



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

# DIAGNOSTICKÉ METODY PRO HODNOCENÍ STAVU DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

DIAGNOSTIC METHODS FOR THE EVALUATION OF THE STATE OF TIMBER STRUCTURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

SOŇA DVOŘÁČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. VĚRA HEŘMÁNKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2015

**zadání**

**Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá diagnostickými metodami a to destruktivními, semidestruktivními a nedestruktivními. Těmito metodami zjišťujeme vlastnosti a charakteristiku materiálu. V práci je provedeno diagnostické měření na jednom dřevěném trámu a dále porovnání výsledků z metody odporového zarážení trnu a pevnosti dřeva podél vláken. Na závěr je práce doplněna statickým výpočtem.

**Klíčová slova:**

Dřevo, vady, průzkum, diagnostické metody, pevnost, Pilodyn

**Abstract:**

This Bachelor's thesis is focused on diagnostics methods which are destructive, semidestructive and non-destructive. Thanks to these methods, we find out features and characteristics of the material. In the thesis, there is performed diagnostic measurement on a wooden beam and comparing of the results from the method of thorn resistance placement and the results from wood strength measured along the grain. At the end of the thesis there are mentioned statistics calculations.

**Keywords:**

Wood, defects, exploration, diagnostic methods, strength, Pilodyn

### **Bibliografická citace VŠKP**

Soňa Dvořáčková *Diagnostické metody pro hodnocení stavu dřevěných konstrukcí*. Brno, 2015. 53 s., 7 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Věra Heřmánková, Ph.D

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10.5.2015

.....

podpis autora

Soňa Dvořáčková

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí své bakalářské práce paní Ing. Věře Heřmánkové, Ph.D. za pomoc, ochotu, odborné vedení, cenné rady a podporu při zpracování mé bakalářské práce. Dále pak všem svým blízkým, kteří mi byli jakkoli nápomocni.

## Obsah

1. Úvod .....	11
1.1. Historie .....	11
1.2. Přehled vlastností.....	11
1.3. Cíl práce.....	11
2. Dřevo a jeho vlastnosti .....	12
2.1. Stavba dřeva .....	12
2.1.1. Makroskopická stavba dřeva.....	12
2.1.2. Mikroskopická stavba dřeva .....	14
2.2. Rozdělení dřevin.....	15
2.2.1. Jehličnaté dřevo.....	15
2.2.2. Listnaté dřevo.....	16
2.3. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva.....	16
2.3.1. Fyzikální vlastnosti dřeva .....	16
2.3.2. Mechanické vlastnosti dřeva .....	19
2.4. Životnost a vady dřeva .....	21
2.4.1. Vady růstové .....	21
2.4.2. Vady výrobní.....	22
2.4.3. Poškození dřeva houbami .....	22
2.4.4. Poškození dřeva dřevokazným hmyzem .....	24
3. Metodika průzkumu.....	27
3.1. Průzkum dřevěného krovu.....	27
3.2. Stavebně historický průzkum .....	27
3.3. Stavebně technický průzkum.....	27
3.4. Důvody průzkumů .....	28
3.5. Cíle průzkumu .....	28
3.6. Zjišťování poruch .....	29

4.	Diagnostické metody .....	30
4.1.	Vizuální hodnocení.....	30
4.2.	Měření vlhkosti.....	31
4.3.	Měření rychlosti šíření ultrazvukových vln.....	31
4.4.	Odporové zarážení trnu .....	33
4.5.	Radiální vývrty .....	34
4.6.	Odporové vrtání.....	35
4.7.	Endoskop .....	36
4.8.	Vytahování vrutu .....	37
4.9.	Odporové zatlačování trnu .....	37
4.10.	Odběr vzorků pro laboratorní zkoušky .....	38
5.	Diagnostika dřevěného trámu.....	40
5.1.	Prvotní vizuální prohlídka .....	40
5.2.	Měření vlhkosti.....	42
5.3.	Odporové zarážení trnu .....	43
5.4.	Vzorky pro laboratorní zkoušky .....	45
5.5.	Destruktivní zkoušení.....	46
6.	Posouzení trámu na tlak, ohyb a smyk .....	50
6.1.	Vstupní hodnoty .....	50
6.2.	Posouzení na prostý tlak.....	51
6.3.	Posouzení na ohyb .....	51
6.4.	Posouzení na smyk .....	51
7.	Závěr.....	53

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Válcově-kuželovitá stavba kmene [3]</i> .....	12
<i>Obr. 2: Základní řezy kmenem [3]</i> .....	12
<i>Obr. 3: Základní směry ve kmeni [3]</i> .....	13
<i>Obr. 4: Dřevomorka domácí [8]</i> .....	23
<i>Obr. 5: Kaniofora sklepní [8]</i> .....	23
<i>Obr. 6: Trámovka plotní [8]</i> .....	24
<i>Obr. 7: Tesařík krovový [8]</i> .....	24
<i>Obr. 8: Tesařík fialový [8]</i> .....	25
<i>Obr. 9: Červotoč proužkovaný [8]</i> .....	25
<i>Obr. 10: Červotoč umrlčí [8]</i> .....	26
<i>Obr. 11: Elektronické posuvné měřítko</i> .....	30
<i>Obr. 12: Přístroj na měření vlhkosti Hygrotest 6500 se záražecí sondou</i> .....	31
<i>Obr. 13: Možnosti přikládání sond při měření ultrazvukem</i> .....	32
<i>Obr. 14: Ultrazvukový přístroj TICO umožňuje použití více sond o různých frekvencích</i> ..	32
<i>Obr. 15: Pilodyn 6J Forest</i> .....	33
<i>Obr. 16: Zbarvení a struktura pilin po vyvrtání mikrovývrtů [11]</i> .....	34
<i>Obr. 17: Kompletní vybavení pro odběr radiálního vývrtu [10]</i> .....	34
<i>Obr. 18: Zatěžovací čelist s drážkou pro radiální vývrt [10]</i> .....	34
<i>Obr. 19: Přístroj Resistograph firmy Rinntech [10]</i> .....	36
<i>Obr. 20: Ukázka obrazu jednotlivých sond pomocí přístroje Videoprobe XL PRO</i> .....	36
<i>Obr. 21: Univerzální přístroj pro zatlačování trnu a vytahování vrutu [10]</i> .....	37
<i>Obr. 22: Detail průniku trnu základnou přístroje [10]</i> .....	38
<i>Obr. 23: Pohled na trám v původní konstrukci</i> .....	40
<i>Obr. 25: Pohled na vyříznutý zkoušený trám</i> .....	41
<i>Obr. 26: Pohled na zhlaví na začátku trámu</i> .....	41
<i>Obr. 27: Pohled na zhlaví na konci trámu</i> .....	41
<i>Obr. 28: Pohled na trám s označenými místy</i> .....	41
<i>Obr. 29: Schéma rozřezání čela trámu</i> .....	45
<i>Obr. 30: Ukázka vzorku v lisu</i> .....	46

## Seznam tabulek

<i>Tab. 1: Průměrné hodnoty mechanických vlastností vybraných dřevin [2]</i> .....	21
<i>Tab. 2: Třídy pevnosti – charakteristické hodnoty jehličnatých dřevin [12]</i> .....	39
<i>Tab. 3: Třídy pevnosti – charakteristické hodnoty listnatých dřevin [12]</i> .....	39
<i>Tab. 4: Naměřené hodnoty vlhkosti v jednotlivých řezech</i> .....	42
<i>Tab. 5: Průměrné pevnosti v tlaku</i> .....	47

## Seznam grafů

<i>Graf 1: Odporové zarážení trnu na straně A</i> .....	43
<i>Graf 2: Odporové zarážení trnu na straně B</i> .....	44
<i>Graf 3: Odporové zarážení trnu na straně C</i> .....	44
<i>Graf 4: Odporové zarážení trnu na straně D</i> .....	45
<i>Graf 5: Porovnání pevností na stranu A</i> .....	48
<i>Graf 6: Porovnání pevností na stranu B</i> .....	48
<i>Graf 7: Porovnání pevností na stranu C</i> .....	49
<i>Graf 8: Porovnání pevností na stranu D</i> .....	49

# 1. Úvod

## 1.1. Historie

Dřevo se v různé míře uplatňovalo pro stavby od nepaměti. Je to obnovitelný, přírodní stavební materiál, který nás obklopuje ze všech stran. Vlastnosti dřeva mechanické i technické se u každého druhu liší. Přicházelo se na ně postupně, jak naši předkové zdokonalovali způsoby opracování a využití dřeva a dřevěných prvků.

## 1.2. Přehled vlastností

Dřevo má výborné všestranné využití buď jako stavební materiál pro jeho pevnost nebo izolační prvek pro své akustické a tepelné vlastnosti. Další velkou výhodou dřeva je jeho pevnost vzhledem k jeho lehkosti. Na člověka působí velmi blahodárně.

Nevýhodou dřeva jsou různé vlastnosti v různých směrech, jedná se o tzv. anizotropii. Další velkou nevýhodou dřeva jsou vlastnosti spojené s vlhkostí, která velmi zhoršuje mechanické vlastnosti. Vlhkost se ve dřevě mění a způsobuje vysychání, bobtnání, hnutí a praskání. Další nevýhodou je velká hořlavost, zápalnost a malá odolnost při napadení přírodními škůdci a hnilobou.

Vlastnosti dřeva jsou hlavně ovlivněny při jeho růstu.

## 1.3. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zobrazit přehled destruktivních, semidestruktivních a nedestruktivních metod pro získávání materiálových charakteristik. Přehled o poruchách a vadách ve dřevě a vliv na míru poškození. Dále bude popsán průzkum dřevěných konstrukcí. Vybrané metody budou popsány a vysvětlena jejich použitelnost na získání vad v konstrukci.

V další části bude realizováno diagnostické měření na jednom dřevěném trámu. Bude provedeno porovnání výsledků metody odporového zarážení trnu přístrojem Pilodyn 6J Forest a vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva z konstrukce. Na závěr bude vše doplněno statickým výpočtem.

## 2. Dřevo a jeho vlastnosti

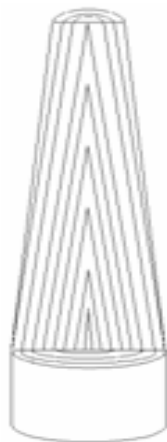
### 2.1. Stavba dřeva

Dřevo je přírodní, organický, anizotropní, buněčný materiál. Je vytvořeno z celulózy, hemicelulózy a ligninu. Pro diagnostiku vad a poškození dřeva je potřeba stavbu dřeva rozdělit na makroskopickou a mikroskopickou.

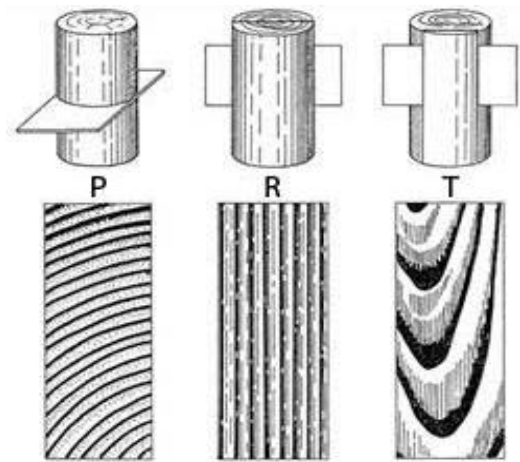
#### 2.1.1. Makroskopická stavba dřeva

Zahrnuje vše, co lze pozorovat pouhým okem, případně pomocí zvětšovacího skla. Je to tzv. struktura dřeva, která je tvořena morfologickými znaky, které vytváří na povrchu dřeva charakteristickou kresbu. Makroskopicky lze určit pouze rod dřeviny (např. jedle) určení na úroveň druhového jména (např. jedle sibiřská) je většinou nemožné [1]. Mezi nejdůležitější makroskopické znaky patří letokruhy, dřeň, dřeňové paprsky, dřeňové skvrny, jádro, vyvrálé dřevo, běl, pryskyřičné kanálky, cévy, kambium, lýko, kůra [2].

Dřevo má válcovitě-kuželovitou stavbu (obr. 1), která se zkoumá ve třech základních řezech a směrech (obr. 2 a 3) [3].



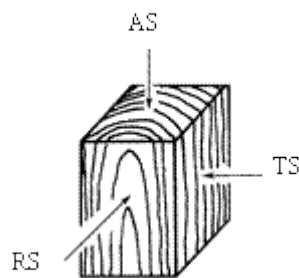
Obr. 1: Válcově-kuželovitá stavba kmene [3]



Obr. 2: Základní řezy kmenem [3]  
P-příčný řez, R-radiální řez, T-tangenciální řez

Základní anatomické směry ve dřevě (obr. 4) [3]:

- Axiální směr (AS) – je rovnoběžný s podélnou osou kmene
- Radiální směr (RS) – je vedený ve směru dřeňových paprsků a je kolmý na plochu tangenciálního řezu
- Tangenciální směr (TS) – má směr tečny k letokruhům a je kolmý na plochu radiálního řezu



Obr. 3: Základní směry ve kmeni [3]

### Hlavní části kmene:

**Kůra** – je to ochrana stromu. Pokrývá kmen, větve i kořeny.

**Lýko** – nachází se mezi kůrou a kambiem. Na jaře bere výživné látky z kořenů a přivádí je do pupenů a listů. Během vegetačního období rozvádí výživné látky vzniklé fotosyntézou z listů do celého kmene.

**Kambium** – je to druhotné dělivé pletivo, kde z jedné strany přirůstá dřevo a z druhé přirůstá lýko.

**Dřevo** – tvoří centrální část kmene, kořenů a větví. Zaujímá 70 – 93% stromu. Při prohlídce řezů mohou být pozorovány následující části.

- **Běl, bělové dřevo** – je to venkovní část kmene za jádrem jehličnatých a listnatých dřevin. V této části ještě probíhá zásobování vodou a zásobními látkami tzv. živé dřevo. Bělové dřevo snadno podléhá hnilobě a škůdcům.
- **Jádře** – vnitřní část kmene kde již neprobíhá zásobování vodou ani zásobními látkami tzv. mrtvé vyzrálé dřevo. Dřevo v jádře je tmavší a ostře ohraničené, odolnější proti napadání škůdci. Typické stromy tvořící jádrové dřevo jsou borovice, modřín, akát a dub.
- **Vyzrálé dřevo** – vnitřní část kmene některých listnatých a jehličnatých dřevin, ve které již neprobíhá zásobování vodou ani zásobními látkami. Nemá rozlišnou barvu ani odolnost vůči škůdcům. Typické stromy tvořící vyzrálé dřevo jsou smrk a jedle.

**Dřeň** – má odlišnou barvu a je měkčí než okolní dřevo. Na příčném řezu se nachází uprostřed a většinou má oválný tvar.

### Makroskopické znaky dřeva jsou:

**Letokruhy** – letokruh je vrstva dřeva, která vyrostla za jeden rok. U našich dřevin lze dobře rozpoznat, protože se letokruh skládá z jarního a letního dřeva. Jarní dřevo je světlé, řídké, tvořené z velkých buněk bohatých na vodu. Letní dřevo je tmavé, tvrdé,

tvořené z menších buněk více zploštělých. Naše dřeviny můžeme podle letokruhů rozdělit do čtyř skupin:

- Jehličnaté dřeviny – výrazné letokruhy: smrk, borovice, modřín, jedle
- Listnaté dřeviny kruhovitě cévnaté – dub, akát, jasan, kaštanovník
- Listnaté dřeviny polokruhovitě cévnaté – ořešák, třešeň, slivoň
- Listnaté dřeviny roztroušeně cévnaté – buk, bříza, olše, habr

**Dřeňové paprsky** – jsou orientovány kolmo na podélnou osu kmene, ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti a zapříčiňují rozdílné vlastnosti v tangenciálním a radiálním směru. Na příčném řezu se zobrazují jako tenké lesklé čáry, probíhající od středu po kraj.

**Dřeňové skvrny** – mají hnědou nebo nazelenalou barvu, jsou viditelné pouze na tečných řezech. Někdy je také považujeme za vadu dřeva.

**Pryskyřičné kanálky** – nacházejí se pouze u jehličnanů (borovice, smrk). Na podélném řezu se zobrazují jako hnědé čárky, na příčném řezu jako tečky.

**Cévy** – nachází se pouze u listnatých dřevin. Charakteristickou strukturu a texturu vytváří cévy jarního dřeva u kruhovitě cévnatých dřevin. Cévy u letního dřeva jsou nerozpoznatelné. U roztroušeně cévnatých dřevin je rozdíl mezi jarním a letním dřevem tak malý, že jej nerozpoznáme. Cévy mají největší význam na propustnost dřeva a tím i na jeho naimpregnovatelnost.

### 2.1.2. Mikroskopická stavba dřeva

Jde o pozorování na úrovni buněk. Na pozorování je potřeba dobrá lupy nebo mikroskop. Pro stavební konstrukce je mikroskopická stavba méně důležitá. Je tvořena buňkami a ty se skládají z buněčné stěny a dutiny. Buňky dělíme do tří skupin [2]:

- **Libriformní vlákna** – vyskytují se hlavně u listnatých dřevin. Svým tvarem mu dodávají pevnost. Jedná se o odumřelé buňky.
- **Tracheje a tracheidy** – tracheje se vyskytují pouze u listnatých dřevin a tracheidy u jehličnatých dřevin. Jedná se o buňky, které mají za úkol rozvádět vodu spolu s rozpuštěnými látkami.
- **Parenchymatické buňky** – hlavně se nachází v dřeňových paprscích, nachází se v nich cytoplazma, rezervní látky a produkty výměny.

U jehličnatých dřevin se dále vyskytují pryskyřičné kanálky. Vznikají v mezibuněčných prostorech parenchymatických buněk a dřeňových paprsků [2].

## 2.2. Rozdělení dřevin

Nejzákladnější rozdělení dřeva je na jehličnaté a listnaté. Dále pak na měkké a tvrdé. Měkké dřevo mají jehličnany. Mají dlouhé rovné kmeny, rostou rychleji, proto se hodí na výsadbu lesů. Tvrdé dřevo mají listnáče, rostou pomaleji, ale jejich dřevo je pevnější a odolnější než měkké dřevo. Vyznačují se vysokou hustotou, jsou opadavé a na podzim shazují listy. Celková plocha zalesnění v České republice je cca 34% [4]. V České republice se nachází převážně smíšené lesy. Jehličnaté dřeviny jsou zastoupeny 76,6% z toho smrk ztepilý 53,5% a borovice 17,2%. Listnaté dřeviny mají zastoupení 23,4% z toho duby 6,6% a buk lesní 6,4% [5].

### 2.2.1. Jehličnaté dřevo

Má jednodušší stavbu než dřevo listnaté, která je tvořena z 90 – 95% tracheidami a ty jsou tvořeny tenkými a dlouhými buňkami se zploštělými nebo zužujícími se uzavřenými konci. Tracheidy vytvářejí radiální řady a jsou orientovány podélně vzhledem k ose kmene stromu. Na přechodu z jarního dřeva do letního dřeva buněčné stěny zesilují, zatímco průměr buněk se zmenšuje. Na konci růstového období stromy vytváří tracheidy s malou buněčnou dutinou a malým radiálním průměrem. Na začátku dalšího růstového období vytváří tracheidy s širokou buněčnou dutinou a průměrem. Tento rozdíl v růstu může mít za následek poměr mezi hustotou letního dřeva a jarního dřeva až 3:1 [6].

**Smrk** – smrkové dřevo je měkké, houževnaté, hedvábně lesklé, poměrně lehké, voní po pryskyřici, dlouhovláknité, přitom velmi pružné a pevné, dobře štípatelné. Má smetanově bílou až nahnědlou barvu s výraznými letokruhy. Má snadno rozpoznatelné přírůstky jarního a letního dřeva. Smrkové dřevo má velmi výhodné vlastnosti pro opracování, dobře se řeže, hobluje, frézuje, moří, natírá a barví. V suchu je velmi trvanlivé, poměrně málo se bortí a sesychá. Zvláštním druhem je tzv. rezonanční smrk, jedná se o kmeny s velkou hustotou letokruhů, ze kterého se vyrábí hudební nástroje.

**Borovice** – borovicové dřevo je měkké, křehčí než smrkové. Letokruhy jsou dobře rozpoznatelné. Bělová část je smetanově bílá až okrová, jádro je naoranžovělé až dorezava. Při nevhodném zpracování trpí borovicové dřevo charakteristickým zamodráním, což ho znehodnocuje. Natírá, barví a moří se hůře než dřevo smrkové. Jádrové dřevo se hůře lepí. Největší nevýhodou při řezání, broušení a obrábění je silné zanášení nástrojů a brusiva pryskyřicí.

**Modřín** – modřínové dřevo je polotvrdé, tvrdší než dřevo borové nebo smrkové. Modřín má dřevo trvanlivé a pevné. Bělová vrstva má světle žlutohnědou barvu, jádro je

okrové až červenohnědé. Modřínové dřevo po napuštění a na vzduchu tmavne. Letokruhy má hustší než smrk. Jeho textura vyniká krásou mnoha drobných, většinou dobře zarostlých součků. Lepidla, moření a natírání přijímá lépe než borové dřevo. A také tolik nezanáší obráběcí a řezací stroje pryskyřicí [7].

### **2.2.2. Listnaté dřevo**

Má složitější stavbu než dřevo jehličnatých dřevin. Rozdíl v tloušťce stěny a průměru dutin mezi jarním a letním dřevem není tak výrazný jako u jehličnanů. Nosné tkanivo obsahuje libriformní vlákna a vláknité tracheidy. Nachází se v něm vodivé cévy, které mají často velké dutiny. Tyto cévy jsou dlouhé trubice s délkou od několika centimetrů, až do několika metrů. Skládají se z jednotlivých elementů s otevřenými nebo perforovanými konci. Dle průměru cév rozlišujeme rozptýleně pórovité a kruhovitě pórovité listnaté dřeviny [6].

**Buk** – bukové dřevo patří z listnatých dřevin k nejznámějším. Má světle hnědou až narůžovělou barvu. Pařením získá tmavší charakteristickou barvu. Bukové dřevo je tvrdé, málo pružné, ale poměrně pevné. Je husté a stejnorodé. Velmi dobře se moří, lepí a obrábí. A v neposlední řadě má obrovskou výhřevnost.

**Dub** - dubové dřevo patří mezi nejžádanější druhy dřeva. Běl je úzký a má světlehnědou barvu. Jádru je široké a má stejnoměrně hnědou barvu. Dubové dřevo je tvrdé, pevné, houževnaté a trvanlivé. Díky svým vlastnostem nejdéle vzdoruje nejen povětrnostním podmínkám, ale i střídání vlhka a sucha. A proto se z něj vyráběly mlýnská kola, sudy a piloty k mostům a lávkám. Dobře se lepí i moří. Dá se výborně řezat a dlabat dláty [7].

## **2.3. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva**

### **2.3.1. Fyzikální vlastnosti dřeva**

Jsou to vlastnosti dřeva, které můžeme zkoumat bez narušení chemického složení a celistvosti posuzovaného materiálu. Je však velmi nutné si uvědomit, že dřevo je výrazně anizotropní materiál (v různých směrech má velice odlišné vlastnosti) je to dáno jeho nestejnoměrnou strukturou. Proto veškeré vlastnosti musíme popisovat ve třech směrech (příčný, radiální a tangenciální řez) [2].

### a) Vlastnosti určující hmotnost dřeva

**Objemová hmotnost dřeva** – (=hustota dřeva) je vždy závislá na vlhkosti dřeva, proto se vždy uvádí, při jaké vlhkosti byla objemová hmotnost měřena. Udává se v  $\text{kg/m}^3$  nebo  $\text{g/cm}^3$ .

**Měrná hmotnost dřevní substance** – jedná se o hmotnost dřevní hmoty bez veškerých dutin a pórů, tedy pouze hmoty buněčných stěn. Nemůžeme srovnávat  $1\text{m}^3$  dřevní substance s  $1\text{m}^3$  dřeva, protože v objemu dřeva je velké množství prázdných prostorů. Vyjadřuje se při nulové vlhkosti a pohybuje se u všech dřevin v podobném rozmezí  $\rho = 1499 - 1564 \text{ kg/m}^3$ .

### b) Vlastnosti určující vztah dřeva k vodě

Hlavní součástí živých buněk je voda. Ve dřevě se vyskytují tři druhy vody:

- **voda volná** - převážně se vyskytuje v dutinách uvnitř buněk a mezibuněčných prostorech. Uniká ze dřeva nejdříve. Jejím unikem se dřevo objemově ani jinak nemění, mění se pouze objemová hmotnost (hustota).
- **Voda vázaná** – ve dřevě vyplňuje mikroskopické dutiny v buněčných stěnách. Dřevo tuto vodu pohlcuje z okolního vzduchu, buď jí navlhá, nebo ji uvolňuje a tím vysychá. Toto způsobuje rozměrové změny dřeva.
- **Voda chemicky vázaná** – je součástí chemického složení dřeva. Obsahuje ji i v suchém stavu a uvolňuje se jen při chemickém zpracování (suchá destilace).

**Bod nasycení dřevních vláken (BNV)** – stav, kdy veškerá volná voda ze dřeva unikla a voda vázaná dosahuje ještě největšího množství. Tento bod se pohybuje okolo 30% vlhkosti. Tento bod je velmi důležitá hranice. Při změnách vlhkosti pod BNV dřevo mění své rozměry (bobtná nebo sesychá). Při změnách vlhkosti nad BNV dřevo své rozměry nemění.

**Vlhkost dřeva** – množství vody volné i vázané obsažené ve dřevě. Vyjadřuje se v procentech z hmotnosti absolutně suchého dřeva. Dřevo má čtyři stupně vlhkosti:

1. Stupeň – vlhkost čerstvého dřeva (př. dub běl – 77%, jádro – 74%)
2. Stupeň – vlhkost mokrého dřeva, vyskytuje se u dřeva plaveného
3. Stupeň – vlhkost na vzduchu vyschlého dřeva (15 – 20%)
4. Stupeň – vlhkost uměle sušeného dřeva (6 – 12%)

**Hygroskopicit a rovnovážná vlhkost** – hygroskopicit je vlastnost dřeva pohlcovat ze vzduchu vodní páry. Závisí na teplotě a vlhkosti vzduchu. Vlhkost dřeva, které je delší dobu uložené na vzduchu, se ustálí na tzv. rovnovážné vlhkosti, která je

závislá na vlhkosti vzduchu a na teplotě. Tento stav nazýváme vlhkostní rovnováhou. K tomuto dochází, je – li tlak vodních par ve vzduchu a tlak vodních par ve dřevě v rovnováze a nemůže tedy pokračovat výměna vlhkosti mezi dřevem a okolním ovzduším.

**Nasákavost** – je schopnost pohlcovat vodu, do které je dřevo ponořeno. Množství pohlcené vody závisí na čase, po který je vzorek ve vodě. Rychlost přijímání vody je závislá na počáteční vlhkosti, na tvaru, rozměrech dřeva a na teplotě.

**Bobtnání a sesychání** – je-li vysušené dřevo ve vlhkém prostředí, začne pohlcovat vlhkost tohoto prostředí a zvětšovat své rozměry – bobtnání. Opak bobtnání je sesychání. Dřevo bobtná až do BNV. Dřevo nejvíce bobtná ve směru tangenciálním (6% – 12%), pak radiálním (3% - 6%) a nejméně ve směru podélném (0,1% - 0,6%).

**Borcení dřeva** – je to následek sesychání a bobtnání dřeva. Tvoří se drobné trhlinky.

Mezi další fyzikální vlastnosti patří propustnost dřeva pro světelné a rentgenové paprsky. Odolnost proti infračervenému a ultrafialovému záření, odolnost proti účinkům jaderného záření a propustnost dřeva pro plyny.

#### c) Vlastnosti určující vztah dřeva k teplu

**Měrné teplo** – je množství tepla, které je potřeba k ohřátí 1kg látky o 1°C. Měrné teplo dřeva je  $c = 1,357 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ . Dřevo má velkou schopnost pohlcovat teplo a je dobrý izolátor. Měrné teplo je závislé na vlhkosti dřeva. Přítomnost vody, která má  $c = 4,187 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ , se měrné teplo zvyšuje.

**Měrná tepelná vodivost** – udává množství tepla procházející jednotkou plochy a tloušťky materiálu za jednotku času při jednotkovém tepelném spádu. Tepelná vodivost dřeva je špatná. Tepelná vodivost kolmo na vlákna je horší, než v podélném směru.

#### d) Vlastnosti určující vztah dřeva ke zvuku

**Zvuková vodivost dřeva** – je to rychlost šíření zvuku vyjádřená v m/s. Rychlost šíření zvuku závisí na anatomické stavbě dřeviny a směru šíření. V podélném směru se zvuk šíří rychleji, než ve směru kolmém na vlákna. Zvuková vodivost dřeva se dá srovnat s vodivostí kovu.

**Průzvučnost dřeva** – vyjadřuje se koeficientem zvukové propustnosti, který udává poměr mezi intenzitou zvuku procházejícího materiálem určité tloušťky a intenzitou zvuku dopadajícího na týž materiál. Čím vyšší je koeficient, tím je zvukově izolační schopnost materiálu horší. Dřevo patří mezi horší izolanty.

**Rezonanční schopnost dřeva** – schopnost přijímat zvukové vlny, zesílit je a vyzářit zpět bez zkreslení tónu. Tato vlastnost je využívána u hudebních nástrojů. U nás je nejlepší rezonanční materiál rezonanční smrk.

**e) Vlastnosti určující vztah dřeva k elektřině**

**Elektrická vodivost** – dřevo může být podle obsahu vlhkosti buď izolant, nebo i částečně elektricky vodivé. Při zvyšování vlhkosti se elektrický odpor snižuje. Na tomto principu fungují přístroje na měření vlhkosti.

**Poměrná permitivita** - ukazuje, jak se mění kapacita kondenzátoru, jestliže vzduch mezi jeho deskami nahradíme vrstvou elektricky nevodivého materiálu. U dřeva je rozdílná, podle směru vláken i podle vlhkosti dřeva.

**f) Vlastnosti určující vnější vzhled dřeva**

**Barva dřeva** – je ovlivněna látkami, které se ve dřevu nacházejí. Je to lignin, barviva, třísloviny a pryskyřice. Dřevo napadené hnilobou obvykle mění svou barvu. Dále je barva ovlivněna stářím stromu a místem růstu.

**Lesk dřeva** – jedná se o odraz světelných paprsků od jeho povrchu. Ovlivňuje ho přítomnost dřevných paprsků, proto největší lesk bývá na povrchu radiálního řezu.

**Textura dřeva** – je dána stavbou dřeva. Listnaté dřevo má stavbu poměrně složitou a obsahuje řadu prvků viditelných pouhým okem. Jehličnaté dřevo má jednoduchou stavbu a jeho textura je závislá pouze na letokruzích.

**Vůně dřeva** – vyskytuje se pouze u čerstvého dřeva. Na její intenzitu mají vliv především pryskyřice a třísloviny. Slouží jako poznávací znak některých dřevin.

**Očka** – jsou to zarostlé pupeny, které po rozřezání vytváří charakteristickou „očkovou kresbu“.

**Kořenice** – jedná se o oddenkovou část kmene. Charakterizuje ji přechod stavby dřeva kořenů ve stavbu dřeva kmene.

**Lískovcové dřevo** – projevuje se na příčném řezu. Předpokládá se, že jde o geneticky ovlivněnou růstovou odchylku.

### **2.3.2. Mechanické vlastnosti dřeva**

Dřevo má v různých směrech různé mechanické vlastnosti. Je to schopnost dřeva odolávat účinkům vnějších mechanických sil.

**a) Pružnost dřeva** – je to vratná deformace. Dřevo se po působení vnějších sil vrátí do původního tvaru. Modul pružnosti vyjadřuje napětí, při němž se mění

pevnostní parametry dřeva v mezích pružnosti. Udává se v MPa. Modul pružnosti závisí na vlhkosti, na druhu dřeviny, na objemové hmotnosti a na anizotropii.

**b) Pevnost dřeva** – je to nevratná deformace nebo celkové porušení dřeva působením vnějších sil.

#### **Statická pevnost**

- **Pevnost v tahu** – odolnost proti působení síly, která se snaží dřevo prodloužit. Při překročení meze pevnosti dřevěný prut praská. Pevnost v tahu ovlivňuje směr vláken, vlhkost dřeva, objemová hmotnost a anatomická stavba.
- **Pevnost v tlaku** – odpor proti vnější síle, která se snaží dřevo stlačit. Pevnost v tlaku ovlivňuje směr vláken, vlhkost dřeva, objemová hmotnost a anatomická stavba.
- **Pevnost ve smyku** – odolnost proti působení vnějších sil, které se snaží posunout jednu část tělesa po druhé. Pevnost ve smyku ovlivňuje vlhkost dřeva, objemová hmotnost a anatomická stavba.
- **Pevnost v ohybu** – schopnost dřeva odolávat zatížení. Dřevo je podepřeno a zatížení působí mimo tyto podpěry. Pevnost v ohybu je důležitá u nosníků a stropních trámů.
- **Pevnost ve vzpěru** – zvláštní případ tlakové pevnosti s částečným spolupůsobením pevnosti v ohybu. Vyskytuje se u podpěrných sloupů a stojek.

**Dynamická pevnost** – odpor proti namáhání, které se mění nárazem nebo rychlými změnami zatížení.

- **Příčná pevnost proti rázovému ohybu** – odolnost proti síle, která působí v pohybu po určité dráze a zatěžuje element rázově.
- c) Tvrdost dřeva** – odpor proti vnikání cizího tělesa. Tvrdost dřeva ovlivňuje směr vláken, vlhkost dřeva, objemová hmotnost a anatomická stavba.
- d) Štípatelnost dřeva** – schopnost dřeva dělit se na části působením klínu. Štípatelnost dřeva ovlivňuje směr vláken, vlhkost dřeva, objemová hmotnost a anatomická stavba.
- e) Ohýbatelnost dřeva** – schopnost dřeva přijmout účinkem vnějších sil nový tvar a podržet ho, i když síly přestanou působit. Ohýbatelnost dřeva ovlivňuje množství ligninu ve dřevě. Dřevo se dá plastifikovat vlhkem a teplem, ale také chemicky (čpavkem). Po ohnutí se dřevo vysuší, aby byl ohyb fixován.

Tab. 1: Průměrné hodnoty mechanických vlastností vybraných dřevin [2]

Průměrné hodnoty mechanických vlastností vybraných dřevin									
dřevina	hustota (objem. Hmotnost	modul pružnosti (při	pevnost v ohybu	pevnost v tahu		pevnost v tlaku		pevnost ve smyku	houževnatost J/cm <sup>2</sup>
	kg/m <sup>3</sup>	Mpa	Mpa	podélná	příčná	podélná	příčná	Mpa	
				Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	
akát	660	13500	150	148	4,3	73	19,0	16,0	13,0
borovice lesní	470	12000	100	104	3,0	55	7,7	10,0	4,0
bříza	570	16500	147	137	7,0	51	-	12,0	8,5
buk lesní	630	16000	123	135	7,0	62	9,5	8,0	10,0
dub (letní, zimní)	600	13000	110	90	4,0	65	11,0	11,0	6,0
douglaska	440	11500	79	105	2,4	47	6,5	7,9	3,8
habr	730	16200	160	135	-	82	-	8,5	8,0
jasan	600	13400	120	165	7,0	52	11,0	12,8	6,8
jedle	390	11000	73	84	2,3	47	-	5,0	4,2
jilm	600	11000	89	80	4,0	56	10,0	7,0	6,0
modřín	520	13800	99	107	2,3	55	7,5	9,0	6,0
olše	460	7700	85	-	2,0	47	6,5	4,5	5,0
osika	400	7800	52	-	1,7	40	2,7	6,8	4,0
smrk	400	11000	78	90	2,7	50	5,8	6,7	4,6
teak	590	13000	148	119	4,0	72	26,0	8,3	5,0

Poznámka: pro rovnovážnou vlhkost dřeva 12%

## 2.4. Životnost a vady dřeva

Životnost dřeva je závislá na odolnosti proti vnějším vlivům. Mechanické vlastnosti jsou zhoršovány povětrnostními vlivy, zvláště vlhkostí a tím vzniká vhodné prostředí pro napadení dřeva biotickými činiteli. Přirozená trvanlivost je odolnost proti napadení dřeva biotickými činiteli. Výsledky konkrétních dřevin se klasifikují podle EN 350-1.

**Dešťové srážky** – způsobují změnu vlhkosti, bobtnání a sesychání dřeva.

**Mrznutí** – u vlhkého dřeva způsobuje objemové změny.

**Sluneční záření** – zvyšování teploty povrchu dřeva způsobuje objemové změny a při povrchu vznik trhlinek, které se prohlubují. Jsou vhodným místem pro výskyt biotických činitelů.

**Vítr, proudící voda nebo písek** – mechanické opotřebení (tzv. abraze) [8].

### 2.4.1. Vady růstové [2]

- **Vady tvaru kmene** – křivost (odchýlení podélné osy), sbíhavost (zmenšování tloušťky, které přesahuje 1cm na 1m délky), kořenové náběhy (vyvýšeniny na oddenkové straně kmene), zbytnění oddenku (výrazné zvětšení oddenkové části), boulovitost (výrazné místní ztloustnutí kmene).
- **Nepřavidelnosti struktury** – točivost vláken (závitnicové uložení), svalovitost (vlnitost vláken), reakční dřevo (tahové u listnáčů a tlakové u jehličnanů),

závitek (vychýlení letokruhů v okolí suku), smolník (dutina mezi letokruhy vyplněna pryskyřicí), prosmol (dřevo prosycené pryskyřicí), dřeň, zárost (odumřelá kůra nebo dřevo obrostlé dřevem), nepravé jádro (nenormální temné zbarvení vnitřní části u bělových dřevin).

- **Suky** – zarostlé zdravé, zarostlé nahnilé, vypadavé. Podle vzhledu a postavení: na ploše (oválné, kruhové, křídlivé, motýlovité), hranové, na celé hraně i ploše.
- **Trhliny** – středové (jednoduchá, křížová, hvězdicová), obvodové (vlasové, hluboké), odlupčivé (kruhové, částečné, úplné), dřeňové, mrazové, výsušné.
- **Cizopasná rostliny** – jmelí (na borovici a jedli), ochmet (na dubu a kaštanu).
- **Mechanické poškození kmene** – je způsobeno bleskem, střelami, zásuškem (odumřelá vrstva kmene na povrchu, projeví se jako prohlubenina).
- **Zbarvení neorganického původu** – čerstvé dřevo při styku se světlem a vzduchem tmavne.

#### 2.4.2. Vady výrobní

- **Při těžbě** – šikmý řez, nedořez (při porážení stromu), vytrhaná vlákna a třísky, výrobní trhliny (prasknutí kmene při těžbě nebo při dopadu), mechanické poškození při přibližování.
- **Při výrobě řeziva** – odchylka kolmosti, odchylka rovnoběžnosti.
- **Deformace řeziva při sušení** – borcení.

#### 2.4.3. Poškození dřeva houbami

Houby parazitické (napadají živé stromy), houby saprofytické (napadají odumřelé dřevo), rakovina (poškození kmene rostoucího stromu), plíseň (dřevo pouze zabarvuje na povrchu, ale vlastnosti neovlivňuje), zapaření (v pokáceném stromě vlivem biochemických procesů), zbarvení jádra houbami (nenormální zbarvení, které obvykle nezhoršuje užitné vlastnosti), zbarvení běli houbami (nenormální zbarvení způsobené dřevozbarvujícími houbami, mechanické parametry jsou ještě zachovány, ale estetické jsou již znehodnoceny – zamodráná až zčernání), hniloba tvrdá (počáteční stádium, kdy má dřevo ještě zachovanou pevnost, ale už má změněnou barvu), hniloba měkká (napadení dřeva je již rozvinuté a ztratilo svoji pevnost).

### Nejvýznamnější dřevokazné houby [8]:

**Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*)** – vyskytuje se po celý rok, na



Obr. 4: *Dřevomorka domácí* [8]

opracovaném dřevu jehličnanů, dřevotřísece, papíru ale i na textiliích. Největší výskyt je v nevětraných budovách. Napadá dřevo i poměrně suchých staveb. K jejímu růstu stačí poměrně málo vlhkosti, vodu si umí vytvořit sama. Množí se třemi způsoby výtrusnice, tvoří provazce, kterými dokáže prorůst zdi až čtyři metry širokou a při uvolnění a zapadení na zdravou část pokračuje v růstu. Na rozdíl od jiných hub se

dřevomorce daří při nižších teplotách. Už při teplotě 26°C zastavuje růst a při 40°C začíná odumírat. Dřevo na počátku měkne, barví se do okrova a je velmi křehké. Má hladký lom a je značně vlhké. Dřevo napadené dřevomorkou propadá rychlé zkáze. Nejlepší ochrana před napadením dřevomorkou je dokonale vyschlé stavební dřevo, suché teplo a důkladné větrání místnosti. Všechny napadené předměty je nutno včas odstranit – nejlépe spálit.

**Kaniofora sklepní (*Conioph puteana*)** – pro svůj růst vyžaduje velkou vlhkost



Obr. 5: *Kaniofora sklepní* [8]

dřeva, proto se vyskytuje ve vlhkých prostorách (sklepy, kůlny, půdy v místech kde zatéká). Vlhkost pro šíření, růst a rozkladnou činnost je optimálně 50 % - 60 %, pokud vlhkost klesne, houba odumírá a její vývoj se zastaví. Optimální teplota je 23°C. Vzhledem k teplotním změnám je odolnější než dřevomorka. Způsobuje hnědou hnilobu,

ale příznaky jsou odlišné od dřevomorky, pro kterou tvoří příhodné podmínky, proto bývají jejich plodnice vzájemně prorostlé. Vyskytuje se na kontaktu s mokrými zdmi nebo zemí. V konečném stádiu hniloby lze dřevo rozmělnit až na dřevní prach.

**Trámovka plotní (*Gloeophyllum sepiarium*)** – roste od března do listopadu



Obr. 6: Trámovka plotní [8]

na pokáceném a odkorněném dřevě jehličnanů. Napadá i opracované dřevo (ploty, zábradlí). Snáší silné zimní mrazy i déle trvající sucho. Kromě odolnosti k extrémnímu klimatu je nebezpečná tím, že se jedná o substrátovou houbu. Zatímco vnitřní části dřeva jsou zcela destruovány, tenká povrchová vrstva zůstává

neporušena. Plodnice vyrážejí na povrch hlavně ze štěrbin a trhlin, takže mají různý tvar a jsou přirostlé bokem. Když se objeví plodnice, je nutné napadenou část konstrukce zlikvidovat.

#### 2.4.4. Poškození dřeva dřevokazným hmyzem

Hmyz je schopen se ve dřevě vyvíjet několik generací. Hmyz poškozují dřevo v živém stromě i dřevo zpracované. Napadení vede ke snížení fyzikálních, mechanických i estetických vlastností. Hmyz má nižší nároky na vlhkost než houby. Jeho optimální podmínky jsou 20°C a 10 % - 12 % vlhkost. Škůdci napadají hlavně bělové dřevo, v němž je více zásobních a méně konzervačních látek. Hmyzem poškozené dřevo je pro kvalitnější výroby bez výjimky nepoužitelné. Poškozují dřevo přímo (larvy vyhlodávají chodbičky různých tvarů a velikostí, spleť chodeb je schovaná pod povrchem dřeva jen s vletovými a výletovými otvory) a nepřímo (hmyz zavléká do chodeb vyhlodaných larvami některé plísně a tím je rozšiřuje). Poškození povrchové (hloubka max. 5mm), mělké (hloubka 5 – 50 mm) a hluboké (hloubka více než 50 mm) [8].

#### Nejvýznamnější dřevokazný hmyz [8]:

**Tesařík krovový (*Hylotrupes bajulus*)** – nejvýznamnější škůdce dřeva, napadá



Obr. 7: Tesařík krovový [8]

zabudované dřevěné konstrukce. Larvy během svého vývoje vyžirají dřevo a chodbičky za sebou zaplňují požerky. Larvy vyžirají hlavně bělové dřevo. Při intenzivnějším napadení jsou nuceny zavrtat se hlouběji a rozrušují tak i dřevo jádrové. Růst od vajíčka po dospělého jedince trvá 3 roky – podle vlhkosti dřeva.

Dospělý jedinec žije cca 14 dní a jediný jeho úkol je naklást nová vajíčka. Napadá starší neodkorněné dřevo, čerstvě pořezané dřevo jen výjimečně. Má větší výletové otvory než červotoč.

**Tesařík fialový (*Callidium violaceum*)** – technický škůdce dřeva, který napadá



*Obr. 8: Tesařík fialový [8]*

zabudované dřevěné konstrukce vyrobené z jehličnanů. Na rozdíl od tesaříka kruhového napadá i rostoucí stromy a při přemnožení může stromy silně poškodit. Napadá neodkorněné dřevo, samička klade vajíčka pod suchou kůru. Larvy nejprve těsně pod kůrou vyžírají celé plochy povrchu dřeva až do velikosti dlaně. Teprve

při zakuklení se zavrtávají hlouběji do dřeva, někdy i 10 cm. Tesařík fialový způsobuje značné škody, zvláště na stavebním dřevě.

**Červotoč proužkovaný (*Anobium striatum* Olivier)** – napadá opracované



*Obr. 9: Červotoč proužkovaný [8]*

jehličnaté dřevo, které je již několik let používané (trámy, podlahy, nábytek, okna). Samička klade asi 20 vajíček do starých výletových otvorů, štěrbin nebo na rovný drsný povrch. Charakteristickým znakem jsou napadené trámy jen na vnitřní straně místnosti. Venkovní stranu stěn trámů nepoškozuje. Larvy vyvrtávají ve dřevě

podélné chodby s hlavní částí soustředěnou do letokruhů jarního dřeva. Larvy jsou ve dřevě s vlhkostí 12 % - 60 %. Červotoč proužkovaný je poměrně citlivý na teplotu. Optimální teplota je 22°C.

**Červotoč umrlčí (*Anobium pertinax* Linnaeus)** – je větší než červotoč



*Obr. 10: Červotoč umrlčí [8]*

proužkovaný. Samičky kladou asi 30 vajíček do skulin nebo do starých chodeb. Pro svůj vývoj potřebuje větší vlhkost dřeva, minimálně 19 % a snížení teploty pod bod mrazu. Červotoč umrlčí a všechny jeho vývojové fáze hynou při teplotě 48°C. Červotoč napadá dřevo jehličnatých i listnatých dřevin již

zabudovaných do konstrukce několik let a vystavené působením zimních mrazů. Napadá trámy v místech uložení do venkovních stěn a také pravidelně smáčené části, kde zatéká do stěn.

### **3. Metodika průzkumu**

#### **3.1. Průzkum dřevěného krovu**

Průzkum dřevěného krovu nám slouží k odhalování poruch konstrukce [9]. Nutno postupovat dle doporučené metodiky a využívat vhodné průzkumné metody. Při průzkumu krovu je velmi důležité mít na paměti statiku, protože krov je hlavní nosnou konstrukcí zastřešení stavebního objektu. Z tohoto hlediska je možné krovy srovnat s konstrukcemi jako jsou mosty, mrakodrapy, které také nelze zkoumat bez základní znalosti statiky.

#### **3.2. Stavebně historický průzkum**

Stavebně historický průzkum je především zaměřen na potřeby celkového zhodnocení historické dřevěné konstrukce. Jedná se o architektonický rozbor a hodnocení okolností vzniku stavby i autorství. Měl by upozornit na zvláště cenné části stavby, ať už známé, viditelné nebo skryté mladšími konstrukcemi a přestavbami. Jeho úkolem je přispět k zachování všech cenných stavebních prvků, dát podnět k jejich konzervaci nebo citlivé opravě [8].

Průzkum krovů, kde došlo k rozsáhlým opravám, nebo ke změně konstrukčního systému, je podstatně složitější. Zde může k poznání historie krovu podstatně přispět dendrochronologie a průzkum tesařských značek [9]. Pro provedení takhle složitého stavebně technického průzkumu je potřeba mít široké teoretické znalosti všech historických slohů, ale také zkušenosti.

#### **3.3. Stavebně technický průzkum**

Stavebně technický průzkum je důležitou doplňující součástí stavebně historického průzkumu [8]. Jeho vypracování je nutné při posouzení aktuálního stavu konstrukce a rozhodnutí o dalším provozu objektu. Je to výsledné hodnocení nosné konstrukce. Při zjištění odstranitelných poruch, by měl být dostatečným podkladem pro projektování a realizaci sanačních prací [8].

##### **Rozdělujeme do tří skupin:**

- 1) Předběžný** – shromažďuje veškeré dostupné informační a podkladní zdroje o konstrukci (stavební projekt a dokumentace, stávající předpisy a normy pro navrhování a provádění, údaje o dodatečných stavebních úpravách, způsobu využívání,...) a základní údaje o materiálovém řešení a fyzickém stavu

konstrukce (viditelné trhliny, poruchy, závady, vlhkost, koroze, hniloba, přetvoření konstrukcí, opotřebenost,...).

- 2) **Podrobný** – hlavním cílem je poskytnout podklady pro posouzení funkční způsobilosti a spolehlivosti konstrukce, podrobné údaje o rozměrech, materiálech. V podrobném průzkumu určujeme příčiny a závažnost poruch, závad, stupeň opotřebení a degradaci materiálů. Provádíme mykologický, chemický a někdy i biologický průzkum a hodnocení konstrukcí. Podrobné průzkumy mají význam zejména při opravách a stavebních úpravách, ale také když dochází k zásahům do starých konstrukcí.
- 3) **Doplňkový** – úkolem je zpřesnit a doplnit chybějící technické údaje o materiálech, zhodnocení závažnosti poruch a analýza příčin. Důsledky vyplývající z navrhovaných úprav a změn. Pro doplňkový průzkum jsou často používány statické a dynamické zkoušky. Jsou nejspolehlivějším zdrojem informací o daných vlastnostech konstrukce. Pro objasnění příčin poruch se provádí dlouhodobé sledování – monitoring za pomoci citlivých indikátorů.

Konkrétní průzkumy jsou nejvíce závislé na práci samotného pracovníka, který průzkum provádí (na jeho odborné kvalifikaci, zkušenostech,...) a metodách, které používá pro posouzení stavu dřevěné konstrukce.

### 3.4. Důvody průzkumů

Důvodem k provádění průzkumu dřevěných konstrukcí může být havarijní stav objektu, objevení výskytu biologického napadení, úmysl změnit účel využití objektu, nebo tento průzkum může mít jenom preventivní charakter, což by u většiny dřevěných konstrukcí bylo žádoucí [8].

### 3.5. Cíle průzkumu

Průzkumem dřevěných konstrukcí se v dnešní době zabývá stále více odborníků, kteří mezi sebou spolupracují, ale každý má jiný cíl práce. Na jedné stavbě se mohou potkat dřevařští odborníci, kteří zjišťují biologické poškození konstrukce. Projektanti, kteří zjišťují technický stav krovu a rozhodují o statickém zpevnění. Památkáři, kteří se zajímají o památkovou hodnotu krovu. Stavební historikové, kteří se zajímají o historický vývoj krovu a o jeho historické opravy a poruchy.

### 3.6. Zjišťování poruch

Zjišťování poruch by se dalo formálně rozdělit do pěti částí:

- **Základní poznatky o konstrukci** – zajištění dostupné dokumentace o zkoumané části, popřípadě i celého objektu, stáří konstrukce, poruchy a opravy v minulosti. Je provedena prvotní prohlídka, při které se odhalí místa, kde se poruchy vyskytují nejčastěji (místa u komínů, střešní okna, styky trámů se zděnou konstrukcí, lomy střešních rovin) nebo místa, kde jsou poruchy patrné už při zběžném vizuálním hodnocení (hniloba, plíseň, výletové otvory, zatékání, uvolněné spoje). Všechny zjištěné poruchy se vyznačí do výkresové dokumentace.
- **Analýza základních poznatků o konstrukci** – rozdělíme poruchy dle závažnosti a snažíme se analyzovat okolnosti, které mohli tyto poruchy zapříčinit (špatná izolace, poškozená krytina). Poté označíme místa, na kterých provedeme podrobný nedestruktivní průzkum.
- **Podrobný průzkum** – nejprve detailně zaměříme konstrukci a vyznačíme si poškozená místa. Zajistíme zpřístupnění všech zkoumaných míst (odkrytí zhlaví trámů). Provedeme veškerá nedestruktivní měření za pomoci přístrojových i vizuálních metod.
- **Analýza podrobného průzkumu** – je důležité stanovit, jestli se jedná o poškození současné či dřívější. Dalším krokem je určit stádium a rozsah hniloby, jestli se už nachází v celém prvku nebo jen jeho části. Také určíme rozsah požerků, jestli jsou jen na povrchu nebo v celém průřezu. Poté vypracujeme závěrečnou zprávu, která je základem pro vypracování statického posudku, odhadu dalšího poškození a technologického návrhu na odstranění poruch.
- **Návrh sanace** – pro sanační práce je podkladem technologický návrh. Při sanaci historické dřevěné konstrukce se snažíme zachovat maximální počet původních dřevěných prvků a minimalizovat neopodstatněné zásahy.

## 4. Diagnostické metody

Diagnostické metody pro průzkum dřevěných konstrukcí jsou rozděleny na:

**Nedestruktivní metody** - povrch zkoušené konstrukce většinou není vůbec nepoškozen, pouze u některých tvrdoměrných metod je zkoušené místo upraveno sbroušením.

- Vizuální hodnocení
- Měření vlhkosti
- Měření rychlosti ultrazvukových vln

**Semidestruktivní metody** – zkoušená konstrukce je částečně poškozena například vrtáním a odtrhy. V žádném případě nesmí být konstrukce těmito zkouškami poškozena, tomu je zabráněno vhodným výběrem zkušebních míst.

- Odporové zarážení trnu
- Radiální vývrty
- Odporové vrtání
- Endoskop
- Vytahování vrutu
- Odporové zatlačování trnu

**Destruktivní metody** – zkoušená konstrukce je poškozena.

- Odběr vzorků pro laboratorní zkoušky

### 4.1. Vizuální hodnocení

Metoda vizuálního hodnocení je nejrozšířenější a nejznámější diagnostický postup, především díky své jednoduchosti. Vizuálně je zjišťováno přibližné stáří konstrukce, informace o vlastnostech, stavu materiálu a také prováděné technologické postupy.



Obr. 11: Elektronické posuvné měřítko

Je určen druh dřeva, vady dřeva (suky, praskliny, šířka letokruhů), napadení dřevokaznými houbami (změny barvy, plodnice hub) a hmyzem (výletové otvory, požerky

v otvorech). Také je určeno uvolnění konstrukčních spojů a deformace prvků. Jsou identifikována kritická místa pro další nedestruktivní metody. Ani tou nejlepší vizuální prohlídkou nemůže být odhalen přesný rozsah vnitřního poškození a vliv poškození na mechanické vlastnosti.

## 4.2. Měření vlhkosti

Dřevo je hyroskopický materiál a mění svoji vlhkost podle okolního prostředí. Proto velmi ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti prvku. Vlhkost je měřena vždy obzvláště při průzkumu konstrukcí v in-situ. Zvýšená vlhkost může ovlivňovat výsledky získané z průzkumu, ale zároveň nám může pomoci s hledáním míst, kde dochází k průsakům vody střešním pláštům. V místech konstrukce, kde taková místa najdeme, by měl být proveden detailní průzkum a určen rozsah poškození.

K diagnostice zabudovaných prvků se používají příruční vlhkoměry, kalibrované na zjišťování vlhkosti s ohledem na druh a teplotu dřeva. Dělíme je na základě jejich principu, na kterém pracují, na odporové, kapacitní, absorpční, mikrovlnné a jiné [10]. V praxi k nejvíce používaným patří odporové, které využívají elektrický stejnosměrný odpor a vodivost dřeva.

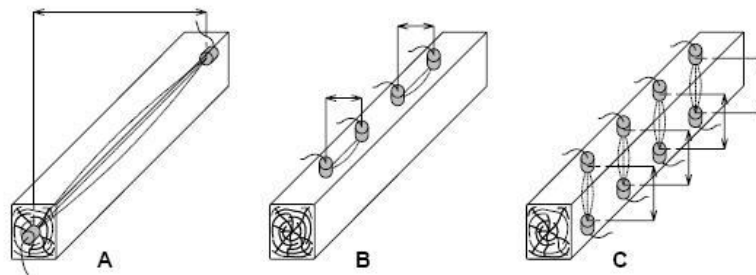


Obr. 12: Přístroj na měření vlhkosti Hygrotest 6500 se zářezací sondou

## 4.3. Měření rychlosti šíření ultrazvukových vln

Tato diagnostická metoda patří k nejpoužívanějším metodám. Především díky tomu, že je zcela nedestruktivní a poskytuje okamžité výsledky jak lokální, tak i z hlediska celkového hodnocení stavu prvku. Mezi nejběžněji používané ultrazvukové přístroje patří Arborsonic Decay Detector, Sylvatest, Pundit a Tico. Tyto ultrazvukové přístroje pracují s frekvencemi od 20 kHz do 500 kHz. Frekvence záleží na typu požitého přístroje a použitých sondách. Měří se nejčastěji pomocí dvou sond. Jedna z nich je budič ultrazvukového signálu, druhá snímač. Rychlost šíření vlny je závislá nejen na druhu dřeva,

jeho vlastnostech, hustotě, tuhosti atd., ale hlavně na jednotlivých anomáliích v růstu jako jsou např. suky, praskliny a různá námi hledaná poškození. Rychlost šíření vln klesá se vzrůstající vlhkostí dřeva. Rychlost šíření je anizotropní a závisí na aktuálním stavu dřeva a jeho vlhkosti. V místě trhliny je doba průchodu vlny delší než ve zdravém dřevě. Stejně tak se šíří rychleji v místech zdravého dřeva a má tendenci se po těchto zónách „svézt“ kolem defektů, čímž se opět zvýší doba průchodu vlny [10]. Měřením rychlosti šíření vln podél vláken získáme nejvíce vypovídající výsledek a i odhad vlastností celého prvku. Bohužel při průzkumech konstrukcí in-situ nelze většinou toto měření provést přímo. Sondy potom přikládáme jen na jednu stranu prvku a teoretický průběh vln je potom po oblouku místo po přímce. Nebo můžeme měření podél vláken nahradit měřením napříč vláken. Při měření napříč vláken přikládáme sondy z obou protilehlých stran prvku, jedná se o přesnější způsob měření, je však nutné mít přístup na obě protilehlé strany prvku. Při diagnostice celého prvku je měření provedeno na více místech. Tímto způsobem měření lze odhalit lokální poruchy, které měření podél vláken jen naznačí.



Obr. 13: Možnosti přikládání sond při měření ultrazvukem: A - přímé měření podél vláken, B - nepřímé měření podél vláken, C - přímé měření napříč vláken. [11]



Obr. 14: Ultrazvukový přístroj TICO umožňuje použití více sond o různých frekvencích

Při diagnostice větších prvků dochází k útlumu signálu, což lze eliminovat použitím nižších frekvencí. Ty jsou ale méně citlivé na menší vnitřní vady prvku. Měření při použití

vysokých frekvencí, které jsou více citlivé, je ovlivněno velkým útlumem signálu. Ultrazvuková metoda je tedy plně použitelná spíše na prvky malých rozměrů [10]. Pro odhalení poškození v podobě malých, drobných dutých míst a vad v prvku je vhodnější ultrazvuk s vyšší frekvencí a menší vlnovou délkou.

#### 4.4. Odporové zarážení trnu

Pro měření se nejčastěji používá přístroj Pilodyn 6J Forest. Je to jednoduché mechanické zařízení, které umožňuje měřit hloubku zarážení trnu o průměru 2,5 mm. Trn je vystřelen do dřeva konstantní prací 6J. Maximální hloubka zarážení trnu je 40 mm. Měří se hloubka průniku do dřeva při této práci. Testované dřevo je poškozeno velmi málo, téměř zanedbatelně. Odporového přístroje existuje několik druhů, např. Pilodyn 12J a Pilodyn 18J, které mají větší úderovou sílu, nebo Pilodyn 4J s opakovaným výstřelem.



Obr. 15: Pilodyn 6J Forest

Abychom zjistili hustotu dřeva na základě měření hloubky zarážení trnu do dřeva a vlhkosti dřeva. Můžeme použít tyto vztahy:

$$\rho_{12} = -0,027102 \cdot t_{p,12} + 0,727987$$

$$t_{p,12} = t_p (1 - 0,007 \Delta \omega)$$

$$\Delta \omega = \omega - 12$$

Kde:  $\rho_{12}$  – hustota dřeva při vlhkosti 12% [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$t_{p,12}$  – hloubka zarážení trnu do dřeva o vlhkosti 12% [mm]

$t_p$  – hloubka zarážení trnu do dřeva o známé vlhkosti [mm]

$\omega$  – vlhkost dřeva v době měření [%]

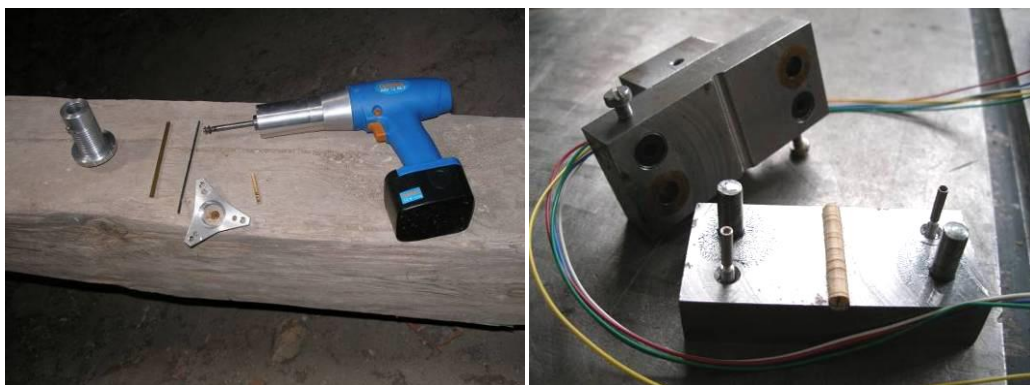
Testování v radiálním směru se jeví jako průkaznější z důvodu pravidelného střídání jarního a letního dřeva v rámci letokruhu. Při odklonu od radiálního směru menším než  $30^\circ$ , je variabilita měření do 10%. V případě použití tangenciálního směru měření Pilodynem dochází často k zarážení trnu jenom do jedné části letokruhu, čímž se výsledky značně zkreslují [10].

## 4.5. Radiální vývrty

Metoda je založena na odběru válcovitých vzorků, na kterých je ve speciálním zatěžovacím zařízení zjišťován modul pružnosti a pevnost v tlaku podél vláken. Vzniklé otvory po odběru vzorků výrazně nesnižují pevnost prvku. Otvory jsou poté většinou zazátkovány ať už z důvodu omezení vnikání vlhkosti, napadení hmyzem, omezení pravděpodobnosti vzniku hniloby. U cennějšího historického krovu se zátkuje z estetického hlediska. Radiální vývrty mají průměr 4,8 mm a otvor v prvku je 10 mm. Délka vývrtů by měla být minimálně 20 mm, kvůli zabezpečení hodnověrnosti výsledků a eliminaci variability výsledků v důsledku střídání jarního a letního dřeva. Radiální vývrty jsou odebírány elektrickou vrtačkou se speciálním vrtákem [10].



*Obr. 16: Zbarvení a struktura pilin po vyvrtání mikrovývrtů [11]*



*Obr. 17: Kompletní vybavení pro odběr radiálního vývrtu [10]*

*Obr. 18: Zatěžovací čelist s drážkou pro radiální vývrt [10]*

Při odběru vzorku musí být zajištěna konstantní rychlost, aby nebyl vzorek poškozen. Vrták musí mít ostrý a čistý hrot. Vzorek je do laboratoře přenášen ve speciální schránce, aby nebyl nijak poškozen a nedošlo ke změně vlhkosti.

Radiálními vývrty mohou být zjištěny i další vlastnosti (hustota, vlhkost, ale i identifikace druhu dřeva, mikroskopickou analýzu hniloby, vizuální hodnocení a zároveň i penetraci ochranných látek).

Pro vlastní zkoušení radiálních vývrtů se používají čelisti s drážkami, které umožňují zatěžování tlakem kolmo na osu vývrtu, tedy ve směru vláken dřeva. Dva lineárně proměnné snímače jsou použity na měření vzdálenosti mezi čelistmi a tedy k měření deformace vývrtu. Náležitě umístění vývrtu ve zkušebním zařízení je rozhodující pro správné určení pevnosti a modulu pružnosti. Dřevo má největší pevnost podél vláken a nevycentrované vývrty v čelistech způsobují větší variabilitu měření [10]. Průběh zkoušení je zaznamenáván do pracovního diagramu.

Tlaková pevnost se vypočítá dle vztahu:

$$f_c = \frac{F_{\max}}{l \cdot d_c}$$

Kde:  $f_c$  – tlaková pevnost [MPa]

$F_{\max}$  – zatížení [N], zatížení  $F_{\max}$  je odčítáno z diagramu

$l$  – délka radiálního vývrtu [mm]

$d_c$  – průměr radiálního vývrtu [mm]

Díky malým rozměrům vývrtů je tato metoda lokální. Proto nemusí poskytovat přehled o celém zabudovaném prvku. Tento nedostatek lze eliminovat zvýšením počtu odebraných vzorků pro jeden prvek. Tím ale narůstá časová pracnost, náklady a hlavně se snižuje pevnost prvku.

#### 4.6. Odporové vrtání

Při odporovém vrtání trn pozvolna proniká materiálem a dává nám přehled o vnitřní struktuře. Například měření pomocí přístroje Resistograph 2450 – S; pracujícího na tomto principu, je založeno na odporu materiálu k prostupu malého vrtáku s průměrem 1,5 - 3,0 mm, nebo přístroje RESIF 400 firmy IML, kde lze grafický záznam zaznamenávat pouze na papírovou pásku bez možnosti digitálního výstupu. Vřetenem vrtáku je neustále stabilizováno uvnitř vrtajícího zařízení speciálním teleskopem [10]. Tento přístroj váží asi 3kg a má dva elektrické motory. Jeden má na starosti neměnné otáčky a druhý konstantní posun. Výstupem je profil spotřeby energie resp. relativní odpor, zahrnující eliminaci spotřeby energie vrtáku při tření v hlubších vrstvách. Vrcholy v grafickém záznamu odpovídají vyšším odporům, potažmo hustotě dřeva. Nižší body jsou spojené s nižším relativním odporem dřeva [10].

Resistograph se od Pilodynů liší tím, že nabízí přehled o vnitřním poškození, Pilodyn jen o povrchovém poškození. Dřevěný prvek je nejčastěji poškozen vnitřně bez povrchových změn. Na diagnostiku zabudovaného prvku je tedy vhodný Resistograph, který vrtáním na několika místech objektu je schopen poskytnout přehled o stavu poškození prvku.

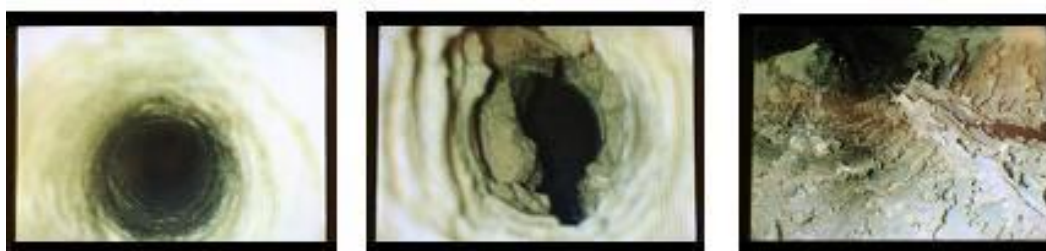
I u této diagnostické metody existují omezení. Optimální je vrtání v radiálním směru, protože je zaručeno střídání jarního a letního dřeva v letokruhu. Je nutné zabezpečit ostrost vrtáku, jeden vrták je možné použít přibližně na 300 vrtání [10]. Vrták má malý průměr a díky tomu má malou ohybovou tuhost, která může zapříčinit jeho ohýbání při vrtání letokruhu jarního dřeva. Tato metoda také poskytuje jen lokální informace. Je tedy dobré ji kombinovat s ostatními nedestruktivními zkouškami. Odporové vrtání je také závislé na vlhkosti dřeva.



*Obr. 19: Přístroj Resistograph firmy Rinntech [10]*

#### **4.7. Endoskop**

Mezi defektoskopické metody se řadí i nejjednodušší zjišťování stavu konstrukcí a to vizuálním hodnocením. Je ovšem velmi ovlivněno přístupem k jednotlivým prvkům. Pokud máme stropní konstrukci nebo těžce dostupná místa, tak použijeme videostop nebo endoskop. Pomocí endoskopu lze vizuálně posuzovat biotické poškození dřeva, dále je možné odhadovat vývojové stádium hub, změny barvy, zborcení, povrchový nebo kostkovitý rozklad a mechanické poškození [10]. Pro přesné určení druhu dřevokazného hmyzu a hniloby je nutný odběr vzorků. Pro některé endoskopy v dnešní době už to není problém.



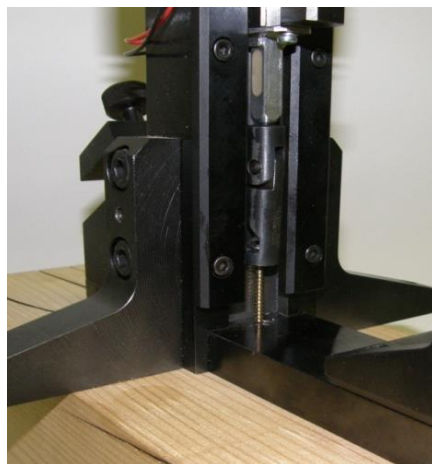
*Obr. 20: Ukázka obrazu jednotlivých sond pomocí přístroje Videoprobe XL PRO*

Nejběžnější endoskop u nás je Videoprobe XL PRO, který se skládá ze zdrojové jednotky, pružného bovdenu s mikrokamerou a světlem a ovládacího panelu s displejem. Při průzkumu endoskopem je nutné mít v konstrukci předem připravené otvory o velikosti 10 - 12mm. Nebo lze využít štěrbinu, do kterých zasuneme bovdem s mikrokamerou a ta nám přenáší obraz na displej ovládacího panelu. Tento záznam je i uložen. Otvory mohou

být po provedení průzkumu zazátkovány. Identifikace poškození předpokládá velmi dobré znalosti průzkumníka, stejně jako v případě vizuálního hodnocení, bez použití endoskopu [10].

#### **4.8. Vytahování vrutu**

Pro tuto metodu je používáno jednoduché ruční zařízení pro vytahování vrutu průměru 4mm, který je zašroubovaný do hloubky 18mm. Alternativní možností je vytahování pomocí univerzálního přístroje pro zatlačování trnu, kde jednoduchou výměnou trnu za háček lze přístroj uzpůsobit opačnému pohybu a tedy měřit sílu potřebnou na vytažení vrutu ze dřeva [10]. Touto metodou se nepřímo stanoví hustota dřeva, v kombinaci s ostatními nedestruktivními metodami se odvodí základní mechanické vlastnosti dřeva. Jedná se o lokální charakteristiku materiálu, proto je nutné vhodně vybrat místa a počet zkoušení, které reprezentují celkový stav prvku. Metoda má povrchový charakter, můžeme z ní tedy vypovídat o vlastnostech na okraji prvku, ale nemůžeme stanovit případné vnitřní poškození.



*Obr. 21: Univerzální přístroj pro zatlačování trnu a vytahování vrutu [10]*

#### **4.9. Odporové zatlačování trnu**

Přístroj je ke zkoušenému prvku upevněn různými způsoby, nejčastěji opásáním válečkovým řetězem nebo textilním popruhem, někdy i pomocí spojovacích vrutů. Po upevnění je kolmo k základně přípravek vtlačován trn pomocí ozubeného hřebenu poháněného přes ozubené kolo, obouřučně pomocí dvou proti sobě uložených klik. Průběžně je snímána a zaznamenána působící síla při vtlačování trnu, vztažená k měřené dráze [10]. Během měření jsou v počítači počítány základní charakteristiky, práce [Nmm], délka vniku [mm], čas posuvu trnu [s], maximální a minimální síla [N]. Z těchto hodnot je následně

vypočtena průměrná síla [N], která je potřebná pro zatlačení trnu. Je to klíčový parametr pro hodnocení zjištěného mechanického odporu dřeva. Odpor dřeva je ovlivněn nejen druhem, kvalitou a hustotou dřeva, ale také vlhkostí dřeva. Podmínka pro použití napříč vláken je použití pouze v radiálním směru, kde dochází ke střídání jarního a letního dřeva.



*Obr. 22: Detail průniku trnu základnou přístroje [10]*

#### **4.10. Odběr vzorků pro laboratorní zkoušky**

Výsledky nedestruktivního zkoušení vlastností dřeva jsou vždy jen orientační, pro jejich zpřesnění by měly být provedeny průkazné zkoušky. Průkazné zkoušky se provádějí podle ČSN EN 384 „Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty“ a ČSN EN 408 „Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností“ a slouží k přímému stanovení některých fyzikálně-mechanických vlastností [10].

Evropské normy rozlišují pouze směr zkoušení rovnoběžně s vlákny (axiální směr, index 0) a směr zkoušení kolmo k vláknům (index 90).

Zkoušky se provádí na vzorcích bez suků, smolnosti a jakýchkoliv vad. Z výsledků těchto zkoušek přidělujeme vlastnosti i částem s vadami. Na získané výsledky zkoušek má velký vliv také vlhkost dřeva. U konstrukčního dřeva zjišťujeme hlavně jeho fyzikální a mechanické vlastnosti, které jsou různé z hlediska základních anatomických směrů ve dřevě [10]. Při stanovování mechanických vlastností konstrukčního dřeva by referenční příčný rozměr měl být 150mm. Je také možné mechanické vlastnosti určit na malých bezvadných tělesech nebo na tělesech konstrukčních rozměrů, ale charakteristické hodnoty získané tímto způsobem se musí opravit součiniteli.

Dřevo je přiřazeno k určité třídě pevnosti a to na základě charakteristické hodnoty pevnosti v ohybu a hustotě.

Tab. 2: Třídy pevnosti – charakteristické hodnoty jehličnatých dřevin [12]

		JEHLIČNATÉ DŘEVINY											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI (v N/mm <sup>2</sup> )													
Ohyb	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tah rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tah kolmo k vláknům	$f_{t,90,k} = 0,4$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Tlak rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 5 (f_{m,k})^{0,45}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	28	29
Tlak kolmo k vláknům	$f_{c,90,k} = 0,007 r_k$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Smyk	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
TUHOSTNÍ VLASTNOSTI (v kN/mm <sup>2</sup> )													
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05} = 0,67 E_{0,mean}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,1	10,7
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean} = E_{0,mean} / 30$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	$G_{mean} = E_{0,mean} / 16$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
HUSTOTA (v kg/m <sup>3</sup> )													
Hustota	$r_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Průměrná hodnota hustoty	$r_{mean} = 1,2 r_k$	350	370	380	400	410	420	440	460	480	500	530	550
POZNÁMKA: Tabelované hodnoty odpovídají dřevu s vlhkostí při teplotě 20°C a relativní vlhkosti 65%.													

Tab. 3: Třídy pevnosti – charakteristické hodnoty listnatých dřevin [12]

		LISTNATÉ DŘEVINY							
		D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI (v N/mm <sup>2</sup> )									
Ohyb	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
Tah rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
Tah kolmo k vláknům	$f_{t,90,k} = 0,6$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Tlak rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 5 (f_{m,k})^{0,45}$	18	21	23	25	26	29	32	34
Tlak kolmo k vláknům	$f_{c,90,k} = 0,015 r_k$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Smyk	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
TUHOSTNÍ VLASTNOSTI (v kN/mm <sup>2</sup> )									
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	9,5	10	11	12	13	14	17	20
5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05} = 0,84 E_{0,mean}$	8,0	8,4	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean} = E_{0,mean} / 15$	0,63	0,67	0,73	0,80	0,87	0,93	1,13	1,33
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	$G_{mean} = E_{0,mean} / 16$	0,59	0,63	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
HUSTOTA (v kg/m <sup>3</sup> )									
Hustota	$r_k$	500	520	530	540	550	620	700	900
Průměrná hodnota hustoty	$r_{mean} = 1,2 r_k$	600	620	640	650	660	740	840	1080
POZNÁMKA: Tabelované hodnoty odpovídají dřevu s vlhkostí při teplotě 20°C a relativní vlhkosti 65%.									

## 5. Diagnostika dřevěného trámu

K praktické části bakalářské práce byla vybrána část trámu, dlouhá asi 1 m z krokve pultové střechy rodinného domu.



*Obr. 23: Pohled na trám v původní konstrukci*

Tento trám byl vybrán, protože vykazoval různorodé poškození. Především poškození dřevokazným hmyzem, suky a prasklinami.

Z nedestruktivních diagnostických metod bylo vybráno měření vlhkosti a odporové zarážení trnu, z destruktivních metod odběr vzorků pro laboratorní zkoušky.

### 5.1. Prvotní vizuální prohlídka

Jako první diagnostická metoda byla provedena vizuální prohlídka. Podle smetanově hnědé barvy, jasných letokruhů, nejasného přechodu mezi jádrovým a bělovým dřevem bylo určeno, že zkoušený trám je s největší pravděpodobností smrk. Při prohlídce bylo zjištěno výrazné poškození dřevokazným hmyzem a podle požerků a výletových otvorů velikosti 6 – 10 mm bylo určeno, že se jedná o tesaříka zřejmě Tesaříka krovového.



*Obr. 24: Detail poškození tesaříkem*



*Obr. 25: Pohled na vyříznutý zkoušený trám*



*Obr. 26: Pohled na zhlaví na začátku trámu*



*Obr. 27: Pohled na zhlaví na konci trámu*

Po vizuálním zhodnocení byla na vzorku naznačena místa pro měření diagnostickými přístroji po 20 mm. Označeny jednotlivé strany písmeny A, B, C, D. Ve všech těchto místech byly změřeny rozměry posuvným měřítkem, které jsou v příloze č. 1, průměrná šířka je 138 mm, průměrná výška je 104 mm a průměrná délka je 965 mm.



*Obr. 28: Pohled na trám s označenými místy*

## 5.2. Měření vlhkosti

Vlhkost trámu byla měřena dvěma způsoby. Poprvé přístrojem Hygrotest 6500 po 100 mm na všech čtyřech stranách. Jednotlivé hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 4 a byla spočítána průměrná hodnota 7,42 %. Nižší vlhkost vzorku byla zřejmě způsobena tím, že vlhkost byla měřena, až poté co byl vzorek tři týdny uložen v laboratoři.

Tab. 4: Naměřené hodnoty vlhkosti v jednotlivých řezech

číslo řezu	vzdálenost řezů	strana A	strana B	strana C	strana D
	[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]
5	100	7,77	5,54	6,54	6,85
10	200	7,15	5,69	7,31	7,62
15	300	7,23	4,46	7,54	7,92
20	400	5,31	4,54	8,00	7,31
25	500	7,54	5,23	8,54	7,85
30	600	8,08	5,62	8,62	7,62
35	700	8,15	7,38	9,15	7,85
40	800	8,46	7,62	9,23	8,31
45	900	9,15	8,15	9,31	8,54
průměr vlhkostí $m_{\omega i}$		7,65	6,03	8,25	7,76
směrodatná odchylka $s_{\omega i}$		1,02	1,28	0,91	0,47
minimální hodnota $\min_{\omega i}$		5,31	4,46	6,54	6,85
maximální hodnota $\max_{\omega i}$		9,15	8,15	9,31	8,54
průměr stran ABCD $m_{\omega}$		7,42 %			

Podruhé byla vlhkost měřena váhovou metodou. Nejprve byl trám zvážen ve vlhkém stavu, následně vysušen v sušárně a zvážen ve vysušeném stavu.

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100 = \frac{6,103 - 5,684}{5,684} * 100 = 7,38\%$$

$$\Delta\omega = 7,42 - 7,38 = 0,04\%$$

Rozdíl vlhkostí je pouze 0,04 % obě metody tedy mohou být považovány za vyhovující.

### 5.3. Odporové zarážení trnu

Měření bylo prováděno přístrojem Pilodyn 6J Forest a to je povrchová metoda. Záleží tedy na druhu poškození. Musí být zváženo, kam bude trn vstřelen, je nutné se vyhýbat sukům, výletovým otvorům a jiným anomáliím na dřevě.

Hloubky zaražení trnu v jednotlivých řezech a dopočítané hodnoty hustoty dle těchto vzorců:

$$\Delta\omega = \omega - 12 = 7,4 - 12 = -4,6\%$$

$$t_{p,12} = t_p(1 - 0,007 * \Delta\omega)$$

$$\rho_{12} = -0,027102 * t_{p,12} + 0,727987$$

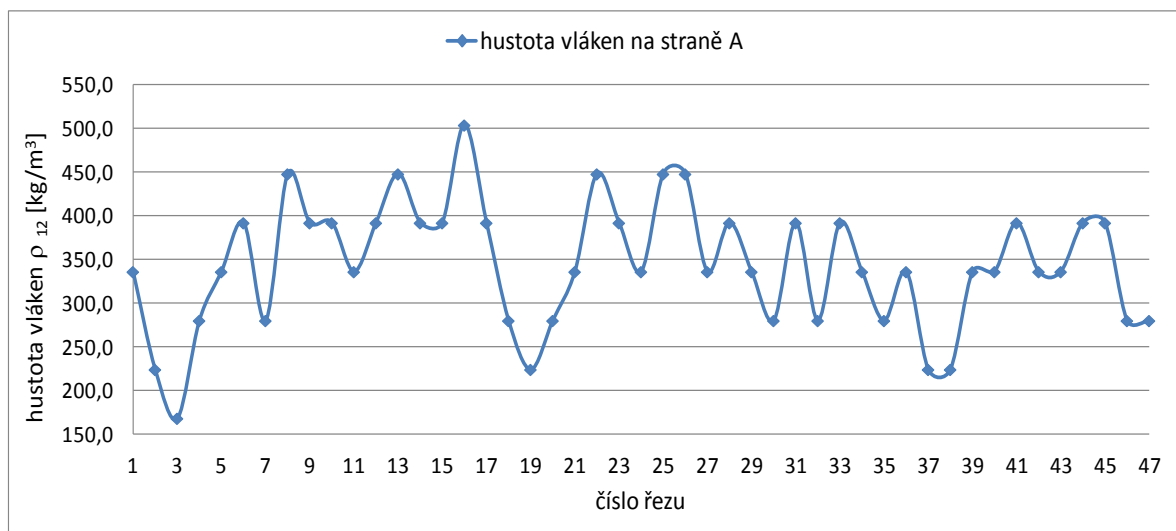
$\omega$ ...vlhkost dřeva v době měření

$t_p$  ...hloubka zaražení trnu do dřeva  
o známé vlhkosti

$t_{p,12}$  ...hloubka zaražení trnu do dřeva  
o vlhkosti 12 %

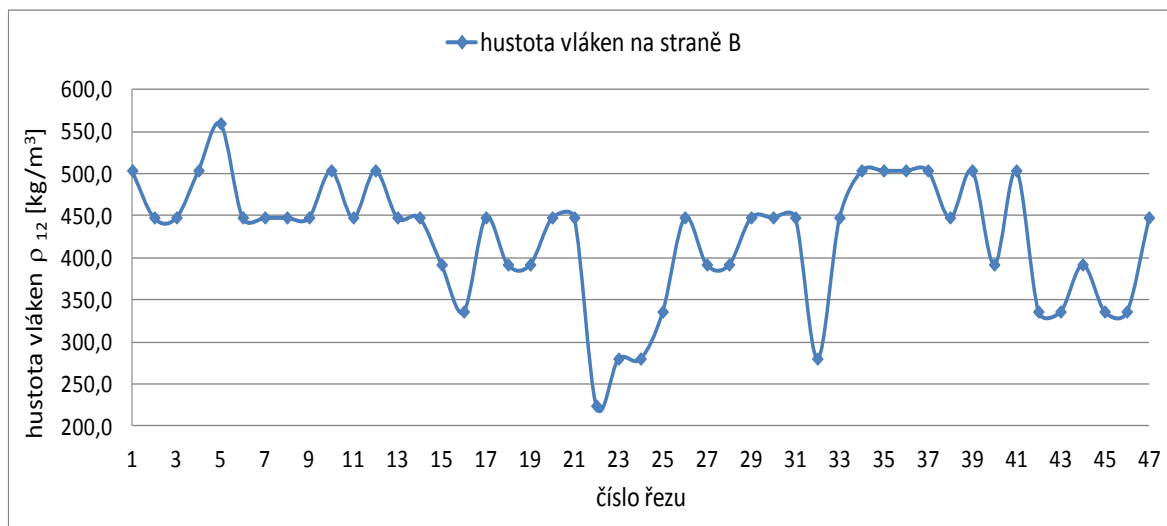
$\rho_{12}$ ...hustota dřeva při vlhkosti 12 %

jsou v příloze č. 2. Dopočítané hodnoty pevnosti v ohybu a pevnosti v tlaku jsou v příloze č. 3.



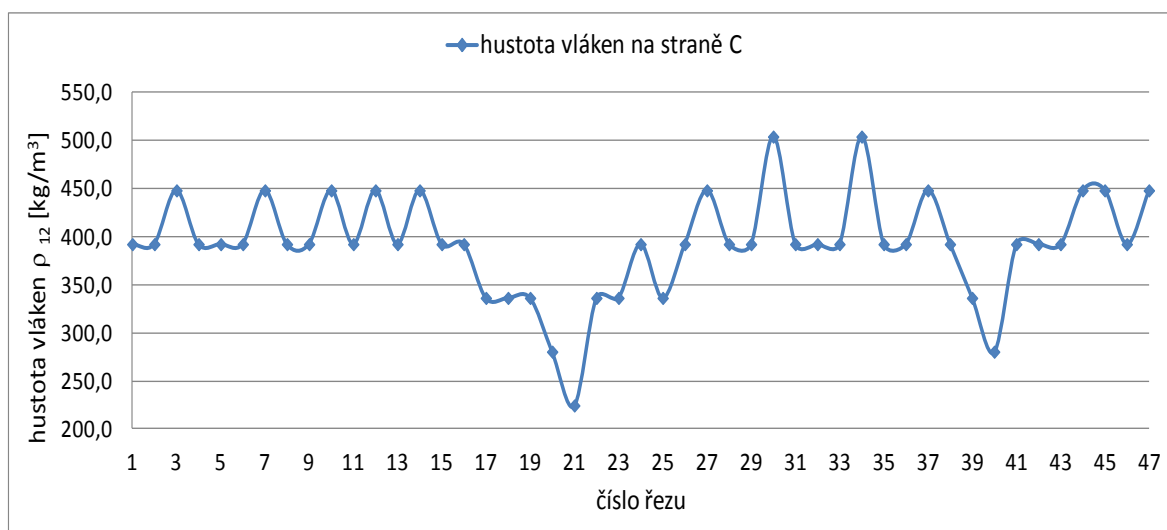
Graf 1: Odporové zarážení trnu na straně A

Na straně A je nejmenší hustota 169 kg/m<sup>3</sup> a největší hustota 504 kg/m<sup>3</sup>. Největší poškození a nižší hustoty jsou v řezech 3, 19, 37 a 38. Toto poškození je způsobeno prasklinami na této straně.



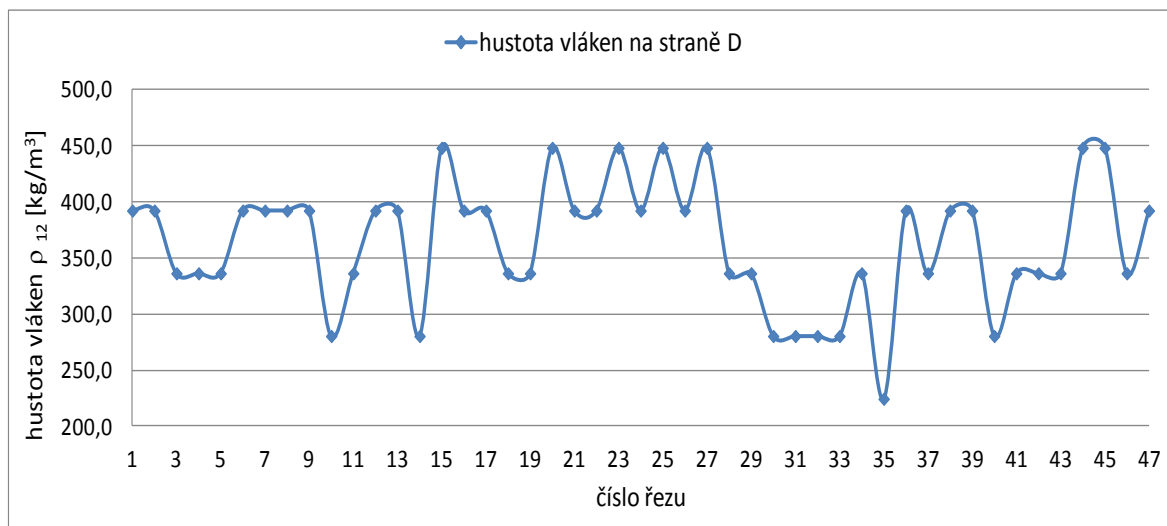
Graf 2: Odporové zarážení trnu na straně B

Na straně B je nejmenší hustota  $224 \text{ kg/m}^3$  a největší hustota  $560 \text{ kg/m}^3$ . Zjevné poškození a menší hustoty jsou v řezech 22,23,24 a 32. Toto poškození je způsobeno dřevokazným hmyzem.



Graf 3: Odporové zarážení trnu na straně C

Na straně C je nejmenší hustota  $224 \text{ kg/m}^3$  a největší hustota  $504 \text{ kg/m}^3$ . Největší poškození a nejmenší hustota je v řezu 21. Toto poškození je způsobeno hlubokou prasklinou v těchto místech. Další místa s nižší hustotou jsou řezy 39 a 40, kde jsou drobné, ale četné prasklinky.

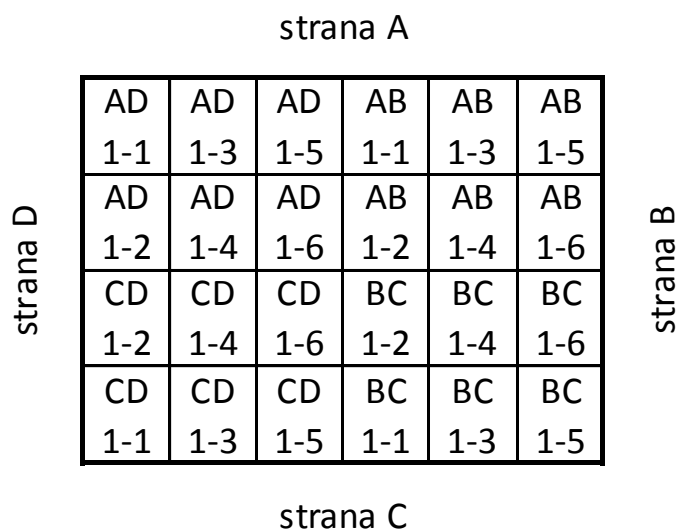


Graf 4: Odporové zarážení trnu na straně D

Na straně D je nejmenší hustota 224 kg/m<sup>3</sup> a největší hustota 448 kg/m<sup>3</sup>. Zjevné poškození je v řezech 10 a 14. Toto poškození je způsobeno prasklinami v těchto místech. Další místa s nižší hustotou jsou řezy 30, 31, 32, 33 a 35, kde se nachází hluboká a táhlá prasklina.

#### 5.4. Vzorky pro laboratorní zkoušky

Po provedení nedestruktivních metod byl vzorek rozřezán dle schématu rozřezání, které je na obrázku č. 29.



Obr. 29: Schéma rozřezání čela trámu

Trám byl po délce rozřezán po 100 mm a čelo dle schématu na obrázku č. 29. Tímto rozřezáním vzniklo 216 vzorků. Přesné rozměry jednotlivých vzniklých trámečků jsou v přílohách č. 4, 5, 6 a 7. Zde jsou také doplněny všechny naměřené a spočítané hodnoty (hmotnost suchého vzorku, hmotnost vlhkého vzorku, síla potřebná k porušení

vzorku, objem a plocha vzorku, vlhkost vzorku, pevnost v tlaku, pevnost v tlaku při 12 % vlhkosti a hustota). 14 vzorků se rozřezáním rozpadlo z důvodů prasklin a poškození dřevokazným hmyzem. Na destruktivní zkoušení bude tedy použito 202 vzorků.

Po rozřezání trámu byly na dvou trámečcích objeveny i malé chodbičky velikosti 1 – 3 mm červotoče s největší pravděpodobností Červotoče proužkovaného.

## 5.5. Destruktivní zkoušení

Vzorek musí mít plný průřez a jeho délka je 6 – ti násobek menšího průřezového rozměru. Čelní plochy musí být rovinné, vzájemně rovnoběžné a kolmé k ose tělesa [12].

Všech 202 vzorků bylo změřeno a zváženo. Poté byly všechny vzorky porušeny v lisu rovnoběžně s vlákny. Těleso v lisu zatěžujeme dostředně, pomocí tlačené desky opatřené kulovým kloubem. Zatížení je prováděno rovnoměrně konstantní rychlostí, až do porušení vzorku. Síla k tomuto porušení byla zaznamenána, viz přílohy č. 4,5,6 a 7.

Dle vzorce byla vypočtena pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, která byla zprůměrována na jednotlivé strany trámu.

$$f_{c,0} = \frac{F_{max}}{a*b}$$

$f_{c,0}$ ...pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

$F_{max}$ ...maximální síla před porušením vzorku

a, b...průřezové rozměry prvku



Obr. 30: Ukázka vzorku v lisu

Jelikož vzorek v lisu nebyl zatěžován při vlhkosti 12 % je nutno takto získanou pevnost rovnoběžně s vlákny upravit dle vzorce z ČSN 49 0110.

$$f = f_{c,0}[1 + \alpha(\omega - 12)]$$

f...pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny dle ČSN

$f_{c,0}$ ...pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

$\alpha$ ...opravný koeficient

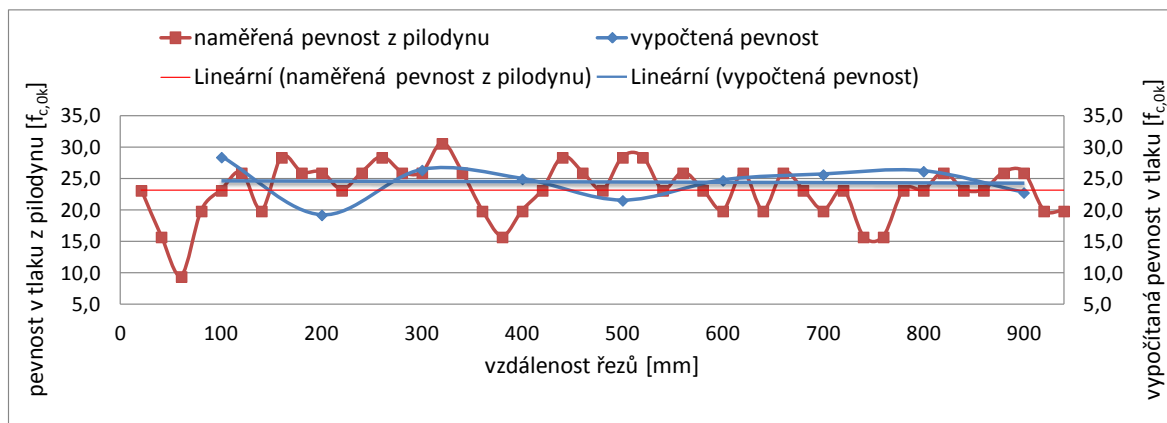
$\omega$ ...vlhkost

Zprůměrované a opravené hodnoty dle ČSN 49 0110 byly porovnány s výsledky odporového zarážení trnu.

Tab. 5: Průměrné pevnosti v tlaku

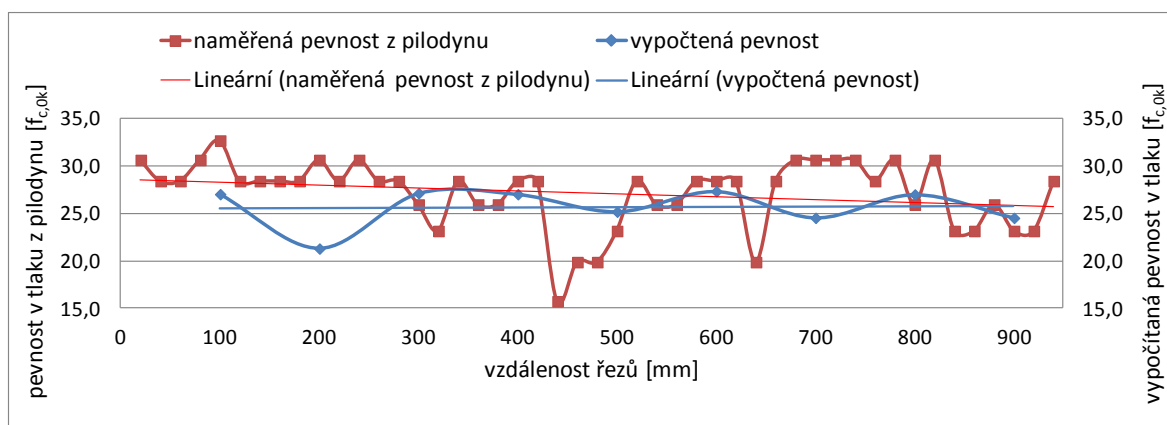
vzdálenosti	průměr pevností AB, AD	průměr pevností AB, BC	průměr pevností BC, CD	průměr pevností CD, AD
[mm]	$f_{c,0k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{c,0k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{c,0k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{c,0k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
100	28,4	27,0	24,6	26,0
200	19,2	21,3	25,6	23,5
300	26,4	27,1	33,1	32,3
400	25,0	27,0	28,6	26,5
500	21,6	25,2	23,5	19,9
600	24,7	27,3	28,7	26,1
700	25,7	24,5	19,2	20,4
800	26,2	27,0	20,5	19,7
900	22,8	24,5	15,4	13,7
průměr pevností $m_{fi}$	24,4	25,7	24,3	23,1
směrodatná odchylka $s_{fi}$	2,6	1,9	5,1	5,1
minimální hodnota $min_{fi}$	19,2	21,3	15,4	13,7
maximální hodnota $max_{fi}$	28,4	27,3	33,1	32,3
průměr stran ABCD $m_f$	24,4 MPa			

Prvek byl podle zjištěné pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny zatříděn do třídy C30.



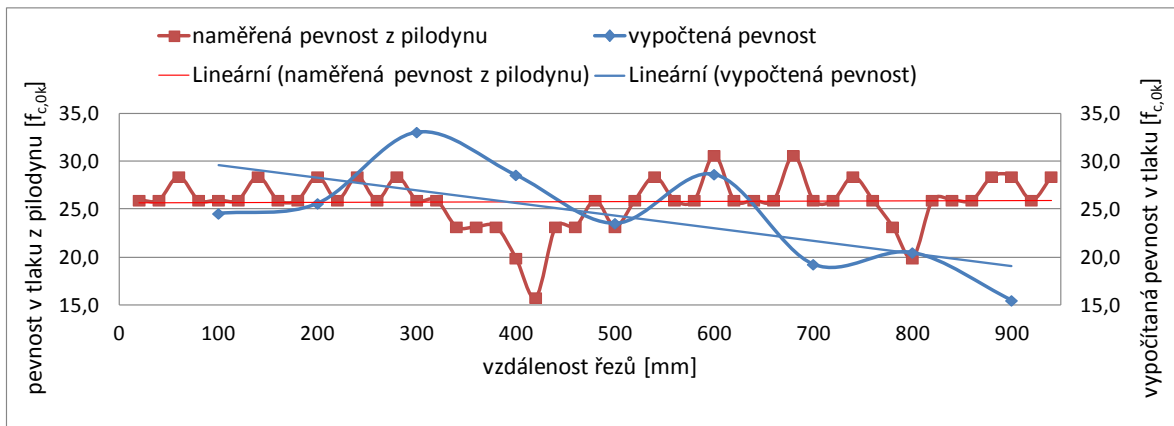
Graf 5: Porovnání pevností na stranu A

Pokud jsou naměřené hodnoty na straně A z odporového zarážení trnu proloženy červenou přímkou a skutečné pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny proloženy modrou přímkou, může být řečeno, že tyto pevnosti si navzájem odpovídají.



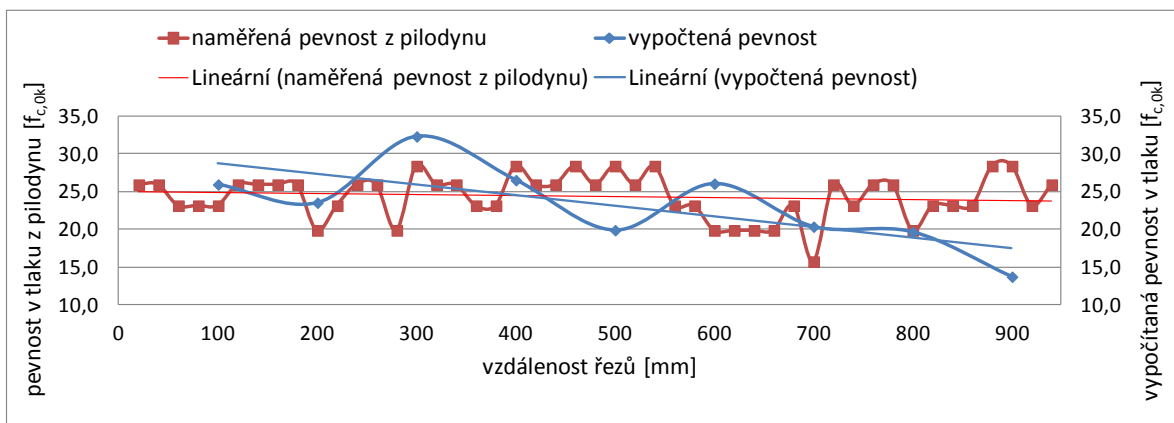
Graf 6: Porovnání pevností na stranu B

Jsou-li naměřené hodnoty na straně B z odporového zarážení trnu proloženy červenou přímkou a skutečné pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny proloženy modrou přímkou, může být řečeno, že tyto pevnosti si navzájem odpovídají od vzdálenosti 300 mm do konce. Nesrovnalost od začátku do 300 mm může být způsobena špatným výběrem místa pro zarážení trnu.



Graf 7: Porovnání pevností na stranu C

Pokud znovu proložíme obě pevnosti lineární spojnicí, zjistíme, že strana C vykazuje nejvíce odlišné hodnoty. Odchytky jsou způsobeny pravděpodobně velkým poškozením na straně C a tedy nevhodným výběrem místa pro zaražení trnu.



Graf 8: Porovnání pevností na stranu D

Pokud jsou hodnoty na straně D skutečné pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny proloženy modrou přímkou a naměřené hodnoty z odporového zaražení trnu proloženy červenou přímkou, zjistíme, že si příliš neodpovídají. To je opět způsobeno poškozením trhlinami.

Na závěr byla zjištěna průměrná hodnota pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny z odporového zaražení trnu 25,1 MPa. Také zjištěna průměrná hodnota pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny z hodnot získaných pomocí lisu 24,4 MPa.

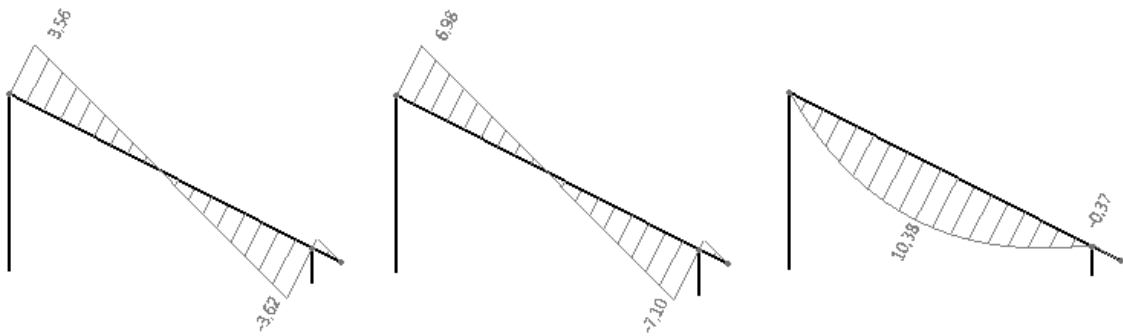
O těchto hodnotách může být prohlášeno, že jsou stejné a tím tedy potvrzeno, že nedestruktivní zkouška odporové zaražení trnu pomocí přístroje Pilodyn 6J Forest je průkazná a odpovídá skutečné pevnosti, která byla zjištěna destruktivně pomocí lisu.

## 6. Posouzení trámu na tlak, ohyb a smyk

Pro toto posouzení je brána krokev délky 6,56 m s převislým koncem. Obdélníkový průřez o průměrné šířce 103,9 mm a průměrné výšce 137,7 mm. Tyto průměrné hodnoty byly převzaty z části trámu, který byl použit pro nedestruktivní zkoušky.

Střecha se předpokládá se sklonem 30° s krokvemi vzdálenými 1 m. Vlastní tíha krokve je započítána jako spojitě zatížení 0,057 kN/m. Jako další stálá složka je započítána krytina s laťováním 1,5 kN/m. Do výpočtu je také započítáno nahodilé klimatické zatížení sněhem 0,8 kN/m a větrem 0,11 kN/m. Rodinný dům se nachází ve II. větrné oblasti, kde je základní rychlost větru 25 m/s a ve II. sněhové oblasti, která má charakteristickou hodnotu 1,0 kN/m<sup>2</sup>.

Pro získání hodnot vnitřních sil byla vytvořena kombinace podle rovnice 6.10.



### 6.1. Vstupní hodnoty

Zatřídění dřeva	C30
Maximální ohybový moment	$M_d = 10,38 \text{ kNm}$
Maximální posouvající síla	$V_d = 7,10 \text{ kN}$
Maximální normálová síla	$N_d = 3,62 \text{ kN}$
Pevnost materiálu v ohybu	$f_{m,k} = 30,00 \text{ MPa}$
Pevnost materiálu v tahu	$f_{t,0,k} = 18,00 \text{ MPa}$
Pevnost materiálu v tlaku	$f_{c,0,k} = 24,40 \text{ MPa}$
Pevnost materiálu ve smyku	$f_{v,k} = 4,00 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_{0,mean} = 12,00 \text{ GPa}$
Modifikační součinitel	$k_{mod} = 0,80$
Součinitel materiálu	$\gamma_M = 1,30$

## 6.2. Posouzení na prostý tlak

Výpočet pevnosti dřeva

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \cdot k_{mod} = \frac{24,40}{1,30} \cdot 0,80 = 15,02MPa$$

Výpočet plochy skutečného průřezu

$$A = b \cdot h = 103,90 \cdot 137,70 = 14307mm^2$$

Normálové napětí

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{3,62 \cdot 10^3}{14307} = 0,25MPa$$

Podmínka spolehlivosti

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$
$$0,25MPa \leq 15,02MPa \quad \text{VYHOVUJE NA PROSTÝ TLAK}$$

## 6.3. Posouzení na ohyb

Výpočet pevnosti dřeva

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \cdot k_{mod} = \frac{30,0}{1,3} \cdot 0,80 = 18,46MPa$$

Výpočet modulu pružnosti skutečného průřezu

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 103,9 \cdot 137,7^2 = 328\,346mm^3$$

Normálové napětí

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{10,38 \cdot 10^6}{328\,346} = 31,61MPa$$

Podmínka spolehlivosti

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$
$$31,61MPa \leq 18,46MPa \quad \text{NEVYHOVUJE NA OHYB}$$

## 6.4. Posouzení na smyk

Výpočet pevnosti dřeva

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} \cdot k_{mod} = \frac{4,0}{1,3} \cdot 0,80 = 2,46MPa$$

Smykové napětí

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{A} = \frac{1,5 \cdot 7,10 \cdot 10^3}{14307} = 0,74MPa$$

Podmínka spolehlivosti

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$
$$0,74MPa \leq 2,46MPa \quad \text{VYHOVUJE NA SMYK}$$

Krokv byla staticky řešena jako prostě podepřený šikmý nosník s převislým koncem. Trám vyhověl na prostý tlak a na smyk. Bohužel nevyhověl na ohyb o 13,15 MPa. Kdyby se tento trám stále nacházel v konstrukci, bylo by nutné ho vyměnit, i když trám vypadal v relativně dobrém stavu.

## 7. Závěr

Dřevo je anizotropní materiál, u kterého jsou vady často skryty ve struktuře dřeva nebo ve středu dřeva. Proto je dobré použít kombinaci minimálně dvou metod na jedné konstrukci, aby mohly být výsledky vzájemně ověřeny.

Dřevěný trám odebraný z krovu rodinného domu vykazoval různorodé poškození. Poškozen byl především prasklinami, suky a chodbičkami od dřevokazného hmyzu. Na trám byla provedena semi-nedestruktivní metoda odporové zarážení trnu a destruktivně byly odebrány vzorky pro laboratorní zkoušky.

Odporové zarážení trnu bylo provedeno přístrojem Pilodyn 6J Forest. Hloubka zarážení trnu byla přepočítána na pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny. Zkoušený trám byl rozřezán na malé trámečky a ty zatěžovány v lisu až do porušení. Ze síly potřebné k tomuto porušení se spočítala pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny. Obě tyto pevnosti byly porovnány a můžeme říct, že si ve většině případů odpovídají.

Po provedení všech diagnostických metod byly výsledky z měření použity pro statické posouzení nosníku na prostý tlak, ohyb a smyk. Trám ze statického hlediska vyhověl na prostý tlak s 98 % rezervou a na smyk se 70 % rezervou. Trám ale nevyhověl na ohyb o 42 %. Kdyby se trám stále nacházel v konstrukci, musela by být navrhnutá jeho výměna za nový konstrukční prvek.

Cílem práce bylo diagnostickými metodami zjistit poškození prvku a zajistit podklady pro statický výpočet. Ve výpočtu byla ověřena únosnost prvku. Dle únosnosti rozhodujeme, zdali prvek může v konstrukci zůstat nebo je třeba ho vyměnit za nový staticky únosnější.

## Seznam použité literatury

- [1] Www.thuja.mendelu.cz/: *Výuka anatomické stavby dřeva*. [online]. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: [http://thuja.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba\\_dreva/vyuka/makro/uvod.htm](http://thuja.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/vyuka/makro/uvod.htm)
- [2] Www.drevvari.humlak.cz: *1. Dřevo, fyzikální a mechanické vlastnosti, vady dřeva, vlhkost a sušení dřeva*. [online]. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: [http://drevvari.humlak.cz/data\\_web/Data\\_skola/HUdreva/2.pdf](http://drevvari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/2.pdf)
- [3] Www.vscht.cz: *Makroskopická stavba dřeva*. [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: [http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res\\_makroskopicka\\_stavba\\_dreva/index.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_makroskopicka_stavba_dreva/index.htm)
- [4] Www.prace-se-drevem.spibi.cz: *Základní rozdělení dřeva*. [online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://prace-se-drevem.spibi.cz/Drevo-Rozdeleni.html>
- [5] Www.kraj-lbc.cz/: *Dřevinná skladba*. [online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: [http://www.kraj-lbc.cz/public/ozivpr/drevinna\\_skladba\\_6be7956582.pdf](http://www.kraj-lbc.cz/public/ozivpr/drevinna_skladba_6be7956582.pdf)
- [6] Www.prolignum.cz/: *Dřevo jako stavební materiál* [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: [http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/Holzbaukurs/Kapitel\\_1-PK.pdf](http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/Holzbaukurs/Kapitel_1-PK.pdf)
- [7] Www.lesy.cz: *Charakteristika dřeva jednotlivých dřevin*. [online]. [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <http://www.lesy.cz/drevo/charakteristika-dreva/Stranky/default.aspx>
- [8] <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/13689/9225.pdf?sequence=1> *Průzkum a hodnocení dřevěného krovu historické budovy*. [online]. [cit. 2015-02-08]. Dostupné z:
- [9] HISTORICKÉ KROVY: *Typologie, průzkum, opravy*. Praha: Grada publishing a.s., 2010. 448 s.
- [10] HEŘMÁNKOVÁ, V.; KLOIBER, M.; TIPPNER, J.; ANTON, O. DIAGNOSTICKÉ METODY PRO HODNOCENÍ KONSTRUKČNÍHO DŘEVA. In *Sborník recenzovaných příspěvků konference ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2011*. Brno: VUT v Brně, 2011. s. 77-95. ISBN: 978-80-214-4338- 9.

- [11] KŘIVÁNKOVÁ, Soňa. *Diagnostické metody pro ověření míry poškození a materiálových charakteristik dřevěných prvků*. Brno, 2011. 69 s. Bakalářská práce. VUT Brno.
- [12] VYMAZAL, Tomáš. *Stavební látky - cvičebnice*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 114 s. ISBN 978-80-7204-672-0.
- [13] ČSN EN 408. *Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2012.
- [14] ČSN EN 13183-2. *Vlhkost vzorku řeziva - Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004.
- [15] ČSN EN 13183-1. *Vlhkost vzorku řeziva - Část: 1 Stanovení váhovou metodou*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2002.
- [16] ČSN 49 0108. *Dřevo: Zisťovanie hustoty*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1993.
- [17] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005, 171 s. ISBN 80-867-6972-0.

## **Seznam příloh**

<i>Příloha č. 1: Rozměry trámu.....</i>	<i>I</i>
<i>Příloha č. 2: Hloubky zaražení trnu v jednotlivých řezech a dopočítaná hustota.....</i>	<i>II</i>
<i>Příloha č. 3: Hodnoty pevnosti v ohybu a pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny.....</i>	<i>III</i>
<i>Příloha č. 4: Naměřené a spočítané hodnoty vzorků v rohu AB.....</i>	<i>IV</i>
<i>Příloha č. 5: Naměřené a spočítané hodnoty vzorků v rohu AD .....</i>	<i>V</i>
<i>Příloha č. 6: Naměřené a spočítané hodnoty vzorků v rohu BC .....</i>	<i>VI</i>
<i>Příloha č. 7: Naměřené a spočítané hodnoty vzorků v rohu CD.....</i>	<i>VII</i>

*Příloha č. 1: Rozměry trámu*

číslo řezu	vzdálenost	strana A	strana B	strana C	strana D
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	20	132,23	103,66	138,82	100,33
2	40	134,34	103,84	139,19	99,23
3	60	135,83	103,32	139,25	99,19
4	80	136,06	103,26	139,18	97,41
5	100	136,02	103,03	139,48	97,16
6	120	136,60	102,92	140,19	96,90
7	140	138,62	102,79	141,41	98,15
8	160	139,73	103,90	140,30	97,99
9	180	139,15	103,74	140,80	97,44
10	200	138,70	103,60	141,14	97,72
11	220	136,08	103,59	140,85	97,62
12	240	136,39	103,06	141,75	97,57
13	260	137,49	102,80	141,77	97,72
14	280	137,60	103,46	141,67	97,40
15	300	136,07	104,71	140,64	97,92
16	320	132,07	104,91	140,26	97,40
17	340	132,13	105,36	139,31	97,59
18	360	131,74	105,64	139,31	98,79
19	380	125,94	105,74	139,58	98,99
20	400	124,76	106,39	138,85	100,17
21	420	130,04	106,74	138,67	100,28
22	440	131,57	106,12	136,79	99,94
23	460	135,81	105,33	137,41	100,27
24	480	136,67	105,21	137,39	100,54
25	500	134,17	106,08	139,05	100,15
26	520	136,55	105,94	133,65	99,84
27	540	137,47	106,50	137,18	100,10
28	560	137,42	106,97	138,31	99,82
29	580	136,78	107,32	139,40	100,72
30	600	136,47	108,14	140,45	101,61
31	620	140,51	107,92	140,49	100,96
32	640	140,52	107,63	140,23	101,53
33	660	140,14	107,06	141,09	103,29
34	680	139,32	107,37	141,60	104,46
35	700	134,06	108,20	141,15	105,72
36	720	133,35	108,97	141,09	106,15
37	740	133,69	108,66	141,09	106,53
38	760	136,71	109,48	140,69	107,32
39	780	139,63	109,44	139,88	107,81
40	800	135,12	110,16	140,26	108,02
41	820	136,31	109,99	140,85	108,10
42	840	134,15	109,57	140,57	107,68
43	860	133,83	109,89	141,24	107,33
44	880	133,88	110,26	141,39	107,29
45	900	134,71	110,36	141,76	107,19
46	920	136,27	110,04	140,57	106,63
47	940	137,68	109,13	140,23	106,50
průměr $m_{vzd}$		136	106	140	101

Příloha č. 2: Hloubky zaražení trnu v jednotlivých řezech a dopočítaná hustota

číslo řezu	vzdálenost řezů	t <sub>p</sub> A	t <sub>p</sub> B	t <sub>p</sub> C	t <sub>p</sub> D	t <sub>p,12</sub> A	t <sub>p,12</sub> B	t <sub>p,12</sub> C	t <sub>p,12</sub> D	ρ <sub>12</sub> A	ρ <sub>12</sub> B	ρ <sub>12</sub> C	ρ <sub>12</sub> D
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
1	20	14	8	12	12	14,5	8,3	12,4	12,4	336	504	392	392
2	40	18	10	12	12	18,6	10,3	12,4	12,4	224	448	392	392
3	60	20	10	10	14	20,6	10,3	10,3	14,5	168	448	448	336
4	80	16	8	12	14	16,5	8,3	12,4	14,5	280	504	392	336
5	100	14	6	12	14	14,5	6,2	12,4	14,5	336	560	392	336
6	120	12	10	12	12	12,4	10,3	12,4	12,4	392	448	392	392
7	140	16	10	10	12	16,5	10,3	10,3	12,4	280	448	448	392
8	160	10	10	12	12	10,3	10,3	12,4	12,4	448	448	392	392
9	180	12	10	12	12	12,4	10,3	12,4	12,4	392	448	392	392
10	200	12	8	10	16	12,4	8,3	10,3	16,5	392	504	448	280
11	220	14	10	12	14	14,5	10,3	12,4	14,5	336	448	392	336
12	240	12	8	10	12	12,4	8,3	10,3	12,4	392	504	448	392
13	260	10	10	12	12	10,3	10,3	12,4	12,4	448	448	392	392
14	280	12	10	10	16	12,4	10,3	10,3	16,5	392	448	448	280
15	300	12	12	12	10	12,4	12,4	12,4	10,3	392	392	392	448
16	320	8	14	12	12	8,3	14,5	12,4	12,4	504	336	392	392
17	340	12	10	14	12	12,4	10,3	14,5	12,4	392	448	336	392
18	360	16	12	14	14	16,5	12,4	14,5	14,5	280	392	336	336
19	380	18	12	14	14	18,6	12,4	14,5	14,5	224	392	336	336
20	400	16	10	16	10	16,5	10,3	16,5	10,3	280	448	280	448
21	420	14	10	18	12	14,5	10,3	18,6	12,4	336	448	224	392
22	440	10	18	14	12	10,3	18,6	14,5	12,4	448	224	336	392
23	460	12	16	14	10	12,4	16,5	14,5	10,3	392	280	336	448
24	480	14	16	12	12	14,5	16,5	12,4	12,4	336	280	392	392
25	500	10	14	14	10	10,3	14,5	14,5	10,3	448	336	336	448
26	520	10	10	12	12	10,3	10,3	12,4	12,4	448	448	392	392
27	540	14	12	10	10	14,5	12,4	10,3	10,3	336	392	448	448
28	560	12	12	12	14	12,4	12,4	12,4	14,5	392	392	392	336
29	580	14	10	12	14	14,5	10,3	12,4	14,5	336	448	392	336
30	600	16	10	8	16	16,5	10,3	8,3	16,5	280	448	504	280
31	620	12	10	12	16	12,4	10,3	12,4	16,5	392	448	392	280
32	640	16	16	12	16	16,5	16,5	12,4	16,5	280	280	392	280
33	660	12	10	12	16	12,4	10,3	12,4	16,5	392	448	392	280
34	680	14	8	8	14	14,5	8,3	8,3	14,5	336	504	504	336
35	700	16	8	12	18	16,5	8,3	12,4	18,6	280	504	392	224
36	720	14	8	12	12	14,5	8,3	12,4	12,4	336	504	392	392
37	740	18	8	10	14	18,6	8,3	10,3	14,5	224	504	448	336
38	760	18	10	12	12	18,6	10,3	12,4	12,4	224	448	392	392
39	780	14	8	14	12	14,5	8,3	14,5	12,4	336	504	336	392
40	800	14	12	16	16	14,5	12,4	16,5	16,5	336	392	280	280
41	820	12	8	12	14	12,4	8,3	12,4	14,5	392	504	392	336
42	840	14	14	12	14	14,5	14,5	12,4	14,5	336	336	392	336
43	860	14	14	12	14	14,5	14,5	12,4	14,5	336	336	392	336
44	880	12	12	10	10	12,4	12,4	10,3	10,3	392	392	448	448
45	900	12	14	10	10	12,4	14,5	10,3	10,3	392	336	448	448
46	920	16	14	12	14	16,5	14,5	12,4	14,5	280	336	392	336
47	940	16	10	10	12	16,5	10,3	10,3	12,4	280	448	448	392

*Příloha č. 3: Hodnoty pevnosti v ohybu a pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny*

číslo řezu	vzdálenost řezů	$f_{mk A}$	$f_{mk B}$	$f_{mk C}$	$f_{mk D}$	$f_{c,ok A}$	$f_{c,ok B}$	$f_{c,ok C}$	$f_{c,ok D}$
	[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	20	30,1	56,1	38,8	38,8	23,1	30,6	25,9	25,9
2	40	12,8	47,5	38,8	38,8	15,7	28,4	25,9	25,9
3	60	4,1	47,5	47,5	30,1	9,5	28,4	28,4	23,1
4	80	21,5	56,1	38,8	30,1	19,9	30,6	25,9	23,1
5	100	30,1	64,8	38,8	30,1	23,1	32,7	25,9	23,1
6	120	38,8	47,5	38,8	38,8	25,9	28,4	25,9	25,9
7	140	21,5	47,5	47,5	38,8	19,9	28,4	28,4	25,9
8	160	47,5	47,5	38,8	38,8	28,4	28,4	25,9	25,9
9	180	38,8	47,5	38,8	38,8	25,9	28,4	25,9	25,9
10	200	38,8	56,1	47,5	21,5	25,9	30,6	28,4	19,9
11	220	30,1	47,5	38,8	30,1	23,1	28,4	25,9	23,1
12	240	38,8	56,1	47,5	38,8	25,9	30,6	28,4	25,9
13	260	47,5	47,5	38,8	38,8	28,4	28,4	25,9	25,9
14	280	38,8	47,5	47,5	21,5	25,9	28,4	28,4	19,9
15	300	38,8	38,8	38,8	47,5	25,9	25,9	25,9	28,4
16	320	56,1	30,1	38,8	38,8	30,6	23,1	25,9	25,9
17	340	38,8	47,5	30,1	38,8	25,9	28,4	23,1	25,9
18	360	21,5	38,8	30,1	30,1	19,9	25,9	23,1	23,1
19	380	12,8	38,8	30,1	30,1	15,7	25,9	23,1	23,1
20	400	21,5	47,5	21,5	47,5	19,9	28,4	19,9	28,4
21	420	30,1	47,5	12,8	38,8	23,1	28,4	15,7	25,9
22	440	47,5	12,8	30,1	38,8	28,4	15,7	23,1	25,9
23	460	38,8	21,5	30,1	47,5	25,9	19,9	23,1	28,4
24	480	30,1	21,5	38,8	38,8	23,1	19,9	25,9	25,9
25	500	47,5	30,1	30,1	47,5	28,4	23,1	23,1	28,4
26	520	47,5	47,5	38,8	38,8	28,4	28,4	25,9	25,9
27	540	30,1	38,8	47,5	47,5	23,1	25,9	28,4	28,4
28	560	38,8	38,8	38,8	30,1	25,9	25,9	25,9	23,1
29	580	30,1	47,5	38,8	30,1	23,1	28,4	25,9	23,1
30	600	21,5	47,5	56,1	21,5	19,9	28,4	30,6	19,9
31	620	38,8	47,5	38,8	21,5	25,9	28,4	25,9	19,9
32	640	21,5	21,5	38,8	21,5	19,9	19,9	25,9	19,9
33	660	38,8	47,5	38,8	21,5	25,9	28,4	25,9	19,9
34	680	30,1	56,1	56,1	30,1	23,1	30,6	30,6	23,1
35	700	21,5	56,1	38,8	12,8	19,9	30,6	25,9	15,7
36	720	30,1	56,1	38,8	38,8	23,1	30,6	25,9	25,9
37	740	12,8	56,1	47,5	30,1	15,7	30,6	28,4	23,1
38	760	12,8	47,5	38,8	38,8	15,7	28,4	25,9	25,9
39	780	30,1	56,1	30,1	38,8	23,1	30,6	23,1	25,9
40	800	30,1	38,8	21,5	21,5	23,1	25,9	19,9	19,9
41	820	38,8	56,1	38,8	30,1	25,9	30,6	25,9	23,1
42	840	30,1	30,1	38,8	30,1	23,1	23,1	25,9	23,1
43	860	30,1	30,1	38,8	30,1	23,1	23,1	25,9	23,1
44	880	38,8	38,8	47,5	47,5	25,9	25,9	28,4	28,4
45	900	38,8	30,1	47,5	47,5	25,9	23,1	28,4	28,4
46	920	21,5	30,1	38,8	30,1	19,9	23,1	25,9	23,1
47	940	21,5	47,5	47,5	38,8	19,9	28,4	28,4	25,9

Příloha č. 4: Naměřené a spočítané hodnoty vzorků v rohu AB

AB	naměřené hodnoty						spočítané hodnoty					
	š [mm]	h [mm]	v [mm]	m <sub>s</sub> [g]	m <sub>v</sub> [g]	P [kN]	V [mm <sup>3</sup> ]	A [mm <sup>2</sup> ]	w [%]	f <sub>w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>12</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
1-1	16,40	16,49	96,45	10,22	10,50	9,30	26083,6	270,4	2,74	34,4	21,7	403
1-2	15,50	16,55	96,37	10,50	10,74	14,50	24721,3	256,5	2,29	56,5	34,6	434
1-3	16,52	16,75	96,45	11,33	11,66	13,65	26688,7	276,7	2,91	49,3	31,4	437
1-4	15,84	16,54	97,01	11,25	11,55	11,70	25416,0	262,0	2,67	44,7	28,0	454
1-5	16,84	17,34	96,89	12,66	13,14	4,55	28292,4	292,0	3,79	15,6	10,5	464
1-6	16,17	16,94	96,58	12,46	12,85	14,05	26455,2	273,9	3,13	51,3	33,1	486
2-1	16,25	16,20	96,59	11,15	11,48	9,20	25427,3	263,3	2,96	34,9	22,3	451
2-2	15,36	16,06	96,42	10,86	11,06	10,60	23785,0	246,7	1,84	43,0	25,5	465
2-3	16,62	16,90	97,09	12,51	12,88	12,75	27270,4	280,9	2,96	45,4	29,0	472
2-4	15,48	15,95	96,68	13,36	13,63	4,30	23870,9	246,9	2,02	17,4	10,5	571
2-5	16,83	17,15	96,51	14,80	15,06	3,70	27856,1	288,6	1,76	12,8	7,6	541
2-6	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3-1	15,91	16,08	96,73	12,04	12,25	6,50	24746,7	255,8	1,74	25,4	15,0	495
3-2	15,06	15,82	96,93	9,70	9,97	15,10	23093,5	238,2	2,78	63,4	40,0	432
3-3	16,34	16,86	96,62	11,39	11,77	10,60	26618,1	275,5	3,34	38,5	25,1	442
3-4	15,42	15,79	96,58	10,96	11,15	7,95	23515,5	243,5	1,73	32,7	19,2	474
3-5	16,81	14,23	96,60	9,46	9,84	1,80	23107,3	239,2	4,02	7,5	5,1	426
3-6	15,46	17,14	96,89	11,06	11,28	12,00	25674,3	265,0	1,99	45,3	27,2	439
4-1	16,02	16,19	97,08	10,92	11,24	13,85	25179,0	259,4	2,93	53,4	34,0	446
4-2	15,22	16,41	96,94	9,80	10,12	13,30	24211,8	249,8	3,27	53,3	34,6	418
4-3	16,49	16,83	96,80	11,43	11,69	15,45	26864,6	277,5	2,27	55,7	34,0	435
4-4	15,25	15,67	96,87	10,90	11,11	13,90	23148,8	239,0	1,93	58,2	34,7	480
4-5	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4-6	14,82	15,35	96,72	10,55	10,81	6,20	22002,5	227,5	2,46	27,3	16,9	491
5-1	15,20	16,54	97,03	12,16	12,50	12,10	24394,1	251,4	2,80	48,1	30,4	512
5-2	15,59	16,51	96,66	10,02	10,29	9,60	24879,4	257,4	2,69	37,3	23,4	414
5-3	15,78	16,85	96,98	11,25	11,49	11,80	25786,3	265,9	2,13	44,4	26,9	446
5-4	15,49	15,68	96,65	11,06	11,31	15,60	23474,7	242,9	2,26	64,2	39,2	482
5-5	16,13	17,51	96,70	11,99	12,27	6,40	27311,6	282,4	2,34	22,7	13,9	449
5-6	14,74	17,08	96,66	10,33	10,56	9,35	24335,0	251,8	2,23	37,1	22,6	434
6-1	15,26	16,63	96,73	10,56	10,84	12,05	24547,5	253,8	2,65	47,5	29,7	442
6-2	15,79	16,40	96,73	10,30	10,54	11,60	25048,8	259,0	2,33	44,8	27,5	421
6-3	16,07	16,72	96,58	11,56	11,96	11,20	25950,1	268,7	3,46	41,7	27,4	461
6-4	15,77	15,90	96,38	11,34	11,56	16,40	24166,6	250,7	1,94	65,4	39,1	478
6-5	16,23	16,72	96,62	12,03	12,35	5,90	26219,3	271,4	2,66	21,7	13,6	471
6-6	15,46	17,27	96,55	12,01	12,34	7,10	25778,3	267,0	2,75	26,6	16,8	479
7-1	15,88	16,32	96,80	10,60	10,90	16,80	25086,8	259,2	2,83	64,8	41,0	434
7-2	15,77	16,22	96,84	10,40	10,74	12,50	24770,6	255,8	3,27	48,9	31,8	434
7-3	16,11	16,21	96,77	11,35	11,73	10,35	25270,8	261,1	3,35	39,6	25,9	464
7-4	16,03	16,24	96,36	12,08	12,48	12,00	25085,1	260,3	3,31	46,1	30,1	498
7-5	16,49	16,80	96,44	12,25	12,63	5,50	26717,0	277,0	3,10	19,9	12,8	473
7-6	15,95	17,28	96,70	12,94	13,35	6,05	26652,1	275,6	3,17	22,0	14,2	501
8-1	16,19	16,89	96,25	11,04	11,44	12,70	26319,5	273,4	3,62	46,4	30,9	435
8-2	16,09	16,11	96,80	10,33	10,57	14,70	25091,5	259,2	2,32	56,7	34,8	421
8-3	16,42	16,81	96,36	10,68	10,91	10,35	26597,3	276,0	2,15	37,5	22,7	410
8-4	16,11	16,43	96,63	12,14	12,42	19,00	25576,7	264,7	2,31	71,8	43,9	486
8-5	16,70	17,29	96,43	12,97	13,29	2,65	27843,5	288,7	2,47	9,18	5,68	477
8-6	16,19	17,51	96,59	13,80	14,27	12,95	27382,0	283,5	3,41	45,7	30,0	521
9-1	16,44	17,12	96,96	11,33	11,75	15,00	27289,7	281,5	3,71	53,3	35,6	431
9-2	16,17	16,70	96,58	10,87	11,16	14,40	26080,4	270,0	2,67	53,3	33,4	428
9-3	16,55	16,63	97,06	11,63	11,94	18,50	26713,5	275,2	2,67	67,2	42,1	447
9-4	16,03	16,63	96,76	13,25	13,55	20,15	25794,2	266,6	2,26	75,6	46,2	525
9-5	16,45	16,99	96,54	13,36	13,76	2,55	26981,5	279,5	2,99	9,12	5,84	510
9-6	16,34	17,24	96,29	11,86	12,13	15,50	27125,0	281,7	2,28	55,0	33,6	447

Příloha č. 5: Naměřené a spočítané hodnoty vzorků v rohu AD

AD	naměřené hodnoty						spočítané hodnoty					
	š [mm]	h [mm]	v [mm]	m <sub>s</sub> [g]	m <sub>v</sub> [g]	P [kN]	V [mm <sup>3</sup> ]	A [mm <sup>2</sup> ]	w [%]	f <sub>w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>12</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
1-1	17,00	17,91	96,24	11,76	12,01	16,80	29302,2	304,5	2,13	55,2	33,4	410
1-2	16,45	17,24	96,80	11,11	11,44	15,75	27452,3	283,6	2,97	55,5	35,5	417
1-3	16,57	17,86	96,70	11,82	12,14	14,80	28617,4	295,9	2,71	50,0	31,4	424
1-4	16,28	16,88	96,60	11,15	11,48	12,80	26546,3	274,8	2,96	46,6	29,7	432
1-5	16,34	18,05	96,44	13,77	14,22	15,55	28443,7	294,9	3,27	52,7	34,3	500
1-6	16,09	16,34	96,44	12,25	12,69	7,05	25355,1	262,9	3,59	26,8	17,8	500
2-1	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2-2	16,19	16,65	96,58	11,70	11,98	12,20	26034,4	269,6	2,39	45,3	27,9	460
2-3	16,60	17,71	96,65	12,42	12,81	19,50	28413,7	294,0	3,14	66,3	42,8	451
2-4	16,21	16,28	96,34	12,38	12,70	8,10	25424,0	263,9	2,58	30,7	19,1	500
2-5	16,48	18,16	96,45	13,61	13,96	18,25	28865,2	299,3	2,57	61,0	38,0	484
2-6	16,44	17,42	96,26	14,66	15,03	3,80	27567,4	286,4	2,52	13,3	8,24	545
3-1	16,71	15,86	96,40	10,26	10,55	5,40	25548,0	265,0	2,83	20,4	12,9	413
3-2	16,56	16,67	96,74	11,00	11,37	10,80	26705,6	276,1	3,36	39,1	25,6	426
3-3	16,63	17,83	96,59	11,65	12,03	13,75	28640,2	296,5	3,26	46,4	30,2	420
3-4	16,55	16,00	96,92	10,94	11,26	14,65	25664,4	264,8	2,93	55,3	35,2	439
3-5	16,53	17,78	96,48	12,89	13,36	16,20	28355,8	293,9	3,65	55,1	36,7	471
3-6	16,34	17,13	96,51	12,16	12,56	19,10	27013,6	279,9	3,29	68,2	44,5	465
4-1	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4-2	16,63	16,26	96,72	10,56	10,91	10,90	26153,5	270,4	3,31	40,3	26,3	417
4-3	16,70	17,31	96,51	11,43	11,65	18,25	27898,8	289,1	1,92	63,1	37,7	418
4-4	16,93	15,78	96,74	10,88	11,18	14,40	25844,6	267,2	2,76	53,9	34,0	433
4-5	16,71	18,12	96,40	12,25	12,65	7,90	29188,5	302,8	3,27	26,1	17,0	433
4-6	16,81	17,11	96,79	12,62	13,04	13,40	27838,7	287,6	3,33	46,6	30,4	468
5-1	16,80	17,57	96,58	12,25	12,70	3,65	28508,1	295,2	3,67	12,4	8,25	445
5-2	16,09	16,02	96,96	11,40	11,75	12,15	24992,6	257,8	3,07	47,1	30,3	470
5-3	16,62	17,49	96,58	12,89	13,24	12,00	28074,2	290,7	2,72	41,3	26,0	472
5-4	16,58	15,87	96,92	12,36	12,81	9,40	25502,0	263,1	3,64	35,7	23,8	502
5-5	16,27	18,12	96,74	12,83	13,20	4,15	28520,2	294,8	2,88	14,1	8,94	463
5-6	16,58	17,50	97,31	13,88	14,39	2,20	28234,5	290,2	3,67	7,58	5,06	510
6-1	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6-2	16,19	15,80	96,75	10,24	10,63	7,50	24748,8	255,8	3,81	29,3	19,7	430
6-3	16,61	17,09	96,55	10,91	11,29	16,85	27407,2	283,9	3,48	59,4	39,1	412
6-4	16,29	15,94	96,84	10,55	10,91	12,90	25145,7	259,7	3,41	49,7	32,6	434
6-5	16,11	17,87	96,38	10,93	11,31	13,45	27746,4	287,9	3,48	46,7	30,8	408
6-6	16,52	16,98	96,57	10,82	11,23	8,60	27088,8	280,5	3,79	30,7	20,6	415
7-1	16,88	16,13	96,55	10,58	10,82	7,40	26288,1	272,3	2,27	27,2	16,6	412
7-2	16,13	15,76	96,69	9,75	9,95	9,00	24579,4	254,2	2,05	35,4	21,3	405
7-3	16,15	16,83	96,51	10,69	11,03	14,35	26231,9	271,8	3,18	52,8	34,2	420
7-4	16,26	16,36	96,90	10,55	10,89	11,75	25776,7	266,0	3,22	44,2	28,7	422
7-5	15,57	18,25	96,44	11,49	11,84	13,20	27403,7	284,2	3,05	46,5	29,8	432
7-6	15,67	17,42	96,56	10,14	10,40	9,50	26358,1	273,0	2,56	34,8	21,7	395
8-1	16,84	16,39	97,00	10,77	11,03	6,45	26772,7	276,0	2,41	23,4	14,4	412
8-2	16,20	16,47	97,19	10,17	10,56	6,60	25931,7	266,8	3,83	24,7	16,7	407
8-3	16,37	17,23	97,35	11,26	11,65	17,80	27458,1	282,1	3,46	63,1	41,6	424
8-4	16,46	16,38	97,13	10,03	10,38	11,60	26187,7	269,6	3,49	43,0	28,4	396
8-5	15,62	17,66	96,56	11,28	11,73	7,70	26636,0	275,8	3,99	27,9	19,0	440
8-6	13,91	17,11	96,55	8,88	9,03	10,70	22978,9	238,0	1,69	45,0	26,4	393
9-1	17,48	17,30	97,16	13,79	14,16	5,80	29381,6	302,4	2,68	19,2	12,0	482
9-2	15,88	16,73	96,89	10,30	10,50	5,10	25741,0	265,7	1,94	19,2	11,5	408
9-3	16,42	17,58	96,10	12,99	13,48	12,40	27740,6	288,7	3,77	43,0	28,8	486
9-4	13,57	17,21	96,62	8,49	8,79	5,60	22564,6	233,5	3,53	24,0	15,9	390
9-5	15,48	17,89	96,07	10,41	10,78	3,65	26605,4	276,9	3,55	13,2	8,73	405
9-6	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Příloha č. 6: Naměřené a spočítané hodnoty vzorků v rohu BC

BC	naměřené hodnoty						spočítané hodnoty					
	š [mm]	h [mm]	v [mm]	m <sub>s</sub> [g]	m <sub>v</sub> [g]	P [kN]	V [mm <sup>3</sup> ]	A [mm <sup>2</sup> ]	w [%]	f <sub>w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>12</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
1-1	16,41	16,43	96,53	11,05	11,39	14,75	26026,1	269,6	3,08	54,7	35,2	438
1-2	16,29	17,23	96,57	11,28	11,49	16,70	27104,9	280,7	1,86	59,5	35,4	424
1-3	16,85	17,18	96,54	13,05	13,37	15,80	27946,7	289,5	2,45	54,6	33,7	478
1-4	16,41	17,26	96,54	12,60	12,88	17,00	27343,7	283,2	2,22	60,0	36,5	471
1-5	17,53	17,51	96,82	16,19	16,47	12,70	29718,9	307,0	1,73	41,4	24,4	554
1-6	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2-1	15,78	17,67	96,56	11,86	12,16	7,80	26924,1	278,8	2,53	28,0	17,4	452
2-2	15,89	16,47	96,86	11,03	11,26	8,10	25349,1	261,7	2,09	31,0	18,7	444
2-3	16,12	16,59	96,50	12,30	12,58	16,20	25807,1	267,4	2,28	60,6	37,0	487
2-4	15,86	16,33	96,67	12,82	13,19	15,45	25036,9	259,0	2,89	59,7	37,9	527
2-5	16,56	17,82	96,51	14,91	15,38	15,45	28480,0	295,1	3,15	52,4	33,8	540
2-6	15,92	16,95	96,75	12,32	12,77	6,45	26107,4	269,8	3,65	23,9	15,9	489
3-1	15,37	17,28	96,46	11,19	11,41	11,90	25619,2	265,6	1,97	44,8	26,8	445
3-2	15,31	16,67	96,66	10,04	10,41	15,50	24669,3	255,2	3,69	60,7	40,5	422
3-3	15,73	16,39	96,42	11,36	11,76	16,10	24858,5	257,8	3,52	62,4	41,3	473
3-4	15,10	16,39	96,81	11,40	11,63	12,30	23959,4	247,5	2,02	49,7	29,9	485
3-5	16,10	17,74	96,43	14,39	14,64	13,45	27541,8	285,6	1,74	47,1	27,8	532
3-6	15,18	17,00	96,49	11,20	11,44	11,80	24900,2	258,1	2,14	45,7	27,7	459
4-1	15,37	17,36	96,77	11,40	11,62	12,15	25820,5	266,8	1,93	45,5	27,2	450
4-2	14,44	16,99	96,70	9,98	10,32	9,25	23724,0	245,3	3,41	37,7	24,7	435
4-3	15,67	16,28	96,56	11,00	11,43	12,15	24633,2	255,1	3,91	47,6	32,2	464
4-4	14,96	15,94	96,98	11,10	11,37	14,20	23126,1	238,5	2,43	59,5	36,8	492
4-5	15,76	17,96	96,53	14,18	14,45	15,60	27322,8	283,0	1,90	55,1	32,9	529
4-6	15,37	16,90	96,54	11,23	11,45	7,05	25076,6	259,8	1,96	27,1	16,2	457
5-1	14,88	17,16	96,60	11,41	11,68	15,20	24665,9	255,3	2,37	59,5	36,6	474
5-2	14,22	16,75	96,75	10,00	10,38	10,90	23044,4	238,2	3,80	45,8	30,8	450
5-3	15,55	16,22	96,51	10,17	10,40	10,50	24341,8	252,2	2,26	41,6	25,4	427
5-4	14,64	16,16	96,70	11,22	11,44	5,40	22877,5	236,6	1,96	22,8	13,7	500
5-5	15,77	17,46	96,50	14,69	14,96	12,10	26570,7	275,3	1,84	43,9	26,1	563
5-6	15,28	17,11	96,80	11,24	11,50	5,65	25307,5	261,4	2,31	21,6	13,2	454
6-1	15,43	17,18	97,10	11,57	11,79	14,05	25740,0	265,1	1,90	53,0	31,6	458
6-2	13,62	16,77	96,84	9,34	9,54	11,00	22119,0	228,4	2,14	48,2	29,2	431
6-3	15,73	16,62	96,62	11,57	11,89	13,10	25259,6	261,4	2,77	50,1	31,6	471
6-4	14,27	15,62	96,57	10,39	10,61	14,35	21525,2	222,9	2,12	64,4	38,9	493
6-5	15,96	17,97	96,55	15,12	15,46	16,45	27690,7	286,8	2,25	57,4	35,0	558
6-6	14,60	17,70	96,45	10,29	10,64	3,00	24924,6	258,4	3,40	11,6	7,62	427
7-1	15,78	17,10	96,84	11,70	12,12	15,00	26131,1	269,8	3,59	55,6	36,9	464
7-2	13,87	16,54	96,77	9,49	9,72	14,55	22200,0	229,4	2,42	63,4	39,1	438
7-3	15,92	16,86	96,70	12,24	12,51	6,60	25955,4	268,4	2,21	24,6	15,0	482
7-4	14,66	15,90	96,94	10,66	10,90	8,15	22596,1	233,1	2,25	35,0	21,3	482
7-5	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7-6	16,12	17,53	97,10	15,81	16,13	12,35	27438,9	282,6	2,02	43,7	26,3	588
8-1	16,14	16,52	96,94	11,86	12,16	19,75	25847,4	266,6	2,53	74,1	46,0	470
8-2	14,24	16,89	96,82	10,10	10,36	6,20	23286,5	240,5	2,57	25,8	16,1	445
8-3	16,27	17,43	96,70	12,38	12,81	14,20	27422,8	283,6	3,47	50,1	33,0	467
8-4	14,94	16,29	96,77	11,25	11,49	15,55	23551,2	243,4	2,13	63,9	38,7	488
8-5	16,67	17,54	96,93	15,56	15,86	10,90	28341,5	292,4	1,93	37,3	22,3	560
8-6	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9-1	16,05	17,53	97,41	11,60	11,81	15,40	27406,9	281,4	1,81	54,7	32,4	431
9-2	15,71	17,02	97,12	11,51	11,77	6,55	25968,4	267,4	2,26	24,5	15,0	453
9-3	16,38	17,32	97,27	13,77	14,04	10,40	27595,7	283,7	1,96	36,7	21,9	509
9-4	16,21	16,66	96,63	13,81	14,07	5,90	26095,8	270,1	1,88	21,8	13,0	539
9-5	17,14	17,59	97,12	15,01	15,29	5,20	29281,0	301,5	1,87	17,2	10,3	522
9-6	16,27	17,24	96,62	11,91	12,25	2,20	27101,4	280,5	2,85	7,84	4,97	452

Příloha č. 7: Naměřené a spočítané hodnoty vzorků v rohu CD

CD	naměřené hodnoty						spočítané hodnoty					
	š [mm]	h [mm]	v [mm]	m <sub>s</sub> [g]	m <sub>v</sub> [g]	P [kN]	V [mm <sup>3</sup> ]	A [mm <sup>2</sup> ]	w [%]	f <sub>w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>12</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
1-1	16,23	17,27	96,75	10,18	10,42	8,25	27118,3	280,3	2,36	29,4	18,1	384
1-2	16,03	17,13	96,50	10,66	10,93	11,60	26498,3	274,6	2,53	42,2	26,2	412
1-3	16,30	17,37	96,39	11,61	11,86	16,15	27291,0	283,1	2,15	57,0	34,6	435
1-4	16,42	17,33	96,36	11,89	12,14	10,90	27420,1	284,6	2,10	38,3	23,1	443
1-5	16,80	18,19	96,52	13,86	14,19	6,65	29495,7	305,6	2,38	21,8	13,4	481
1-6	17,03	17,44	96,39	13,08	13,36	6,85	28628,1	297,0	2,14	23,1	14,0	467
2-1	16,12	17,65	96,63	11,39	11,61	19,40	27493,0	284,5	1,93	68,2	40,7	422
2-2	15,24	16,29	96,81	11,33	11,56	9,50	24034,0	248,3	2,03	38,3	23,0	481
2-3	16,66	17,36	96,49	12,40	12,82	16,10	27906,6	289,2	3,39	55,7	36,5	459
2-4	15,39	17,01	96,98	13,91	14,27	5,95	25387,8	261,8	2,59	22,7	14,2	562
2-5	17,04	18,35	96,37	14,69	15,00	9,50	30133,4	312,7	2,11	30,4	18,4	498
2-6	15,36	17,62	96,62	12,79	13,13	5,95	26149,5	270,6	2,66	22,0	13,8	502
3-1	16,91	16,77	96,50	10,07	10,29	10,40	27365,5	283,6	2,18	36,7	22,3	376
3-2	13,97	16,19	97,00	9,10	9,26	11,05	21938,9	226,2	1,76	48,9	28,8	422
3-3	17,14	17,31	96,39	12,13	12,45	16,10	28598,3	296,7	2,64	54,3	33,9	435
3-4	14,56	16,69	96,97	9,74	10,07	15,80	23564,3	243,0	3,39	65,0	42,6	427
3-5	17,37	17,80	96,51	14,43	14,84	19,90	29839,5	309,2	2,84	64,4	40,8	497
3-6	14,73	17,68	96,47	10,76	11,09	13,95	25123,3	260,4	3,07	53,6	34,4	441
4-1	16,47	17,41	96,51	10,37	10,74	8,80	27673,5	286,7	3,57	30,7	20,3	388
4-2	13,86	16,01	96,52	8,39	8,58	10,50	21417,7	221,9	2,26	47,3	28,9	401
4-3	17,09	17,25	96,83	11,80	12,08	16,00	28545,7	294,8	2,37	54,3	33,4	423
4-4	13,44	16,36	96,45	9,20	9,48	11,30	21207,3	219,9	3,04	51,4	33,0	447
4-5	17,51	18,16	96,38	15,01	15,25	16,10	30647,1	318,0	1,60	50,6	29,6	498
4-6	13,37	17,52	96,40	9,75	10,06	10,10	22581,0	234,2	3,18	43,1	27,9	446
5-1	16,67	18,00	96,53	14,80	15,08	3,90	28964,8	300,1	1,89	13,0	7,74	521
5-2	13,87	15,90	96,69	9,33	9,55	7,20	21323,3	220,5	2,36	32,6	20,1	448
5-3	17,00	17,86	96,69	14,31	14,64	11,90	29357,0	303,6	2,31	39,2	24,0	499
5-4	13,71	16,32	96,68	9,42	9,59	11,45	21631,9	223,7	1,80	51,2	30,3	443
5-5	17,72	17,88	96,41	14,07	14,40	15,65	30545,9	316,8	2,35	49,4	30,3	471
5-6	13,66	17,95	96,80	10,61	10,90	9,40	23735,1	245,2	2,73	38,3	24,1	459
6-1	16,14	17,75	96,55	10,82	11,04	11,40	27660,1	286,5	2,03	39,8	23,9	399
6-2	13,97	16,13	96,37	8,52	8,70	8,85	21715,6	225,3	2,11	39,3	23,7	401
6-3	16,75	17,94	96,76	12,49	12,71	14,15	29075,9	300,5	1,76	47,1	27,8	437
6-4	13,78	16,65	96,70	9,19	9,38	15,35	22186,6	229,4	2,07	66,9	40,3	423
6-5	17,35	17,78	96,43	12,47	12,79	12,00	29747,0	308,5	2,57	38,9	24,2	430
6-6	13,51	17,80	96,42	9,80	10,03	11,75	23186,9	240,5	2,35	48,9	30,0	433
7-1	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7-2	14,67	17,73	96,22	9,76	10,02	8,10	25026,7	260,1	2,66	31,1	19,5	400
7-3	15,49	18,05	96,69	12,05	12,39	10,65	27034,0	279,6	2,82	38,1	24,1	458
7-4	14,68	17,17	96,34	9,91	10,13	12,15	24283,0	252,1	2,22	48,2	29,3	417
7-5	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7-6	14,46	16,47	96,35	9,62	9,91	7,15	22946,3	238,2	3,01	30,0	19,2	432
8-1	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8-2	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8-3	15,13	18,27	96,53	11,23	11,63	7,60	26683,3	276,4	3,56	27,5	18,2	436
8-4	15,57	17,35	96,32	10,69	10,91	17,40	26019,8	270,1	2,06	64,4	38,8	419
8-5	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8-6	15,42	17,82	96,55	11,20	11,39	15,20	26530,4	274,8	1,70	55,3	32,5	429
9-1	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9-2	14,81	16,53	96,93	9,50	9,67	9,60	23729,4	244,8	1,79	39,2	23,2	408
9-3	15,30	18,09	97,17	10,82	11,07	11,30	26894,4	276,8	2,31	40,8	25,0	412
9-4	15,53	17,74	97,19	10,63	10,86	10,60	26776,1	275,5	2,16	38,5	23,3	406
9-5	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9-6	15,59	17,76	96,68	10,63	10,88	7,35	26768,6	276,9	2,35	26,5	16,3	406