. Na poslední ploše SM\_B. bylo určeno 14 (93 %) stromů do prvního stupně fyziologické vitality a 1 (7 %) strom do druhého stupně.

Z pohledu hodnocení fyziologické vitality vychází jako nejvitálnější stromy na ploše SM\_B., s 93 % stromů hodnocených stupněm jedna. Naopak nejméně vitálních stromů se vyskytovalo na ploše SM\_ARB., a to s výsledkem 64 % stromů ve druhém stupni.

V rámci provedeného hodnocení byly do kolonky poznámka slovně popsány viditelné defekty, poškození nebo např. zaznamenání výskytu plodnic dřevokazných hub na hodnoceném stromě.

Červeně jsou v tabulce označeny stromy, které po změření akustickým tomografem nevykazovaly výrazné poškození ve vnitřní části kmene. Stromy, které po změření akustickým tomografem měly špatné výsledky, tedy byla v jejich kmenech objevena hniloba nebo dutina, byly ze 73 % zařazeny do fáze stagnace nebo rezignace fázového modelu růstu dle Roloffa (1989). Do druhého stupně 13 stromů a do třetího stupně 1 strom, 5 stromů bylo hodnoceno stupněm jedna.

Tab. 2 Výsledky vizuálního hodnocení

ev. číslo	taxon	výška snímačů (cm)	výška stromu (m)	d (cm)	vitalita	poznámka
BK_1	<i>Fagus sylvatica</i> L.	95	28	103	2	poškození kmene, suché a zlomené větve v koruně
BK_2	<i>Fagus sylvatica</i> L.	170	28	56	2	dutina na bázi kmene
BK_3	<i>Fagus sylvatica</i> L.	98	27	70	2	poškozená báze, zlomený vrchol
BK_4	<i>Fagus sylvatica</i> L.	110	26	85	1	
BK_5	<i>Fagus sylvatica</i> L.	95	28	94	1	úzká dutina na kmeni, defektní větvení
BK_6	<i>Fagus sylvatica</i> L.	90	28	81	2	dutina na bázi kmene
BK_7	<i>Fagus sylvatica</i> L.	110	26	77	1	poškození kmene, suchý terminál
BK_8	<i>Fagus sylvatica</i> L.	125	28,5	97	1	drobné poškození kmene

ev. číslo	taxon	výška snímačů (cm)	Ø výška stromu (m)	d (cm)	vitalita	poznámka
SM_1ARB.	<i>Picea abies</i> L.	125	34	81	2	
SM_2ARB.	<i>Picea abies</i> L.	80	34	82	1	
SM_3ARB.	<i>Picea abies</i> L.	125	34	75	2	
SM_4ARB.	<i>Picea abies</i> L.	70	34	68	2	
SM_5ARB.	<i>Picea abies</i> L.	57	34	53	1	poškození na kmeni
SM_6ARB.	<i>Picea abies</i> L.	70	34	46	2	
SM_7ARB.	<i>Picea abies</i> L.	75	34	52	2	
SM_8ARB.	<i>Picea abies</i> L.	70	34	54	2	zasmolené poškození na kmeni
SM_9ARB.	<i>Picea abies</i> L.	100	34	70	1	
SM_10ARB.	<i>Picea abies</i> L.	50	34	43	2	
SM_11ARB.	<i>Picea abies</i> L.	98	34	59	1	

ev. číslo	taxon	výška snímačů (cm)	Φ výška stromu (m)	d (cm)	vitalita	poznámka
SM_1A.	<i>Picea abies</i> L.	71	30	44	2	zasmolená rána na kmeni
SM_2A.	<i>Picea abies</i> L.	60	30	47	1	poškozená báze, rána na kmeni
SM_3A.	<i>Picea abies</i> L.	65	30	45	1	
SM_4A.	<i>Picea abies</i> L.	65	30	69	1	
SM_5A.	<i>Picea abies</i> L.	70	30	54	1	
SM_6A.	<i>Picea abies</i> L.	75	30	51	1	
SM_7A.	<i>Picea abies</i> L.	65	30	46	2	
SM_8A.	<i>Picea abies</i> L.	65	30	49	2	zbytnělá báze kmene
SM_9A.	<i>Picea abies</i> L.	70	30	55	1	
SM_10A.	<i>Picea abies</i> L.	65	30	49	1	
SM_11A.	<i>Picea abies</i> L.	60	30	45	1	boule na kmeni
SM_12A.	<i>Picea abies</i> L.	65	30	66	1	
SM_13A.	<i>Picea abies</i> L.	65	30	49	3	pokročilá hniloba od báze kmene, dutý kmen
SM_14A.	<i>Picea abies</i> L.	60	30	50	1	
SM_15A.	<i>Picea abies</i> L.	60	30	61	2	zbytnělá báze kmene

ev. číslo	taxon	výška snímačů (cm)	Φ výška stromu (m)	d (cm)	vitalita	poznámka
SM_1B.	<i>Picea abies</i> L.	60	32	71	1	
SM_2B.	<i>Picea abies</i> L.	60	32	55	1	
SM_3B.	<i>Picea abies</i> L.	60	32	47	1	
SM_4B.	<i>Picea abies</i> L.	65	32	54	1	
SM_5B.	<i>Picea abies</i> L.	60	32	48	1	
SM_6B.	<i>Picea abies</i> L.	50	32	39	1	
SM_7B.	<i>Picea abies</i> L.	60	32	46	1	
SM_8B.	<i>Picea abies</i> L.	90	32	65	2	
SM_9B.	<i>Picea abies</i> L.	65	32	53	1	
SM_10B.	<i>Picea abies</i> L.	65	32	50	1	
SM_11B.	<i>Picea abies</i> L.	60	32	37	1	zasmolení kmene
SM_12B.	<i>Picea abies</i> L.	60	32	47	1	zahojená rána na kmeni
SM_13B.	<i>Picea abies</i> L.	65	32	55	1	
SM_14B.	<i>Picea abies</i> L.	60	32	49	1	
SM_15B.	<i>Picea abies</i> L.	60	32	57	1	

## 5.1. Výsledky akustické tomografie

Z celkového počtu 49 stromů bylo po vyhodnocení změřených dat vybráno 20 stromů vhodných pro další zpracování, u kterých byla prokazatelně zjištěna dynamika vývoje změny vnitřní struktury kmene. U zbylých 29 stromů nebyla akustickým tomografem prokázána hniloba či dutina ve kmeni - zdravé stromy (BK\_1., BK\_8., smrky v arboretu číslo 5, 10 a 11., smrky v porostu na ploše SM\_A: 3, 4, 9, 10, 11, 12. a smrky na ploše SM\_B: 3, 5, 6, 7, 11 a 14). Vyřazeny byly také stromy, u nichž došlo k chybnému měření nebo zkreslení dat vlivem přírodních podmínek, jednalo se o stromy: SM\_ARB: 2, 9, SM\_A: 5, 12, SM\_B: 1, 2, 4, 8, 10, 13.

V Tab. 3. jsou uvedeny plochy zjištěných hnilob a dutin za rok 2015 a 2016, tyto hodnoty jsou vzájemně porovnány. U stromu s označením SM\_7A. byl zaznamenán největší rozdíl, a to o 16 %. Dále u SM\_9B. 12 % a u SM\_15B. 10 %. U ostatních stromů byl zjištěn zvětšení rozsahu hniloby pod 10 %.

Tab. 3 Porovnání rozsahu defektu za rok 2015 a 2016.

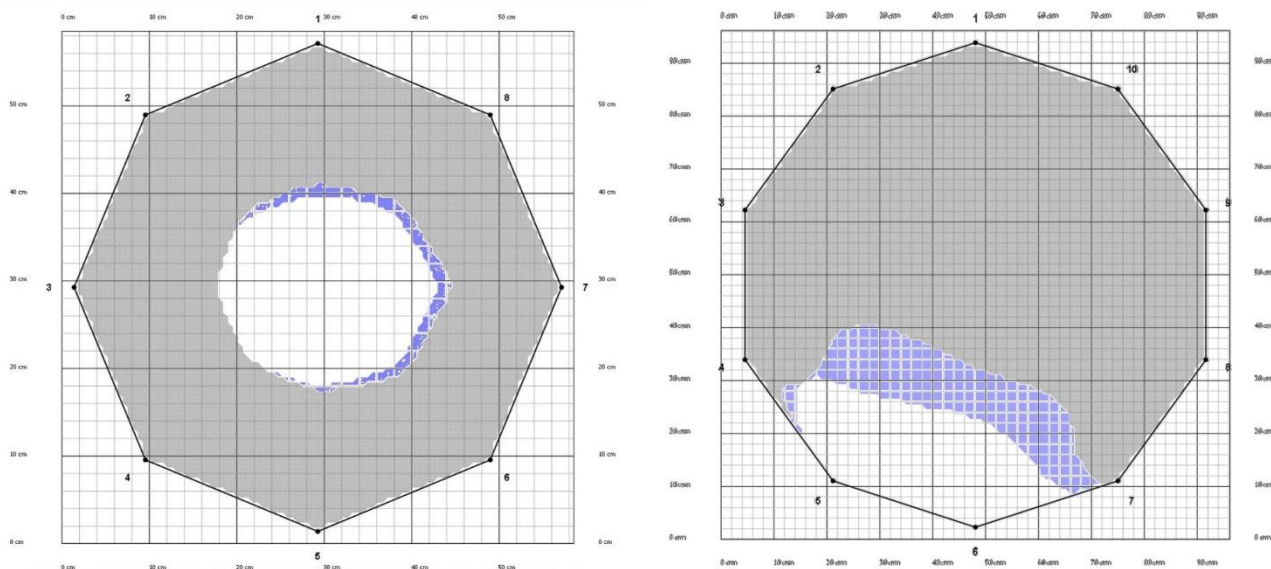
BK_Arb.	plocha defektu v % (2015)	Ref. rychlosti 2015 (m/s)	plocha defektu v % (2016)	Ref. rychlosti 2016 (m/s)	rozdíl plochy defektu(%)
BK_2	19	1213-1586	21	1231-1609	2
BK_4	3	1288-1685	4	1288-1685	1
BK_5	13	1078-1410	22	1057-1383	9
BK_7	3	1179-1542	8	1166-1524	5

SM_Arb.	plocha defektu v % (2015)	Ref. rychlosti 2015 (m/s)	plocha defektu v % (2016)	Ref. rychlosti 2016 (m/s)	rozdíl plochy defektu(%)
SM_1	46	1102-1441	47	1112-1454	1
SM_3	13	1200-1500	15	1200-1500	2
SM_4	21	1223-1599	22	1202-1572	1
SM_6	20	1090-1426	22	1033-1351	2
SM_7	24	1101-1440	29	1075-1406	5
SM_8	49	1074-1404	50	1046-1368	1

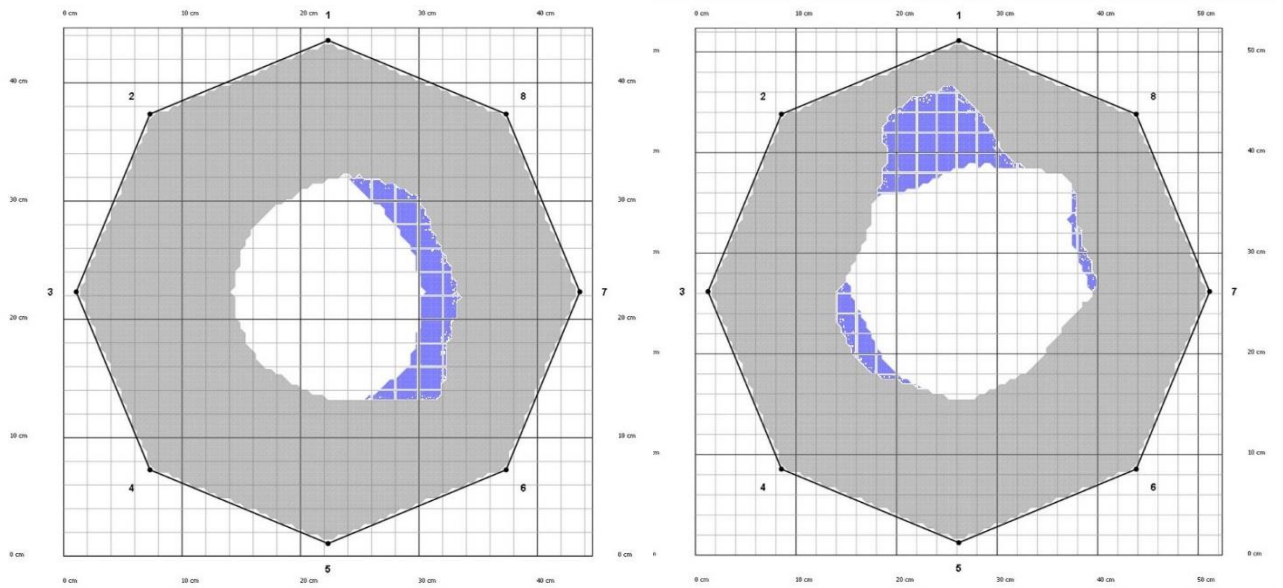
SM_A.	plocha defektu v % (2015)	Ref. rychlosti 2015 (m/s)	plocha defektu v % (2016)	Ref. rychlosti 2016 (m/s)	rozdíl plochy defektu(%)
SM_1	20	1193-1561	26	1193-1561	6
SM_2	11	1231-1610	14	1208-1579	3
SM_6	10	1239-1620	10	1235-1615	0
SM_7	15	1131-1479	31	1099-1437	16
SM_8	46	1144-1496	47	1142-1493	1
SM_13	56	983-1286	63	905-1183	7
SM_15	37	1156-1511	37	1184-1548	0

SM_B.	plocha defektu v % (2015)	Ref. rychlosti 2015 (m/s)	plocha defektu v % (2016)	Ref. rychlosti 2016 (m/s)	rozdíl plochy defektu(%)
SM_9	17	1315-1719	29	1315-1719	12
SM_12	45	1291-1688	49	1291-1688	4
SM_15	17	1325-1733	27	1357-1774	10

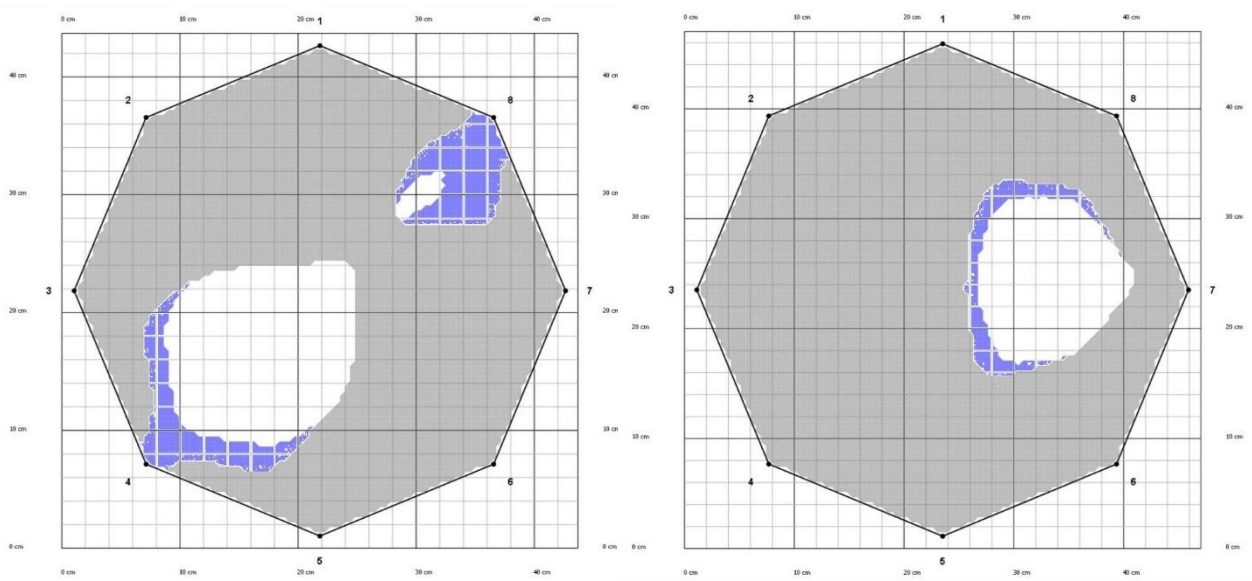
U níže uvedených (Obr. 9, 10, 11, 12, 13.) je graficky znázorněn vývoj hnilob a dutin na vybraných stromech. Šedá barva představuje zdravé dřevo, bílá barva zjištěný defekt změřený v roce 2015 a modré šrafování znázorňuje vývoj defektu za jeden rok. Takto byly vyhodnoceny jen stromy s výraznější a jasně vymezenou hnilobou nebo dutinou.



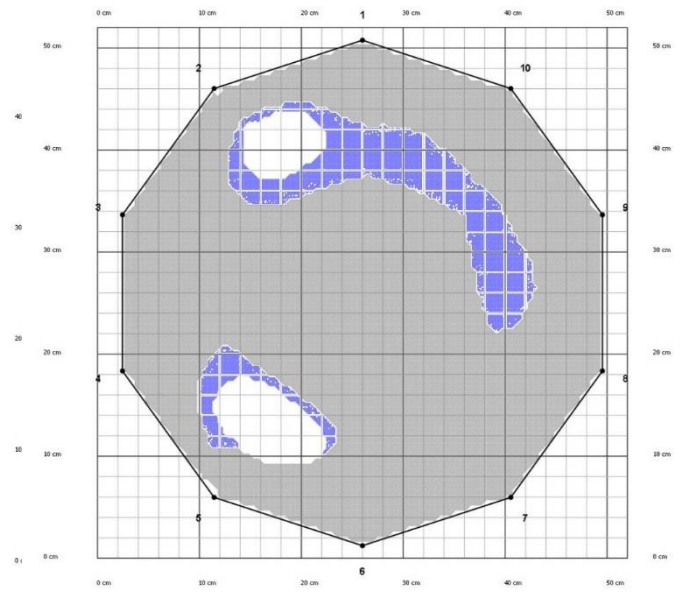
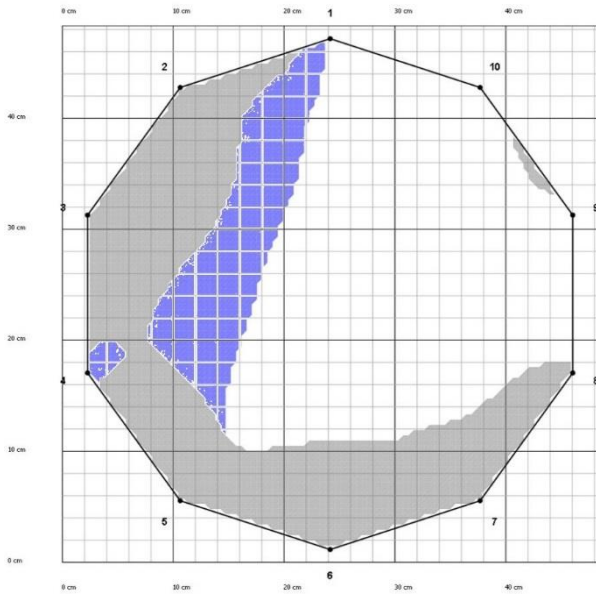
Obr. 9 Vývoj hniloby za rok 2015-2016 BK\_2., BK\_5.



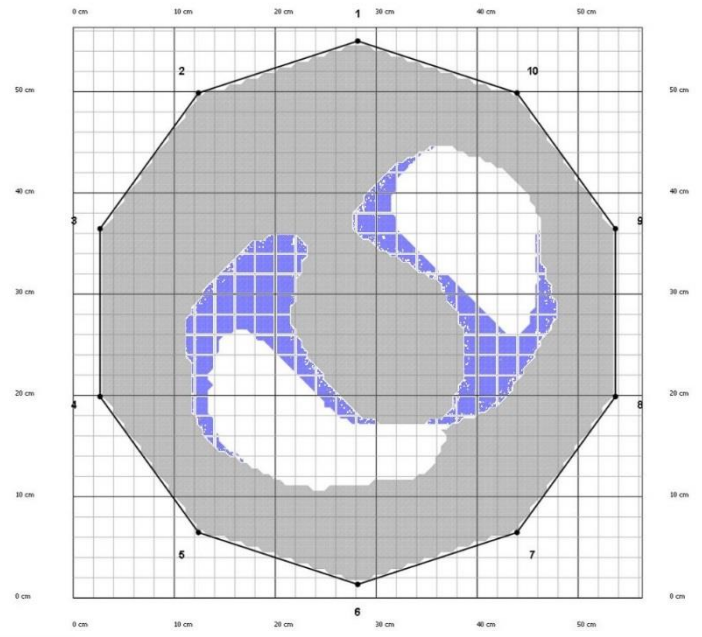
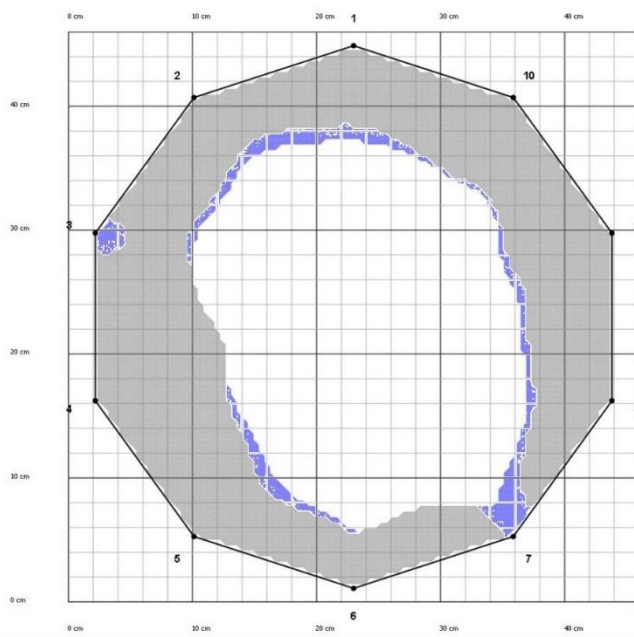
*Obr. 10 Vývoj hniloby za rok 2015-2016, SM\_6ARB., SM\_7ARB*



*Obr. 11 Vývoj hniloby za rok 2015-2016, SM\_1A., SM\_2A.*



*Obr. 12 Vývoj hniloby za rok 2015-2016, SM\_13A., SM\_9B*

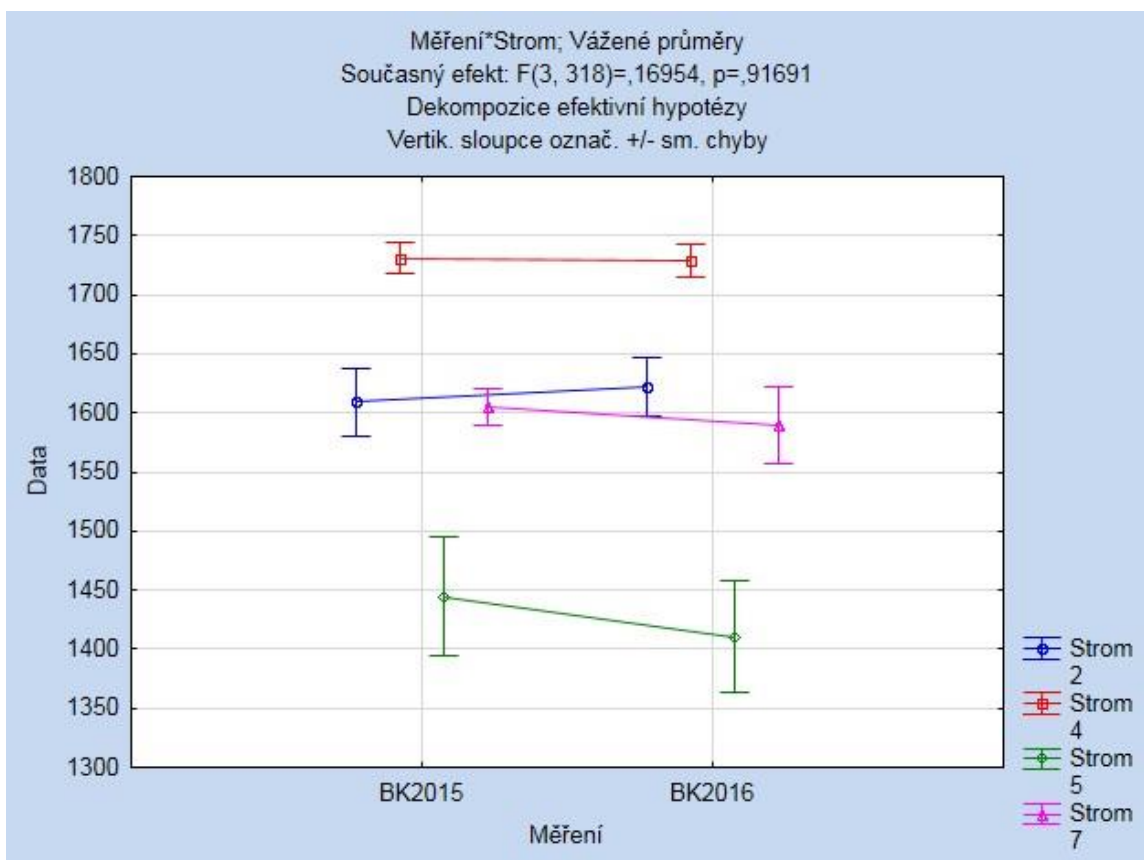


*Obr. 13 Vývoj hniloby za rok 2015-2016, SM\_12B., SM\_15B.¨*



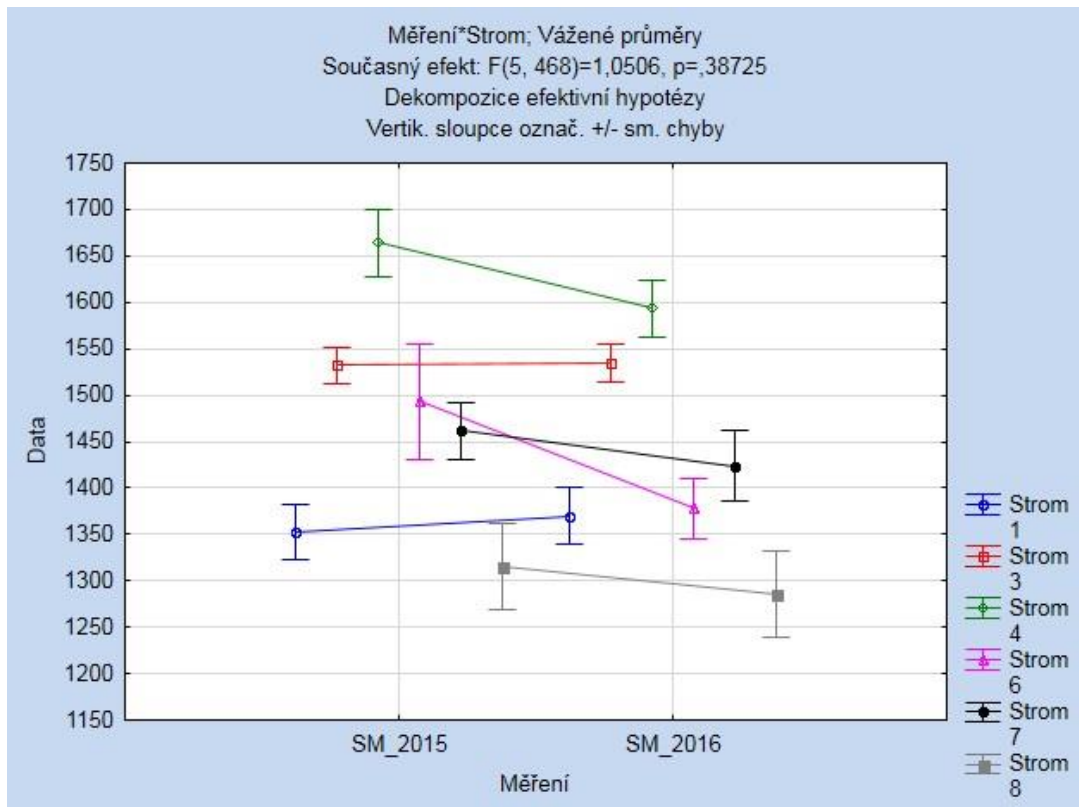
### 5.1.1. Statistické vyhodnocení dat akustické tomografie

Z naměřených, vyexportovaných a upravených časových údajů byla statisticky vyhodnocena analýza rozptylu s opakováním. Tím bylo ověřeno, zda je mezi naměřenými rychlostmi v roce 2015 a 2016 statisticky významný rozdíl. Po provedeném statistickém testu bylo zjištěno, že p-hodnota je větší než hladina významnosti  $\alpha$  (chyba  $\alpha$ ), nulovou hypotézu nemůžeme zamítnout a tedy předpokládáme, že referenční mezi rokem 2015 a 2016 jsou srovnatelné, což lze interpretovat i tak, že není po statistickém vyhodnocení naměřených rychlostí rozšiřování hniloby statisticky významné.

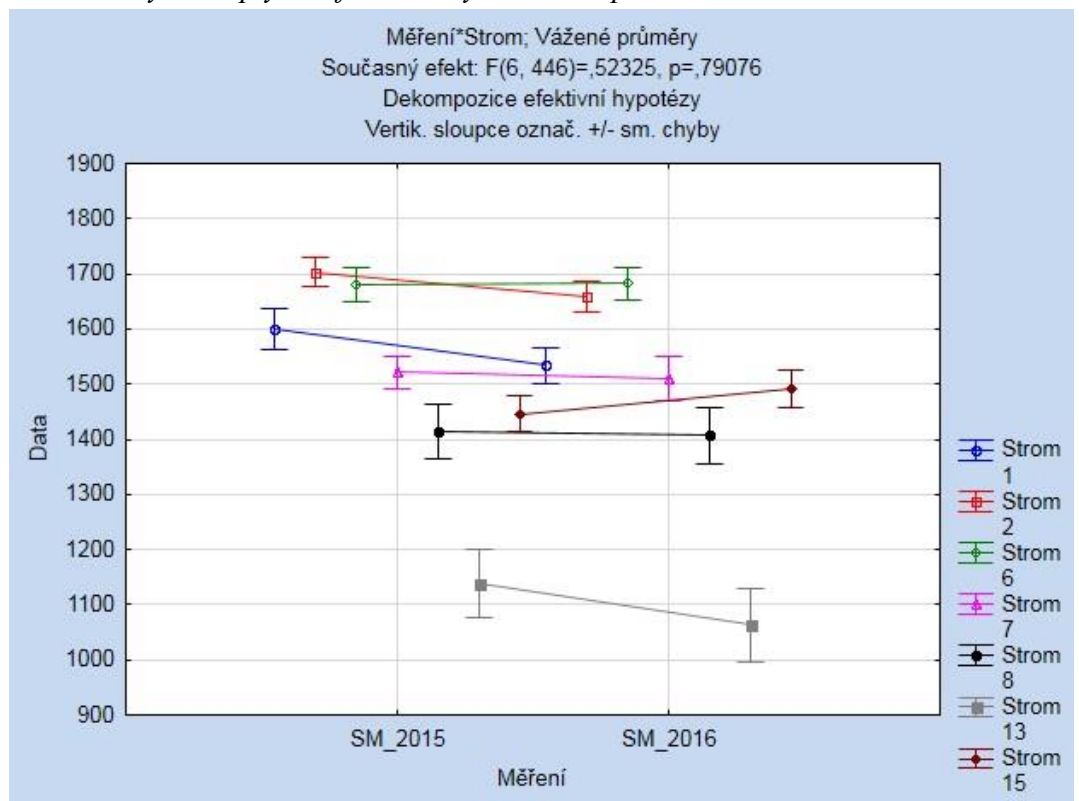


Obr. 14 Analýza rozptylu referenční rychlostí na ploše BK\_ARB.

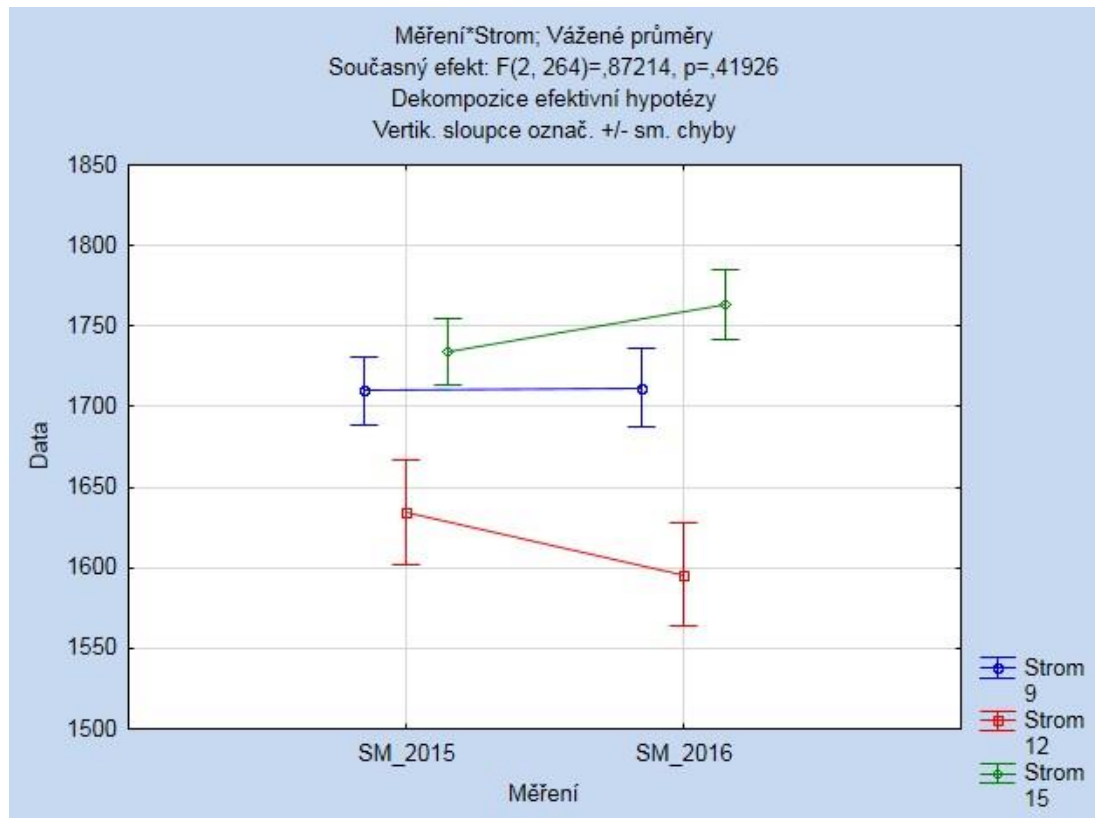




Obr. 15 Analýza rozptylu referenční rychlostí na ploše SM\_ARB.



Obr. 16 Analýza rozptylu referenční rychlostí na ploše SM\_A.



Obr. 17 Analýza rozptylu referenční rychlostí na ploše SM\_B.

## 5.2. Porovnání výsledků akustické tomografie a Resistographu

Měření Resistographem bylo provedeno na vybraných vzornících, u nichž akustická tomografie jasně vykazovala změnu vnitřní struktury kmene. Konkrétně se jednalo o stromy: (BK\_2ARB., SM\_1ARB., SM\_4ARB., SM\_6ARB., SM\_8ARB., SM\_8A., SM\_15A, SM\_13A., SM\_9B., SM\_13B.). U většiny vzorníků se naměřená data shodovala, v případech stromů SM\_4ARB., SM\_8A. SM\_15A. a SM\_9B. však zjištěné výsledkem vzájemně neodpovídaly. U smrku SM\_4ARB. výsledky tomografu ukazovaly hnilobu ve velikosti 30cm na východní straně kmene, mezi senzory tři a čtyři. Vývrt z východní strany ale toto nepotvrzoval, v místě hniloby naopak vykazoval zvýšené hodnoty odporu. V případě SM\_8A. vývrt ze severní strany stromu odpovídal tomogramu, ale z východní se měření zásadně lišily. Akustický tomograf diagnostikoval počátek hniloby v 9cm od východního boku kmene, kdežto na dendrogramu je změna odporu patrná až od 16cm.

Strom SM\_15A. měl podle akustického tomografu rozsáhlou dutinu o průměru 27cm, ze severní strany v 8cm od boku kmene a z východní přibližně 10cm. Podle Resistographu, dutina začínala až v 12cm, a z východní strany až v 18cm. Z východní strany tedy rozdíl mezi výsledky tomografu a Resistographu činil 8cm. U stromu SM\_9B. akustický tomograf v obvodové části kmene diagnostikoval počáteční fázi hniloby, ale data z Resistographu tyto změny nevykazovala. Veškerá naměřená data jsou graficky prezentována v kapitole 10. Přílohy

### **5.3. Porovnání výsledků se skutečným stavem**

V rámci ověření výsledků bylo přistoupeno ke kácení a vyhodnocení následujících stromů: SM\_ARB. (1, 4, 6, 7, 8), ve výšce měření tomografem došlo k odřezání špalků, fotodokumentaci a grafické úpravě. Překryté tomogramy jsou prezentovány v kapitole 10. Přílohy. U všech takto porovnávaných stromů tomograf diagnostikoval hnilobu. U stromů SM\_1ARB., SM\_6ARB., SM\_7ARB. a SM\_8ARB. výsledky přístrojových metod odpovídaly skutečnému stavu kmene. Akustický tomograf zaznamenal změny ve vnitřní struktuře kmene sice ve stejných místech, ale v odlišné intenzitě. Výsledky Resistographu se shodují ve většině případů s akustickou tomografií (viz kapitola 5.2.). Zaznamenání snížení odporu na dendrogramu souhlasí s místy změn zjištěných na tomogramu. Pouze v případě SM\_4ARB tomograf diagnostikoval střed hniloby na východní straně kmene mezi senzory tři a čtyři, kdežto fotografie skutečného stavu tomuto neodpovídala. Ani Resistograph nepotvrdil zjištěnou hnilobu, naopak z dendrogramu je patrné že ve vzdálenosti 5cm od boku kmene dřevo klade pronikajícímu vrtáku zvýšený odpor. Vývrt byl proveden v délce 17cm takže bohužel nelze popsat stav dřeva blíže ke středu kmene.

Celkově je vyhodnocení dat akustické tomografie velmi ovlivněno grafickou škálou přiřazenou softwarem k referenčním rychlostem. U všech pokácených stromů byla hniloba v tomogramech nadhodnocena. V případě že tomogram vykazoval hnilobu (modrá barva) ve skutečnosti byla evidentní hniloba. Barevná škála rozlišující nepoškozené intaktní dřevo, hnilobu a dutinu nevypovídá přesnému stavu.

## 6. Diskuse

Cílem práce bylo zjistit rychlost šíření dřevokazných hub ve kmeni, pomocí přístrojových metod. V rámci dvouletého výzkumu prováděného v letech 2015 a 2016 bylo využito dvou přístrojů založených na odlišných principech zjišťování vlastností vnitřní struktury kmene. Proto bylo nutné ověřit také jejich přesnost, vypovídací hodnotu a využitelnost v praxi.

Akustickým tomografem bylo měřeno 49 stromů, u 20 z nich přístroj detekoval hnilobu ve kmeni. Ostatní stromy byly zcela zdravé nebo u nich došlo k chybnému nebo zkreslenému měření. Zkreslení tomogramů se především projevilo na stromech, u nichž byla tomografem při prvním měření v roce 2015 objevena pouze obvodová hniloba nebo hniloba v počáteční fázi šíření. Při druhém měření v roce 2016 nejenže podle tomogramů nedošlo k dalšímu rozšíření hniloby, ale v některých případech dokonce k zmenšení její plochy. Tento nesoulad může být způsoben několika faktory, prvním a nejzásadnějším je interpretace výsledků tomografem. Grafický obraz stavu kmene je sestavován z vyhodnocení referenčních rychlostí, které jsou sestavovány z tangenciálních rychlostí. Je vyloučeno 25% nejvyšších a 25% nejnižších rychlostí a ze zbytku je vypočítán průměr (horní referenční mez). Odečtením 30% z horní referenční meze je získána dolní referenční mez. Rychlosti mezi jedním, sousedním a dalším, třetím senzorem, jsou tzv. povrchové vrstvy, u kterých přístroj očekává, že jsou zdravé, což především při detekci obvodových hnilob přináší zkreslení výsledků (Bucur, 1995). Referenční rychlosti mají dle druhu stromu přiřazenou určitou barevnou škálu, kterou jsou vykresleny hranice rozdílů v naměřených rychlostech. Tato skutečnost samozřejmě ovlivní grafické výstupy měření. Tomogramy jsou schopny odhalit a prostorově umístit změny v mechanických vlastnostech dřeva ve vztahu ke zbylé, zdravé části kmene.

Druhým faktorem, který by vysvětloval zkreslení výsledků, může být vliv klimatických podmínek. V první řadě vlhkosti a teploty na rozvoj hniloby ve kmeni. Dřevokazné houby totiž potřebují dostatečné množství vody při všech svých životních pochodech. Jednotlivé druhy dřevokazných hub mají svoje specifické požadavky na vlhkost dřeva, při kterém ho mohou úspěšně rozkládat. Pro každý druh dřevokazné houby tak můžeme stanovit minimální vlhkost dřeva, při které je ještě možný její růst a rozvoj. Při optimální vlhkosti dřeva je růst a rozvoj houby nejrychlejší, naopak snížením vlhkosti ve dřevě ustávají

veškeré projevy života. Houba se dostává do tzv. latentního stadia. Podle Huckfelda (2007) je důležitým mezníkem vlhkost dřeva 20 %, při nižší vlhkosti dřeva než 20% zastavují totiž své životní pochody všechny známé druhy dřevokazných hub a není tak možný jejich růst a rozvoj destrukční činnosti ve dřevě. Významný je také vliv teploty prostředí na šíření hub. Optimální teplota se pohybuje mezi 20 - 30°C.

Další okolností, která může ovlivnit výsledky měření tomografem je dodržení vždy stejného termínu při opakovaných měřeních. Požgaj et al. (1997) uvádí, že dřevo živých stromů obsahuje vysoký podíl vody a na rychlost šíření zvuku ve dřevě má vliv právě i vlhkost, která se během roku mění. Dřeviny prochází obdobím dormance, kdy jsou důležité životní procesy utlumeny a i vlhkost ve dřevě klesá.

Významnými činiteli ovlivňující interpretaci výsledků jsou některé vady a poškození dřeva, narušení celistvosti, změny postavení vláken, nepravé jádro apod. při narušení kompaktnosti dřeva dochází ke změnám rychlostí šíření zvuku, ke zkreslení a obcházení zvukového signálu. Program má pak obtíže odlišit vady od hnilob a dutin, což by názorně prokazovaly výsledky u smrku SM\_4ARB. Tomograf v okrajové části diagnostikoval hnilobu, provedený vývrt hnilobu neprokázal a při překrytí tomogramu se skutečným stavem umístění zjištěné hniloby také neodpovídalo. Při detailnějším prostudování skutečného stavu kmene jsou právě na východní straně vidět trhliny mezi letokruhy, přes které se rychlost signálu pravděpodobně zpomalila. Tím došlo k nepravdivě interpretovaným výsledkům.

U statistického vyhodnocení dat bylo zjištěno, že naměřené rychlosti mají statisticky nevýznamný rozdíl. Mohlo by to být způsobeno tím, že statisticky zpracovány byly všechny rychlosti, tedy i ty které prokazovaly zdravé intaktní dřevo. Pro lepší statistické prokázání šíření dřevokazných hub by bylo vhodné provádět měření ve větším časovém intervalu než je pouze jeden rok.

Důležitou informací, kterou ve své práci uvádí (Maňák, 2013) je, že zvukový signál vyslaný tomografem je schopen obcházet ve vertikálním směru (podél vláken), defekty až 20cm nad a pod úrovní senzorů. Podobné zjištění uvádí i ve směru napříč vláken.

Data získaná Resistographem ve většině případů odpovídala výsledkům z akustického tomografu. Avšak u stromů SM\_4ARB., SM\_8A., SM\_15A. a SM\_9B. však shodná

nebyla. Vzhledem k tomu že u stromu SM\_8A. byla akustickým tomografem diagnostikována rozsáhlá dutina a měření Resistographem ze severní strany jí také přesně odhalilo, při vrtání z východní strany kmene tedy evidentně došlo k chybnému měření. Způsobenému pravděpodobně rozkmitáním vrtáku při průniku ze zdravé části kmene do dutiny, někde v rozmezí 8,5 až 10 cm od boku kmene. Rozkmitáním došlo k uhnutí kolmého průniku vrtáku směrem do boku. Příčinou rozporu ve výsledcích u SM\_9B. bylo zřejmě zkreslení interpretace výsledků z tomografu. Tomogram ukazoval hnilobu v počátečním stádiu v obvodové části kmene. Tato problematika již byla diskutována výše. V případě odlišnosti výsledků u SM\_15A přichází v úvahu skutečnost, že nebyl vytvořen odpovídající modelový tvar kmene. Software totiž generuje grafický obraz kmene podle rozmístění sond po obvodu kmene. Tím je vytvořen jakýsi modelový tvar kmene, v tomto případě kulatý. Při použití celkem deseti sond, byly jednotlivé rozměry mezi sondami vypočítány na 19,2 cm, proto došlo k určité generalizaci modelového tvaru kmene. Nedokonale vytvořený tvar způsobuje poměrně velké rozdíly v naměřených rychlostech a následně i v interpretaci výsledků. Z toho důvodu je nutné sestavovat modelový tvar kmene co nejpřesněji, využívat možností výběru předdefinovaného tvaru, nebo rozměřit jednotlivé vzdálenosti mezi sondami v případě úplně nepravidelného tvaru. Při instalaci vždy používat co nejvíce sond, aby nemohla vznikat hluchá místa v průřezu kmene. Naopak při použití Resistographu je počátek dendrogramu tvořen přímo z oblé plochy kmene, což může způsobovat rozpory ve výsledcích obou přístrojů. To by potvrzovala i skutečnost, že větší a častější odchylky byly zjištěny na východní straně kmene. U tomogramu to odpovídá přesně mezeře mezi dvěma sousedními senzory, kde je modelový tvar nejvíce generalizován a neodpovídá skutečné oblé ploše kmene. Při výkladu výsledku z dendrogramu je také nutné si uvědomit, že škála vzdáleností na ose x je vždy posunutá. Přístroj tedy skutečná data začne zaznamenávat až přibližně od hranice 2 cm, protože vrták už při vnikání do kmene musí mít potřebné otáčky, jež získá právě mezi hodnotami 0 – 2 cm.

Porovnáním získaných výsledků se skutečným stavem stromů jsem dospěl k tomuto závěru. Vyhodnocení dat akustické tomografie je ovlivněno grafickou škálou softwaru. U všech skácených stromů byla hniloba v tomogramech nadhodnocena. Tato nesrovnalost je způsobena přiřazením barevné škály k referenčním rychlostem. I přes tento nesoulad je akustický tomograf schopen spolehlivě zobrazit míru rozložení zdravé dřevní hmoty v poměru k poškozené v nosném profilu kmene.

Dynamika šíření dřevokazných hub je v rámci jediného roku obtížně prokazatelná. Výsledky měření mohou být ovlivněny působením klimatických podmínek na strom a případně dalšími vlivy. Pro další výzkum bych doporučil provádět opakovaná měření v delších časových intervalech, minimálně 2 – 3 roky, což doba zpracování této práce bohužel neumožnila. Proto navrhuji pokračovat v dalším výzkumu a rozšířit jej o další taxony a zohlednit různé patogeny, které se mohou lišit svou dynamikou šíření.

Dílčím cílem práce bylo pojednat o uplatnění hodnocení stromů v krajinářské praxi, zejména o návaznosti přístrojových metod na standardní metody hodnocení dřevin. Všechny stromy ať už se jedná o stromy v intravilánu, nebo jako doprovod komunikací a vodních toků ale i stromy ve volné krajině, jsou živé organizmy. Na které působí během jejich života mnoho biotických a abiotických faktorů které ovlivňují jejich zdravotní stav, vitalitu a stabilitu potažmo v komplexu se stanovištěm i provozní bezpečnost. Je samozřejmé, že stromy stejně jako lidé stárnou. A stejně jako lidé potřebují zdravotní péči, také stromy by měly být průběžně ošetřovány popřípadě obnovovány. Hodnocení stromů je právě nástrojem pro optimalizaci těchto zásahů. V praxi k využití přístrojových metod přistupujeme pouze v opodstatněných případech, když výsledky vizuálního posouzení nejsou dostačující nebo jsou sporné. V krajině to bývají především památné stromy na rekreačně využívaných místech, na křižovatkách turistických tras nebo stromy u drobných sakrálních staveb v krajině. V arboretech, rozsáhlých zámeckých zahradách a parcích, v dnešní době stále častěji také stromy podél cyklostezek, naučných stezek, v lanových parcích apod. Provedením správného přístrojového testu můžeme dospět k přesnějším závěrům, které pouze vizuálním hodnocením posoudit nelze. Je však nutné aby uživatel tyto přístroje používal správně a pochopil principy jejich měření. Jinak může být jejich využití zbytečné a především špatná interpretace získaných dat může vést k nenapravitelným škodám.

## 7. Závěr

Práce se zabývala stanovením rozsahu změn vnitřního poškození kmenu, pomocí přístrojových metod. Měření bylo prováděno akustickým tomografem Fakopp ArborSonic 3D. a Resistographem. Na základě získaných dat z let 2015 a 2016 byla provedena statistická a grafická analýza rychlosti šíření dřevokazných hub ve kmenech. Účelem práce bylo otestovat přesnost obou přístrojů a ověřit jejich výsledky s vizuálním hodnocením fyziologické vitality stromů.

Celkem bylo v období dvou let akustickým tomografem opakovaně měřeno 49 stromů na čtyřech plochách, z toho 8 buků (*Fagus sylvatica* L.) a 41 smrků (*Picea abies* L.). U 20 stromů byla zjištěna hniloba nebo dutina, u ostatních 29 stromů výsledky měření nepotvrdily působení dřevokazných hub. Poškozené stromy byly měřeny Resistographem a získaná data ve většině případů odpovídala výsledkům akustické tomografie. Výsledky přístrojových metod byly porovnány s hodnocením fyziologické vitality. A je jasné, že stupeň vitality a hlavně průběh jejího zhoršování, u poškozené dřeviny, poskytuje důležité informace o závažnosti poškození pro životaschopnost stromu. V pěti případech byly výsledky přístrojových metod ověřeny se skutečným stavem stromů. Tímto porovnáním bylo zjištěno, že vyhodnocení dat akustické tomografie je ovlivněno grafickou škálou softwaru. U všech pokácených stromů byla hniloba v tomogramech nadhodnocena. Tato nesrovnalost v interpretaci výsledků je způsobena přiřazením barevné škály k referenčním rychlostem.



## 8. Summary

This thesis deals with specifying the range of internal tree trunk damage through instrumental methods. Measurements were conducted with acoustic tomograph Fakopp ArborSonic 3D and Resistograph. Statistical and graphical analysis of wood-decaying fungi spread inside the tree trunk was obtained from the data from years 2015 and 2016. Object of the work was to test the accuracy of both instruments and verify its results with visual rating of physiological vitality of the trees.

Altogether there was 49 measured trees in four areas measured with acoustic tomograph, out of that 8 beeches (*Fagus sylvatica* L.) and 41 spruces (*Picea abies* L.). 20 trees were found rotted or hollow on the inside, in the case of 29 other trees there were no signs of effect of wood-decaying fungi. Damaged trees were measured with Resistograph and obtained data matched the results of acoustic tomograph measurements. Results of instrumental methods were compared with rating of physiological vitality. We can see, that the degree of vitality and more importantly, process of its worsening provides us important information about magnitude of the damage for viability of the tree.

## 9. Použitá literatura:

- BAŠE, Miroslav. *Naše vesnice a úpravy jejich prostředí. Zahrada-park-krajina*. 16 (5), Praha: Společnost pro zahradní a krajinářskou tvorbu, 2006.
- BUCUR, Voichita. *Acoustics of wood*. 2nd ed. Berlin: Springer, 2010. ISBN 978-3-642-06555-2.
- BUCUR, Voichita. *Acoustics of Wood*. Boca Raton: CRC Press, 1995. ISBN 0-8493-4801-3.
- BUČEK, Antonín a Jan LACINA. *Přírodovědná východiska ÚSES*. In LÖW, J. a kol. *Rukověť projektanta místního územního systému ekologické stability*. 1. vyd. Brno: Doplněk, 1995. s. 9-28. ISBN 1081-067-1995.
- DAHMEN, Souhail., KETATA, Hassiba., B., Ghozlen, M., H., et al., Elastic constants measurement of anisotropic Olivier wood plates using air-coupled transducers generated Lamb wave and ultrasonic bulk wave, *ULTRASONICS*, 2010, Volume: 50 Issue: 4-5 Pages: 502-507
- FLEKALOVÁ, Markéta. *Rozptýlená zeleň v hodnocení krajinného rázu: Disertační práce*. Brno, 2010, s. 177.
- GREGOROVÁ, Božena. *Řez dřevin ve městě a krajině*. Praha: AOPK ČR, 2000. ISBN 80-86064-49-2.
- HORÁČEK, Petr, PRAUS, Luděk, 2010. *Zatížení a síly působící na strom - biomechanika stromu*. In KOLAŘÍK a kol. *Arboristika V. : Honocení stromů*. 1 vyd. Mělník: Vyšší odborná škola zahradnická a střední zahradnická škola, 2008. 210 s.
- HORÁČEK, Petr. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 2. vyd. / Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-169-2.

- HUCKFELDT, Tobias. *Biologische Charakterisierung von Hausfäulepilzen, Holzschädlinge im Fokus*, Merkur Druck GmbH a Co. KG, Detmond, 2007, p. 185 – 199.
- KLÁN, Jaroslav. *Co víme o houbách*. 1.vyd. Praha: SPN, 1989. ISBN 80-04-21143-7.
- KOCOURKOVÁ, Jana, Historické a estetické aspekty navrhování liniové zeleně v krajině. In: *Obnova liniové zeleně v krajině: sborník přednášek ze semináře konaného dne 8. června 2000*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000. ISBN 80-7157-438-4.
- KOCOURKOVÁ, Jana, Několik málo poznámek a fotografií k tématu semináře. In: *Obnova plošné a bodové zeleně v krajině: sborník přednášek z mezinárodního semináře konaného dne 14. června 2001*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. ISBN 8071575151.
- KOLAŘÍK Jaroslav, et al., *Standard péče o přírodu a krajinu - A01 001 Hodnocení stromů*, 2014.
- KOLAŘÍK, Jaroslav. *Arboristika: pro další vzdělávání v arboristice*. 1. vyd. Mělník: Vyšší odborná škola zahradnická a střední zahradnická škola, 2008
- KOLAŘÍK, Jaroslav. *Péče o dřeviny rostoucí mimo les*. 3., dopl. vyd. Vlašim: ČSOP, 2010. ISBN 978-80-86327-85-3.
- KOLAŘÍK, Jaroslav. *Péče o dřeviny rostoucí mimo les*. Vlašim: ČSOP Vlašim, 2003. ISBN 80-86327-36-1.
- LEDERER, Jiří. *Hniloby a dřevokazné houby v sadovnictví a krajinářství*. Praha: Filip Dienstbier, 1998. ISBN 80-902454-3-9.
- LONSDALE, David. *Principles of tree hazard assessment and management*. London: Stationery Office, c1999. ISBN 0-11-753355-6.

- MACHOVEC, Jaroslav.: *Sadovnická dendrologie*, SPN Praha, 1982, ISBN - v knize neuvedeno
- MAŇÁK, Vladimír. Detekce poškození kmene akustickým tomografem Fakopp.
- MATTHECK, Gerhard Claus a Helge BRELOER. *The body language of trees: a handbook for failure analysis*. London: The Stationary Office, 2006. ISBN 0-11-753067-0.
- MÍCHAL, Igor. *Ekologická stabilita*. 2., rozš. vyd. Ilustroval Yvona LACINOVÁ. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1994. ISBN 80-7212-303-3.
- MIKO, Ladislav. *Zákon o ochraně přírody a krajiny: komentář*. 2. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-585-8. Začátek formuláře
- POŽGAJ, Alexander. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2 .vyd. /. Bratislava: Príroda, 1997. ISBN 80-07-00600-1.
- RINN, Frank, *Resistographic visualization of tree ring density variations*. International Conference Tree Rings and Environment. Tucson, AZ, 1994. Printed in: Radiocarbon 1996, pp. 871-878.
- ROLOFF, Andreas. *Handbuch Baumdiagnostik: Baum-Körpersprache und Baum-Beurteilung*. Stuttgart: Ulmer, 2015. ISBN 978-3-8001-8360-9.
- SHIGO, Alex L. *Die Neue Baumbiologie*. Braunschweig: Bernhard Thalacker, 1990. ISBN 3-87815-022-9.
- SHIGO, Alex L. *Modern Arboriculture: a systems approach to the care of trees and their associates*. Snohomish: Shigo and Trees Associates, 1991. ISBN 0-943563-09-7.

- SCHMIDT, Olaf, *Wood and tree fungi: biology, damage, protection, and use*. Berlin: Springer, c2006. ISBN 3-540-32138-1.
- SCHWARZE, F W. - Engels, J. *Fungal strategies of wood decay in trees*. Berlin: Springer Verlag, 2000. 185 s. ISBN 3-540-67205-2.
- SZÓRÁDOVÁ, Andrea, PRAUS Luděk. 2010. *Přístrojové hodnocení stability stromů* [online] citováno 8. března 2016.
- ŠIMEK, Pavel, *Management sídelní zeleně*. Osnova učebního textu – koncept. Ústav biotechniky zeleně. Zahradnická fakulta. MENDELU Brno. 2011.
- ŠIMEK, Pavel, *Pasport zeleně*. Osnova učebního textu – koncept. Ústav biotechniky zeleně. Zahradnická fakulta. MENDELU Brno. 2009.
- ŠIMEK, Pavel. *Management sídelní zeleně*. Koncept přednášek. 2011, s.1-11.
- ŠLEZINGR, Miloslav a Luboš ÚRADNÍČEK. *Vegetační doprovod vodních toků a nádrží*. 2. vyd. /. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-269-6.
- TYRVÄINEN, Liisa, In: *Urban forests and trees: a reference book*. Editor Cecil C KONIJNENDIJK. Berlin: Springer, c2005. ISBN 3-540-25126-X.
- ÚRADNÍČEK, Luboš. *Arboretum Křtiny: průvodce*. 2., dopl. vyd. V Brně: Mendelova univerzita, 2010. ISBN 978-80-7375-380-1.
- VYSKOT, Ilja. *Kvantifikace a hodnocení funkcí lesů České republiky*. Praha: 131 Margaret, c2003. ISBN 80-900242-1-1.
- VYSLOUŽIL, Miroslav, *Fenomén historických alejí a stromořadí v krajině*. In *Zahrada-park-krajina*, XVII. ročník, č. 1. Praha: Společnost pro zahradní a krajinářskou tvorbu, 2007. s. 14-16. ISSN 1211-1678.

WEBER, Martin, HROCHOVÁ, Zuzana, Východiska obnovy venkovských sídel a krajiny. In Pracovní kolokvium „Krajinné plánování v Německu a možnosti využití v České Republice“ – Sborník. Průhonice: VÚKOZ, 1992. s.113-119.

WESSOLLY, Lothar a Martin ERB. *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle*. Berlin: Patzer, 1998. ISBN 3-8761-093-1.

ŽDÁRSKÝ, Marek. *Arboristika: pro další vzdělávání v arboristice*. 1. vyd. Mělník: Vyšší odborná škola zahradnická a střední zahradnická škola, 2008.

### **Zákony a vyhlášky:**

Prováděcí vyhláška č. 395/1992, kterou se provádějí některá ustanovení zákona České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu v platném znění)

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů.

Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu.

Zákon č. 89/2012 Sb. občanský zákoník.

## **10. Přílohy**

