



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ  
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

## METODIKA PRŮZKUMU A DIAGNOSTICKÉ METODY PRO HODNOCENÍ STAVU DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE

METHODOLOGY OF THE SURVEY AND DIAGNOSTIC METHODS FOR  
EVALUATION OF WOOD CONSTRUCTION STATUS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN KOSTEČKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. VĚRA HEŘMÁNKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2017



## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav stavebního zkušebnictví

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Jan Kostečka
<b>Název</b>	Metodika průzkumu a diagnostické metody pro hodnocení stavu dřevěné konstrukce
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2016
<b>Datum odevzdání</b>	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.  
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- HOBST, L. a kol.: Diagnostika stavebních konstrukcí, knihovnicka.cz, 2005
- SVOBODA, L. a kol.: Stavební hmoty 3. vydání (elektronická kniha - plný text: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodal/>)
- Kolektiv autorů: Stavební látky – cvičebnice, CERM Brno, 2013
- KUKLÍK P.: Dřevěné konstrukce, ČKAIT 2005
- ČSN EN 408 Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností
- Další příslušné platné normy

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Úvod - stručný úvod do problematiky bakalářské práce.

Cíl práce – vypracovat metodiku hodnocení stavu dřevěných konstrukcí včetně přehledu diagnostických metod pro toto hodnocení in situ. Provést zjištění míry poškození a ověření materiálových charakteristik u konkrétní dřevěné konstrukce.

Teoretická část – rešerše doporučené literatury a vypracování podkladů pro řešení bakalářské práce se zaměřením na:

- materiálové charakteristiky a vlastnosti dřeva,
- diagnostické metody zkoušení dřevěných konstrukcí,
- metodiku průzkumu dřevěných konstrukcí krovu.

Experimentální část – provést zjištění míry poškození a ověření materiálových charakteristik u dřevěného prvku konstrukce. Zpracovat a zhodnotit výsledky experimentu se zaměřením na porovnání výsledků metody měření rychlosti šíření ultrazvukových vln a vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva z konstrukce.

Závěr - provést krátké shrnutí a jasně a přehledně deklarovat výsledky bakalářské práce.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



---

Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na diagnostiku dřeva ve dřevěných konstrukcích, převážně s pomocí ultrazvuku. V první kapitole je stručně vysvětlena dřevní hmota, včetně jejích hlavních vlastností, složení a stavby. V části o diagnostických metodách dřeva jsme se zaměřili na vlastnosti dřeva, které tyto metody ovlivňují i na samotné diagnostické metody, jejich popis, potřebné vybavení a z nich plynoucí výsledky.

V druhé, praktické části jsou uvedeny konkrétní naměřené hodnoty, které byly získány měřením na vybraném dřevěném prvku a jejich následné porovnání a zhodnocení.

Text je doplněn o ilustrativní obrázky, grafy a řezy.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Diagnostika dřeva, fyzikální vlastnosti dřeva, mechanické vlastnosti dřeva, rychlost šíření ultrazvukových vln dřevem, objemová hmotnost dřeva, pevnost dřeva, vlhkost dřeva.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis is focused on diagnostic of wood in the timber structures, The first chapter summarizes the wood matter, including its main characteristics, composition and construction. In the section on wood diagnostic methods, we have focused on the properties of wood, which influence these methods on the diagnostic methods themselves, their description, the necessary equipment and the resulting results.

In the second, practical part are given the specific measured values, which were obtained by measuring on the selected wooden element and subsequent comparison and evaluation.

The text is supplemented by illustrations, graphs and cuts.

## **KEYWORDS**

Diagnostic of wood, physical characteristics of wood, mechanical characteristics of wood, speed of transmission of ultrasonic waves by wood, density of wood, compression strength, wood humidity.

Kostečka, Jan. *Metodika průzkumu a diagnostické metody pro hodnocení stavu dřevěné konstrukce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, 2017. 61 s., 8 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Metodika průzkumu a diagnostické metody pro hodnocení stavu dřevěné konstrukce* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané typ práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne

-----  
(podpis autora)



## PODĚKOVÁNÍ

Upřímné poděkování patří mé vedoucí paní Ing. Věře Heřmánkové, Ph.D., za její odborné vedení, užitečné rady, ochotu, vstřícnost a hlavně trpělivost, kterou se mnou měla po celou dobu zpracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, vždy pro mě byli velkým vzorem a jejich podpora byla klíčová. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat svým blízkým a přátelům, bez jejich pomoci by úspěšné ukončení tohoto studia nebylo možné.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Cíle práce</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Struktura a druhy dřeva</b>	<b>14</b>
3.1	Definice dřeva .....	14
3.2	Chemické složení dřeva .....	14
3.3	Stavba dřeva .....	15
3.4	Základní řezy dřeva .....	17
3.5	Druhy dřeva .....	18
3.5.1	Jehličnaté dřeviny .....	19
3.5.2	Listnaté dřeviny .....	20
<b>4</b>	<b>Vlastnosti dřeva</b>	<b>21</b>
4.1	Fyzikální vlastnosti .....	21
4.1.1	Hydrologické vlastnosti .....	21
4.1.2	Objemová hmotnost .....	23
4.1.3	Tepelné vlastnosti .....	24
4.1.4	Akustické vlastnosti .....	25
4.1.5	Elektrické vlastnosti .....	25
4.1.6	Vnější vzhled .....	25
4.2	Mechanické vlastnosti .....	26
4.2.1	Pružnost dřeva .....	26
4.2.2	Pevnost dřeva .....	27
4.2.3	Tvrdost dřeva .....	29
4.2.4	Štípatelnost dřeva .....	30
4.2.5	Ohýbatelnost dřeva .....	30
4.3	Vady a škůdci dřeva .....	30
4.3.1	Biotičtí škůdci .....	30
4.3.2	Abiotické vady .....	31
<b>5</b>	<b>Diagnostika dřeva</b>	<b>33</b>
5.1	Definice směrů zkoušení .....	33
5.2	Diagnostické metody .....	34

5.3	Nedestruktivní metody.....	34
5.3.1	Vizuální metoda.....	34
5.3.2	Měření vlhkosti.....	35
5.3.3	Měření rychlosti šíření ultrazvukových vln.....	36
5.3.4	Radiační metody.....	37
5.4	Semi-destruktivní metody.....	38
5.4.1	Odporové zarážení trnu.....	38
5.4.2	Radiální vývrty.....	39
5.4.3	Endoskopie.....	40
5.5	Destruktivní metody.....	41
<b>6</b>	<b>Diagnostika dřevěného prvku</b>	<b>42</b>
6.1	Popis.....	42
6.2	Vizuální metoda.....	43
6.3	Ultrazvuk celého prvku.....	45
6.4	Popis diagnostikovaného prvku.....	46
6.5	Rozřezání prvku.....	47
6.6	Značení prvku/vzorků.....	47
6.7	Ultrazvuk.....	49
6.8	Zkouška pevnosti v tlaku.....	50
6.9	Sušení porušených zkušebních prvků.....	51
6.10	Vyhodnocení zkušebního prvku.....	52
6.10.1	Stanovení vlhkosti zkušebních vzorků.....	52
6.10.2	Pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny.....	53
6.10.3	Objemová hmotnost.....	55
6.10.4	Ultrazvuk.....	56
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAMY</b>	<b>60</b>
8.1	Seznam obrázků.....	60
8.2	Seznam tabulek.....	61
8.3	Seznam příloh.....	61
8.4	Seznam použité literatury.....	62

# 1 Úvod

Dřevo je již od dob nejstarších jedním z nejvíce využívaných materiálů. Lidé se ho naučili využívat od zbraní až po hlavní stavební prvky budov. Ať již v jakékoliv zpracované formě a druhu využití, stalo se dřevo nedílnou součástí života člověka.

Hlavním důvodem je zřejmě jeho snadná dostupnost a velmi dobrá kombinace fyzikálních a mechanických vlastností dřeva. Z pohledu stavebního, patří mezi ty nejdůležitější fyzikální vlastnosti nízká objemová hmotnost, tepelné a akustické vlastnosti. Z mechanických vlastností je potřeba zdůraznit poměrně vysokou pevnost v tlaku a tahu. Využívání dřeva v dnešní době je zajisté ovlivněno i jeho velmi hezkým vzhledem, lehká opracovatelnost a obnovitelnost.

Naopak nevýhoda toho materiálu spočívá ve velmi značné anizotropii. Jelikož nestejnorodost materiálu nejsme schopni ovlivnit, je nutno počítat s různorodostí zjištěných hodnot fyzikálních i mechanických vlastností. Je nutno brát v ohled, že se jedná o organický materiál, tudíž se zde nachází možnost napadení škůdci. Z pohledu stavebního jsou pak nepříjemné změny způsobené vnějším vlivem a hořlavost materiálu.

## **2 Cíle práce**

Hlavním cílem této bakalářské práce je diagnostika dřevěného prvku.

V první části práce bude seznámení se dřevem jako materiálem, diagnostickými metodami z pohledu destruktivnosti a vlastnostmi fyzikálními i mechanickými.

Druhá část práce bude zaměřena na konkrétní diagnostiku materiálu, zjištění vad a využití vybraných diagnostických metod, převážně s využitím ultrazvuku a následné zpracování, porovnání a vyhodnocení zjištěných hodnot.

## 3 Struktura a druhy dřeva

### 3.1 Definice dřeva

Hmota organického původu, tvořená systémem pevného pletiva cévnatých rostlin. Tyto rostliny též označujeme jako dřeviny. Tyto rostliny, nazývané též dělivé pletivo, jsou tvořeny z meristémových buněk, což jsou buňky s dělivou funkcí. Tyto buňky zajišťují vlastní reprodukci a vznik nových orgánů, diferencováním buněk, které tak mění svoji funkčnost.

Dřevo vzniká při druhotném tloustnutí dřeva. Jedná se o efekt, který se vysokým podílem projevuje u dlouhodobě žijících rostlin, převážně dřevin. Druhotným tloustnutím dřeva myslíme vytvoření druhotného/sekundárního pletiva, jež doplňuje a upravuje již existující původní primární pletivo. Pro sekundární růst je typické formování nových typů meristémů, hlavně kambia a felogénu. Kambium je zodpovědné za tvorbu sekundárních vodivých pletiv a tvoří se v cévních svazcích. Mezi vytvořená sekundární vodivá pletiva patří deuterxylém neboli druhotné dřevo a deuterofloém neboli druhotné lýko. Felogén je pak určen k produkci sekundárních vodivých pletiv, což má za následek zvětšování objemu samotného orgánu [1, 2].

### 3.2 Chemické složení dřeva

jedná se o složitý komplex chemických látek, z nichž největší zastoupení mají biopolymery. Základní dělení dle chemického složení dřeva je na hlavní složky a doprovodné složky dřeva. Hlavní složky mají zastoupení ve dřevě až 97 %, doprovodné složky dřeva mohou dosáhnout zastoupení až 10 %.

Mezi hlavní složky dřeva patří:

- Polysacharidická složka:

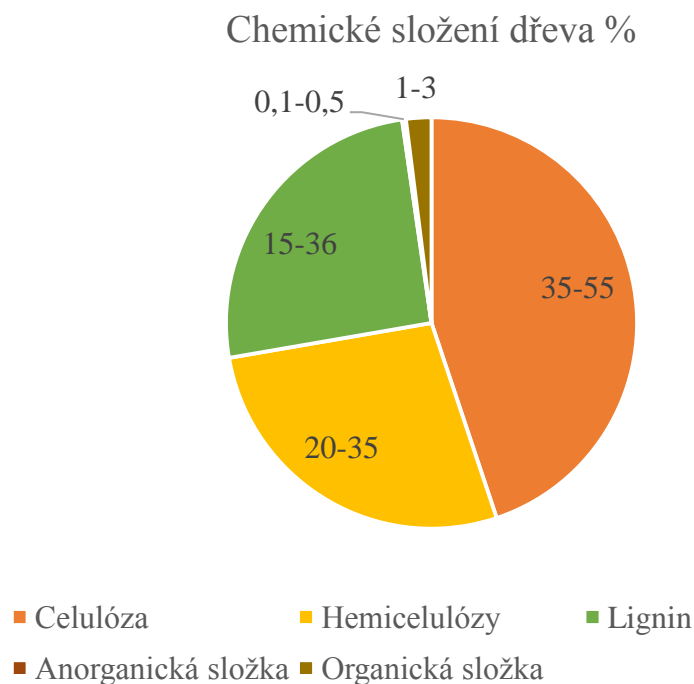
1. Celulóza (35-55 %)
2. Hemicelulózy (20-35 %)

- Fenolická složka:

3. Lignin (15-36 %)

Mezi doprovodné složky dřeva patří:

- Anorganická složka (0,1-0,5 %, u tropických rostlin až 5 %; vápenné, hořečnaté a draselné soli)
- Organická složka (1-3 %, u tropických rostlin až 15 %; patří sem například tuky, vosky, terpeny, steroly, pektiny) [2, 3]



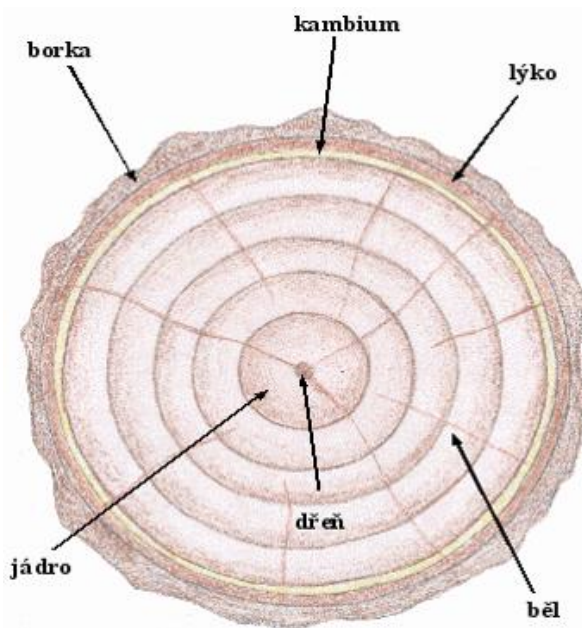
Obrázek 3.1: Chemické složení dřeva

### 3.3 Stavba dřeva

U dřevnatých rostlin jsou celkem 4 druhy pletiv, které společně tvoří celkovou strukturu dřeva. Na povrchu je pletivo pokožkové. Uvnitř kmene je pletivo dělivé a základní, jež má v sobě uloženo pletivo svazků cévních. Díky tomuto uspořádání můžeme stavbu dřeva rozdělit na 3 základní skupiny:

1. Makroskopická
2. Mikroskopická
3. Submikroskopickou

Makroskopickou stavbou dřeva můžeme definovat vše, co lze pozorovat pouhým okem. Struktura dřeva je tvořena souborem morfologických znaků, jež mají za následek charakteristický vzhled dřeva. Mezi ty nejdůležitější se řadí letokruhy, dřeň, dřeňové paprsky, dřeňové skvrny, jádro, vyzrálé dřevo, běl, pryskyřičné kanálky, cévy, lýko a kůra.



Obrázek 3.2: Řez kmenem - makroskopická stavba [4]

Mikroskopickou stavbu dřeva již nelze pozorovat pouhým okem, k jejímu spatření a studiu je potřeba využít dobré lupy nebo mikroskopu. Sledujeme tedy již strukturu dřeva, jež je tvořena souborem anatomických znaků či elementů a které tvoří buňky dřeva. Tyto buňky lze dále rozdělit do tří základních skupin:

- Libriformní vlákna
- Tracheje a tracheidy
- Parenchymatické buňky

Submikroskopická stavba dřeva se již soustředí na samotnou stavbu buněčné stěny a buněčné dutiny a jejich chemickému složení. Buněčnou stěnou myslíme vrstvy, které jsou submikroskopicky i chemicky odlišné [2, 4].



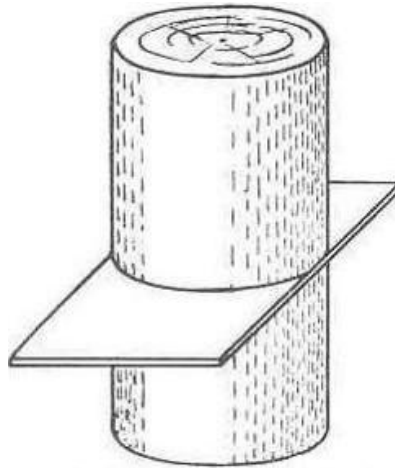
### 3.4 Základní řezy dřeva

K popisu struktury dřeva a jeho následnému zkoumání a zkoušení používáme tři druhy základních řezů. Všechny tyto tři základní druhy se řadí do makroskopické stavby dřeva.

- 1) Příčný řez
- 2) Radiální řez
- 3) Tangenciální řez

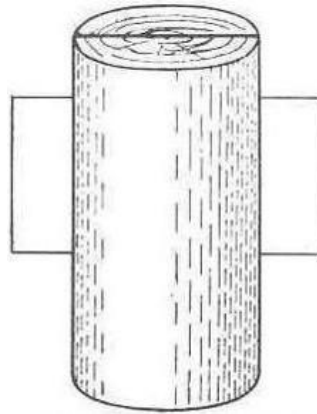
Každý z těchto řezů nám poskytuje jiné výsledky.

**Příčný řez P** – Někdy nazývaný též transversální. Jedná se o řez, který je vedený kolmo k ose kmene. Lze velmi lehce vizuálně poznat díky charakteristickému soustřednému uspořádání letokruhů.



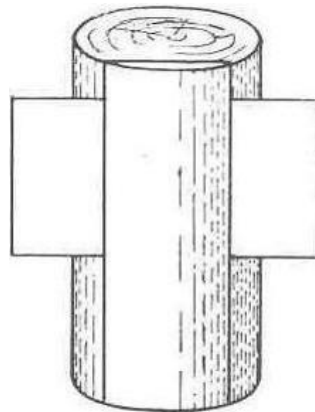
Obrázek 3.3: Příčný řez P [6]

**Radiální řez R** – neboli středový. Jde o řez, který je proveden rovnoběžně s osou kmene a zároveň jeho středem (dření). Při tomto řezu nabývají letokruhy vzhledu svislých pásů.



Obrázek 3.4: Radiální řez R [6]

**Tangenciální řez T** – neboli fládrový. Jedná se o řez velmi podobný radiálnímu, jelikož je také veden v rovině rovnoběžné s osou kmene, avšak tento neprochází jeho středem (dření). Díky tomu letokruhy vytvářejí parabolické útvary, takzvané fládry [4, 5].



Obrázek 3.5: Radiální řez R [6]

### 3.5 Druhy dřeva

Dřeviny dělíme do dvou základních skupin a to na dřeviny jehličnaté a listnaté. Na území České republiky jsou ve větším zastoupení dřeviny jehličnaté a to v poměru 76,1 % ku 23,9 %.

Z pohledu makroskopické struktury rozdělujeme dále dřeviny na letní a jarní dřevo

a na dřeviny bělové a jádrové. Letním dřevem rozumíme tmavší část dřeva, někdy je též nazýváno jako dřevo pozdní. Lze ho velmi dobře pozorovat na letokruzích, kde zabírá menší avšak dobře viditelnou část, oproti jarnímu dřevu, které zabírá objemově podstatně větší a světlejší část. Póry jarního dřeva mají mnohem větší rozměr než u letního dřeva. K bělovým dřevinám patří dřeviny s vyzrálým dřevem kmene bez barevného odlišení jádra, tento fakt ovšem způsobuje menší odolnost proti vlhkosti a hnilobě než u jádrových dřevin. Tento fakt je dán obsahem pryskyřičných a jiných polyfenolických látek [3].

### 3.5.1 Jehličnaté dřeviny

Jehličnaté dřeviny jsou klasifikovány jako nahosemenné rostliny, stálezelené dřeviny stromovitého či keřovitého vzrůstu s jehlicovitými nebo šupinovitými listy. Jejich historie dosahuje, až do konce geologického období karbonu v prvohorách, kde se jednalo o dominantní rostliny. V dnešních dobách se vykytují převážně v mírném podnebném pásu a horských oblastech. Dorůstají výšky 25 až 40 metrů, průměr kmene je okolo 1,5 metru. Doba růstu je 80 a 100 let.

Hlavními výhodami jehličnatých dřevin je jejich homogenní struktura, lehká váha, měkkost, snadná opracovatelnost, odolnost vůči extrémním podmínkám a nenáročnost na půdu. Jehličnaté rostliny bývají též nazývány jako měkké dřevo.

Nejnámějšími hojně využívanými zástupci jsou smrk, jedle, borovice a modřín.

- Smrkové dřevo – bílé dřevo s pevně zarostlými suký. Typická je výrazná vůně pryskyřice a zřetelně odlišitelné letokruhy. Smrkové dřevo je hojně využívané ve stavebnictví, převážně na místech, kde není vystaveno vlhkému prostředí.
- Jedlové dřevo – šedobílé dřevo s nezarostlými suký. Jedná se o pružné a ohebné dřevo, nevýhodou je horší zpracovatelnost, nízká trvanlivost a vypadávání suků.
- Borovicové dřevo – dřevo s odstíny červené, velkým množstvím pryskyřice a nezarostlými suký. Jeho hlavní výhodou je velká odolnost proti vlhkému prostředí. Borovice nevytváří souvislé lesy, není schopná přežít v těsné

blízkosti dalších stromů. Využívá se především k tvorbě okenních rámu, venkovních dveří a dalších truhlářských výrobků.

- Modřínové dřevo – nažloutlé dřevo, avšak poměrně vzácné a drahé. Využívá se především pro dekorační účely, například obklady stěn či stropů. Jedná se o jediný opadávající strom v České republice [3, 4, 7, 8].

### 3.5.2 Listnaté dřeviny

Jedná se o opadavé, krytosemenné převážně dvouděložní rostliny. Dělí se na dřevo s kruhovitě, polokruhovitě nebo roztroušenou pórovitou stavbou. Jedná se o vývojově mladší dřevo, než je dřevo jehličnaté. Listnaté dřevo můžeme dále rozdělit na měkké bělové, měkké jádrové, tvrdé jádrové a tvrdé bělové. Výskyt je převážně v mírném podnebném pásu a v tropických oblastech. Dosahuje výšky až 20 metrů a průměru okolo jednoho metru. Doba růstu je 120 až 150 let.

Význačnými vlastnostmi listnatých dřevin, které bývají též nazývány tvrdým dřevem, je vysoká hodnota tvrdosti, vysoká objemová hmotnost, trvanlivost a vzhledová variabilita.

Nejznámějšími zástupci ve stavebním průmyslu jsou dub a buk.

- Dubové dřevo – hnědé dřevo s odstíny žluté a s viditelně tmavším jádrem. Vysoká odolnost proti okolním vlivům a životnost jsou hlavními důvody hojného využití v prostředí s vysokou vlhkostí nebo přímo ve vodních stavbách. Nevýhodou je však poměrně vysoká cena a velký obsah pryskyřice, který znesnadňuje opracování.
- Bukové dřevo – světle hnědé dřevo. Bývá tvrdé a těžko opracovatelné. Jeho hlavní využití je ve výrobě překližek, parket a jako lamelové dřevo [3, 4, 7].

## 4 Vlastnosti dřeva

### 4.1 Fyzikální vlastnosti

Fyzikální vlastnosti dřeva lze zjistit bez porušení celistvosti a chemického složení

materiálu. Tyto vlastnosti jsou závislé na druhu dřeviny, podmínkách růstu (podnebí, nadmořské výšce, okolním vlivům) a finální struktuře dřeva (vadách dřeva). V neposlední řadě, se výrazně liší v závislosti na směru vláken (axiální, radiální, tangenciální směr).

#### 4.1.1 Hydrologické vlastnosti

Nejdůležitější hydrologickou vlastností dřeva je vlhkost. Tu dělíme na vlhkost absolutní  $w_{abs}$  a vlhkost relativní  $w_{rel}$ . Absolutní vlhkost získáme podílem hmotnosti odvedené vody vysoušením při  $103 \pm 2$  °C a hmotnosti sušiny. Relativní vlhkost je podíl hmotností vody a vlhkého vzorku.

$$w_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_0} \cdot 100$$

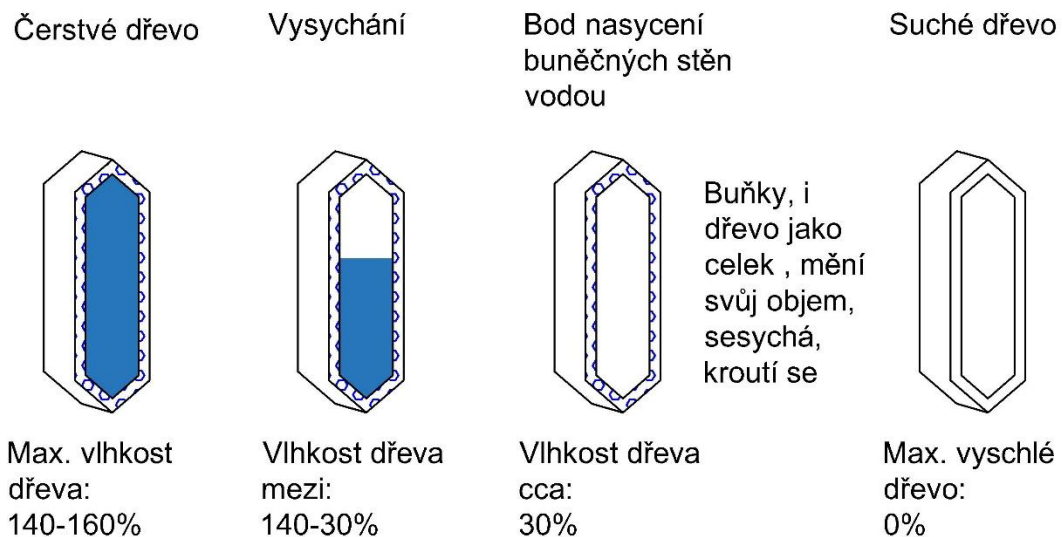
$$w_{rel} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_w} \cdot 100$$

Kde  $m_w$  je hmotnost vzorku před vysoušením a  $m_0$  je hmotnost sušiny.

Z hlediska uložení vody ve dřevě, může vodu dále rozdělit na:

- Chemicky vázanou, která zaujímá 1-2% hmotnosti sušiny. Jelikož se jedná o vodu, která je součástí chemických sloučenin, nelze ji sušením odstranit. Její celkové množství lze zjistit pomocí chemické analýzy dřeva. Chemicky vázaná voda nemá žádný vliv na fyzikální nebo chemické vlastnosti dřeva.

- Vázanou vodu, která se ve dřevě vyskytuje při vlhkostech 0-30 %.  
Vyskytuje se v buněčných stěnách a je vázána vodíkovými můstky na hydroxilové skupiny -OH amorfní části celulózy a hemicelulóz. Stav, kdy jsou všechny buněčné stěny zaplněny vodou, vlhkost dřeva je tedy rovna 30%, nazýváme bodem nasycení buněčných stěn. Vázaná voda v buněčných stěnách může střídavě klesat (vlhnutí, vysychání), což má za následek sesychání a bobtnání dřeva. V důsledku anizotropní struktury dřeva, dochází k různým tvarovým změnám dřevěných prvků, které mění objem dřeva, tvar, dokonce i fyzikální a mechanické vlastnosti.
- Kapilární vodou, která se nachází v mezibuněčných prostorech dřeva. Nemá však žádný významný vliv na fyzikální nebo mechanické vlastnosti [3, 4, 9].



Obrázek 4.1: Procentuální zastoupení vody ve dřevě při různé hodnotě vlhkosti

#### 4.1.2 Objemová hmotnost

Hustota je závislá na vlhkosti dřeva a vyjadřujeme ji v základní jednotce [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

Stanovuje se nejčastěji pro tyto stavy.

- Vlhké dřevo o vlhkosti  $w > 0$  %
- Dřevo při vlhkosti  $w_{12} = 12$  %
- Vysušené dřevo o vlhkosti  $w_0 = 0$  %

Pro vyhodnocování výsledků se používá hodnota hustoty vysušeného dřeva o vlhkosti  $w = 12\%$ , což je zároveň hodnota uváděná v normách. Tato hustota je menší než u vzorků s vyšší vlhkostí, které mají mikrokapiláry a lumery zaplněny vodou. Potřebnou hodnotu objemové hmotnosti získáme ze vzorce

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}}$$

kde  $m_{12}$  je hmotnost dřeva v kilogramech a  $V_{12}$  - objem dřeva v metrech krychlových. Hustoty při různých stavech vlhkosti získáme dosazením příslušných hodnot hmotnosti a objemu pro tuto vlhkost.

Hustota dřeva se zvyšuje s vlhkostí, ale hmotnost a objem dřeva nerostou stejným způsobem. Zatímco hmotnost dřeva roste se zvyšující se vlhkostí až do maximálního nasycení (maximální vlhkosti dřeva), objem se zvyšuje jen do bodu nasycení buněčných stěn. Nejmenších hustot dosahuje dřevina s názvem balsa s  $\rho = 120 \text{ kg/m}^3$ , největší hodnoty má dřevina quajak posvátný s hustotou až  $\rho = 1370 \text{ kg/m}^3$ . U nás nejvyužívanější strom smrk dosahuje hodnot  $\rho = 450 \text{ kg/m}^3$ .

Podle výše určené objemové hmotnosti můžeme dřeviny rozdělit na dřeva s nízkou, střední a vysokou hustotou.

- Nízká hustota  $\rho < 540 \text{ kg/m}^3$
- Střední hustota  $540 \text{ kg/m}^3 < \rho < 750 \text{ kg/m}^3$
- Vysoká hustota  $750 \text{ kg/m}^3 < \rho$

### 4.1.3 Tepelné vlastnosti

Měrné teplo dřeva je  $c = 1,357 \text{ J.kg.K}^{-1}$ , z čehož lze jednoduše usoudit, že dřevo je dobrý tepelný izolátor a velmi dobře pohlcuje teplo. Tepelná vodivost je však velmi ovlivněna přítomností vody, hustotou dřeva a směrem určování (ve směru kolmo na vlákna dostáváme horší hodnoty než u směru rovnoběžně na vlákna).

Teplotní délková roztažnost se určí ze vzorce



$$\alpha_i = \frac{l_T - l_0}{l_0 \cdot \Delta T}$$

Kde  $\alpha_i$  je koeficient teplotní roztažnosti v i-směru ( $\text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ),  $l_0$  je počáteční rozměr v metrech a  $l_T$  - rozměr po změně teploty  $\Delta T$  v metrech. Výsledná hodnota je ovlivněna druhem dřeva a jeho hustotou, avšak vzhledem k nízkým hodnotám se u dřevěných konstrukcí neuvažuje [10].

#### **4.1.4 Akustické vlastnosti**

Základními akustickými vlastnostmi dřeva jsou zvuková vodivost, průzvučnost a rezonanční vlastnosti dřeva. Průměrná zvuková vodivost rovnoběžně s vlákny je 4500m/s a kolmo na vlákna 1000m/s. Hodnota kolmo na vlákna je srovnatelná se zvukovou vodivostí kovů. Průzvučnost dřeva, vyjádřená koeficientem zvukové propustnosti, která je závislá na tloušťce materiálu, nám obecně ukazuje, že dřevo není dobrý zvukový izolant. Úbytek intenzity zvuku je u dřeva tloušťky 50 mm asi 27dB. Rezanční vlastnost dřeva, je vlastnost využívaná pro výrobu hudebních nástrojů, ve stavebnictví nemá žádný praktický význam.

#### **4.1.5 Elektrické vlastnosti**

Dřevo se v celém rozsahu intervalu vlhkosti chová jako dielektrikum, tedy v suchém stavu je izolantem, se vzrůstající vlhkostí se stává částečně vodivým materiálem. Se vzrůstající vlhkostí se tedy snižuje elektrický odpor dřeva. Této vlastnosti je využito při elektrickém měření vlhkosti dřeva. Rozdílných hodnot dosáhneme i v závislosti na směru vláken, napříč vlákny je měrný elektrický odpor dřeva dvakrát větší než podél vláken.

#### **4.1.6 Vnější vzhled**

Do této skupiny řadíme barvu, lesk, texturu, vůni, očka, kořenice a lískovcové

dřevo. Vnější vzhled bývá velmi ovlivněn hlavně stářím stromu, jeho prvotním místem růstu, látkami obsaženými ve dřevě a zdravotním stavem dřeva. Barva dřeva je závislá na množství barviva ve dřevě. Lesk dřeva záleží na přítomnosti dřevných paprsků. Textura dřeva je dána stavbou dřeva. Rozdílných textur dosahujeme u jehličnatých dřevin (letokruhy) a u listnatých, které jsou viditelně složitější. Vůně dřeva je význačná převážně u čerstvého dřeva, bývá ovlivněna množstvím pryskyřice a třísloviny. Očka jsou zarostlé pupeny. Kořenice je oddenková část kmene, která definuje přechod ze stavby kořenů na stavbu dřeva stromu. Lískovcové dřevo je geneticky ovlivněná růstová odchylka, projevující se pouze na příčném směru jako lokální zvlnění.

## 4.2 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti dřeva jsou definovány jako schopnost dřeva odolávat vnějším mechanickým silám. Základními mechanickými vlastnostmi dřeva je pružnost, pevnost, tvrdost, štípatelnost a ohýbatelnost. Tyto vlastnosti jsou závislé na druhu dřeviny, podmínkách růstu (podnebí, nadmořské výšce, okolním vlivům) a finální struktuře dřeva (vadách dřeva). V neposlední řadě, se výrazně liší v závislosti na směru vláken (axiální, radiální, tangenciální směr) [3, 4, 10].

### 4.2.1 Pružnost dřeva

Pružnost dřeva je definována jako vratná deformace dřeva a udává se v MPa. Je dána modulem pružnosti, který vyjadřuje napětí při změně pevnostních parametrů dřeva v mezích pružnosti.

Modul pružnosti v tlaku a tahu je podíl napětí a poměrné deformace. Lze ji jednoduše určit z následujícího vztahu

$$E_i = \frac{\partial \sigma_i}{\partial e_i}$$

Kde  $E_i$  je modul pružnosti,  $\sigma_i$  je napětí a  $e_i$  je hodnota poměrné deformace.

Průměrná hodnota modulu pružnosti v tahu a tlaku ve směru vláken, při vlhkosti 12%, je 10 000 až 15 000 MPa. Hodnota modulu pružnosti v tahu a tlaku je ve směru vláken zhruba 25x vyšší než ve směru kolmo na vlákna, přičemž v radiálním směru je až o 50% větší než ve směru tangenciálním.

Modul pružnosti ve smyku se pohybuje v rozmezí 100 až 2 000 MPa. Vyšších hodnot dosahujeme v radiálním směru.

Modul pružnosti kolmo na vlákna neboli ohyb. Modul pružnosti v ohybu se určí z normálového namáhání tělesa ohybovým momentem.

## 4.2.2 Pevnost dřeva

Pevnost dřeva je určena jako odolnost dřeva proti trvalému porušení. Rozlišujeme statickou (pevnost v tahu, tlaku, ohybu, vzpěru, smyku) a dynamickou (příčná pevnost proti rázovému ohybu/houževnatost) pevnost dřeva. Výsledná hodnota je ovlivněna směrem vláken, vlhkostí a vadami dřeva.

Výslednou pevnost dřeva získáme pomocí destruktivních zkoušek dřeva, kdy výstupní hodnotou je napětí, při kterém dojde k porušení tělesa.

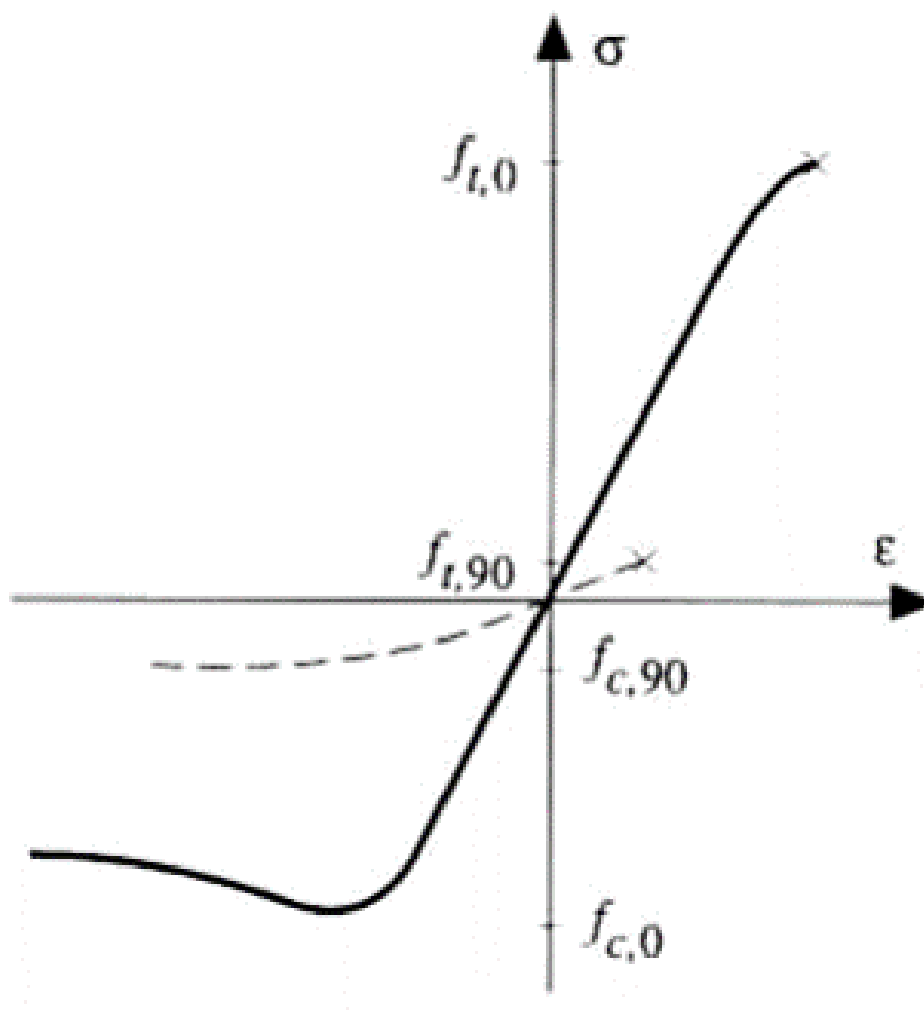
- Pevnost v tlaku ve směru vláken – na těleso působí vnější síla, která na těleso vyvíjí tlak. Se vzrůstající vlhkostí se pevnost dřeva v tlaku výrazně snižuje. Pokud se na zkušebním vzorku nachází nějaké vady, může dojít k nesprávnému porušení vzorku, výsledná hodnota pevnosti je pak výrazně nižší. Zkušební prvek se pod vlivem tlaku, v ideálním případě, začne zkracovat. Výslednou pevnost v tlaku lze určit ze vzorce

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{a \cdot b}$$

Kde  $F_{\max}$  je síla na mezi pevnosti v Newtnech a  $a, b$  jsou příčné rozměry tělesa v milimetrech.

- Pevnost v tlaku napříč vláken – rozlišujeme pevnost v tangenciálním a radiálním směru. Při zatěžování tlakem dochází pouze k lokálnímu porušení

zkušebního prvku. Výsledné hodnoty se stanoví obdobně jako u pevnosti v tlaku ve směru vláken.



Obrázek 4.2: Závislost napětí a poměrného přetvoření namáhaného dřeva  
Plná čára = ve směru vláken, čárkovaná čára = ve směru napříč vláknů.

- Pevnost ve smyku – těleso je namáháno smykovým napětím za spolupůsobení dalšího napětí, například tahové nebo tlakové. Jedná se o velmi častý způsob zatížení. Pevnost se stanoví za pomoci dvou stejně velkých sil opačného směru, které vyvolají vzájemné posunutí dvou sousedních průřezů.
- Pevnost v tahu ve směru vláken – odolnost tělesa na sílu tahového charakteru. Překročení meze pevnosti se projeví porušením centrální části

tělesa. Průměrná hodnota pevnosti v tahu ve směru vláken se udává okolo 120 MPa.

- Pevnost v tahu kolmo na vlákna – Překročením meze pevnosti se projeví lokálním porušením prvku. Průměrná hodnota pevnosti v tahu kolmo na vlákna je výrazně nižší než ve směru vláken a pohybuje se okolo 1,5 až 5 MPa. Tah na vlákna může probíhat v radiálním nebo tangenciálním směru, v radiálním směru je pevnost v tahu vyšší.
- Pevnost dřeva v ohybu – Velmi důležitá hodnota ve stavebnictví. Jeho průměrná hodnota se pohybuje okolo 100 MPa a určuje se pro prvek, který je podepřen na okrajích a zatížen silami působící mimo tyto podpěry. Klasickým případem jsou nosníky a stropní trámy. Pevnost dřeva v ohybu napříč vlákny se nejčastěji určuje v tangenciálním směru [4, 10].

### 4.2.3 Tvrdost dřeva

Tvrdost dřeva je definována jako schopnost odolávat vnikání cizího tělesa. Tvrdost je ovlivněna působením síly vzhledem ke směru vláken. Hodnota tvrdosti dřeva velmi ovlivňuje schopnost opracování. Rozlišujeme statickou a dynamickou tvrdost.

- Statická tvrdost – do plochy dřeva je statickým zatížením zatlačována ocelová kulička.
- Dynamická tvrdost – na plochu dřeva je volným pádem puštěna ocelová kulička. Porovnáváme potenciaální energii kuličky a plochu otláčení, vzniklou dopadem.

Tvrdost dřeva se udává v MPa a dřeviny můžeme rozdělit do následujících kategorií:

- Měkká dřeva – tvrdost < 40 MPa.
- Středně tvrdá dřeva – tvrdost < 80 MPa.
- Tvrdá dřeva – tvrdost je vyšší než 80 MPa [4].

#### **4.2.4 Štípatelnost dřeva**

Je schopnost dřeva dělit se na menší části při působení vnějších sil, v tomto případě klínu. Dělení dřeva probíhá za spolupůsobení tlakového a ohybového namáhání. Odolnost dřeva proti štípání uvažujeme pouze ve směru rovnoběžně s vlákny, tedy pouze v tangenciální a radiální rovině.

#### **4.2.5 Ohýbatelnost dřeva**

Je definována jako schopnost dřeva nabýt nového tvaru, bez porušení průřezu a následně nový tvar zachovat i poté, co přestanou působit vnější síly. K fixaci nového tvaru je nutno dřevo vysušit. Tato schopnost je velmi ovlivněna množstvím ligninu ve dřevě.

### **4.3 Vady a škůdci dřeva**

Vady dřeva definujeme jako skupinu převážně makroskopických odchylek dřevní hmoty od nejčastější struktury dřeva, nebo jako takové vlastnosti, které negativně ovlivňují funkčnost materiálu. Je nutno si uvědomit, že dřevo je výrazně anizotropní materiál a proto je nutné k němu takto přistupovat. Výskyt vad a škůdců je ovlivněn celou řadou faktorů, například vlhkostí prostředí a druhem dřeva.

#### **4.3.1 Biotičtí škůdci**

V přírodě sehrávají velmi důležitou roli, jež zajišťuje podstatnou část přirozeného koloběhu života dřevin. Ovšem z pohledu stavebního je žádoucí se těmito znehodnocením vyhnout.

Základními škůdci dřeva je dřevokazný hmyz, dřevokazné houby a parazitické rostliny. Společný je požadavek na přítomnost vody, dřevěný prvek se musí nacházet v nevysušeném stavu a ve vlhkém prostředí.

- Dřevokazný hmyz - rozlišujeme druh hmyzu, který způsobuje škodu na živém a na mrtvém dřevu. Oba druhy tvoří ve dřevě mateční a larvární chodby, výletové otvory a potřebuje k životu vlhkost vyšší než 10 % a teplotu okolo 20°C. Nejčastějšími zástupci jsou kůrovci, pilořitky, hrbohlavci, červotoči a tesařici.
- Dřevokazné houby – Nejnebezpečnější škůdce dřeva. Rozlišujeme houby parazitické a saprofytické. Následné vzniklé vady jsou rakovina, plíseň, zapaření, zbarvení jádra houbami, zbarvení bělí houbami a hniloba (tvrdá, měkká). Mezi nejčastější zástupce patří Dřevomorka domácí, Koniufora sklepní a Pornatka Vaillantova.
- Parazitické rostliny - zde řadíme například jmelí či ochmet.

### 4.3.2 Abiotické vady

Abiotické vady rozlišujeme na vady růstové a výrobní, vedlejší vadou může být například zbarvení neorganického původu.

- Růstové vady – dále dělíme na vady tvaru kmene (křivost, sbíhavost, kořenové náběhy, zbytnění oddenku, boulovitost), nepravidelnosti struktury (točivost vláken, svalovitost, reakční dřevo, smolník, závitek, prosmol, dřeň, zárost, nepravé jádro), suky (dle typu, nasazení větví, umístění na ploše) a trhliny (středové, obvodové, odlupčivé, dřeňové, mrazové, výsušné)
- Výrobní vady – vznikají při těžbě (šikmý řez, nedořez, vytrhaná vlákna a třísky, výrobní trhlina a mechanické poškození při přibližování), výrobě řeziva (úchylka kolmosti a úchylka rovnoběžnosti) a deformace řeziva při sušení (borcení)
- Zbarvení neorganického původu – vznikají například reakcí železitých solí s tříslovinami nebo dřeva se světlem a vzduchem.

Podstatnou kapitolou abiotické degradace je atmosférická a chemická koroze.

- Atmosférická koroze – přirozený proces stárnutí dřeva. Rychlost stárnutí je závislá na velké řadě faktorů, tím nejdůležitějším je pak vliv vnějšího prostředí.

- Chemická koroze – vzniká při kontaktu dřeva s agresivní chemickou látkou, nejčastěji kyselinou nebo zásadou. Dřevo se vyznačuje poměrně velkou chemickou odolností [12].



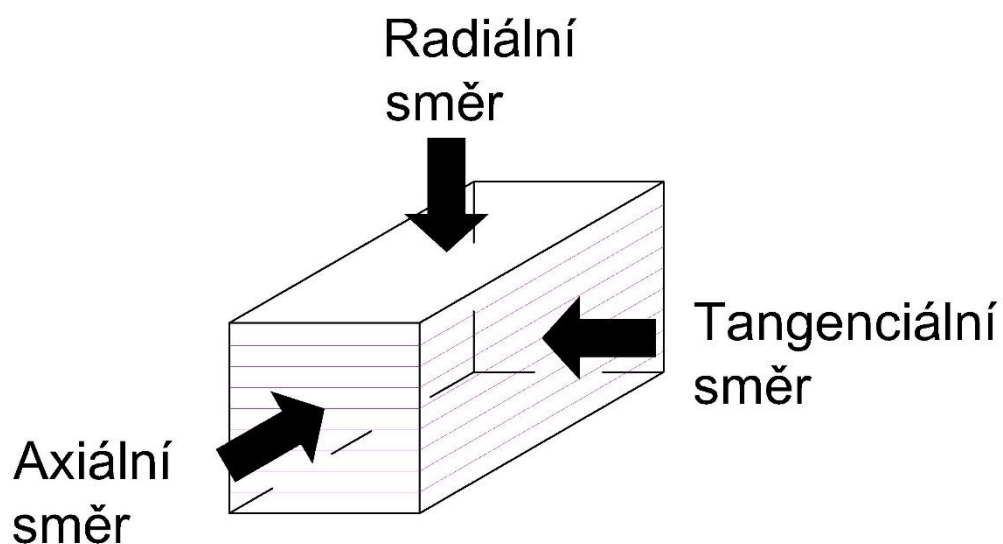
## 5 DIAGNOSTIKA DŘEVA

Podnětem k provádění průzkumu dřevěných konstrukcí může být havarijný stav objektu, objevení výskytu biologického napadení, úmysl změnit účel využití objektu, nebo tento průzkum může mít jenom preventivní charakter.

Diagnostika dřeva jakožto stavebního materiálu slouží ke zjištění jeho fyzikálních a mechanických vlastností pro konkrétní druh dřeviny.

### 5.1 Definice směrů zkoušení

Pro správnou diagnostiku dřeva je nutno uvažovat s velmi rozdílnou strukturou materiálu. Vzhledem k této skutečnosti je pro dosažení správných a objektivních výsledků nutno zkoušet dřevo, respektive dřevěný prvek v různých směrech. Tyto směry nám velmi názorně zobrazuje následující obrázek 5.1.



Obrázek 5.1: Základní směry zkoušení dřeva

Definice jednotlivých směrů zkoušení:

- Radiální směr – směr kolmo na vlákna dřevěného prvku, respektive kolmo na plochu tangenciálního směru
- Tangenciální směr – směr tečně na vlákna dřevěného prvku, respektive kolmo na plochu radiálního směru
- Axiální směr – směr rovnoběžný s vlákny dřevěného prvku, respektive po směru vláken [13, 9].

## **5.2 Diagnostické metody**

Zkoušení dřeva v dřevěných konstrukcích se dělí na tři hlavní diagnostické metody. Jedná se o nedestruktivní, semi-destruktivní a destruktivní metodu.

## **5.3 Nedestruktivní metody**

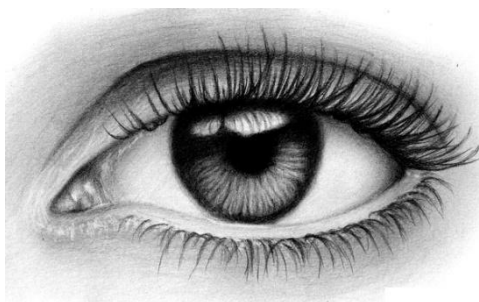
Nedestruktivní metody žádným způsobem nenarušují konstrukci či zkušební vzorek. Jedná se o méně přesné metody než zkoušky destruktivní a bývají často označovány jako „neprůkazné“ metody.

### **5.3.1 Vizuální metoda**

Jedná se o základní, nejjednodušší a nejstarší diagnostickou metodu dřeva. S její pomocí lze získat informace o materiálu, použité technologické postupy a dodatečné zásahy do konstrukce. Podrobnějším vizuálním průzkumem lze určit viditelné poškození, celkový stav, druh dřeva, vady, napadání dřeva škůdci a jejich následnou identifikaci.

Výhodou této metody jsou okamžité výsledky a identifikace kritických míst.

Nevýhodou této metody je subjektivita hodnocení, která je závislá pouze na diagnostikovy a to včetně stanovení kritérií a jejich vah důležitosti. Tato metoda nám neposkytne konkrétní přesné hodnoty, není možné odhalit vnitřní stav prvku.



Obrázek 5.2: Názorné zobrazení nejčastěji používaného nástroje pro vizuální metodu



Obrázek 5.3: Část typického posuzovaného dřevěného prvku

### **5.3.2 Měření vlhkosti**

Do značné míry je vlhkost dřeva ovlivněna okolním prostředím. Proto je nutné provádět měření na místě výskytu konstrukce. Vyšší stupeň vlhkosti zvyšuje možnost napadení škůdci a nepříznivě nám ovlivňuje mechanické vlastnosti dřeva. Tato místa je nutno dále podrobně prozkoumat.

Správné stanovení vlhkosti je základ pro určení dalších fyzických i mechanických

vlastností dřeva. Je tedy nutno dbát na správnou kalibraci měřících přístrojů s ohledem na druh dřeva a okolní teplotu. K měření se používají příruční vlhkoměry, které dělíme dle principu, na kterém pracují, na odporové, absorpční, kapacitní, mikrovlnné a jiné. V praxi jsou nejpoužívanější odporové příruční vlhkoměry, které pracují na principu elektrické vodivosti a odporu dřeva [12].



Obrázek 5.4: Měření vlhkosti pomocí odporového příručního vlhkoměru

### 5.3.3 Měření rychlosti šíření ultrazvukových vln

Velmi jednoduchá, komplexní a hojně využívaná metoda. Její hlavní výhodou je poskytnutí okamžitých výsledků, z kterých lze vyvodit celkový stav konstrukce. Měření probíhá nejlépe v podélném i příčném směru, což nám umožní odhalit i lokální poruchy.

Nevýhodou této metody je vliv mikroklimatických podmínek, biologického původu materiálu, snižování přesnosti měření u širokých profilů a také snižování přesnosti měření vlivem trhlin.

Základem této metody je měření času, který ultrazvukové vlnění potřebuje na průchod zvoleným materiálem. Ultrazvukové vlny jsou mechanické vlnění, které látkou

přenáší energii. K přenosu této energie je využito kmitání, potřebná energie k mechanickému vlnění je 50 až 20 000 Hz, zpravidla se však používají frekvence vyšší než 16 000 Hz. Potřebná frekvence se liší především dle použitého přístroje, ale nejčastěji je to 20 kHz až 500k Hz. Rychlost šíření ultrazvukových vln je ovlivněno vlastnostmi dřeva, hustotou, tuhostí, druhem dřeva a vnějšími podmínkami při měření.

Principem měření je přikládání dvou sond na zkoumaný dřevěný prvek. Jedna ze sond je budič, druhá je snímač. Budič vysílá ultrazvukový signál o nastavené frekvenci, snímač je pak nastaven na vhodnou citlivost k zachycení toho signálu. Nejčastějším způsobem měření je měření v jedné rovině, kdy jsou sondy umístěny naproti sobě. Takto můžeme měřit v příčném i podélném směru. Méně přesnou metodou je měření, kdy se oba sondy nacházejí ve stejné rovině. Jedná se o měření povrchové a využívá se převážně v případech, kdy nejdou použít měření příčném nebo podélném směru [12, 14].



Obrázek 5.5: Měření rychlosti šíření ultrazvukových vln

### 5.3.4 Radiační metody

Radiační metody se dělí na radiometrii a radiografii. Společné pro radiační metody je využití záření ionizujícího charakteru. Výsledkem je velmi podrobný pohled na

strukturu konstrukce, vnitřní trhliny a hnilobu.

Nevýhodou těchto metod je nutnost zvláštních bezpečnostních opatření, které znemožňují přístup do míst, kde je radiační metoda prováděna.

- Radiometrie – je metoda k určení objemové hmotnosti a vlhkosti materiálu, tam kde nejsou ostatní metody efektivní nebo použitelné. U radiometrie využíváme dvou různých principů, princip rozptylu gama záření a princip průchodu a zeslabení záření gama. Výsledkem těchto měření je četnost impulsů za časovou jednotku, z níž lze určit objemovou hmotnost materiálu.
- Radiografie – jako záření je použito rentgenové záření a záření gama. Měřena je míra zeslabení záření, která nám s pomocí snímku určí vnitřní strukturu prvku z pohledu objemové hmotnosti [14].

## **5.4 Semi-destruktivní metody**

Nedestruktivní metody, které jsou založeny na principu nepřímého zjišťování hustoty.

### **5.4.1 Odporové zarážení trnu**

Odporové zarážení trnu funguje na principu dynamického rázu kalibrovaného výstřelu, který zajišťuje penetraci do povrchu materiálu. Při tomto rázu je zaznamenána hloubka průniku trnu, která je ovšem velmi malá a vzniklé poškození se může zanedbat.

K určení hustoty je potřeba znát vlhkost prvku v době měření. Přesnost této metody je srovnatelná s destruktivní metodou jádrových vývrtů.

Nevýhodou měření je nutnost kalibrace pro každé měření, neumožňuje odhalení vnitřní struktury a jejích vad prvku [12].



Obrázek 5.6: Odporové zarážení trnu

#### 5.4.2 Radiální vývrty

Metoda založená na zkoušení vzorků válcovitého tvaru, odebraných z konstrukce. Odebrání těchto vzorků nemá žádný vliv na pevnost konstrukce, je však vhodné tyto otvory uzavřít. Uzavřením vzniklého otvoru zabráníme vnikání vody do konstrukce a s tím související problémy.

Průměr vzniklého otvoru je 10 mm, jeho hloubka maximálně 20 mm. K odběru vzorků je určena speciální elektrická vrtačka s upraveným vrtákem. Vrtání probíhá v radiálním směru, ve vzorcích je obsaženo letní i jarní dřevo.

Vložením odebraných vývrtů do čelistí s drážkami a následným vyvoláním tlakového zatížení kolmo na osu vývrtu je možno určit pevnost a modul pružnosti. Dalšími vlastnostmi, které lze touto metodou určit, jsou hustota a vlhkost. Radiální vývrt může posloužit i jako podklad k vizuální metodě.

Nevýhodou této metody jsou malé zkušební vzorky, které nám vzhledem k anizotropii dřeva, nemusí poskytnout dostačující výsledky. Je tedy nutno posoudit zda je výhodnější použití více vývrtů [15].



Obrázek 5.7: Příčný řez radiálním vývrtem

### 5.4.3 Endoskopie

Metoda velmi podobná vizuální metodě za využití endoskopu nebo videoskopu. Principem metody je vývrt otvorů o velmi malých průměrech (10-12mm), v některých případech lze využít praskliny či štěrbin v konstrukci. Do těchto otvorů je následně zasunut endoskop, který je připojen na displej. Po ukončení průzkumu je vhodné otvory zazátkovat.

Tímto způsobem je možné vizuálně zkoumat i velmi špatně dostupná místa a na rozdíl od vizuální metody je umožněn pohled na vnitřní makrostrukturu konstrukce. Lze odhalit přítomnost dřevokazného hmyzu včetně jeho začlenění, biotické poškození dřeva, mechanické poškození, rozklad nebo přítomnost hub.

Nevýhodou této metody je subjektivita hodnocení závislá na lidském faktoru, konkrétně na diagnostikovy [12].



## 5.5 Destruktivní metody

Slouží k přímému zjišťování fyzikálních a mechanických vlastností dřeva. Průkazné laboratorní zkoušky se provádí dle normy ČSN EN 384 Konstrukční dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností.

Zkušební těleso pro laboratorní zkoušení musí být bez vad o přesně daných příčných rozměrech 150 mm. V případě potřeby lze destruktivní zkoušky provést i na malých tělesech bez vady či na vzorcích konstrukčních rozměrů. Tyto charakteristické hodnoty musí být upraveny vhodnými součiniteli. Hodnoty ze zkušebních těles se uvažují na dřevo s vadami. U konstrukčního dřeva zjišťujeme převážně jeho fyzikální a mechanické vlastnosti, které jsou různé z hlediska základních anatomických směrů ve dřevě. Na výsledky těchto zkoušek má velký vliv vlhkost zkoušeného dřeva [8].

## **6 Diagnostika dřevěného prvku**

Praktická část této práce je zaměřena využití ultrazvuku na části dřevěného prvku, odhalení jeho vad a poškození a následné zjištění vzájemných závislostí různých fyzikálních a mechanických vlastností tohoto prvku. Vedlejšími diagnostickými metodami použitých k získání potřebných údajů jsou vizuální metoda a destruktivní zkouška pevnosti v tlaku.

### **6.1 Popis**

K měření byl použit přístroj Pundit PL-200 s 54kHz exponenciálními snímači a s přesností na celé m/s.

Přístroj je určený k testování kvality materiálů přímo na místě. Poskytuje rozšířený rozsah režimů měření s opravdu obsáhlou škálou možností a funkcí. Přístroj je použitelný pro testování kvality betonu, horniny, dřeva, keramiky i dalších materiálů. Jednou z jeho mnoha možností je i schopnost odhadnout pevnost v tlaku betonu nebo měřit povrchovou rychlost a hloubku kolmých trhlin. Ovšem pro naše potřeby byla dostačující funkce měření rychlosti šíření ultrazvukového vlnění materiálem.



Obrázek 6.1: Pundit PL-200 včetně příslušenství

## 6.2 Vizuální metoda

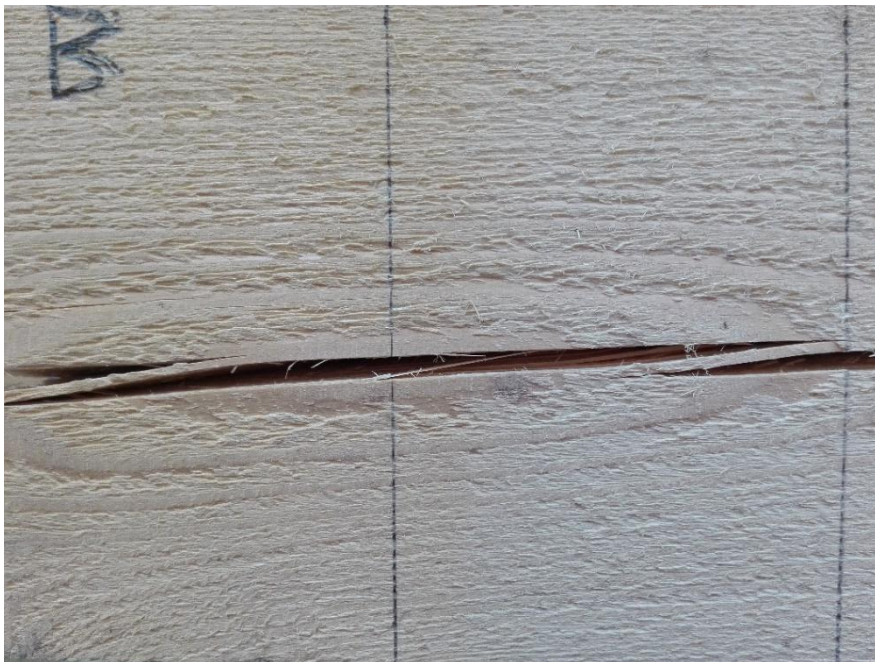
První zvolená metoda byla vizuální. Ta odhalila řadu suků a trhlin procházejících celým prvkem. Žádné další znehodnocení dřeva nebylo zaznamenáno.

Suky byli všechny kategorizovány jako zarostlé zdravé, jednotlivé a dle vzhledu na kruhové a oválné. Suky se nacházely na podélných plochách prvku, žádné z nich však nebyli větší než 1/3 průřezu.



Obrázek 6.2: Suk nacházející se na podélné straně C

Trhliny byli identifikovány jako středové lomené, nacházející se na každé podstavné ploše hranolu, a výsušné, procházející podélnou stranou hranolu po celé jeho délce na všech čtyřech plochách hranolu.



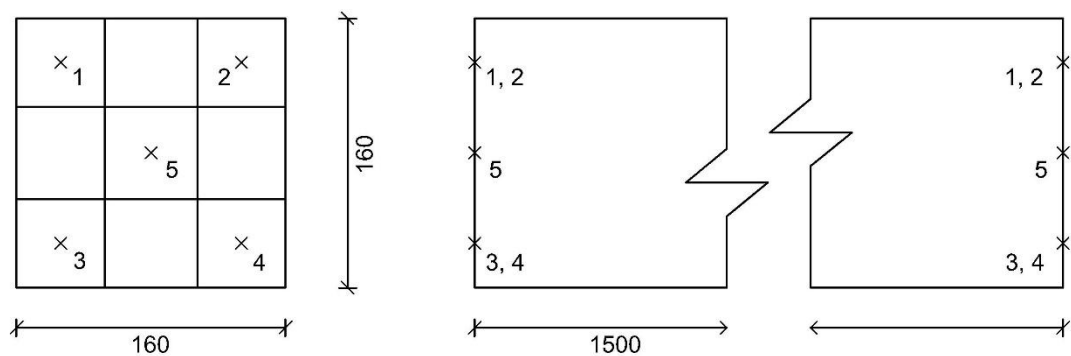
Obrázek 6.3: Ukázka trhliny vedoucí po celé délce plochy B

Podle smetanově bílé barvy s lehkým odstínem hnědé byl dřevěný prvek identifikován jako smrkové dřevo. Dalšími, avšak ne tak důležitými ukazateli, byla poměrně lehká váha prvku, výrazná vůně pryskyřice a výrazné letokruhy se zřetelně odlišitelnými jarními a letními přírůstky dřeva.

### **6.3 Ultrazvuk celého prvku**

Druhou metodou, z oblasti nedestruktivních zkoušek, byla metoda šíření rychlosti ultrazvukových vln. Měření proběhlo v podélném, příčném a plošném směru. Podélné měření proběhlo s přístrojem nastaveným na pulsní napětí 1000V a 300x zesíleným snímačem. Měřilo se celkem v pěti místech podstavy prvku, vždy naproti sobě. Čtyři z těchto měření byly provedeny ve středech pomyslných čtvrtin podstavy, páté pak ve středu celé podstavy.





Obrázek 6.4: Metoda měření podélného šíření UZ vln u celé délky vzorku

## 6.4 Popis diagnostikovaného prvku

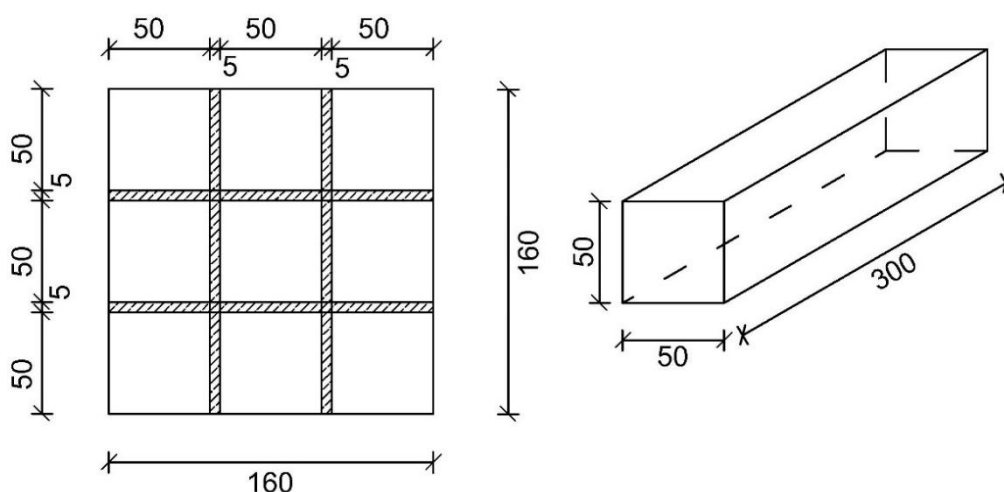
K diagnostice jsme zvolili prvek tvaru hranolu s čtvercovou podstavou o délce hrany 160 mm a podélné délce 1500 mm. Prvek byl pečlivě opracován a zbaven všech nečistot.



Obrázek 6.5: Pohled na podélnou stranu B

## 6.5 Rozřezání prvku

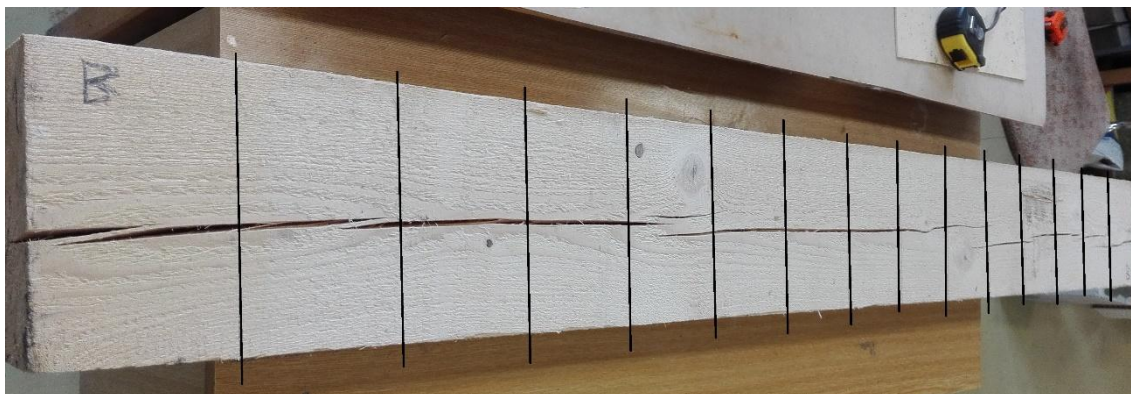
Pro větší efektivitu zkušebních metod, proběhlo rozřezání původního prvku na 45 kusů menších zkušebních vzorků o rozměrech 50 x 50 x 300 mm. Tento rozměr byl uvažován s ohledem na potřebnou šířku kotoučové pily a s ohledem na požadavky normy na zkoušení. Prvek byl postupně rozřezán na kotoučové pile, nerovnosti, vzniklé velkým rozměrem prvku a menším průměrem kotouče pily, byly později zarovnány vibrační bruskou.



Obrázek 6.6: Schématický nákres rozřezání původního prvku na zkušební vzorky

## 6.6 Značení prvku/vzorků

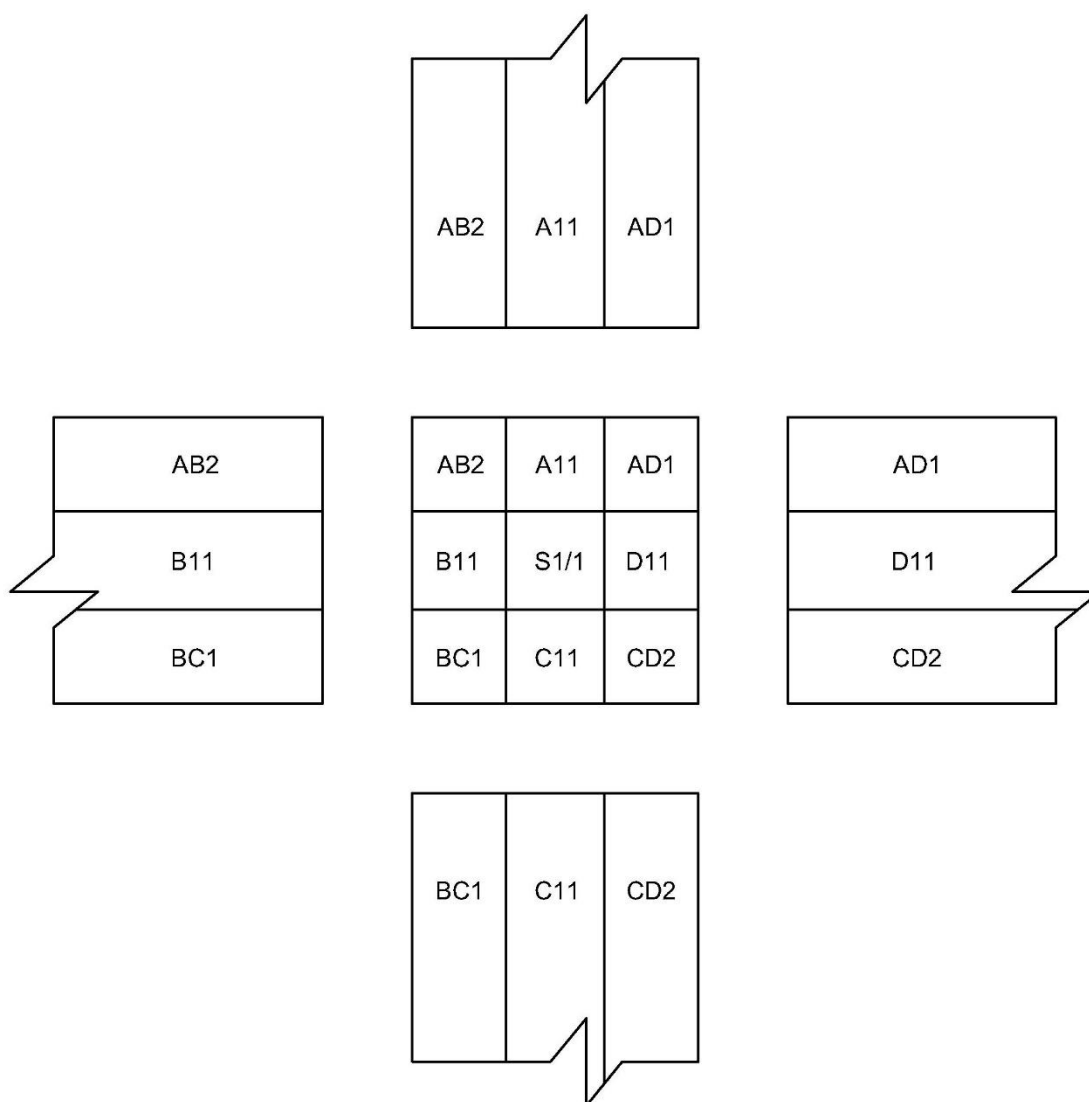
Prvek byl pro budoucí přehlednost označen znaky mezinárodní abecedy A, B, C, D, na každé podélné straně jedním. Podstavy čtvercového tvaru byly zřetelně označeny arabskými číslicemi 1 a 2. Celý prvek byl označen liniemi po celém obvodu znázorňující 100 mm vzdálenosti. Pozorováním byla podstava 1 zvolena jako rovnější, proto se její hrana stala linií odměřování polohy dalších linií. K eliminaci nepřesnosti měření způsobené lidským faktorem, byl použit k přenášení linií laserový nivelační přístroj.



Obrázek 6.7: Obvodové linie po 100 mm

Po rozřezání původního prvku na zkušební vzorky vznikla potřeba nového značení, s ohledem na umístění v původním prvku. Nejvhodnějším řešením bylo užití původních znaků mezinárodní abecedy s ohledem na pozici nového vzorku. Označení AB2 tedy značí vzorek nacházející se na hraně ploch A a B a ve vzdálenosti 0 až 300 mm od podstavy 1. Označení osamělým písmenem, například D11, označuje středový vzorek na ploše D a vzorky označené S1-S2 značí středový vzorek ze středu samotného vzorku.

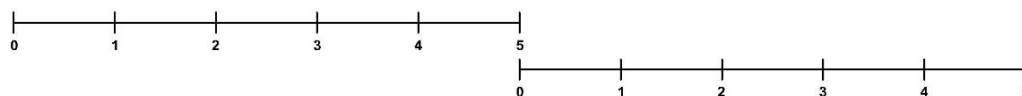




Obrázek 6.8: Typologie značení vzorků

## 6.7 Ultrazvuk

Měření rychlosti šíření ultrazvukového vlnění v příčném směru bylo zvoleno nastavení pulsního napětí na 500V a 200x zesílený snímač. Měření probíhalo na bodech, které se nacházely ve středu dvou protilehlých ploch, vždy po 100 mm. První výsledky tedy patří pro strany A-C. Plošné měření bylo provedeno pro každou podélnou plochu prvku, teda A-B-C-D, vždy po 100mm a pěti měřících bodech. Konečné nastavení přístroje bylo 500V a 400x zesílený snímač.



Obrázek 6.9: Metodika postupu plošného měření rychlosti šíření UZ vln

Druhá série měření ultrazvukem na zkušebních vzorcích proběhla pouze v podélném směru ve středu prvku a s nastavením přístroje na pulsní napětí 100V a 200x zesílený snímač.

## 6.8 Zkouška pevnosti v tlaku

Všech 45 zkušebních vzorků bylo postupně vloženo do zkušebního lisu, nacházejícího se v laboratořích Ústavu stavebního zkušebnictví a v souladu s ČSN EN 408 proběhlo zatěžování prvku konstantní rychlostí, až do jeho viditelného porušení. Zatěžování proběhlo dostředně, pomocí tlačné desky, na které se nacházel kulový kloub. Po porušení vzorku proběhlo zaznamenání maximální síly  $F_{\max}$ , s přesností 0,5 kN, která na prvek působila.



Obrázek 6.10: Deformace vzorku BC1 po dosažení  $F_{\max}$

## 6.9 Sušení porušených zkušebních prvků

Následně bylo všech 45 porušených zkušebních vzorků zváženo ve vlhkostním stavu odpovídajícímu zkoušce a vloženo do elektrické plně automatické sušárny a následujících 48 hodin sušeno při teplotě 105°C. Po uplynutí této doby byly zkušební vzorky vyjmuty a pro potřeby dalších výpočtů opět zváženy. Vážení proběhlo bezprostředně po vyjmutí vzorků s přesností na 0,01 gramů.



Obrázek 6.11: Porušené vzorky v sušičce

## 6.10 Vyhodnocení zkušebního prvku

### 6.10.1 Stanovení vlhkosti zkušebních vzorků

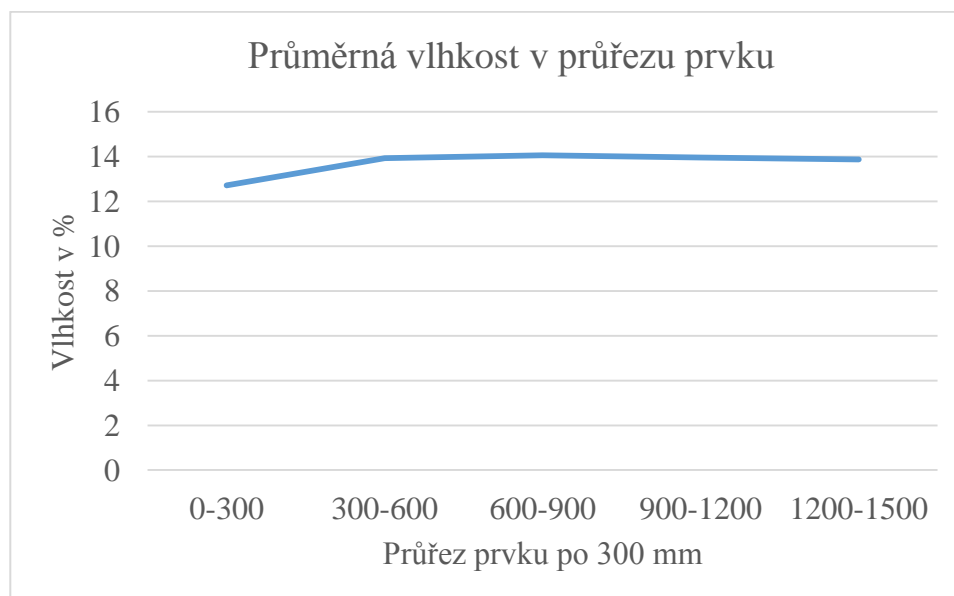
S pomocí hodnot, které byly získány v jednotlivých diagnostických krocích, bylo možné stanovit skutečný obsah vody v každém z čtyřiceti pěti zkoušených vzorků. Pomocí experimentální (gravimetrické) metody a jednoduchého vzorce,

$$w = \frac{m_w - m_o}{m_o} * 100,$$

kde  $m_w$  je hmotnost vlhkého dřeva a  $m_o$  je hmotnost sušiny materiálu, byla stanovena procentuální absolutní vlhkost materiálu  $w$ .

Průměrná vlhkost prvků byla stanovena na 13,7%. Veškeré další měřené hodnoty vychází právě z této hodnoty průměrné vlhkosti.

Vlhkost jednotlivých zkušebních průřezů přehledně ukazuje graf.



Obrázek 6.12: Průměrná vlhkost v průřezu prvku po 300 mm.

Vizuální pohled na graf odhalil lehce nižší hodnotu průměrné vlhkosti ve zkušebních vzorcích v úseku 0 – 300 mm. Menší vlhkost v průřezu může být zapříčiněna menším počtem trhlin než u ostatních úseků, které zvyšují plochu vnikání vody do prvku.

### 6.10.2 Pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny

Výsledná síla působící na zkušební vzorky se pohybovala od 55-110kN, v závislosti na druhu vzorku a jeho vadách. Nejmenších hodnot bylo dosaženo právě při vzorcích s velkou podélnou prasklinou a sukem, který přesahoval 1/3 šířky vzorku. Největších pevností v tlaku bylo naopak dosaženo u neporušených vzorků, které se dříve nacházely na podélné straně označené C.

Průměrná maximální síla  $F_{max}$  v tlaku působící na zkušební vzorek rovnoběžně

s vlákny byla stanovena na 82,39 kN.

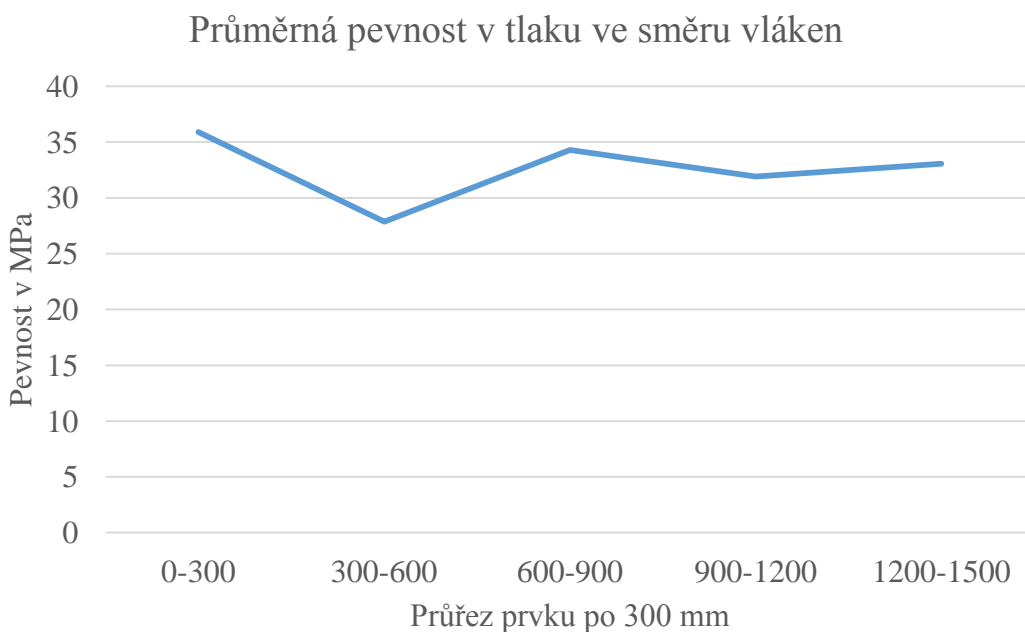
Dosažením do normového vzorce

$$f_{c,0} = \frac{F_{max}}{A}$$

kde A je průměrná zatěžovací plocha v  $\text{mm}^2$ , v tomto případě čtvercové podstavy a  $F_{max}$  je výše určená maximální síla působící na zkušební vzorek rovnoběžně s vlákny, získáme průměrnou pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny při průměrné vlhkosti 13,7 %

$$f_{c,0} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{82,39 * 10^3}{2525} = 32,63 \text{ MPa}$$

Průměrnou pevnost v tlaku ve směru vláken v závislosti na průřezu prvku přehledně zobrazuje následující graf.



Obrázek 6.13: Graf průběhu pevnosti v tlaku ve směru vláken prvkem

Na základě těchto údajů byl zkontrolován úsek 300 – 600 mm, kde byla průměrná pevnost v tlaku směrem na vlákna až o 20 % menší než u ostatních průřezu. Pokles pevnosti byl pravděpodobně způsoben velkou koncentrací suků a podélných trhlin na vzorcích. V této části průřezu se nacházel pouze jediný zkušební vzorek bez význačných trhlin či suků. Největších hodnot v úseku 0 – 300 mm jsme dosáhli u

zkušebních prvků s nejmenší vlhkostí a nejmenším počtem zjištěných vad a suků.

Zde je v jednoduchosti uvedeno několik vybraných hodnot pevnosti v tlaku kolmo na vlákna.

Tabulka 6.1: Vybrané hodnoty pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny zkušebních prvků

<b>Pevnost <math>f_{c,0}</math></b>	
	MPa
Průměr	32,61
Max.	42,60
Min.	22,42
Směrodatná odchylka	5,91

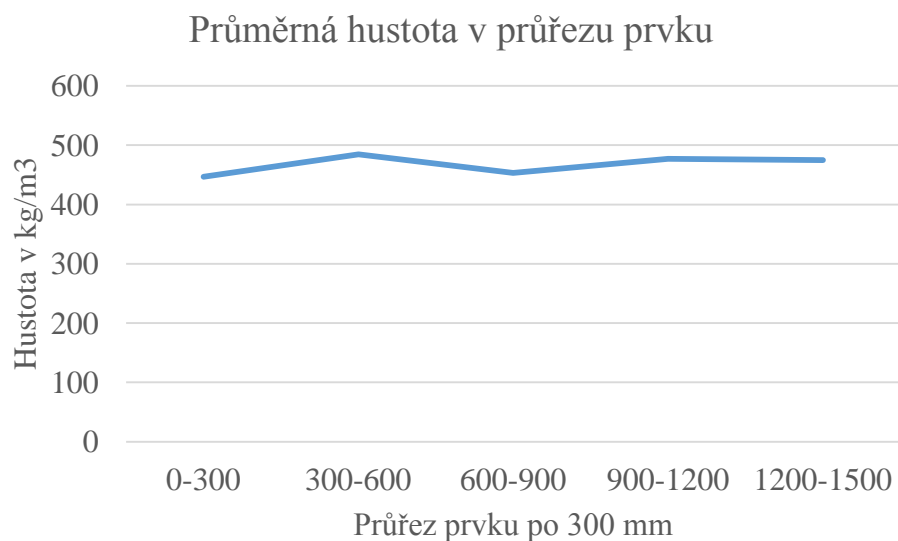
### 6.10.3 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost jednotlivých vzorků, byla stanovena pomocí hmotnosti vzorku před vysušením  $m_w$  a objemu vzorku  $V$ . Dosazením těchto hodnot do vzorce

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

dostáváme průměrnou objemovou hmotnost  $460,89 \text{ kg/m}^3$  při průměrné vlhkosti 13,7%. Průměrná objemová hmotnost smrku se obvykle uvádí okolo  $440 \text{ kg/m}^3$  ve vysušeném stavu.

Hustotu jednotlivých zkušebních prvků v průběhu průřezu zobrazuje následující graf.



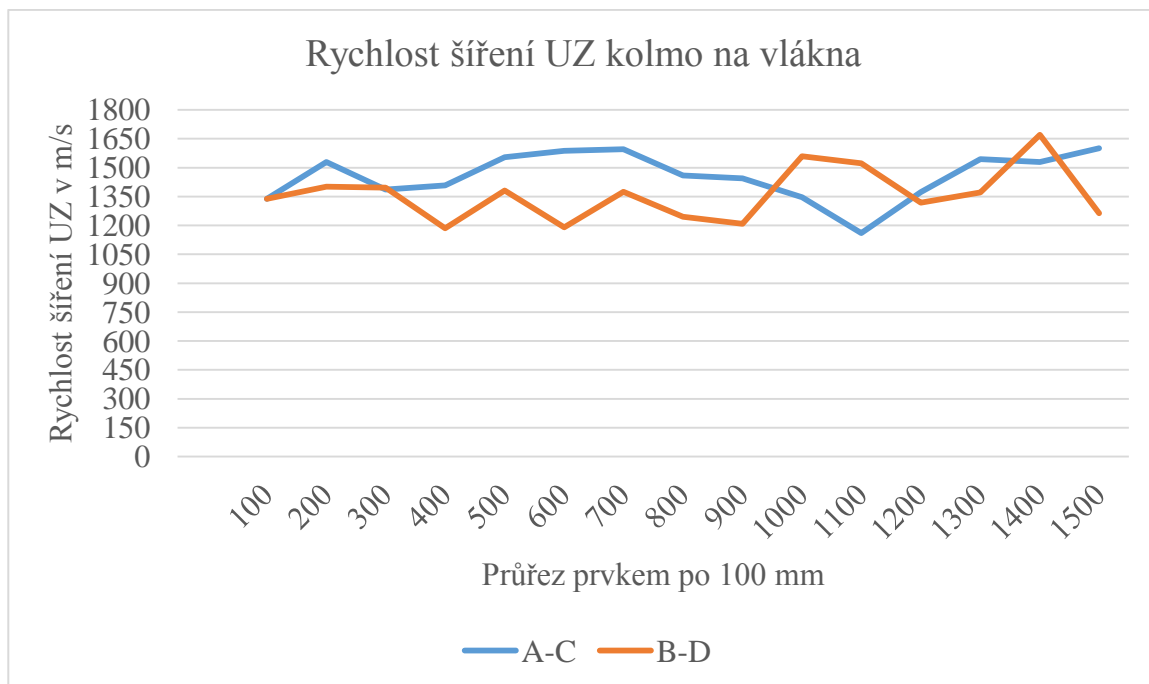
Obrázek 6.14: Přehled hustoty původního vzorku po 300 mm

Vyšší hodnoty objemové hmotnosti v prvku jsou pravděpodobně způsobeny větším počtem velkých suků, které mají větší hustotu než okolní dřevo. Nižší hodnoty u vzorků délky 0 – 300 mm mohou souviset s menším obsahem vody ve dřevě, který přehledně zobrazuje graf průměrné vlhkosti v průřezu prvku.

#### 6.10.4 Ultrazvuk

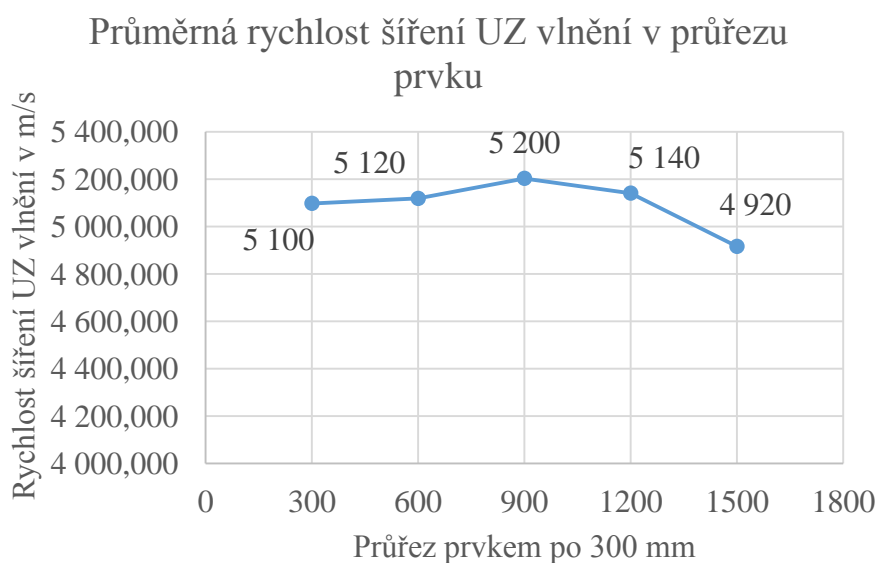
Konečná průměrná hodnota rychlosti šíření ultrazvukových vln ve směru kolmo na vlákna byla stanovena na 1410m/s. Jednotlivé rychlosti v liniích po 100 mm lze přehledně shlédnout zde.





Obrázek 6.15: Rychlost šíření UZ vln kolmo na vlákna v původním vzorku

Průměrná rychlost šíření ultrazvukových vln ve směru vláken celého prvku se pohybovala na 5190 m/s a po rozřezání na menší zkušební vzorky se rychlost změnila 5100 m/s. Rychlost šíření ultrazvukových vln zkušebními vzorky je přehledně zobrazeno zde:



Obrázek 6.16: Rychlost šíření UZ vln ve zkušebních vzorcích ve směru vláken

Ze vzorce

$$E = c^2 * \rho$$

bylo možné dále spočítat dynamický modul pružnosti E, pro tento prvek. Hustotu dřeva  $\rho$  a rychlost šíření zvukových vln ve dřevě c známe z předchozích měření. Po dosazení do vzorce

$$E_{\text{rovnoběžně}} = c^2 * \rho = 5095,38^2 * 460,892 = 12\,000 \text{ MPa}$$

nám vychází dynamický modul pružnosti 12 000 MPa, což je vyšší než obvyklá hodnota. Obvyklá hodnota modulu pružnosti smrků rovnoběžně s vlákny se průměrně stanovuje na 11 000 MPa. Modul pružnosti kolmo na vlákna by měl být zhruba 3x menší než rovnoběžně s vlákny, po dosazení do vzorce

$$E_{\text{kolmo}} = c^2 * \rho = 1409,63^2 * 460,892 = 920 \text{ MPa}$$

zjišťujeme, že je hodnota skoro 2x vyšší než je uváděno pro smrk v tomto směru měření. Průměrná hodnota modulu pružnosti pro smrk kolmo na vlákna se udává 550 MPa. Velikost rozdílu je stanovena převážně rozdílnou rychlostí zvuku, která prvkem ve směru kolmo na vlákna prošla, námi určená rychlost je skoro o 400 m/s vyšší. Naštěstí hodnota dynamického modulu pružnosti nehraje v našem projektu žádnou další roli.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byla diagnostika vybraného dřevěného prvku. V teoretické části byl cíl splněn popisem materiálových vlastností dřeva a typem zkoušek vhodných k diagnostice dřeva. Tato teoretická část dále sloužila jako podklad pro správné vypracování části praktické.

V praktické části byla s pomocí vybraných diagnostických metod určena míra poškození a další fyzikální a mechanické vlastnosti dřevěného prvku. Experiment byl podrobně zaznamenán a zpracován se zaměřením na zhodnocení výsledků metody rychlosti šíření ultrazvukových vln a případné porovnání s dalšími výsledky vhodných diagnostických metod. Vizuální metodou bylo odhaleno značné nebiotické poškození ve formě trhlin. Následnou metodou měření rychlosti šíření ultrazvukového vlnění jsme stanovili průměrné hodnoty rychlostí ve zvolených zkušebních směrech pro celý prvek i pro jednotlivé zkušební vzorky, které vznikly rozřezáním původního prvku. Průběžné výsledky byli velmi ovlivněny koncentrací trhlin a suků, avšak vyřazením velmi porušených vzorků, bylo dosaženo potřebných výsledků. Všechny zkušební vzorky byli následně podrobeny destruktivní zkoušce pevnosti v tlaku. Konečné pevnosti zkušebních vzorků byli porovnány s výsledky předchozí metody měření rychlosti šíření ultrazvukových vln a byla zjištěna obdobná skutečnost. Prvky s velkou koncentrací trhlin a suků vykazovali extrémní rozdíly výsledků oproti ostatním zkušebním prvkům s průměrnou koncentrací trhlin a suků. Po vysušení již porušených zkušebních vzorků byla stanovena vlhkost v jednotlivých průřezech prvku. Vyhodnocením zjištěných údajů byla odhalena zvýšená objemová hmotnost dřevěného prvku, zvýšená hodnota modulu pružnosti ve směru vláken a velmi zvýšená hodnota modulu pružnosti ve směru kolmo na vlákna.

Díky značnému množství získaných a porovnaných dat byl potvrzen vliv nebiotického poškození na rychlost šíření ultrazvukových vln, pevnosti materiálu v tlaku a dalších z nich určovaných hodnot.

## 8 SEZNAMY

### 8.1 Seznam obrázků

Obrázek 3.1: Chemické složení dřeva .....	15
Obrázek 3.2: Řez kmenem - makroskopická stavba [4] .....	16
Obrázek 3.3: Příčný řez P [6].....	17
Obrázek 3.4: Radiální řez R [6] .....	18
Obrázek 3.5: Radiální řez R [6] .....	18
Obrázek 4.1: Procentuální zastoupení vody ve dřevě při různé hodnotě vlhkosti.....	23
Obrázek 4.2: Závislost napětí a poměrného přetvoření namáhaného dřeva Plná čára = ve směru vláken, čárkovaná čára = ve směru napříč vlákny. ....	28
Obrázek 5.1: Základní směry zkoušení dřeva.....	33
Obrázek 5.2: Názorné zobrazení nejčastěji používaného nástroje pro vizuální metodu	35
Obrázek 5.3: Část typického posuzovaného dřevěného prvku .....	35
Obrázek 5.4: Měření vlhkosti pomocí odporového příručního vlhkoměru .....	36
Obrázek 5.5: Měření rychlosti šíření ultrazvukových vln .....	37
Obrázek 5.6: Odporové zarážení trnu .....	39
Obrázek 5.7: Příčný řez radiálním vývrtem.....	40
Obrázek 6.1: Pundit PL-200 včetně příslušenství.....	43
Obrázek 6.2: Suk nacházející se na podélné straně C.....	44
Obrázek 6.3: Ukázka trhliny vedoucí po celé délce plochy B.....	45
Obrázek 6.4: Metoda měření podélného šíření UZ vln u celé délky vzorku .....	46
Obrázek 6.5: Pohled na podélnou stranu B.....	46
Obrázek 6.6: Schématický náčrt rozřezání původního prvku na zkušební vzorky .....	47
Obrázek 6.7: Obvodové linie po 100 mm.....	48
Obrázek 6.8: Typologie značení vzorků .....	49
Obrázek 6.9: Metodika postupu plošného měření rychlosti šíření UZ vln.....	50
Obrázek 6.10: Deformace vzorku BC1 po dosažení $F_{max}$ .....	51
Obrázek 6.11: Porušené vzorky v sušičce .....	52
Obrázek 6.12: Průměrná vlhkost v průřezu prvku po 300 mm.....	53
Obrázek 6.13: Graf průběhu pevnosti v tlaku ve směru vláken prvkem .....	54
Obrázek 6.14: Přehled hustoty původního vzorku po 300 mm .....	56

Obrázek 6.15: Rychlost šíření UZ vln kolmo na vlákna v původním vzorku ..... 57

Obrázek 6.16: Rychlost šíření UZ vln ve zkušebních vzorcích ve směru vláken ..... 57

## **8.2 Seznam tabulek**

Tabulka 6.1: Vybrané hodnoty pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny zkušebních prvků ..... 55

## **8.3 Seznam příloh**

Příloha 1 - Rychlost šíření ultrazvukového vlnění ve směru vláken u zkušebních vzorků ..... 64

Příloha 2 - Pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny ..... 65

Příloha 3 - Hustota jednotlivých zkušebních vzorků ..... 66

Příloha 4 - Základní údaje o zkušebních vzorcích ..... 67

Příloha 5 - Rozměry původního prvku ..... 69

Příloha 6 - Délky původního prvku ..... 69

Příloha 7 - Vlhkost zkušebních vzorků, v tabulce uvedena i hmotnost a seznam nebiotických vad ..... 70

## 8.4 Seznam použité literatury

- [ 1 ] JELÍNEK, Jan a ZICHÁČEK, Vladimír. *Biologie pro gymnázia*. 9. vyd. Olomouc: Olomouc, 2007. ISBN 978-80-7182-213-4.
- [ 2 ] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 80-867-6972-0.
- [ 3 ] ADÁMEK J. a kolektiv. *Studijní opora pro komb. st. Modul BI-M04 Keramika, dřevo, kovy a sklo*. Brno, 2004. CERM.
- [ 4 ] HEŘMÁNKOVÁ, V. *A101 Stavební látky*. Brno: VUT v Brně, FAST, Ústav stavebního zkušebnictví. Přednáška.
- [ 5 ] KÚDELA, Jozef a RAČKOVÁ, Dana. *ŠTRUKTÚRA DREVA*. Zvolene: TU vo Zvolene, 2009. ISBN 978-80-228-2061-5.
- [ 6 ] KŘIVÁNKOVÁ, Soňa. *Diagnostické metody pro ověření míry poškození a materiálových charakteristik dřevěných prvků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011. 12 s. Vedoucí bakalářské práce byla Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.
- [ 7 ] KOHOUT, Jaroslav a TOBEK, Antonín a MÜLLER, Pavel. *Tesařství*. Praha: Grada Publishing, s.r.o., 1996. 256 s.
- [ 8 ] HABERER, Martin. *Atlas okrasných rostlin*. Praha: Nakladatelství Brázda, s.r.o., 2008.
- [ 9 ] HEŘMÁNKOVÁ, VĚRA. *Stavební látky – Dřevo*. Brno: VUT v Brně, FAST, Ústav stavebního zkušebnictví. Přednáška.
- [ 10 ] HORÁČEK, Petr, ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila a GANDELOVÁ, Libuše. *Nauka o dřevě*. 3. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009. ISBN 978-80-7375-312-2.
- [ 11 ] [Www.asb-portal.cz](https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/prevence-jako-nejlepsi-zpusob-sanace) [online]. 2009 [cit. 2017-05-14]. Prevence jako způsob sanace. Dostupné z WWW: < <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/prevence-jako-nejlepsi-zpusob-sanace> >
- [ 12 ] KLOIBER, Michal. *Nedestruktivní zjišťování vlastností dřeva*. Brno, 2007. 208 s. Dizertační práce. Mendelova Univerzita v Brně.

- [ 13 ] KYCL, Pavel. *Nedestruktivní diagnostické metody pro hodnocení stavu dřevěných konstrukcí*. Brno, 2012. 71 s., 10 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.
- [ 14 ] HEŘMÁNKOVÁ, Věra a KLOIBER, Michal a TIPPNER, Jan; ANTON, Ondřej, Diagnostické metody pro hodnocení konstrukčního dřeva, příspěvek na konferenci *Sborník recenzovaných příspěvků konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2011*, ISBN 978-80-214-4338-9, VUT v Brně, Brno, 2011.
- [ 15 ] KLOIBER, Michal, KOTLÍNOVA, Mária. *Nedestruktivní defektoskopické přístroje používané při provádění stavebně technických průzkumů historických dřevěných konstrukcí*. TZB-info [online]. 2010 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <  
<http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6295-nedestruktivni-defektoskopicke-pristroje-pouzivane-pri-provadeni-stavebne-technicky-pruzkumu-historicky-drevenych-konstrukci> >

Příloha 1 - Rychlost šíření ultrazvukového vlnění ve směru vláken u zkušebních vzorků

<b>Název vzorku</b>	<b>Rychlost šíření UZ vlnění ve směru vláken</b>	<b>Název vzorku</b>	<b>Rychlost šíření UZ vlnění ve směru vláken</b>
B12	5338	AB8	5329
S4-S5/2	4250	BC9	5507
B15	4287	CD6	5067
D13	5190	C15	4805
S1-S2	4381	AD3	4941
BC1	5320	AD9	5446
S1/1- S1	4500	A15	5084
D11	5208	CD10	4729
CD2	5245	CD8	4626
S2-S3	4583	C13	4974
D14	5199	C12	5154
D12	5136	AB4	5548
S3-S4	4670	A13	5417
BC7	5397	AB6	5600
AD1	5589	A12	5417
B14	5007	CB5	5358
A11	5476	AB10	5426
AB2	5466	A14	5358
C11	5119	C14	5145
B11	3957	AD5	5486
D15	4711	BC3	5358
B13	5154	CD4	4797
AD7	5537		



Příloha 2 - Pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny

Název vzorku	$F_{max}$	Plocha	$f_{c,0}$	Název vzorku	$F_{max}$	Plocha	$f_{c,0}$
	kN	mm <sup>2</sup>	MPa		kN	mm <sup>2</sup>	MPa
B12	67,0	2 522	<b>26,56</b>	AB8	85,5	2 533	<b>33,75</b>
S4-S5/2	61,0	2 481	<b>24,59</b>	BC9	105,0	2 547	<b>41,22</b>
B15	68,0	2 528	<b>26,90</b>	CD6	81,0	2 545	<b>31,83</b>
D13	75,0	2 497	<b>30,04</b>	C15	70,0	2 469	<b>28,35</b>
S1-S2	60,0	2 520	<b>23,81</b>	AD3	61,0	2 555	<b>23,88</b>
BC1	99,0	2 559	<b>38,69</b>	AD9	94,0	2 552	<b>36,84</b>
S1/1- S1	66,5	2 495	<b>26,65</b>	A15	76,0	2 438	<b>31,17</b>
D11	87,5	2 477	<b>35,33</b>	CD10	109,5	2 572	<b>42,57</b>
CD2	108,5	2 552	<b>42,52</b>	CD8	68,0	2 540	<b>26,77</b>
S2-S3	67,0	2 525	<b>26,53</b>	C13	71,5	2 492	<b>28,69</b>
D14	91,5	2 503	<b>36,55</b>	C12	74,0	2 499	<b>29,62</b>
D12	80,5	2 507	<b>32,11</b>	AB4	90,5	2 571	<b>35,19</b>
S3-S4	72,0	2 546	<b>28,28</b>	A13	101,5	2 464	<b>41,20</b>
BC7	102,0	2 528	<b>40,34</b>	AB6	99,5	2 545	<b>39,09</b>
AD1	102,0	2 556	<b>39,91</b>	A12	74,0	2 470	<b>29,96</b>
B14	74,0	2 506	<b>29,53</b>	CB5	104,0	2 558	<b>40,66</b>
A11	97,0	2 470	<b>39,27</b>	AB10	95,0	2 564	<b>37,05</b>
AB2	109,5	2 570	<b>42,60</b>	A14	84,5	2 515	<b>33,59</b>
C11	79,0	2 500	<b>31,59</b>	C14	67,0	2 551	<b>26,26</b>
B11	67,0	2 519	<b>26,59</b>	AD5	102,0	2 578	<b>39,56</b>
D15	73,0	2 534	<b>28,81</b>	BC3	70,0	2 571	<b>27,22</b>
B13	79,0	2 543	<b>31,06</b>	CD4	56,5	2 520	<b>22,42</b>
AD7	81,5	2 534	<b>32,16</b>				

Příloha 3 - Hustota jednotlivých zkušebních vzorků

<b>Název vzorku</b>	<b>Hustota</b> kg/m <sup>3</sup>	<b>Název vzorku</b>	<b>Hustota</b> kg/m <sup>3</sup>	<b>Název vzorku</b>	<b>Hustota</b> kg/m <sup>3</sup>
B12	421,470	B14	415,636	CD10	524,138
S4-S5/2	416,857	A11	447,445	CD8	592,902
B15	429,332	AB2	444,497	C13	453,551
D13	464,729	C11	444,834	C12	447,638
S1-S2	425,553	B11	411,388	AB4	477,083
BC1	450,629	D15	503,856	A13	442,095
S1/1- S1	401,549	B13	407,316	AB6	446,292
D11	422,400	AD7	466,903	A12	464,924
CD2	461,223	AB8	490,684	CB5	438,016
S2-S3	401,438	BC9	445,582	AB10	466,057
D14	466,007	CD6	504,938	A14	466,653
D12	460,192	C15	479,585	C14	474,385
S3-S4	414,107	AD3	544,604	AD5	464,894
BC7	448,104	AD9	478,537	BC3	491,454
AD1	474,230	A15	486,371	CD4	560,069

Příloha 4 - Základní údaje o zkušebních vzorcích

Označení vzorku	Hrana 1		Hrana 2		l [mm]	m [g]
	1	2	1	2		
<b>B12</b>	49,51	49,63	50,81	50,92	295,29	320,77
<b>S4-S5/2</b>	50,11	49,07	49,50	50,57	299,23	319,18
<b>B15</b>	51,14	50,79	49,84	49,34	299,15	329,97
<b>D13</b>	49,87	48,63	50,40	50,95	297,54	352,80
<b>S1-S2</b>	50,42	49,73	49,56	51,11	294,70	327,78
<b>BC1</b>	50,72	50,73	50,32	50,57	295,73	345,80
<b>S1-</b>	49,84	50,23	49,61	50,13	295,42	305,05
<b>D11</b>	48,88	49,27	50,21	50,70	294,58	314,03
<b>CD2</b>	50,40	50,46	50,68	50,52	294,24	351,25
<b>S2-S3</b>	50,13	50,32	49,95	50,60	295,86	314,37
<b>D14</b>	49,81	49,71	50,52	50,09	296,70	354,55
<b>D12</b>	50,83	50,70	49,65	49,09	295,57	347,38
<b>S3-S4</b>	51,42	51,19	49,37	49,82	295,25	323,85
<b>BC7</b>	50,36	50,17	50,23	50,37	298,07	340,78
<b>AD1</b>	50,81	50,38	50,58	50,45	296,03	364,57
<b>B14</b>	49,79	49,68	50,69	50,09	296,07	313,61
<b>A11</b>	48,87	48,64	50,67	50,58	297,72	334,95
<b>AB2</b>	50,68	50,48	50,71	50,92	298,83	344,12
<b>C11</b>	49,73	48,75	50,65	50,87	294,29	332,63
<b>B11</b>	50,85	50,99	49,71	49,20	295,47	306,74
<b>D15</b>	49,95	49,58	50,97	50,84	299,12	384,75
<b>B13</b>	49,92	49,93	51,06	50,81	295,72	308,89
<b>AD7</b>	50,48	50,22	50,11	50,54	299,56	353,76
<b>AB8</b>	50,33	49,65	50,70	50,64	299,22	374,39
<b>BC9</b>	50,32	50,31	50,53	50,72	300,18	345,97
<b>CD6</b>	50,62	50,62	49,90	50,65	299,06	385,54
<b>C15</b>	50,65	50,59	48,96	48,54	300,30	356,46
<b>AD3</b>	50,56	50,61	50,54	50,47	297,84	415,78
<b>AD9</b>	50,64	50,71	50,33	50,37	300,66	368,46
<b>A15</b>	48,11	48,01	50,66	50,67	300,77	360,31
<b>CD10</b>	50,77	50,87	50,73	50,49	300,13	405,67
<b>CD8</b>	50,17	50,60	50,44	50,38	299,22	451,45
<b>C13</b>	48,73	49,76	50,69	50,48	298,10	339,94
<b>C12</b>	48,42	50,34	50,52	50,67	298,47	338,58
<b>AB4</b>	50,67	50,58	50,57	51,02	298,17	370,15
<b>A13</b>	48,31	48,91	50,52	50,77	299,07	332,24

<b>AB6</b>	50,72	50,37	50,18	50,53	299,41	341,92
<b>A12</b>	49,14	48,16	50,80	50,65	297,91	346,95
<b>CB5</b>	50,63	50,53	50,40	50,73	297,52	336,07
<b>AB10</b>	50,69	50,57	50,76	50,54	300,88	360,54
<b>A14</b>	49,75	49,32	50,77	50,76	299,54	356,43
<b>C14</b>	49,65	50,85	50,83	50,72	299,00	366,69
<b>AD5</b>	50,46	50,75	51,07	50,82	299,20	361,08
<b>BC3</b>	50,63	50,68	50,64	50,89	298,55	379,00
<b>CD4</b>	49,72	50,48	50,55	50,04	297,75	428,06

Příloha 5 - Rozměry původního prvku

<b>Tabulka rozměrů původního prvku</b>					
<b>Označení plochy</b>	<b>Vzdálenost měření v [mm]</b>				
	<b>0</b>	<b>375</b>	<b>750</b>	<b>1125</b>	<b>1500</b>
<b>A</b>	157,0	158,0	158,0	158,0	157,0
<b>B</b>	159,0	160,0	160,0	159,0	159,0
<b>C</b>	157,0	158,0	159,0	158,0	157,0
<b>D</b>	158,0	160,0	159,0	159,0	159,0

Příloha 6 - Délky původního prvku

<b>Tabulka délek ploch prvku v [mm]</b>				
<b>Typ měření</b>	<b>Označení ploch</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Délka</b>	1525,0	1524,0	1519,0	1515,0

Příloha 7 - Vlhkost zkušebních vzorků, v tabulce uvedena i hmotnost a seznam nebiotických vad

Označení prvku	Poznámky	Váha před suš	Váha po suš	Vlhkost
		[g]	[g]	[%]
<b>B12</b>	velká podélná trhlna; suk	313,80	280,40	11,91
<b>S4-S5/2</b>		309,50	270,40	14,46
<b>B15</b>	velká podélná trhlna	324,60	285,90	13,54
<b>D13</b>		345,10	301,70	14,39
<b>S1-S2</b>	suk	316,10	276,90	14,16
<b>BC1</b>		341,00	305,70	11,55
<b>S1/1-S1</b>		296,00	261,20	13,32
<b>D11</b>	podélná trhlna	308,10	273,90	12,49
<b>CD2</b>		346,30	308,20	12,36
<b>S2-S3</b>		299,90	262,90	14,07
<b>D14</b>	velká podélná prasklina	346,10	305,00	13,48
<b>D12</b>	velká podélná prasklina	340,90	298,10	14,36
<b>S3-S4</b>	suk	311,10	271,30	14,67
<b>BC7</b>	suk	337,70	302,40	11,67
<b>AD1</b>	suk	358,80	318,60	12,62
<b>B14</b>	velká podélná prasklina; suk	308,40	272,20	13,30
<b>A11</b>	velká podélná prasklina	328,80	291,30	12,87
<b>AB2</b>		341,40	303,50	12,49
<b>C11</b>	suk	327,20	288,50	13,41
<b>B11</b>	velká podélná trhlina	306,10	270,00	13,37
<b>D15</b>	podélná trhlna, suk	381,80	333,00	14,65
<b>B13</b>	velká podélná trhlina	306,30	267,90	14,33
<b>AD7</b>		354,40	311,90	13,63
<b>AB8</b>	suk	371,90	328,00	13,38
<b>BC9</b>		340,70	305,10	11,67
<b>CD6</b>	suk	384,30	339,30	13,26
<b>C15</b>	velká podélná trhlna	355,40	311,00	14,28
<b>AD3</b>	suk	414,40	364,70	13,63
<b>AD9</b>		367,10	323,20	13,58
<b>A15</b>	velká podélná trhlna	356,20	309,60	15,05
<b>CD10</b>		404,60	355,40	13,84
<b>CD8</b>	suk	450,60	393,80	14,42
<b>C13</b>	velká podélná trhlna; suk	336,80	291,60	15,50
<b>C12</b>	velká podélná trhlna; suk	333,80	288,50	15,70

<b>AB4</b>	suk	365,80	321,40	13,81
<b>A13</b>	velká podélná trhlina	325,50	287,70	13,14
<b>AB6</b>	velká podélná trhlina; suk	340,10	299,90	13,40
<b>A12</b>		341,80	297,30	14,97
<b>CB5</b>		333,30	291,80	14,22
<b>AB10</b>		359,60	316,00	13,80
<b>A14</b>	podélná trhlina	351,50	304,90	15,28
<b>C14</b>	velká podélná trhlina; suk	361,90	312,60	15,77
<b>AD5</b>		358,60	314,10	14,17
<b>BC3</b>	velká podélná trhlina	377,30	330,90	14,02
<b>CD4</b>	suk	420,20	372,50	12,81