

Mendelova Univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská

Ústav nauky o dřevě

**Srovnání rychlosti akustického
signálu s mechanickými
vlastnostmi dřeva javoru**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Luděk Praus, Ph.D.

Vypracoval:

Petr Fišer

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Srovnání rychlosti akustického signálu s mechanickými vlastnostmi dřeva javoru** vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

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

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

V Brně dne:

podpis studenta

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Lud'ku Prausovi, Ph.D., za pomoc při vedení této bakalářské práce a za rady při řešení problémů s tím spojených. Dále bych rád poděkoval své rodině a mnoha kamarádům za celkovou podporu během studií. Všem jmenovaným mnohokrát děkuji.

Petr Fišer

**Srovnání rychlosti akustického signálu s mechanickými vlastnostmi dřeva
javoru**
**Comparison of the speed of the acoustic signal with the mechanical properties of
maple**

Abstrakt

Práce byla zpracována na základě porovnání šíření rychlosti akustického signálu ve dřevě javoru a habru. Dalším úkolem v této práci bylo zjistit závislosti šíření rychlosti akustického signálu v porovnání s mechanickými vlastnostmi ve dřevě javoru. Měření rychlosti akustického signálu bylo měřeno akustickým tomografem Fakopp ArborSonic 3D a mechanické vlastnosti byly měřeny v univerzálním testovacím stroji ZWICK Z 050. Použity byly vzorky z jednoho javoru a jednoho habru, které rostly v urbanizovaném prostředí.

Klíčová slova:

javor, habr, milimetr, centimetr, metr, rychlost, akustický tomograf, hustota

Abstract

Work is processed by comparing the propagation velocity of the acoustic signal in the maple and hornbeam. Another object of this work was to determine the dependent propagation speed of the acoustic signal in comparison with the mechanical properties of maple wood. Measurement the speed of the acoustic signal was measured acoustic tomography Fakopp ArborSonic and 3D mechanical properties were measured in a universal testing machine ZWICK Of the 050 samples were used from one maple and hornbeam one that grew in urban environments.

Keywords:

maple, hornbeam, millimeter, centimeter, meter, speed, acoustic tomography, density

Obsah

Obsah	5
Cíl práce	7
1 Literární přehled.....	8
1.1 Význam dřeva.....	8
1.2 Chemická skladba dřeva.....	9
1.3 Stavba a složení buněčné stěny	10
1.4 Akustické vlastnosti dřeva.....	11
1.5 Akustický vlnový odpor, tlumení zvuku ve dřevě	12
1.6 Pracovní diagram.....	12
1.6.1 Tuhost dřeva a modul pružnosti.....	13
1.6.2 Deformace	14
1.6.3 Pevnost dřeva	14
1.7 Fyzikální vlastnosti dřeva.....	15
1.7.1 Hustota dřeva	15
1.7.2 Vlhkost dřeva	16
1.7.3 Houževnatost dřeva.....	17
1.8 Akustická tomografie	17
2 Metodika	19
2.1 Javor mleč - <i>Acer platanoides</i>	19
2.2 Habr obecný - <i>Carpinus betulus</i>	20
2.3 Akustické měření přístrojem Fakopp ArborSonic 3D.....	21
2.4 Porovnání naměřené rychlosti signálu s literaturou	25
2.5 Měření tlaku ve dřevě.....	27
3 Výsledky	32
3.1 Porovnání rychlosti akustického signálu ve dřevě habru	32
3.1.1 Habr v porovnání rychlostí s jednotlivými vrstvami v jednom vzorku dřeva pomocí analýzy rozptylu (Anova)	35

3.1.2 Habr v porovnání rychlostí s ohledem na orientaci ke světovým stranám v jednom vzorku dřeva pomocí analýzy rozptylu (Anova)	36
3.2 Porovnání rychlosti akustického signálu ve dřevě javoru	38
3.2.1 Javor v porovnání rychlostí s jednotlivými vrstvami v jednom vzorku dřeva pomocí analýzy rozptylu (Anova)	40
3.2.2 Javor v porovnání rychlostí s ohledem na orientaci ke světovým stranám v jednom vzorku dřeva pomocí analýzy rozptylu (Anova)	42
3.3 Porovnání rychlosti akustického signálu ve dřevě javoru a habru	44
3.4 Porovnání rychlosti akustického signálu s mechanickými vlastnostmi ve dřevě javoru.....	45
Diskuse	50
Závěr	52
Summary	53
Použitá literatura	54
Obrázek 1.: Tři základní směry - P = příčný, R = radiální, T = tangenciální	8
Obrázek 2.: Obecný tvar pracovního diagramu pro dřevo, zobrazuje závislost mezi napětím a deformací (Požgaj a kol., 1997)	13
Obrázek 3.: Vliv vlhkosti dřeva na mechanické vlastnosti v tlaku podél vláken	17
Obrázek 4.: Testovaný průřez kmene z pohledu tomografu a skutečného poškození	18
Obrázek 5.: Nákres rozložení vrstev měření v jednom špalku.....	22
Obrázek 6.: Schéma zapojení snímačů do propojovacích krabic.....	23
Obrázek 7.: Nákres směrů mezi snímači v průřezu kmene.....	25
Obrázek 8.: Směr tlaku s testovaným vzorku.....	27
Obrázek 9.: Testovací vzorek pro měření tlaku 20x20x30mm	29
Obrázek 10.: Měření tlaku v přístroji Zwick Z 050	30
Obrázek 11.: Měření tlaku v přístroji Zwick Z 050	30
Obrázek 12.: Univerzální zkušební stroj Zwick Z 050	31
Obrázek 13.: 2D mapa z programu ArborSonic 3D, vzorek habru č.1	34
Obrázek 14.: 2D mapa z programu ArborSonic 3D, vzorek habru č.4.....	34
Obrázek 15.: 2D mapa z programu ArborSonic 3D, vzorek javoru č. 3.....	40

Cíl práce

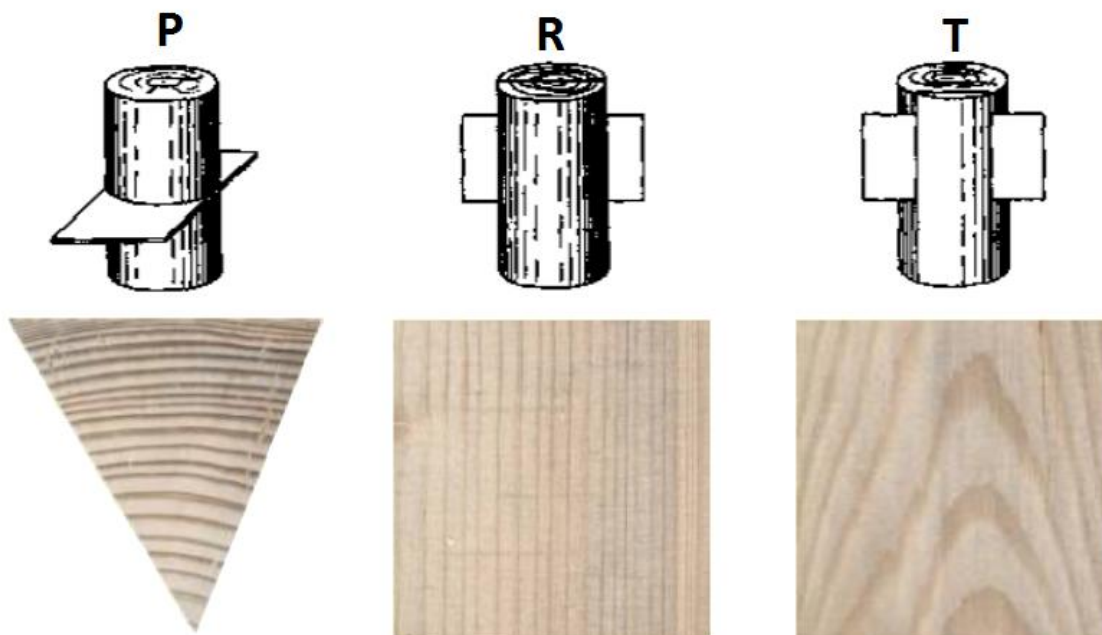
Cílem této práce je srovnávání šíření rychlosti akustického signálu ve dřevě javoru s porovnáním hodnot, které uvádí literatura. Dalším cílem porovnání hodnot z šíření rychlosti akustického signálu s mechanických vlastností dřeva javoru z urbanizovaného prostředí. Pomocí přístrojových metod se budou v čerstvém dřevě měřit rychlosti šíření akustického signálu v příčném směru kmenem ve více vrstvách. V těchto měřených vrstvách budou odebírány vzorky o velikosti 2x2x3 cm. Mechanické vlastnosti odebraných vzorků se dále budou testovat v univerzálním zkušebním stroji, který bude testovat pevnost dřeva podle pracovního diagramu. Výsledné hodnoty rychlosti šíření akustického signálu se budou porovnávat s výsledky z otestovaných vzorků z měření mechanických vlastností dřeva.

1 Literární přehled

1.1 Význam dřeva

Dřevo je přírodní materiál, který svými vlastnostmi se od ostatních přírodních materiálů liší nejen svou odlišnou hustotou, pevností u různého taxonu dřeva, ale od ostatních materiálů má i dobré akustické vlastnosti.

Dřevo je biomolekulární kompozit, který svou strukturou tvoří vláknitý materiál. Vlákna složená z více vrstev molekul celulózy, micel, mikrofibril, makrofibril hemicelulózy a ligninu tak tvoří nosný skelet, který je vložen do plastické matrice složené z ligninu, pektinu a různých glykoproteinů. Dřevo jako jedno z mála druhů materiálů má tu vlastnost, že je anizotropní (dřevo má jiné vlastnosti pevnosti v třech různých směrech), pórovité, hydroskopické (schopnost přijímat a zadržovat vodu) a nehomogenní (různorodý). Při anizotropii se rozlišují tři základní směry, směr příčný (kolmo na osu kmene), radiální (podélně s osou kmene a prochází středem kmene), tangenciální (podélně s osou kmene, ale neprochází osou kmene). V kombinaci z výše uvedených vlastností se z dřeva stává velice komplikovaný materiál (Kolařík a kol., 2005).



Obrázek 1.: Tři základní směry - P = příčný, R = radiální, T = tangenciální

Dřevo se od pradávna používalo nejen jako zdroj tepla, ale i k výrobě obydlí, hudebních nástrojů a dalších předmětů, které sloužily k denním potřebám života každého člověka. S přibývajícím dobou do současnosti se životní nároky člověka měnily a zvyšovaly. S tím se zvyšovala i hodnota dřeva, které se používalo. S přibývajícím vědomostmi a zkušenostmi člověka se dřevo zařadilo mezi velmi důležitý a potřebný prvek společnosti.

1.2 Chemická skladba dřeva

Lignin je amorfni látka (pevné skupenství, nemá pravidelnou krystalickou stavbu). Vytváří složité a velké makromolekuly. Je plastický, v celku stavby dřeva funguje jako matrice. Lignin má na starosti dřevnatění buněčných stěn a tím tak zvyšování pevnosti dřeva a zachycuje do sebe deformační energie (Kolařík a kol. 2005). Postupným testováním se zjistilo, že odstraněním ligninu z dřevní struktury klesá pevnost dřeva. Tím lze můžeme snadno říci, že lignin má hydrofóbní funkci (Požgaj a kol. 1997).

Celulóza je polysacharid. Makromolekuly celulózy vytváří řetězce složené do krystalických a amorfních částí, ty vytváří skelet pro buněčnou stěnu, z které vzniká vláknitá struktura. Pro celulózu je typickou vlastností křehkost s lineárním elastickým chováním. Dále obstarává tuhost a pružnost dřeva, tím tak omezuje jeho neformovatelnost (Kolařík a kol., 2005).

Se zvětšující se délkou polymerového řetězce celulózy, roste i polymerizační stupeň, který zajišťuje větší pevnost dřeva. Průměrná váha celulózy ve dřevě jak listnatých, tak i jehličnatých dřevin se pohybuje v rozmezí 43-52% (Požgaj a kol., 1997).

Hemicelulóza - je složený polysacharid, který zajišťuje spojení celulózy a ligninu, je mezi nimi výraznější afinita (vzájemný vztah). Ovlivňuje také fyzikální a chemické vlastnosti dřeva. Řetězec z hemicelulózy je kratší a může u něho dojít i k větvení. Makromolekulární hmotnost je nižší než u celulózy a je složena z různých cukrů. Průměrná váha hemicelulózy ve dřevě jak listnatých, tak i jehličnatých dřevin se pohybuje v rozmezí 20-35% (Kolařík a kol., 2005).

1.3 Stavba a složení buněčné stěny

Skladba buněčných stěn je viditelná pouze v elektronovém mikroskopu. Jedná se o pozorování jednotlivých fibril (vláken) na úrovni lamel a stěn. Jednotlivé vrstvy jsou od sebe rozlišitelné díky rozdílnému chemickému složení a odlišné struktuře (Kolařík a kol., 2005).

Střední lamela - jeví se jako úzký lesklý pás. V polarizovaném světle lze rozdělit střední lamelu na tři vrstvy. Tloušťka složení střední lamely se liší v závislosti na druhu dřeviny a na stádiu lignifikace. Její tloušťka se pohybuje v rozmezí od desetin mikrometrů do dvou mikrometrů. Tloušťka střední lamely se také liší podle toho, v jaké poloze umístění se nachází. V umístění při radiálním směru je střední lamela hrubší, je tak více lignifikovaná a má tak větší mechanickou pevnost. Při umístění v tangenciálním směru je lamela jemnější a není tak lignifikovaná jako v radiálním směru, tím lze říci, že mechanická pevnost je o trochu nižší než v radiálním směru (Požgaj a kol., 1997).

Primární stěna - chemickým složením je podobná střední lamelle, ale strukturou je dosti odlišná. Jako jediná obaluje protoplast. Primární stěnu tvoří měkká kyprá hmota, která je složená z pektinů a hemicelulóz, mezi nimi se proplétají jednotlivé fibrily celulózy. Na počátku růstu sekundární stěny se růst primární stěny omezuje. Orientace jednotlivých fibril není v celé primární stěně stejná, liší se však v jednotlivých vrstvách. Ve vnější vrstvě označované jako P_1 jsou celulózové fibrily rozptýleny (jsou více odkloněny od podélné osy buňky). Vnitřní stěna buňky označena jako P_2 má strukturu hrubší a kompaktnější. Celulózové fibrily jsou orientovány ve větším odklonu ($0-90^\circ$) (Požgaj a kol., 1997).

Sekundární stěna - je uložena na vnější straně primární strany a její orientace celulózových fibril je rovnoběžná. V tracheidách jehličnatého a ve vláknech listnatého dřeva se sekundární stěna skládá ze tří základních vrstev a označují se jako vrstvy S_1 , S_2 , S_3 . V jiných typech dřevních buněk anebo v tracheidách a vláknech reakčního dřeva se může počet vrstev sekundárního dřeva lišit a může tak být vyšší či menší. Vnější vrstva S_1 , střední vrstva S_2 a vnitřní vrstva S_3 .

Jednotlivé vrstvy sekundární stěny se od sebe liší rozdílným uložením makrofibril v různém úhlu. Liší se i obsahem ligninu v jednotlivých vrstvách. Celková

sekundární stěna dotváří buňku do konečného stádia a zásadně tak ovlivňuje fyzické a mechanické vlastnosti vlákna (Požgaj a kol., 1997).

1.4 Akustické vlastnosti dřeva

Rychlost akustického signálu (zvuku) vedeného v různém taxonu dřeva se může různě měnit. Zvuk je mechanické vlnění v prostředí, v kterém zrovna vzniká a na které působí. Při tomto působení vzniká zvukový vjem, který my jako lidé zachycujeme sluchovým orgánem. Zvukový vjem vzniká uspořádaným kmitavým pohybem molekul v hmotném prostředí (dřevě). Tento vjem vznikl nějakým určitým podnětem, kterým mohl být například úder nebo i jiný rychlý pohyb, který vyvolal vibrace, které rozkmitaly molekuly a tím tak vznikl zvuk (Požgaj a kol., 1997).

Zvuk můžeme charakterizovat vlnovými délkami, amplitudou vlnění (hodnota periodicky se měnící veličiny), frekvencí a rychlostí šířícího se zvuku. Šíření zvuku se díky vnitřním schopnostem dřeva buď utlumuje, je veden stejnou rychlostí, anebo se zvuk zesiluje. Zvuk je ve dřevě šířen rychlostí c , ta je závislá na frekvenci f a na vlnové délce λ (Požgaj a kol., 1997).

Vzorec pro výpočet rychlosti zvuku:

$$c = \lambda \cdot f$$

Vysvětlení znaků ve vzorci: c = rychlost šíření zvuku; λ = vlnová délka; f = frekvence.

Dřevo je materiál, který na rozdíl od jiných technických materiálů je kvůli anizotropním vlastnostem, chemické a anatomické stavby hůře na rychlost zvuku měřitelné. Rychlost šíření zvuku ve dřevě je nejvyšší v podélném směru vláken, rychlost je téměř stejná jako rychlost šíření zvuku v kovech, v radiálním směru dosahuje rychlost zhruba jedné třetiny v porovnání s rychlostí zvuku v podélném směru a při tangenciálním směru je rychlost téměř poloviční oproti radiálnímu směru.

Ve zjednodušeném vzorci by to vypadalo takto:

$$c_1 : c_2 : c_3 = 15 : 5 : 2,5$$

Vysvětlení znaků ve vzorci: c_1 = podélný směr; c_2 = radiální směr; c_3 = tangenciální směr.

Rychlost zvuku na měřeném vzorku dále záleží na taxonu, hustotě a vlhkosti dané měřené dřeviny. S větší hustotou dřeva se rychlost zvuku zvětšuje, ale s přibývajícím vlhkostí rychlost zvuku ve dřevě klesá (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Anizotropie>).

1.5 Akustický vlnový odpor, tlumení zvuku ve dřevě

Jak již bylo výše napsáno, tak rychlost šíření zvuku ve dřevě ve směru podél vláken je téměř totožná s rychlostí šířícího se zvuku v kovech, jakákoliv hustota dřeva představuje jen 1/10 až 1/20 z hustoty používaných kovů. Proto je odpor proti šířící se zvukové vlně v prostředí materiálu dřeva úplně jiný než v kovech. Podle Požgaje (1997) se odpor proti zvukové vlně nazývá akustický vlnový odpor.

Akustický vlnový odpor můžeme spočítat podle vzorce:

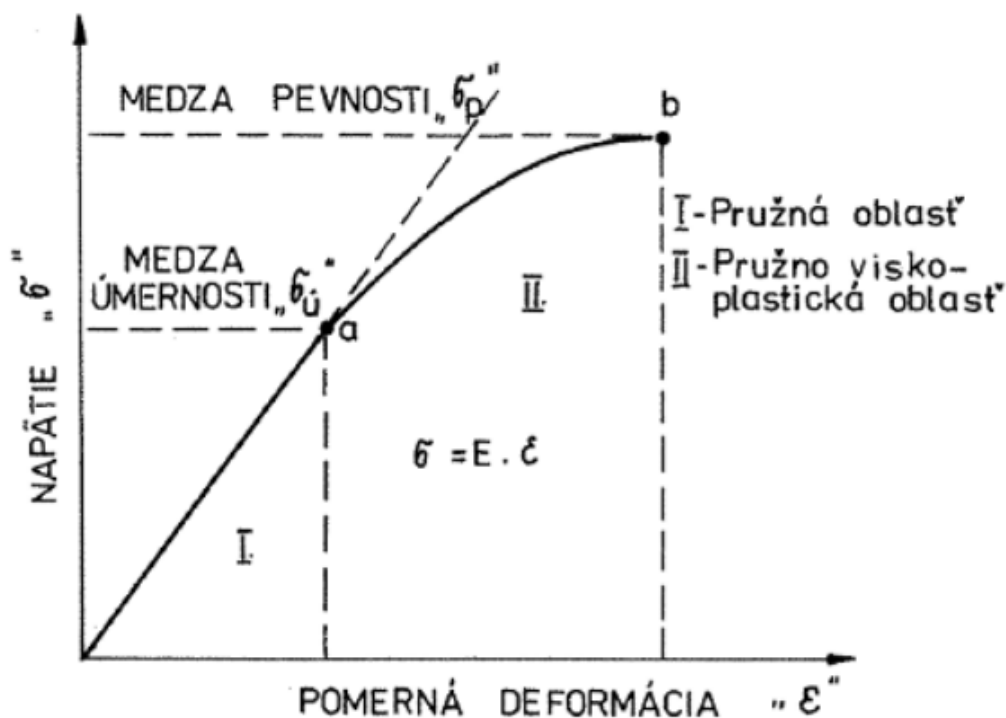
$$Z = \rho \cdot c = \rho \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Vysvětlení znaků ve vzorci: Z = je zkratka pro odpor; ρ = řečné jako R_0 (rhó) je zkratka pro hustotu; c = zkratka pro rychlost šíření akustické vlny; E = zkratka pro modul pružnosti.

1.6 Pracovní diagram

Materiálové vlastnosti určitého materiálu můžeme zjistit pouze experimentálně, tedy pouze formou pokusu, jelikož do dnešní doby pro většinu materiálu nejsou vytvořeny teoreticky odvozené rovnice. Jednotlivé parametry jsou měřeny na univerzálních zkušebních strojích, které měří velikost a charakter deformace v závislosti na silovém zatížení testovaného materiálu.

Pracovní diagram dřeva - deformaci dřeva lze rozdělit na dvě části, lineární a nelineární. Lineární část dosahuje po mez úměrnosti (σ_u) a nelineární část začíná od meze úměrnosti, vrcholí mezi pevností (σ_p) za níž pokračuje do úplného zničení vzorku. Sklon lineární části pracovního diagramu vyjadřuje poměr mezi napětím a deformací, a je používán pro výpočet modulu pružnosti pro daný způsob zatížení (Horáček, 1998).



Obrázek 2.: Obecný tvar pracovního diagramu pro dřevo, zobrazuje závislost mezi napětím a deformací (Požgaj a kol., 1997)

1.6.1 Tuhost dřeva a modul pružnosti

Tuhost materiálu je definována modulem pružnosti. Ten vyjadřuje vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci. V modulu pružnosti lze vyjádřit, jak materiál dokáže odolávat do doby, než dojde k jeho porušení a tím tak k jeho nevratnému poškození. Modul pružnosti roste se zvyšující se silou vyvolávanou na testovaný materiál.

Vzorec pro výpočet modulu pružnosti v tahu a tlaku:

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

Vysvětlení znaků ve vzorci: E = zkratka pro modul pružnosti; $d\sigma$ = zkratka pro podíl napětí; $d\varepsilon$ = zkratka pro poměrnou deformaci.

Výstupní údaje z grafu o modulu pružnosti se udávají v jednotkách Pa (Pascaly), pro zjednodušení zobrazení vysokých hodnot v jednotkách Pa se hodnoty přepočítávají do MPa (Megapascaly) (Požgaj a kol., 1997).

1.6.2 Deformace

Deformace se popisuje jako změna tvaru a rozměrů dřeva vyvolávaná při působení mechanických sil. Deformace ve dřevě jsou pružné, pružné s prodlevou nebo plastické. Pružná deformace je vratná a odezní ihned po ukončení působení vnějších sil. U deformace pružné s prodlevou se po ukončení vnějších sil na těleso materiál vrátí do původního stavu za delší čas. Plastická deformace je trvalá a k návratu tělesa do původních rozměrů tak nedochází, těleso tak dostává nového rozměru a tvaru. Při deformaci dřeva hraje velkou roli vlhkost ve dřevě (Požgaj a kol., 1997).

1.6.3 Pevnost dřeva

Pevností dřeva vyjadřujeme odpor (odolnost) dřeva proti jeho trvalé deformaci při namáhání. Číselně se pevnost vyjadřuje napětím, při kterém byla překročena mez pevnosti a u dřeva tak došlo k narušení jeho soudružnosti (Malý, 2010).

Hodnoty pevnosti, které nám vychází při pevnostních zkouškách dřeva, se získávají v momentě, kdy došlo ke skutečné deformaci testovaného vzorku dřeva. Podle fyzikální povahy veličin, jak popisuje Požgaj a kol. (1997), který pevnost definuje a rozlišuje na tři druhy pevnosti:

- stanovenou (konvenční) pevnost

Konvenční pevnost je definována největším nereálným napětím vyjadřujícím určitý stav při zatížení. Tato pevnost se vyjadřuje jako maximální napětí, které je cíleno na výchozí průřez z testovaného tělesa. Prakticky lze říci, že tato naměřená pevnost je pro dřevo nereálná.

- skutečnou pevnost

Skutečná pevnost se vyjadřuje skutečným (reálným) napětím v přesném okamžiku deformovaného tělesa. Při jednoosém zatížení v tahu se aktuální pevnost vypočítává podílem síly v okamžiku deformace materiálu a neporušeným místem vzorku před deformací.

Vzorec pro výpočet maximální pevnosti:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{S}$$

Vysvětlení znaků ve vzorci: σ_{max} = je zkratka pro maximální pevnost; F_{max} = zkratka pro maximální sílu; S = zkratka pro obsah.

Výstupní údaje z grafu o modulu pružnosti se udávají v jednotkách Pa (Pascaly), pro zjednodušení zobrazení vysokých hodnot v jednotkách Pa se hodnoty přepočítávají do MPa (Megapascaly) (Požgaj a kol., 1997).

- ideální (teoretická) pevnost

Teoretická pevnost je ideální hodnota pevnosti dřeva, kterou je možné dosáhnout pro určitou dřevinu a pro určité podmínky zatěžováním testovaného vzorku. Teoretická pevnost každého měřeného materiálu se dopočítává z meziatomových vazbových sil, především je závislá na meziiontových vazbách, jejich vzdálenostmi od sebe (Požgaj a kol. 1997).

1.7 Fyzikální vlastnosti dřeva

1.7.1 Hustota dřeva

Hustota patří mezi jeden z nejdůležitějších biofyzikálních parametrů dřeva. Lze ji vyjádřit množstvím hmoty v určitém jednotkovém objemu.

Můžeme ji vypočítat pomocí vzorce:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Vysvětlení znaků ve vzorci: ρ = řečné jako Ró (rhó) je zkratka pro hustotu; m = znak pro hmotnost; V = znak pro objem. Výchozí jednotky z tohoto vzorce jsou uváděny v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

U domácích dřevin české republiky se průměrná hustota dřeva při vlhkosti 12% pohybuje v rozmezí od 350 do 800 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Hustota dřeva není vždy stejná, mění se nejen uvnitř jednoho druhu dřeviny, ale i v samotném jedinci téhož druhu. Hustota se mění jak po výšce stromu a to od vrcholu po spodní části stromu. Mění se však i v jedné určité části stromu a to ve stejné výšce při radiálním průřezu. Hustota dřevní hmoty je

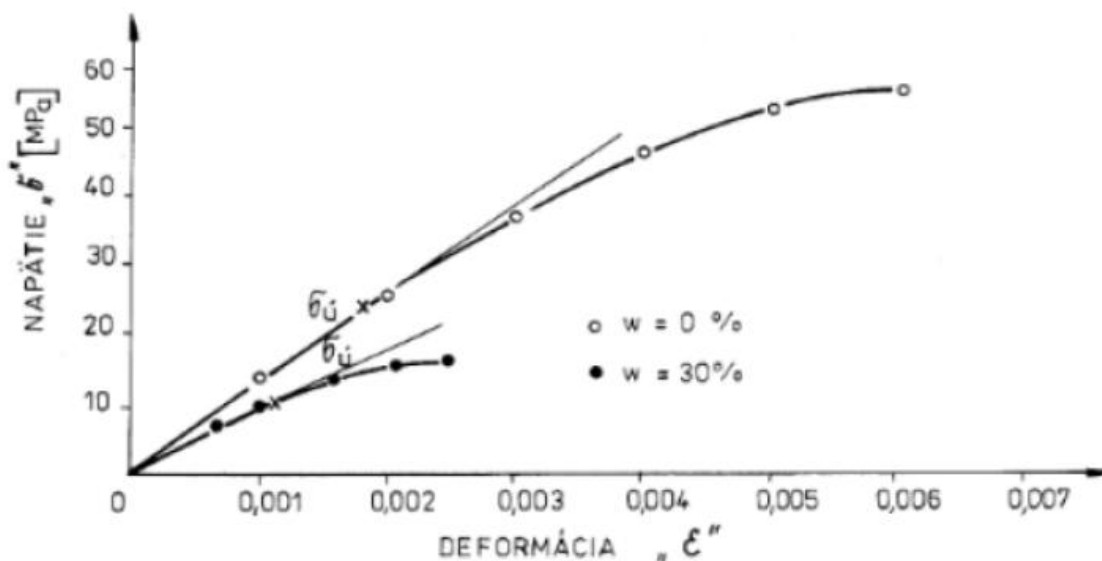
dále závislá na podílu mechanických částí dřeva a to podle zastoupení množství jarního a letního dřeva a šířky letokruhů (Kolařík a kol. 2005; Gorg Blanc 2001).

1.7.2 Vlhkost dřeva

Vlhkost dřeva se vyjadřuje v % obsahu vody ve dřevě. Vypočítává se poměrem hmotnosti vody k hmotnosti absolutně suchého dřeva. Absolutní vlhkost se pohybuje mezi 30-300%, záleží ovšem na závislosti na druhu a na místě odebraného vzorku. Vlhkosti jsou rozdílné jak u listnatých, tak i u jehličnatých dřevin. Vysoký obsah vody ve dřevě nemálo ovlivňuje mechanické vlastnosti dřeva. Jestliže vlhkost dřeva klesne pod bod nasycení vláken vodou, tak objem dřeva se zmenší (Požgaj a kol., 1997).

Voda uvnitř dřeva se vyskytuje ve třech formách a to ve formě vázané, v chemicky vázané formě a ve volné (kapilární) formě. Voda vázaná je pro mechanické chování dřeva dosti podstatná. Váže se na vazebná místa vodíkových můstků. Při vřazení molekul vody do chemické vazby přes vodíkový můstek nastane zeslabení chemické vazby. Chemicky vázaná forma vody ve dřevě je součástí látek, které vytváří dřevo. Na mechanické vlastnosti však nemá vliv. Forma volné vody ve dřevě se kondenzuje v lumenu buňky a v mezibuněčném prostoru buňky. Na mechanické vlastnosti stejně jako chemicky vázaná voda nemá vliv, protože neporušuje chemické vazby. Voda volná pouze zvyšuje hustotu dřeva (Kolařík a kol. 2005; Gorg Blanc 2001).

Ztráta vody v buněčných stěnách zajišťuje zvyšování pružnosti a pevnosti dřeva. Vliv obsahu vázané vody ve dřevě se zkoumá především z důvodu použití dřeva do stavitelství (Kolařík a kol., 2005).



Obrázek 3.: Vliv vlhkosti dřeva na mechanické vlastnosti v tlaku podél vláken

1.7.3 Houževnatost dřeva

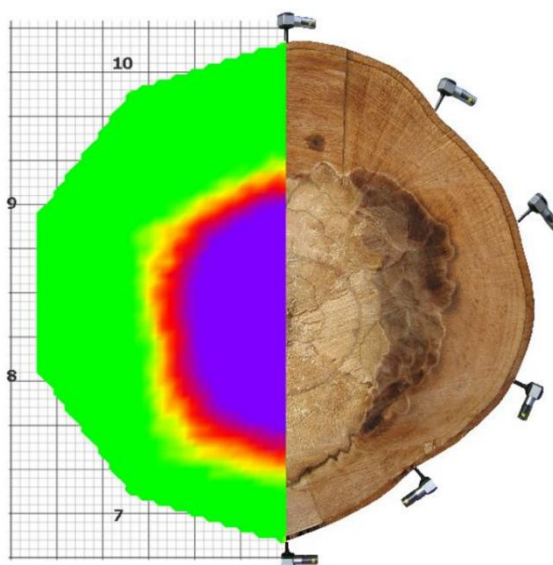
Houževnatost dřeva je mechanickou prací, která se musí spotřebovat, aby došlo k plastickému zdeformování dřeva. Můžeme lze říci, že houževnatost je rázová pevnost dřeva, která nám vyjadřuje, jaká je odolnost dřeva proti nárazům a zatížením. Houževnatost buď statickou anebo dynamickou zjistíme pomocí zatížení, které se přenáší kolmo na podélnou osu vláken, tím tak vzniká ohyb. Houževnatost má velice úzký vztah k plastičnosti. Přítomnost vad ve dřevě silně ovlivňuje houževnatost dřeva.

1.8 Akustická tomografie

Akustická tomografie je v současnosti hojně používaná metoda pro zjišťování vnitřního stavu stromu. Pomocí použití akustického tomografu (Fakopp) zjistíme, co se skrývá pod kůrou stromu, můžeme tak odhadnout skrytý defekt, který není jasně viditelný při pohledu na strom (Kolařík a kol., 2005).

Přístroj pracuje na soustavě sond, které jsou na sebe postupně propojeny. Sondy se instalují rovnoměrně po obvodu kmene. Jednotlivé sondy se vícekrát poklepají kladivem, po úderu do sondy se vyšle zvukový signál, který zachytí ostatní sondy. Přístroj zachycená data ihned zasílá do počítače s programem ArboSonic 3D. Program zachycená data matematicky zpracuje a vypracuje průřezový modul kmene, na kterém

je možné vidět například rozsáhlost defektu a velikost zbytkové stěny (Požgaj a kol., 1997).



Obrázek 4.: Testovaný průřez kmene z pohledu tomografu a skutečného poškození

2 Metodika

2.1 Javor mleč - *Acer platanoides*

Javor mleč je středně velký strom s košatou korunou, dorůstá do výšky až 30 metrů a jeho přímý kmen dosahuje průměru až 1 metru. Vzhledem k tomu, že javor mleč má ve své kořenové soustavě krátký kůlový kořen, na který navazuje řada bočních kořenů, které nerostou moc daleko od kmene, tak i to mu stačí, aby jeho odolnost proti silnému větru byla dostatečná a nedošlo tak k vývratu celého stromu. Kmen má šedohnědou borku, která se v pozdějším věku jemně brázdí.

Nejlepší a nejčastější místa výskytu javoru mleče jsou místa, kde je jak vyšší půdní vlhkost, tak i vyšší vzdušná vlhkost. Dobře snáší zastínění a je odolný k nízkým teplotám sahajícím níže pod nulu. Patří mezi častě se vyskytující dřeviny Evropy. Vyhovují mu spíše nížinná, údolní a pahorkatá stanoviště, při příznivých klimatických polohách se občas vyskytne i ve vyšších polohách do nadmořské výšky 1300 metrů nad mořem. Většinou se vyskytuje buď jako solitér, anebo v malých skupinkách, v lesích se nachází ojedinelé.

Listy javoru mleče jsou 5 až 7 laločnaté. Lícová strana na listu je tmavě zelená a rubová strana listu má světlejší zbarvení. Samotný list je na poměrně dlouhém řapíku, který je vstřícně uložen na větvi. Z řapíku, který se odtrhl od větve, vytéká bílá hustá mleč. Laloky jsou vykrajovaně zubaté a dlouze zašpičatělé, zářezy do laloků jsou celokrajné a zaokrouhlené. Vzprámené latnaté květenství se u mleče rozkvétá dlouho před vyrašením listů. Květy jsou jednopohlavné i oboupohlavné. Plodem jsou křídlaté dvounažky nasazené v úhlu 160° a jsou rovnovážně odstáté (Větvička, 2005; Úradníček a kol., 2009; Bruno P. Kremer, 1995).

Dřevo javoru patří do skupiny dřevin s bělovým dřevem, které obsahuje nepravé jádro a má roztroušeně pórovitou stavbu. Na dřevě jsou často viditelná očka (zarostlé pupeny). Barva dřeva je žlutá až hnědobílá. V tangenciálním směru je dřevo lesklé a velice dekorativní. Na radiálním řezu jsou letokruhy dobře znatelné. Hustota javoru se pohybuje okolo 630 kg·m⁻³, hustota není u jednotlivého taxonu stejná, ale může se lišit v závislosti na samotném jedinci. Javorové dřevo má dobrou pevnost jak v tlaku, tak

i v ohybu, má však nízkou tuhost a rázovou houževnatost. Nevýhodou javorového dřeva je jeho menší trvanlivost (<http://prace-se-drevem.spibi.cz/>; <http://ldf.mendelu.cz/>).

2.2 Habr obecný - *Carpinus betulus*

Habr svou maximální vzrůstnou výškou dosahuje výšky až 25 metrů a dorůstá průměru kmene až 1 metru, takového vzrůstu však dosahuje velmi vzácně a ojediněle. Kmen má po průřezu nepravidelně oválný. Při pohledu na kmen staršího jedince je vidět svalcovitost (pokřivení) dřeva (Bruno P. Kremer, 1995). Většina habrů dorůstá nižšího vzrůstu a jeho tvar tak dostává keřovitý vzhled. Pro svůj nízký vzrůst, keřovitý vzhled a dobré snášenlivosti stříhu nebo řezu (i vícekrát za rok) se často využívá do živých plotů (Andreas Bärtels, 2009; Bruno P. Kremer, 1995).

Vyhovují mu spíše hlubší, vlhčí a kypřejší stanoviště v údolí a na stinných místech. Nepohrdne však ani suššímu a slunnému stanovišti na vysychavém podloží. Je odolný vůči klimatickým změnám a dobře snáší mrazy. Vyhýbá se ale přemokřenému, rašelinnému a na obsah chudému a kyselému podkladu. Habr je hojně rozšířen v jihovýchodní, střední a západní Evropě. V české republice roste v listnatých porostech a zasahuje téměř i do všech pahorkatin. Sestupuje spíše do nižších poloh, které se nachází pod pásmem buku. Jeho výskyt se začleňuje do rozmezí nadmořské výšky 200 až 700 metrů nad mořem (Úradníček a kol., 2009).

Habitus habrů bývá často metlovitý. Silné kořeny se zprvu natahují při povrchu horní vrstvy zeminy a poté se postupně otáčejí do spodních vrstev půdy a tvoří tak srdčitý kořenový systém. V mělkých půdách je právě srdčitý kořenový systém nevhodný a dochází při něm k občasným vývrátům celého stromu. Habr je jeden z mála dřevin, které velmi dobře snáší řez a jeho schopnost vytvářet nové výmladky je také vysoká.

Zakřivené letorosty šedohnědé zbarvení na sobě mají hnědé pupeny, které jsou pokryty brvitými šupinami přitisknutými k letorostu, pupeny mají kuželovitý a zašpičatělý tvar. Podlouhlé listy o velikosti 5 až 10 centimetrů jsou střídavě postavené. Okraj listu je dvojitě pilovitý, špička listu je zašpičatělá a báze listu je zaokrouhlena, někdy je až mírně srdčitá. Habr je jednodomá dřevina, to znamená, že na jednom jedinci se nachází obě pohlaví. Květy jsou od sebe pohlavně odděleny. Samčí jehnědy dosahují

velikosti až 6 centimetrů a samičí jehnědy mají až 12 centimetrů. Plodem habru je zploštělý srdčitý oříšek s trojlaločným podpůrným listenem (Úradníček a kol., 2009).

Dřevo habru patří k jednomu z nejtvrděších dřev, které se mezi dřevinami české republiky vyskytuje. Patří mezi bělová dřeva a má roztroušeně pórovitou stavbu. Dřevo má šedobílou až žlutobílou barvu. Na radiálním řezu jsou zvlněné letokruhy málo zřetelné. Na podélných řezech je bez lesku. Hustota habru je větší než $750 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, hustota není u jednotlivého taxonu stejná, ale může se lišit v závislosti na samotném jednotlivci. Habrové dřevo má vysokou pevnost v tlaku i v ohybu, má střední tuhost a rázovou houževnatost. Mezi dobré vlastnosti dřeva dále patří i výborná smyková pevnost. Jedinou nevýhodou habrového dřeva je, že jeho jádrové dřevo je málo trvanlivé (<http://prace-se-drevem.spibi.cz/>; <http://ldf.mendelu.cz/>).

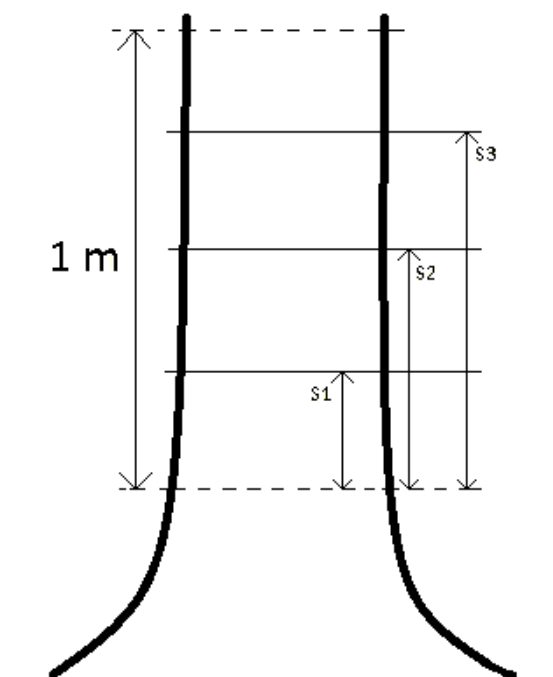
2.3 Akustické měření přístrojem Fakopp ArborSonic 3D

Pro měření akustické rychlosti ve dřevě a mechanických vlastností dřeva bylo třeba pořídit materiál, který se musel hned po pokácení stromu označit. Pokácený kmen se označil podle orientace světových stran buď barevným značkovacím sprejem, nebo se na kmen z určité světové strany nařízla značka jedné ze světových stran. Tím tak bylo při dalším zpracování jasné, jak kmen vzhledem k světovým stranám rostl. Kmen se postupně rozřezal (zmanipuloval) na metrové výřezy (špalky). Jednotlivé špalky se číselně označily podle umístění ve výšce na kmeni.

Označené špalky se převezly k dalšímu procesu ve zpracování. Před samotným měřením v univerzálním zkušebním stroji se jednotlivé čerstvé metrové výřezy měřily akustickým tomografem značky Fakopp (více na <http://www.fakopp.com/site/>).

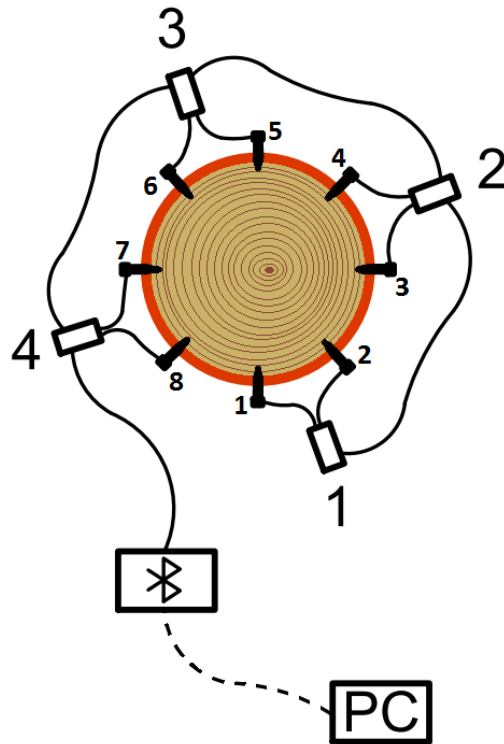
Přístroj Fakopp 3D ve svém funkčním balení obsahuje snímače (senzory), které vysílají a přijímají akustický zvuk. Snímače jsou drátem propojeny přes rozvodné boxy, které na sebe sériově navazují a vyústíují v jednom centrálním boxu. Dále balení Fakopp 3D obsahuje posuvné měřítko pro měření vzdáleností (poloh) snímačů; svinovací metr nebo pásmo pro měření obvodu v měřeném průřezu kmene; gumovou palici pro instalaci snímačů do špalku a ocelové kladivo pro vyvolání akustického signálu po úderu do snímače.

Postup pro měření akustického signálu ve špalku byl následující. U špalku se změřila jeho celková výška, ta se vydělila čtyřmi, abychom dostali výšku (vrstvu) do které se budou sondy na měření tomografem umisťovat. V jednotlivých vrstvách se měřilo vždy stejným způsobem a vždy v počtu osmi snímačů.



Obrázek 5.: Nákres rozložení vrstev měření v jednom špalku

Před samotným měřením se muselo sériově propojit všech osm snímačů přes propojovací boxy do koncového boxu. První a druhý snímač se připojil do prvního propojovacího boxu, třetí a čtvrtý snímač se připojil do druhého propojovacího boxu, pátý a šestý snímač se připojil do třetího propojovacího boxu a také sedmý a osmý snímač se připojil do čtvrtého propojovacího boxu. Každý propojovací box se propojil s po sobě jdoucím propojovacím boxem, takže první s druhým, druhý s třetím a třetí s čtvrtým propojovacím boxem. Čtvrtý propojovací box se nakonec spojil s koncovým boxem, v kterém je zabudované bluetooth komunikující s tabletem nebo s počítačem. V počítači musí být nainstalovaný a správně fungující program ArborSonic 3D (<http://www.fakopp.com/site/fakopp-3d>).



Obrázek 6.: Schéma zapojení snímačů do propojovacích krabic

U každé vrstvy se změřil obvod, který se ihned zadal do kolonky obvodu v programu ArborSonic 3D. Do dalších kolonek v programu se také zadává tloušťka borky a hloubka zatlučení hrotu snímače do dřeva. V programu bylo ještě třeba zadat přibližný tvar měřeného průřezu kmene. Zadaná délka obvodu se v programu přepočítala a určila nám, v jakých odstupech od sebe budou nainstalovány jednotlivé snímače. U měřených vrstev vzorku javoru byl radiální průřez špalkem téměř vždy kulatý a byly na něm minimální propadliny či výčnělky. U dřeva habru, který má tvar kmene nerovnoměrně kulatý díky svému charakteristickému svalcovitému růstu se muselo umístění instalovaných snímačů jednotlivě přepočítat a následně nainstalovat do měřené vrstvy u špalku. Rovnoměrně nainstalované snímače se musely vzájemně přeměřit posuvným měřítkem a jednotlivé vzdálenosti zapsat do programu.

Před samotnou instalací (zaklepaním) hrotu snímače pomocí gumové palice do špalku se vždy ujistíme, jestli máme snímače a propojovací boxy správně číselně propojeny. Pokud by došlo k záměně některého ze snímačů, případně propojovacího boxu, nastalo by zkreslení tomografických výsledků. Skutečnost případného rozsahu defektu, která se skrývá uvnitř špalku, by tak nemusela být pravdivá.

Instalace snímačů do špalku začíná připevněním prvního snímače. První snímač se umísťuje do místa, kde je špalek označen značkovacím sprejem anebo zářezem od motorové pily, toto označení nám říká, jak byl špalek ve skutečnosti orientován ke světovým stranám. Označení na špalku nám vždy zobrazuje světovou orientaci na sever. Další snímače se na výřez špalku připevňují ve vzdálenostech, které nám určil program ArborSonic 3D podle zadaného obvodu v místě měření. Snímače se připevňují do takové hloubky, aby odpovídala takové hloubce, která se zadala do programu ArborSonic 3D. Správnost dobře připevněných snímačů se pozná, že se snímač při pokusu o otočení nepohne.

Před samotným spuštěním měření v programu ArborSonic 3D přidáme výšku měřené vrstvy a po kontrole správnosti propojení a ověření funkčnosti všech komponentů přístroje Fakopp zapneme spínač bluetooth na koncovém boxu a v počítači necháme načíst přístroj Fakopp. Jakmile počítač zobrazí, že je zařízení načteno, tak železným kladívkem můžeme začít pomocí úderu na snímač vyvolávat akustický signál. Na jednotlivé údery do snímačů nás může počítač upozornit pomocí vydání krátkého tónu, tato funkce však musí být nastavena v programu a musí být také zapnuty zvuky na počítači. Do každého snímače udeříme alespoň pětkrát. Po změření vypneme koncový box a ještě v programu ArborSonic 3D vypneme vyhledávání bezdrátového zařízení. Dále pokračujeme v uspořádání dat v počítač, či v tabletu.

Data z měření, která se nám zobrazila v počítači, nejsou vždy stejná a může se tak mezi různými dvojicemi snímačů vyskytovat značná variabilita jejich hodnot. Chybné hodnoty, které nám počítač zobrazuje červeným vykřičníkem, překontrolujeme a vyhledáme ty hodnoty, které se nejvíce oddalují od středních (průměrných) hodnot. Nejvíce vzdálené hodnoty odstraníme. K chybným hodnotám dochází nejčastěji při různě velkém úderu do snímače. Pokud nám v tabulce zůstane méně jak tři naměřené hodnoty u jednoho snímače, tak musíme měření tohoto chybného snímače opakovat tak dlouho, dokud nebudou data správná. Pokud jsou všechna data v pořádku a nezobrazuje se nám u nich nikde červený vykřičník, tak u měřeného špalku založíme novou vrstvu s další výškou a opakujeme celé měření. Jestliže máme změřený celý špalek, tak celé měření uložíme a pokračujeme v měření dalších špalků stejným způsobem.

2.4 Porovnání naměřené rychlosti signálu s literaturou

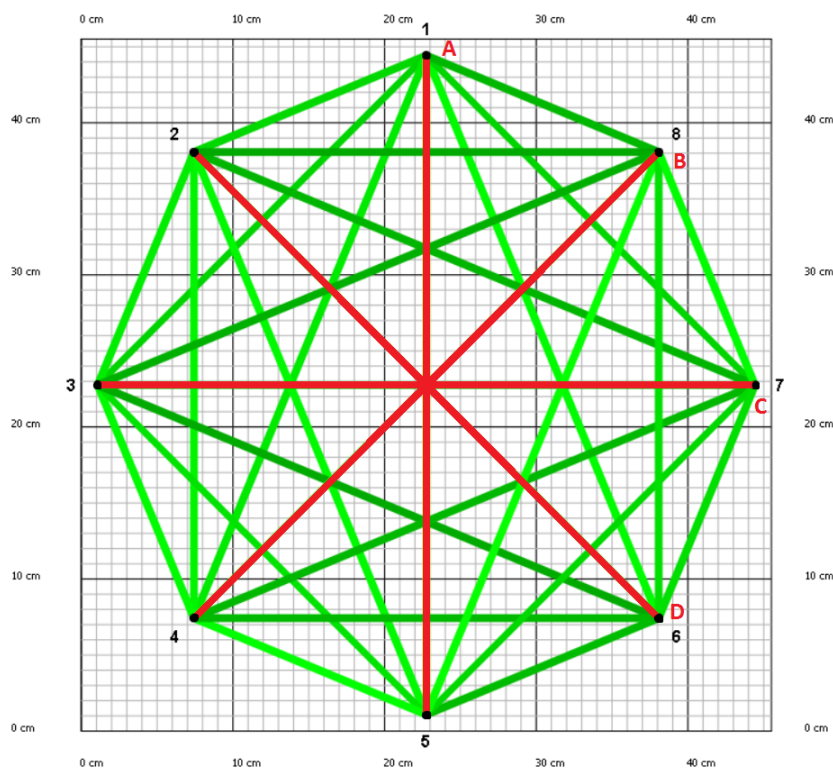
Porovnávání všech naměřených hodnot rychlostí z měření akustického signálu ve dřevě javoru se porovnávalo pomocí jednovýběrového t-testu.

Naměřené hodnoty byly z čerstvého dřeva, hodnoty se musely přepočítat tak, aby odpovídaly hodnotám suchého dřeva. Vzorec a koeficient pro přepočet vyzkoumala Bucur (2011). Vypočet se provádí pomocí hodnoty rychlosti zvuku v čerstvém (mokrém) dřevě s vlhkostí nad mezí hygroskopicity, která se pouze vynásobí koeficientem 1,11. Výsledná hodnota je vlhkost suchého dřeva. Hranice vlhkosti u suchého dřeva je stanovena na 12%.

$$vlhkost_{12} = (vlhkost \geq 30) \cdot 1,11$$

Vzorec pro výpočet 12% vlhkosti.

K porovnávání byly použity hodnoty rychlostí ze všech měřených kmenů a ze všech vrstev. Z každé vrstvy byly vybrány čtyři hodnoty přímých směrů. Pro představu je možné si jednotlivé směry shlédnout na níže přiloženém obrázku. Celkem bylo měřeno v patnácti vrstvách, tudíž bylo naměřeno šedesát hodnot, které se vložily do jednovýběrového t-testu.



Obrázek 7.: Nákres směrů mezi snímači v průřezu kmene

T-test má za úkol testovat hypotézu, jestli námi naměřená data (náhodné výběry) mají stejnou střední hodnotu, ke které nám dopočítá jednotkový rozptyl a předpokládá normální rozdělení.

Platné případy = 60; případy s chybějícími hodnotami) = 0.

Proměnná	N	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl	Špičatost	S.E.Kurt	Špičatost	S.E.Skew
VAR001	60	1536,68	233,69	54612,4	0,6	0,61	-1,2	0,31

Tabulka 1.: Tabulka s platnými případy

Výsledná tabulka t-testu nám ukazuje hodnoty z šedesáti porovnávaných hodnot, kdy žádné hodnoty nebyly vyloučeny a nechybí tak. N (počet hodnot k porovnávání) je šedesát; střední hodnota tedy průměr se vypočítala na hodnotu 1536,68 m/s; směrodatná odchylka 233,69; rozptyl je 54612,36 m; špičatost 0,60; šikmost (-1,20); minimální hodnota 906,87 m/s; maximální hodnota 1824,84 m/s.

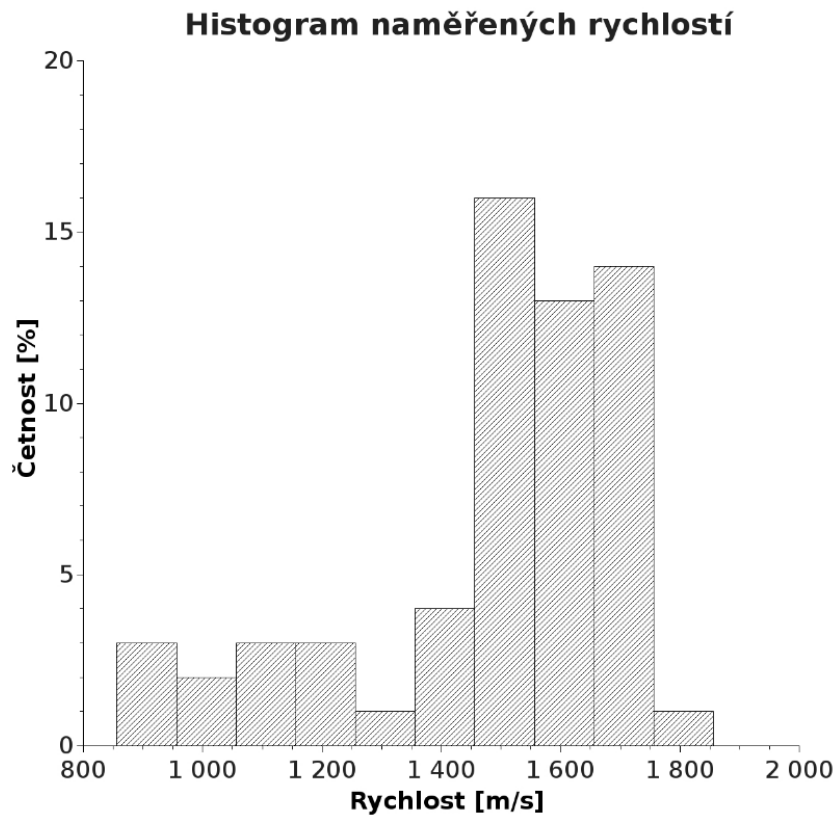
Jednovýběrový T-test

	Testová hodnota = 2252.00					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Průměrný rozdíl	99% interval spolehlivosti rozdílu	
					Nejnižší	Nejvyšší
VAR001	-23,71	59,00	0,00	-715,32	-795,62	-635,01

Tabulka 2.: Tabulka s jednovýběrovým testem

Tabulka s jednovýběrovým t-testem, kde pomocnou hodnotou na zjištění průměrného rozdílu a nejnižších a nejvyšších hodnot byla hodnota průměrné rychlosti šíření akustického signálu v suchém dřevě javoru, tuto hodnotu stanovil Bucur (2011). Podle pomocných vzorců a koeficientů, které Bucur (2011) představuje, jsem provedl přepočítání rychlosti šíření signálu z vlhkosti u čerstvého dřeva na rychlost šíření signálu v suchém dřevě. Výsledek rychlosti v suchém dřevě se přepočítal na průměrnou rychlost 2252 m/s, z této hodnoty se vypočítalo, že hodnota "t" je (-23,71); průměrný rozdíl (-715,32 m/s); z intervalu spolehlivosti rozdílu je nejnižší hranice (-795,62 m/s) a nejvyšší hranice je (-635,01 m/s).

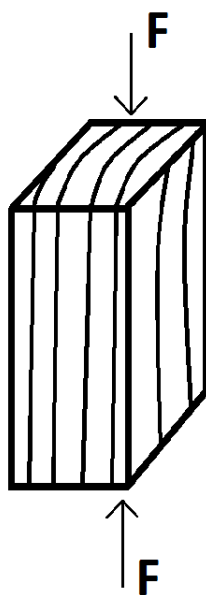
Při porovnání hodnoty šíření zvuku z literatury (Bucur, 2011), která je 2590 m/s a průměrné hodnoty 2252 m/s, které bylo mnou naměřené. Rozdíl mezi těmito dvěma hodnotami činí 388 m/s.



Graf 1.: Histogram naměřených rychlostí pomocí akustického tomografu Fakopp

2.5 Měření tlaku ve dřevě

Vzorky k měření tlaku v univerzální zkušební stroji Zwick se po změření tomografem musely rozřezat na malé kvádry o rozměrech 20x20x30 milimetrů.



Obrázek 8.: Směr tlaku s testovaným vzorku

Všechny vzorky pocházely z jednoho pokáceného stromu, z kterého bylo odebráno sedm kusů kulatiny (špalků). Každá odebraná kulatina měla odlišnou délku a logicky i průměr. Pro měření mechanických vlastností bylo využito pouze pět metrových kusů kulatin. Zbylé dvě kulatiny nebyly vysoké ani půl metru a obsahovali v sobě cizí látku (železo), které by mohlo při přípravě vzorků poškodit pilu. Tyto nevhodné špalky byly využity pouze k měření akustického signálu, jedná se o vzorky č.3 a č.6.

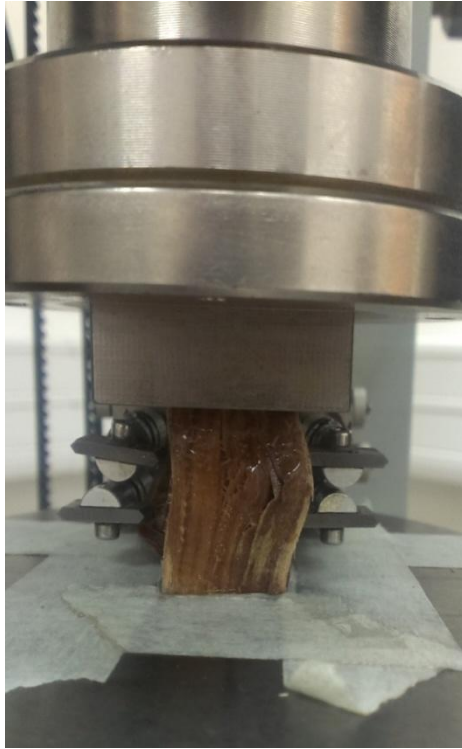
Každý špalek se musel rozřezávat tak, aby nedošlo k záměně orientace k předem označeným světovým stranám na špalku. Označené špalky ke světovým stranám jsou proto, abychom mohli zjistit, jak se mění mechanické vlastnosti dřeva v závislosti na orientaci světových stran. Vzorky pro měření tlaku se rozřezávaly pomocí pásové pily CTR420 na prizmy (hranoly) o tloušťce 30mm. Tloušťku 30mm jsme zvolili proto, jelikož v dalším kroku se hranoly zpracovávají na kotoučové pile. Plocha hranolu nařezaná na pásové pile nebyla ani z daleka vyhovující, i přes velmi citlivé práci s pásovou pilou se téměř v žádném případě nepodařilo uřezat zcela rovnou plochu a došlo tak k vytvoření prohlubně. Pro řezání čerstvého dřeva je nejlepší použít pilový pás s větší šířkou a s menším počtem zubů o větší velikosti. Na každý hranol se vždy tužkou napsalo, z jaké světové strany je orientován, z jakého je špalku a v jaké vzdálenosti od jádra se nacházel (čísla vzorků se směrem ke středu zvyšovala). V dalším kroku zpracování se jednotlivé hranoly, které musely být speciálně ortotropní (jeho mechanické vlastnosti musí být jedinečné a nezávislé na směrech tří vzájemně kolmých os). Popsané hranoly se pomocí kotoučové pily nařezaly na malé hranoly o délce 30x30mm. Každý nově nařezaný vzorek se ihned popsal podle orientace ke světové straně, z jakého špalku pocházel a v jaké vzdálenosti od jádra se nacházel (čísla vzorků se směrem ke středu zvyšovala). Jednotlivé malé vzorky se ještě ohoblovaly ze všech čtyř bočních stran tak, aby konečný vzorek k měření tlaku ve stroji Zwick měl rozměry 20x20x30mm. Po hoblování se muselo znovu přepsat původní popsání. V posledním kroku se nařezané a popsané vzorky vložily do uzavíratelné plastové krabice, která byla popsána podle čísla špalku. V krabici tak bylo možné vzorky namočit, aby neztrácely svou vlhkost a mohly se tak před samotným měřením namočit.

Při zpracovávání vzorků bylo nejdůležitější dbát na přesnou velikost řezaných vzorků a také na správné popsání orientace vzorku ke světovým stranám a na umístění ve špalku.

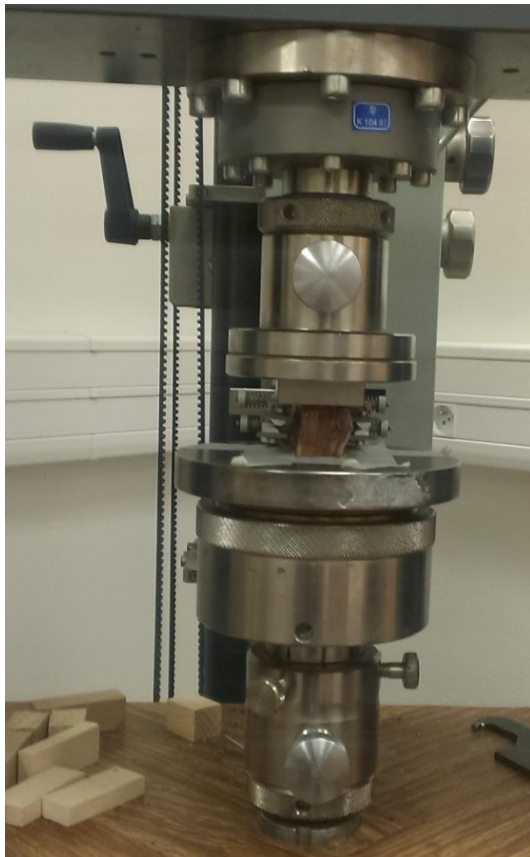


Obrázek 9.: Testovací vzorek pro měření tlaku 20x20x30mm

Před samotným měřením ve stroji Zwick, se do počítačového programu Zwick nakonfigurovalo nastavení pro výpočet pevnosti dřeva v tlaku. Dále se testované vzorky změřily posuvným měřítkem a zvažily na digitální váze, údaje o rozměrech a o váze se zadaly do příslušných kolonek v programu. Do dalších kolonek se připsalo označení podle orientace vzorku ke světové straně a s polohou vzorku v poloměru kmene (od středu ven). Po úspěšném zadání hodnot do programu se vzorek vložil do stroje Zwick. Vzorek se vložil pod nastavený vzorek na výšku. Po zapnutí činnosti stroje v programu se příčnick v přístroji posunul tak, aby se dotkl vzorku a zatížil ho zatěžovací silou 10N. Po zatížení silou 10N se v programu zobrazí tabulka, která nás upozorní na nastavení extenzometrů ke vzorku. Připojením extenzometrů se upozorňovací tabulka ztratila a tím tak vlastní měření započalo. Na monitoru počítače nám program zobrazoval aktuální zatížení vzorku a pracovní diagram zobrazoval křivku, která značila odolnost dřeva při vyvolávání tlaku na testovaný vzorek. Přednastavený pokles křivky o 20% po deformaci dřeva nám měření ukončil. Příčnick stroje se zvedl do výchozí polohy, připravil se nový vzorek k testování a mohlo započít další testování.



Obrázek 10.: Měření tlaku v přístroji Zwick Z 050



Obrázek 11.: Měření tlaku v přístroji Zwick Z 050

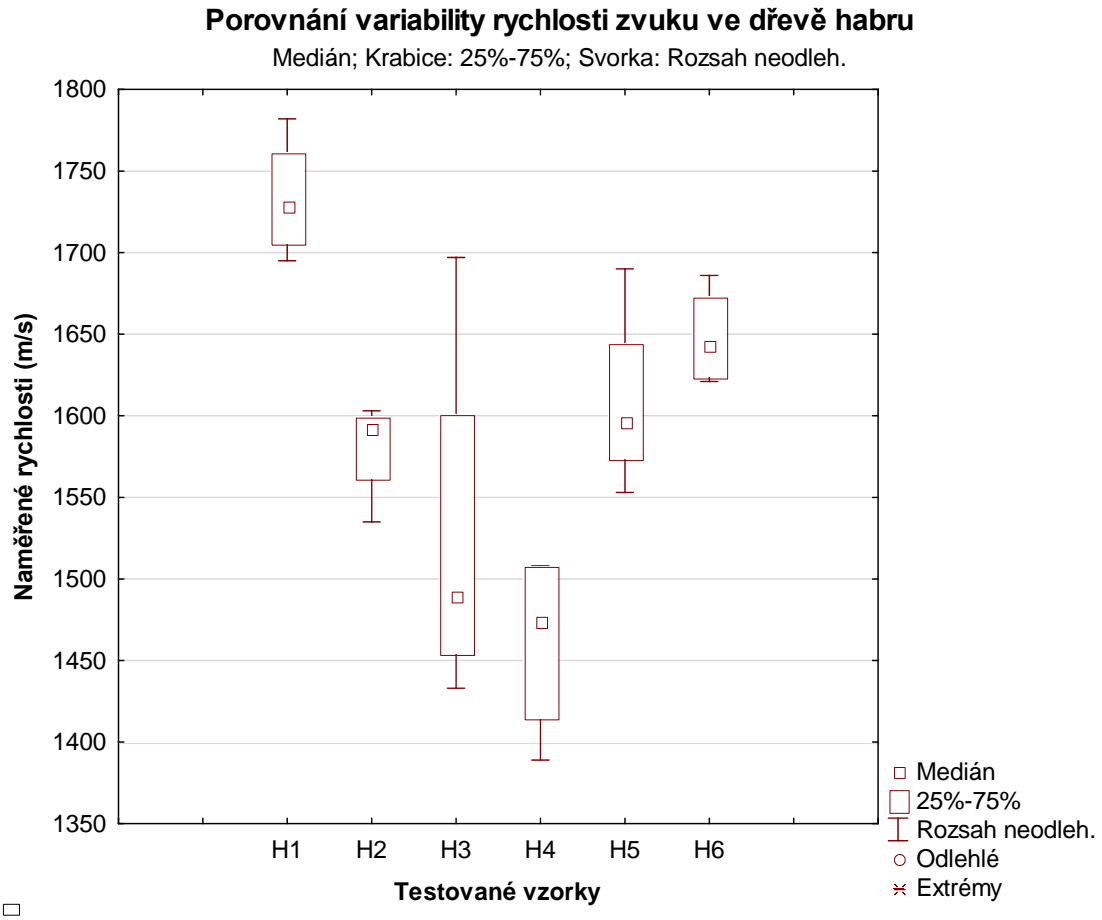
Univerzální zkušební stroj Zwick funguje na mechanickém pohybu horního příčnicku, který působí zatěžovací silou až 50kN. Rychlost posuvu horního příčnicku je možno nastavit v rozmezí 0,001 - 500 milimetrů za minutu.



Obrázek 12.: Univerzální zkušební stroj Zwick Z 050

3 Výsledky

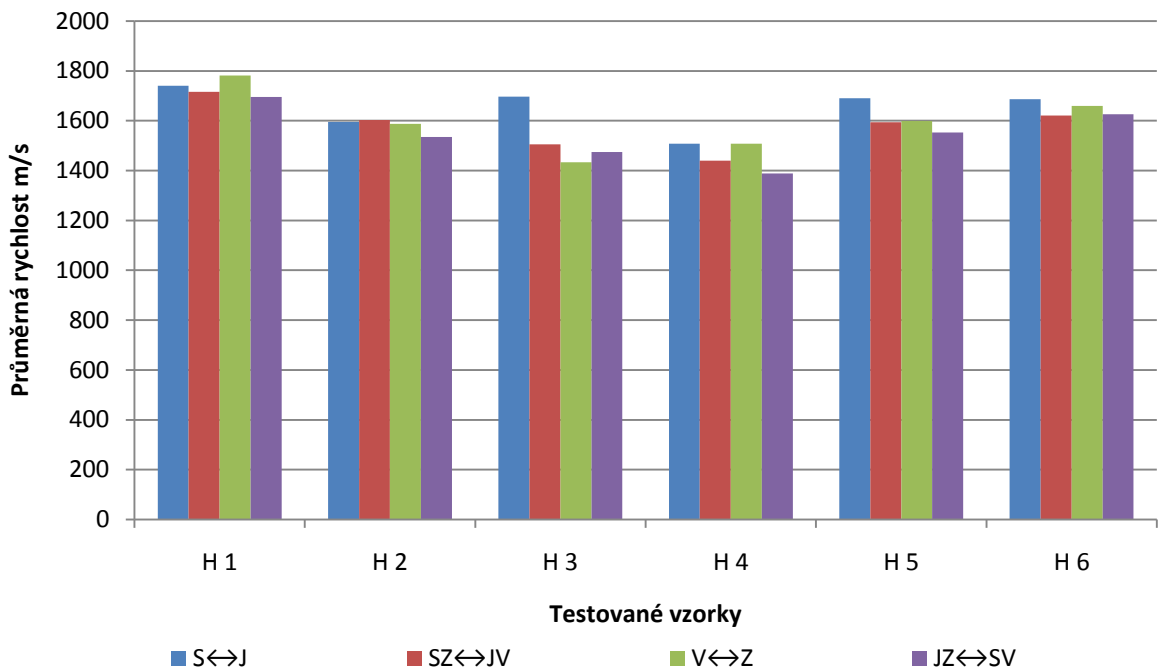
3.1 Porovnání rychlosti akustického signálu ve dřevě habru



Graf 2.: Krabicový graf pro porovnání variability rychlosti zvuku ve dřevě habru

Krabicový graf s rychlostí zvuku ve dřevě habru vykazuje, že u vzorku č.1 (H1) byla nejvyšší rychlost a nejnižší u vzorku (H4). Statisticky nejvýznamnějším vzorkem je v tomto grafu vzorek (H1). U vzorku (H3) je největší rozptyl hodnot, přičemž medián říká, že většina hodnot v tomto vzorku jsou hodnoty nižší.

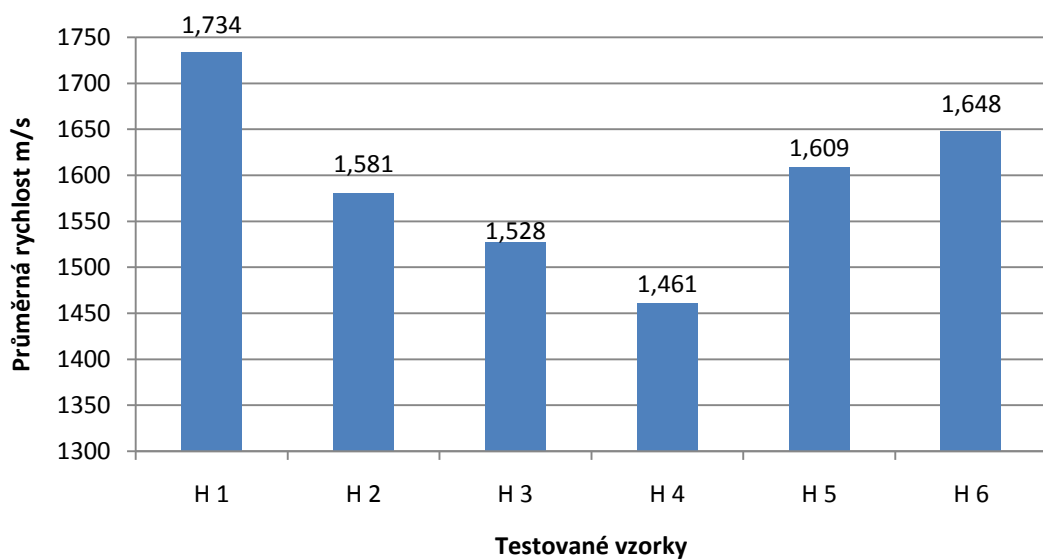
Porovnání variability rychlosti zvuku dle směrů ve dřevě habru



Graf 3.: Porovnání variability průměrů rychlostí zvuku dle směrů ve dřevě habru

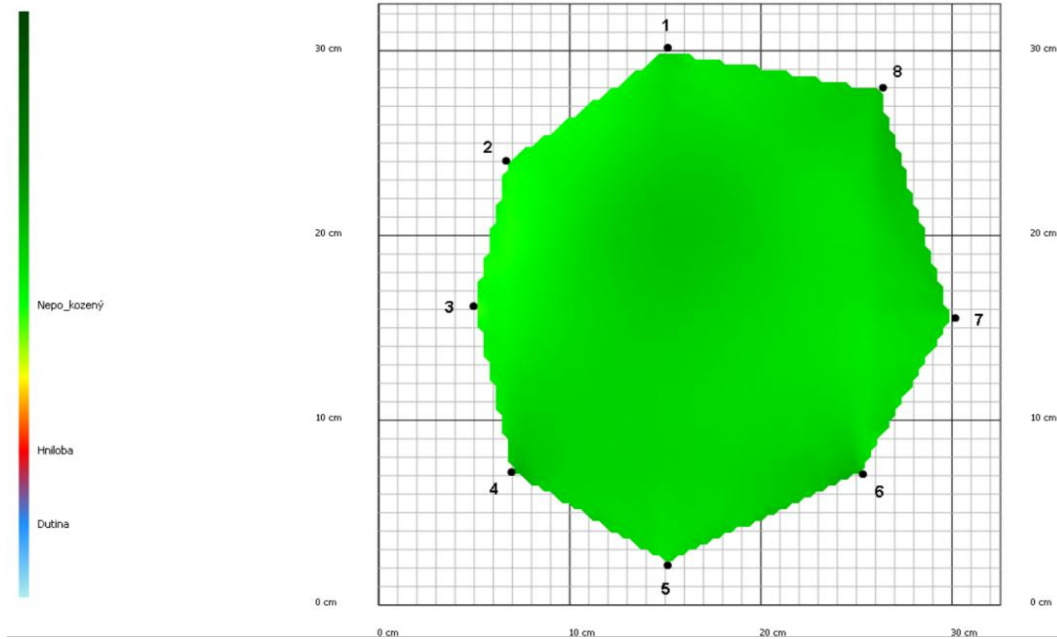
Graf s porovnáním variability rychlosti zvuku dle směrů ve dřevě habru zobrazuje průměrné rychlosti dle orientace světových stran v jednotlivých vzorcích (špalcích). Jednotlivé hodnoty v grafu č. 3 dosahují téměř stejných hodnot.

Průměr rychlostí dle jednotlivých vzorků u habru



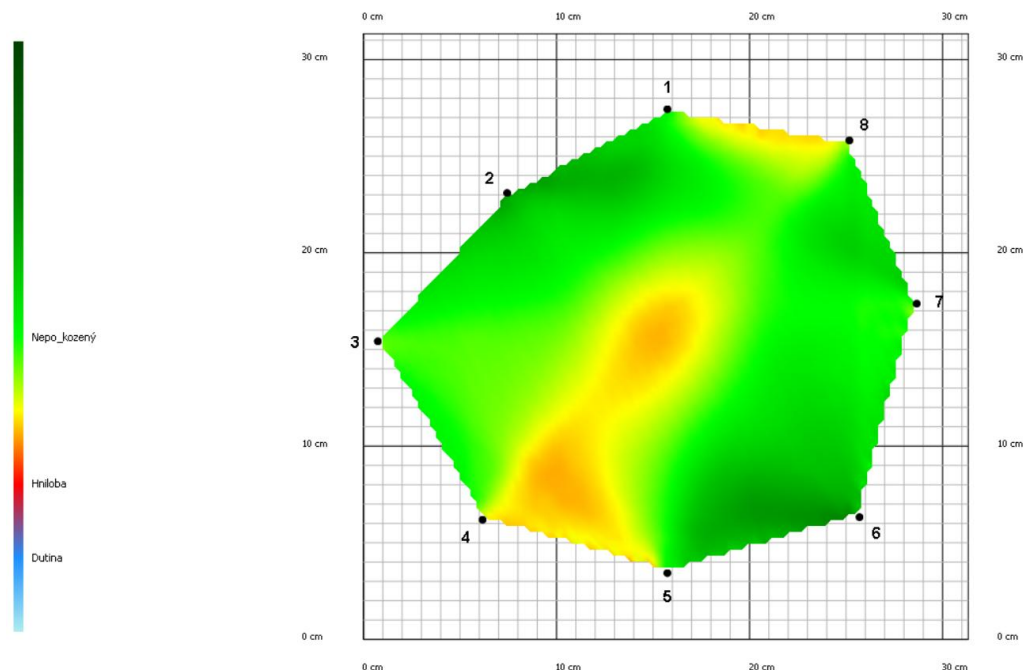
Graf 4.: Porovnání průměrných rychlostí ze všech směrů pouze u testovaného dřeva habru

Průměrné rychlosti odpovídají vnitřní stavbě dřeva ve vzorku. Lze říci, že u vzorku (H1) je rychlost zvuku nejrychlejší, tudíž dřevo není nijak porušené, viz obrázek č. 13. U vzorku (H4) je vyvíjející se defekt, kvůli kterému se zvuk nemůže šířit na přímo k protější sondě. Tím tak zvuk probíhá po letokruhu a rychlost se tak zpomaluje, viz obrázek č. 14.



Obrázek 13.: 2D mapa z programu ArborSonic 3D, vzorek habru č.1

Na obrázku č. 13 v druhé vrstvě není patrný žádný defekt, o dřevě habru ve vzorku (H1) můžeme říci, že je zdravé a neporušené.



Obrázek 14.: 2D mapa z programu ArborSonic 3D, vzorek habru č.4

Obrázek č. 14 ukazuje, že se v první vrstvě vzorku habru č. 3 vyskytuje defekt. Tento defekt také výrazněji snížil rychlost zvuku v radiálním řezu.

3.1.1 Habr v porovnání rychlostí s jednotlivými vrstvami v jednom vzorku dřeva pomocí analýzy rozptylu (Anova)

Při vyhodnocování Anovy přihlížíme na hodnotu P, ta nám vypovídá, jestli se daná analýza zamítá či nezamítá. Jestliže hodnota P je menší než 5% ($<0,05$), tak lze říci, že vliv faktoru existuje a tím tak zamítáme nulovou hypotézu H_0 . Jestliže hodnota P je větší než 5% ($>0,05$), tak nulovou hypotézu H_0 nezamítáme a vliv faktoru považujeme za neprokázaný.

**HABR
č.1**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	68774,25	6252,205	1,866036	0,20992
šum	9	30155	3350,528		
faktor	2	38620			

Tabulka 3.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku habru č.1

**HABR
č.2**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	42052,92	3822,992	1,501945	0,27362
šum	9	22908	2545,361		
faktor	2	19145			

Tabulka 4.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku habru č. 2

**HABR
č.3**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	261798,9	23799,902	1,518079	0,27033
šum	9	141099	15677,639		
faktor	2	120700			

Tabulka 5.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku habru č. 3

**HABR
č.4**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	76152,67	6922,97	1,267672	0,32731
šum	9	49151	5461,167		
faktor	2	27002			

Tabulka 6.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku habru č. 4

**HABR
č.5**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	13988,25	1271,659	0,97868	0,41249
šum	9	11694	1299,361		
faktor	2	2294			

Tabulka 7.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku habru č. 5

**HABR
č.6**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	180108,9	16373,54	4,073385	0,05499
šum	9	36177	4019,639		
faktor	2	143932			

Tabulka 8.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku habru č. 6

Z tabulek č. 3-8 lze říci, že všechny analýzy o rozptylu hodnot v porovnání s vrstvami se zamítá, to znamená, že vliv faktoru (vrstev) existuje. Nejmenší hodnotu P najdeme u habru č. 6. Tato nízká hodnota dále nijak neovlivňuje téma celé práce.

3.1.2 Habr v porovnání rychlostí s ohledem na orientaci ke světovým stranám v jednom vzorku dřeva pomocí analýzy rozptylu (Anova)

**HABR
č.1**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	68774,250	6252,205	1,000	0,4053
šum	9	56260	6251,111		
faktor	2	12514			

Tabulka 9.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku habru č. 1

HABR
č.2

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	42052,917	3822,992	1,031	0,3951
šum	9	33358	3706,444		
faktor	2	8695			

Tabulka 10.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku habru č. 2

HABR
č.3

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	261798,917	23799,902	1,534	0,2671
šum	9	139602	15511,333		
faktor	2	122197			

Tabulka 11.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku habru č. 3

HABR
č.4

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	76152,667	6922,970	1,353	0,3065
šum	9	46066	5118,444		
faktor	2	30087			

Tabulka 12.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku habru č. 4

HABR
č.5

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	79620,917	7238,265	1,316	0,3151
šum	9	49484	5498,222		
faktor	2	30137			

Tabulka 13.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku habru č. 5

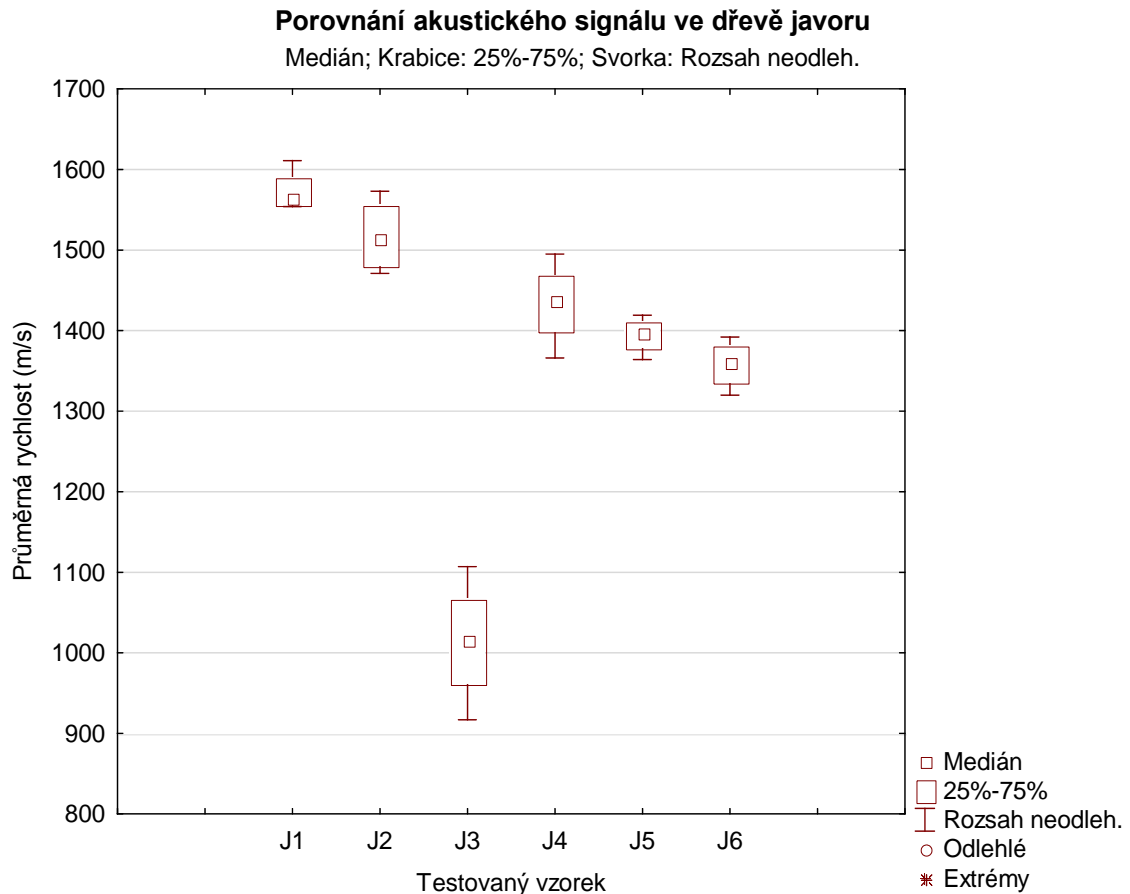
HABR
č.6

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	180108,917	16373,538	0,858	0,4561
šum	9	171795	19088,296		
faktor	2	8314			

Tabulka 14.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku habru č. 6

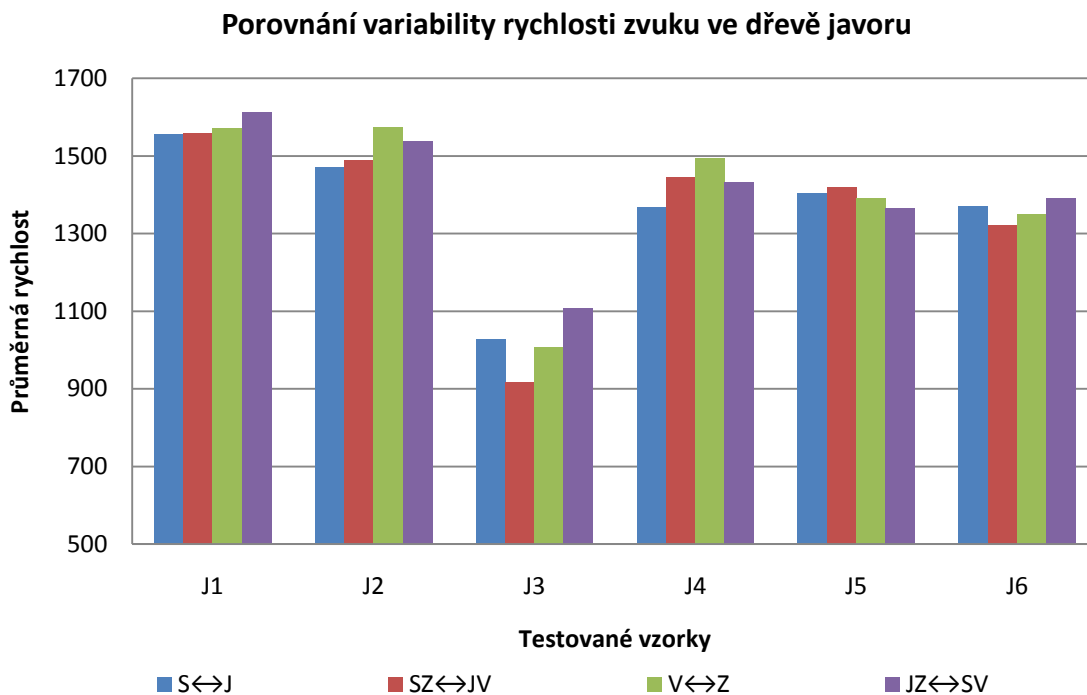
Tabulky č. 9-14 s hodnotami vykazují, že všechny analýzy o rozptylu hodnot v porovnání s hodnotami v jednotlivých směrech jsou zamítnuty, to znamená, že vliv faktoru (směrů) existuje.

3.2 Porovnání rychlosti akustického signálu ve dřevě javoru



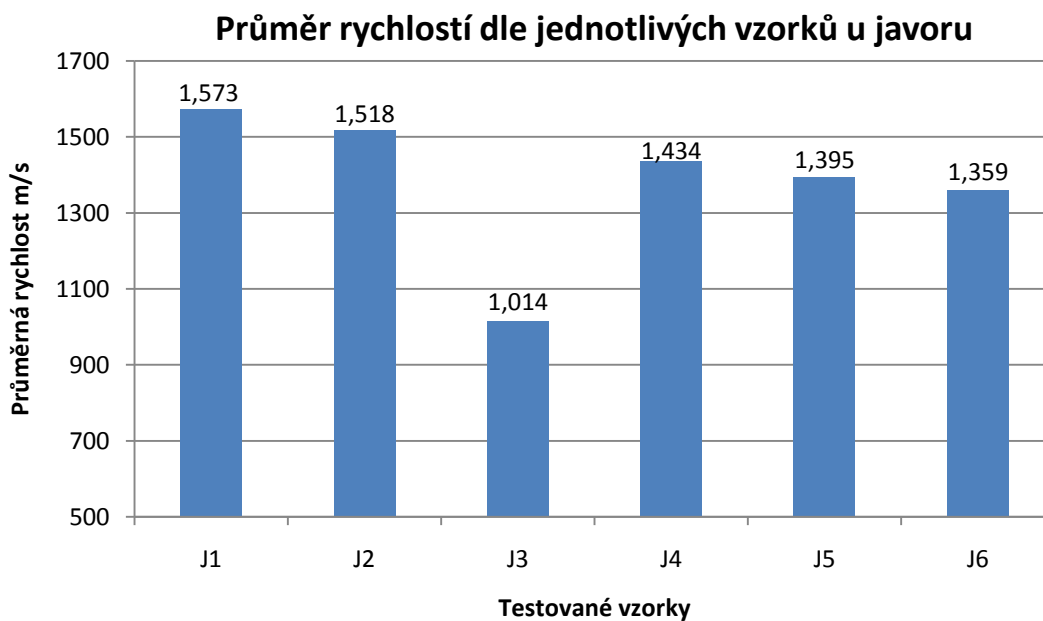
Graf 5.: Krabicový graf pro porovnání rychlosti šíření zvuku ve dřevě javoru

Krabicový graf s rychlostí zvuku ve dřevě javoru odpovídá tomu, že u vzorku č.1 (H1) byla nejvyšší rychlost a nejnižší u vzorku č. 4 (H4). Statisticky nejvýznamnějším vzorkem je v tomto krabicovém grafu vzorek č.3 (J3). U vzorku č.3 (J3) je nejen největší rozptyl hodnot, ale také jeho hodnoty jsou oproti ostatním vzorkům javoru nejmenší. Podle polohy mediánu v krabici vzorku č. 3 (H3) v krabicovém grafu lze říci, že většina hodnot v tomto vzorku je přibližně stejná.



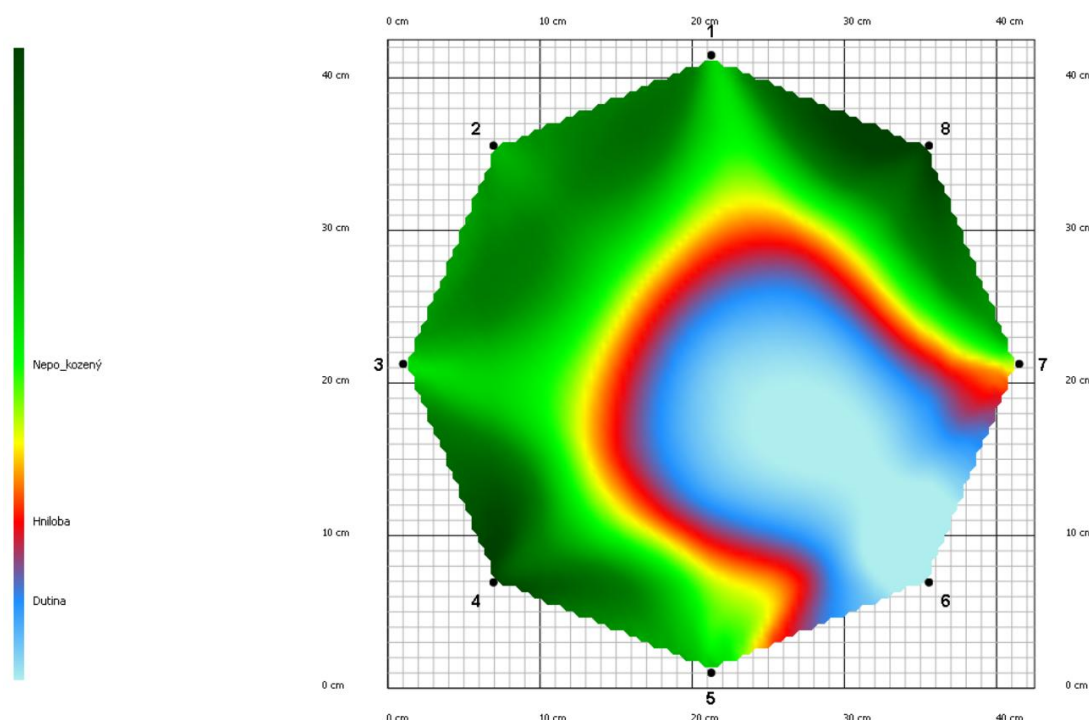
Graf 6.: Porovnání variability rychlosti zvuku ve dřevě javoru dle vrstev a vzorků

Graf s porovnáním variability rychlosti zvuku dle směrů ve dřevě javoru zobrazuje průměrné rychlosti dle orientace světových stran v jednotlivých vzorcích (špalcích). Jednotlivé hodnoty v grafu č. 6 dosahují téměř stejných hodnot vyjma vzorku č. 3 (J3).



Graf 7.: Srovnání průměrných rychlostí ze všech směrů ve dřevě javoru

Z grafu lze říci, že z šesti testovaných vzorků se od průměrné hodnoty nejvíce odlišuje vzorek č.3. Vzorek č.3 se od ostatních odlišuje kvůli jeho anatomické stavbě a přítomnosti rozsáhlé dutiny uvnitř kmene.



Obrázek 15.: 2D mapa z programu ArborSonic 3D, vzorek javoru č.3

3.2.1 Javor v porovnání rychlostí s jednotlivými vrstvami v jednom vzorku dřeva pomocí analýzy rozptylu (Anova)

Při vyhodnocování Anovy přihlížíme na hodnotu P, ta nám vypovídá, jestli se daná analýza zamítá či nezamítá. Jestliže hodnota P je menší než 5% ($<0,05$), tak lze říci, že vliv faktoru existuje a tím tak zamítáme nulovou hypotézu H_0 . Jestliže hodnota P je větší než 5% ($>0,05$), tak nulovou hypotézu H_0 nezamítáme a vliv faktoru považujeme za neprokázaný.

JAVOR č.1

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	13988,250	1271,659	0,979	0,4125
šum	9	11694,250	1299,361		
faktor	2	2294,000			

Tabulka 15.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku javoru č. 1

**JAVOR
č.2**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	38818,917	3528,992	1,369	0,3026
šum	9	23196,750	2577,417		
faktor	2	15622,167			

Tabulka 16.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku javoru č. 2

**JAVOR
č.3**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	161263,667	14660,333	1,035	0,3939
šum	9	127468,500	14163,167		
faktor	2	33795,167			

Tabulka 17.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku javoru č. 3

**JAVOR
č.4**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	66786,917	6071,538	1,003	0,4042
šum	9	54459,750	6051,083		
faktor	2	12327,167			

Tabulka 18.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku javoru č. 4

**JAVOR
č.5**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	7	11571,875	1051,989	0,032	0,9686
šum	9	296078,000	32897,556		
faktor	1	-284506,125			

Tabulka 19.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro vrstvy u vzorku javoru č. 5

Z tabulek č. 15-19 lze říci, že všechny analýzy o rozptylu hodnot v porovnání s vrstvami se zamítají, to znamená, že vliv faktoru (vrstev) existuje.

3.2.2 Javor v porovnání rychlostí s ohledem na orientaci ke světovým stranám v jednom vzorku dřeva pomocí analýzy rozptylu (Anova)

**JAVOR
č.1**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	180108,917	16373,538	0,858	0,4972
šum	9	171795	19088,296		
faktor	3	8314			

Tabulka 20.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku javoru č. 1

**JAVOR
č.2**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	38818,917	3528,992	1,645	0,2473
šum	9	19313	2145,852		
faktor	3	19506			

Tabulka 21.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku javoru č. 2

**JAVOR
č.3**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	161263,667	14660,333	1,240	0,3513
šum	9	106417	11824,074		
faktor	3	54847			

Tabulka 22.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku javoru č. 3

**JAVOR
č.4**

ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	11	66786,917	6071,538	1,314	0,3289
šum	9	41581	4620,148		
faktor	3	25206			

Tabulka 23.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku javoru č. 4

**JAVOR
č.5**

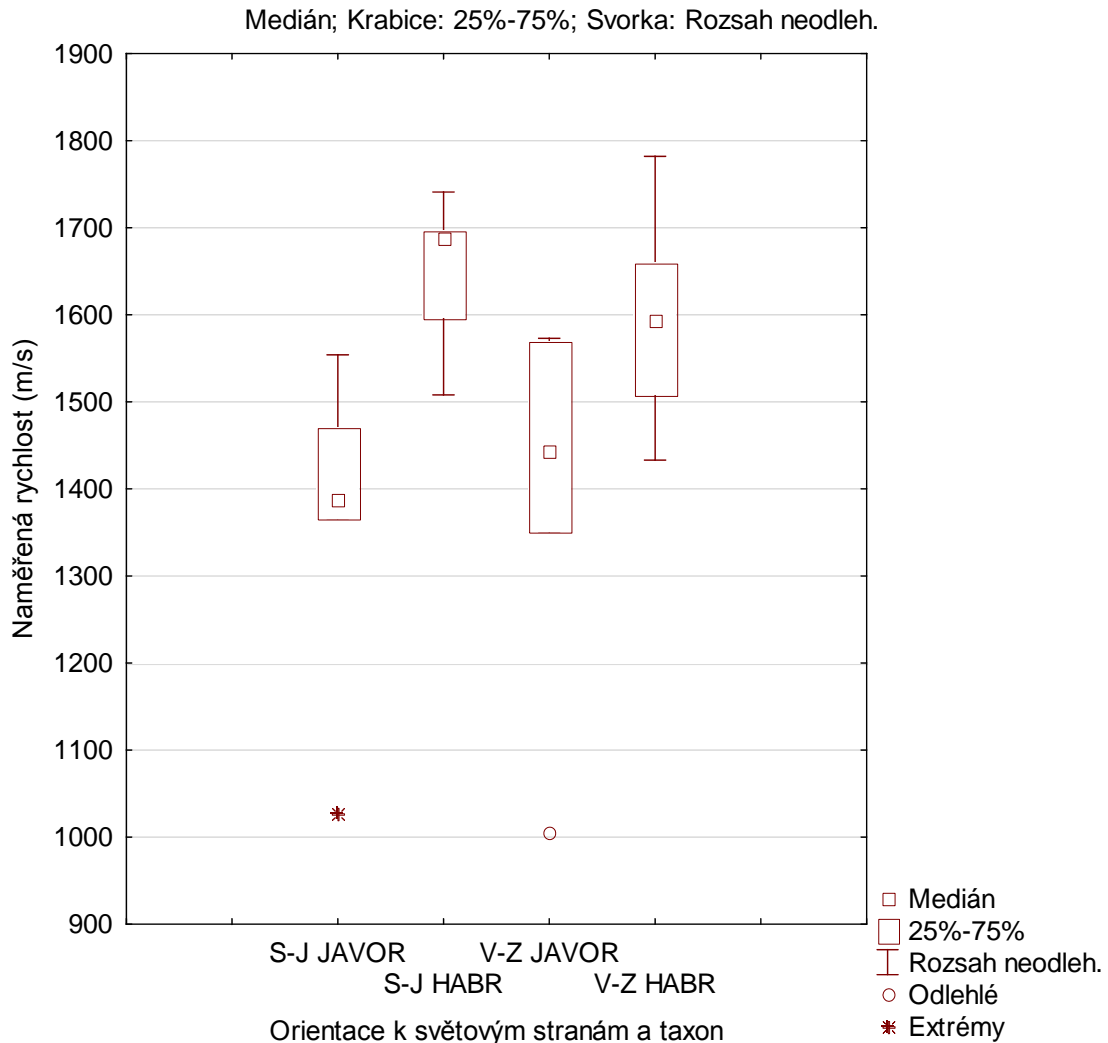
ANOVA					
	DF	SS	MS	F	P
celkem	7	11571,875	1653,125	1,790	0,2190
šum	9	8313	923,611		
faktor	3	3259			

Tabulka 24.: Analýza rozptylu (ANOVA) pro orientaci ke světovým stranám u vzorku javoru č. 5

Tabulky č. 20-24 nám říkají, že analýzy o rozptylu hodnot v porovnání s hodnotami v jednotlivých směrech jsou zamítnuty, to znamená, že vliv faktoru (směrů) existuje.

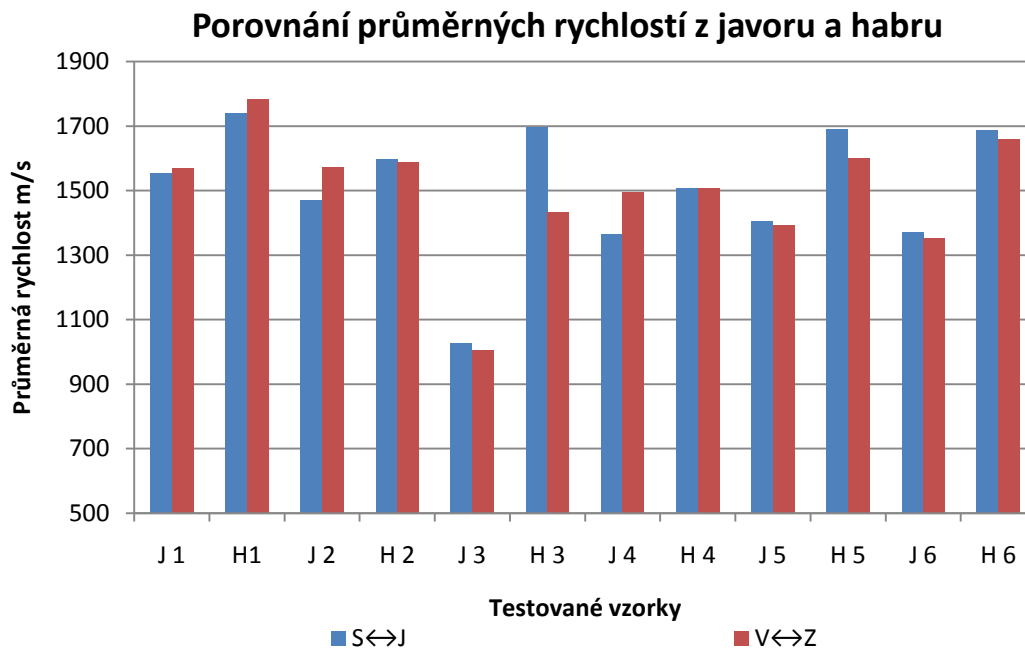
3.3 Porovnání rychlosti akustického signálu ve dřevě javoru a habru

Porovnání akustického signálu u jaboru a habru s ohledem na orientaci ke světovým stranám



Graf 8.: Porovnání akustického signálu u dřeva javoru a habru s ohledem na orientaci ke světovým stranám

Z krabicového grafu lze říci, že při porovnání vzorků podle taxonů a samotné orientaci ke světovým stranám má nejvíce odlehlé hodnoty vzorek javoru. Odlehlé hodnoty nastaly kvůli přítomnosti defektu ve dřevě javoru. Vzorek habru moc odlehlé hodnoty nemá, jelikož jeho rozptyl hodnot je malý.



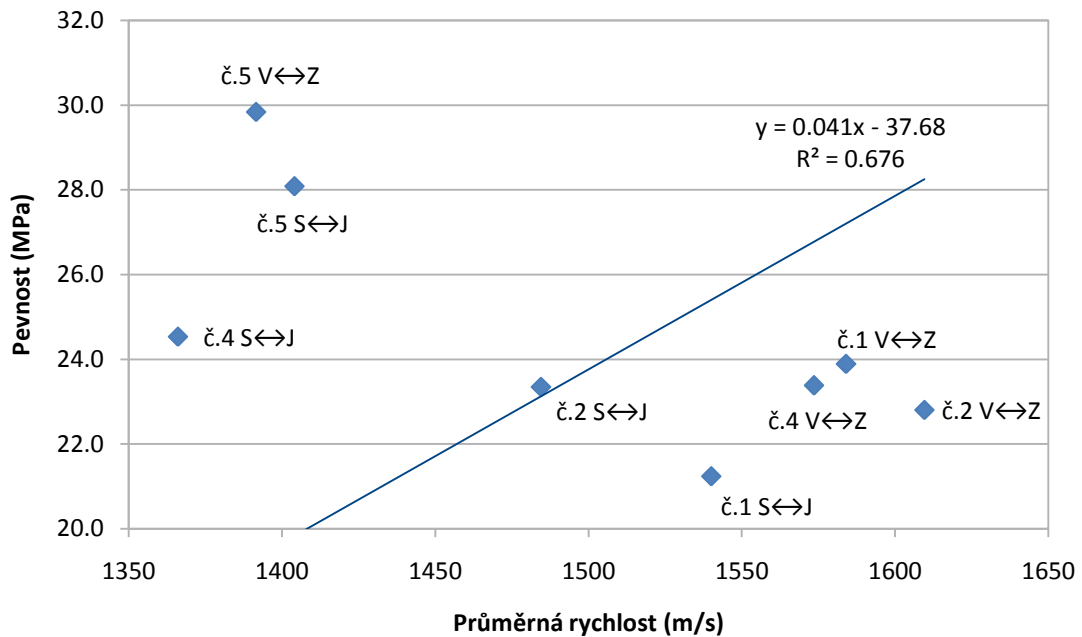
Graf 9.: Porovnání průměrných rychlostí ze všech směrů u javoru a habru (S ↔J; V↔Z)

Na grafu č. 9 znázorňuji, jak se hodnoty testovaných rychlostí porovnávají nejen podle dřeva javoru nebo habru, ale také s přihlédnutím na měření podle orientace ke světovým stranám.

3.4 Porovnání rychlosti akustického signálu s mechanickými vlastnostmi ve dřevě javoru

U bodových grafů s lineární spojnicí trendu je důležitá uvedená hodnota R^2 (korelační koeficient). Podle ní lze prokázat bližší závislost dat. Korelační koeficient dosahuje hodnot 0-1. Čím blíže se vypočítaný korelační koeficient blíží k hodnotě 1, tak tím můžeme více říci, že existuje průkaznější závislost. U biologických dat hodnoty blízké okolo 0,6 vypovídají již těsnou závislost.

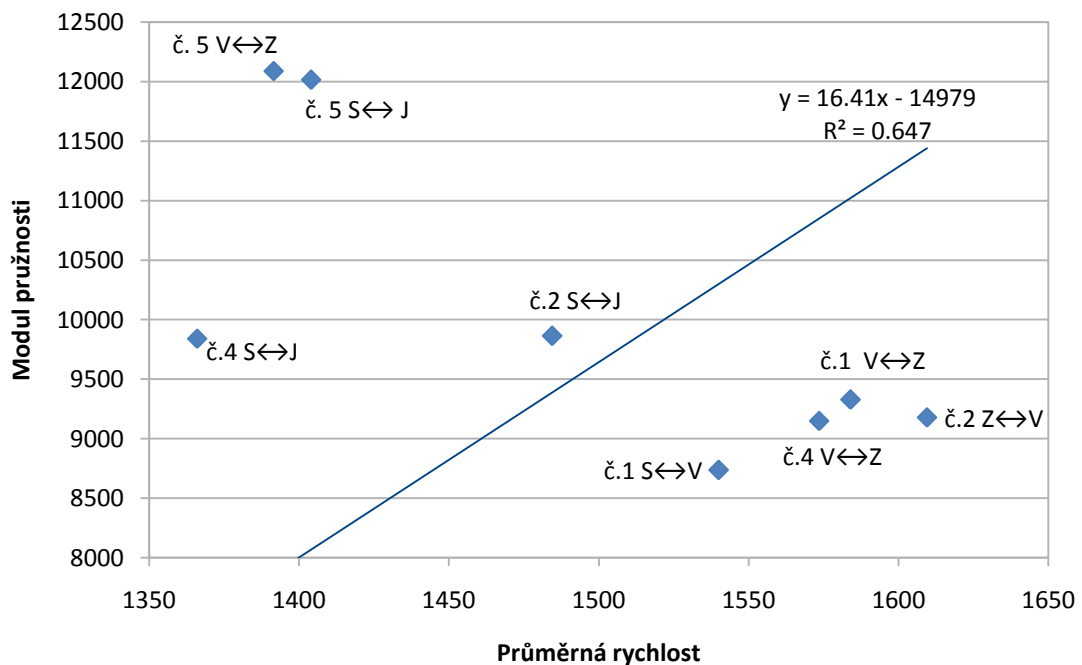
Porovnání průměrné rychlosti s pevností dřeva javoru



Graf 10.: Porovnání průměrné rychlosti šíření akustického signálu s pevností ve dřevě javoru

S větší pevností se zvyšuje i rychlost šířícího se zvuku ve dřevě javoru. Hodnota R^2 je vyšší než 0,6, tím lze usoudit, že závislost na sobě je středně silná.

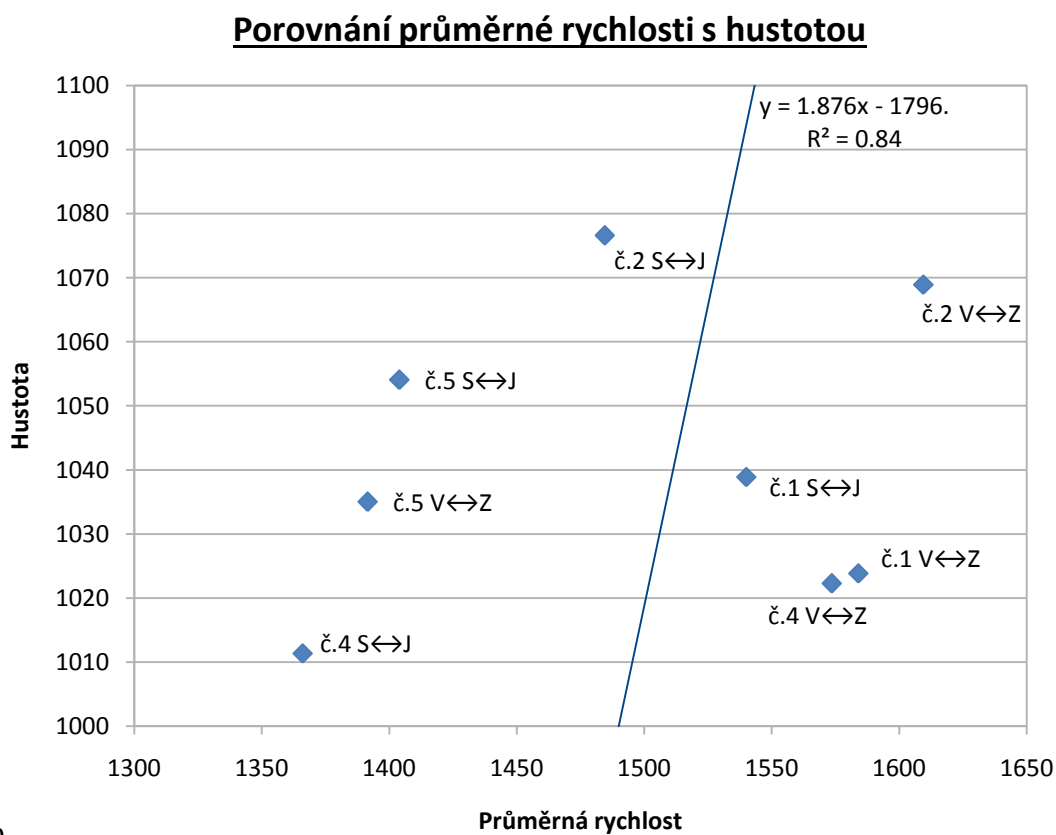
Porovnání průměrné rychlosti s modulem pružnosti



0

Graf 11.: Porovnání průměrné rychlosti šíření akustického signálu s modulem pružnosti ve dřevě javoru

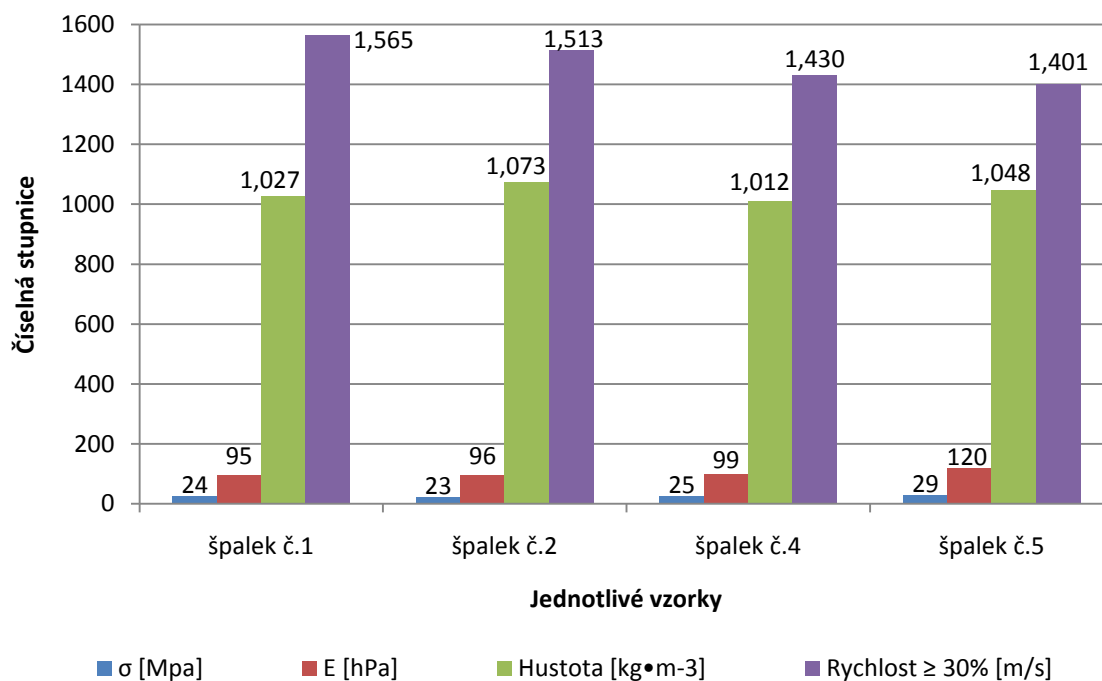
V grafu je možno pozorovat, že závislost průměrné rychlosti šířícího se zvuku je v porovnání s modulem pružnosti středně výrazná a dokazuje to i korelační koeficient 0,647.



Graf 12.: Porovnání průměrné rychlosti s hustotou

Z grafu porovnání průměrné rychlosti s hustotou vyplývá, že s rostoucí hustotou roste i rychlost zvuku. Lze říci, že závislost vztahu mezi hustotou a šířením zvuku ve dřevě javoru je velmi silná. To také potvrzuje korelační koeficient, který svou hodnotou 0,84 značně přesahuje hodnotu 0,6.

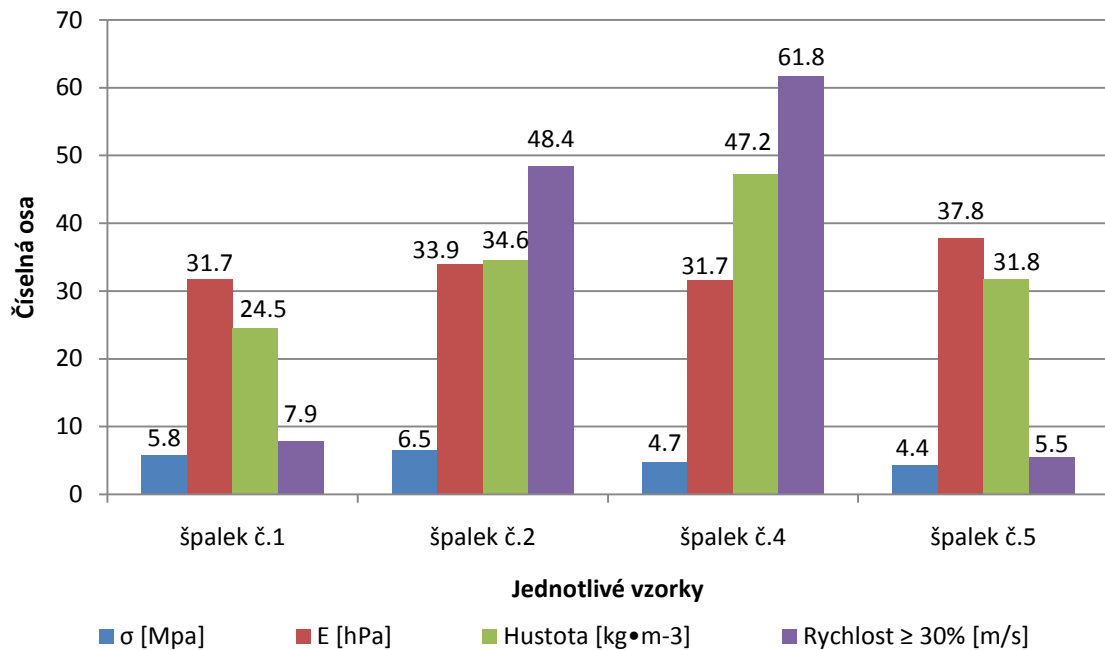
Průměrná (střední) hodnota



Graf 13.: Střední hodnota tlaku, modulu pružnosti a rychlosti šíření akustického signálu ve dřevě javoru

V grafu č. 13 jsou vypočítány průměrné hodnoty pro vzorky javoru. Vzorek č. 3 chybí, jelikož nemohl být zpracován na testovací vzorky 20x20x30 mm z důvodu rozsáhlé dutiny, z které by nešlo zhotovit potřebné vzorky pro měření v přístroji Zwick a také proto, že vzorky (špalky) obsahovaly cizí těleso, které by mohlo poškodit manipulační pilu.

Směrodatné odchylna



Graf 14.: Směrodatná odchylna z tlaku, modulu pružnosti a rychlosti šíření akustického signálu ve dřevě javoru

Směrodatná odchylna v grafu č.14 nám říká, jak hodně jsou hodnoty vzdáleny od průměrných hodnot.

Diskuse

Cílem práce bylo zjistit z jednotlivých vzorků rychlosti šíření zvuku ve dřevě javoru podle jednotlivých metrových výřezů z celého kmene, tyto výřezy byly měřeny akustickým přístrojem ArborSonic Fakopp 3D a porovnaly se s hodnotami, které uvádí literatura. Dalším úkolem této bakalářské práce bylo porovnání naměřených rychlostí s mechanickými vlastnostmi dřeva javoru.

Naměřené hodnoty, které byly srovnávány s hodnotami, které jsou uváděny v literatuře (Bucur, 2011). V literatuře se rychlost šíření zvuku ve dřevě uvádí v hodnotách, které byly naměřeny v suchém dřevě (vlhkost < 12%), moje naměřené hodnoty byly měřeny v čerstvém dřevě a tak se museli vynásobit pomocí koeficientu 1,11. Tím jsem tak mohl začít porovnávat rychlosti v jednotlivých vzorcích. Mezi hodnotou z literatury 2590m/s a hodnotou mnou naměřenou 2252 m/s je rozdíl 388 m/s. Tento rozdíl je malý a zřejmě vznikl z toho, kde a na jakých stromech bylo konkrétní měření prováděno. Velkým faktorem, který může ovlivnit rychlost šíření akustického signálu je prostředí, v kterém je měření prováděno. Prostředím tak je myšleno, kde se strom nachází nebo nacházel, jestli v lesním prostředí anebo v urbanizovaném prostředí jako mnou testovaný javor.

Porovnávány dále byly rychlosti dle celých vzorků s použitím průměrné rychlosti a podle orientace světových stran. Při porovnávání šesti vzorků dřeva javoru jsem zjistil, že rychlost v neporušeném dřevě (vzorek č. 1, č. 2, č. 4 - 6) je v rozmezí 1359 - 1573 m/s. Ve vzorku č. 3, v kterém je přítomna dutina, byla naměřena průměrná hodnota pouze 1014 m/s. Podle orientace ke světovým stranám ve dřevě javoru byla nejnižší ve směru (S↔J) při průměrné rychlosti 1358 m/s a nejvyšší byla ve směru (JZ↔SV) a to 1408 m/s. Z testu analýzy rozptylu jak u testování vzorků po vrstvách, tak i po orientaci k světovým stranám můžeme říci, že vliv faktoru považujeme za neprokázaný, jelikož hodnota hypotézy o rozptylu hodnot je u každého vzorku vyšší než 0,05.

Pro další porovnání jsem naměřil dřevo habru. Při porovnání hodnot jsem došel k závěru, že u šesti měřených vzorků měla rychlost šíření zvuku téměř u všech stejný průměr. Pouze u vzorku č. 3 a č. 4 byly hodnoty menší než ostatní hodnoty. Hodnoty byly menší z důvodu vyvíjejícího se defektu. Z testu analýzy rozptylu jak u testování

vzorků po vrstvách, tak i po orientaci k světovým stranám můžeme říci, že vliv faktoru považujeme za neprokázaný, jelikož hodnota hypotézy o rozptylu hodnot je u každého vzorku vyšší než 0,05.

Při porovnání rychlostí taxonů s ohledem na orientaci ke světovým stranám bylo zjištěno, že u testovaného dřeva javoru byly hodnoty nižší než u dřeva habru. U dřeva javoru se vyskytly nízké hodnoty (odlehle i extrémní), ty jsou zapříčiněny přítomností rozsáhlého defektu u vzorku javoru č. 3. Z porovnání javoru a habru můžeme potvrdit, že rychlost šíření zvuku ve dřevě habru je mnohem vyšší než u dřeva javoru. Tím tak můžeme říci, že s vyšší hustotou dřeva roste i rychlost šíření zvuku ve dřevě. U dřeva habru byla naměřena nejmenší hodnota 1288 m/s a největší 1920 m/s. U dřeva javoru byla naměřena nejmenší hodnota 817 m/s a největší 1644 m/s.

U porovnání rychlosti akustického signálu s mechanickými vlastnostmi dřeva javoru jsem zjistil, že korelace při tomto vyhodnocování je středně silná ($R^2 = 0,676$). Průměrné rychlosti šíření akustického zvuku z testovaných vzorků s přihlédnutím na orientaci ke světovým stranám se porovnávaly s pevností zkušebních vzorků testovaných v přístroji Zwick. Hodnota pevnosti (MPa) byla stanovena v okamžiku, kdy napětí překročilo mez pevnosti a došlo tak k narušení testovaného vzorku.

Při porovnání rychlosti akustického signálu s modulem pružnosti bylo zjištěno, že korelace v tomto vztahu je středně silná ($R^2 = 0,647$). Průměrná rychlost šíření akustického signálu ve dřevě javoru se s přihlédnutím na orientaci testovaných vzorků dřeva testovala ve zkušebním stroji Zwick. Hodnota modulu pružnosti (MPa) se určuje pomocí mezi úměrnosti a mezí pevnosti.

Porovnáním rychlosti akustického signálu s hustotou dřeva javoru se dokázalo, že hustota má silnou závislost na šíření akustického signálu ve dřevě. Korelační koeficient v tomto porovnání dosahuje hodnoty ($R^2 = 0,84$). Přesná hustota každého testovaného vzorku byla vypočítána pomocí elektronického posuvného měřítka s přesností na dvě desetinná čísla a dále byly tyto vzorky zváženy na laboratorní váze s přesností tří desetinných míst.

Závěr

Práce se zpracovávala na základě porovnání šíření rychlosti akustického signálu ve dřevě javoru a habru. Dalším úkolem v této práci bylo zjistit závislosti šíření rychlosti akustického signálu v porovnání s mechanickými vlastnostmi ve dřevě javoru. Měření rychlosti akustického signálu bylo měřeno akustickým tomografem Fakopp ArborSonic 3D a mechanické vlastnosti byly měřeny v univerzálním testovacím stroji ZWICK Z 050. Použity byly vzorky z jednoho javoru a jednoho habru, které rostly v urbanizovaném prostředí. Akustickým tomografem byly naměřeny vzorky co nejdříve po samotném pokácení, aby byla zaručena čerstvost dřeva a s tím tak spojená vlhkost dřeva. Týden před samotným měřením vzorků ve stroji Zwick byly vzorky namočený, aby se zajistila vlhkost dřeva $>30\%$.

Sledovány byly hlavně rychlosti podle orientace ke světovým stranám v jednotlivých vrstvách ze zhruba metrových výřezů z kmene stromu. Pozorovány dále byly pevnosti, hustoty a moduly pružnosti. Získaná data z měření byla zpracovávána do podoby grafů a tabulek pomocí vzorců a funkcí v programu Excel a ke složitějšímu zpracování dat byl použit program Statistica 12. V závěru práce jsou popsány závislosti mezi jednotlivými vlastnostmi testovaného dřeva.

Z celého měření byly zjištěny průměrné hodnoty z rychlosti šíření akustického signálu ve dřevě habru 1593 m/s, rychlosti signálu ve dřevě javoru 1382 m/s, pevnost ve dřevě javoru 24 MPa, modul pružnosti ve dřevě javoru 9 504 MPa a hustota ve dřevě javoru $1027\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Touto prací bylo zjištěno, že existuje závislost průměrné rychlosti šíření akustického signálu na hustotě, pevnosti a modulu pružnosti ve dřevě.

Summary

Work is processed by comparing the propagation velocity of the acoustic signal in the wood maple and hornbeam. Another object of this work was to determine the dependent propagation speed of the acoustic signal in comparison with the mechanical properties of maple wood. Measuring the speed of the acoustic signal was measured acoustic tomography Fakopp ArborSonic and 3D mechanical properties were measured in a universal testing machine ZWICK Of the 050 samples were used from one maple and hornbeam one that grew in urban environments. Acoustic tomography were measured in samples as soon as possible after felling itself, to guarantee freshness and wood with moisture and associated timber. Week prior to measurements of samples in the machine Zwick samples were wetted to ensure wood moisture >30%.

They were monitored mainly by the speed of orientation to the cardinal in individual layers of about one meter cut-outs of a tree trunk. Were also observed strength, density and modulus of elasticity. The data obtained from the measurements were processed into graphs and tables using formulas and functions in Excel and go to advanced data processing program was used Statistica 12. In conclusion we describe the relationship between individual characteristics of the test timber.

For all measurements were determined average values of the velocity of propagation of the acoustic signal in the wood hornbeam 1593 m / s, the signal speed in wood maple 1382 m / s, strength in wood maple 24 MPa, modulus Wood of 9504 MPa and a density in the wood maple • 1027 kg m ⁻³.

This work it was found that there is a correlation of average speed of the sound signal on the density, strength and modulus of elasticity in the wood.

Použitá literatura

Výuka anatomické stavby dřeva. *Ldf.mendelu.cz* [online]. Ústav nauky o dřevě, 2002 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:

http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/vyuka/makro/fyzikalni_a_mechanicke_vlastnosti.htm

Javor mleč - Acer platanoides [online]. Brno: Ústav nauky o dřevě, 2002 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z:

http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=jv

Javor mleč - Acer platanoides [online]. Česká republika, 2014 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://prace-se-drevem.spibi.cz/Drevo-Druhy-Javor.html>

Habr obecný - Carpinus betulus [online]. Brno: Ústav nauky o dřevě, 2002 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z:

http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=hb

Habr obecný. *Habr obecný* [online]. Česká republika: 2014 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://prace-se-drevem.spibi.cz/Drevo-Druhy-Habr.html>

<http://www.fakopp.com/site/>

<http://www.fakopp.com/site/fakopp-3d>

Houževnatost dřeva [online]. Česká republika: Mendelova univerzita, 2014 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/index.pl?cast=9192>

POŽGAJ, Alexander, et al. Štruktúra a vlastnosti dreva. Druhé vydanie. Bratislava : PRÍRODA, 1997. 488 s. ISBN 80-07-00960-4.

ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila a Libuše GANDELOVÁ. *Stavba dřeva*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 80-7157-636-0.

MALÝ, Pavel. *Destruktivní a nedestruktivní zjištění vlastností lípy*. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, 2010.

KOLAŘÍK, Jaroslav. *Péče o dřeviny rostoucí mimo les*. 2. dopl. vyd. Vlašim: ČSOP Vlašim, 2005. Metodika Českého svazu ochránců přírody, č. 6. ISBN 80-86327-44-2.

BANFI, Enrico a Francesca CONSOLINO. *Stromy: na zahradě, v parku a ve volné přírodě*. Praha: Ikar, 2001. Velký průvodce přírodou (Euromedia Group - Ikar). ISBN 80-7202-807-3.

ÚRADNÍČEK, Luboš. *Dřeviny České republiky*. 2., přeprac. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2009. ISBN 978-80-87154-62-5.

GANDELOVÁ, Libuše, Petr HORÁČEK a Jarmila ŠLEZINGEROVÁ. *Nauka o dřevě*. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009. ISBN 978-80-7375-312-2.

Praktická kniha o dřevě. 2. vyd. Překlad Lumír Mikulka. Čestlice: Rebo, 2009. ISBN 978-80-255-0205-1.

HORÁČEK, Petr. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 2., přeprac. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-169-2.

VĚTVIČKA, Václav. *Stromy a keře*. Vyd. 2. Ilustrace Vlasta Matoušová, Jan Mašek. Praha: Aventinum, 2005. Souborné svazky. ISBN 80-7151-254-0.

BUCUR, Voichita. *Acoustics of wood*. 2nd ed. Berlin: Springer, 2011. ISBN 9783642065552.

KREMER, Bruno P. *Stromy: v Evropě zdomácnělé a zavedené druhy*. Praha: Knižní klub, 1995. Průvodce přírodou (Knižní klub). ISBN 80-7176-184-2.

BÄRTELS, Andreas. *Dřeviny od A do Z: 1500 stromů a keřů*. Praha: Knižní klub, 2011.
ISBN 978-80-242-2717-7.