

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Porovnání vybraných nedestruktivních a semidestruktivních metod pro stanovení poškození dřevěného konstrukčního prvku hnilobou**

Diplomová práce

Autor: Bc. Lukáš Mražik

Vedoucí práce: doc. Ing. Miloš Pánek, Ph.D.

2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lukáš Mražík

Dřevařské inženýrství

Dřevařské inženýrství

### Název práce

Porovnání vybraných nedestruktivních a semidestruktivních metod pro stanovení poškození dřevěného konstrukčního prvku hnilobou

### Název anglicky

Comparison of selected methods of non and semi-destructive methods for rot detection in wooden construction element

---

### Cíle práce

Cílem práce je porovnat pracnost a přesnost vybraných metod nedestruktivního a semidestruktivního pro stanovení rozsahu poškození dřevěného prvku napadeného hnilobou.

### Metodika

Poškození dřevěné konstrukce hnilobou může zapříčinit její kompletní ztrátu funkčnosti. Včasné stanovení poškození je možné za využití detekčních metod. Výhodou nedestruktivních a semidestruktivních metod je možnost jejich provádění přímo na místě a zároveň nedochází k výraznějšímu poškození konstrukčních prvků. Práce je zaměřena na porovnání vybraných metod nedestruktivního a semidestruktivního stanovení rozsahu poškození dřevěného prvku napadeného hnilobou. Porovnána bude přesnost i pracnost jednotlivých metod. Výsledkem práce bude doporučení týkající se vhodnosti využití jednotlivé zkoumané metody nebo využití jejich kombinace.

**Doporučený rozsah práce**

70 s.

**Klíčová slova**

dřevo, detekce, poškození, hniloba, nedestruktivní, semidestruktivní

---

**Doporučené zdroje informací**

- Hrivnák, J., Kloiber, M., Reinprecht, L., Tippner, J. (2013): Skúmanie kvality a poškodenia ihličnatého dreva akustickými a mechanicko-odporovými metódami. Monografia. Tu vo Zvolene, 79. s. ISBN 978-80-228-2552-8
- Kloiber, M., Drdácák, M. (2015): Diagnostika dřevěných konstrukcí. Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 168 s. ISBN 978-80-87438-64-0
- Reinprecht, L., Pánek, M. (2013): Ultrasonic technique for evaluation of biodefects in wood: Part 2 – In situ and in vitro analyses of old beams using ultrasonic and bending tests, In International Wood Products Journal 4 (1), p. 22-29, ISSN 2042-6445
- Reinprecht, L., (2008): Ochrana dreva. (Wood Protection), Handbook, Technical University in Zvolen, 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6
- Schwarze, F.W.M.R. (2007): Wood decay under the microscope, Fungal Biology Reviews. doi:10.1016/j.fbr.2007.09.001
- Timell, T.E., Wimmer, R., Bucur, V. (2006): Acoustics of wood. Berlin; Springer-Berlin. 403 s. ISBN 978-3-540-26123-0
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FLD

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Miloš Pánek, PhD.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Konzultant**

Ing. Irena Štěřbová

Elektronicky schváleno dne 2. 4. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 29. 04. 2020

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Porovnání vybraných nedestruktivních a semidestruktivních metod pro stanovení poškození dřevěného konstrukčního prvku hnilobou vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Miloše Pánka, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Horní Plané dne 1. 6. 2020

## Poděkování

Zde bych rád poděkoval panu doc. Ing. Milošovi Pánkovi, PhD. a paní Ing. Ireně Štěrbové za jejich odborné vedení, cenné rady, a především za ochotu a trpělivost, se kterou odpovídali na všechny mé dotazy.

## **Abstrakt:**

Tato diplomová práce se zabývá hnilobou dřeva a způsobem jejího měření nedestruktivními a semidestruktivními přístrojovými metodami. Obsahuje stručný úvod do problematiky dřevěných prvků a možností poškození dřeva hnilobou i jinými degradačními činiteli. Dále se práce věnuje přímo hnilobě dřeva a podmínkám jejího výskytu. Poté se zaměřuje na nedestruktivní a semidestruktivní přístrojové metody a jejich využití. V praktické části je měřeno a následně vyhodnoceno poškození daného dřevěného prvku hnilobou vybranými přístrojovými metodami. Jako přístrojové metody byly použity Ultrasonic timer, Arborsonic 3D, Arbotom Rinntech, Resistograph a Somatom scope. Všechny přístroje naměřily hodnoty podle očekávání. Jako nejlepší metoda se jevilo měření akustickým přístrojem Arborsonic 3D.

**Klíčová slova:** dřevo, detekce, poškození, hniloba, nedestruktivní, semidestruktivní

## **Abstract:**

This thesis deals with wood rot and its detection by non-destructive and semi-destructive instrumentation methods. It contains a brief introduction to the issues of wood elements and the possibility of damage to wood by rot as well as other degradation agents. The thesis is also concerned with wood rot and conditions of its occurrence. Further it focuses on non-destructive and semi-destructive instrumentation methods along with their use. In the practical part particular wooden element damaged by rot is measured and subsequently evaluated by selected instrumentation methods. Ultrasonic timer, Arborsonic 3D, Arbotom Rinntech, Resistograph and Somatom scope were used as instrumentation methods. The results of measurements came out as expected. The best method seemed to be measuring with Arborsonic 3D.

**Keywords:** wood, detection, damage, rot, non-destructive, semi-destructive

## Obsah

1.Úvod .....	14
2.Cíl práce.....	15
3.Poškození dřevěných prvků hnilobou a jinými degradačními činiteli.....	16
3.1.Základní dřevěné prvky .....	16
3.1.1.Trvanlivost dřeva .....	17
3.1.2.Přirozená trvanlivost .....	17
3.2.Způsoby poškození dřeva .....	18
3.2.1.Dřevo poškozené abiotickými a biologickými škůdci .....	18
3.2.2.Biologické poškození dřeva .....	18
3.2.3.Dřevokazné houby .....	19
3.2.4.Rozdělení hub .....	20
3.2.5.Dřevo poškozené houbami .....	21
3.2.6.Vývin dřevoznehodnocujících hub .....	22
3.2.6.1.Dřevozbarvující houby a houby měkké hniloby ( <i>Ascomycota</i> ) .....	22
3.2.6.2.Celulózovorní a ligninovorní dřevokazné houby ( <i>Basidimycota</i> ).....	23
3.3.Hniloba dřeva .....	24
3.3.1.Měkká hniloba.....	24
3.3.1.1.Houby měkké hniloby .....	25
3.3.2.Hnědá hniloba dřeva .....	25
3.3.2.1.Houby hnědé hniloby .....	27
3.3.3.Bílá hniloba dřeva .....	29
3.3.3.1.Houby bílé hniloby .....	30
3.3.4.Dřevozbarvující houby, mikroskopické houby (plísně) a bakterie .....	32
3.3.5.Dřevokazný hmyz .....	32
3.4.Poruchy vznikající následkem biotického poškození dřeva.....	33
3.4.1.Prvotní příčina vzniku poruch ve stavbě – Vlhkost.....	33
3.4.1.1.Vnikání vody do konstrukcí na bázi dřeva .....	34
3.4.2.Význam vody při poškozování dřeva .....	36
3.5.Poruchy v dřevěných prvcích .....	37
3.5.1.Detekce poškození dřeva .....	37
3.5.1.1.Zjišťování poruch ve dřevěných prvcích .....	38
3.6.Přístrojové metody a jejich porovnání.....	38
3.6.1.Dělení diagnostických metod .....	40
3.6.1.1.Nedestruktivní metody.....	40

3.6.1.2. Semidestruktivní metody .....	43
<b>4. Metodika .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1. Měření vzorků .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.1. Akustické metody .....</b>	<b>46</b>
4.1.1.1. Ultrasonic Timer .....	46
4.1.1.2. Arborsonic 3D.....	48
4.1.1.3. Arbotom Rinntech.....	50
<b>4.1.2. Mechanicko – odporové metody .....</b>	<b>52</b>
4.1.2.1. Resistograph .....	52
<b>4.1.3. Přístroj Somatom Scope .....</b>	<b>53</b>
<b>5. Výsledky .....</b>	<b>54</b>
5.1. Ultrasonic Timer .....	54
5.2. Arborsonic 3D .....	60
5.3. Arbotom Rinntech .....	74
5.4. Porovnání akustických metod.....	75
5.5. Resistograph .....	78
5.6. Somatom Scope .....	81
<b>6. Diskuse .....</b>	<b>82</b>
<b>7. Závěr .....</b>	<b>84</b>
<b>8. Seznam literatury, použitých zdrojů a příloh .....</b>	<b>86</b>
<b>9. Přílohy .....</b>	<b>93</b>



## **Seznam obrázků, grafů, tabulek a příloh**

### **Seznam obrázků:**

- Obr. 1: Zahradní pergola
- Obr. 2: Dřevěný krov
- Obr. 3: Dřevěný sloupek poškozený měkkou hnilobou
- Obr. 4: Hnědá hniloba dřeva
- Obr. 5: Dřevo poškozené hnědou hnilobou
- Obr. 6: Dřevomorka domácí
- Obr. 7: Trámovka plotní
- Obr. 8: Trámovka jedlová
- Obr. 9: Koniofora sklepní
- Obr. 10: Pornatka Vaillantova
- Obr. 11: Čechratka sklepní
- Obr. 12: Síťkovec dubový
- Obr. 13: Houževnatec šupinatý
- Obr. 14: Bílá hniloba dřeva
- Obr. 15: Dřevo poškozené bílou hnilobou
- Obr. 16: Pevník chlupatý
- Obr. 17: Outkovka pestrá
- Obr. 18: Klanolístka obecná
- Obr. 19: Kritická místa krovu při napadení hnilobou
- Obr. 20: Dřevo poškozené plísní
- Obr. 21: Tesařík krovový
- Obr. 22: Požerky dřevokazného hmyzu
- Obr. 23: Vnikání vody do objektu
- Obr. 24: Způsoby vnikání vody do objektu
- Obr. 25: Vybraná pozednice krovu
- Obr. 26: Pozednice rozdělena na tři části
- Obr. 27: Napadení Konioforou sklepní
- Obr. 28: Napadení červotočem proužkovaným

Obr. 29: Ukázka rozvrstvení vzorků

Obr. 30: Přístroj Ultrasonic Timer

Obr. 31: Přístroj Arborsonic 3D

Obr. 32: Schéma umístění sond

Obr. 33: Umístění sond na vzorku

Obr. 34: Přístroj Arbotom

Obr. 35: Schéma umístění sond

Obr. 36: Schéma měřených bodů

Obr. 37: Ukázka umístění hřebíků

Obr. 38: Umístění sond na vzorku

Obr. 39: Přístroj Resistograph

Obr. 40: Schéma použití Resistographu

Obr. 41: Přístroj Somatom Scope

Obr. 42: Ukázka měřených bodů ve vrstvě

Obr. 43: Vzorek 1

Obr. 44: Vzorek 1, vrstva 1 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 45: Vzorek 1, vrstva 2 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 46: Vzorek 1, vrstva 3 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 47: Vzorek 1, vrstva 4 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 48: Vzorek 1, vrstva 5 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 49: Vzorek 1, vrstva 6 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 50: Vzorek 2

Obr. 51: Vzorek 2, vrstva 1 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 52: Vzorek 2, vrstva 2 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 53: Vzorek 2, vrstva 3 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 54: Vzorek 2, vrstva 4 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 55: Vzorek 2, vrstva 5 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 56: Vzorek 2, vrstva 6 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 57: Vzorek 3

Obr. 58: Vzorek 3, vrstva 1 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 59: Vzorek 3, vrstva 2 ( $\text{m.s}^{-1}$ )  
Obr. 60: Vzorek 3, vrstva 3 ( $\text{m.s}^{-1}$ )  
Obr. 61: Vzorek 3, vrstva 4 ( $\text{m.s}^{-1}$ )  
Obr. 62: Vzorek 3, vrstva 5 ( $\text{m.s}^{-1}$ )  
Obr. 63: Vzorek 3, vrstva 6 ( $\text{m.s}^{-1}$ )  
Obr. 64: Porovnání vzorek 1, vrstva 1  
Obr. 65: Porovnání vzorek 1, vrstva 2  
Obr. 66: Porovnání vzorek 1, vrstva 3  
Obr. 67: Porovnání vzorek 1, vrstva 4  
Obr. 68: Porovnání vzorek 1, vrstva 5  
Obr. 69: Porovnání vzorek 1, vrstva 6  
Obr. 70: Porovnání vzorek 2, vrstva 1  
Obr. 71: Porovnání vzorek 2, vrstva 2  
Obr. 72: Porovnání vzorek 2, vrstva 3  
Obr. 73: Porovnání vzorek 2, vrstva 4  
Obr. 74: Porovnání vzorek 2, vrstva 5  
Obr. 75: Porovnání vzorek 2, vrstva 6  
Obr. 76: Porovnání vzorek 3, vrstva 1  
Obr. 77: Porovnání vzorek 3, vrstva 2  
Obr. 78: Porovnání vzorek 3, vrstva 3  
Obr. 79: Porovnání vzorek 3, vrstva 4  
Obr. 80: Porovnání vzorek 3, vrstva 5  
Obr. 81: Porovnání vzorek 3, vrstva 6  
Obr. 82: Schéma vrstev, vzorek 1  
Obr. 83: 3D model, vzorek 1  
Obr. 84: Schéma vrstev, vzorek 2  
Obr. 85: 3D model, vzorek 2  
Obr. 86: Schéma vrstev, vzorek 3  
Obr. 87: 3D model, vzorek 3  
Obr. 88: Vzorek 1, vrstva 1 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Obr. 89: Vzorek 1, vrstva 2 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 90: Vzorek 1, vrstva 3 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 91: Vzorek 1, vrstva 4 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 92: Vzorek 1, vrstva 5 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 93: Vzorek 1, vrstva 6 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 94: Vzorek 2, vrstva 1 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 95: Vzorek 2, vrstva 2 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 96: Vzorek 2, vrstva 3 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 97: Vzorek 2, vrstva 4 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 98: Vzorek 2, vrstva 5 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 99: Vzorek 2, vrstva 6 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 100: Vzorek 3, vrstva 1 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 101: Vzorek 3, vrstva 2 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 102: Vzorek 3, vrstva 3 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 103: Vzorek 3, vrstva 4 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 104: Vzorek 3, vrstva 5 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 105: Vzorek 3, vrstva 6 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 106: Vzorek 1, vrstva 1 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 107: Vzorek 2, vrstva 1 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 108: Vzorek 3, vrstva 1 (m.s<sup>-1</sup>)  
Obr. 109: Vybrané sondy  
Obr. 110: Vzorek 1, vrstva 1  
Obr. 111: Vzorek 2, vrstva 1  
Obr. 112: Vzorek 3, vrstva 1  
Obr. 113: Vzorek 2, vrstva 2  
Obr. 114: Vzorek 1, vrstva 1  
Obr. 115: Vzorek 3, vrstva 1  
Obr. 116: Horní plocha, vzorek 1  
Obr. 117: Ukázka hnědé hniloby  
Obr. 118: Ukázka hnědé hniloby v řezu

**Seznam grafů:**

Graf 1: Průměrné šíření zvuku u jednotlivých přístrojů

Graf 2: Vzorek 2, vrstva 2, ukázka hnědé hniloby

Graf 3: Vzorek 1, vrstva 1, ukázka hnědé hniloby a trhliny

Graf 4: Vzorek 3, vrstva 1, ukázka zdravého dřeva

**Seznam tabulek:**

Tabulka 1: Činitelé způsobující degradaci dřeva

Tabulka 2: Přehled tuzemských dřevokazných hub

Tabulka 3: Podmínky nejvýznamnějších tuzemských druhů dřevokazných hub

Tabulka 4: Vizuální změny dřeva při působení hniloby

Tabulka 5: Průměrná rychlost šíření zvuku ve vybraných dřevinách

Tabulka 6: Průměrné hodnoty při různém poškození u smrku

Tabulka 7: Odchyly mezi akustickými přístroji

## 1. Úvod

V dnešní době lze ze dřeva vyrobit prakticky vše na co si vzpomeneme. Již od nepaměti je dřevo vnímáno jako vhodný stavební materiál nejen pro nábytek, ale i pro nejrůznější konstrukce a stavby. Velkou roli ovšem u dřeva hraje také jeho životnost. Pokud nejsme schopni včas detekovat a řešit jeho poškození, může dojít až k jeho úplnému zničení. U dřevěných prvků se v současnosti stále pracuje na zdokonalování konstrukčních řešení.

Existuje mnoho vlivů, které dřevěné prvky ohrožují, a to hlavně při nedodržení ochranných zásad. Jedním z největších degradačních činitelů jsou dřevokazné houby, které způsobují hnilobu dřeva. Hnilobu dřeva lze detekovat i pouhým vizuálním posouzením. Touto metodou ale není možné zjistit jeho rozsah uvnitř prvku. Proto je nutná včasná detekce tohoto poškození, aby došlo k jeho odstranění dříve, než způsobí velké škody. Vedle vizuálního posuzování jsou zde také přístrojové metody, které lze používat, aniž bychom museli poškodit měřený prvek.

Nejvíce jsou dnes upřednostňovány nedestruktivní a semidestruktivní přístrojové metody měření dřeva. Těmito metodami lze zjistit rozsah poškození dřevěného prvku. Díky tomuto posouzení lze následně lépe rozhodnout, jak se bude dále postupovat při odstraňování zjištěných poškození. Právě těmito metodami se tato práce zabývá především.

V prvních kapitolách jsou popsány a charakterizovány různé typy poškození dřeva a jejich nejvýznamnější degradační činitelé. Ve stručném úvodu se práce věnuje problematice dřevěných prvků a možnostem poškození dřeva i jinými degradačními činiteli. Dále se práce věnuje hnilobě dřeva a podmínkám ve kterých se hniloba nejvíce vyskytuje. Následně se zaměřuje na nedestruktivní a semidestruktivní přístrojové metody a jejich využití v praxi. V praktické části je měřeno a následně vyhodnoceno poškození daného dřevěného prvku hnilobou vybranými přístrojovými metodami. Přístrojové metody jsou zhodnoceny spolu s výhodami a nevýhodami, které měření jednotlivými přístroji obnáší.

## **2.Cíl práce**

Cílem práce je porovnat pracnost a přesnost vybraných nedestruktivních a semidestruktivních metod pro stanovení rozsahu poškození dřevěného prvku napadeného hnilobou. A to za použití akustických přístrojů Ultrasonic timer, Arborsonic 3D a Arbotom Rinntech, dále mechanicko-odporového přístroje Resistograph a tomografu Somatom scope. Pro porovnání zmíněných přístrojů a jejich použití v praxi bude třeba zhodnotit výsledky jednotlivých měření a shrnout výhody a nevýhody využití jednotlivých strojů.

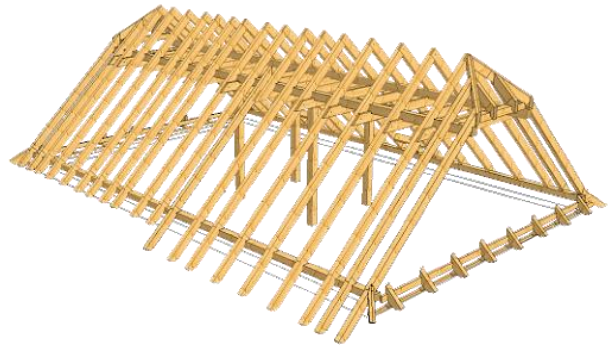
### 3. Poškození dřevěných prvků hnilobou a jinými degradačními činiteli

#### 3.1. Základní dřevěné prvky

Mezi dřevěné konstrukce řadíme ty nejpoužívanější jako jsou krovy, stropy, podlahy, rozhledny, mosty, lávky, lavičky, ploty atd. Používání těchto prvků sebou ovšem také přináší problém v působení degradačních činitelů, a to zejména pokud není prvek dostatečně chráněn.



Obrázek 1: Zahradní pergola



Obrázek 2: Dřevěný krov

Zdroj: (www.palubky-nabytek.cz, 6. 2. 2020) Zdroj: (www.jpr-universal.cz, 6. 2. 2020)

Dřevo oproti jiným materiálům má více nesporných předností:

- Materiál, který vychází z trvale obnovitelných zdrojů, s nízkou zátěží životního prostředí a s celkově nízkými energetickými nároky na finalizaci
- Vysoký poměr pevnosti k hustotě
- Dobré opracování
- Nízká tepelná vodivost
- Působí příjemně na člověka.

Samozřejmě že dřevo má i své záporné vlastnosti:

- Biodegradovatelnost – náchylnost k poškození hlavně dřevokaznými houbami a hmyzem
- Hořlavost
- Korodovatelnost vlivem povětrnostních činitelů a agresivních chemikálií, ale rovněž projevy tvarových deformací při změnách klimatu (Reinprecht a Štefko, 2000).



V průběhu času lze pozorovat větší nebo menší opotřebení, nejvíce v důsledku poruch ve spojení s působením povětrnostních vlivů, dřevokazných hub a hmyzu, ale často také samotný člověk může dřevo poškozovat. Prvotní příčina opotřebení dřeva se projevuje často poškozením jeho struktury.

### **3.1.1.Trvanlivost dřeva**

Trvanlivost dřeva lze definovat jako přirozenou odolnost vůči degradačním činitelům, kteří způsobují degradaci na všech strukturálních hladinách dřeva. Dřevo má oproti jiným materiálům mnoho výhod, má ale také své nevýhody. Jeho výhody jsou například obnovitelnost, dobrý poměr pevnosti a hustoty a vázání CO<sub>2</sub> z atmosféry. Další výhodou je poměrně vysoká odolnost proti korozi díky vlivu atmosférických činitelů. Nevýhody dřeva jsou anizotropie, hygroskopicita nebo také hořlavost (Reinprecht a Pánek, 2016).

### **3.1.2.Přirozená trvanlivost**

Odolnost materiálu v nativním stavu vůči poškození různými druhy degradačních činitelů. U přirozené trvanlivosti závisí na druhu dřeviny a také na expozici. Trvanlivost u jednotlivých druhů dřevin určuje jeho chemická strukturální hladina, a to hlavně u biotických degradací. Hlavní je podíl extraktivních látek, kdy třísloviny a pryskyřice výrazně zvyšují odolnost dřeva. Například odolnost vůči požáru velmi ovlivňuje hustota dřeviny. Odolnost proti atmosférickým vlivům závisí zejména na dřevině, její hustotě, podílu letního a jarního dřeva a chemického složení. Z tuzemských dřevin můžeme za trvanlivé považovat akát a dub. Středně trvanlivé jsou například borovice a modřín. Málo trvanlivé a netrvanlivé jsou smrk, jedle, javor nebo lípa (Žák a Reinprecht, 1998).

### 3.2.Způsoby poškození dřeva

#### Rozdělení škůdců dřeva

Tabulka 1: Činitelé způsobující degradaci dřeva (Reinprecht, 2008)

Dřevoznehodnocující činitelé			
Biologičtí činitelé		Abiotičtí činitelé	
Mikroorganismy	bakterie	Atmosférickí	voda (i změny vlhkosti)
Houby	dřevokazné houby		kyslík
	dřevozbarvující houby		sluneční záření (i jiné druhy záření)
	plísňe		proudění kapalných a plyných médií
Parazitické semenné rostliny			změny teploty
Dřevokazný hmyz			mechanické vlivy
Mořští koryši	Termičtí		plamen
Hlodavci a ptáci			sálavé teplo
Člověk a jiní savci	Chemičtí		kyseliny
			zásady
			oxidační látky

#### 3.2.1.Dřevo poškozené abiotickými a biologickými škůdci

Materiál má změněnou strukturu. Poté se dále mění jeho pevnostní, vlhkostní, tepelné, estetické, a jiné vlastnosti. Velikost těchto změn je odvozena charakterem, mechanismem a rozsahem degradačních procesů. Při některých činitelích, např. při poškození atmosférickými činiteli nebo mikroskopickými houbami (plísněmi), vznikají lokální poškození ve směru od povrchu do určité hloubky dřeva. Naopak při poškození většinou druhů dřevokazných hub nebo u některých druhů hmyzu je dřevo poškozené rovnoměrně v celém objemu (Reinprecht, 2008).

#### 3.2.2.Biologické poškození dřeva

Biologičtí škůdci napadají dřevo již při samotném růstu stromu, poté ve formě kulatiny, řeziva, štěpek, a nakonec i dřevo ve formě dřevařských výrobků. Hmyz, houby a bakterie napadají dřevo za účelem hledání živin a energie pro život, případně v něm také hledají útočiště. (Lokaj, 2010).

#### Přirozená odolnost dřeva proti biologickým škůdcům závisí hlavně na:

- Struktura dřeva – typ a podíl extraktivních látek, chemická a anatomická stavba buněčných stěn apod.,
- Expozici – velmi důležitá v jakém prostředí se dřevo nachází (teplota, vlhkost, kontakt s terénem apod (Reinprecht, 2008).

### 3.2.3. Dřevokazné houby

Tento druh hub vytváří ve dřevě hnědou, bílou a měkkou hnilobu, tím velice výrazně vypomáhají ke zhoršení mechanických vlastností. Výrazný pokles v pevnosti dřeva způsobují hlavně houby vytvářející hnědou hnilobu, výrazně depolymerizují celulózu. Hniloba má veliký dopad na zhoršení statických funkcí u dřevěných prvků a celé konstrukce. Hniloba způsobuje i další změny fyzikálních vlastností dřeva (změna barvy, pokles hustoty, nárůst nasákavosti apod.). Společně se snížením funkční hodnoty konstrukce nastává i zhoršení její esteticke stránky. Z pohledu poškození dřeva je za nejhorší dřevokaznou houbu považována dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*). Tato houba dokáže působit ve dřevě už od nižší vlhkosti dřeva (16–18 %). Při vyšším stádiu poškození se dřevo zabarvuje do tmavohnědých odstínů a kostkovitě praská (Reinprecht a Štefko, 2000).

Největší nebezpečí, které představují dřevokazné houby je snížení mechanických vlastností dřeva. Nejprve dochází ke změně modulu pružnosti a houževnatosti. Po ztrátě pevnosti často dochází ke ztrátě únosnosti konstrukce a ke zřícení stavby. To, jak se bude rozkládat závisí na druhu houby. Ve stavbách máme houby, které jsou stopkovýtusné (*Basidiomycetes*) a vřeckaté (*Ascomycetes*). Dřevokazné houby dělíme také podle toho, jaké složky dřeva rozkládají na houby *celulózovorní* – houby které rozkládají celulózu a hemicelulózu. Dřevo se zabarvuje do hněda a je způsobena hnědá hniloba. Dalším druhem jsou houby *ligninovorní* – tento druh hub rozkládá ve dřevě lignin a dřevo se barví do bíla a vzniká bílá hniloba. Optimální podmínky pro tyto houby jsou, pokud je vlhkost dřeva cca 30-70 % a teplota okolo 20-30 °C (Ptáček, 2009).

Těchto hub je u nás okolo 40 druhů a jednotlivé druhy není jednoduché rozeznat. Tyto houby představují závažný problém především u staveb s dřevěnými konstrukcemi, a hlavně u těch, které jsou jen v občanském provozu, jako jsou rekreační objekty, chaty a chalupy a stavby bez izolace, jelikož vlhkost je hlavní příčinou jejich vzniku. Zárodky hub se mohou ve dřevě objevit buď novým dřevem které je již napadené nebo ze zbytků již napadeného dřeva které bylo dříve ve stavbě. Malé částičky hub se mohou do stavby dostat například proudícím vzduchem, v sypkých hmotách ale také násypem uhlí z dolů, které měli napadeny trámy. Dokonce mohou být přivlečeny i oděvem který přišel do styku s dřevokaznou houbou. Vyschlé částičky hub jsou velmi odolné vůči mrazu a jejich aktivita může započnout až po několika letech, pokud na to mají vhodné podmínky, které jsou při teplotách 4–36 °C (nejlépe 15–30 °C). Jestliže je dřevo již napadené je třeba zjistit

příčinu napadení. To může být nahodilé zatékání vody ale také dlouhodobá zemní vlhkost, nedostatečné větrání apod. Je nutné tyto příčiny odstranit a dřevo nejlépe spálit. Při odřezávání zdravé části je nutné dřevo odříznout alespoň 700–1000 mm od napadené části (Hájek, 1997).

### **3.2.4. Rozdělení hub**

#### **Houby dělíme podle schopnosti napadat živou nebo neživou dřevní hmotu:**

- Parazitické, tyto houby působí na živých rostlinách
- Saprofytické, které napadají již odumřelé zdroje organické hmoty různého původu např. dřevařské výrobky
- Paraziticko – saprofytické houby (nejdříve poškozují živý organismus) nebo saprofyticko – parazitické houby (nejprve poškodí neživý organismus), to mohou být houby, které působí nejprve na živém stromě a posléze na skladované kulatině (Reinprecht, 2008).

#### **Podle způsobu tvorby výtrusů:**

3. Houby stopkovýtrusné (*Basidiomycetes*) – výtrusy jsou tvořeny na buňkách nazývaných basidie. Mezi ně patří většina dřevokazných hub.
4. Houby vřeckovýtrusné (*Ascomycetes*) – výtrusy se tvoří uvnitř kulovitých útvarů nazvaných vřečka. Do této skupiny asi 60 % všech známých druhů hub (Antonín a kol., 2003).
5. Houby nedokonalé (*Deuteromycetes*) – takto se označují houby stopkovýtrusné a vřeckovýtrusné, u kterých nebylo pozorováno pohlavní rozmnožování (Holinka, 2015).

#### **Podle zdrojů výživy se houby dělí na:**

1. Celulózovorní – rozkládají celulózu a hemicelulózu
2. Ligninovorní – rozkládají pouze lignin (Např. některé druhy rodu *Trametes*) (Balabán a Kotlaba, 1970).

#### **Podle mechanismů rozkladu dřeva:**

1. Houby měkké hniloby
2. Houby hnědé hniloby
3. Houby bílé hniloby (Gabriel, 2013).

## Přehled tuzemských dřevokazných hub

Tabulka 2: Přehled tuzemských dřevokazných hub (Reinprecht a Pánek, 2016)

Druh houby	Typ hniloby	Napadené dřevo	Vlhkost dřeva	Hlavní místo výskytu	Intenzita poškození
<i>Dřevomorka domácí</i>	Hnědá	Jehličnaté i listnaté	Optimum 30 až 60% (min. 18%)	Domová	Vysoká
<i>Koniofora sklepní</i>	Hnědá	Jehličnaté i listnaté	Optimum 40 až 90% (min. 22%)	Domová	Značná až vysoká
<i>Pornatka vaillantova</i>	Hnědá	Jehličnaté i listnaté	Optimum 35 až 50% (min. 20%)	Domová	Značná až vysoká
<i>Trámovka trámová, plotní a jedlová</i>	Hnědá	Jehličnaté	Optimum 40 až 50% (min. 22%)	Exteriér ale i krov	Značná
<i>Čechratka sklepní</i>	Hnědá	Jehličnaté	Optimum 50 až 70%	Sklady a doly	Střední
<i>Sítkovec dubový</i>	Hnědá	Listnaté (hlavně dub)	Optimum 40 až 50%	Exteriér, sklady	Značná
<i>Houževnatec šupinatý</i>	Hnědá	Jehličnaté	Optimum nad 30% (min. 22%)	Exteriér, podvaly	Střední
<i>Outkovka pestrá</i>	Bílá	Hlavně listnaté	Optimum 50 až 80%	Sklady, exteriér	Střední
<i>Pevník chlupatý</i>	Bílá	Hlavně listnaté	Optimum nad 50%	Sklady, exteriér	Střední
<i>Klanolístka obecná</i>	Bílá	Hlavně listnaté	Optimum 50 až 70%	Sklady, exteriér	Nízká

### 3.2.5. Dřevo poškozené houbami

- Dřevokazné houby – poškozují všechny nebo jen některé složky dřeva – celulózu, hemicelulózu, lignin, tím výrazně snižují mechanické vlastnosti. Velmi rozsáhlé škody způsobují jak na živých stromech, tak ale i na kulatině, řeziva a na dřevařských výrobcích.
- Dřevozbarvující houby a plísňe – tyto činitele nedokážou atakovat stavební složky, a tudíž pro něj nejsou tak nebezpečné. Jejich živina jsou hlavně zbytky z lumenů buněk a pektinové látky v membránách ztenčenin. Mechanické vlastnosti jsou poškozeny jen v malé míře. Ale u fyzikálních vlastností výrazně barvu a propustnost dřeva (Reinprecht, 2008).

Jejich zařazení k houbám dřevokazným, dřevozbarvujícím a plísním vyplývá zejména z jejich schopnosti vytvářet různé enzymy na rozklad složek dřeva nebo

pigmenty na zbarvení dřeva. Dřevokazné houby přetváří velký podíl dřeva na vodu a oxid uhličitý. Zároveň z něj tvoří látky, které jsou potřebné pro jejich život a růst jako např. bílkoviny, polysacharidy, alkaloidy, tuky a jiné. Vyrábějí enzymy, chitin, pigmenty a mykotoxiny. To jsou látky, které jsou významné pro jejich život, když tvoří její tělo a stimulují její degradační aktivitu. Mikotoxiny a výtrusy mají negativní vliv na životní prostředí, které u lidí mohou vyvolat alergie (Reinprecht, 2008).

### **Ekologie dřevoznehodnocujících hub**

Závisí hlavně o vztazích mezi organismy a prostředím ve kterém žijí. Optimální podmínky pro život a vývin hub se nemusí vždy shodovat s jejich optimální degradační aktivitou – hniloba, zbarvení nebo plíseň dřeva (Rayner a Boddy, 1988).

#### **Vývin a aktivita hub záleží na těchto faktorech:**

- Trofické – struktura dřeva
- Abiotické – podíl vzduchu a vody ve dřevě, teplota dřeva, klimatické podmínky v okolí dřeva
- Biologické – přítomnost a aktivita jiných organismů ve dřevě a v okolí
- Antropogenní – zda člověk zasahuje do struktury dřeva a prostředí v jeho okolí (Reinprecht, 2008)

Houby se řadí mezi chemoheterotropní organismy. Jejich buňky jsou takzvané eukaryotické, to znamená, že jádro je v houbách odděleno od cytoplazmy jádrovou membránou. Nemají fotosyntetické pigmenty, neumí tedy proměňovat oxid uhličitý z ovzduší na organické látky. Uhlík si získávají z organických substrátů. Pro svůj život houby potřebují i vodu. Můžeme je tedy najít i ve vodě (akvatické houby), v půdě (terestrické houby), a některým houbám vyhovuje i menší podíl vodní složky (např. dry rot fungi). Houby dokážou navazovat i navzájem prospěšné vztahy i jinými organismy (Gáper, 2005).

### **3.2.6. Vývin dřevoznehodnocujících hub**

#### **3.2.6.1. Dřevozbarvující houby a houby měkké hniloby (*Ascomycota*)**

V druhu *Ascomycota* se nachází více než 30 000 druhů hub, ale pouze některé z nich napadají dřevo, konkrétně houby dřevozbarvující a houby způsobující měkkou hnilobu. Tyto houby se rozmnožují pohlavně pomocí askospór vytvořených v kapsách,

ale mohou se množit o nepohlavně pomocí konidií vytvořených na konidioforech (Reinprecht, 2008).

### 3.2.6.2. Celulózovorní a ligninovorní dřevokazné houby (*Basidiomycota*)

Do tohoto druhu dnes zapadá okolo 20 000 druhů hub. Většina z nich je dřevokazná, to znamená že způsobují rozklad dřeva a jiných lignocelulózových materiálů. Celulózovorní houby způsobují rozklad všech polysacharidů a vzniká tak hnědá hniloba dřeva, kdežto ligninovorní druhy rozkládají kromě polysacharidů i lignin a vzniká tak bílá hniloba dřeva (<http://chemickaochranadrevasweb.webmium.com/plisne-a-drevokazne-houby>).

#### Tyto houby se množí:

- Pohlavními výtrusy – tyto výtrusy se tvoří obvykle na částech plodnice
- Někdy i nepohlavními výtrusy – typy konidií, oídií a chlamydospor, v některých případech i úlomky vegetativních útvarů.

Díky této velké variabilitě rozmnožování mají předpoklad pro lehké šíření v různých ekosystémech (Reinprecht, 2008).

#### Životní podmínky nejvýznamnějších druhů dřevokazných hub

**Tabulka 3: Podmínky nejvýznamnějších tuzemských druhů dřevokazných hub (Reinprecht a Štefko, 2000)**

Biotický škůdce	Dřevo		Životní podmínky	
	Listnaté	Jehličnaté	t <sub>opt</sub> (C)	w <sub>opt</sub> (%)
Dřevomorka domácí	ano	ano	18 - 22	30 - 40
Koniofora sklepní	ano	ano	23	46 - 90
Pórnatka Vaillantova	ano	ano	27	35 - 50
Trámovka plotní	ne	ano	35	50 - 60
Trámovka jedlová	ne	ano	29	50 - 60

### 3.3.Hniloba dřeva

Hniloba je příčinou porušení buněčných stěn, čímž se snižuje tvrdost, pevnost a další mechanické vlastnosti. Fáze hniloby můžeme rozdělovat na tvrdou hnilobu (mění se tvar dřeva), měkkou hnilobu (snižování mechanických vlastností) a trouchnivou hnilobu (dřevo je ztrouchnivělé a rozpadá se).

#### Vizuální změny vlivem hniloby dřeva

**Tabulka 4: Vizuální změny dřeva při působení hniloby (Reinprecht a Štefko, 2000)**

Vizuální změna dřeva	Typy hniloby dřeva		
	Hnědá	Bílá	Měkká
Barva	hnědé odstíny (ztmavnutí)	bílá a žlutá (zesvětlení)	hnědá (ztmavnutí)
Zónální rozklad	objemový	objemový (ohraničené zóny)	povrchový
Trhliny	příčné i podélné (kostkovitost)	houbovitost	příčné i podélné (při vysušení)
Objem	výrazně zmenšený	zachovaný (mírně zmenšený)	zmenšený

#### 3.3.1.Měkká hniloba

Dřevokazné houby, které způsobují měkkou hnilobu se ve stavbách ve většině případů nevyskytují. Tyto houby napadají spíše dřevo, které je v exteriéru umístěno přímo do země anebo je přímo v kontaktu s vodou. U tohoto způsobu poškození jde spíše o více druhů hub, které rozkládají všechny složky dřeva. Materiál je možné chránit pouze preventivně ochrannými prostředky, které jsou odzkoušené podle ENV 807, „chemická“ likvidace hub u tohoto druhu hniloby není možná (Ptáček, 2009).



**Obrázek 3: Dřevěný sloupek poškozený měkkou hnilobou**

Zdroj: (autor)



Tento druh hniloby je typický při velmi mokřém dřevě, které je buď v kontaktu s půdou anebo v přímém kontaktu s vodou. Degradované komponenty dřeva při měkké hniloby jsou polysacharidy i lignin a také celulóza v S<sub>2</sub> vrstvě. Houby měkké hniloby napadají pouze velmi mokřé dřevo, hlavně v kontaktu s terénem, což může být například u sloupů, plotů apod. Měkká hniloba je poměrně často výsledkem působení více hub najednou. Dřevo, které je chemicky ošetřeno, odolává měkké hnilobě poměrně více. Při měkké hnilobě dřevo postupně hnědne, je velice křehké a málo pevné (Reinprecht, 2008).

Houby měkké hniloby jsou zástupci rodu *Asco* a *Deuteromycota*. Měkká hniloba se často vyznačuje hnědou barvou a můžeme si ji poplést s hnilobou působenou houbami, které rozkládají celulózu (Geles, 2007).

Měkká hniloba se vytváří pouze pokud je vlhkost dřeva velmi vysoká a pokud je v přímém kontaktu s terénem anebo s vodou. Lokalizuje se zejména v povrchových zónách dřeva, a to hlavně v S<sub>2</sub> vrstvě sekundární stěny (Daniel, 2003).

Na tvorbě měkké hniloby se podílejí houby z rodů *Allescheria*, *Graphium*, *Chaetomium*, *Monodictys*, *Paecilomyces*, *Penicillium* a mnoho dalších. Pro houby, které způsobují měkkou hnilobu je charakteristické, že lignin rozkládají výrazněji než houby hnědé hniloby a méně výrazněji než houby hniloby bílé. Vnější příznakem měkké hniloby je hnědá barva dřeva a viditelné podélné a příčné trhliny (Reinprecht, 2008).

#### **3.3.1.1. Houby měkké hniloby**

Tato hniloba poškozuje hlavně dřevo v exteriéru, které je v kontaktu s půdou a nachází se ve vlhkém prostředí. Typické prostředí je dřevo s vysokým obsahem vody a dusíku (Geles, 2007). Houby této hniloby jsou schopny odbourávat všechny složky dřeva. Jejich název je odvoze od měknutí dřeva, které je způsobeno tvorbou charakteristických dutin v buněčné stěně (Gabriel, 2013).

Houby měkké hniloby jsou zástupci rodů *Asco* a *Deuteromycota*. Měkké hniloba je díky své hnědé barvě často zaměňována s hnědou hnilobou (Geles, 2007).

#### **3.3.2. Hnědá hniloba dřeva**

**Hnědá hniloba** – Dřevo, které je napadené hnědou hnilobou má typické změny od molekulární až po geometrickou strukturální hladinu. V největší míře je degradovaná vrstva S<sub>2</sub> sekundární stěny s vysokým podílem celulózy a hemicelulózy, která je schopná při větším stadiu hniloby zcela zmizet. Buňkové stěny začínají být křehké smršťují se a

praskají. Dřevo postupně začíná žloutnout a hnědnout, ztrácí pevnost a je křehké, kostkovitě praská a má menší sorpční kapacitu pro vodu a jiné polární látky (Kuklík, 1998).

Houby, které ji způsobují – celulózovorní

Degradované komponenty dřeva – celulóza a hemicelulóza a menší míře lignin (Reinprecht, 2008).



**Obrázek 4: Hnědá hniloba dřeva**

Zdroj: (autor)



**Obrázek 5: Dřevo poškozené hnědou hnilobou**

Zdroj: (autor, 27. 2. 2020)

### 3.3.2.1. Houby hnědé hniloby

Rozkládají celulózu a hemicelulózu, dřevo je na počátku žluté a poté postupně hnědne. Houby způsobující hnědou hnilobu nerozkládají lignin, mohou ho pouze chemicky přeměňovat. Štěpením polysacharidů získávají energii a živiny. Houby hnědé hniloby napadají více stromy listnaté než jehličnaté. Může to být způsobeno tím, že listnaté a jehličnaté stromy mají jiné chemické složení. V současnosti se odhaduje že houby hnědé hniloby tvoří asi 6 % druhů všech dřevokazných hub (Gabriel, 2013).



**Obrázek 6: Dřevomorka domácí**

Zdroj: ([www.ohoubach.blogspot.com](http://www.ohoubach.blogspot.com), 27. 2. 2020)



**Obrázek 7: Trámovka plotní**

Zdroj: ([www.ohoubach.blogspot.com](http://www.ohoubach.blogspot.com), 27. 2. 2020)



**Obrázek 8: Trámovka jedlová**

Zdroj: ([www.ohoubach.blogspot.com](http://www.ohoubach.blogspot.com), 27. 2. 2020)



**Obrázek 9: Koniofora sklepní**

Zdroj: ([www.ohoubach.blogspot.com](http://www.ohoubach.blogspot.com), 27. 2. 2020)



**Obrázek 10: Pornatka Vaillantova**

Zdroj: (autor, 27. 2. 2020)



**Obrázek 11: Čechratka sklepní**

Zdroj: (www.mykologie.net, 25. 5. 2020)



**Obrázek 12: Síťkovec dubový**

Zdroj: (www.mykologie.net, 25. 5. 2020)



**Obrázek 13: Houževnatec šupinatý**

Zdroj: (www.ohoubach.cz, 25. 5. 2020)

Nejznámější dřevokaznou houbou je Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*). Její optimální podmínky se liší od ostatních hub, protože pro její aktivitu ji stačí vlhkost dřeva  $w=18-20\%$  a optimální teplota  $18-22\text{ °C}$  (Huckfeld a Schmidt, 2005). Dřevomorka zastavuje růst při teplotách nad  $26\text{ °C}$  a už při teplotách nad  $37\text{ °C}$  uhynie i za 30 minut (Bech-Andersen, 1995).

### 3.3.3. Bílá hniloba dřeva

**Bílá hniloba** – dřevo poškozené ligninovorní houbou vykazuje díry a dutiny, které jsou po krátké době viditelné i pouhým okem. Části dřeva, které houba nenapadne si udržují původní vzhled (dřevo nepraská), zřídka jsou na napadeném dřevě patrné světlejší pruhy. Bílou hnilobu způsobuje např. václavka, pevník, trudnatec a další houby. Tento typ hniloby u nás není obvyklý (Kuklík, 1998).

Dřevo má také typické změny od molekulární až po geometrickou strukturální hladinu. Ve dřevě jsou dobře zřetelné substrátové hyfy, které rychle kolonizují dřevo. Substrátové hyfy velmi rychle přerůstají přes buňkové stěny a vytváří v nich otvory. Existuje také více forem bílé hniloby, které je možné odlišit produkcí a mobilitou enzymů při odbourávání celulózy, hemicelulózy a ligninu, to má také následný dopad na jeho vlastnosti (<http://ohoubach.blogspot.com/2008/01/lignivorni.html>).

Houby, které jí způsobují – Ligninovorní

Degradované komponenty dřeva – celulóza a hemicelulóza a ve velké míře i lignin (Reinprecht, 2008).



**Obrázek 14: Bílá hniloba dřeva**

Zdroj: ([www.slideserve.com](http://www.slideserve.com), 6. 2. 2020)



**Obrázek 15: Dřevo poškozené bílou hnilobou**

Zdroj: ([www.atlasposkozeni.mendelu.cz](http://www.atlasposkozeni.mendelu.cz), 27. 2. 2020)

### 3.3.3.1. Houby bílé hniloby

Ligninovorní houby rozkládají lignin. Při působení bílé hniloby se dřevo zabarvuje do světlé hnědé a žlutobílé barvy, tak se projevuje bílá hniloba neboli korozivní rozklad. Dřevo se postupně stává měkkým a drobivým. Se ztrátou hmotnosti ale dřevo neubývá na objemu, a proto nedochází ke kostkovitému rozkladu jako je to u hnědé hniloby (Gabriel, 2013).



**Obrázek 16: Pevník chlupatý**

Zdroj: ([www.ohoubach.blogspot.com](http://www.ohoubach.blogspot.com), 27. 2. 2020)



**Obrázek 17: Outkovka pestrá**

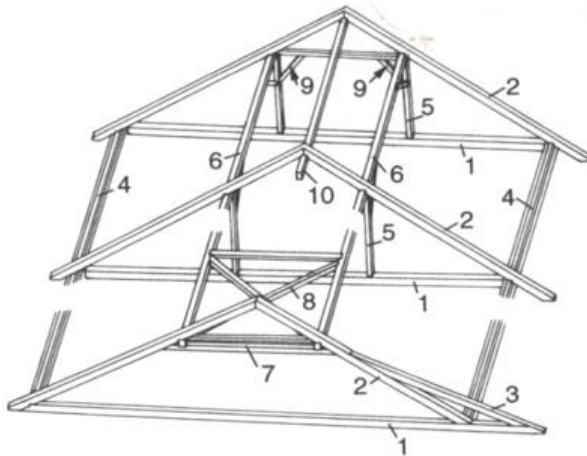
Zdroj: ([www.superionherbs.cz](http://www.superionherbs.cz), 25. 5. 2020)



**Obrázek 18: Klanolístka obecná**

Zdroj: ([www.atlasposkozeni.mendelu.cz](http://www.atlasposkozeni.mendelu.cz), 25. 5. 2020)

## Kritická místa biotického poškození dřevěných prvků v krovech pro napadení hnilobou



**Obrázek 19: Kritická místa krovu při napadení hnilobou**

Zdroj: (Reinprecht a Štefko, 2000)

H – hniloba, P – požerky

1 – vazní trám P(H), 2 – krokev P(H), 3 – námětek P a H, 4 – pozednice P a H, 5 – sloupek P(H), 6 – vaznice P(H), 7 – hambalek P(H), 8 – ondřejský kříž P, 9 – pásek P, 10 – vrcholová vaznice P(H)

### 3.3.4. Dřevozbarvující houby, mikroskopické houby (plísně) a bakterie

Poškození těchto činitelů je spíše estetické. Při jejich působení lze na dřevě pozorovat zbarvení a skvrny. Na poškození buněčných stěn dřeva a poklesu jeho vlastností se tyto činitelé podílejí jen velmi málo. Plísně kromě dřev mohou ohrožovat také jiné materiály jako například omítku.



Obrázek 20: Dřevo poškozené plísní

Zdroj: (autor, 27. 2. 2020)

### 3.3.5. Dřevokazný hmyz

Pokud je hmyz v larválním stádiu poškozuje dřevo požerky, jejich následkem vzniká ve dřevě poškození statického charakteru, v závislosti na množství, velikosti a lokaci požerků. Požerky a výletové otvory také snižují estetickou stránku poškozených částí (Reinprecht a Štefko, 2000).



Obrázek 21: Tesařík krovový

Zdroj: (www.ochrana-dreva.cz, 27. 2. 2020)



Obrázek 22: Požerky dřevokazného hmyzu

Zdroj: (autor, 27. 2. 2020)



### 3.4. Poruchy vznikající následkem biotického poškození dřeva

První a nejčastější příčina poškození u dřevěných prvků je voda. Na vodě jsou závislí škůdci nejvíce ohrožující dřevo – dřevokazný hmyz a houby, vodu ale potřebují i další degradační činitelé jako jsou plísně, dřezozbarvující houby a bakterie.



**Obrázek 23: Vnikání vody do objektu**

Zdroj: ([www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz), 1. 3. 2020)

#### 3.4.1. Prvotní příčina vzniku poruch ve stavbě – Vlhkost

Voda je samozřejmě nejdůležitější látka na Zemi. Voda je však velice často prvotní činitel, který způsobuje poškození dřeva.

Objekty a materiály ve kterých je větší podíl vody jsou označovány jako vlhké. Poruchy dřevěných konstrukcí vlivem vody, ale velmi často jen za účasti vody jako základní podmínky pro vznik biotických poškození vznikají v důsledku:

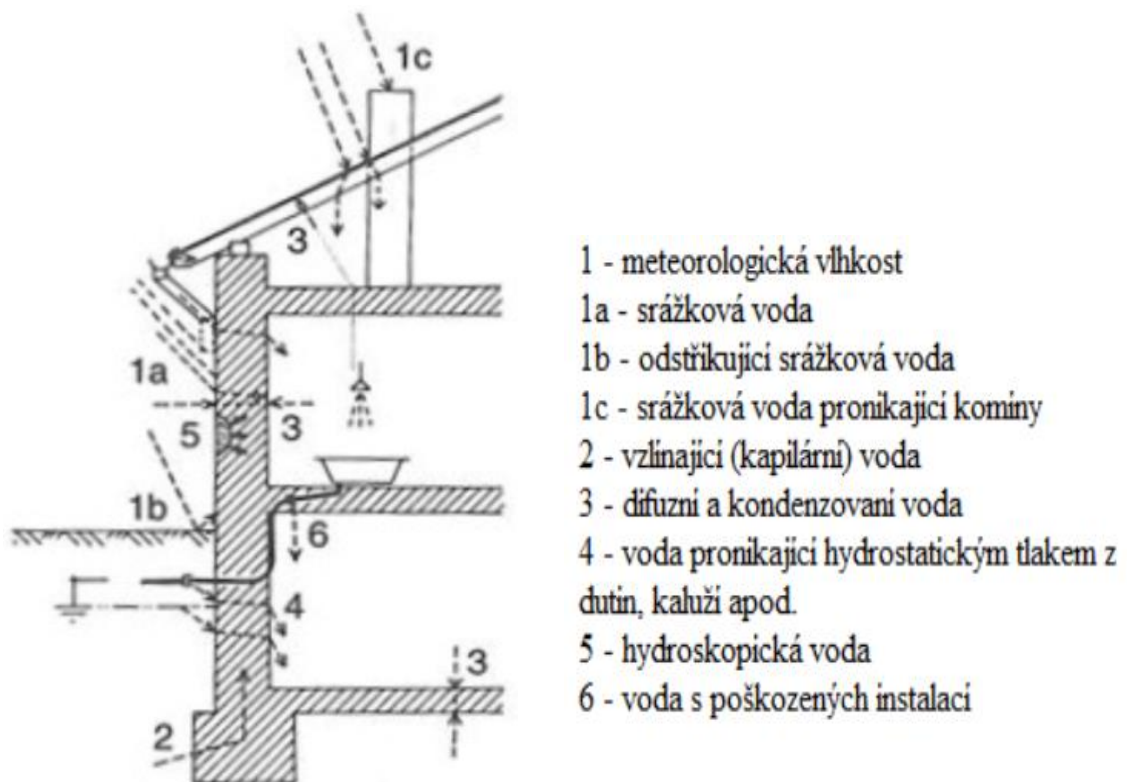
- Prvotního poškození dřeva,
- Poškození pomocných materiálů použitých na spojování nebo na povrchovou úpravu dřeva,
- Zvlhnutí nebo poškození nedřevěných materiálů, které jsou ovšem neoddelitelnou součástí dřevěné stavby (např. při zvlhnutí základů nebo stěn se poškozují především podlahy, okna, stropy nebo krovy).

Pokud nastane situace, kdy je zvýšená vlhkost stěn nebo střešních pláštěů, odráží se to i ve zvýšení jejich tepelné vodivosti a tím i ve zhoršení tepelně-izolačních schopností (Reinprecht a Štefko, 2000).

### 3.4.1.1. Vnikání vody do konstrukcí na bázi dřeva

Způsoby, kdy voda vniká do dřevěných konstrukcí jsou, když je voda v kapalném skupenství, ale také i ve skupenství plynném – jako vodní pára. Zdroji vlhkosti ve stavbě jsou především:

- Voda srážková
- Vzlínající (kapilární) voda
- Kondenzovaná a sorpční voda (Lebeda a kol., 1988).



Obrázek 24: Způsoby vnikání vody do objektu

Zdroj: (Lebeda, 1988, 27. 2. 2020)

#### **3.4.1.1.1.Voda srážková**

Srážková voda se do stavby dostává více způsoby:

- Přes nevhodně řešený nebo poškozený střešní plášť,
- Přes komíny,
- Přes obvodové stěny (nejvíce pokud je poškozený okap) a okna (záleží na síle větru a přesahu střechy),
- Přes obvodové stěny odrazem ze země (často může být až do výšky 40 cm).

Pokud budeme uvažovat o množství srážkové vody, které je schopno dostat se do objektu tam bude záviset na konstrukčním řešení stavby a také na stavu hydroizolací. Druhotné ovlivnění je ze strany množství srážek, intenzitě srážek, rychlosti a směru proudění větru a hydrofobními vlastnostmi materiálů apod (Reinprecht a Štefko, 2000).

#### **3.4.1.1.2.Vzlínající – kapilární voda**

Tento druh vody se do stavby dostává především díky špatnému řešení hydroizolace vůči základové půdě a základům. K vzlínání vody dochází díky vlivu kapilárních tlaků v materiálu. Například pokud jsou kapiláry v poloměru 0,01 mm tak voda může dosáhnout výšky až 1490 mm, ovšem při poloměru 0,1 mm je výška pouze 149 mm. Závisí tedy na hustotě materiálu. Ve starších objektech, které mají zděné stěny se setkáváme s kapilárním vzlínáním vody velice často i do výšky 1500 mm. Klimatické podmínky v přízemních místnostech jsou trvale vlhčí a poté se zvyšuje i vlhkost rovnovážná dřevěných stropy nad těmito místnostmi (Lebeda a kol., 1988).

#### **3.4.1.1.3.Kondenzovaná a sorpční voda**

Atmosférický vlhký vzduch je složen z komponentů suchého vzduchu a z molekul vody ve formě vodní páry. Například člověk do vzduchu vydýchá 1 až 2 kilogramy vody za jeden den. Voda se do vzduchu dostává také vypařováním z vodních hladin a z vlhkých materiálů. Absolutní množství vody, která je obsažena ve vzduchu, závisí na teplotě a tlaku, se zvyšující se teplotou narůstá i absolutní množství vody. Při teplotě 0 °C je to maximálně 4,8 g vody v 1 m<sup>3</sup> vzduchu a při teplotě 30 °C až 30,3 g na 1 m<sup>3</sup> vzduchu (Reinprecht a Štefko, 2000).

#### **Typické příčiny zvýšeného vlhnutí budov:**

- Nedostatečná nebo špatná hydroizolace střešního pláště, ale i obvodových stěn a základů
- Nedostatečná tepelná izolace

- Změna paropropustných podlah
- Vytvoření velkých paronepropustných ploch v okolí objektu
- Aplikace paronepropustných nátěrů na špatně odizolované stěny
- Lokální změna vnějšího klimatu
- Nedostatečné nebo nesprávné větrání (<https://aquapol.cz/nejcastejsi-priciny-kttere-zpusobuji-vlhnuti-budovy-a-zdiva/>).

### **3.4.2. Význam vody při poškozování dřeva**

Podíl vody na poškození dřeva se projevuje více způsoby:

- Vstupem do chemických reakcí se stavebními složkami dřeva – častý případ je depolymerizace hemicelulóz a celulózy hydrolytickými reakcemi až na monosacharidy. Katalyzátor je hlavně enzym dřevokazných hub ale i bakterií, ale také kyseliny obsažené v kyselých deštích.
- Je nosným médiem pro transport enzymů, kyselin a reakčních substrátů a společně umožňuje transport látek vzniklých rozkladem dřeva, které jsou rozpustné ve vodě. Například k hnilobě dřeva nelze dojít v suchém dřevě, protože v buněčných stěnách není přítomné vodivé kapalné médium, které je třeba pro difúzní transport enzymů z hyf houby ke složkám dřeva a také pro zpětný transport rozkládaných produktů dřeva do hyf houby.
- Krystalizačními tlaky při fázové přeměně na led tvoří napětí uvnitř buněčných stěn a mezi buňkami dřeva, díky tomuto vznikají mrazové trhliny.
- Ve formě kapek dešťové vody nebo ledu mechanicky atakuje povrch dřeva. Spolu s mechanickými účinky prachu a písku se takto podílí na komplexní erozi povrchu dřeva. Eroze má výraznější podobu, pokud jsou povrchy už prvotně poškozeny UV-zářením ve spojení s depolymerizací ligninu, který je představuje pojivovou komponentu buněčných stěn dřeva.
- Podmiňuje aktivitu biotických škůdců dřeva. Kupříkladu u střeoevropských druhů hmyzu musí dřevo pro jejich aktivitu dosahovat vlhkosti nad 10 %. Dřevokazné houby potřebují pro svou aktivitu vlhkost dřeva alespoň 20 % (Výjimka je u dřevomorky domácí, která dokáže atakovat dřevo již při vlhkosti dřeva 16 %) (Reinprecht a Štefko, 2000).

### **3.5.Poruchy v dřevěných prvcích**

Dřevěné prvky nejsou jako další lidské produkty stoprocentně dokonalé, jejich trvanlivost není nekonečná. Poruchy v těchto prvcích mohou pocházet ať už z očekávaných nebo z neočekávaných příčin. Ovšem nejčastěji dochází k poškození od biotických škůdců dřeva, kteří začínají být aktivní při zvýšené vlhkosti dřeva. Poruchám lze nejlépe předcházet volbou vhodných dřevěných materiálů, správným konstrukčním řešením objektu, dále použitím vhodných izolačních materiálů a důležitá je také péče a pravidelná údržba objektu, počítaje včasným zjištěním závad a jejich následně odstranění už v počátku jejich vzniku. Základní předpoklad pro vznik poruch v dřevěných konstrukcích na bázi dřeva, je hmotná podstata dřeva. Dřevo je přírodní materiál, který se skládá z různých typů buněk (např. listnaté dřeviny obsahují hlavně cévy, libriformní vlákna a parenchymatické buňky, jehličnaté dřeviny mají hlavně tracheidy a v menším podílu parenchymatické buňky), ty jsou umístěny specificky v prostoru a mají přesně definovanou stavbu buněčných stěn. Buněčné stěny jsou tvořeny z přírodních typů polymerů jako je celulóza, hemicelulóza a lignin. Tyto látky jsou velice náchylné k biologickému napadení houbami a hmyzem ale také k termickému rozkladu, chemické korozi a povětrnostnímu zvětrávání. Struktura dřeva, která je velmi komplikovaná se projevuje anizotropií a častými heterogenitami jeho mechanických, vlhkostních a dalších vlastností (Reinprecht a Štefko, 2000).

Ovšem i na tyto uvedené vlastnosti je dřevo velmi vynikající a velmi často i těžko nahraditelný materiál. Mnoho stropů a krovů např. budhistické kláštery v Japonsku, které jsou trvale držené v suchém prostředí, vydrželi i po dobu několika staletí i tisíciletí (Larsen, 1994).

Bohužel je známo i mnoho případů, kdy nebyly dodrženy hlavní konstrukční podmínky ochrany dřeva a ztratily svoji funkčnost již v průběhu několika desetiletí nebo i několika let.

#### **3.5.1.Detekce poškození dřeva**

Při detekci poškozeného dřeva je třeba brát na vědomí, že poškození materiálu ne vždy musí být vidět. Proto se nejdříve využívají smyslové metody a poté anebo také souběžně přístrojové metody (Reinprecht, 2008).

U smyslových metod se využívá hlavně vizuální detekce, kde se pozorují změny barvy dřeva a výletové otvory od hmyzu. Také se využívá metoda sluchu, kdy se

poklepává kladívkem pro vyhledání dutin ve dřevě. Využit lze také čich, a to hlavně u detekce dřevokazných nebo dřevozbarvujících hub. Může se také využít metoda vrypu, která se používá při napadení hnilobou (Reinprecht a Pánek, 2016).

Pro detekci poškození se využívá mnoho metod. Ne vždy jsou ale výsledky spolehlivé, a proto ze nejlepších výsledků dosahuje kombinací a více postupů (Hrivnák a kol., 2013).

### **3.5.1.1. Zjišťování poruch ve dřevěných prvcích**

Přesné postupy při zjišťování poruch v dřevěných prvcích jsou závislé na více faktorech jako je například typ, věk a současný provoz konstrukce, její přístupnost a záměry využívání. Pro metodiku zjišťování poruch používáme čtyři fáze:

- Získání základních poznatků o konstrukci a určení zjevnějších poruch,
- Analýza základních poznatků o konstrukci (poznatky získané z dostupné dokumentace a z předběžné prohlídky) a formulace návrhu na další průzkumy,
- Provedení podrobného průzkumu vytipovaných míst (prvků) s předpokládaným výskytem poruch,
- Souhrnné zhodnocení průzkumu (Reinprecht, 1998).

V interiérech se na dřevěných prvcích nejvíce používá smrk. Ten je nejvíce poškozován celulózovými dřevokaznými houbami, kterým hodně vyhovuje interiérové klima a zvlhčení dřeva na úroveň  $w=20-30\%$ . Nejčastěji jsou tyto houby aktivní ve špatně navržených nebo ve starších objektech, do kterých zatéká srážková voda. Srážková voda tvoří vodní kondenzát, to znamená že dřevo je v trvalém kontaktu se zdroji kapilární vody. Nejvíce poškozovanými prvky jsou špatně izolované objekty, neodvětrávané podlahy, stropy a krovy, a také fasádní prvky jako jsou okna a dveře (Weiss a kol., 2000).

### **3.6. Přístrojové metody a jejich porovnání**

- *Vlhkoměry* – stanovení vlhkosti dřeva,
- *Endoskopy* – zjištění poškození biotickými škůdci ve špatně dostupných prvcích dřeva,
- *Mikroskopy* (světelné, polarizační, elektronoptické) – těmito přístroji lze zjistit poškození buněk dřeva, přítomnost hyf a výtrusů hub a také přítomnost krystalů agresivních chemikálií,
- *Fyzikálně-chemické přístroje* – IČ spektroskopy, ESR elektronové spinové rezonance, NMR nukleární magnetické rezonance, hmotnostní spektrografie apod.

Tyto přístroje jsou využívány hlavně pro vědecké účely (Reinprecht a Štefko, 2000).

- *Počítačové tomografie* – gama zářiče nebo rentgeny, využití pro zjištění prostorových znázornění vnitřních poškození dřevěných prvků vlivem hniloby nebo požerků hmyzu (Marčok, 1995).
- *Přístroje na určení elektrofyzikálních vlastností dřeva* na základě změněné vodivosti nebo permitivity dřeva poškozeného hnilobou, požerky, trhlinami nebo agresivními chemikáliemi,
- *Přístroje pro destruktivní nebo semidestruktivní určení poklesu pevnosti, tuhosti nebo tvrdosti dřeva* – na odebraných vzorcích se určuje stupeň poškození ve zkušební laboratoři, dále je možností použití přístrojů „in situ“, kde jsou použity například přístroje na ohybové vlastnosti materiálu pomocí Fractometru a jiných přístrojů, dále je využíván odporový mikrovrták Rezistograph o průměru vrtáku 3 mm, dále je využíváno Baumannovo kladívko s ocelovou kuličkou o průměru 20 mm pro stanovení tvrdosti dřeva,
- *Přístroje na nedestruktivní určení poklesu tuhosti dřevěných prvků i celé konstrukce nebo na zjištění vnitřních defektů typu hnilob, požerků a trhlín* – impulzní kladivo pomocí útlumu rychlosti šíření impulzních vln, dále se používají metody na základě útlumu rychlosti šíření ultrazvukových vln, případně pokud známe hustotu dřeva můžeme použít metody na základě dynamického modulu pružnosti dřevěného prvku,
- *Tenzometry* (mechanické, elektrické) – slouží k přesnému určení průhybů, posunů, nebo trhlín, a to jak momentálních, tak i jejich vývoj v čase (Reinprecht a Štefko, 2000).

Přístrojové metody nejsou vždy nezbytné, díky jejich průzkumu ale docílíme důkladnějšího průzkumu poškození dřeva a poruch konstrukcí. Díky těmto přístrojovým metodám lze nejlépe zjistit kvalitativní (druh dřevokazné houby) a kvantitativní (stupeň a rozsah hnilobného poškození dřeva) ukazatele poruch konstrukce a zároveň je možné analyzovat i příčiny poruch (Hrivnák a kol., 2013).

V současné době jsou v dřevěných konstrukcích a na dřevěných prvcích využívány nejen běžné diagnostické metody, ale i velmi propracované metody, které mohou být velice nákladné. Tyto metody poskytují často velmi přesná data i při sníženém rozsahu nebo při úplném vyloučení destruktivních metod, toto je velmi ceněno hlavně u

památkových staveb. Díky tomuto měření mohou být ve výsledku sníženy náklady za průzkum, z toho důvodu, že se ušetří za bourací a opravné práce. Diagnostické metody dřevěných konstrukcí jsou velice důležité z hlediska jejich spolehlivosti a bezpečnosti. Při použití těchto metod lze zjistit a posoudit jednotlivé vady a různé odchylky (Kloiber a Drdácký, 2015).

### **3.6.1. Dělení diagnostických metod**

*Destruktivní* – u této metody je vyžadováno odebrání vzorku dřeva nebo jeho porušení. Díky stanovení mechanických vlastností materiálu lze potvrdit nebo vyloučit poškození. Tato metoda není vhodná pro použití u historických nebo památkové chráněných objektů (Reinprecht a Pánek, 2016).

*Semidestruktivní* – při použití těchto metod není vyžadováno odebrání vzorků dřeva nebo jeho výraznější poškození. Na zkoumaných místech zůstává pouze malá stopa po průzkumu (Reinprecht a Hrivnák, 2010).

Do těchto metod řadíme odporové zarážení trnu, odporové mikrovrtání, vytahování vrutu, zatlačování trnu, zkoušení radiálních vývrtů, zkoušení tahových mikro-vzorků, zatlačování kuličky, Baumannovo kladívko, endoskopie (Kloiber a Drdácký, 2015).

*Nedestruktivní* – tyto metody využívají znalostí známých změn vlastností u poškozeného dřeva jako je pokles hustoty a vznik otvorů a dutin. Využívají se metody ultrazvukové a akustické (Reinprecht a Pánek 2012, 2013). Patří sem také různé zobrazovací metody jako například rentgenové a jiné záření. Ovšem u těchto metod je nevýhodou vysoká pořizovací cena (Reinprecht a kol., 2007).

Do těchto metod řadíme vizuální hodnocení, měření vlhkosti, ultrazvuková průchodová metoda, radiometrie, radiografie (Kloiber a Drdácký, 2015).

#### **3.6.1.1. Nedestruktivní metody**

##### **Vizuální hodnocení**

Nejčastější metoda při hodnocení poškození dřevěných prvků je právě vizuální hodnocení. Tato kontrola je velice jednoduchá a je vhodná pro preventivní prohlídky.

Touto metodou lze identifikovat:

- Trhliny,
- Poškození požárem,



- Zvýšení vlhkosti dřeva
- Poškození konstrukčních spojů,
- Poškození hmyzem a houbami,
- Poškození povětrnostními vlivy,
- Identifikace mechanického poškození (Kloiber a Drdácký, 2015).

### **Měření vlhkosti**

Měření vlhkosti je velice důležitá metoda hlavně pro správné třídění a kalibraci výsledků s ostatními metodami měření, protože vlhkost má značný vliv na mnoho vlastností dřeva. Pokud je vlhkost vysoká, zvyšuje se rizika poškození dřevokazným hmyzem a houbami. Vlhkost dřeva většinou není stejná v celém objemu měřeného prvku a v průběhu času se může měnit. Používají se elektrické odporové vlhkoměry (Hrivnák a kol., 2013).

### **Ultrazvuková průchodová metoda**

Tato metoda využívá průchod akustických vln skrz dřevo. Parametry, díky kterým se zjišťuje průchod akustických vln je čas průchodu nebo rychlost šíření vlnění, případně útlum a frekvenční spektrum. Tímto způsobem měření získáváme poznatky hlavně o hnilobě, která může být skrytá uvnitř dřevěného prvku. Měření odhaluje také vnitřní dutiny, změny vlastností konstrukčních prvků. Akustické vlny jsou slyšitelné oblasti ale také ultrazvukové vlny, která jsou neslyšitelné s frekvencí nad 20 000 Hz. Vlny se šíří díky kmitavému pohybu hmotných částic, díky elastickým vlastnostem materiálu. Na měření se používá například přístroj Fakopp 2D nebo Fakopp 3D (Kloiber a Drdácký, 2015).

### **Sluchová metoda**

Tato metoda se využívá především pro zjišťování přítomnosti larev a jedinců dřevokazného hmyzu. Také lze zjistit poruchy dřevěného prvku na základě odezvy poklepu a poruchy v konstrukci díky různým zvukovým anomáliím při dynamickém namáhání větrem (<https://www.asb-portal.cz/architektura/rodinne-domy/drevostavby/diagnosticke-metody-pro-hodnoceni-drevenych-konstrukci-in-situ>).

## **Metody s využitím optických přístrojů**

Tyto metody se provádějí hlavně pomocí optických, světelných a polarizačních mikroskopů. Určujeme zde přítomnost kukel, larev, vajíček a výtrusů hub na dřevěných prvcích (Kloiber a Drdácký, 2015).

## **Akustické vlastnosti dřeva**

Dřevo je materiál, která má velmi dobré akustické vlastnosti, tyto vlastnosti jsou velice důležité při výrobě hudebních nástrojů a ke zlepšení akustických vlastností společenských místností, kin, divadel a koncertních sálů. Akustické vlastnosti mají schopnost zvuk utlumit, vést nebo zesílit. Zvukem je myšleno mechanické vlnění prostředí, které je vnímáno sluchovým orgánem jako zvukový vjem. Jeho vnější příčinou je uspořádaný kmitavý pohyb molekul hmotného prostředí přenášený působením sil, kterými na sebe molekuly vzájemně působí. Díky tomuto se zvuk šíří jen v hmotném prostředí. Zvukové lze subjektivně zachytit s frekvencí 16–20 000 Hz. Zvuk, jako mechanické vlnění, může být vyznačován vlnovou délkou, amplitudou vlnění, frekvencí a rychlostí šíření zvuku (<http://www.ohybacidrevo.cz/vlastnosti/vybrane-vlastnosti-dreva>).

Faktory, které snižují akustické vlastnosti dřeva mohou být teplota dřeva, vlhkost dřeva, chemické zpracování, mechanické nakládání se dřevem, degradace dřeva (poškození hnilobou a hmyzem) apod (Bucur, 2006).

## **Šíření zvuku ve dřevě**

Dá se říct, že rychlost šíření zvuku ve dřevě ve směru vláken je totožná jako u kovů (železo 5000 m/s, měď 3600 m/s), ale napříč vláken je v průměru 3x menší. Čím je větší modul pružnosti a menší hustota dřeva, tím se rychlost šíření zvuku ve dřevě zvyšuje. Rychlost šíření zvuku ve dřevě je závislé na druhu dřeviny. (<http://www.ohybacidrevo.cz/vlastnosti/vybrane-vlastnosti-dreva>).

Šíření zvuku ve dřevě v případě napadení dřevokaznými houbami je ovlivněno hlavně zpomalením šíření zvuku ve dřevě a úbytkem jeho celkové hmotnosti. U hnědé hniloby může být pokles rychlosti šíření až o 52 % a snížení hmotnosti o 20 % (Bauer a kol., 1991).

**Tabulka 5: Průměrná rychlost šíření zvuku ve vybraných dřevinách**  
(www.is.mendelu.cz)

<b>Rychlost zvuku (m/s)</b>		
<b>Druh dřeva</b>	<b>rovnob. s vlákny</b>	<b>kolmo na vlákna</b>
Smrk	4 790	1 072
Jedle	4 890	1 033
Javor	3 826	1 194
Buk	4 638	1 420
Dub	4 304	1 193

### 3.6.1.2. Semidestruktivní metody

#### **Odporové zarážení trnu**

Tímto způsobem se měří mechanický odpor dřeva pomocí jednoduchého zarážecího zařízení. Toto zařízení lze zařadit mezi částečně destruktivní metodu, ale poškození měřeného prvku je velice malé. Měří se přístrojem Pilodyn, což je jednoduché mechanické zařízení měřící hloubku zaražení trnu o průměru 2,5 mm, délka trnu je 40 mm (Kloiber a Drdácký, 2015).

#### **Odporové mikrovrtání**

Odporové mikrovrtání je prováděno přístrojem Resistograph a můžeme ho považovat za částečně destruktivní měření. Používané mikrovrtáky mají průměr 1,5 – 3 mm. Délka se odvíjí od typu a výrobce. Vrtáky jsou speciálně upravené, aby snímaly odpor dřeva. Při měření je sledována energie, která je potřeba k udržení konstantní rychlosti vrtáku při vrtání skrz dřevěný prvek (Ansorge a Geburtig, 2008).

#### **Zatlačování trnu**

Tento způsob umožňuje měření mechanického odporu vůči pozvolnému vnikání tělesa do dřeva. Zkoumaný prvek je připevněn k přístroji pomocí textilního popruhu nebo opásáním pomocí řetězu a spojovacích vrtů. Kolmo k základně stroje je do dřevěného prvku tlačěn trn o průměru 2,5 mm, jehož dřík je zakončen půlkulatým hrotem o průměru 3 mm (Kloiber a Drdácký, 2015).

## **4. Metodika**

V teoretické části byly využity především odborné literární zdroje, v menší míře také internetové zdroje. Byl proveden rozbor hniloby dřeva a také dřevokazných hub, které jsou s hnilobou úzce spojeny. Dále byly řešeny poruchy v objektech způsobené vlhkostí a jinými biotickými degradační činiteli. Následně v práci byly popsány diagnostické metody a jejich rozdělení.

V praktické části bylo provedeno měření smrkové pozednice z vybraného krovu, která byla rozdělena na tři jednotlivé části, které vykazovaly známky různého stupně poškození hnilobou. Před měřením byla provedena smyslová metoda detekce poškození na povrchu vzorků. Dále proběhlo měření v radiálním směru kolmo na vlákna nedestruktivními a semidestruktivními přístrojovými metodami.

Vybranými nedestruktivními metodami měření tedy byly smyslová metoda a měření přístroji Ultrasonic Timer a Somatom Scope.

Pro měření semidestruktivními metodami byly vybrány přístroje Arborsonic 3D, Arbotom Rinntech a odporová mikrovrtáčka Resistograph.

Poté co byly naměřeny všechny hodnoty, proběhla destruktivní metoda, a to rozřezání vzorků v každé měřené vrstvě. Nařezané vrstvy byly poté porovnány se schémata u přístrojů Arborsonic 3D a Resistograph.

Na konci měření byla zpracována tabulka, kde byly porovnány a zprůměrovány hodnoty, také byly zpracovány odchylky z přístrojů Arborsonic 3D, Ultrasonic timer a Arbotom Rinntech. Pevným bodem byly zvoleny hodnoty z přístroje Arborsonic 3D. Procentuální odchylky byly zhotoveny tak, že hodnoty přístroje Arborsonic 3D se odečetly od hodnot z přístrojů Ultrasonic timer a Arbotom Rinntech. Tím vznikl rozdíl mezi jednotlivými hodnotami, který byl poté vydělen pevnou hodnotou přístroje Arborsonic 3D. Vypočtená hodnota byla následně převedena na procenta, čímž vznikla buď kladná nebo záporná odchylka.

### **4.1. Měření vzorků**

K diagnostice byla vybrána poškozená smrková pozednice z krovu chaty, která se nachází v chatové oblasti v jižních Čechách, konkrétně v obci Jestřábí. Nejprve byla provedena smyslová diagnostika vzorků. Na první pohled byla u dvou vzorků znatelná hnědá hniloba, která byla způsobena zatékáním dešťové vody pod střešní krytinu. Jako

další poškození byla zjištěna dřevokazná houba, konkrétně Koniofora sklepní (*Coniophora puteana*). Tato houba v kombinaci se zatékáním vody přispěla k šíření hnědé hniloby. Na povrchu měřeného prvku bylo také v menší míře detekováno poškození dřevokazným hmyzem, a to konkrétně Červotočem umrlčím (*Anobium pertinax*).



**Obrázek 25: Vybraná pozednice krovu**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 26: Pozednice rozdělena na tři části**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 27: Napadení Konioforou sklepní**

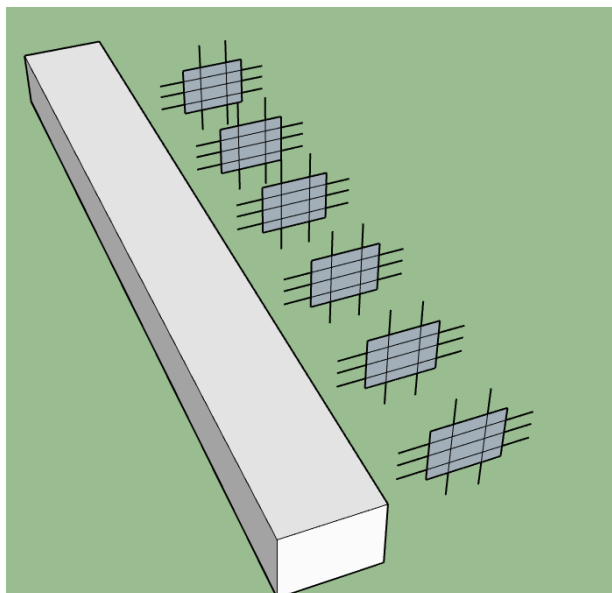
Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 28: Napadení červotočem proužkováným**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)

Pozednice byla následně zkrácena na tři menší části a měřena v celkem šesti jednotlivých vrstvách po 19 centimetrech. Rozvrstvení je znázorněno na obrázku níže. Na závěr měření byla také použita destruktivní metoda, kdy byly jednotlivé vzorky příčně nařezány v jednotlivých vrstvách, ve kterých proběhlo měření. Tyto nařezané vzorky budou srovnány s výstupy přístrojů Arborsonic 3D a Resistograph.



**Obrázek 29: Ukázka rozvrstvení vzorků**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)

#### **4.1.1. Akustické metody**

Akustické metody (ultrazvukové a napět'ově deformační) jsou založeny na šíření akustických vln ve dřevě. Ultrazvukové metody pracují nad pouhým uchem slyšitelnými frekvencemi zvuku. Metody napět'ově-deformační jsou založeny na nízkých frekvencích v oblasti slyšitelného zvuku (Kasal a Anthony, 2004).

Rozdíl v těchto dvou metodách je v použití excitačních frekvencí k přechodu vlny skrze zkoumaný prvek. Pokud jsou přístroje správně obsluhované a kalibrované, měly by všechny poskytovat porovnatelné výsledky (Ross a kol., 2004).

##### **4.1.1.1. Ultrasonic Timer**

Jedná se o modifikovaný model typu Fakopp. Princip práce tohoto přístroje je s Fakoppem identický. Ultrasonic timer má ale možnosti pracovat s více druhy sond. Například se zarážecími sondami, u kterých díky poklepu můžeme sledovat signál. Mohou se také používat sondy trojúhelníkového nebo kruhového tvaru, u kterých buzení signálu poklepem není potřeba. Signál se u tohoto přístroje budí sám automaticky po jeho

zapnutí. Pokud se používají sondy nezarážející, je dobré na jejich povrch nanést vrstvu gelu nebo plastelíny (Hrivnák a kol., 2013).

První měření probíhalo s přístrojem Ultrasonic Timer, který je řazen do nedestruktivních metod. Všechny tři vzorky, které jsou již představeny výše v práci byly rozloženy do šesti vrstev po 19 centimetrech. V každé z těchto šesti vrstev probíhalo měření. Diagnostika byla prováděna tím způsobem, že v každé vrstvě byly vytvořeny body, na které byly následně přiloženy dvě příslušné sondy přístroje. Tyto sondy byly umístěny vždy přesně naproti sobě. Poté přístroj v přesných intervalech vysílal impulsy do sond, díky kterým se šířil ultrazvuk měřeným prvkem. Na plošky sond se přiložila plastelína kvůli lepšímu vedení zvuku. Díky tomu se poté na displeji objevila hodnota rychlosti šíření zvuku v mikrometrech za sekundu ( $\mu\text{m/s}$ ). Mikrometry byly poté přepočítány do metrů za sekundu ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) pro lepší orientaci. Měření probíhalo v radiálním směru kolmo na vlákna.



**Obrázek 30: Přístroj Ultrasonic Timer**

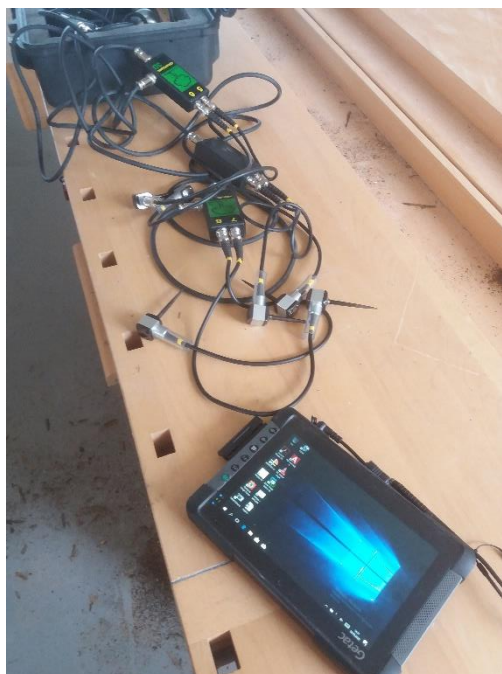
Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)

#### 4.1.1.2. Arborsonic 3D

Zařízení Arborsonic 3D je určeno především na měření stromů. Přístroj pracuje na principu měření doby přechodu napěťově-deformační vlny přes kmen stromu nebo přes zkoumaný dřevěný prvek. Součástí přístroje jsou speciální zarážecí sondy, které zabezpečí kontakt se dřevem a přenos signálů. Je nevyhnutelné používat při práci kladívko, díky kterému se zaráží sondy do dřeva a budí se jím i napěťová vlna procházející materiálem (Ross a kol., 2004).

V praxi je možné tento přístroj využít také pro nedestruktivní měření prvků v historických krovech. Nejčastěji se měří rychlost vlny v podélném směru dřeva (Divos a kol., 2011).

Princip diagnostiky tohoto přístroje je stejný jako u předchozího měření s tím rozdílem, že bylo použito celkem 10 sond, které byly zaklepány do měřených vzorků, tudíž je tato metoda považována za semidestruktivní. Poté co byly jednotlivé sondy zaklepány do materiálu, se pomocí kladívka provedly na každou sondu celkem tři poklepy. Po každém poklepu se dostal zvukový signál do připojeného tabletu. Arborsonic poté vytvořil tabulky s naměřenými časy mezi jednotlivými sondami a také 2D a 3D modely jednotlivých vrstev.

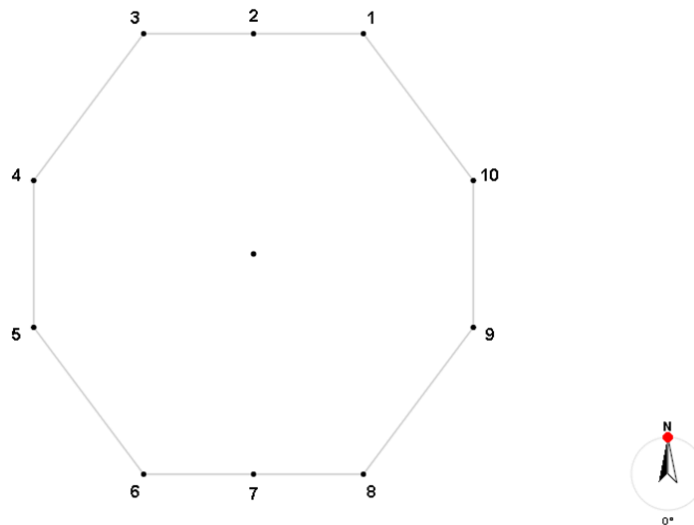


Obrázek 31: Přístroj Arborsonic 3D

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



Na obrázcích níže je znázorněno umístění jednotlivých sond. Ty byly umístěny ve stejných bodech jako tomu bylo u předchozího měření přístrojem Ultrasonic Timer.



**Obrázek 32: Schéma umístění sond**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



**Obrázek 33: Umístění sond na vzorku**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)

#### 4.1.1.3. Arbotom Rinntech

Zvukový detektor dutin a trhlín pracuje na stejném principu jako přístroj Fakopp 3D. Přístroj Arbotom pracuje na bázi šíření zvukových vln ve dřevě. Umožňuje vnitřní pohled na stav stromů a kulatiny. Přístroj dokáže detekovat skryté dutiny, trhliny a hnilobu v kmeni stromu ([www.rinntech.de](http://www.rinntech.de)).

Tyto vady bývají odhaleny pomocí zvukových impulsů, které jsou způsobeny pomocí poklepu kladívkem na předem připravené sondy, které jsou připevněny k měřenému vzorku. Přístroj je určen na vyhodnocování stromů, kmenů a konstrukčního dřeva.

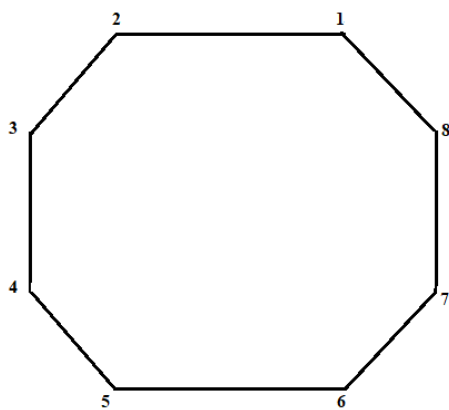
Tento typ přístroje se řadí k semidestruktivním metodám. Jeho pomocí byla provedena diagnostika pouze u první vrstvy každého ze tří vzorků, jelikož pracuje na podobném principu jako přístroj Arborsonic 3D. Měření probíhalo tak, že do předem vyměřených bodů byly nejprve zatlučeny speciální hřebíky, na které byly následně připevněny sondy. Na sondy se stejně jako u přístroje Arborsonic 3D poklepal kladívkem. Následně nastal přenos signálu do zapojeného tabletu a byly vyhodnoceny tabulky s rychlostmi zvuku mezi jednotlivými sondami. V praxi je tato metoda využívána výhradně na hodnocení poškození kmenů stojících stromů.



**Obrázek 34: Přístroj Arbotom**

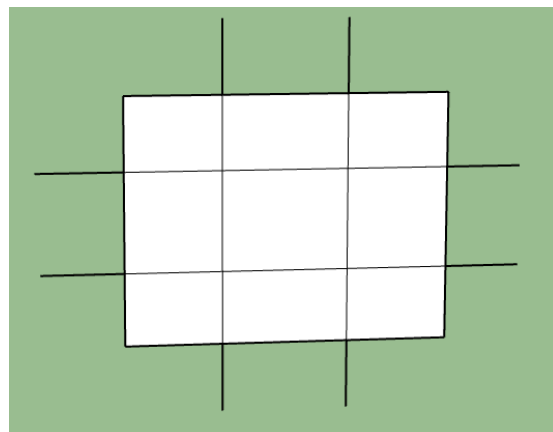
Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)

Na vzorky bylo umístěno vždy pouze osm sond, a to z toho důvodu, že větší velikosti měřících sond by se po třech vedle sebe nevešly. Na horní straně měřeného vzorku byly tedy sondy umístěny vždy po 3 centimetrech od hrany a na bočních stranách vždy po 4 centimetrech od hrany měřeného vzorku.



**Obrázek 35: Schéma umístění sond**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



**Obrázek 36: Schéma měřených bodů**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



**Obrázek 37: Ukázka umístění hřebíků**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



**Obrázek 38: Umístění sond na vzorku**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)

#### 4.1.2.Mechanicko – odporové metody

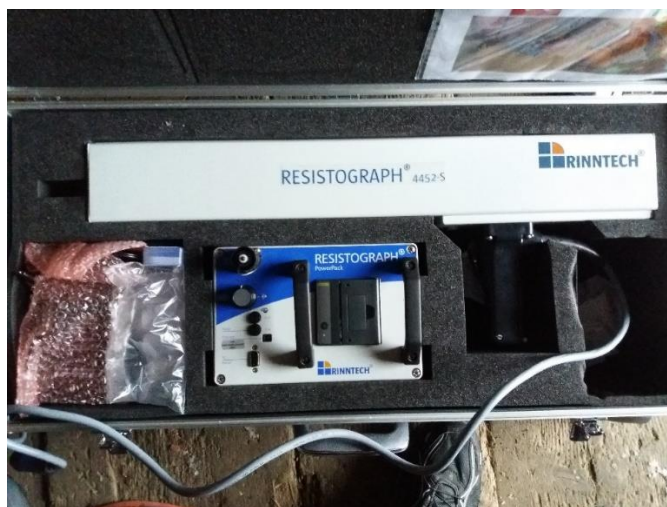
Mechanicko – odporové metody jsou založeny na vzájemných vazbách mezi odporem dřeva vůči vniknutí pracovních částí těchto přístrojů a hustotou nebo tvrdostí dřeva. Tvrdost se mění v závislosti na druhu dřeviny, podílu jarního a letního dřeva, ale zejména na stupni poškození dřeva (Piazza a Riggio, 2006).

##### 4.1.2.1.Resistograph

Odporový přístroj Resistograph byl vytvořený za účelem vyhledávání vnitřních defektů dřeva. Vhodný je především na měření prvků krovu, stavebního řeziva a sloupů. Průměr vrtáku je 1,5 mm, vrtná korunka má průměr 3 mm a jeho celková délka je 400 mm. Zařízení měří odpor dřeva vůči proniknutí vrtáku každých 0,04 mm (Ansorge a Geburtig, 2008).

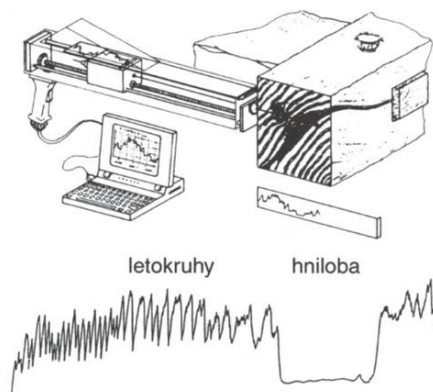
Přístroj je propojený s přenosným počítačem, do kterého se ukládají údaje z měření. Metoda měření je založená na tom, že materiál klade vrtáku určitý odpor, který se aktuálně měří a zaznamenává. Jedná se o odpor mechanický, vyplývající z charakteristik dřeva jako jsou tvrdost, druh dřeva apod. Měřený profil se graficky zaznamenává, a to buď elektronicky do počítače, nebo přímo na papír v měřítku 1:1 (Hrivnák a kol., 2013).

Resistograph pracuje na principu měření odporu dřeva při vrtání mikro vrtákem. Měření probíhalo tak, že byl přístroj připojen k baterii, která obsahovala zároveň i měřič odporu. Při vrtání se také tvořil graf odporu v celé délce měření. Tato metoda měření je považována za semidestruktivní.



Obrázek 39: Přístroj Resistograph

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)



**Obrázek 40: Schéma použití Resistographu**

Zdroj: (Reinprecht, 2008)

#### **4.1.3. Přístroj Somatom Scope**

Metoda měření pomocí tohoto přístroje se používá spíše ve zdravotnictví a zařazuje se do výpočetní tomografie. Lze ji ale využít i při zkoumání dřevěných materiálů.

Přístroj Somatom Scope pracuje na rozdíl od klasického rentgenu na principu CT s rotujícím RTG lampou, která je umístěna pod krytem. Obraz měřeného prvku je odvozen z výpočtu obrazu na základě detekovaného záření, které prošlo měřeným prvkem ([www.atominfo.cz](http://www.atominfo.cz)).

Tato metoda měření je nedestruktivní. Jedná se o radiologickou vyšetřovací metodu, která pomocí rentgenového záření umožňuje nedestruktivně zobrazit vnitřní stav měřeného vzorku. Pomocí této metody byl měřen první vzorek. Měření přístrojem Somatom Scope bylo provedeno nad rámec plánu této diplomové práce.



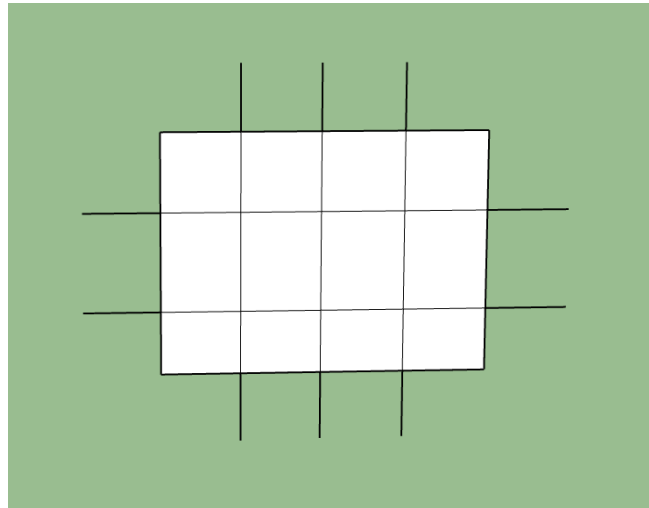
**Obrázek 41: Přístroj Somatom Scope**

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)

## 5. Výsledky

### 5.1. Ultrasonic Timer

U prvního měřeného vzorku byla smyslovou metodou detekována hnědá hniloba, a to zejména u prvních dvou měřených vrstev. Dále také byla zřetelná dřevokazná houba *Koniofora sklepní* (*Coniophora puteana*). V dalších vrstvách už je podle naměřených hodnot stupeň poškození hnilobou menší. Hodnoty jsou udávány v metrech za sekundu.



Obrázek 42: Ukázka měřených bodů ve vrstvě

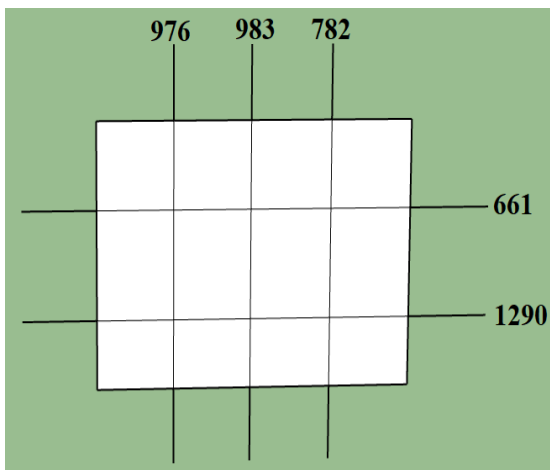
Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



Obrázek 43: Vzorek 1

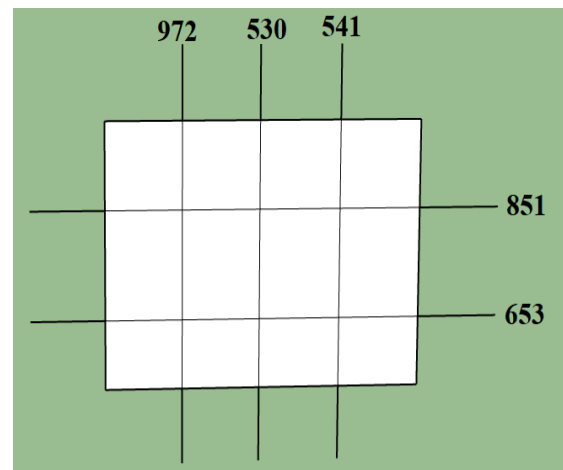
Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)

Na obrázcích níže jsou vyznačena jednotlivá místa, kam byly umístěny sondy. Čísla značí, jaká rychlost zvuku byla mezi jednotlivými sondami naměřena. Na protilehlých bodech nejsou čísla umístěna z toho důvodu, že hodnoty naměřené na těchto místech jsou totožné. Na výsledcích u přístroje Arborsonic 3D bude možné vidět také 2D a 3D modely jednotlivých vrstev. Na závěr bude také srovnána rychlost šíření zvuku mezi jednotlivými akustickými přístrojovými metodami. Na vrchní straně vzorku byly sondy umístěny vždy ve vzdálenost 3 cm od sebe. Na bočních stranách bylo umístění po 4 cm.



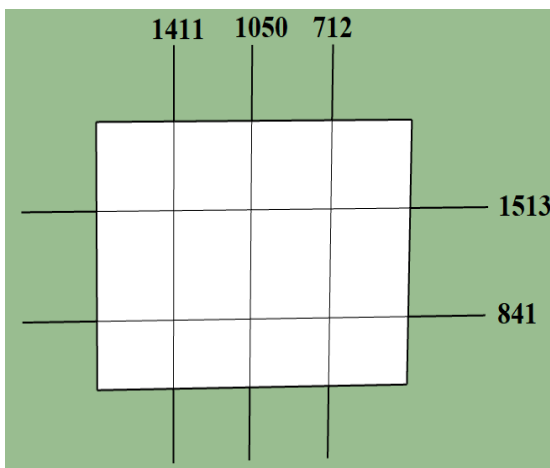
**Obrázek 44: Vzorek 1, vrstva 1 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



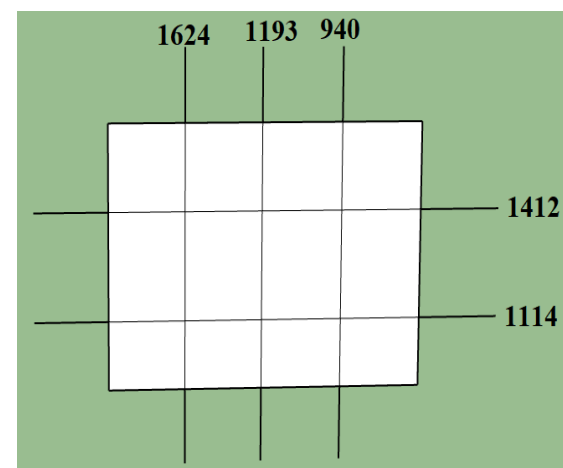
**Obrázek 45: Vzorek 1, vrstva 2 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



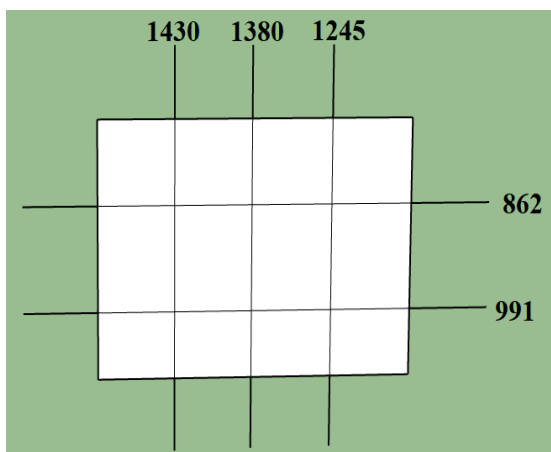
**Obrázek 46: Vzorek 1, vrstva 3 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



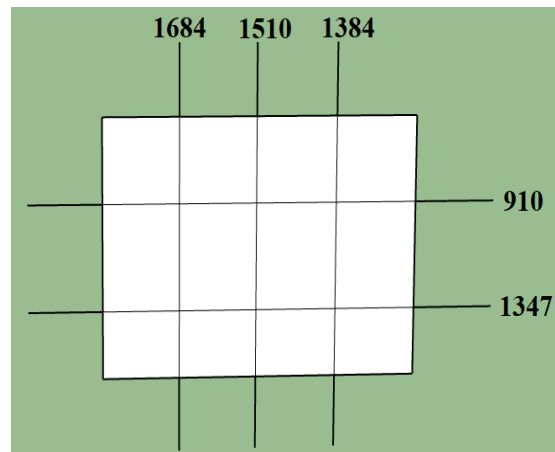
**Obrázek 47: Vzorek 1, vrstva 4 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 48: Vzorek 1, vrstva 5 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 49: Vzorek 1, vrstva 6 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)

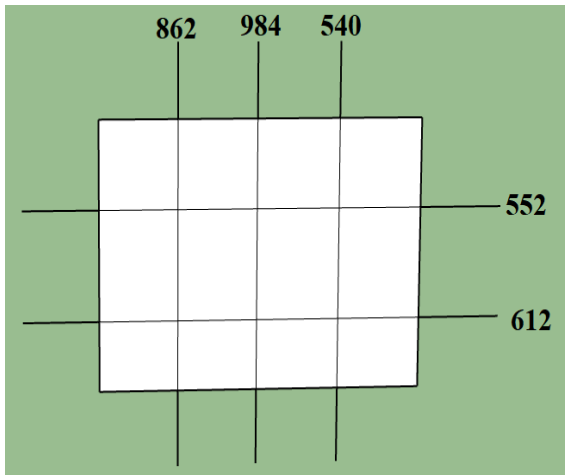
U druhého vzorku byla ve velké míře detekována hnědá hniloba, což také ovlivnilo rychlost šíření zvuku ve všech šesti vrstvách.



**Obrázek 50: Vzorek 2**

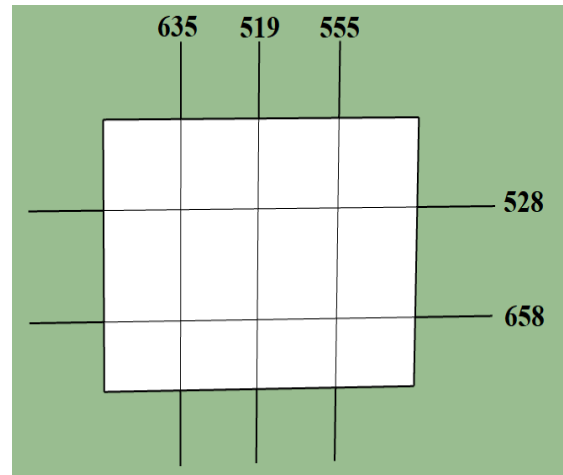
Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)





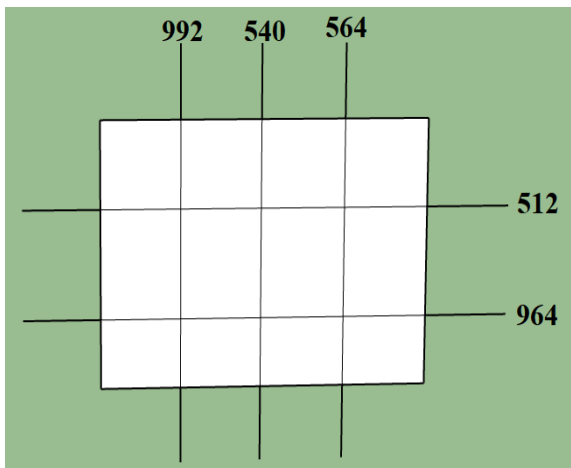
**Obrázek 51: Vzorek 2, vrstva 1 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



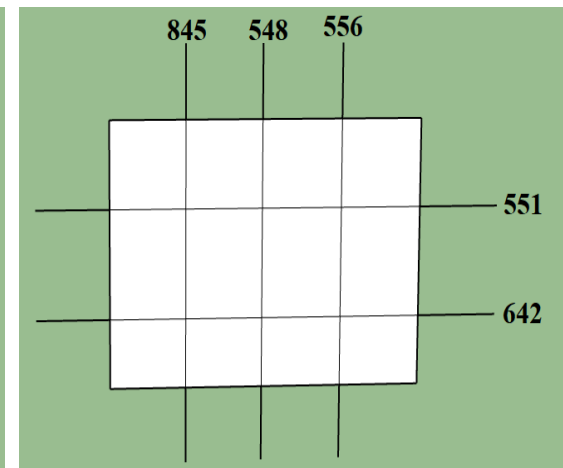
**Obrázek 52: Vzorek 2, vrstva 2 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



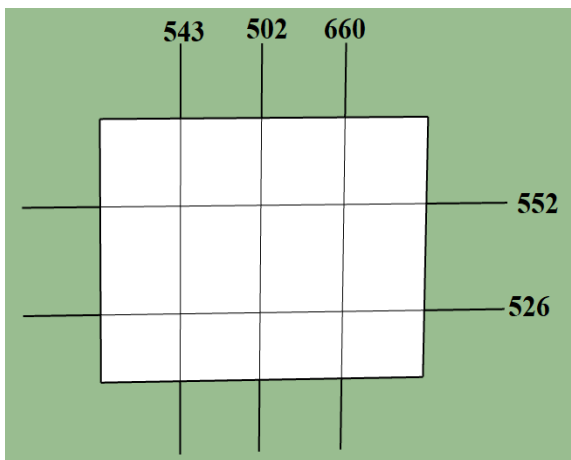
**Obrázek 53: Vzorek 2, vrstva 3 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



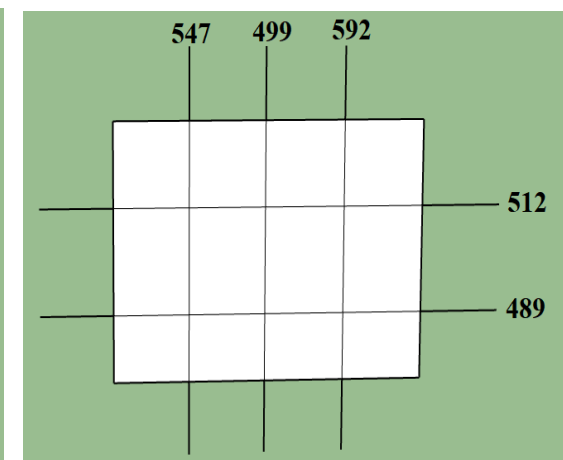
**Obrázek 54: Vzorek 2, vrstva 4 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 55: Vzorek 2, vrstva 5 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 56: Vzorek 2, vrstva 6 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

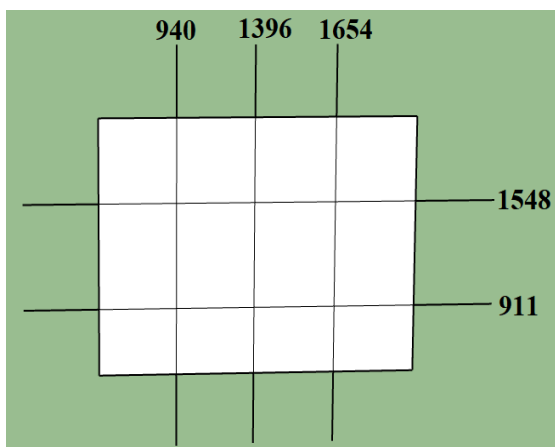
Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)

Třetí vzorek se po zhodnocení smyslovou metodou jevil jako nejméně poškozený, čemuž odpovídají i naměřené hodnoty. Pouze u první vrstvy bylo viditelné mírné poškození hnědou hnilobou a napadení dřevokaznou houbou Konioforou sklepní (*Coniophora puteana*). Na tomto vzorku bylo rovněž patrné povrchové napadení červotočem umrlčím (*Anobium pertinax*).



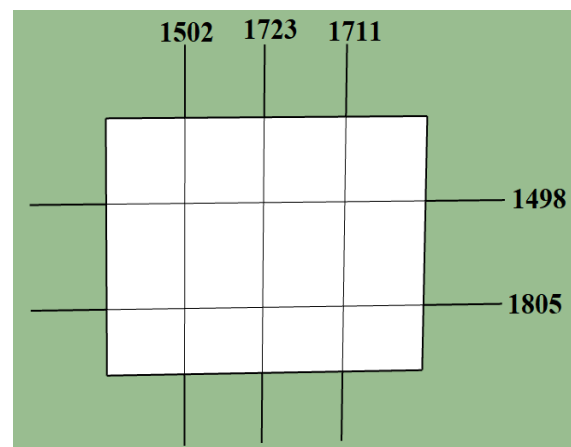
**Obrázek 57: Vzorek 3**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



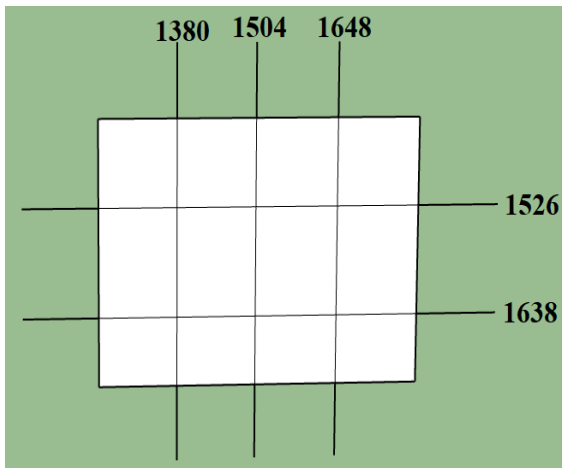
**Obrázek 58: Vzorek 3, vrstva 1 (m.s<sup>-1</sup>)**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



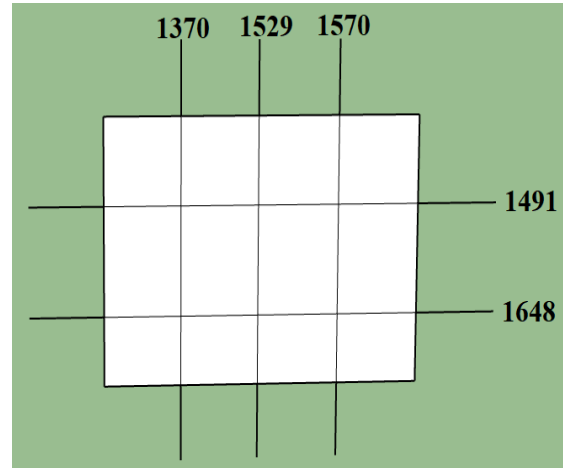
**Obrázek 59: Vzorek 3, vrstva 2 (m.s<sup>-1</sup>)**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



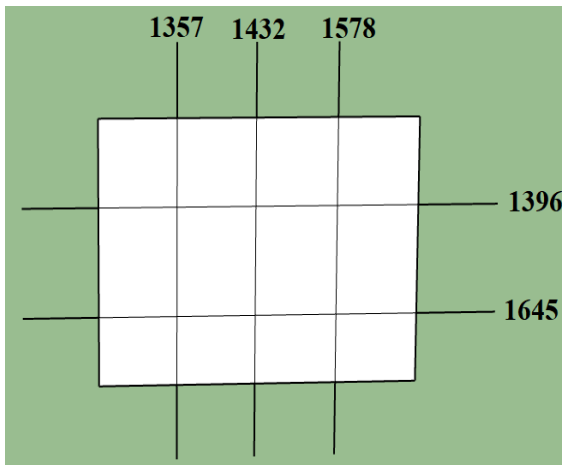
**Obrázek 60: Vzorek 3, vrstva 3 ( $m.s^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



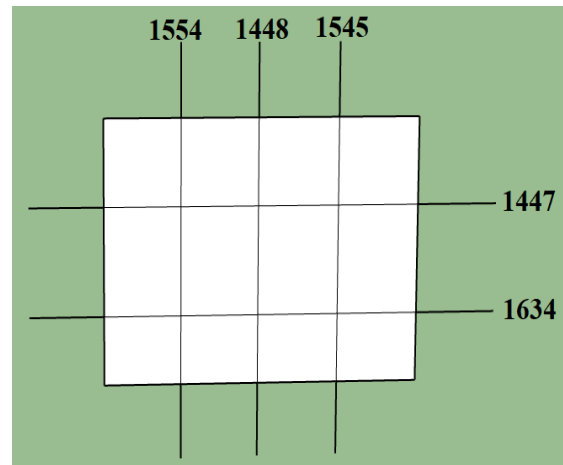
**Obrázek 61: Vzorek 3, vrstva 4 ( $m.s^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 62: Vzorek 3, vrstva 5 ( $m.s^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)

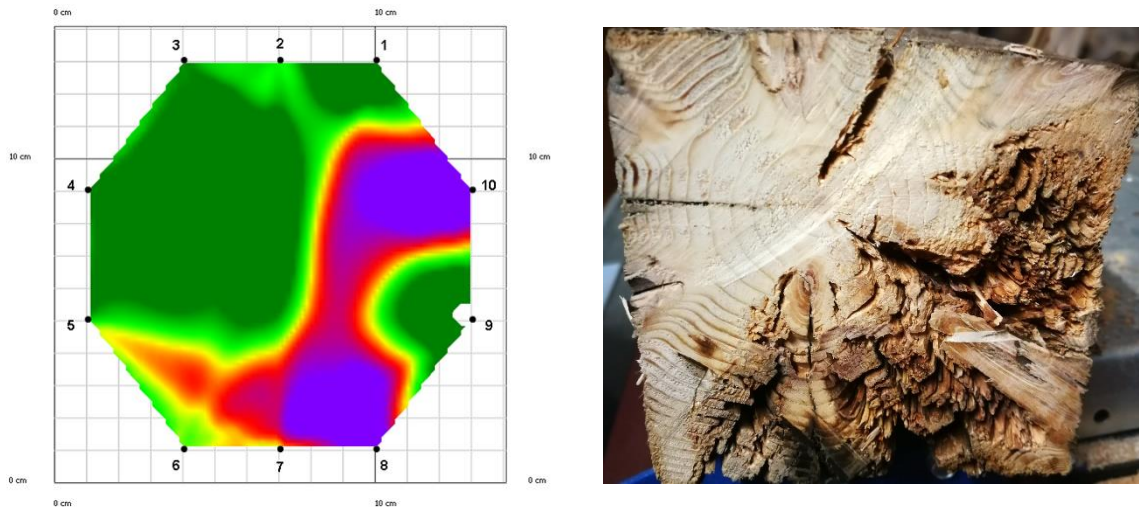


**Obrázek 63: Vzorek 3, vrstva 6 ( $m.s^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)

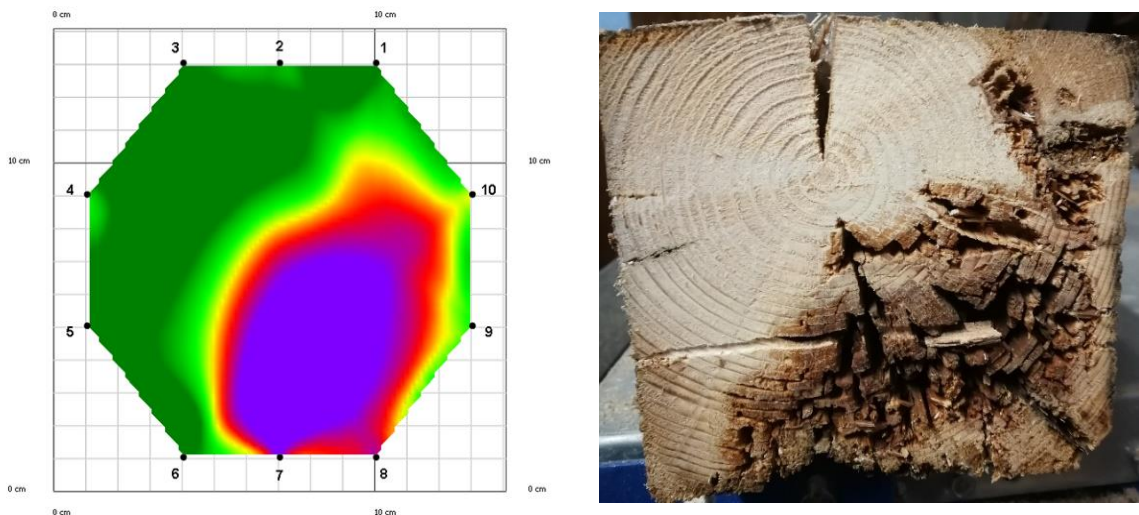
## 5.2. Arborsonic 3D

Na obrázcích níže je zobrazeno porovnání 2D modelu jednotlivých vrstev a fotografií konkrétních vrstev. Po naměření modelu byly vzorky nařezány na jednotlivé vrstvy, což lze již považovat za destruktivní metodu. Modely byly vytvořeny přístrojem Arborsonic 3D. Na 2D modelech vlevo je barevně vidět stupeň poškození dřeva. Od zelené barvy, která znamená zcela zdravé dřevo až po fialovou barvu, která značí dřevo silně napadené hnilobou.



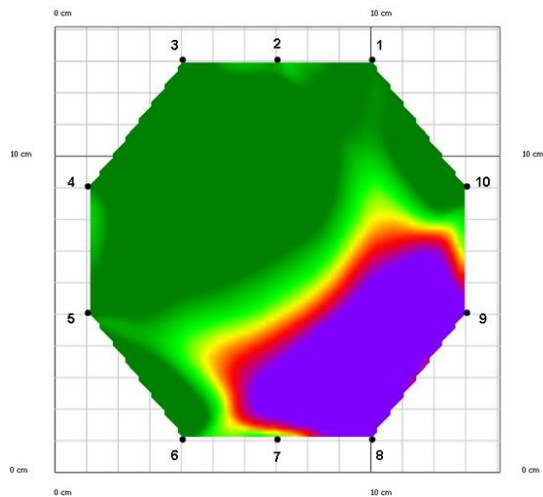
**Obrázek 64: Porovnání vzorek 1, vrstva 1**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



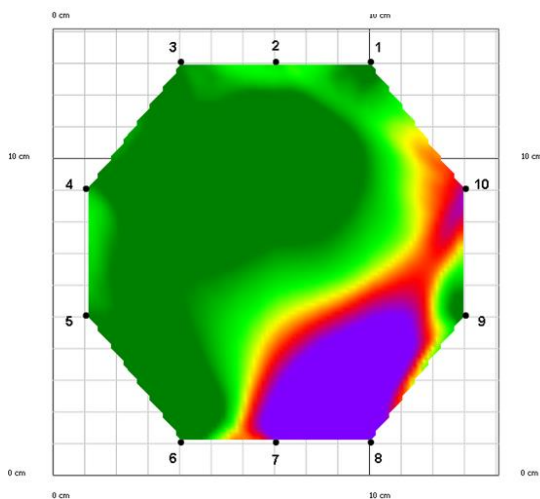
**Obrázek 65: Porovnání vzorek 1, vrstva 2**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



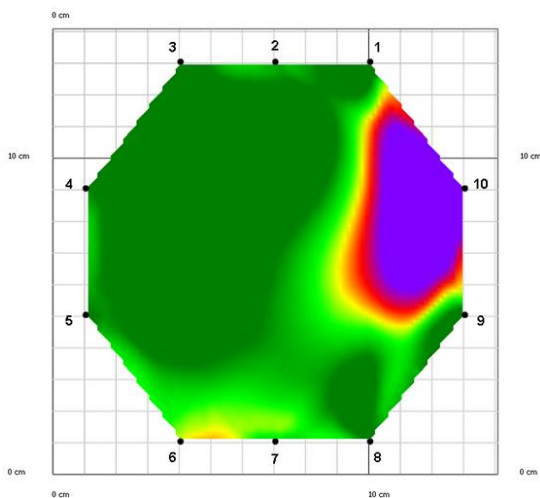
**Obrázek 66: Porovnání vzorek 1, vrstva 3**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



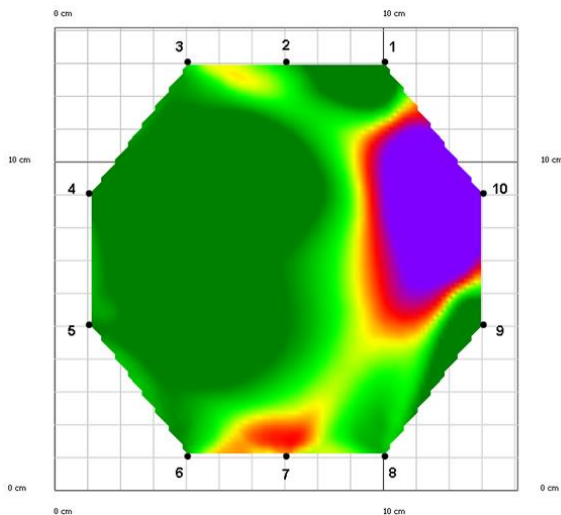
**Obrázek 67: Porovnání vzorek 1, vrstva 4**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



**Obrázek 68: Porovnání vzorek 1, vrstva 5**

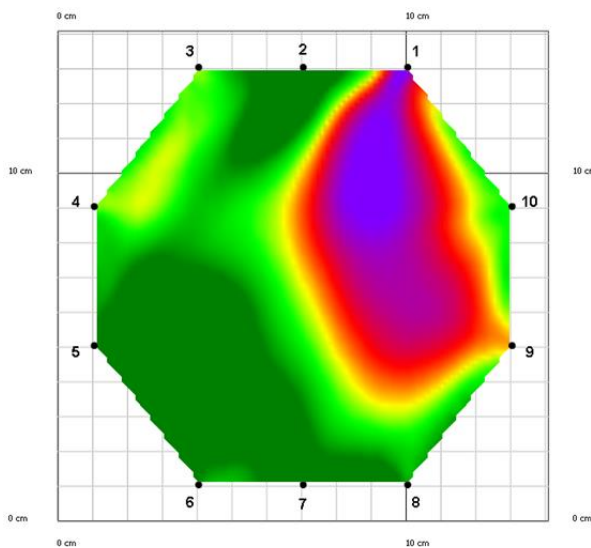
Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



**Obrázek 69: Porovnání vzorek 1, vrstva 6**

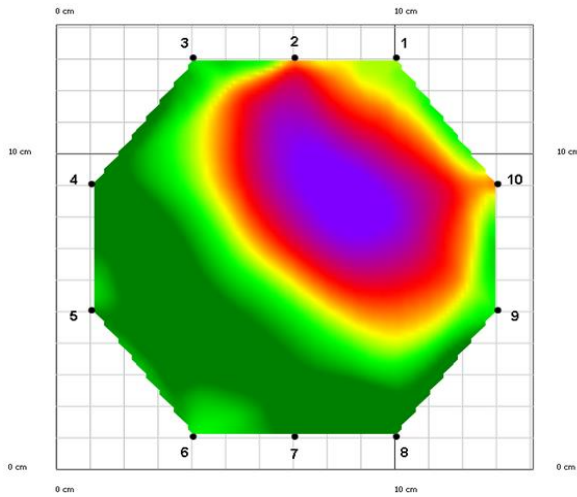
Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)

Díky těmto 2D modelům je možné nahlédnout přímo dovnitř vzorku bez potřeby jej nějakým způsobem narušovat. V tomto případě byly vzorky rozřezány, aby bylo možné lépe zhodnotit přesnost přístroje Arborsonic. Na porovnaných obrázcích z prvního vzorku je evidentní, že přístroj velmi přesně zobrazil místa poškození hnilobou. Na dalších obrázcích budou dále porovnány následující dva vzorky.



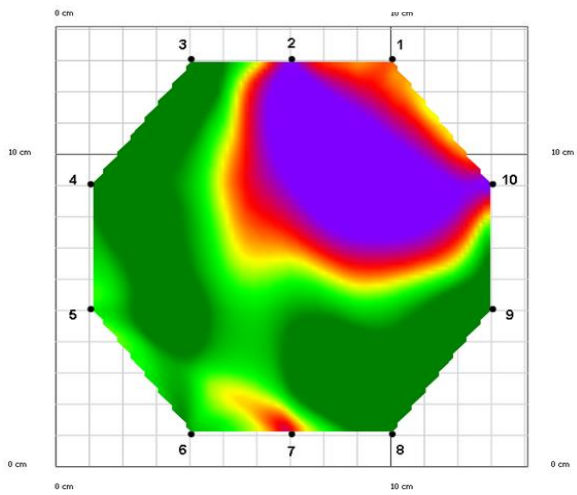
**Obrázek 70: Porovnání vzorek 2, vrstva 1**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



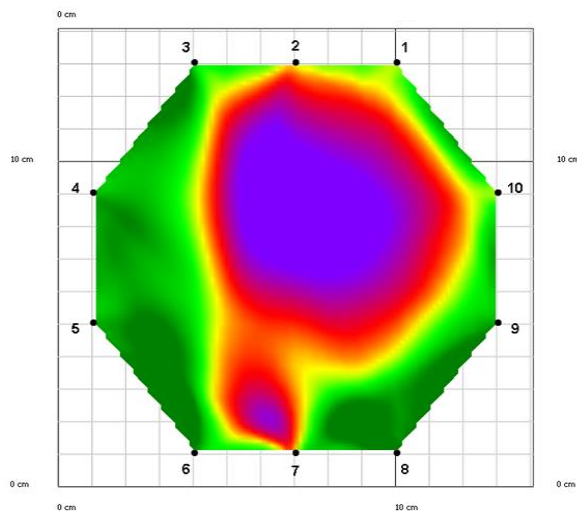
**Obrázek 71: Porovnání vzorek 2, vrstva 2**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



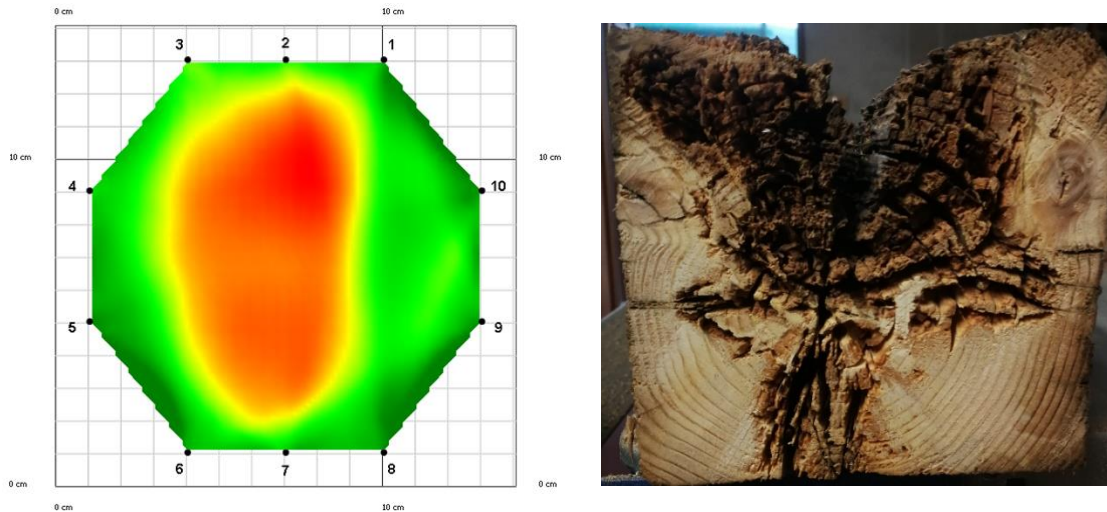
**Obrázek 72: Porovnání vzorek 2, vrstva 3**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



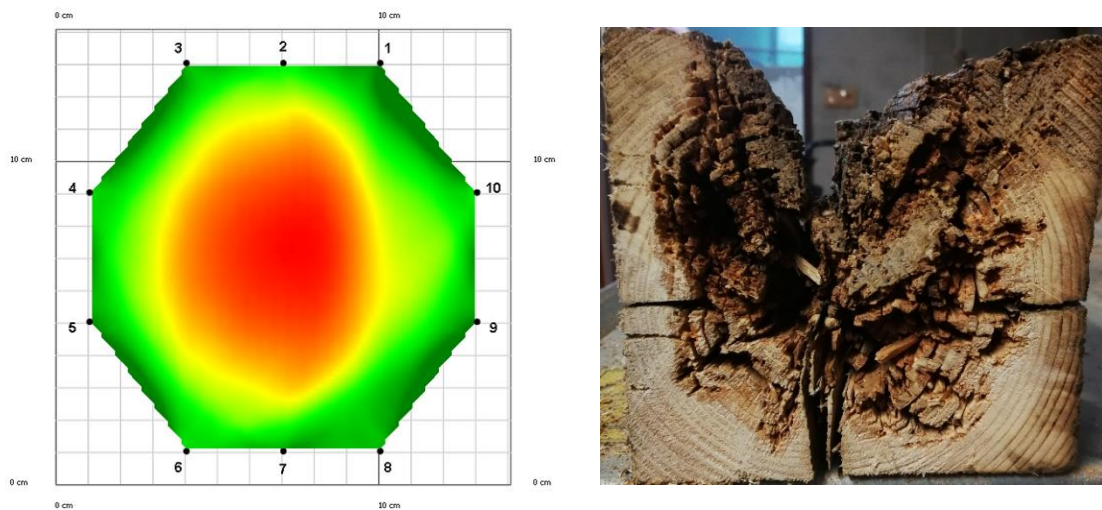
**Obrázek 73: Porovnání vzorek 2, vrstva 4**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



**Obrázek 74: Porovnání vzorek 2, vrstva 5**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)

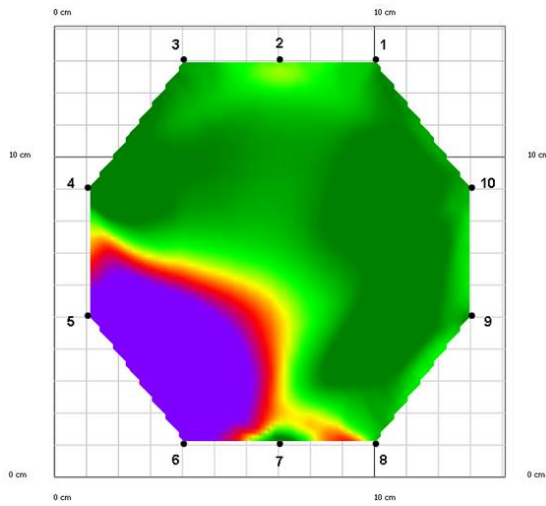


**Obrázek 75: Porovnání vzorek 2, vrstva 6**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)

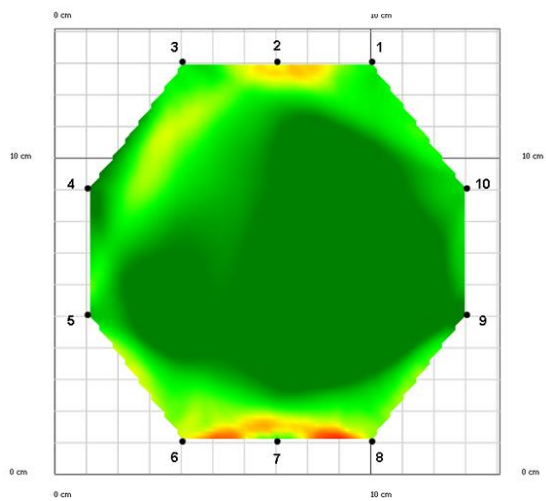
Na druhém vzorku lze až do čtvrté vrstvy vidět velice přesné měření hniloby. U páté a šesté vrstvy poškození na fotografii neodpovídá zcela přesně, hniloba je zaznamenána pouze ve středu vzorku. Z fotografií je ale znatelná hniloba také na vrchní straně hranolu. To bylo způsobeno tím, že sonda, která byla umístěna uprostřed v největším ohnisku hniloby, musela být zatlučena hlouběji do středu měřeného prvku. To by mohl být důvod, proč jsou na 2D schématech páté a šesté vrstvy u horních stran patrné zelené barvy.





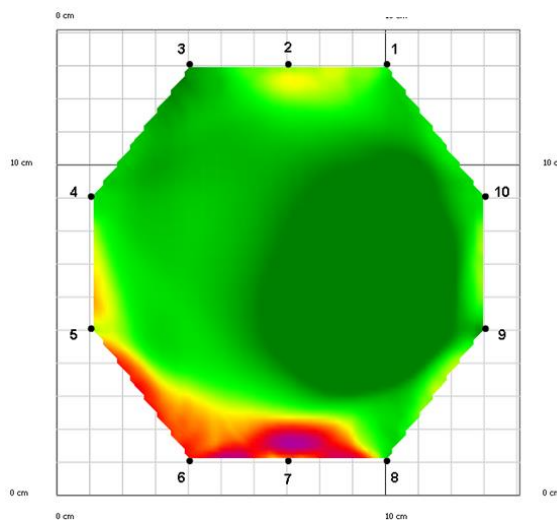
**Obrázek 76: Porovnání vzorek 3, vrstva 1**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



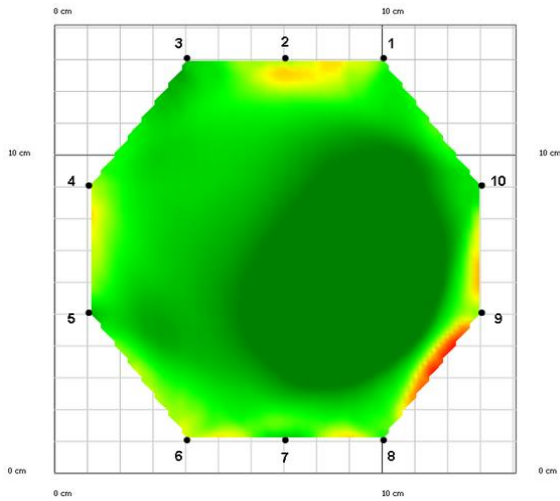
**Obrázek 77: Porovnání vzorek 3, vrstva 2**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



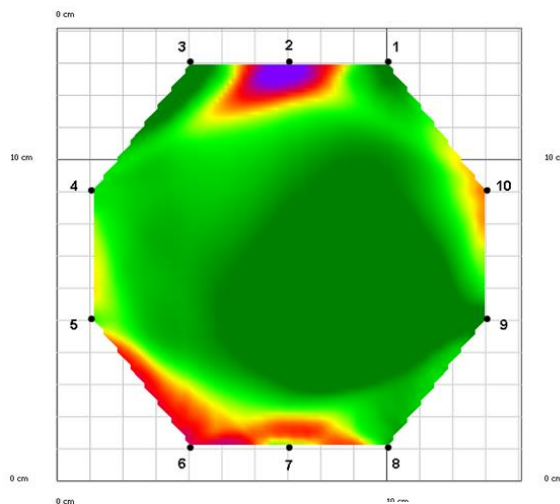
**Obrázek 78: Porovnání vzorek 3, vrstva 3**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



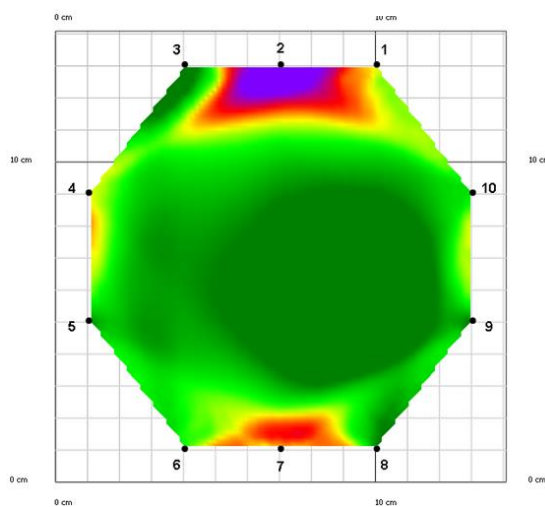
**Obrázek 79: Porovnání vzorek 3, vrstva 4**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



**Obrázek 80: Porovnání vzorek 3, vrstva 5**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)

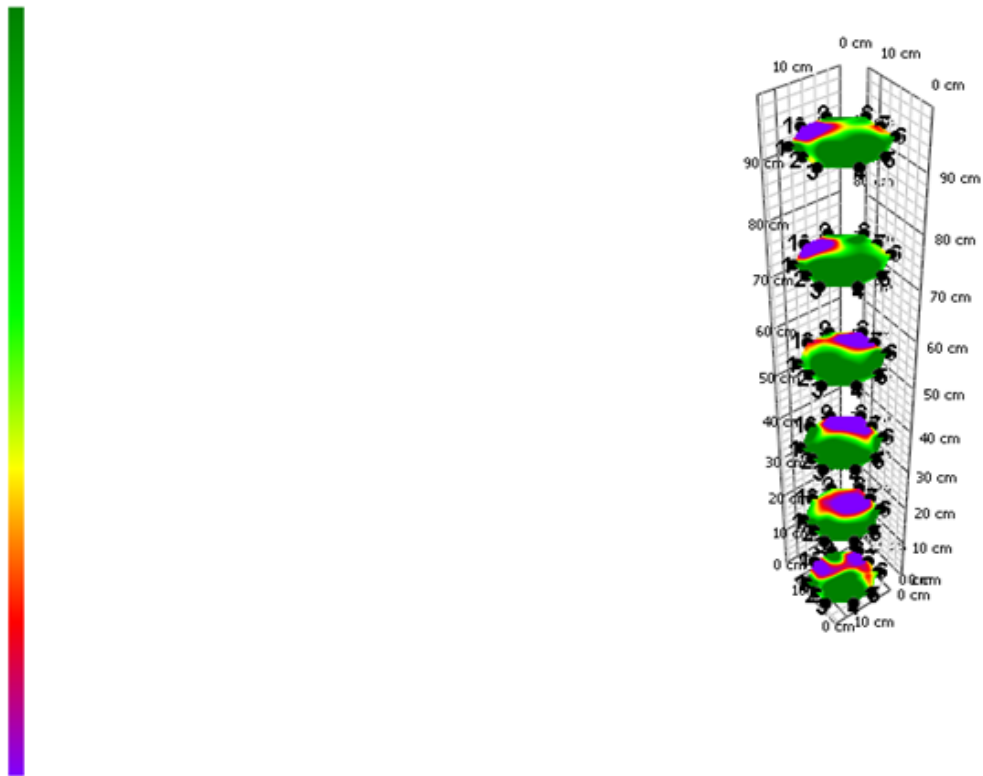


**Obrázek 81: Porovnání vzorek 3, vrstva 6**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)

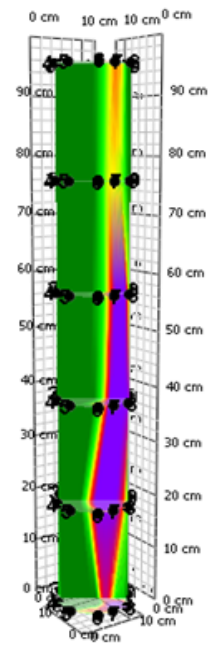
U třetího vzorku měření znovu odpovídá fotografiím. U první vrstvy je zachycena začínající hnědá hniloba, kterou díky její vyšší vlhkosti je zvuk nucen obcházet, a z toho důvodu je šíření pomalejší. Na dalších vrstvách způsobují červenou a fialovou barvu spíše výsušné trhliny. Tato absence překážky mezi sondami může ovlivňovat rychlost šíření zvuku.

Na následujících schématech jsou vyobrazeny 3D modely všech vrstev u jednotlivých vzorků.



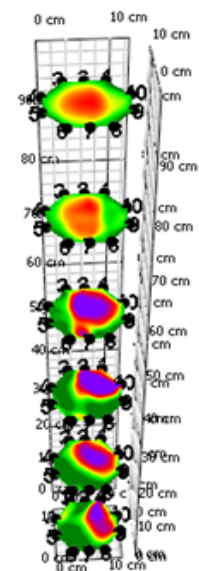
**Obrázek 82: Schéma vrstev, vzorek 1**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



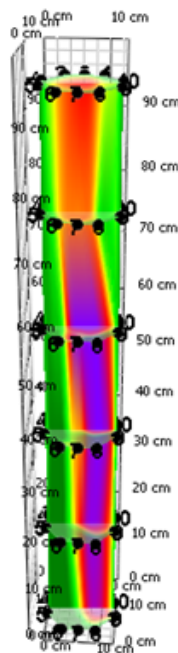
**Obrázek 83: 3D model, vzorek 1**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



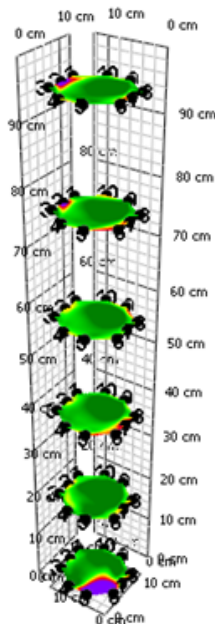
**Obrázek 84: Schéma vrstev, vzorek 2**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



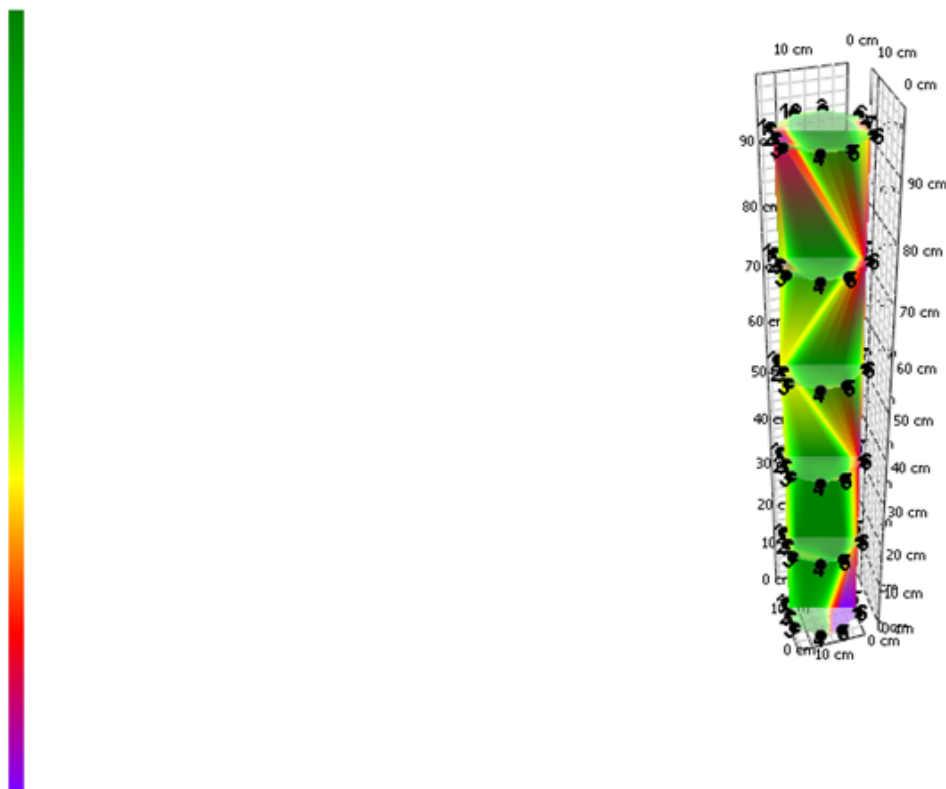
**Obrázek 85: 3D model, vzorek 2**

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



**Obrázek 86: Schéma vrstev, vzorek 3**

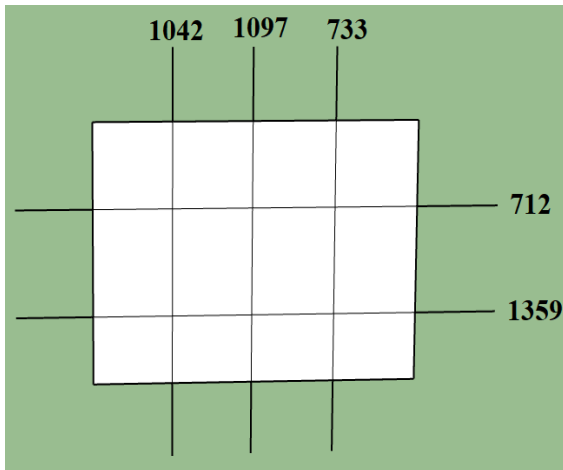
Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



**Obrázek 87: 3D model, vzorek 3**

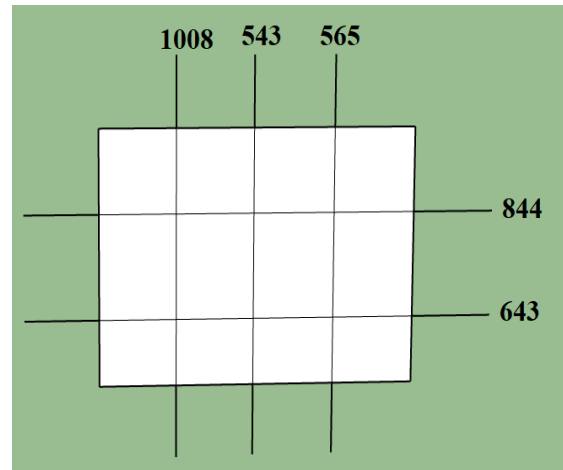
Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)

Na závěr měření přístrojem Arborsonic 3D jsou v následujících schématech zobrazené rychlosti zvuku mezi jednotlivými sondami. Rychlosti jsou uvedeny v metrech za sekundu. Tabulky s rychlostmi v metrech za sekundu, a také další modely budou uvedeny v přílohách. Ze schémat je patrné, že naměřené hodnoty jsou podobné hodnotám naměřeným přístrojem Ultrasonic Timer. U druhého vzorku, který byl hnilobou napadený nejvíce, se hodnoty pohybují u největší degradace mezi  $500\text{--}650\text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})$ . Naopak u třetího vzorku, který je napaden nejméně, se hodnoty pohybují okolo  $1000\text{--}1700\text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})$ .



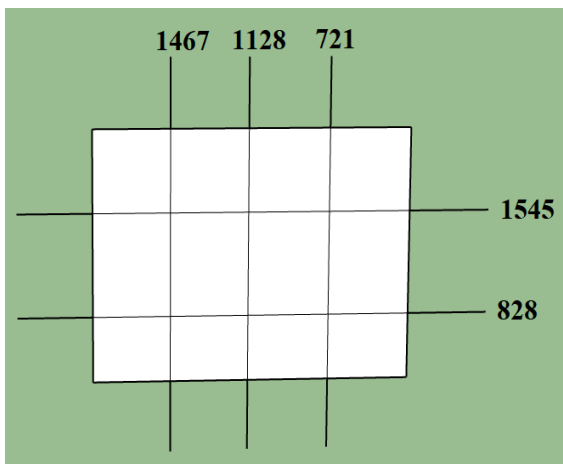
Obrázek 88: Vzorek 1, vrstva 1 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



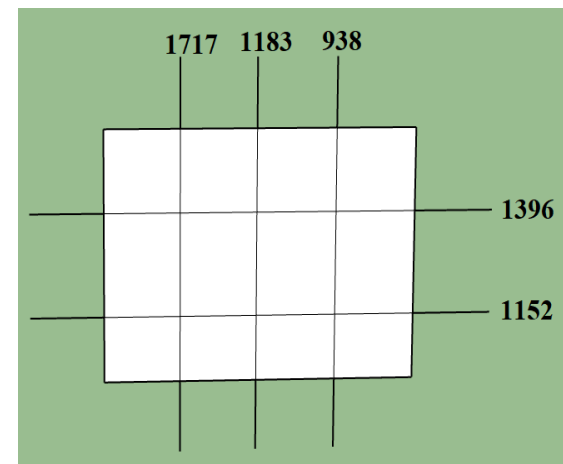
Obrázek 89: Vzorek 1, vrstva 2 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



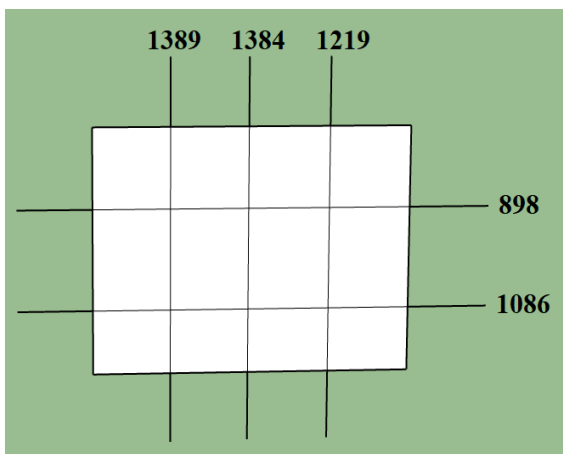
Obrázek 90: Vzorek 1, vrstva 3 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



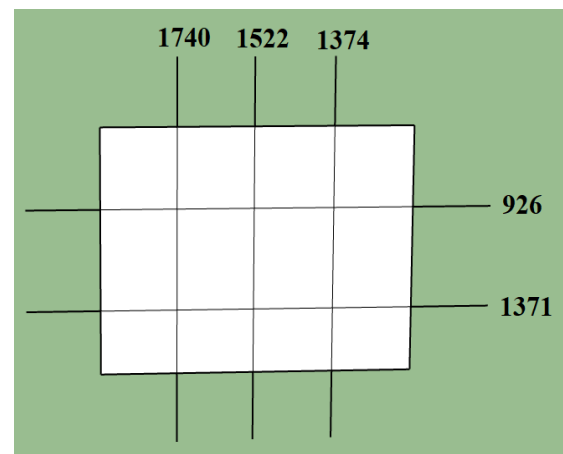
Obrázek 91: Vzorek 1, vrstva 4 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



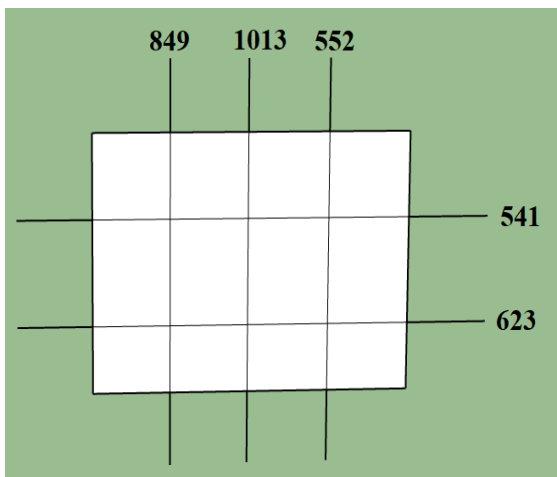
Obrázek 92: Vzorek 1, vrstva 5 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



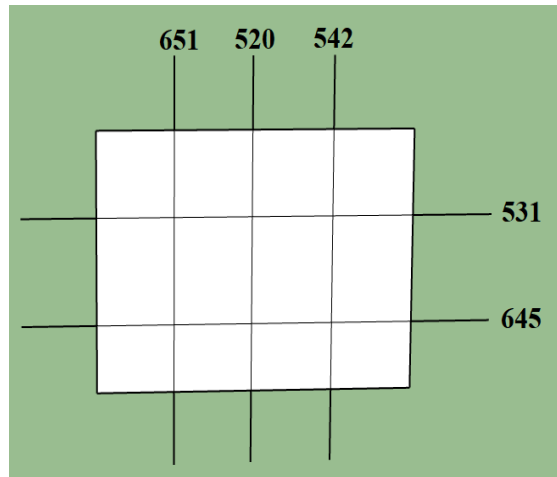
Obrázek 93: Vzorek 1, vrstva 6 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



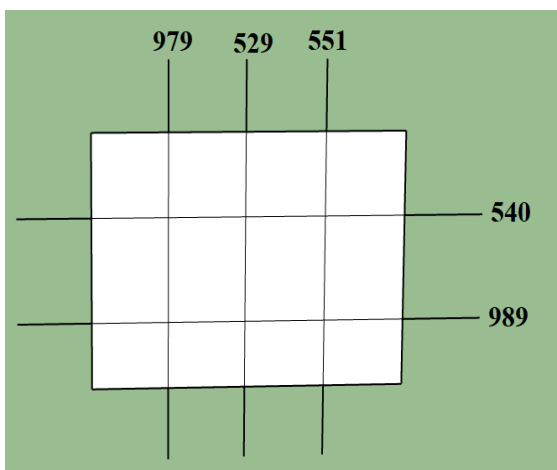
**Obrázek 94: Vzorek 2, vrstva 1 ( $\text{m.s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



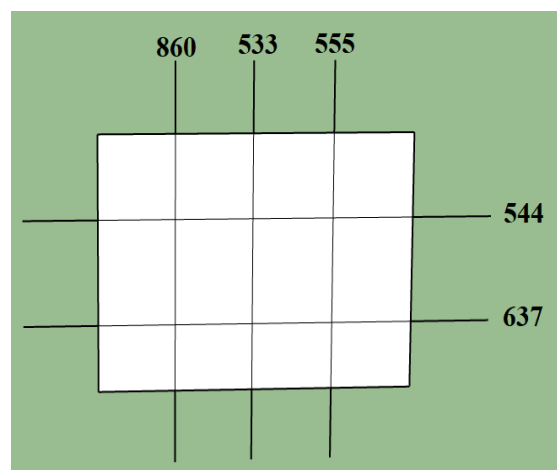
**Obrázek 95: Vzorek 2, vrstva 2 ( $\text{m.s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



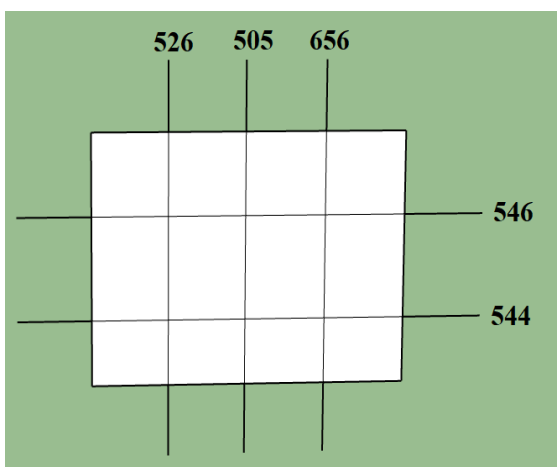
**Obrázek 96: Vzorek 2, vrstva 3 ( $\text{m.s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



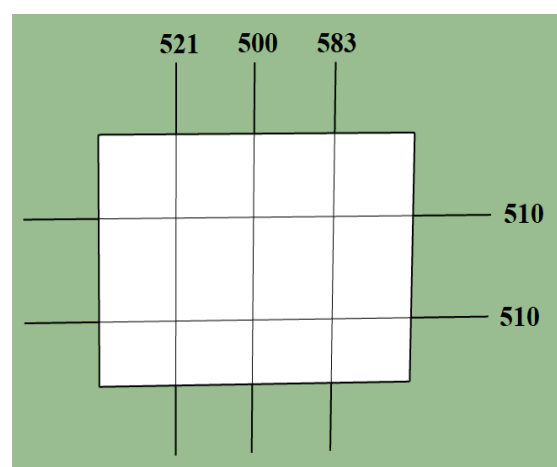
**Obrázek 97: Vzorek 2, vrstva 4 ( $\text{m.s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 98: Vzorek 2, vrstva 5 ( $\text{m.s}^{-1}$ )**

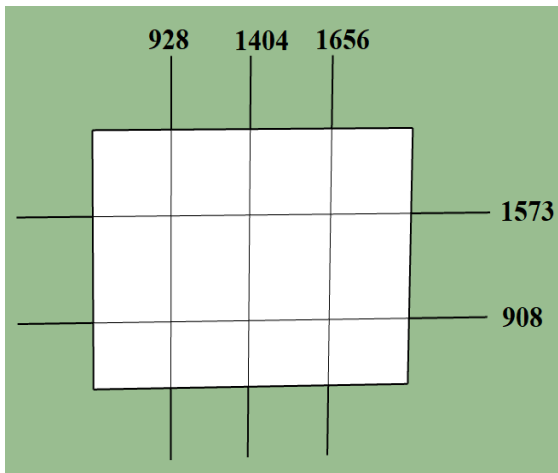
Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 99: Vzorek 2, vrstva 6 ( $\text{m.s}^{-1}$ )**

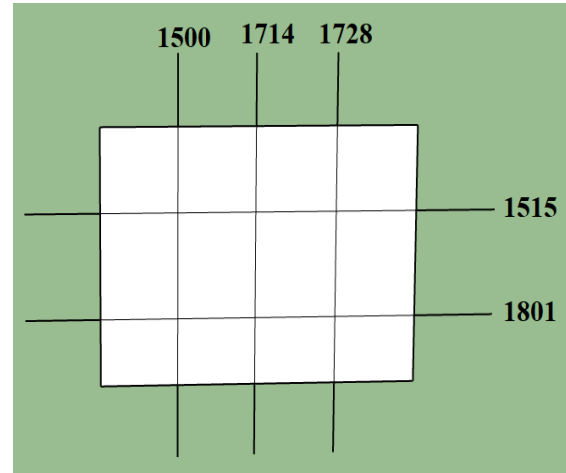
Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)





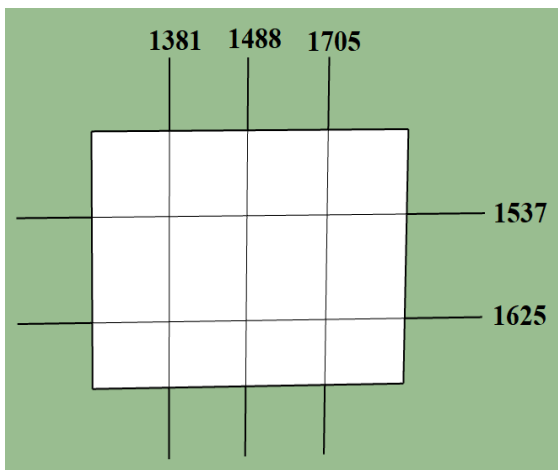
**Obrázek 100: Vzorek 3, vrstva 1 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



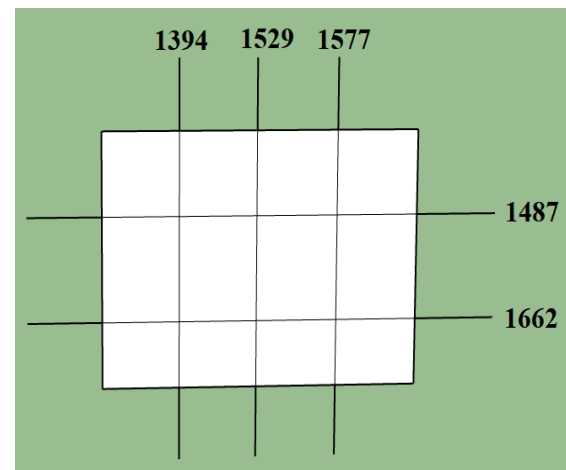
**Obrázek 101: Vzorek 3, vrstva 2 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



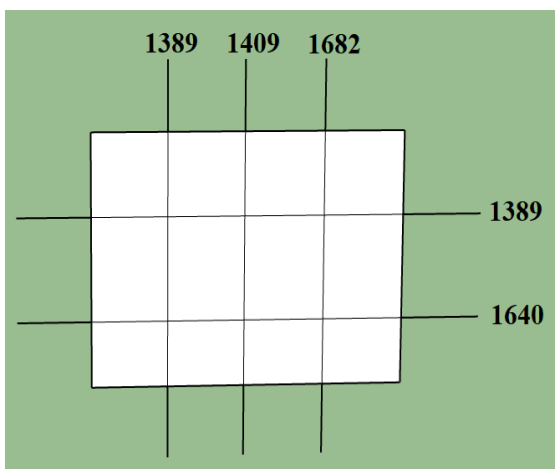
**Obrázek 102: Vzorek 3, vrstva 3 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



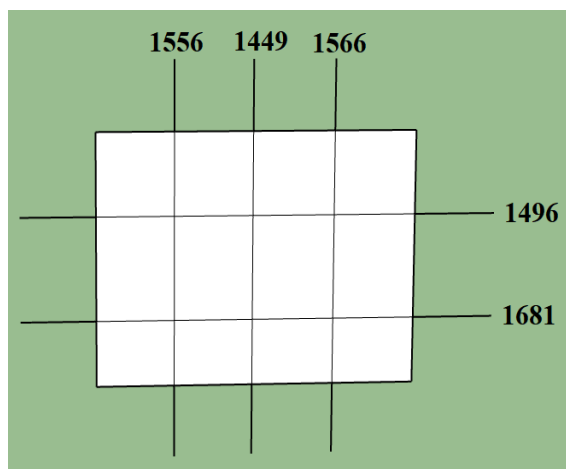
**Obrázek 103: Vzorek 3, vrstva 4 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)



**Obrázek 104: Vzorek 3, vrstva 5 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)

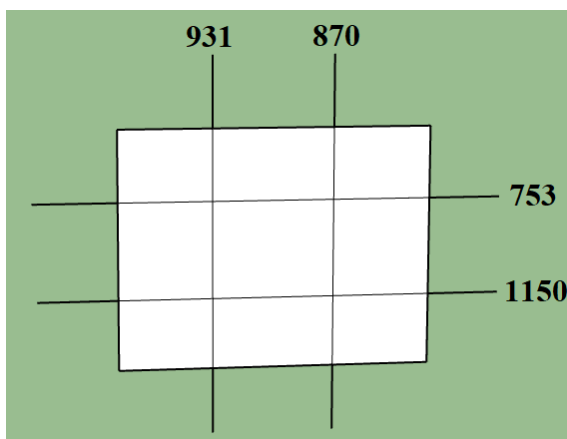


**Obrázek 105: Vzorek 3, vrstva 6 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )**

Zdroj: (autor, 15. 5. 2020)

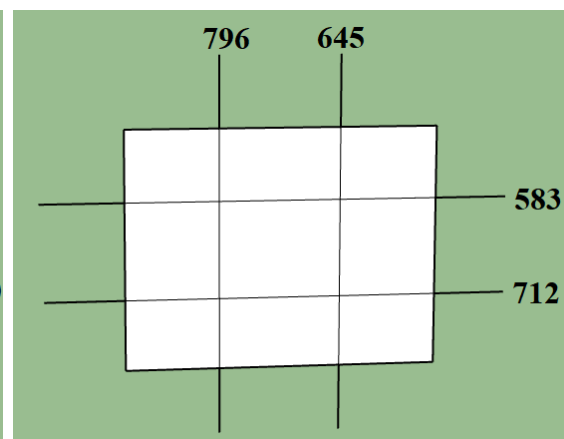
### 5.3. Arbotom Rinntech

Zde jsou uvedeny výsledky z přístroje Arbotom Rinntech. Tímto přístrojem byla měřena vždy první vrstva u každého vzorku.



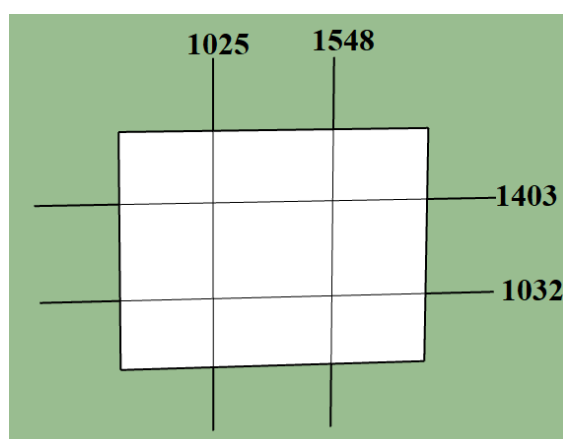
Obrázek 106: Vzorek 1, vrstva 1 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



Obrázek 107: Vzorek 2, vrstva 1 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)



Obrázek 108: Vzorek 3, vrstva 1 ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Zdroj: (autor, 16. 5. 2020)

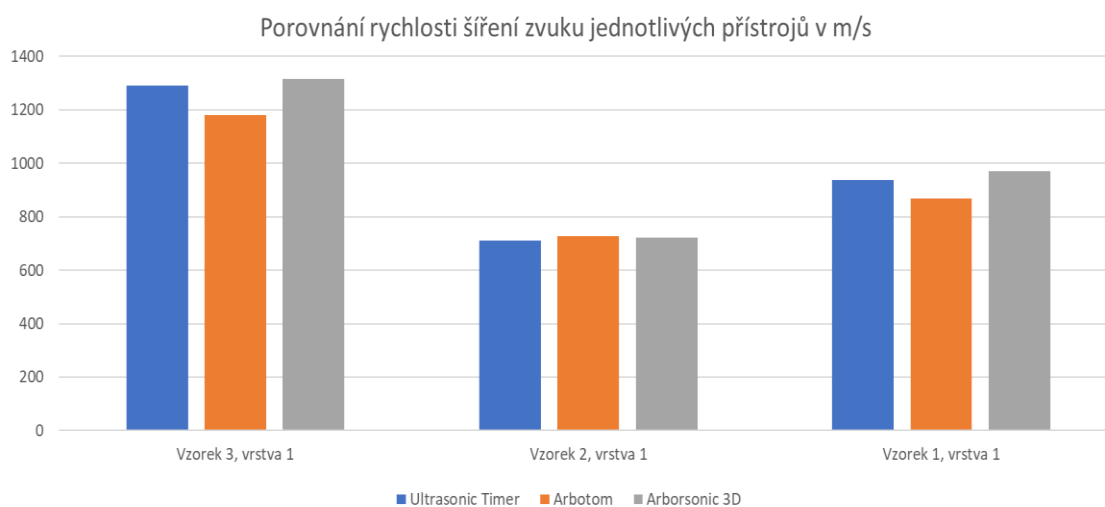
Rychlosti šíření zvuku, které byly naměřeny přístrojem Arbotom se nějak výrazně neliší od rychlostí měřených předchozími přístroji. V těchto schématech na obrázcích č. 106, č. 107 a č. 108 jsou hodnoty rovněž uváděny v metrech za sekundu. Tabulky, ve kterých jsou uvedeny hodnoty v metrech za sekundu, jsou uvedeny v přílohách.

#### 5.4. Porovnání akustických metod

Měření akustickými metodami ukázalo, že hodnoty jednotlivých přístrojů se od sebe příliš neliší. Při měření kolmo na vlákna hodnoty odpovídaly očekávaným výsledkům, a to jak u částí napadených hnilobou, tak u částí, které byly zcela zdravé. Díky tomuto měření byla vytvořena tabulka s průměrnými hodnotami ze všech tří přístrojů při různém stupni poškození. Dále byl vytvořen graf s průměrnými hodnotami jednotlivých strojů vždy v první vrstvě u každého vzorku.

**Tabulka 6: Průměrné hodnoty při různém poškození u smrku (autor)**

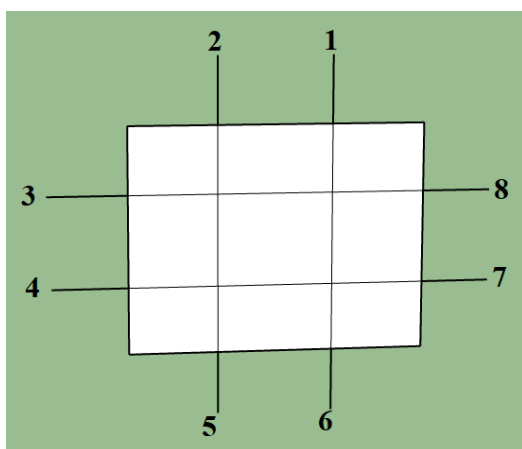
<b>Rychlost šíření zvuku ve smrku kolmo na vlákna (m/s)</b>	
Zdravé dřevo	nad 1200
Mírné poškození dřeva hnilobou	900 - 1200
Střední poškození dřeva hnilobou	700 - 900
Silné poškození dřeva hnilobou	500 - 700
Totální degradace dřeva	pod 500



**Graf 1: Průměrné šíření zvuku u jednotlivých přístrojů**

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)

Hodnoty z přístrojů Arborsonic 3D, Ultrasonic timer a Arbotom Rinntech byly také porovnány v níže přiložené tabulce č. 7. Porovnání proběhlo touto formou z důvodu, že pro každé místo byly původně naměřené hodnoty odpovídající stavu trámu. V tabulce jsou uvedeny hodnoty z vybraných míst měření mezi jednotlivými sondami, u kterých jsou zpracovány odchylky mezi jednotlivými přístroji. Porovnávány byly vždy hodnoty z první vrstvy každého vzorku. Jelikož při měření přístrojem Arbotom Rinntech bylo možné použít pouze 8 sond, byly porovnány hodnoty mezi jednotlivými přístroji pouze v místech, které byly posuzovány všemi akustickými metodami. Sondy, mezi kterými bylo posuzováno porovnání v tabulce č. 7, jsou uvedeny na obrázku č. 109.



**Obrázek 109: Vybrané sondy**

Zdroj: (autor, 1. 6. 2020)



**Obrázek 110: Vzorek 1, vrstva 1**

Zdroj: (autor, 1. 6. 2020)



**Obrázek 111: Vzorek 2, vrstva 1**

Zdroj: (autor, 1. 6. 2020)



**Obrázek 112: Vzorek 3, vrstva 1**

Zdroj: (autor, 1. 6. 2020)

**Tabulka 7: Odchylky mezi akustickými přístroji (autor)**

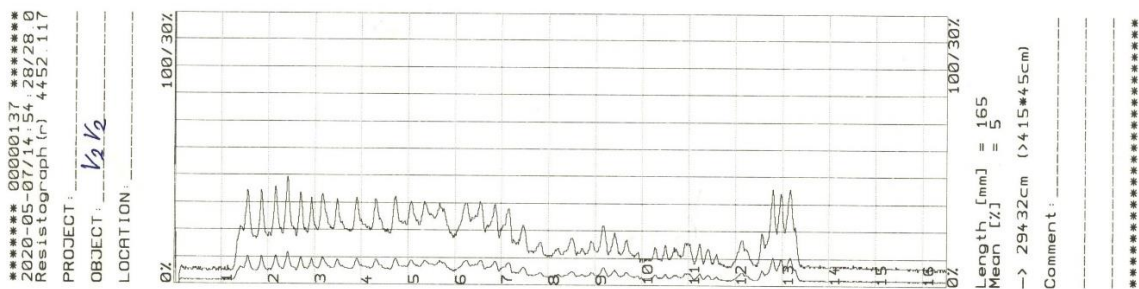
	Arborsonic 3D	Ultrasonic timer	Arbotom	Ultrasonic timer	Arbotom		
Sondy	Vzorek 1, vrstva 1			Odchylky		Prům. hodnota	Směr. Odchylka
1. - 6.	733	782	870	(+) 7%	(+) 19%	795	69
2. - 5.	1042	976	931	(-) 6%	(-) 11%	983	56
3. - 8.	712	661	753	(-) 7%	(+) 6%	709	46
4. - 7.	1359	1290	1150	(-) 5%	(-) 15%	1266	106
	Vzorek 2, vrstva 1						
1. - 6.	552	540	645	(-) 2%	(+) 17%	579	57
2. - 5.	849	862	796	(+) 2%	(-) 6%	836	35
3. - 8.	541	552	583	(+) 2%	(+) 8%	559	22
4. - 7.	623	612	712	(-) 2%	(+) 14%	649	55
	Vzorek 3, vrstva 1						
1. - 6.	1656	1654	1548	0%	(-) 7%	1619	62
2. - 5.	928	940	1025	(+) 1%	(+) 10%	964	53
3. - 8.	1573	1548	1403	(-) 2%	(-) 11%	1508	92
4. - 7.	908	911	1032	0%	(+) 14%	950	71

K porovnání odchylek na tabulce uvedené výše byly jako pevný bod zvoleny hodnoty z přístroje Arborsonic 3D. Lze usuzovat, že nejvyšší odchylky vykazoval přístroj Arbotom Rinntech. Díky destruktivní metodě, v rámci které byly vzorky nařezány v jednotlivých vrstvách, a také díky semidestruktivní metodě Resistograph, lze alespoň zhruba usoudit, který přístroj se nejvíce přiblížil realitě. Na obrázcích č. 110, č. 111 a č. 112 a na grafech z Resistographu lze vizuálně posoudit, že nejvíce se skutečnosti přiblížily hodnoty naměřené přístroji Arborsonic 3D a Ultrasonic timer. U těchto dvou přístrojů může být příčinou malé odchylky skutečnost, že jsou přístroje od stejného výrobce. Naměřené hodnoty z těchto dvou přístrojů odpovídají rozsahu poškození u jednotlivých vzorků. V tabulce jsou také zachyceny průměry a směrodatné odchylky. Procentuální odchylky byly zhotoveny tak, že hodnoty přístroje Arborsonic 3D byly odečteny od hodnot z přístrojů Ultrasonic timer a Arbotom Rinntech. Tím vznikl rozdíl mezi jednotlivými hodnotami, který byl poté vydělen pevnou hodnotou přístroje Arborsonic 3D. Vypočtená hodnota se následně převedla na procenta, čímž vznikla buď kladná nebo záporná odchylka.

## 5.5. Resistograph

Níže jsou znázorněné ukázky měření z některých vrstev u jednotlivých vzorků, které byly naměřeny semidestruktivním přístrojem Resistograph. Na obrázcích jsou patrné přechody mezi jarním a letním dřevem a také poklesy odporu způsobené hnilobami a často se vyskytujícími trhlinami.

Zde je v grafu č.2 ukázka měření druhé vrstvy u druhého vzorku. Je zde vidět jak se mění křivka odporu mezi jarním a letním dřevem ve zdravé části. V části poškozené hnilobou je patrný pokles odporu.



**Graf 2: Vzorek 2, vrstva 2, ukázka hnědé hniloby**

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)

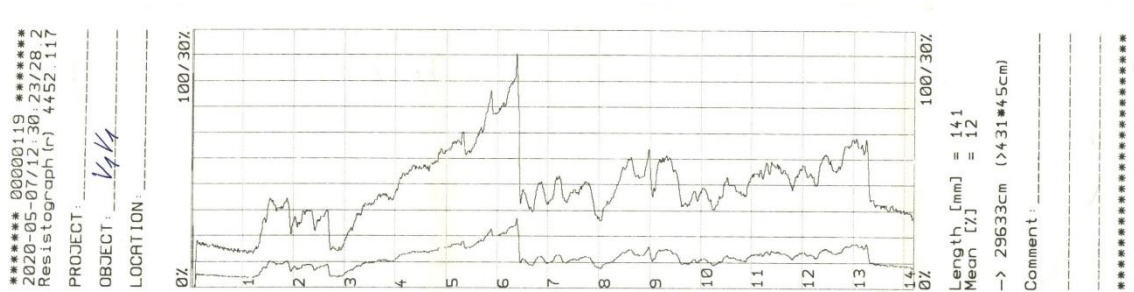


**Obrázek 113: Vzorek 2, vrstva 2**

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)

Na obrázku č. 113 je znázorněn směr vedení vrtáku. Vrt byl veden ve spodní části druhé vrstvy druhého vzorku.

Na dalším grafu je znázorněn vrt první vrstvy u prvního vzorku. Na tomto příkladu lze vidět, jak křivka odporu okamžitě klesne dolů, což je způsobeno zachycením trhliny. Ještě před trhlinou je znatelný pokles odporu zapříčiněn hnědou hnilobou.



**Graf 3: Vzorek 1, vrstva 1, ukázka hnědé hniloby a trhliny**

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)

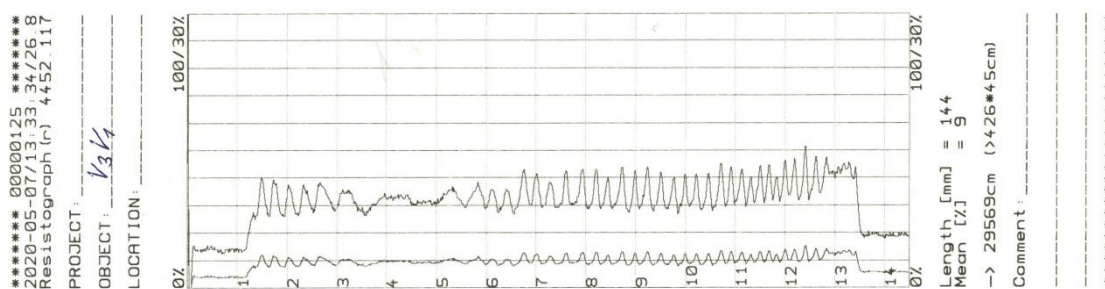


**Obrázek 114: Vzorek 1, vrstva 1**

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)

Na obrázku č. 114 je znázorněné vedení vrtáku ve spodní části první vrstvy u prvního vzorku.

Následující graf a obrázek zobrazují měření zdravého dřeva u první vrstvy třetího vzorku. Na zdravém dřevě jsou dobře znatelné přechody mezi jarním a letním dřevem.



**Graf 4: Vzorek 3, vrstva 1, ukázka zdravého dřeva**

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)



**Obrázek 115: Vzorek 3, vrstva 1**

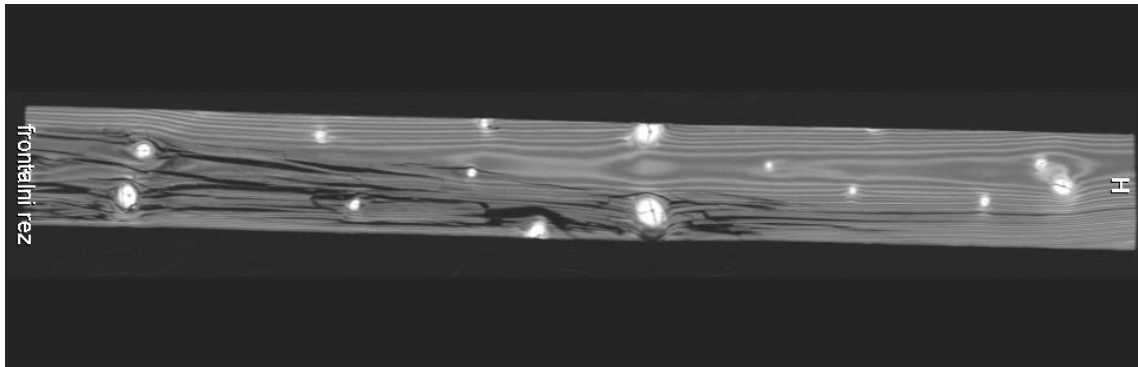
Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)

Na obrázku č. 115 lze vidět znázornění vedení vrtání první vrstvou třetího vzorku. Vrtání bylo vedeno v horní části měřeného vzorku.



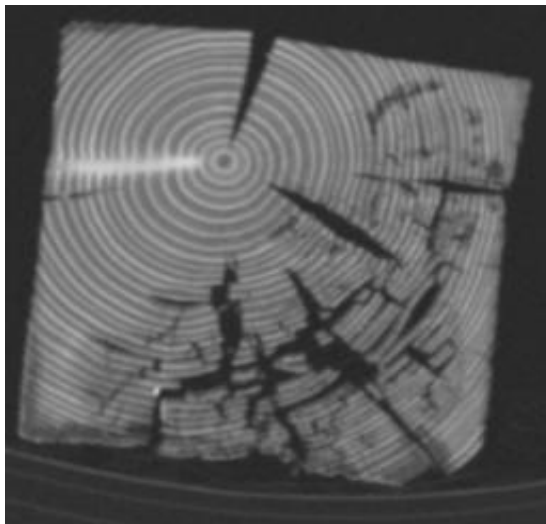
## 5.6.Somatom Scope

Zde jsou doloženy výsledky měření nedestruktivním přístrojem Somatom Scope. Na obrázku č. 116 je zobrazena horní plocha prvního vzorku. Na obrázku č. 117 je zobrazena vnitřní struktura druhé vrstvy u prvního vzorku. Na tomto obrázku je velice dobře znatelná rozšířená hnědá hniloba. To je následně porovnáno s fotografií druhé vrstvy na obrázku č. 118. V příloze je navíc znázorněn snímek hnědé hniloby v blízkosti suků.



**Obrázek 116: Horní plocha, vzorek 1**

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)



**Obrázek 117: Ukázka hnědé hniloby**

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)



**Obrázek 118: Ukázka hnědé hniloby v řezu**

Zdroj: (autor, 17. 5. 2020)

## 6. Diskuse

Hlavním cílem této práce bylo porovnání nedestruktivních a semidestruktivních přístrojových metod při měření dřevěného prvku poškozeného hnědou hnilobou. Jako prvek určený pro měření byla zvolena pozednice krovu, která byla rozdělena na tři menší části, které byly dále rozděleny na šest jednotlivých vrstev, na kterých probíhalo měření. Pozednice byla měřena přímo v prostorách fakulty, protože některými přístroji jako je Arborsonic 3D a Arbotom Rinntech by měření in situ nebylo možné. Nejprve byly vzorky hodnoceny smyslovou metodou. Přístrojové měření pak probíhalo kolmo na vlákna v radiálním směru.

Smyslovou metodou byla na pozednici detekována rozšířená hnědá hniloba, kterou byl nejvíce zasažen první a druhý vzorek. Dále byla detekována dřevokazná houba, a to konkrétně Koniofora sklepní (*Coniophora puteana*). Tato poškození se vytvořila s největší pravděpodobností kvůli zatékání dešťové vody skrze střešní krytinu, což vedlo ke zvýšení vlhkosti poškozeného dřeva. V části třetího vzorku bylo detekováno napadení dřevokazným hmyzem, konkrétně Červotočem proužkováným (*Anobium pertinax*).

Jako první přístroj byl použit Ultrasonic Timer, kterým probíhalo měření nedestruktivním způsobem. U tohoto přístroje se nejnižší naměřené hodnoty pohybovaly okolo 500 m/s. Tyto nízké hodnoty byly naměřeny zejména u druhého vzorku, kde bylo poškození hnědou hnilobou rozšířené nejvíce. Naopak u třetího vzorku, který byl napadený hnilobou nejméně, byly hodnoty naměřeny až k 1 700 m/s. Přístroj Ultrasonic Timer má tu výhodu, že je snadné se s ním dostat na měření i do méně přístupných míst, ve kterých bychom s jinými metodami neuspěli. Naopak jako jeho velká nevýhoda se jeví to, že přístroj není schopen schematicky znázornit stav uvnitř měřených prvků.

Další dva přístroje, konkrétně Arborsonic 3D a Arbotom Rinntech, se řadí mezi přístroje pro semidestruktivní měření. Jsou založeny na stejném principu měření, kde je nutné zarazit sondy pro měření do materiálu. Naměřené hodnoty těchto dvou akustických přístrojů byly velice podobné a příliš se nelišily ani od hodnot přístroje Ultrasonic Timer, který byl použit jako první. Ovšem u něho byla evaluace vzorků jednodušší díky jeho snadné aplikaci, která spočívala pouze v přiložení sond na jednotlivé body. U přístrojů Arborsonic 3D a Arbotom Rinntech, bylo měření časově náročnější. Nevýhodou těchto dvou přístrojů je nemožnost měření některých prvků krovu přímo na místě. Příkladem může být pozednice, kterou bylo v tomto případě třeba z krovu vyjmout a přemístit ke

strojům. U přístroje Arbotom Rinntech je největší nevýhodou velká časová náročnost při přípravě měření, a to zejména pokud se měří více míst najednou, jako tomu bylo v případě této práce. Tato metoda by se dala doporučit na zkoumání prvků, pro které byl přístroj přímo určen, tedy kmenů stojících stromů. S výstupy přístroje Arborsonic 3D byly také porovnány reálné fotografie z řezů jednotlivých vrstev pro lepší porovnání výsledků.

Podle Kollmanna a Côte (1968), je možné, že naměřené hodnoty u těchto tři akustických metod mohou být i výrazně vyšší. To může být způsobeno například zvýšenou sukovitostí v měřeném vzorku. Suky také mohou způsobit odklony vláken, což by mohlo vést ke zvýšení šíření zvuku. Na druhé straně může podle Feia (2005) při měření těmito přístroji docházet k až extrémně nízkým hodnotám. To je pak pravděpodobně způsobeno tím, že akustická vlna při měření obchází degradovaná místa, a tím se výrazně prodlužuje dráha průchodu vlny, čímž se snižuje i rychlost jejího šíření. Dle Kloibera (2007) je dalším možným vysvětlením prodloužení šíření zvuku mezi sondami přítomnost trhlin, kdy se procházející vlna při průchodu mezi dřevem a prostředím vzduchu výrazně zpomaluje.

Dalším přístrojem použitým k měření byl Resistograph, který je považován za semidestruktivní metodu. Při měření touto mechanicko-odporovou metodou byly zachyceny na grafech části prvku poškozeného hnědou hnilobou a také trhliny. Na tomto přístroji graf zřetelně značí zdravé dřevo. Touto metodou lze měřit prvky pouze v jednom vrtaném místě. Způsob měření je velice jednoduchý a rychlý a lze s ním měřit prvky přímo na krovech. Pokud by tedy bylo třeba měřit například pozednici přímo v místě krovu, byl by tento přístroj ideální. Podle Brashaw a kol. (2005) je také nejvhodnější použít tento přístroj, pokud je poškození dřevěného prvku zapříčiněné vnitřním porušením jeho struktury bez povrchových změn.

Polední přístrojová metoda byla provedena nad rámec plánovaného měření. Jednalo se o měření přístrojem Somatom Scope, díky kterému byly získány snímky z povrchu a vnitřku druhého vzorku. Tato metoda měření patří mezi nedestruktivní. Přístroj je schopen velmi dobře znázornit stav měřeného prvku, a to jak na povrchu, tak uvnitř. Jeho největší nevýhodou je jeho vysoká pořizovací cena a fakt, že je nutné měřený vzorek diagnostikovat přímo na místě, kde je tento přístroj umístěn. Metodě měření se Somatom Scope se bohužel příliš nevěnuje žádná dostupná odborná literatura, která by odkazovala na diagnostiku dřevěných prvků.

Avšak zabývali se jí Reinprecht a Šupina ve svém článku, kde popisují měření přístrojem Philips Brilliance CT. Bylo zjištěno, že CT přístroje dobře detekují závažnější poškození, ale hůře měří prvky, které mají méně výrazné poškození (Reinprecht a Šupina, 2015). Tyto závěry souhlasí i s výstupy měření v této práci.

Za vhodnou kombinaci při diagnostice dřevěných konstrukcí se dá považovat měření přístroji Ultrasonic Timer a Arborsonic 3D, které jsou velice snadné na použití. Pokud jsou s přístrojem Ultrasonic Timer naměřeny nízké hodnoty, je logickou volbou uskutečnit následně na daném prvku měření rovněž přístrojem Arborsonic 3D, jenž nám umožní ve 2D a 3D modelech nahlédnout do jádra zkoumaného prvku.

Jako další užitečná kombinace přístrojů se jeví Arborsonic 3D a Resistograph. U těchto přístrojů je výhodou jejich snadné uplatnění přímo v prostorách zkoumaných krovů. Díky přístroji Arborsonic 3D, jsme schopni prozkoumat měřený prvek ve 2D a 3D modelech, což je pak velkou výhodou při rozhodování, jak postupovat s danou měřenou dřevěnou konstrukcí. Díky přístroji Resistograph si lze následně ověřit rozsah poškození tím, že se provede vrt přímo v místě, které bylo měřeno přístrojem Arborsonic 3D.

## **7.Závěr**

Tato diplomová práce pojednávala o poškození dřevěných prvků hnilobou a jeho následném měření. Pomocí přístrojových metod byly posouzeny a následně porovnány výsledky měření jednotlivými přístrojovými metodami. Hlavním cílem bylo porovnání nedestruktivních a semidestruktivních přístrojových metod, konkrétně jejich pracnost a přesnost při měření dřevěného prvku poškozeného hnilobou.

V práci byly nejprve popsáni degradační činitelé, zejména hniloba dřeva. Následně byly pojmenovány poruchy na dřevěných prvcích, a to hlavně poškození vodou a následky vysoké vlhkosti. Poté byly podrobně popsány přístrojové metody od nedestruktivních až po destruktivní. V praktické části byly použity nedestruktivní a semidestruktivní přístrojové metody. K jejich posouzení následně posloužila destruktivní metoda v rámci které byly vzorky nařezány v jednotlivých vrstvách.

Posuzované vzorky byly nejprve zhodnoceny smyslovou metodou, kterou byla detekována hnědá hniloba, dřevokazná houba, přítomnost dřevokazného hmyzu a trhlin. Nebylo takto ovšem možné posoudit do jaké míry je prvek poškozen uvnitř. Z toho

důvodu bylo jako další postup zvoleno měření nedestruktivními a semidestruktivními přístrojovými metodami.

Mezi nedestruktivní metody se řadilo měření přístroji Somatom scope a Ultrasonic Timer. Přístroj Somatom scope je založen na principu CT s rotující RTG lampou. Díky tomu byl získán snímek hniloby ještě předtím, než byl vzorek rozřezán. Pomocí přístroje Ultrasonic Timer jsme získali hodnoty rychlosti šíření zvuku u jednotlivých vrstev.

Jako semidestruktivní metoda bylo vybráno měření přístroji Arborsonic 3D, Arbotom Rinntech a Resistograph. Díky těmto měřením byla získána lepší představa o vnitřním stavu měřených vzorků. Výstupem přístroje Arborsonic 3D byly 2D a 3D modely. Spolu se 2D modely byly také porovnány fotografie z řezů jednotlivých vrstev, a to pro lepší představu a porovnání s výsledky měření tohoto přístroje. Výše zmíněnými přístroji byly rovněž vyhodnoceny hodnoty rychlosti šíření zvuku mezi jednotlivými sondami, které jsou uvedeny ve výše uvedených tabulkách. Výstupy přístroje Resistograph byly grafy s výsledným odporem materiálu ve zdravých částech materiálu, ale také grafy s výslednými odpory z částí poškozených hnědou hnilobou a trhlinami.

Z nedestruktivních metod se jako nejméně pracný jeví přístroj Ultrasonic timer, který lze použít přímo v místě měřené konstrukce. Nevýhodou tohoto přístroje je, že nezobrazuje žádné modely zkoumaného prvku. Naopak přístroje Somatom scope tyto modely je schopen zobrazit. Jeho největší nevýhodou, kromě velké pořizovací ceny, je nutnost vyjmutí měřeného prvku z konstrukce a jeho přivezení přímo ke stroji a nespolehlivost při měření u poškození menšího rozsahu.

Ze semidestruktivních metod lze považovat za nejlepší volbu měření přístrojem Arborsonic 3D. Jeho výhodou je jednoduchá manipulace s ním a výstupy v podobě zobrazení 2D i 3D modelů měřených prvků. U přístroje Arbotom Rinntech je nevýhoda v jeho pracnosti při měření zkoumaných prvků. Díky tomu že pracuje na podobném principu jako přístroj Arborsonic 3D se tak jako lepší varianta jeví spíše použití přístroje Arborsonic 3D. U přístroje Resistograph je výhodou jeho snadného použití. Jako nevýhoda se může jevit to, že nelze spolehlivě prokázat, zda přístroj zachytil trhlinu nebo požerek dřevokazného hmyzu.

Za nejlepší kombinaci na měření dřevěných prvků lze považovat přístroje Ultrasonic timer a Arborsonic 3D. Díky přístroji Ultrasonic timer lze provést nedestruktivní měření celého zkoumaného prvku, a pokud přístroj vykazuje hodnoty které

by mohly poukazovat na poškození, je možné jej dále podrobněji prozkoumat přístrojem Arborsonic 3D. Díky tomu je možné porovnat naměřené hodnoty a také zobrazit 2D a 3D modely zkoumaného prvku. Proto je možné poté s jistotou prokázat druh a rozsah vnitřního poškození.

V dnešní době je kladen stále větší důraz na diagnostiku dřevěných prvků pomocí přístrojových metod, a to hlavně u historických konstrukcí. Smyslová metoda je sice technicky nejméně náročná a na první pohled důvěryhodná, ale nelze s ní ověřit míru poškození uvnitř dřevěných prvků. Přesto ji nelze znevažovat, jelikož právě posouzení prvků touto jednoduchou metodou můžeme předejít většímu rozšíření degradace materiálu. Je však záhodno ji podpořit či doplnit vhodnými přístrojovými metodami, čímž se může zamezit nevyžádanému degradování dřevěného materiálu a významně tak prodloužit jeho životnost. Závěrem lze citovat nadčasový názor renesančního umělce a stavitele Leona Battistu Albertiho z 15. století: „Všem částem stavebního díla škodí nejvíce lidská nedbalost a nedostatek péče.“

## **8. Seznam literatury, použitých zdrojů a příloh**

### **Seznam literatury**

ANSORGE, D., GEBURTIG, G. (2008): *Historische Holzbauwerke, und Fachwerk Instandsetzen – Erhalten*. Fraunhofer IRB Verlag, 283 p.

ANTONÍN V., HAGARA L., BAIER J., 2003: *Houby*, s. 416. Aventium nakladatelství s.r.o., Praha. ISBN 80-7151-218-4

BALABÁN K., KOTLABA F., 1970: *Atlas dřevokazných hub*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, s. 133, ISBN 07-028-70-04/40.

BAUER C, KILBERTUS G, BUCUR V (1991) *Technique ultrasonore de caractérisation du degré d'altération des bois de hêtre et de pin soumis à l'attaque de différents champignons*. *Holzforschung* 45:41–46

BECH-ANDERSEN J (1995): *The dry rot fungus and other fungi in houses*. Hussvamp Laboratoriet ApS, Holte Denmark, 139 s.

BRASHAW B. K. et al., *Nondestructive testing and evaluation of wood: a worldwide research update*. *Forest Products Journal*. 2009, vol. 59, no. 3, s. 7. ISSN 0015-7473.

BUCUR, Voichita. *Acoustics of wood*. 2nd ed. New York: Springer, c2006. ISBN 9783540261230.

DANIEL G (2003): *Microview of wood under degradation by bacteria and fungi*. In: Wood deterioration and preservation. ACS Symp Ser 845, Am Chem Soc, Washington, DC, s, 34-72.

DIVOS, F., TÓTH, Á., TAKATS, P. (2011): *Nondestructive methods for in-service glulam beam evaluation*. In: SHATIS'11 International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, Lisbon, Portugal – June 2011, 6 p.

FEIO A. O., *Inspection and diagnosis of historical timber structures: NDT correlations and structural behaviour*. Ph.D. thesis – Universidade do Minho, Guimaraes, 2005.

GABRIEL J., 2013: *Dřevokazné houby v interiérech*. *Živa: časopis pro biologickou práci*. Praha: Academia, 61(2), s. 54-57. ISSN 0044-4812.

GAŽÍK, M., LUKÁČIK, L., 1993: *Úpravy podkrovia na bývanie*. Alfa Bratislava, 174 s.

GÁPER, J. a PIŠÚT, I. *Mykológia. Systém, vývoj a ekológia húb*. 1. vyd. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela, 2003. VŠ učebnice. 320 s. ISBN 80-8055-863-9.

GÁPER J. (2005): *Zastúpenie symbiotických a saprofytických makromycét v kultúrnych smrečínach*. In: Drevoznehodnocujúce huby 2005, 4. Medzinárodné Sympóziu, TU Zvolen, s. 9-11.

GELES I., 2007: *Древесное сырье — стратегическая основа и резерв цивилизации*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, s. 499.

HÁJEK, Václav. *Stavíme ze dřeva*. Praha: Sobotáles, 1997. ISBN 80-85920-44-1.

HOLINKA M., 2015: *Impregnace dřeva, likvidace plísní, dřevokazných hub a hmyzu* [online]. [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: [impregnacedreva](http://impregnacedreva)

HRIVNÁK, Jaroslav, Michal KLOIBER, Ladislav REINPRECHT a Jan TIPPNER. *Skúmanie kvality a poškodenia ihličnatého dreva akustickými a mechanicko-odporovými metódami: Searching of quality and damage of structural coniferous wood with acoustic and mechanical-resistance methods*. I. vydanie. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2013. ISBN 978-80-228-2552-8.

- HUCKFELD T, SCHMIDT O (2005): *Hausfäule – und bauholzpilze*. Rudolf Müller, Köln.
- KASAL, B., ANTHONY, W.R. (2004): Advances in *in situ* evaluation of timber structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*. John Wiley & Ltd. London, UK Vol.6, No. 2, April – June 2004, p. 94-103.
- KLOIBER, Michal a Miloš DRDÁCKÝ. *Diagnostika dřevěných konstrukcí*. Praha: ČKAIT, 2015. Technická knihnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-64-0.
- KLOIBER M. *Nedestruktivní zjišťování vlastností dřeva – disertační práce*, MZLU v Brně, 2007.
- KOLLMANN F. F. P., COTE W. A., *Principles of wood science and technology – I Solid Wood*, Vol 1, Springer, Berlin 1968.
- KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce I*. Praha: ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01748-6.
- LARSEN, K. E., 1994: *Architectural preservation in Japan*. ICOMOS-International Wood Committee Paris, 204 s.
- LEBEDA, J. a kol., 1988: *Sanace zavlhělého zdiva budov*. SNTL Praha, 232 s.
- LOKAJ, Antonín et al. *Dřevostavby a dřevěné konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.
- MARČOK, M., 1995: *Aplikácia počítačových tomografických metód vo výskume vlastností a chýb dreva*. Vedecké a pedagogické aktuality 10/1995, (monografia), Technická univerzita vo Zvolene.
- NATTERER, J., HERZOG, T., VOLZ, M., 1991: *Holzbau Atlas Zwei*. Institut für internationale Architektur-Dokumentation München, 348 s.
- OLÁH, J., SEPP, T., ŠTEFKO, J., KORMAN, S., 1992: *Konštrukcie a opravy striech rodinných domov*. Alfa Bratislava, 236 s.
- PIAZZA, M., RIGGIO, M. (2006): *Limits of visual strength fading*. Old timber roof beams of “Ai Caduti dell’Adamello“ refuge. 13 p.
- PTÁČEK, Petr. *Ochrana dřeva*. Praha: Grada, 2009. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2326-6.



- RAYNER A D M, BODDY L (1988): *Fungal decomposition of wood – its biology and ecology*. Wiley, Chichester, 587 s.
- REINPRECHT, Ladislav a Miloš PÁNEK. *Trvanlivost a ochrana dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2660-6.
- REINPRECHT, Ladislav. *Ochrana dřeva: vysokoškolská učebnica*. Vo Zvolene: Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-228-1863-6.
- REINPRECHT, L., HRIVNÁK, J. (2010): *Stanovenie hniloby i iných defektov v drevených prvkoch ultrazvukom a odporovým vrtákom – v kostole v Trnovom a v nedokončenom zrubu*. In: Sanace a rekonstrukce staveb, 32. konference, WTA CZ, Brno – Česká republika, p. 33-39.
- REINPRECHT, L., PÁNEK, M. (2012): *Ultrasonic technique for evaluation of biodefects in wood: Part 1 – Influence of the position, extent and degree of internal artificial rots*. International Wood Products Journal 3(2), 107-115.
- REINPRECHT, L., NOVOTNÁ, H., ŠTEFKA, V. (2007): *Density profiles of spruce wood changed by brown-rot and white-rot fungi*. Wood Research 52(4), 17-28.
- REINPRECHT, L., PÁNEK, M. (2013): *Ultrasonic technique for evaluation of biodefects in wood: Part 2 – In situ and in vitro analyses of old beams using ultrasonic and bending tests*. International Wood Products Journal 4(1), 22-29.
- REINPRECHT, Ladislav a Jozef ŠTEFKO. *Dřevěné stropy a krovy: typy, poruchy, průzkumy a rekonstrukce*. Praha: ARCH, 2000. ISBN 80-86165-29-9.
- REINPRECHT, L., ŠUPINA, P. *Comparative evaluation of inspection techniques for impregnated wood utility poles: ultrasonic, drill-resistive, and CT-scanning assessments*. Eur. J. Wood Prod. 73, 741–751 (2015).
- ROSS, J.R., BRASHAW, K.B., WANG, X., WHITE, H.R., PELLERIN, F.R. (2004): *Wood and Timber Condition Assessment Manual*. Forest Products Society Madison, WI., 73 p.
- ŠIMŮNKOVÁ, E., 1998: *Dřevěná šindelová krytina*. Stavba, 5, (č. 4), s. 82-87.
- WEISS B, WAGENFÜHR A, KRUSE K (2000): *Beschreibung und bestimmung von bauholzpilzen*. DRW-Verlag Weinbrenner, 126 s.

ŽÁK, Jaroslav a Ladislav REINPRECHT. *Ochrana dřeva ve stavbě: odborná příručka pro stavebníky, investory, projektanty a architekty*. Praha: ABF, 1998. ISBN 80-86165-00-0.

## Internetové zdroje

Atlas poškození dřevin. *Atlas poškození dřevin* [online]. Dostupné z: [http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/381-troudnatec\\_kopytovity.html](http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/381-troudnatec_kopytovity.html)

Atlas poškození dřevin. *Atlas poškození dřevin* [online]. Dostupné z: [http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/418-klanolistka\\_obecna.html](http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/418-klanolistka_obecna.html)

Daedalea quercina (Síťkovec dubový). *Mykologie.net - Výzkum – Znalecké posudky – Lektorství – Fotogalerie* [online]. Dostupné z: <http://www.mykologie.net/index.php/houby/podle-morfologie/chorose/item/602-daedalea-quercina>

Dřevěné prvky na dřevěná zahradní pergola, zahradní dekorace PE4 jandr | Vencl & Banha s.r.o. *Dřevěné patrové postele* [online]. Dostupné z: <https://www.palubky-nabytek.cz/33225-zahradni-pergoly-altany/119724-drevene-prvky-na-drevena-zahradni-pergola-zahradni-dekorace-pe4-jandr/>

Diagnostické metody pro hodnocení dřevěných konstrukcí in situ | ASB Portal. *ASB-portal.cz | odborný portál | architektura, stavebnictví, byznys* [online]. Copyright © JAGA GROUP, s. r. o. Všechna práva vyhrazena [cit. 01.03.2020]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/architektura/rodinne-domy/drevostavby/diagnosticke-metody-pro-hodnoceni-drevenych-konstrukci-in-situ>

DŘEVOKAZNÉ HOUBY: Obrazový atlas dřevokazných hub. *DŘEVOKAZNÉ HOUBY* [online]. Dostupné z: <http://ohoubach.blogspot.com/2008/10/obrazovy-atlas-2.html>

Dřevokazný hmyz | Ochrana-dreva.cz. *Vyženeme brouka z vaší střechy | Ochrana-dreva.cz* [online]. Copyright © 2020 [cit. 27.02.2020]. Dostupné z: <https://www.ochrana-dreva.cz/drevokazny-hmyz/>

Houževnatec šupinatý – *Lentinus lepidus* | [www.ohoubach.cz](http://www.ohoubach.cz). *www.ohoubach.cz - o houbách, houbaření, houbařích a o přírodě obecně*. [online]. Dostupné z: <http://www.ohoubach.cz/atlas-hub/detail/134/Houzevnatec-supinaty/>

Chemická ochrana dřeva | Plísně a dřevokazné houby. *Ochrana, ošetření a impregnace dřeva* | *Likvidace dřevomorky, červotočů* [online]. Dostupné z: <http://chemickaochranadrevasweb.webmium.com/plisne-a-drevokazne-houby>

JPR universal-autodoprava. *JPR universal-autodoprava* [online]. Dostupné z: <http://www.jpr-universal.cz/tesari.html>

Konstrukční ochrana dřeva v exteriéru. *Suché palivové dřevo, pelety a brikety v Ústí nad Labem* [online]. Dostupné z: <https://www.drevo-olsinky.cz/blog/33/konstrukcni-ochrana-dreva-v-exteriuru>

Nejčastější příčiny, které způsobují vlhnutí budovy a zdiva | aquapol.cz. *AQUAPOL.CZ / profesionální sanace zdiva a odvlhčení domu* [online]. Copyright © 2020 aquapol.cz [cit. 01.03.2020]. Dostupné z: <https://aquapol.cz/nejcastejsi-priciny-ktere-zpusobuji-vlhnuti-budovy-a-zdiva/>

Outkovka – superpotravina stimulující imunitní systém | Superiorherbs. *SUPERIONHERBS – Vysoce kvalitní rostlinné extrakty* [online]. Copyright © [cit. 25.05.2020]. Dostupné z: <https://www.superionherbs.cz/outkovka-coriolus-pro-imunitni-funkce/>

PPT – Houby poškozující dřevo PowerPoint Presentation, free download – ID:6276874. *Upload and Share PowerPoint Presentations Online – SlideServe* [online]. Copyright © 2020 SlideServe [cit. 06.02.2020]. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/brady-oliver/houby-po-kozuj-c-d-evo>

*RINNTECH – Technology for tree and wood analysis – Home* [online]. Copyright © [cit. 13.05.2020]. Dostupné z: <http://www.rinntech.de/images/stories/PDF/arbotom%20flyerengl2009.pdf>

Stavba – TZB-info. *Stavba – TZB-info* [online]. Copyright © Copyright [cit. 01.03.2020]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz>

*Tapinella panuoides* (Čechratice sklepní). *Mykologie.net - Výzkum – Znalecké posudky – Lektorství – Fotogalerie* [online]. Dostupné z: <http://www.mykologie.net/index.php/houby/podle-morfologie/hlivy/item/918-tapinella-panuoides>

*Univerzity information system MENDELU* [online]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=9184](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9184)

Vybrané vlastnosti dřeva – Ohýbací dřevo, dřevěné ornamenty, vyřezávané lišty. *Ohýbací dřevo, dřevěné ornamenty, vyřezávané lišty* [online]. Copyright © Jiří Urban, [cit. 25.03.2018]. Dostupné z: <http://www.ohybacidrevo.cz/vlastnosti/vybrane-vlastnosti-dreva>

Výpočetní tomografie neboli CT: jak fungují zobrazovací metody v medicíně II. | *Atominfo.cz. Atomová energie, zpravodajství – Portál Atominfo.cz* [online]. Copyright © 2016, Atominfo.cz [cit. 13.05.2020]. Dostupné z: <https://atominfo.cz/2013/04/vypocetni-tomografie-neboli-ct-jak-funguji-zobrazovaci-metody-v-medicine-ii/>

## **Seznam příloh**

Příloha 1: 3D modely jednotlivých vrstev u všech tří vzorků a grafy jednotlivých vrstev mezi sondami z přístroje Arborsonic 3D

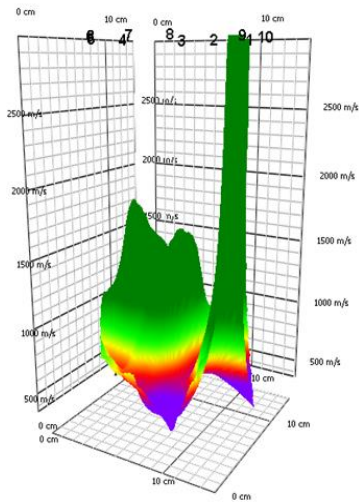
Příloha 2: Šíření zvuku v metrech za sekundu u jednotlivých vrstev u přístroje Arborsonic 3D

Příloha 3: Šíření zvuku v metrech za sekundu vždy u první vrstvy každého vzorku u přístroje Arbotom Rinntech

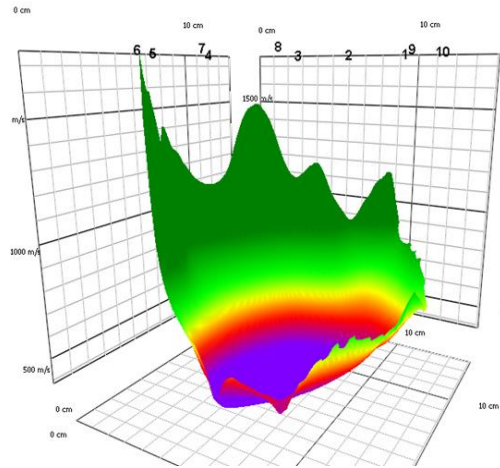
Příloha 4: Snímek hnědé hniloby a zobrazení suků u přístroje Somatom Scope

## 9. Přílohy

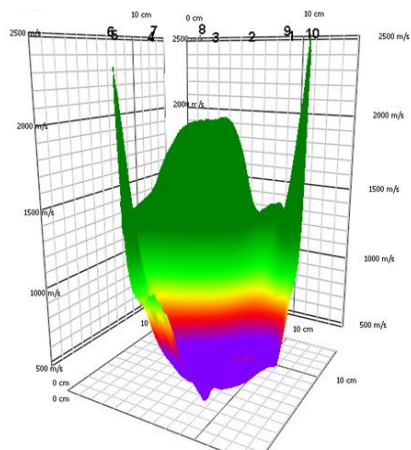
### Příloha č. 1: 3D modely jednotlivých vrstev u všech tří vzorků a grafy jednotlivých vrstev mezi sondami z přístroje Arborsonic 3D



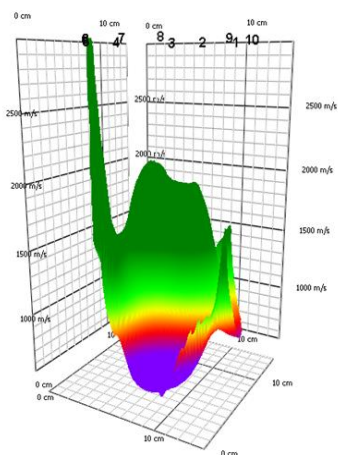
Vzorek 1, vrstva 1



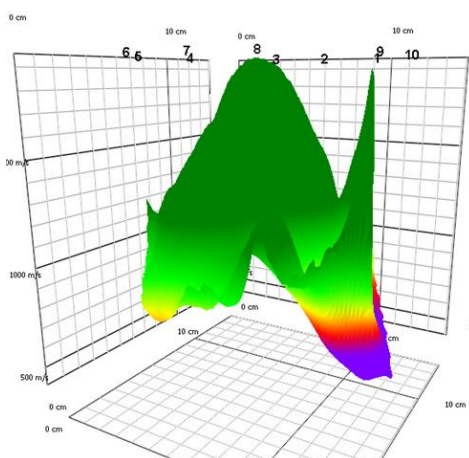
Vzorek 1, vrstva 2



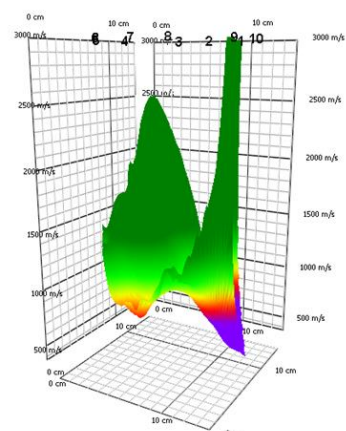
Vzorek 1, vrstva 3



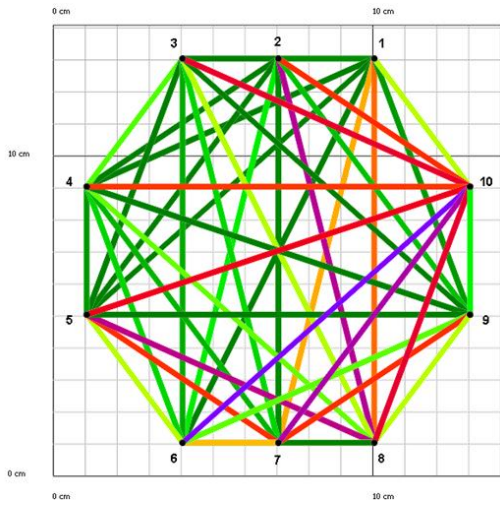
Vzorek 1, vrstva 4



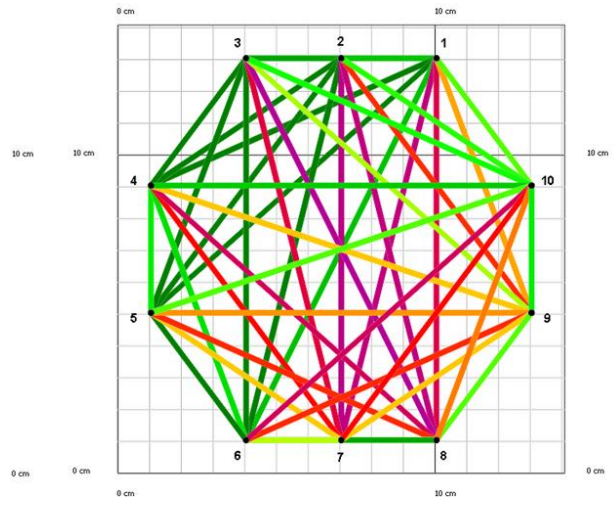
Vzorek 1, vrstva 5



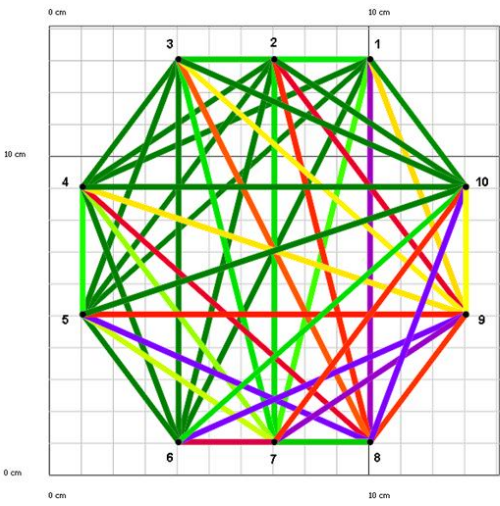
Vzorek 1, vrstva 6



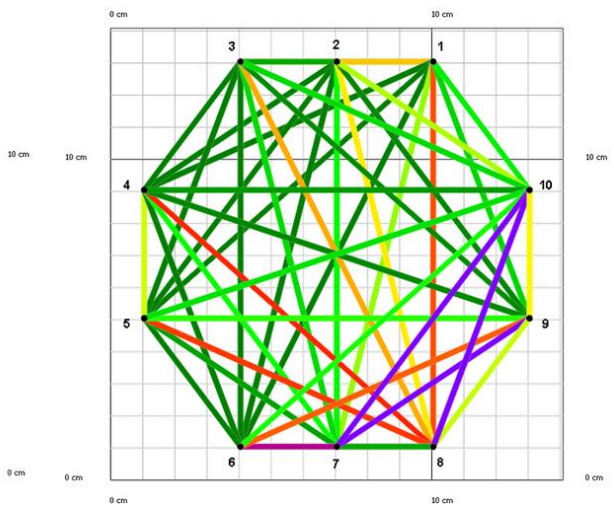
**Vzorek 1, vrstva 1**



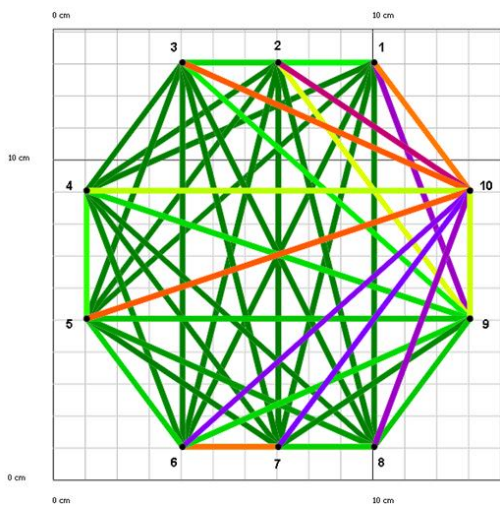
**Vzorek 1, vrstva 2**



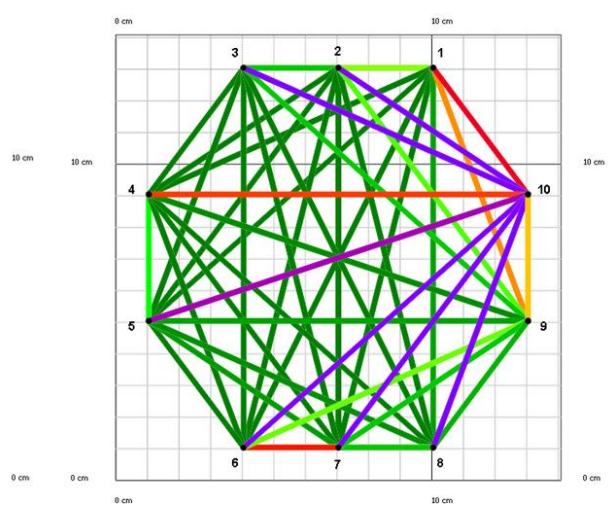
**Vzorek 1, vrstva 3**



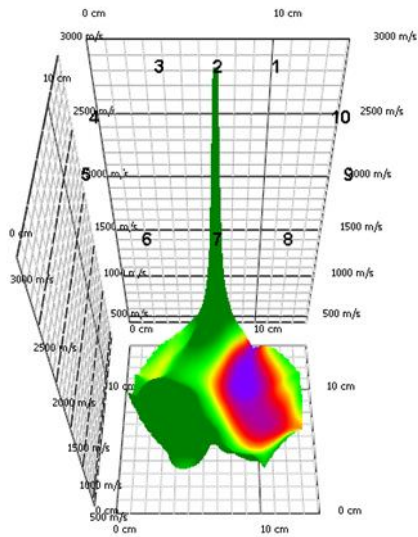
**Vzorek 1, vrstva 4**



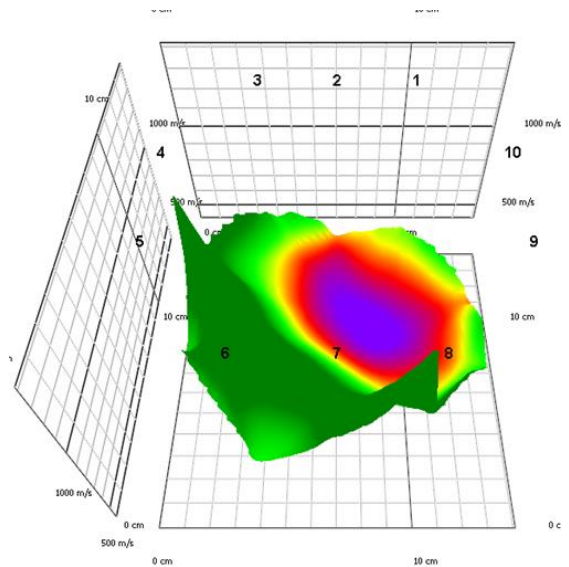
**Vzorek 1, vrstva 5**



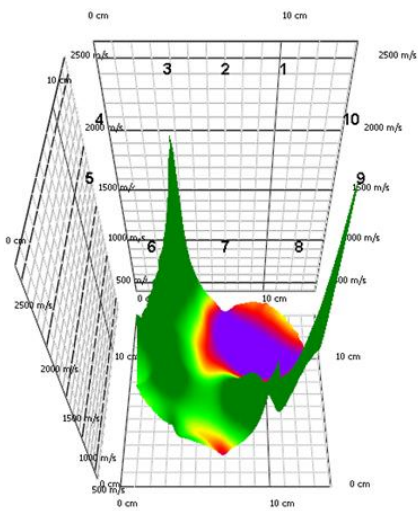
**Vzorek 1, vrstva 6**



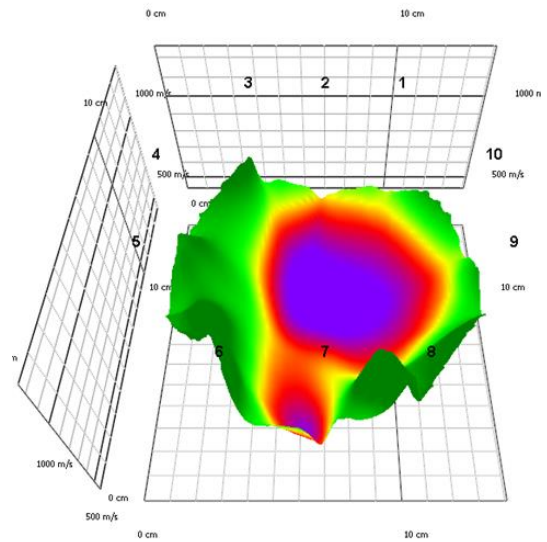
**Vzorek 2, vrstva 1**



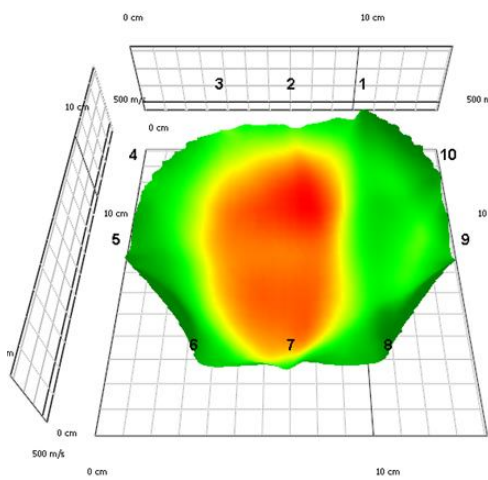
**Vzorek 2, vrstva 2**



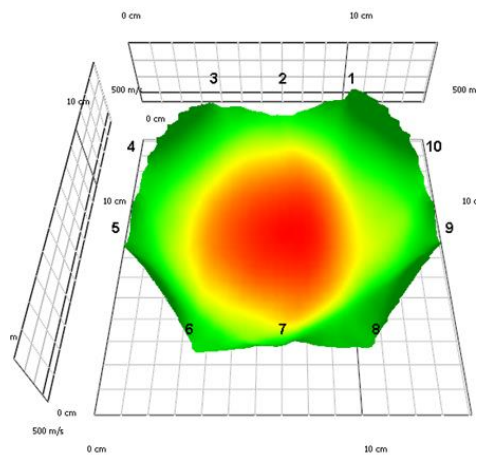
**Vzorek 2, vrstva 3**



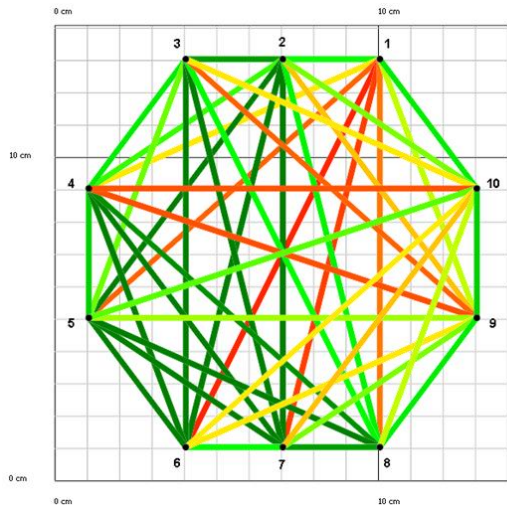
**Vzorek 2, vrstva 4**



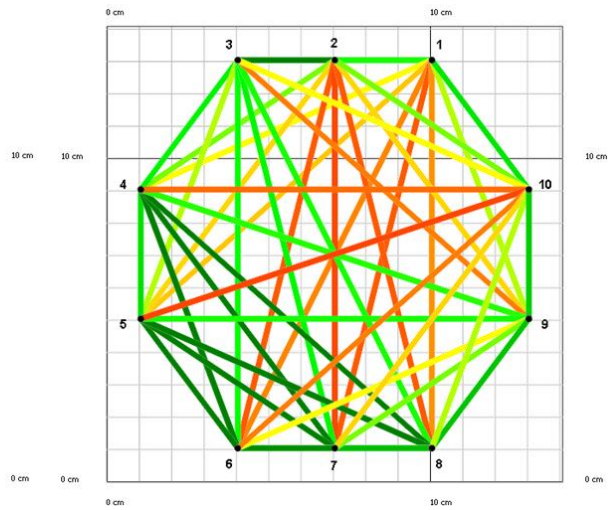
**Vzorek 2, vrstva 5**



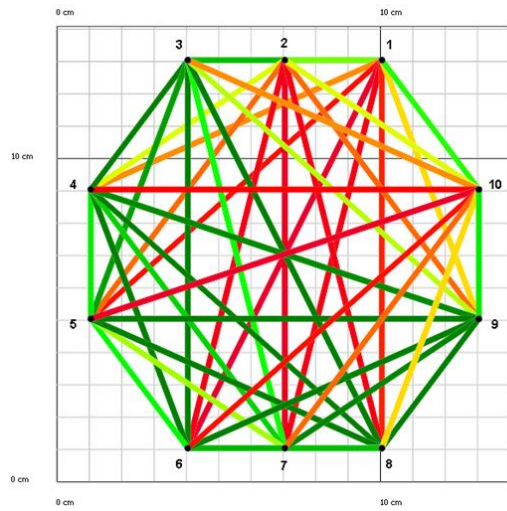
**Vzorek 2, vrstva 6**



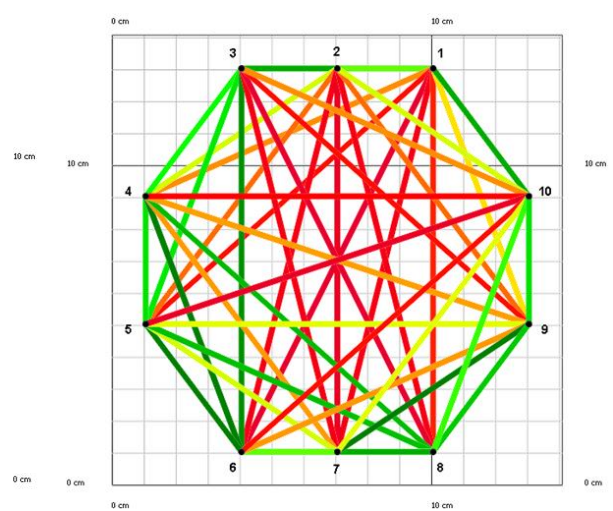
**Vzorek 2, vrstva 1**



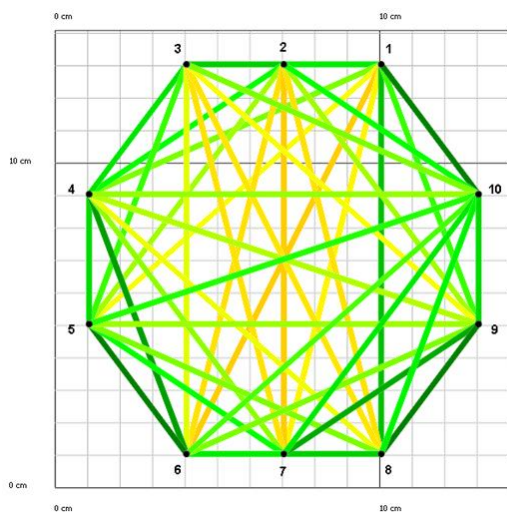
**Vzorek 2, vrstva 2**



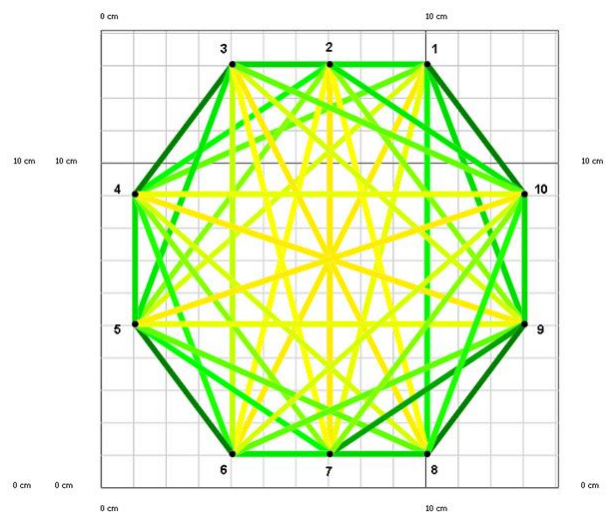
**Vzorek 2, vrstva 3**



**Vzorek 2, vrstva 4**

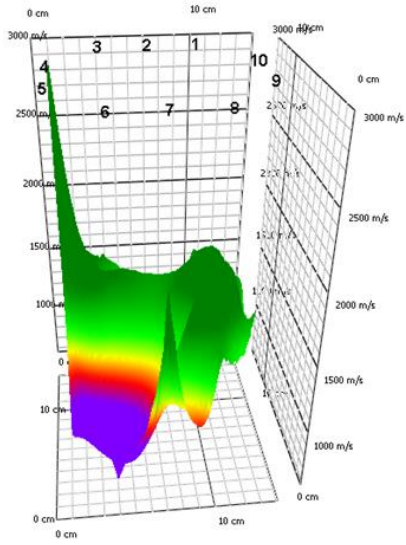


**Vzorek 2, vrstva 5**

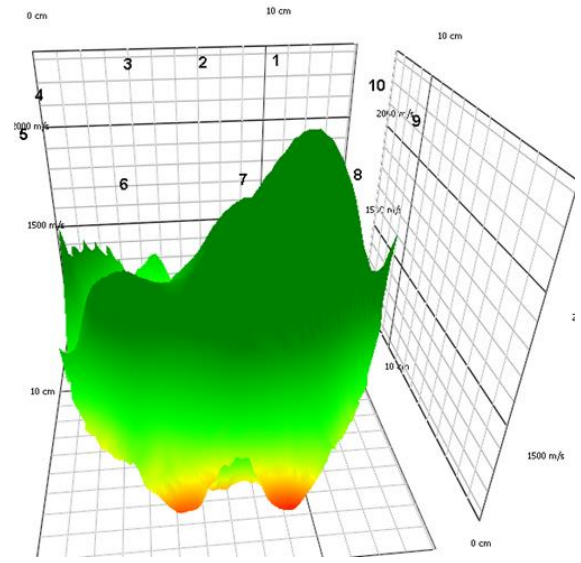


**Vzorek 2, vrstva 6**

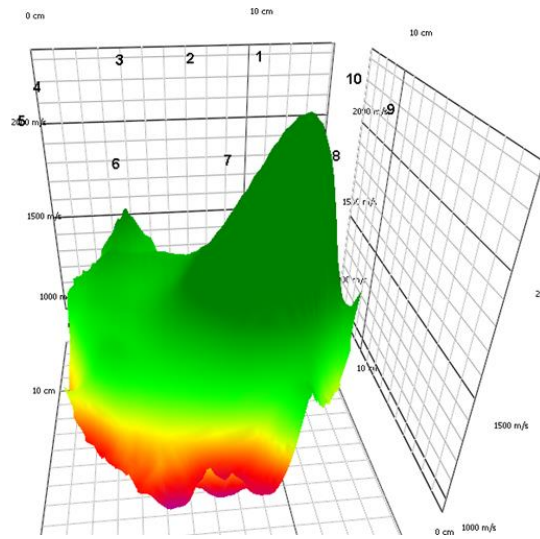




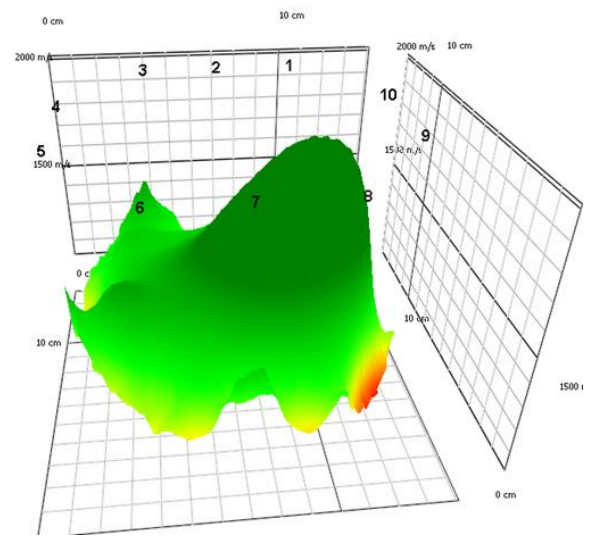
**Vzorek 3, vrstva 1**



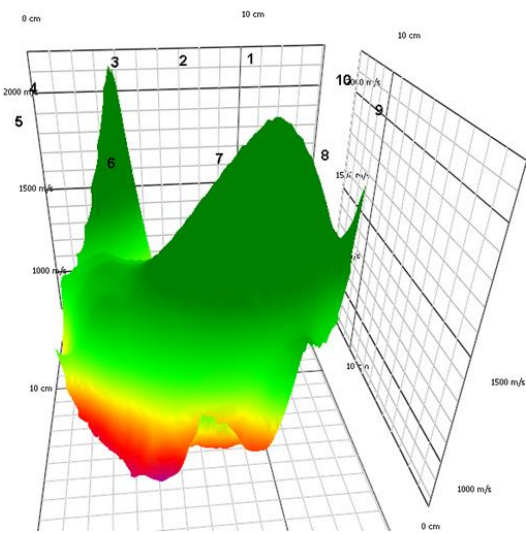
**Vzorek 3, vrstva 2**



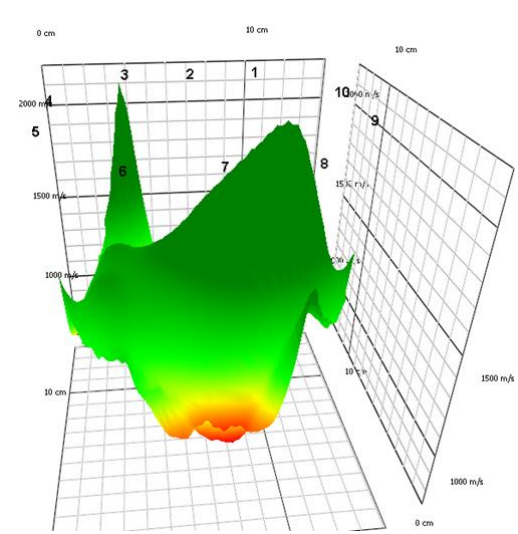
**Vzorek 3, vrstva 3**



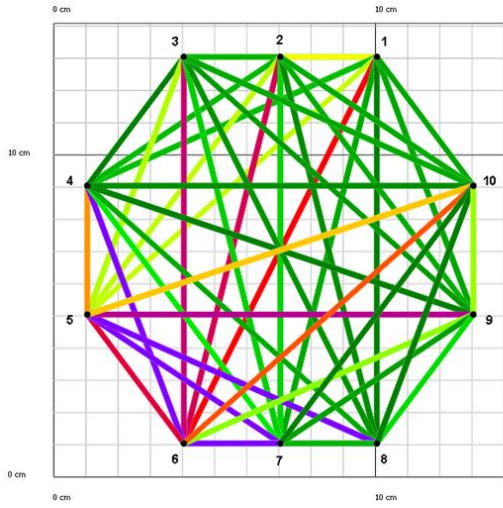
**Vzorek 3, vrstva 4**



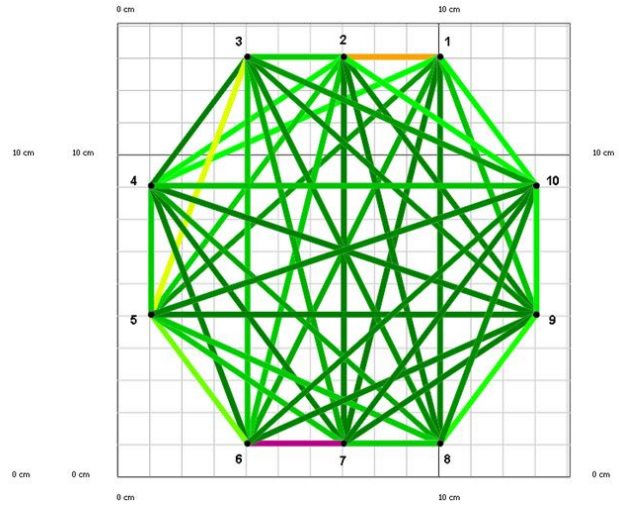
**Vzorek 3, vrstva 5**



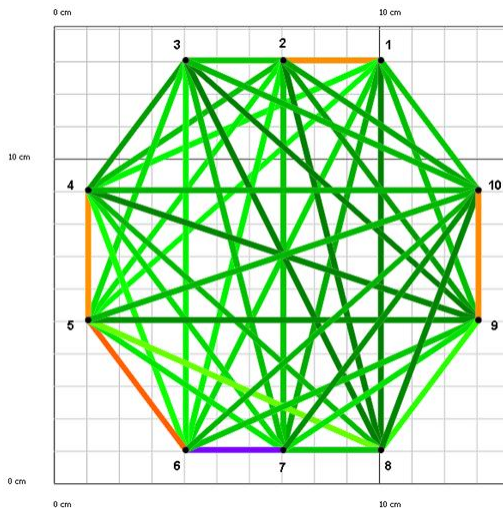
**Vzorek 3, vrstva 6**



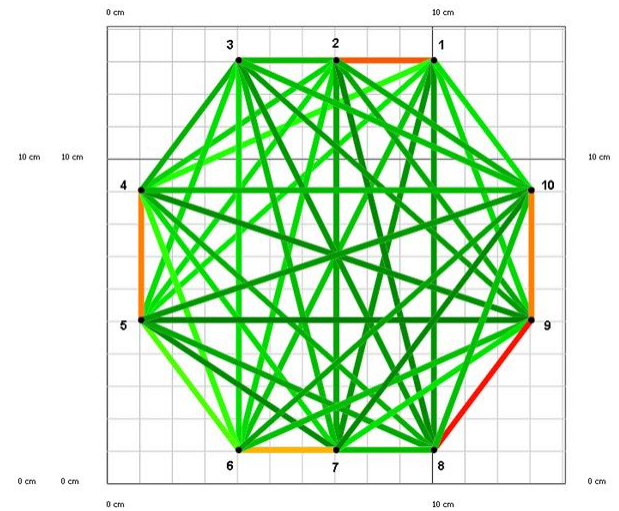
**Vzorek 3, vrstva 1**



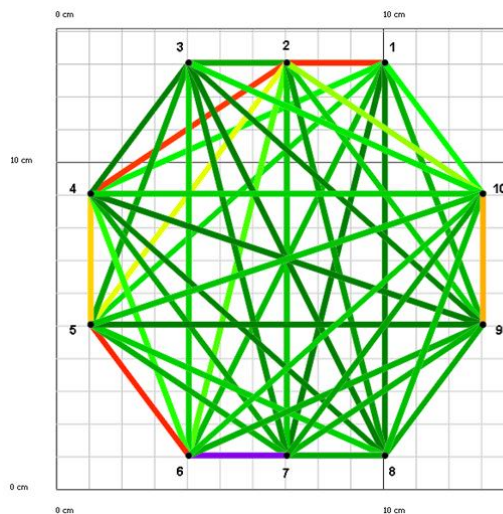
**Vzorek 3, vrstva 2**



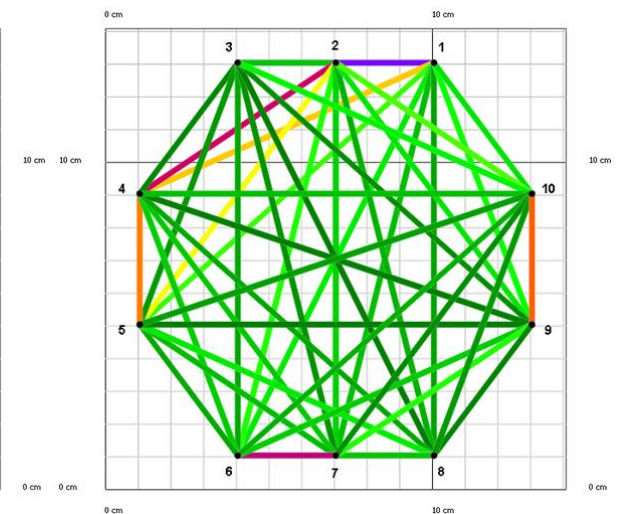
**Vrstva 3, vrstva 3**



**Vzorek 3, vrstva 4**



**Vzorek 3, vrstva 5**



**Vzorek 3, vrstva 6**

**Příloha č. 2: Šíření zvuku v metrech za sekundu u jednotlivých vrstev u přístroje Arborsonic 3D**

**Šíření zvuku v prvním vzorku**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	m/s	1119	1089	1432	1686	1283	761	733	1071	825
<b>2</b>	1119		1119	1202	1292	931	1097	628	1007	708
<b>3</b>	1089	1119		869	1270	1042	971	827	1400	671
<b>4</b>	1432	1202	869		1074	972	1028	860	1617	712
<b>5</b>	1686	1292	1270	1074		825	709	634	1359	678
<b>6</b>	1283	931	1042	972	825		1119	767	864	580
<b>7</b>	761	1097	971	1028	709	1119		1119	708	620
<b>8</b>	733	628	827	860	634	767	1119		825	670
<b>9</b>	1071	1007	1400	1617	1359	864	708	825		919
<b>10</b>	825	708	671	712	678	580	620	670	919	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	m/s	900	856	1270	1306	861	547	565	649	743
<b>2</b>	900		900	1187	1331	992	543	547	607	758
<b>3</b>	856	900		1090	1378	1008	569	538	712	767
<b>4</b>	1270	1187	1090		798	818	593	559	662	844
<b>5</b>	1306	1331	1378	798		970	662	605	643	744
<b>6</b>	861	992	1008	818	970		900	706	605	559
<b>7</b>	547	543	569	593	662	900		900	662	593
<b>8</b>	565	547	538	559	605	706	900		743	634
<b>9</b>	649	607	712	662	643	605	662	743		798
<b>10</b>	743	758	767	844	744	559	593	634	798	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	m/s	1165	1106	1602	1656	1391	1035	721	923	1289
<b>2</b>	1165		1165	1512	1679	1492	1128	835	795	1313
<b>3</b>	1106	1165		1410	1513	1467	1122	859	934	1391
<b>4</b>	1602	1512	1410		1054	1373	991	796	928	1545
<b>5</b>	1656	1679	1513	1054		1579	967	675	828	1450
<b>6</b>	1391	1492	1467	1373	1579		1165	778	638	1131
<b>7</b>	1035	1128	1122	991	967	1165		1165	716	836
<b>8</b>	721	835	859	796	675	778	1165		840	681
<b>9</b>	923	795	934	928	828	638	716	840		942
<b>10</b>	1289	1313	1391	1545	1450	1131	836	681	942	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	m/s	1357	1004	1595	1539	1558	1094	938	1262	1207
<b>2</b>	1357		1357	1507	1595	1694	1183	1025	1432	1079
<b>3</b>	1004	1357		1478	1485	1717	1251	990	1419	1249
<b>4</b>	1595	1507	1478		1062	1598	1169	917	1430	1396
<b>5</b>	1539	1595	1485	1062		1767	1374	927	1152	1235
<b>6</b>	1558	1694	1717	1598	1767		1357	818	948	1163
<b>7</b>	1094	1183	1251	1169	1374	1357		1357	745	747
<b>8</b>	938	1025	990	917	927	818	1357		1065	698
<b>9</b>	1262	1432	1419	1430	1152	948	745	1065		1032
<b>10</b>	1207	1079	1249	1396	1235	1163	747	698	1032	

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>m/s</b>	1061	1001	1455	1450	1296	1281	1219	662	805
<b>2</b>	1061		1061	1349	1449	1364	1384	1354	881	697
<b>3</b>	1001	1061		1263	1383	1389	1447	1442	1016	791
<b>4</b>	1455	1349	1263		962	1196	1287	1318	1048	898
<b>5</b>	1450	1449	1383	962		1066	1248	1166	1086	791
<b>6</b>	1296	1364	1389	1196	1066		1061	801	1051	642
<b>7</b>	1281	1384	1447	1287	1248	1061		1061	1194	614
<b>8</b>	1219	1354	1442	1318	1166	801	1061		1082	662
<b>9</b>	662	881	1016	1048	1086	1051	1194	1082		889
<b>10</b>	805	697	791	898	791	642	614	662	889	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>m/s</b>	1291	1096	1847	1723	1660	1497	1374	971	878
<b>2</b>	1291		1291	1602	1626	1674	1522	1445	1128	736
<b>3</b>	1096	1291		1476	1564	1740	1596	1539	1285	656
<b>4</b>	1847	1602	1476		1180	1590	1515	1522	1419	926
<b>5</b>	1723	1626	1564	1180		1464	1384	1411	1371	798
<b>6</b>	1660	1674	1740	1590	1464		1291	906	1114	735
<b>7</b>	1497	1522	1596	1515	1384	1291		1291	1287	636
<b>8</b>	1374	1445	1539	1522	1411	906	1291		1335	703
<b>9</b>	971	1128	1285	1419	1371	1114	1287	1335		1002
<b>10</b>	878	736	656	926	798	735	636	703	1002	

### Šíření zvuku ve druhém vzorku

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>m/s</b>	797	671	587	546	527	535	552	613	698
<b>2</b>	797		797	656	976	1101	1013	689	576	636
<b>3</b>	671	797		698	640	849	839	678	546	587
<b>4</b>	587	656	698		734	983	1066	810	540	541
<b>5</b>	546	976	640	734		968	1116	905	623	646
<b>6</b>	527	1101	849	983	968		797	676	587	588
<b>7</b>	535	1013	839	1066	1116	797		797	636	576
<b>8</b>	552	689	678	810	905	676	797		698	613
<b>9</b>	613	576	546	540	623	587	636	698		734
<b>10</b>	698	636	587	541	646	588	576	613	734	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>m/s</b>	731	646	574	558	538	525	542	597	682
<b>2</b>	731		1059	616	563	525	520	525	563	616
<b>3</b>	646	1059		665	597	651	661	645	536	574
<b>4</b>	574	616	665		691	1076	1202	1219	641	531
<b>5</b>	558	563	597	691		881	1003	1121	645	519
<b>6</b>	538	525	651	1076	881		731	790	574	536
<b>7</b>	525	520	661	1202	1003	731		731	616	563
<b>8</b>	542	525	645	1219	1121	790	731		722	597
<b>9</b>	597	563	536	641	645	574	616	722		711
<b>10</b>	682	616	574	531	519	536	563	597	711	

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>m/s</b>	793	669	587	545	526	534	551	612	695
<b>2</b>	793		793	634	575	534	529	534	575	634
<b>3</b>	669	793		937	831	979	704	873	647	587
<b>4</b>	587	634	937		731	955	764	1100	859	540
<b>5</b>	545	575	831	731		715	654	1118	989	528
<b>6</b>	526	534	979	955	715		793	802	893	545
<b>7</b>	534	529	704	764	654	793		793	865	575
<b>8</b>	551	534	873	1100	1118	802	793		897	612
<b>9</b>	612	575	647	859	989	893	865	897		731
<b>10</b>	695	634	587	540	528	545	575	612	731	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>m/s</b>	822	680	592	549	530	538	555	619	823
<b>2</b>	822		822	642	580	538	533	538	580	642
<b>3</b>	680	822		709	740	860	538	530	549	592
<b>4</b>	592	642	709		750	993	596	802	597	544
<b>5</b>	549	580	740	750		952	642	796	637	532
<b>6</b>	530	538	860	993	952		822	680	595	549
<b>7</b>	538	533	538	596	642	822		822	900	638
<b>8</b>	555	538	530	802	796	680	822		783	695
<b>9</b>	619	580	549	597	637	595	900	783		750
<b>10</b>	823	642	592	544	532	549	638	695	750	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>m/s</b>	640	606	553	520	504	515	656	572	723
<b>2</b>	640		640	584	543	510	505	510	543	584
<b>3</b>	606	640		616	572	526	510	511	520	553
<b>4</b>	553	584	616		627	691	548	522	538	546
<b>5</b>	520	543	572	627		774	584	553	544	577
<b>6</b>	504	510	526	691	774		640	606	553	567
<b>7</b>	515	505	510	548	584	640		640	678	609
<b>8</b>	656	510	511	522	553	606	640		806	596
<b>9</b>	572	543	520	538	544	553	678	806		627
<b>10</b>	723	584	553	546	577	567	609	596	627	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>m/s</b>	617	595	547	515	500	510	583	608	795
<b>2</b>	617		617	576	537	505	500	505	537	596
<b>3</b>	595	617		766	596	521	505	500	515	547
<b>4</b>	547	576	766		610	564	537	515	500	510
<b>5</b>	515	537	596	610		735	576	547	510	500
<b>6</b>	500	505	521	564	735		617	595	547	515
<b>7</b>	510	500	505	537	576	617		617	666	537
<b>8</b>	583	505	500	515	547	595	617		718	564
<b>9</b>	608	537	515	500	510	547	666	718		610
<b>10</b>	795	596	547	510	500	515	537	564	610	

### Šíření zvuku ve třetím vzorku

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	m/s	1480	1155	1456	1183	991	1509	1656	1515	1514
2	1480		1480	1470	1187	946	1404	1577	1500	1505
3	1155	1480		1622	1196	928	1418	1560	1544	1507
4	1456	1470	1622		1084	844	1353	1507	1608	1573
5	1183	1187	1196	1084		960	767	729	908	1116
6	991	946	928	844	960		1480	840	1217	1045
7	1509	1404	1418	1353	767	1480		1480	1528	1630
8	1656	1577	1560	1507	729	840	1480		1386	1663
9	1515	1500	1544	1608	908	1217	1528	1386		1209
10	1514	1505	1507	1573	1116	1045	1630	1663	1209	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	m/s	1480	1143	1372	1618	1582	1777	1728	1519	1386
2	1480		1480	1388	1484	1494	1714	1736	1668	1388
3	1143	1480		1791	1221	1500	1572	1646	1654	1612
4	1372	1388	1791		1493	1722	1686	1584	1694	1515
5	1618	1484	1221	1493		1292	1492	1489	1801	1664
6	1582	1494	1500	1722	1292		1480	955	1675	1661
7	1777	1714	1572	1686	1492	1480		1480	1695	1835
8	1728	1736	1646	1584	1489	955	1480		1345	1644
9	1519	1668	1654	1694	1801	1675	1695	1345		1407
10	1386	1388	1612	1515	1664	1661	1835	1644	1407	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	m/s	1480	1118	1368	1364	1437	1553	1705	1507	1489
2	1480		1480	1501	1397	1379	1488	1693	1594	1567
3	1118	1480		1594	1422	1381	1503	1695	1692	1521
4	1368	1501	1594		1121	1336	1438	1521	1650	1537
5	1364	1397	1422	1121		1090	1407	1283	1625	1524
6	1437	1379	1381	1336	1090		1480	844	1483	1531
7	1553	1488	1503	1438	1407	1480		1480	1420	1618
8	1705	1693	1695	1521	1283	844	1480		1320	1649
9	1507	1594	1692	1650	1625	1483	1420	1320		1117
10	1489	1567	1521	1537	1524	1531	1618	1649	1117	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	m/s	1480	1058	1295	1373	1458	1576	1577	1411	1386
2	1480		1480	1420	1391	1405	1529	1606	1526	1510
3	1058	1480		1507	1394	1394	1479	1566	1557	1473
4	1295	1420	1507		1084	1289	1403	1511	1591	1487
5	1373	1391	1394	1084		1269	1602	1532	1662	1562
6	1458	1405	1394	1289	1269		1480	1115	1469	1535
7	1576	1529	1479	1403	1602	1480		1480	1388	1602
8	1577	1606	1566	1511	1532	1115	1480		1016	1471
9	1411	1526	1557	1591	1662	1469	1388	1016		1084
10	1386	1510	1473	1487	1562	1535	1602	1471	1084	

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>m/s</b>	1480	1004	1309	1363	1445	1631	1682	1465	1292
<b>2</b>	1480		1480	1013	1146	1238	1409	1518	1397	1192
<b>3</b>	1004	1480		1791	1488	1389	1540	1650	1574	1336
<b>4</b>	1309	1013	1791		1104	1261	1494	1574	1625	1389
<b>5</b>	1363	1146	1488	1104		1002	1465	1390	1640	1419
<b>6</b>	1445	1238	1389	1261	1002		1480	840	1466	1399
<b>7</b>	1631	1409	1540	1494	1465	1480		1480	1457	1498
<b>8</b>	1682	1518	1650	1574	1390	840	1480		1483	1429
<b>9</b>	1465	1397	1574	1625	1640	1466	1457	1483		1084
<b>10</b>	1292	1192	1336	1389	1419	1399	1498	1429	1084	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>m/s</b>	1480	866	1150	1306	1386	1500	1566	1333	1408
<b>2</b>	1480		1480	964	1186	1321	1449	1531	1403	1294
<b>3</b>	866	1480		1637	1590	1556	1603	1674	1618	1367
<b>4</b>	1150	964	1637		1100	1465	1474	1557	1661	1496
<b>5</b>	1306	1186	1590	1100		1553	1505	1390	1681	1575
<b>6</b>	1386	1321	1556	1465	1553		1480	948	1463	1535
<b>7</b>	1500	1449	1603	1474	1505	1480		1480	1322	1618
<b>8</b>	1566	1531	1674	1557	1390	948	1480		1644	1590
<b>9</b>	1333	1403	1618	1661	1681	1463	1322	1644		1084
<b>10</b>	1408	1294	1367	1496	1575	1535	1618	1590	1084	

**Příloha č. 3: Šíření zvuku v metrech za sekundu vždy u první vrstvy každého vzorku u přístroje Arbotom Rinntech**

**Šíření zvuku v prvním vzorku**

Sondy	1	2	3	4	5	6	7	8
1	m/s	.....	1000	950	776	870	780	.....
2	.....		.....	994	931	912	738	628
3	1000	.....		.....	1115	1180	852	753
4	950	994	.....		.....	930	1150	884
5	776	931	1115	.....		.....	726	695
6	870	912	1180	930	.....		.....	664
7	780	738	852	1150	726	.....		.....
8	.....	628	753	884	695	664	.....	

**Šíření zvuku ve druhém vzorku**

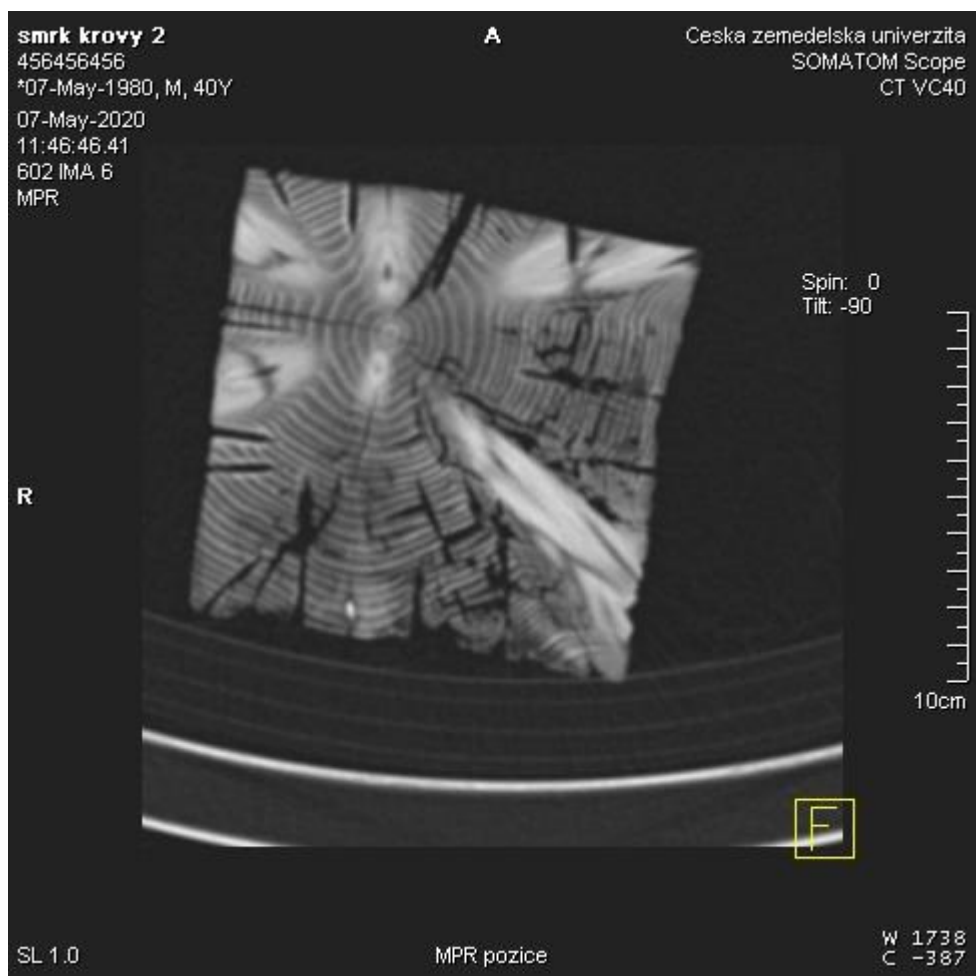
Sondy	1	2	3	4	5	6	7	8
1	m/s	.....	712	554	597	645	416	.....
2	.....		.....	565	796	1012	948	665
3	712	.....		.....	620	725	793	583
4	554	565	.....		.....	893	712	761
5	597	796	620	.....		.....	1080	840
6	645	1012	725	893	.....		.....	687
7	416	948	793	712	1080	.....		.....
8	.....	665	583	761	840	687	.....	

**Šíření zvuku ve třetím vzorku**

Sondy	1	2	3	4	5	6	7	8
1	m/s	1530	1063	1354	1096	1548	1548	1647
2	1530		.....	1312	1025	845	1205	1670
3	1063	.....		.....	948	901	1305	1403
4	1354	1312	.....		.....	749	1032	1312
5	1096	1025	948	.....		.....	742	721
6	1548	845	901	749	.....		.....	874
7	1548	1205	1305	1032	742	.....		.....
8	1647	1670	1403	1312	721	874	.....	



#### Příloha č. 4: Snímek hnědé hniloby a zobrazení suků u přístroje Somatom Scope



**Snímek suků a hnědé hniloby**