

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Katedra mechaniky

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

Reziduální materiálové charakteristiky degradovaného dřeva

Autor práce: Bc. Jiří Němeček

Vedoucí práce: Ing. Jan Kubát, Ph.D.

Plzeň 2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří NĚMEČEK**  
Osobní číslo: **A22N0152P**  
Studijní program: **N0732P260002 Stavební inženýrství – Moderní budovy**  
Specializace: **Navrhování a provádění budov**  
Téma práce: **Reziduální materiálové charakteristiky degradovaného dřeva**  
Zadávací katedra: **Katedra mechaniky**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte podrobnou rešerši:
  - druhy biokoroze, biokorozivní prostředí
  - možnosti protikorozní ochrany
  - možnosti rekonstrukce napadených dřevěných konstrukcí.
2. Navrhněte a proveďte experiment pro stanovení reziduálních mechanických vlastností dřevěných (zejm. historických) prvků poškozených vlivem biokoroze.
3. Zpracujte vyhodnocení experimentu a interpretaci výsledků.
4. Navrhněte technologické postupy pro hodnocení degradovaných dřevěných prvků.

Rozsah diplomové práce: **60 – 80 stran A4**  
Rozsah grafických prací: **práce se skládá z textových a obrazových částí**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN 1995-1
2. Dřevěné konstrukce – Petr Kuklík
3. Diagnostika dřevěných konstrukcí – Michal Kloiber, Miloš Drdáký
4. Obnova a rekonstrukce staveb: Poruchy, degradace, sanace – Jiří Witzany
5. Poruchy, degradace, rekonstrukce – Jiří Witzany
6. Historické krovy – Jan Vinař a kol.
7. Rekonstrukce roubených konstrukcí – Jan Pěsta
8. Nové krovy – Lubomír Jelínek, Petr Červený, František Řáha

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Kubát, Ph.D.**  
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2022**  
Termín odevzdání diplomové práce: **31. května 2023**

---

**Doc. Ing. Miloš Železný, Ph.D.**  
děkan



---

**Doc. Ing. Jan Vimmer, Ph.D.**  
vedoucí katedry

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci pod názvem „Reziduální materiálové charakteristiky degradovaného dřeva“ vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce s využitím odborné literatury a pramenů, které jsou řádně ocitovány a uvedeny v souladu s ČSN ISO 690 Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů.

V Plzni dne .....

.....

Bc. Jiří Němeček



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Kubátovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce a za konzultace, v nichž mi věnoval svůj čas a cenné rady. Poděkování patří i těm, kteří poskytli dřevěné prvky pro účely praktické části práce a Vyšší odborné a Střední průmyslové škole ve Volyni za zpracování těchto prvků na vzorky potřebné k výzkumu. Zvláštní poděkování patří panu Ing. Janu Krystkovi, Ph.D. za obsluhu zařízení a zprostředkování experimentálního měření na dřevěných vzorcích. Děkuji také všem pedagogům za získané znalosti během celého studia. Velké díky patří mé partnerce, rodině a přátelům za pomoc a podporu během studia na Západočeské univerzitě v Plzni.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá vlastnostmi dřeva, biologickou degradací, ochranou a opravami dřevěných konstrukcí. První část práce je věnována literárnímu přehledu, který analyzuje vlastnosti dřeva, mechanické a fyzikální vlastnosti, biologickou degradaci dřeva včetně napadení dřevokazného hmyzu a metod ochrany a oprav dřevěných konstrukcí. Druhá část práce se zaměřuje na experimentální studii, která zahrnuje získání dřeva pro experiment, zpracování vzorků a testování pevnosti dřeva při tříbodovém ohybu. Cílem práce je poskytnout ucelený pohled na problematiku dřeva, studovat mechanismy biologické degradace a zjistit vliv napadení dřevokazného hmyzu na pevnost dřeva. Výsledky práce mají praktický význam pro správnou údržbu dřevěných konstrukcí a zachování dřeva jako trvalého a udržitelného stavebního materiálu.

## **Klíčová slova**

dřevo, vlastnosti dřeva, biologická degradace dřeva, dřevokazný hmyz, ochrana dřeva, opravy dřevěných konstrukcí, experiment, pevnost dřeva, tříbodový ohyb

## **Abstract**

This master's thesis examines the properties of wood, biological degradation, protection, and repairs of wooden structures. The first part of the thesis focuses on a literature review that analyzes the characteristics of wood, including its mechanical and physical properties, as well as biological degradation, including attacks by wood-destroying insects, and methods of wood protection and repairs. The second part of the thesis centers around an experimental study, which involves obtaining wood for the experiment, processing samples, and testing the strength of wood under three-point bending. The objective of this research is to provide a comprehensive understanding of wood-related issues, investigate the mechanisms of biological degradation, and assess the impact of wood-destroying insect infestation on wood strength. The findings of this study have practical implications for the proper maintenance of wooden structures and the preservation of wood as a durable and sustainable building material.

## **Keywords**

wood, wood properties, biological degradation of wood, wood-destroying insects, wood protection, wooden structure repairs, experiment, wood strength, three-point bend

### **Bibliografická citace VŠKP**

NĚMEČEK, Jiří. *Reziduální materiálové charakteristiky degradovaného dřeva*. Plzeň, 2023. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra mechaniky. Vedoucí práce Ing. Jan Kubát, Ph.D.

## Obsah

Úvod.....	12
Literární přehled problematiky .....	13
1 Dřevo jako konstrukční materiál.....	13
1.1 Druhy dřevin .....	13
1.1.1 Jehličnaté dřeviny .....	13
1.1.2 Listnaté dřeviny .....	14
1.2 Vlastnosti dřeva.....	14
1.2.1 Fyzikální vlastnosti dřeva .....	15
1.2.2 Mechanické vlastnosti dřeva .....	18
1.3 Návrhové hodnoty vlastností dřeva.....	19
2 Biologické degradace dřeva.....	21
2.1 Identifikace biotického poškození.....	21
2.2 Dřevokazné houby .....	22
2.2.1 Houby hnědého tlení.....	22
2.2.2 Houby bílého tlení .....	23
2.3 Dřevokazný hmyz .....	24
2.3.1 Červotoč proužkovaný.....	24
2.3.2 Červotoč umrlčí .....	25
2.3.3 Hrbohlav parketový .....	26
2.3.4 Tesařík krovový.....	26
2.3.5 Pilořitka .....	27
2.3.6 Mravenci.....	27
3 Ochrana proti škůdcům dřeva .....	28
3.1 Přírozená odolnost dřeva proti biotickým škůdcům.....	28
3.2 Způsoby ochrany dřeva .....	29
3.2.1 Volba způsobu ochrany .....	29

---

3.2.2	Konstrukční ochrana dřeva .....	30
3.2.3	Chemická ochrana dřeva .....	33
3.2.4	Fyzikální ochrana dřeva .....	35
4	Oprava napadených dřevěných konstrukcí .....	36
4.1	Analýza napadení konstrukce .....	36
4.2	Odstranění dřevokazných hub .....	37
4.3	Odstranění dřevokazného hmyzu .....	38
4.4	Opravy napadených prvků .....	39
	Experimentální část.....	41
5	Lokality odběru napadených dřevěných prvků.....	41
5.1	Dožice .....	41
5.2	Malenice .....	42
5.3	Lnáře .....	43
5.4	Boršov nad Vltavou.....	44
6	Zpracování dřevěných prvků .....	45
6.1	Popis výroby vzorků .....	45
6.2	Výběr a vyřazení vzorků .....	46
6.3	Rozdělení vzorků do sad .....	47
6.4	Kódové značení vzorků.....	47
7	Příprava a metodika experimentu .....	48
7.1	Příprava zkoušky .....	48
7.2	Vstupní hodnoty vzorků.....	49
7.2.1	Rozměry vzorků .....	49
7.2.2	Vlhkost vzorků .....	51
7.3	Metodika experimentu .....	53
8	Výsledky měření a výpočtů .....	55
8.1	Teorie výpočtů .....	55

---

8.2 Výsledky .....	56
9 Vyhodnocení výsledků .....	57
9.1 Porovnání výsledných napětí .....	57
9.1.1 Porovnání napětí v rámci sady vzorků I.....	57
9.1.2 Porovnání napětí v rámci sady vzorků II.....	58
9.1.3 Porovnání napětí v rámci sady vzorků III .....	59
9.1.4 Porovnání napětí v rámci sady vzorků IV .....	60
9.1.5 Porovnání napětí v rámci sady vzorků V .....	61
9.2 Porovnání pracovních diagramů .....	62
9.2.1 Porovnání pracovních diagramů v rámci sady vzorků I.....	62
9.2.2 Porovnání pracovních diagramů v rámci sady vzorků II.....	63
9.2.3 Porovnání pracovních diagramů v rámci sady vzorků III .....	64
9.2.4 Porovnání pracovních diagramů v rámci sady vzorků IV .....	65
9.2.5 Porovnání pracovních diagramů v rámci sady vzorků V .....	66
10 Diskuze výsledků.....	67
11 Závěr .....	69
12 Seznam odborné literatury .....	71
13 Příloha A.....	72

## Seznam obrázků

<i>Obrázek 1.1</i> – Znázornění základních řezů dřevem, Zdroj: (Havířová, 2008).....	15
<i>Obrázek 1.2</i> – Tvarové změny řeziva vlivem sesychání dřeva, Zdroj: (Kuklík, 2005).....	16
<i>Obrázek 1.3</i> – Zakřivení dřeva, Zdroj: (Kuklík, 2005).....	17
<i>Obrázek 1.4</i> – Obecný tvar pracovního diagramu dřeva, Zdroj: (Havířová, 2008).....	18
<i>Obrázek 2.1</i> – Kostkovitý rozklad dřeva způsobený houbou hnědého tlení, Zdroj: (Drdácký, 2015) .....	23
<i>Obrázek 2.2</i> – Vlákňitost dlouhých třísek způsobená houbou bílého tlení, Zdroj: (Drdácký, 2015) .....	23
<i>Obrázek 2.3</i> – Požerkové chodby a výletové otvory (vlevo) červotoče proužkovaného (vpravo), Zdroj: (Drdácký, 2015) .....	25
<i>Obrázek 2.4</i> – Požerkové chodby (vlevo) od červotoče umrlčího (vpravo), Zdroj: (Drdácký, 2015) .....	25
<i>Obrázek 2.5</i> – Výletové otvory (vlevo) hrbohlava parketového (vpravo), Zdroj: (skudci.com, 2023) [online] dostupné z: <a href="https://www.skudci.com/hrbohlav-parketovy">https://www.skudci.com/hrbohlav-parketovy</a> [cit. 16. 5. 2023].....	26
<i>Obrázek 2.6</i> – Požerkové chodby a nepoškozená povrchová vrstva (vlevo) od tesaříka krovového, Zdroj: (Drdácký, 2015) .....	27
<i>Obrázek 3.1</i> – Konstrukční ochrana dřeva oplechováním, Zdroj: (Solař, 2014) [online] dostupné z: <a href="https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/11686-konstrukcni-ochrana-drevenych-prvku">https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/11686-konstrukcni-ochrana-drevenych-prvku</a> [cit. 16. 5. 2023] .....	31
<i>Obrázek 3.2</i> – Ochrana dřevěného prvku přesahem střechy, Zdroj: (Solař, 2014) [online] dostupné z: <a href="https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/11686-konstrukcni-ochrana-drevenych-prvku">https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/11686-konstrukcni-ochrana-drevenych-prvku</a> [cit. 16. 5. 2023] .....	32
<i>Obrázek 3.3</i> – Příklad správného uložení dřevěného sloupu na terénu, Zdroj: (Solař, 2014) [online] dostupné z: <a href="https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/11686-konstrukcni-ochrana-drevenych-prvku">https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/11686-konstrukcni-ochrana-drevenych-prvku</a> [cit. 16. 5. 2023] .....	32
<i>Obrázek 3.4</i> – Ošetření dřevěného prvku chemickým prostředkem, Zdroj: (Matějek, 2023), [online] dostupné z: <a href="https://www.krovservis.cz/sluzby/chemicka-ochrana">https://www.krovservis.cz/sluzby/chemicka-ochrana</a> [cit. 16. 5. 2023] .....	34
<i>Obrázek 3.5</i> – Schéma termosanace a umístění horkovzdušného potrubí, Zdroj: (Šmíra, 2010) [online] dostupné z: <a href="https://stavba.tzb-info.cz/technologie-staveni-drevostaveb/6914-termosanace-likvidace-drevokazneho-hmyzu-horkym-vzduchem">https://stavba.tzb-info.cz/technologie-staveni-drevostaveb/6914-termosanace-likvidace-drevokazneho-hmyzu-horkym-vzduchem</a> [cit. 16. 5. 2023] .....	35
<i>Obrázek 4.1</i> – Odborný pracovník provádějící diagnostiku dřeva, Zdroj: (Drdácký, 2015) .....	36
<i>Obrázek 4.2</i> – Plodnice houby hnědého tlení, Zdroj: (Drdácký, 2015).....	37



<i>Obrázek 4.3</i> – Destrukce trámu vlivem tesaříka krovového, Zdroj: (Drdácký, 2015) .....	38
<i>Obrázek 4.4</i> – Nastavení ohýbaných prvků (vazné, stropní trámy), Zdroj: (Vinař, 2010)..	39
<i>Obrázek 4.5</i> – Způsoby nastavení uhnílených konců trámů, Zdroj: (Vinař, 2010).....	40
<i>Obrázek 4.6</i> – Nastavení prvků tlačných a ohýbaných (vzpěry, krokve), Zdroj: (Vinař, 2010).....	40
<i>Obrázek 5.1</i> – Fotografie odebraných prvků: Dožice, Zdroj: (autor, 2023).....	41
<i>Obrázek 5.2</i> – Lokalita odběru: Dožice, Zdroj: (mapy.cz a autor, 2023) [online] dostupné z: <a href="http://mapy.cz">http://mapy.cz</a> [cit. 16. 5. 2023].....	41
<i>Obrázek 5.3</i> – Fotografie odebraných prvků: Malenice, Zdroj: (autor, 2023) .....	42
<i>Obrázek 5.4</i> – Lokalita odběru: Malenice, Zdroj: (mapy.cz a autor, 2023) [online] dostupné z: <a href="http://mapy.cz">http://mapy.cz</a> [cit. 16. 5. 2023].....	42
<i>Obrázek 5.5</i> – Fotografie odebraných prvků: Lnáře, Zdroj: (autor, 2023).....	43
<i>Obrázek 5.6</i> – Lokalita odběru: Lnáře, Zdroj: (mapy.cz a autor, 2023) [online] dostupné z: <a href="http://mapy.cz">http://mapy.cz</a> [cit. 16. 5. 2023].....	43
<i>Obrázek 5.7</i> – Fotografie odebraných prvků: Boršov nad Vltavou, Zdroj: (autor, 2023) ...	44
<i>Obrázek 5.8</i> – Lokalita odběru: Boršov nad Vltavou, Zdroj: (mapy.cz a autor, 2023) [online] dostupné z: <a href="http://mapy.cz">http://mapy.cz</a> [cit. 16. 5. 2023].....	44
<i>Obrázek 6.1</i> – Dílna pro výrobu vzorků, Zdroj: (evolyn.cz, 2023) [online] dostupné z: <a href="https://www.evolyn.cz/web/vybaveni-skoly">https://www.evolyn.cz/web/vybaveni-skoly</a> [cit. 16. 5. 2023] .....	45
<i>Obrázek 6.2</i> – Vyrobené vzorky, Zdroj: (autor, 2023) .....	45
<i>Obrázek 6.3</i> – Vyřazený vzorek z důvodu výskytu soku, Zdroj: (autor, 2023).....	46
<i>Obrázek 6.4</i> – Vyřazený vzorek z důvodu výskytu výsušných trhlin, Zdroj: (autor, 2023).....	46
<i>Obrázek 6.5</i> – Vyřazený vzorek z důvodu neúplného profilu, Zdroj: (autor, 2023) .....	46
<i>Obrázek 7.1</i> – Příprava zkoušky, Zdroj: (autor, 2023) .....	48
<i>Obrázek 7.2</i> – Schéma měření rozměrů, Zdroj: (autor, 2023).....	49
<i>Obrázek 7.3</i> – Posuvné měřítko (šuplera), Zdroj: (autor, 2023).....	49
<i>Obrázek 7.4</i> – Schéma měření vlhkosti, Zdroj: (autor, 2023) .....	51
<i>Obrázek 7.5</i> – Vlhkoměr stavebních materiálů, Zdroj: (autor, 2023).....	51
<i>Obrázek 7.6</i> – Uložení vzorku, Zdroj: (autor, 2023) .....	53
<i>Obrázek 7.7</i> – Způsob zatížení, Zdroj: (autor, 2023).....	54
<i>Obrázek 7.8</i> – Grafické znázornění zatížení, Zdroj: (autor, 2023) .....	54

## Seznam grafů

<i>Graf 9.1</i> – Výsledné napětí sady vzorků I, Zdroj: (autor, 2023) .....	57
<i>Graf 9.2</i> – Výsledné napětí sady vzorků II, Zdroj: (autor, 2023) .....	58
<i>Graf 9.3</i> – Výsledné napětí sady vzorků III, Zdroj: (autor, 2023) .....	59
<i>Graf 9.4</i> – Výsledné napětí sady vzorků IV, Zdroj: (autor, 2023) .....	60
<i>Graf 9.5</i> – Výsledné napětí sady vzorků V, Zdroj: (autor, 2023) .....	61
<i>Graf 9.6</i> – Pracovní diagramy sady vzorků I, Zdroj: (autor, 2023) .....	62
<i>Graf 9.7</i> – Pracovní diagramy sady vzorků II, Zdroj: (autor, 2023) .....	63
<i>Graf 9.8</i> – Pracovní diagramy sady vzorků III, Zdroj: (autor, 2023) .....	64
<i>Graf 9.9</i> – Pracovní diagramy sady vzorků IV, Zdroj: (autor, 2023) .....	65
<i>Graf 9.10</i> – Pracovní diagramy sady vzorků V, Zdroj: (autor, 2023) .....	66

## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1.1</i> – Průměrné hodnoty součinitele vlhkostní deformace, Zdroj: (Kuklík, 2005).....	16
<i>Tabulka 1.2</i> – Průměrná objemová hmotnost dřeva, Zdroj: (Kuklík, 2005) .....	17
<i>Tabulka 1.3</i> – Návrhová životnost staveb, Zdroj: (ČSN EN 1990 ed. 2, 2021) .....	19
<i>Tabulka 3.1</i> – Přirozená odolnost dřeva proti napadení houbami, Zdroj: (Jelínek, 2017) ..	28
<i>Tabulka 3.2</i> – Přirozená odolnost dřeva proti napadení červotočem a tesaříkem, Zdroj: (Jelínek, 2017) .....	28
<i>Tabulka 3.3</i> – Třídy ohrožení a výskyt biotických škůdců, Zdroj: (ČSN EN 335, 2013; Jelínek, 2017) .....	30
<i>Tabulka 3.4</i> – Třídy zdravotní a ekologické závadnosti chemických prostředků, Zdroj: (Jelínek, 2017) .....	33
<i>Tabulka 3.5</i> – Požadovaný účinek ochrany vzhledem k třídě ohrožení, Zdroj: (ČSN EN 335, 2013).....	33
<i>Tabulka 5.1</i> – Základní informace: Dožice, Zdroj: (maps.google.cz a autor, 2023) [online] dostupné z: <a href="http://www.google.cz/maps">http://www.google.cz/maps</a> [cit. 16. 5. 2023].....	41
<i>Tabulka 5.2</i> – Základní informace: Malenice, Zdroj: (maps.google.cz a autor, 2023) [online] dostupné z: <a href="http://www.google.cz/maps">http://www.google.cz/maps</a> [cit. 16. 5. 2023].....	42
<i>Tabulka 5.3</i> – Základní informace: Lnáře, Zdroj: (maps.google.cz a autor, 2023) [online] dostupné z: <a href="http://www.google.cz/maps">http://www.google.cz/maps</a> [cit. 16. 5. 2023].....	43
<i>Tabulka 5.4</i> – Základní informace: Boršov nad Vltavou, Zdroj: (maps.google.cz a autor, 2023) [online] dostupné z: <a href="http://www.google.cz/maps">http://www.google.cz/maps</a> [cit. 16. 5. 2023] .....	44
<i>Tabulka 6.1</i> – Sady vzorků, Zdroj: (autor, 2023) .....	47
<i>Tabulka 6.2</i> – Vysvětlení kódového označení, Zdroj: (autor, 2023) .....	47
<i>Tabulka 7.1</i> – Rozměry vzorků, Zdroj: (autor, 2023).....	50
<i>Tabulka 7.2</i> – Vlhkost vzorků, Zdroj: (autor, 2023).....	52
<i>Tabulka 8.1</i> – Výsledky měření a výpočtů, Zdroj: (autor, 2023) .....	56

## Úvod

Dřevo, jako vzácný a ekologicky příznivý materiál, je významným stavebním prvkem s širokým spektrem aplikací. Nicméně, jeho použití je spojeno s výzvami, zejména v oblasti biologické degradace a ochrany dřevěných konstrukcí. Tato diplomová práce je rozdělena na dvě části, přičemž první část je věnována literárnímu přehledu problematiky a druhá část se zabývá studijní zkouškou.

První část práce se soustředí na důkladný literární přehled týkající se vlastností dřeva, biologického napadení, ochrany a oprav dřevěných konstrukcí. Analyzují se různé aspekty, včetně struktury dřeva, mechanických a fyzikálních vlastností, příčin biologické degradace, identifikace dřevokazného hmyzu a metod ochrany proti němu. Získané poznatky z tohoto literárního přehledu poskytují solidní základ pro druhou část práce, která je zaměřena na praktickou experimentální studii.

Druhá část práce se skládá z několika kapitol. Začíná získáním dřeva pro experiment, zpracováním vzorků, přípravou a metodikou zkoušky a poté samotným testováním pevnosti dřeva. Prostřednictvím experimentu se zkoumají vlastnosti dřeva a jeho odezva při tříbodovém ohybu, který je klíčovým faktorem pro stanovení pevnosti dřeva. Tato experimentální studie poskytne konkrétní data a výsledky, které doplní a potvrdí informace získané v literárním přehledu.

Cílem této diplomové práce je provést analýzu vlivu biologické degradace dřevokazným hmyzem na pevnost dřeva a hledat účinné postupy při nalezení těchto destruktivních procesů v konstrukci. Výsledky práce budou poskytovat cenné informace pro správnou rekonstrukci a následnou údržbu dřevěných konstrukcí a přispějí k zachování dřeva jako trvalého a udržitelného stavebního materiálu.

## Literární přehled problematiky

### 1 Dřevo jako konstrukční materiál

Dřevo se jako konstrukční materiál používalo již pro první lidská přístřeší a obydlí. Společně s kamenem to byl dobře dostupný materiál a dlouhá léta se jiné materiály ani nepoužívaly. V Evropě tyto stavby a konstrukce nebyly výjimkou. Hlavními výhodami dřeva jsou opracovatelnost, vysoká pevnost v porovnání s relativně nízkou hmotností a izolační schopnost. Také je třeba zmínit, že dřevo patří k obnovitelným zdrojům. Růst dřeva má kladný dopad na životní prostředí a pro jeho zpracování či přepravu není potřeba takové energie jako u jiných materiálů. (1)

Z technické stránky je dřevo organický, nehomogenní, anizotropní a hygrokopický materiál. Chemické složení dřeva se u jednotlivých suchých dřevin příliš nemění a pohybuje se zhruba okolo těchto hodnot: uhlík 49,5%, kyslík 44,2%, vodík 6,1%, dusík 0,2%. Ve většině případů se pro dřevěné konstrukce využívá dřevo jehličnaté. Pro některé části konstrukce, například pro spojovací prvky, lze použít dřevo listnatých dřevin. (2)

#### 1.1 Druhy dřevin

##### 1.1.1 Jehličnaté dřeviny

Jehličnaté dřeviny bývají převážně dřeviny měkké, případně vytváří přechod k měkkým dřevinám. Rostou 80 až 100 let, jejich výška se pohybuje okolo 25 až 40 m a mají průměr kmene až 1 m. (2)

Nejčastěji používané dřevo pro výrobu a provádění konstrukcí ze dřeva je smrkové. Barvu má bílou až nažloutlou, je mírně smolnaté s pevně zarostlými suký. Vyznačuje se tím, že je měkké, lehké, pružné, dobře štípatelné, vhodné pro lepení a lehce zpracovatelné. V suchu je trvanlivé, ve vlhku rychle podléhá hnilobě. Další jehličnatou dřevinou je dřevo jedlové. Měkkost, pružnost, velmi dobrá štípatelnost, ohebnost a nosnost jsou jeho hlavními přednostmi. Oproti dřevu smrkovému bývá obvykle lepší jakosti z hlediska pravidelnosti růstu, avšak je hůře zpracovatelné. Je šedobílé barvy, má nižší procento pryskyřice a suký tohoto dřeva občas vypadávají. Na rozdíl od dřeva smrkového či borového je jedlové dřevo méně trvanlivé. V průběhu času se jeho barva mění na šedivou až černou. Dále se v této kategorii nachází dřevo borové. Toto dřevo lze poznat podle

velkého počtu suků a načervenalé barvy. Díky pryskyřici, která se v tomto dřevě nachází ve velkém množství, odolává borové dřevo v prostředí s vysokým obsahem vlhkosti. Naopak nevýhodou může být to, že je vcelku křehké a méně pružné. Použití pro konstrukční prvky namáhané ohybem není vhodné. Dalším nedostatkem je, že se suky časem uvolňují a vypadávají. Borové dřevo své přednosti ideálně uplatní tam, kde se střídá sucho s vlhkem. V poslední řadě modřínové dřevo. To je polotvrdé, trvanlivé a velmi pružné. Jeho světle žlutá barva se během let mění na červenou, hnědou a je postupně tmavší a tmavší. Je rovnoměrně prosyceno vysokým obsahem pryskyřice. Odolává v prostředí střídající sucho a vlhko a v minulosti se používalo pro krovy s velkým rozpětím. (2)

### **1.1.2 Listnaté dřeviny**

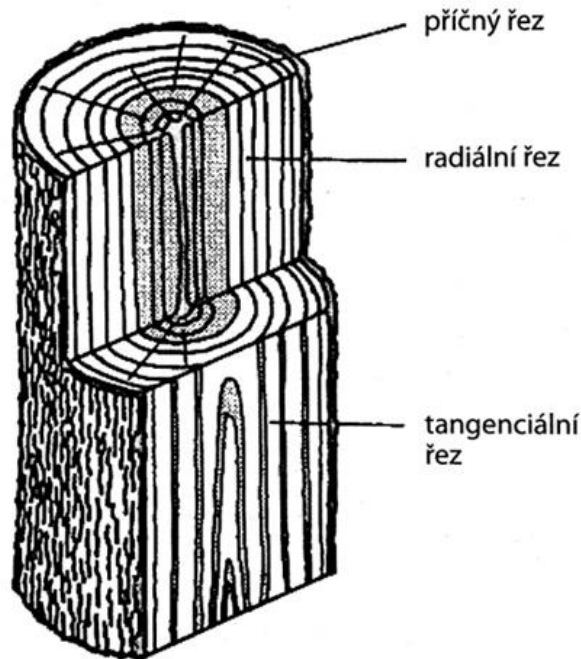
Listnaté dřeviny jsou převážně zařazovány do skupiny tzv. tvrdých dřevin. Doba růstu je 120 až 150 let a dosahují výšky 20 až 25 m, s průměrem kmene až 1,5 m. Tyto hodnoty přesahuje dub, který dorůstá výšky až 60 m a průměr jeho kmene se může pohybovat až okolo 3 m. (2)

Dubové dřevo má své přednosti v tom, že je tvrdé, pevné, těžké, houževnaté a trvanlivé. Má žlutohnědou barvu. Díky jeho vysoké pevnosti v tlaku i tahu jde o nejvhodnější typ dřeva pro výrobu dřevěných hmoždíků, kolíků, klínů a jiných spojovacích prvků. Životnost ve vodě je téměř neomezená, na suchu vydrží 500 až 700 let. Velmi vysoká je také odolnost proti ohni, pokud je u dřeva provedena vhodná a kvalitní impregnace. Bukové dřevo má nižší tvrdost než dřevo dubové a je méně houževnaté. Je načervenalé barvy. I přes to, že není tak tvrdé, těžko se opracovává. V případě nevhodné impregnace se snižuje odolnost proti vlhkostním vlivům. Z tohoto dřeva se vyrábějí převážně dýhy a překližky. Ostatní listnaté stromy se na dřevěné konstrukce víceméně nepoužívají. Jejich dřevo může být využito v truhlářských nebo řezbářských pracích. Do této skupiny lze řadit jasan, javor, břízu nebo lípu. (2)

## **1.2 Vlastnosti dřeva**

Na dřevo se nelze koukat jako na celek, který má v každém místě stejné vlastnosti. Jeho vlastnosti jsou odlišné ve směru s vlákny a ve směru kolmo k vláknům. Nejvhodnější parametry, ať už se jedná o vyšší pevnost či nižší deformace, má dřevo ve směru rovnoběžně s vlákny. (2)

Kromě směru vláken jsou vlastnosti dřeva závislé i na poloze prováděného řezu. Rozlišujeme tři základní typy řezů dřevem (*Obrázek 1.1*). Prvním je příčný řez, ten je vedený kolmo na osu kmene. Dále radiální řez, místo řezu se nachází přímo v ose kmene a řez je vedený rovnoběžně s touto osou. Poslední je tangenciální řez. Stejně jako u radiálního je veden rovnoběžně s osou, avšak mimo tuto osu. (1)



*Obrázek 1.1* – Znázornění základních řezů dřevem      Zdroj: (Havířová, 2008)

### 1.2.1 Fyzikální vlastnosti dřeva

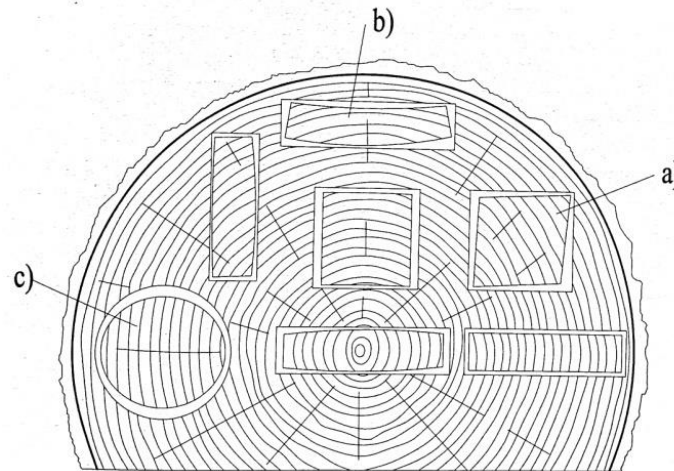
Jednou z nejdůležitějších fyzikálních vlastností je vlhkost. Tento parametr ovlivňuje i další vlastnosti dřeva jako je například hustota, rozměrové změny, odolnost proti biologické degradaci nebo mechanické vlastnosti. Dřevo je materiál, který má schopnost odevzdávat i přijímat vlhkost z okolního prostředí. Vlhkost dřeva závisí na teplotě a vlhkosti vzduchu, typ dřeviny na toto v podstatě nemá vliv. (1)

Hmotnostní vlhkost lze určit pomocí vzorce:

$$w = \frac{m_w - m_0}{m_0} [\%],$$

kde  $m_w$  je hmotnost dřeva před vysušením a  $m_0$  hmotnost dřeva absolutně suchého. (2)

V závislosti na množství vlhkosti ve dřevě se mění i jeho objem. Pokud dřevo vlhkost odevzdává, buňky sesychají a dřevo tak zmenšuje své rozměry (*Obrázek 1.2*). V případě, že se vlhkost ve dřevě zvyšuje, buňky vlhkost přijímají a zvětšuje se objem. Tyto dva jevy objemových změn se nazývají sesychání a bobtnání. (1)



**Obrázek 1.2** – Tvarové změny řeziva vlivem sesychání dřeva:

Zdroj: (Kuklík, 2005)

a) kosočtverečná, b) konkávní, c) eliptická

Pokud se ve dřevěném prvku změní vlhkost, v rozmezí od 0 do 30%, lze vypočítat změnu rozměru průřezu pomocí vzorce:

$$\Delta b = \frac{\alpha}{100} \cdot \Delta w \cdot b,$$

kde  $\Delta b$  je změna rozměru prvku,

$\alpha$  součinitel vlhkostní deformace (*Tabulka 1.1*),

$\Delta w$  změna vlhkosti [%],

$b$  původní rozměr prvku. (2)

**Tabulka 1.1** – Průměrné hodnoty součinitele vlhkostní deformace

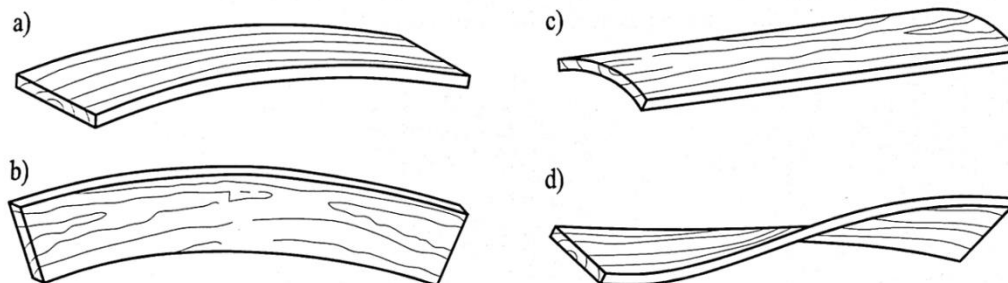
Zdroj: (Kuklík, 2005)

Dřevina	Součinitel vlhkostní deformace $\alpha$		
	Kolmo na vlákna		Rovnoběžně s vlákny
	Tangenciálně	Radiálně	
Jehličnatá	0,24	0,12	0,01
Listnatá	0,40	0,20	0

Pozn.: Uvedené hodnoty platí pro změnu vlhkosti dřeva o 1%.



Kromě těchto objemových změn nastávají i změny tvarové, a to v podobě zkroucení (zkřivení), borcení nebo vzniku trhlin. Objemové i tvarové změny se nazývají pracování dřeva (*Obrázek 1.3*). (1)



**Obrázek 1.3** – Zakřivení dřeva: a) podélné ve směru tloušťky, Zdroj: (Kuklík, 2005)  
b) podélné ve směru šířky, c) příčné, d) šroubové

Další fyzikální vlastností je objemová hmotnost, ta závisí na množství vody, která je ve dřevě obsažena (*Tabulka 1.2*). (2)

**Tabulka 1.2** – Průměrná objemová hmotnost dřeva Zdroj: (Kuklík, 2005)

Dřevina	Objemová hmotnost dřeva [ $kg \cdot m^{-3}$ ]		
	Čerstvě vytěženého	Při vlhkosti 15 %	Při vlhkosti 0%
Dub	920 - 1300	690	650
Buk	900 - 1240	720	680
Modřín	800	590	550
Borovice	900	520	490
Jedle	850	450	410
Smrk	850	470	430

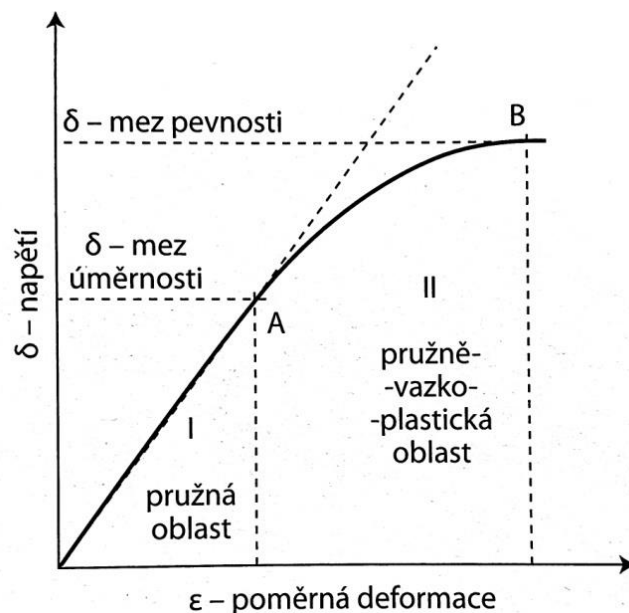
Tepelné vlastnosti dřeva jsou dány jeho tepelnou vodivostí a tepelnou roztažností. Tepelná vodivost je nízká, z toho důvodu je dřevo špatný vodič tepla. Nevznikají tak nežádoucí tepelné mosty v konstrukci. Teplotní roztažnost je rovněž malá, nemusíme tedy uvažovat účinky od teplotních změn a provádět dilatace. (1)

Elektrické vlastnosti dřeva se odvíjí od výše vlhkosti ve dřevě. Suché dřevo je dobrý izolant, ale se zvyšující se vlhkostí a teplotou se elektrický odpor snižuje. (2)

Z akustických vlastností je nutné se zaměřit především na zvukovou vodivost, pohltivost a zvukovou neprůzvučnost. Zvuková vodivost dřeva ve směru vláken se velmi podobá kovům, v příčném směru je až třikrát menší. Dřevo se vyznačuje dobrou pohltivostí zvuku, ta je větší než u cihel nebo skla. (1)

### 1.2.2 Mechanické vlastnosti dřeva

Mechanické vlastnosti dřeva vyjadřují schopnost dřeva odolávat vnějším účinkům zatížení. Závisí také na typu zatížení (statické, dynamické, rázové) a na délce trvání zatížení (stálé, dlouhodobé, střednědobé, krátkodobé, okamžikové). Mezi základní mechanické vlastnosti patří především pevnost a pružnost. Pevnost dřeva vyjadřuje jeho odolnost proti porušení a je dána hodnotou napětí. Pokud napětí překročí mez pevnosti, dochází k deformaci dřeva (*Obrázek 1.4*). Podle typu namáhání lze pevnost rozdělit na pevnost v tlaku, v tahu, v ohybu, ve smyku a v kroucení. Na mechanické vlastnosti dřeva má vliv několik faktorů. Prvním z nich jsou konstrukční rozměry, při jejichž zvětšování se mechanické vlastnosti zhoršují. Dále objemová hmotnost, u té naopak platí, že s jejím zvětšováním se vlastnosti zlepšují. Mechanické vlastnosti dřeva ovlivňuje také vlhkost. Pokud je dosažena mez nasycení (30%) zhoršuje se pevnost dřeva v tlaku. Při vyšších procentech nasycení již zůstávají vlastnosti víceméně konstantní. V neposlední řadě jsou činitelem vady dřeva. Trhliny, suky, hniloba nebo poškození dřevokazným hmyzem nejvíce snižují pevnost v tahu. Je třeba zohlednit i rychlost zatěžování, s navyšováním rychlosti zatěžování roste pevnost dřeva. Nutné je u konstrukce sledovat také dobu trvání zatížení, s prodlužováním doby zatížení pevnost dřeva klesá zhruba na 60% krátkodobé pevnosti dřeva. (1) (2)



*Obrázek 1.4* – Obecný tvar pracovního diagramu dřeva

Zdroj: (Havířová, 2008)

### 1.3 Návrhové hodnoty vlastností dřeva

Návrhové vlastnosti dřeva jsou hodnoty, které se používají pro výpočet a návrh konstrukcí ze dřeva. Na návrh dřevěných konstrukcí má vliv několik důležitých vlastností popsaných níže. (2)

Návrhová životnost je stanovena v závislosti na typu navrhované stavby či konstrukce (*Tabulka 1.3*).

**Tabulka 1.3** – Návrhová životnost staveb

Zdroj: (ČSN EN 1990 ed. 2, 2021)

Kategorie návrhové životnosti	Informativní návrhová životnost (v letech)	Příklady
1	10	dočasné konstrukce*
2	10 až 25	vyměnitelné konstrukční části, např. jeřábové nosníky, ložiska
3	15 až 30	zemědělské a obdobné stavby
4	50	budovy a další běžné stavby
5	100	monumentální stavby, mosty a jiné inženýrské konstrukce

\*Konstrukce nebo jejich části, které mohou být demontovány s předpokladem dalšího použití, se nemají považovat za dočasné.

Návrhovou trvanlivost lze vyjádřit takto:

*„Konstrukce musí být navržena tak, aby degradační procesy během její návrhové životnosti, za předpokladu náležité údržby a s ohledem na okolní prostředí, nenarušily její provozuschopnost více, než je přípustné.“* (3)

Návrhovou pevnost dřeva  $X_d$  lze vypočítat pomocí vztahu:

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

kde  $X_k$  je charakteristická hodnota pevnostní vlastnosti,

$\gamma_M$  dílčí součinitel vlastnosti materiálu,

$k_{mod}$  modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti. (4)

Návrhová tuhostní vlastnost prvku je definována vztahy:

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M},$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M},$$

kde  $E_d$  je návrhová hodnota modulu pružnosti,  
 $G_d$  návrhová hodnota modulu pružnosti ve smyku,  
 $E_{mean}$  průměrná hodnota modulu pružnosti,  
 $G_{mean}$  průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku. (4)

Návrhová hodnota odolnosti (únosnosti)  $R_d$  se musí počítat takto:

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M},$$

kde  $R_k$  je charakteristická hodnota únosnosti,  
 $\gamma_M$  dílčí součinitel vlastnosti materiálu,  
 $k_{mod}$  modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti. (4)

Hodnoty dílčích součinitelů vlastnosti materiálu a modifikační součinitele jsou uvedeny v ČSN EN 1995 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí.

## 2 Biologické degradace dřeva

Podmínky pro napadení dřeva biologickými škůdci jsou dostatečná vlhkost, kyslík, teplo a výživný substrát. Pokud má dřevo vlhkost trvale nižší než 18%, nebývá napadeno dřevokaznými houbami. Dřevo, u kterého se množství vlhkosti trvale pohybuje pod hodnotou 10%, nebývá napadeno dřevokazným hmyzem. Kyslík získávají škůdci ze vzduchu, který se nachází v samotném dřevě, pokud se nenachází dřevo nepřetržitě pod vodou. Teplota je v našem podnebí pro biotické škůdce optimální převážnou část roku. Výživným substrátem je poté dřevo jako takové. (2)

Hlavní příčinou ve většině případů napadení je vlhkost. Ta se do konstrukce může dostat z exteriéru jako srážková, nebo z interiéru v podobě kondenzace. Pro vnik vody do dřevěné konstrukce mohou posloužit poškozené a nesprávně provedené detaily či místa bez pravidelné údržby. Do prvního způsobu lze řadit prostupy střešní rovinou nebo poškozenou střešní krytinu. Ve druhém případě jde například o zanesený okapní žlab, který způsobí zatékání, nebo o prvky, které jsou schované jinou konstrukcí (pod podlahou, za obkladem apod.). Proti kondenzaci se používá v rámci skladby konstrukce tzv. parozábrana, která má zamezit pronikání vlhkosti do konstrukce. Pokud je ale tato vrstva poškozena, netěsní nebo je nesprávně provedena, její účinnost se blíží k nule a vlhkost se tak dostává do dřevěné konstrukce. Bránit vzniku kondenzace lze také správnou koordinací topení a větrání. V souvislosti s kondenzací nutno zmínit provádění a vedení instalací. Vlhkost může kondenzovat na jejich povrchu a tím se pak dostat k dřevěným prvkům. (5)

### 2.1 Identifikace biotického poškození

Veškerá poškození biotických škůdců se vyznačují specifickými znaky rozkladu a porušení. Houby bílého tlení snižují objemovou hmotnost, houby hnědého a měkkého tlení změni barvu dřeva a působí kostkovitý rozklad dřevní hmoty. Dřevokazný hmyz za sebou nechává systém vyvrtných chodeb a výletových otvorů, který se liší podle jednotlivých druhů hmyzu. (6)

Vývoj hnilobného procesu se dělí do několika základních fází. V první fázi, která se nazývá počáteční, hyfa (vlákno) houby pronikne dřevem, zahájí kolonizaci a uvolňuje enzymy. Příznaky poškození nejsou patrné a tlení se prozatím neprojevuje. Následující fáze se nazývá raná. Zde se mohou objevit první změny v barvě, textuře či mechanické odolnosti dřeva, závisí na druhu houby. Raná fáze se vyznačuje tím, že je hniloba již

identifikovatelná, avšak ne docela zřejmá. V pokročilé fázi jsou změny textury a barvy zjevné. Hrubá struktura dřeva není poškozena. Posledním stadiem je fáze pozdní, ta nastává tehdy, je-li dřevěný prvek nebo celá dřevěná konstrukce zcela poškozena hnilobou a zbytkové dřevo je hnědavě amorfní, bělavě shnilé nebo vláknité. Kromě dřevokazných hub způsobují poškození dřeva také dřevokazní škůdci, resp. požerky jejich larev. V důsledku přítomnosti těchto požerků dochází k poruchám majícím vliv na statické chování konstrukce. Rozsah těchto poruch ovlivňuje velikost, množství a poloha požerků v dřevěné konstrukci. Kromě dopadu na statické působení mají požerky a výletové otvory také vliv na estetické vlastnosti a zhoršují povrchové vrstvy jako celek. Hlavním faktorem při hodnocení dřeva napadeného hmyzem je počet výletových otvorů. Nachází-li se v blízkosti prvků dřevní prach nebo drť, je přítomný stále aktivní dřevokazný hmyz. (6)

## 2.2 Dřevokazné houby

Přítomnost napadení dřevokaznými houbami lze zjistit z vizuální prohlídky dřeva, lépe řečeno z prohlídky celé dřevěné konstrukce. Z typu poruchy je poznat, o který druh houby se jedná. Rozlišují se houby bílého a hnědého tlení. Každá z těchto hub se vyznačuje typickým poškozením dřeva, ať už se jedná o změny barvy, kostkovitý rozpad dřeva (*Obrázek 2.1*) nebo o vláknitost třísek (*Obrázek 2.2*). Nutno dodat, že pokud už jsou poruchy patrné z vizuálního hodnocení, napadení se nachází v pokročilém stádiu. V případě, že se na dřevě nenachází žádné známky degradace, nebo bylo nějakým způsobem z povrchu odstraněno, je možné dřeva zkoumat laboratorními metodami. Jedná se například o světelnou a elektronovou mikroskopii nebo o kultivační metody. (6)

### 2.2.1 Houby hnědého tlení

Do kategorie plodnic hnědého tlení se řadí dřevomorka domácí. Jedná se o jednu z nejnámějších a nejnebezpečnějších hub. Má plodnice rozlitého tvaru s žilnatým povrchem. Tloušťka se pohybuje okolo 12 mm, šířka mezi 50 a 300 mm a délka může dosahovat až 1 m. Barevné zbarvení této houby je žluté a později se mění až do tmavě hnědé barvy. Okraje jsou bílé, zvlněné. Do této kategorie dále patří koniofora sklepní. Má hladké až jemně hrboilaté plodnice rozlitého tvaru. Je velmi tenká s tloušťkou do 2 mm. Barva hnědá až olivově hnědá s jemnými bílými okraji. Dále se sem řadí trámovka plotní, tu specifikují plodnice kloboukatého tvaru. Je tloušťky 6 - 8 mm a velikosti 30 - 200 mm. Barva se pohybuje v odstínech žlutohnědé až tmavohnědé barvy. Další houbou hnědého tlení je outkovka zprohýbaná. Tu lze rozpoznat podle rozlité rourkaté plodnice

podlouhlého tvaru. Má tloušťku do 3 mm a délku do 400 mm. Barvy bílé, později nahnědlé. Rourky jsou kulovité až podlouhlé. U starších plodnic mohou rourky splývat. Má nakyslý pach. Poslední houbou v této skupině je outkovka řadová. Oproti outkovce zprohýbané se liší pouze ve tvaru plodnic, které jsou rozlité až porozlité, kožovitě tuhé. Zbylé vlastnosti se shodují. (6)



**Obrázek 2.1** – Kostkovitý rozklad dřeva způsobený houbou hnědého tlení Zdroj: (Drdácký, 2015)

### 2.2.2 Houby bílého tlení

Kategorie hub bílého tlení obsahuje tři zástupce. Jsou jimi outkovka pestrá, která má kloboukaté plodnice polokruhovitého tvaru, tloušťku do 3 mm, barvu od tmavozelené, hnědé až po šedočernou a zvlněné bledé okraje. Dále je to pevník chlupatý, jehož plodnice jsou polorozlité až rozlité polokruhovitého až nepravidelného tvaru se zvlněným okrajem a barvou žlutohnědou. Posledním zástupcem je kořenovník vrstevnatý. Má plodnice rozlitého tvaru, velikost 20 – 80 mm a červenohnědou barvu. (6)



**Obrázek 2.2** – Vlákňitost dlouhých třísek způsobená houbou bílého tlení Zdroj: (Drdácký, 2015)

## 2.3 Dřevokazný hmyz

Druhů těchto škůdců je velké množství. Závisí nejen na dřevě, ale také na tom, kde se dřevo vyskytuje. Zda jde o strom rostoucí v lese, uložený na skládce, či jde již o konkrétní výrobky ze dřeva. (2)

Dřevokazný hmyz má život rozdělený na dvě části, období larvy a období dospělého jedince. Nejzákladnější poškození způsobí dřevokazný hmyz ve stadiu larvy. Larvy, které do dřeva naklade samička, vyhlodávají chodbičky a snižují fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Toto stadium trvá několik let, nejčastěji 1 – 3 roky, v některých případech i 5 a více let. Po zakuklení larvy se z ní vyvine dospělý brouk. Jeho život trvá jen pár týdnů a za úkol má pouze založení další generace. Tím se opakuje celý cyklus od začátku. (2)

Tato část práce se bude zabývat pouze nejčastějšími a nejdůležitějšími dřevokaznými škůdci, kteří napadají konstrukční dřevo zabudované ve stavbách.

### 2.3.1 Červotoč proužkovaný

Je hlavním zástupcem dřevokazného hmyzu z čeledi červotočovití. Červotoč proužkovaný (*Obrázek 2.3*) napadá listnaté i jehličnaté dřevo. Ve dřevě listnatém poškozuje svými požerkovými chodbami pouze bělovou část. Pro jehličnaté dřevo platí, že je poškozena výhradně jarní zóna dřeva a ta letní zůstává po delší dobu nenapadena. Larvy požírají dřevo až k jeho povrchu. Pokud je napadení četné, povrch dřeva tvoří jen tenká vrstva bez poškození. Tvar výletových otvorů je kruhový a jejich velikost v průměru je 1 – 2 mm. Těla larev jsou červovitého tvaru se zúženým zadečkem a jejich barva je bílá až žlutobílá. Dospělí jedinci mají temně hnědou barvu s kulatým až válcovitým tělem. Jejich krovky se poznají podle řad teček, od nichž se odvíjí jméno tohoto hmyzu. Jsou díky nim také velmi dobří letci a rojí se od dubna do srpna. Dospělí jedinci mají velmi krátký život, protože nepřijímají potravu a dožívají se 1 – 3 týdnů. Samičky nakladou 20 – 40 vajíček do malých trhlin nebo starých požerkových chodeb dřeva. Po uplynutí 2 – 4 týdnů se z vajíček vylíhnou larvy a začnou dřevo požírat. Larvy se zakuklí po 2 – 8 letech, tato doba se odvíjí od druhu dřeva. Vylíhnutí dospělého jedince z kukly nastane zhruba po 4 – 6 týdnech. Vývoj larev ve dřevě závisí na okolních podmínkách, ty jsou ideální v případě, že se teplota pohybuje mezi 21°C a 24°C a obsah vlhkosti dřeva je 28 – 30%. Rostoucí vlhkost podporuje vývoj larev, naopak vysoušení ho zpomaluje. Specifickým znakem červotoče proužkovaného je to, že setrvává ve stejné lokaci. Dospělé samičky tedy kladou vajíčky do



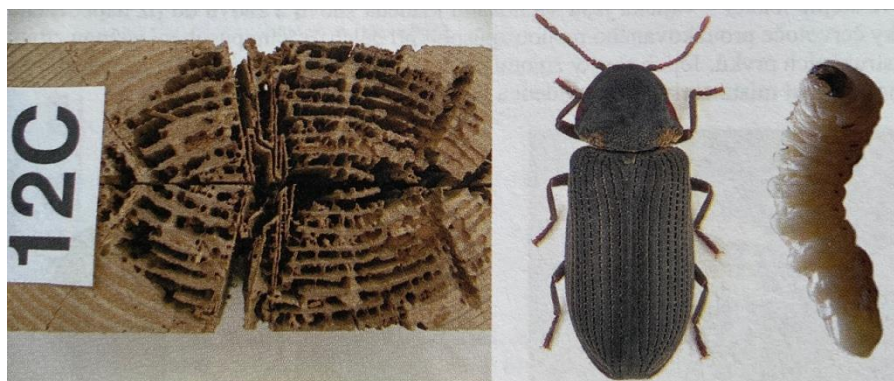
již napadeného dřeva a jejich dlouhodobé působení v jedné konstrukci na ni může mít kritický dopad. (6)



**Obrázek 2.3** – Požerkové chodby a výletové otvory (vlevo) červotoče proužkovaného (vpravo)  
Zdroj: (Drdácký, 2015)

### 2.3.2 Červotoč umrlčí

Významným zástupcem čeledi červotočovití je červotoč umrlčí (*Obrázek 2.4*). Požerkové chodby jsou širší než u červotoče proužkovaného a dosahují šířky až 4 mm. Tento druh vyhledává a žije převážně v jehličnatém dřevě poškozeném hnilobou. Zde se pak živí dřevní hmotou v jamní zóně, tvrdé dřevo letní zóny zůstává nepoškozené mezi chodbičkami. Výletové otvory jsou kruhové s velikostí průměru mezi 2 – 4 mm. Larvy tohoto červotoče jsou větší a mají širší hlavu. Tělo dospělého jedince je delší s délkou okolo 4,5 – 6 mm. Oproti předchozímu druhu tečky na krovkách netvoří proužky. Rozpoznat tyto dva červotoče lze též skrz zbarvení. Na těle červotoče umrlčího se nachází krční štít se žlutošedým zbarvením v rozích. Rojení probíhá ve večerních hodinách v dubnu a květnu. Samičky kladou do dřeva 6 – 8 vajíček a po vylíhnutí trvá vývoj larev 2 a více let. Obvykle se vyskytují v místech a konstrukcích s vysokou vlhkostí. Odstraněním hniloby a snížením vlhkosti lze vývoj larev zpomalit či dokonce zastavit. (6)



**Obrázek 2.4** – Požerkové chodby (vlevo) od červotoče umrlčího (vpravo) Zdroj: (Drdácký, 2015)

### 2.3.3 Hrbohlav parketový

Patří do čeledi hrbohlavovití a je škůdcem listnatého dřeva, kde napadá pouze běl. Výletové otvory jsou kruhové s průměrem 1 – 1,5 mm. Chodby se táhnou ve směru vláken dřeva, jejich šířka činí 1 – 2 mm a podobá se chodbám červotoče proužkovaného. Poškození těmito chodbami často bývá velkého rozsahu a v rané části napadení lze těžko toto poškození identifikovat. Larvy jsou bělavé, červovité a dorůstají délky až 6 mm. Dospělí jedinci jsou hnědí až černohnědí s tyčkovitým hubeným tělem dlouhým 2,5 – 5 mm. Rojení probíhá na jaře a v létě. Samičky nakladou větší počet vajíček (70 – 75 ks) do stávajících výletových otvorů nebo do otevřených cév dřeva, pokud jsou dostatečně velké. Hrbohlav parketový (*Obrázek 2.5*) je škůdcem vyschlého dřeva. Pro tento hmyz je ideální vlhkost dřeva mezi 14 – 16% a teplota 26 – 27°C. Ve spojení s krátkým vývojem larev (v optimálních podmínkách jen 4 měsíce) může napáchat velmi závažné škody na napadené dřevěné konstrukci. (6)



*Obrázek 2.5* – Výletové otvory (vlevo) hrbohlava parketového (vpravo)  
Zdroj: (skudci.com, 2023)

### 2.3.4 Tesařík krovový

Je dřevokazným hmyzem čeledi tesaříkovití a vyznačuje se svou nadměrnou velikostí (10 – 30 mm) a nápadně dlouhými zahnutými tykadly. Požerkové chodby jsou oválného až elipsového průřezu (5 x 12 mm) a nacházejí se až u povrchu napadených prvků, kde zůstává tenká nepoškozená vrstva. Larvy požírají zejména běl jehličnatých dřev, převážně jarní části. Mají slonovinovou barvu a na hlavě silná tmavá kusadla a třemi páry očí. Výletové otvory jsou nepravidelné, podobného rozměru a tvaru jako chodby. Tělo larev je dlouhé 15 – 25 mm složené z viditelných prstenců s jemnými chloupky. Dospělí jedinci tesaříka krovového (*Obrázek 2.6*) mají tmavě hnědou až černohnědou barvu. Tělo i krovky jsou lesklé a pokryté malými chloupky. Dlouhá zahnutá tykadla se skládají z 11 spojených částí. Rojení probíhá od června do srpna v čase nejvyšších denních

teplot. Vajíčka jsou kladena samičkou do trhlin po 200 – 400 kusech. Z těchto vajíček se během 10 – 20 dnů vylíhnou larvy, které se okamžitě pustí do požíráání dřeva. Doba vývoje larvy, a tím i doba poškození dřeva, závisí na podmínkách ve dřevě. Za příznivých podmínek (vlhkost blízko bodu nasycení, teplota 24 – 30°C) se larva vyvine v dospělého jedince během 2 – 3 let. Pokud ale nastanou podmínky nepříznivé, vývoj larvy může trvat i 10 let, a tomu poté odpovídá způsobené poškození. Larvy přetrvávají v nepříznivých podmínkách i několik měsíců, jsou nenáročné na potravu a mají schopnost žít a rozmnožovat se ve vyschlém dřevě. Výsledkem těchto faktorů je značné rozšíření tohoto druhu a jeho negativního vlivu na dřevěné konstrukce. (6)



**Obrázek 2.6** – Požerkové chodby a nepoškozená povrchová vrstva (vlevo) od tesaříka krovového  
Zdroj: (Drdácký, 2015)

### 2.3.5 Pilořitka

Vzhledem k její vysoké náročnosti na vlhkost se příliš v dřevěných prvcích zabudovaných ve stavbě nevyskytuje. Může se v nich ale vylíhnout, doba vývoje larvy je 2 – 4 roky. Dospělí jedinci pilořitky mají obdobný vzhled jako vosy nebo sršni. (2)

### 2.3.6 Mravenci

Mravenci využívají dřevo k hnízdění nebo dočasnému obydlí. Lze je spatřit ve stavbách, které stojí na okrajích lesů. Často jsou v soužití s tesaříky nebo červotoči a usazují se na místech napadených těmito dřevokaznými škůdci. Mravenci svým pohybem přinášejí do dřeva houby a plísně a škodí tak ještě více již napadenému dřevu. (2)

### 3 Ochrana proti škůdcům dřeva

Preventivní ochranou dřeva se rozumí provedení takových opatření, kterými lze předejít poškození dřeva, které způsobují houby, škůdci a povětrnostní vlivy. Mezi taková opatření se řadí výběr dřeva a jeho opracování v dostatečné kvalitě, stavební a konstrukční ochrana v souvislosti s ochranou proti vlhkosti nebo povrchové ošetření dřeva vůči povětrnostním vlivům. Stejně důležitá je i dodatečná chemická ochrana dřeva proti škůdcům. (7)

#### 3.1 Přírozená odolnost dřeva proti biotickým škůdcům

Přírozená odolnost dřeva (*Tabulka 3.1*) proti biotickým škůdcům je závislá na chemickém složení a obsahu látek v jádru dřeva. (7)

**Tabulka 3.1** – Přírozená odolnost dřeva proti napadení houbami Zdroj: (Jelínek, 2017)

Třída	Trvanlivost	Dřevina
Třída 1	Velmi trvanlivé	teak
Třída 2	Trvanlivé	akát, dub, kaštan
Třída 3	Středně trvanlivé	douglaska, modřín, ořech
Třída 4	Málo trvanlivé	borovice, dub červený, jedle, smrk
Třída 5	Netrvanlivé	bříza, buk, jasan, javor, topol

Toto řazení platí pro jádrové dřevo při styku se zemí. Do třídy 5 se řadí ještě bělové dřevo všech listnatých i jehličnatých stromů. (7)

**Tabulka 3.2** – Přírozená odolnost dřeva proti napadení červotočem a tesaříkem

Zdroj: (Jelínek, 2017)

Třída	Trvanlivost	Druh dřeva
Třída D	Trvanlivé	bělové dřevo trvanlivé
Třída S	Náchylné	bělové dřevo náchylné
Třída SH	-	jádrové dřevo náchylné
bez označení	-	jádrové dřevo obecně trvanlivé

Přírozená odolnost dřeva vůči napadení tesaříkem krovovým není příliš vysoká u bělového dřeva všech evropských a většiny neevropských jehličnanů. Na napadení červotočem je náchylné bělové dřevo jehličnatých i listnatých dřevin. Jádrové dřevo není napadáno v tak vysoké míře jako je dřevo bělové (*Tabulka 3.2*). (7)

## 3.2 Způsoby ochrany dřeva

Rozlišují čtyři základní způsoby ochrany dřeva:

- při těžbě a pořezu,
- konstrukční,
- chemická,
- fyzikální.

Při těžbě a zpracování dřeva mají být zajištěny takové podmínky, aby nedošlo k napadení dřevokaznými škůdci. Ideální období pro těžbu je zimní, v této době jsou pro rozvoj škůdců nejméně příznivé podmínky. Pokácené dřevo je nutno v nejkratším možném časovém intervalu očistit a zpracovat na řezivo, nebo ho uložit na skládku a patřičně ochránit máčením, postřikem či fólií. Tato ochrana předchází ochraně konstrukční a chemické. Ta řeší způsob zabudování dřeva do stavební konstrukce. Minimální poškození dřeva a jeho ochrana proti vlhkosti je úkolem správného konstrukčního řešení. Chemická ochrana spočívá v použití nátěrů a impregnací dřeva. Mezi moderní metody patří fyzikální ochrana. Pro dosažení cíleného výsledku v podobě úspěšného potírání škůdců je nutno řešit tuto problematiku komplexně. Odvíjí se od kvalitního průzkumu, vhodné diagnostiky a návržení správného řešení. Základní ochranou je konstrukční ochrana dřeva. Za doplňkovou lze považovat chemickou ochranu, a to pro prvky, které jsou v rizikových podmínkách pro napadení. Fyzikální metody jsou používány pro dřevo již napadené. (7)

### 3.2.1 Volba způsobu ochrany

V případě napadení dřevokaznými škůdci je potřeba zjistit, zda se jedná o napadení aktivní, či neaktivní, tj. organismus již odumřel. To platí pro dřevokazné houby i hmyz. Pokud je dřevo napadeno dřevokazným hmyzem, musí být zamezeno jeho rozšiřování. Poté je nutné dřevo sterilizovat a chemickým ošetřením zabránit opětovnému napadení. Při přítomnosti dřevokazných hub je zapotřebí nejprve zjištění a následné odstranění příčiny napadení. Pro oba případy platí, že pokud je dřevo napadeno ve velké míře, bude potřeba dřevěné prvky vyměnit v dostatečné vzdálenosti od napadení. Při výměně prvků je nepřijatelné, aby se v konstrukci nacházeli aktivní dřevokazní škůdci. (7)

Ochrana dřeva nosných prvků závisí na třídě ohrožení podle ČSN EN 335 Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Třídy použití: definice, aplikace na rostlé dřevo a na výrobky na bázi dřeva.



**Tabulka 3.3** – Třídy ohrožení a výskyt biotických škůdců

Zdroj: (ČSN EN 335, 2013; Jelínek, 2017)

Třída ohrožení	Expozice dřeva	Typ konstrukce	Vlhkost dřeva	Výskyt biotických škůdců				
				Dřevokazné houby		Dřevozbarvující houby	Hmyz	
				Stopko-výtrusné houby	Houby způsobující měkkou hnilobu	Houby způsobující modráni	Plísně	Brouci
1	dřevo v interiéru staveb, pod střechou, bez styku se zemí, trvale suché	provětrávané střechy, střešní latě, kontralatě, bednění, podlahová prkna v oblasti okapu	max. 20%	ne	ne	ne	ne	ano
2	dřevo bez styku se zemí, zcela chráněné před povětrností a vyluhováním vodou, možné je přechodné navlhnutí	neprovětrávané střechy s malým sklonem	občasně > 20%	ano	ne	ano	ano	ano
3	dřevo vystavené vlivu povětrnosti ale bez trvalého styku se zemí	krovy a podlahy nad sklepními prostory	často > 20%	ano	ne	ano	ano	ano
4	dřevo ve styku se zemí a/nebo sladkou vodou	základové rámy montovaných konstrukcí, zastřešení ČOV, lávky přes vodoteče	trvale > 20%	ano	ano	ano	ano	ano
5	dřevo v trvalém a přímém styku se slanou vodou	v ČR se nevyskytuje	trvale > 20%	ano	ano	ano	ano	ano

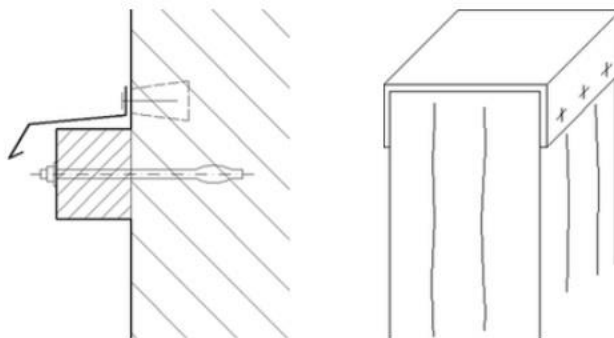
Ochrana dřeva proti dřevokaznému hmyzu ve třídě ohrožení 1 není nutná, je-li dřevo zabudováno v prostorách s běžným klimatem a je možno ho pravidelně kontrolovat, nebo pokud bylo použito jádrové dřevo, které má podíl bělového dřeva menší než 10%. (8)

### 3.2.2 Konstrukční ochrana dřeva

Jedná se o preventivní ochranu a musí na ní být dbáno již v projektové fázi. Je nutné zamezit vzniku trhlin v rámci vysychání dřeva jak při skladování, tak při zabudování dřeva do stavební konstrukce. Dřevo by mělo být před zabudováním vysušeno na takovou vlhkost, ve které se bude dřevo nacházet. Hodnota vlhkosti pro chráněný nevytápěný prostor je 18% a pro vnější prostor chráněný před deštěm 22%. Hlavní zásadou konstrukční ochrany je ochrana dřeva před vlhkostí. Ta se do dřeva může dostat zatékající srážkovou vodou, kondenzací atmosférické vlhkosti nebo kondenzací vodní páry v interiéru. (7)

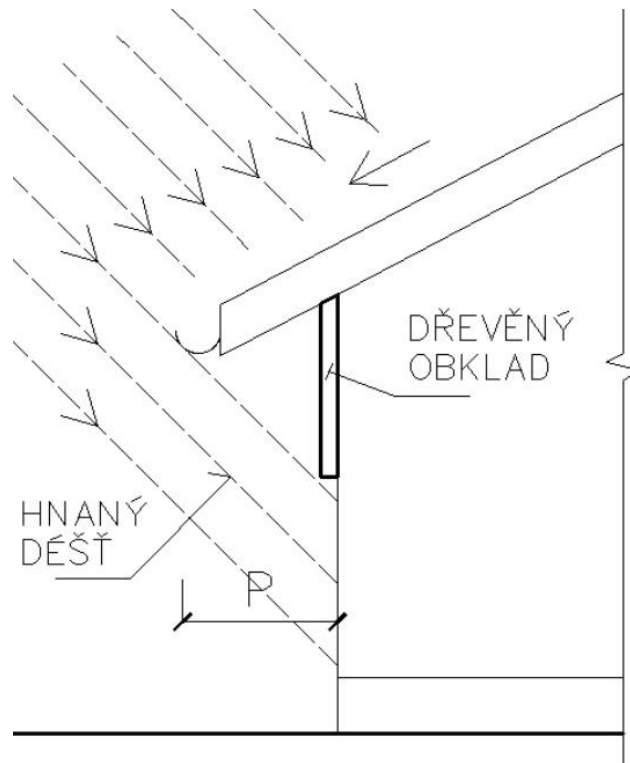
Hlavní způsoby konstrukční ochrany:

- uložení prvku zajištěné proti vybočení či sklopení,
- oplechovat dřevěné prvky vystavené povětrnostním vlivům (*Obrázek (3.1)*),
- ochránit dřevěné fasády dostatečným přesahem střechy (*Obrázek 3.2*),
- zabránit přímému kontaktu se zeminou a odšťikující dešťovou vodou (*Obrázek 3.3*),
- řešení dřevěné fasády s odvodem srážkových vod v krátkém časovém intervalu,
- nevytvářet místa, ve kterých by se mohla zadržovat voda,
- účinně odvětrávat všechny dutiny,
- správné provedení detailů v místech, která budou později nepřístupná,
- zabezpečit kontaktní spáru dřevěné a zděné konstrukce izolační mezivrstvou,
- použít vhodné vnější nátěry,
- nepoužívat hranoly a fošny se dření,
- používat velké průřezy vrstveného dřeva,
- používat stavební díly s vhodnými tepelně technickými vlastnostmi,
- zabránit vzniku tepelných mostů,
- správně používat parozábrany a difuzní fólie,
- zajistit proudění vzduchu,
- správně dřevo skladovat před zabudováním do konstrukce,
- neuzavřít konstrukci paronepropustnými nátěry,
- zakrýt střešní konstrukci co nejdříve,
- udržovat vhodné klimatické podmínky v objektu. (7)



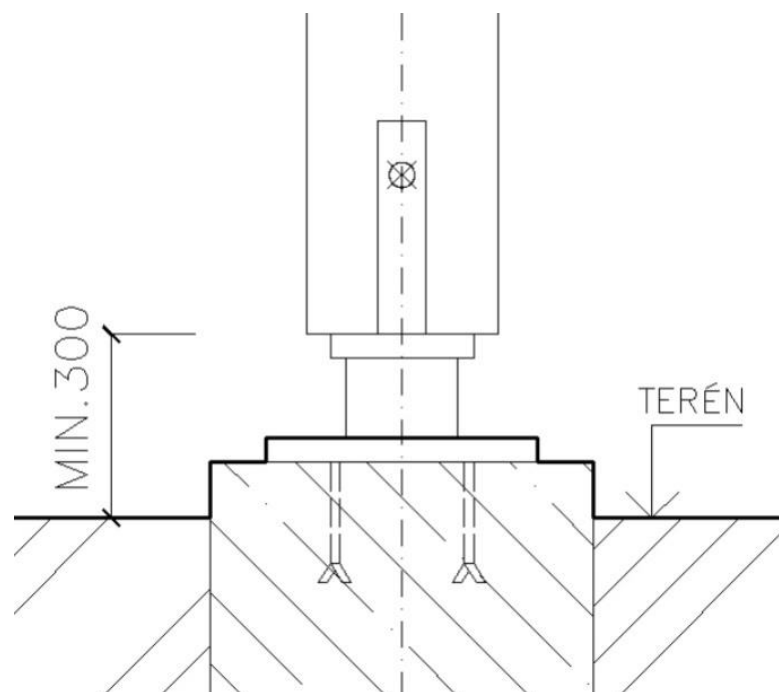
*Obrázek 3.1* – Konstrukční ochrana dřeva oplechováním

Zdroj: (Solař, 2014)



**Obrázek 3.2** – Ochrana dřevěného prvku přesahem střechy

Zdroj: (Solař, 2014)



**Obrázek 3.3** – Příklad správného uložení dřevěného sloupu na terénu

Zdroj: (Solař, 2014)



### 3.2.3 Chemická ochrana dřeva

K chemické ochraně se využívají účinné látky, tzv. biocidy. Proti houbám jsou určeny fungicidy, proti hmyzu insekticidy. Způsoby chemické ochrany dřeva jsou nátěry a postřiky, máčení, ponořování a polévání, injektáže, teplo – studená koupel a impregnace. Použití všech těchto metod a chemických prvků vyžaduje znalosti o dřevě, dřevokazných škůdcích a chemických přípravcích (*Tabulka 3.4*). Před aplikací se dřevo musí řádně očistit od nečistot, kůry, mastnoty a případné předchozí chemické ochrany. (7)

**Tabulka 3.4** – Třídy zdravotní a ekologické závadnosti chemických prostředků

Zdroj: (Jelínek, 2017)

Třída	Možnost styku	Expozice dřeva
1	neškodné, ale nesmí přijít do styku s potravinami a pitnou vodou	interiér
2	možný pravidelný styk člověka s chráněným dřevem	obytné prostory
3	možný občasný styk člověka s chráněným dřevem	stavební konstrukce mimo chráněné prostory
4	možný výjimečný styk člověka s chráněným dřevem	krytiny, venkovní konstrukce
5	styk člověka s chráněným dřevem vyloučen	pražce

Konstrukce, jejichž montáž teprve nastane, lze ošetřit tlakovou impregnací nebo dlouhodobým máčením. Pro již zabudované prvky se používá povrchový nátěr či postřik, nebo hloubková nízkotlaká injektáž. Tyto způsoby se liší v množství a hloubce průniku látky do dřeva. Při volbě technologie je důležité přihlížet k očekávanému biologickému ohrožení, druhu dřeva, druhu škůdce, vlhkosti prostředí atd. (*Tabulka 3.5*) (9)

**Tabulka 3.5** – Požadovaný účinek ochrany vzhledem k třídě ohrožení

Zdroj: (ČSN EN 335, 2013)

Třída ohrožení	Požadovaný účinek
1	ochrana proti hmyzu
2	ochrana proti hmyzu, stopkovýtrusným a dřevozbarvujícím houbám
3	ochrana proti hmyzu, stopkovýtrusným a dřevozbarvujícím houbám - prostředek musí být stálý v povětrnostních podmínkách
4	ochrana proti hmyzu, stopkovýtrusným a dřevozbarvujícím houbám a proti houbám způsobujícím měkkou hnilobu - prostředek musí být stálý v povětrnostních podmínkách i v kontaktu se zemí

Označení ochranných vlastností chemických prostředků je dáno normou ČSN 49 0600-1 Ochrana dřeva - Základní ustanovení - Část 1: Chemická ochrana.

Preventivní chemická ochrana (*Obrázek 3.4*) se používá především pro nosné konstrukční prvky, prvky trvale vystavené povětrnostním vlivům a pro veškeré konstrukční dřevo v kontaktu se zemí či vodou. Prostředky pro preventivní chemickou ochranu jsou soli a koncentráty nebo prostředky na rozpouštědlové bázi. Soli a koncentráty chrání dřevo proti hnilobě, rozpouštědlové prostředky proti hnilobě, zamodráním a škůdcům a jsou určeny pro staticky namáhané konstrukce. Konstrukce, které jsou už napadené, se ošetřují následnou chemickou ochranou. Tyto chemické prostředky jsou vyráběny na rozpouštědlové nebo vodné bázi a zabraňují vykuklení hmyzu. Mezi nejúčinnější patří tzv. regulátory růstu hmyzu, díky kterým dochází k likvidaci hmyzu ve všech vývojových stádiích. Nevhodným či neodborným aplikováním chemických prostředků může dojít k poškození dřeva chemickou korozí. Dalšími následky mohou být poruchy klempířských prvků a znehodnocení fóliových a povlakových vrstev na střešní konstrukci. Důraz na opatrnost při provádění chemických ochranných opatření se klade u památkově chráněných objektů, které nesou historicky cenné informace. (7)

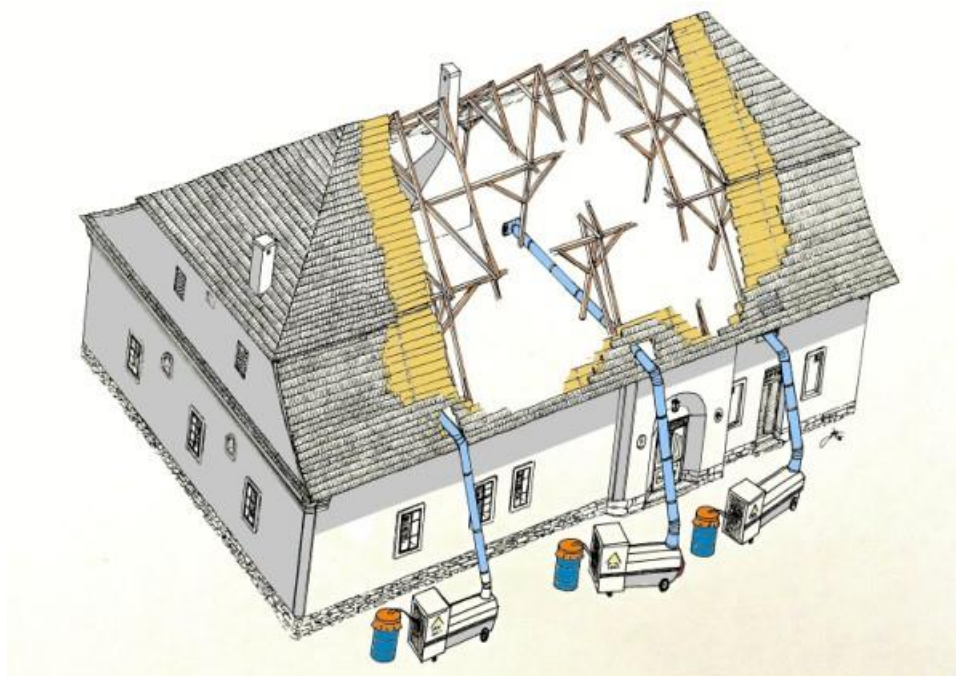


**Obrázek 3.4** – Ošetření dřevěného prvku chemickým prostředkem

Zdroj: (Matějek, 2023)

### 3.2.4 Fyzikální ochrana dřeva

Fyzikální metody ochrany dřeva se používají v poslední době a jsou velmi úspěšné. Jejich použití je výhradně pro konstrukce již napadené. Metodami fyzikální ochrany jsou horkovzdušná sanace a mikrovlnná sterilizace. Horkovzdušná sanace (*Obrázek 3.5*), neboli termosanace je účinná, ekologická a nedestruktivní metoda hubení dřevokazného hmyzu. Spočívá v tom, že se celá konstrukce zahřeje na minimálně 55°C na dobu alespoň 60 minut. V těchto podmínkách dřevokazný hmyz nepřežije v žádné z jeho fází vývinu (vajíčka, larvy, kukly, brouci) a zároveň se tímto zvýšením teploty neporuší samotná konstrukce. Před touto sanací je potřeba odstranit veškeré nečistoty, u kterých by mohlo dojít ke vzplanutí. Vzplanutí vlastní dřevěné konstrukce nehrozí. Principem mikrovlnné sterilizace je šíření elektromagnetických vln. Ty se šíří od zdroje do prostoru a vše, co obsahuje vodu, ohřívají. Až od tohoto jevu se ohřívají okolní organické i anorganické látky. Touto metodou lze likvidovat plísně, houby i dřevokazný hmyz. Použití mikrovln je vhodné tam, kde je kromě odstranění napadení požadováno také vysušení konstrukce. Po provedení obou metod je možné použít chemickou ochranu pro prevenci před případným opětovným napadením biotickými škůdci. Výhodou těchto metod je provádění přímo na zabudovaných dřevěných prvcích a nejsou nutné žádné demontáže. (7)



*Obrázek 3.5* – Schéma termosanace a umístění horkovzdušného potrubí

Zdroj: (Šmíra, 2010)



## 4 Oprava napadených dřevěných konstrukcí

### 4.1 Analýza napadení konstrukce

Na počátku oprav dřevěných konstrukcí je jejich analýza (*Obrázek 4.1*), která začíná od průzkumu konstrukce. V případě napadení biotickými škůdci je potřeba nejprve odhalit o jaký typ napadení se jedná. U dřevokazné houby je nutné určit její ložisko, druh, aktivitu a rozsah poškození. Dřevokazný hmyz se určí podle degradace dřeva, konkrétně výletovými otvory či požerkovými chodbami. Pro další postup je bezpodmínečně nutné znát druh hmyzu, který poruchy provedl. Nedílnou součástí analýzy je i stanovení rozsahu poškození a oslabení dřevěné konstrukce. Velmi důležité je vědět, zda se jedná o napadení aktivní, či nikoliv. Průzkum a analýzu konstrukce by měli provádět osoby s příslušnou kvalifikací a samotnou realizaci osvědčení specialisté. (9)



*Obrázek 4.1* – Odborný pracovník provádějící diagnostiku dřeva

Zdroj: (Drdácký, 2015)

## 4.2 Odstranění dřevokazných hub

Především je důležité nejprve odstranit příčiny vlhkosti, které způsobují konstrukční vady objektu. Zvýšená vlhkost většinou znamená přítomnost dřevokazných hub (*Obrázek 4.2*). Proveďte se naplánování oprav a poté jejich realizace, stejně tak následné ochrany a opatření. Všeobecné zásady postupu při výskytu hub či hniloby jsou následující:

- veškeré napadené dřevo se odseká (odřeže) až ke dřevu zdravému a je odvezeno ze stavby,
- zjistí se příčiny rozvoje, odstraní se ložisko a oddělí se od ostatního prostoru (v mnoha případech je nutno očistit i zdivo pro uložení prvku),
- v případě zcela nově osazovaných prvků se dřevo musí předběžně impregnovat,
- dřevo musí mít vlhkost trvale kolem 15% a prostor se musí větrat,
- během prací je nezbytné průběh neustále kontrolovat, dbát na práci s chemickými prostředky a dodržovat dané pracovní postupy. (9)



*Obrázek 4.2* – Plodnice houby hnědého tlení

Zdroj: (Drdácký, 2015)



### 4.3 Odstranění dřevokazného hmyzu

Tento boj je obvykle velmi složitý a jedná se o dlouhodobý problém. Většinou se nepodaří držet vlhkost dřeva pod 10% a vytvořit tak negativní podmínky pro přežití. Larvy hmyzu mohou dřevo ničit zcela nepozorovaně a dokonce několik let bez zjevného poškození povrchu dřeva (*Obrázek 4.3*). Obecnými připomínkami pro prevenci a odstraňování hmyzu jsou:

- při dodávce dřeva by se do stavby neměla dostat kůra,
- dřevo by mělo být před dodávkou správně skladované,
- nové dřevo do stávajících krovů musí být chemicky ošetřeno,
- prvním krokem je zjištění rozsahu a druhu poškození, poté sestavení plánu sanace,
- při aktivním a rozsáhlém napadení se sanuje celá budova.

Pro likvidaci dřevokazného hmyzu se používají chemické prostředky. Při této metodě se látka často nedostane do všech míst a chemickou sanaci je nutno provádět opakovaně. Spolehlivé metody likvidace jsou horkovzdušná sanace a mikrovlnná sterilizace. Zvýšení teploty vždy spolehlivě hmyz vyhubí. Dalšími likvidačními metodami je použití plynu nebo gamma záření. (9)



**Obrázek 4.3** – Destrukce trámu vlivem tesařika krovového

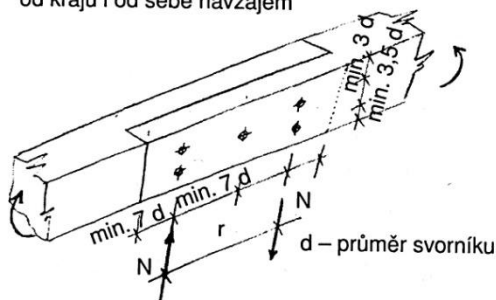
Zdroj: (Drdácký, 2015)

## 4.4 Opravy napadených prvků

Rozlišují se dva základní principy oprav napadeného dřeva. Jedním z nich je výměna a druhým oprava nastavením či příložkami (Obrázek 4.4, Obrázek 4.5, Obrázek 4.6). Dřevo napadené dřevokaznou houbou se vyměňuje v dostatečné vzdálenosti od místa napadení. U dřevokazného hmyzu závisí především na rozsahu poškození a oslabení průřezu dřeva. Hodnotícím kritériem je i samotný estetický vzhled prvků. Dřevěný prvek napadený hmyzem je možné v konstrukci ponechat, pokud nijak neovlivní statické chování celé konstrukce a splní všechny požadavky. V ideálním případě by se napadení mělo odhalovat při předběžném a podrobném průzkumu nedestruktivními metodami. Každá konkrétní konstrukce bude mít své specifické a ojedinělé řešení. Na každém objektu je potřeba stanovit, zda se zachová co nejvíce původních prvků za cenu přidání příložek, ocelových prvků atd. a případně se změní statický model konstrukce, anebo budou prvky měněny a bude zachována funkce původní konstrukce. Na některé méně namáhané a méně napadené prvky lze použít jen vložky, které zajistí přenos sil. (9)

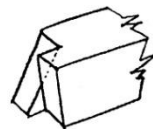
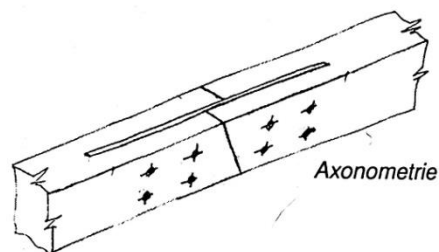
### Svislý plát

- ohybový moment  $M$  je přenášen dvojicí sil  $N$  na rameni  $r$  ( $M = N \times r$ )
- síla  $N$  je dána únosností svorníkového spoje, která je závislá na průměru a počtu svorníků
- únosnost svorníku je možno zvýšit hmoždinkami (například Bulldog)
- je nutné dodržet předepsané vzdálenosti svorníků od krajů i od sebe navzájem

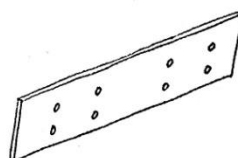


### Vložený ocelový plát

- metoda vhodná při opravě zlomených trámů nebo tam, kde chceme zachovanou část trámu narušit co nejméně
- svorníkový spoj v každé polovině trámu musí přenést ohybový moment v místě styku



Možná úprava styku obou částí trámu, alternativně styk natupo

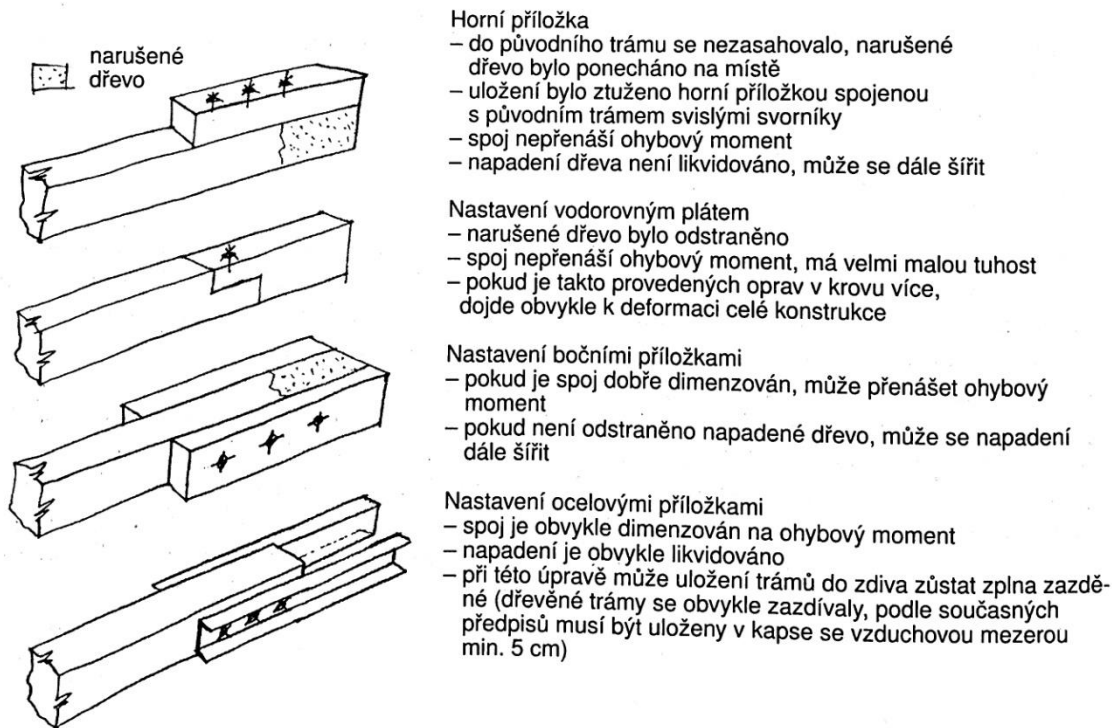


### Ocelový plát

- samotný ocelový plát oslabený otvory musí přenést stejný ohybový moment jako trám v místě styku

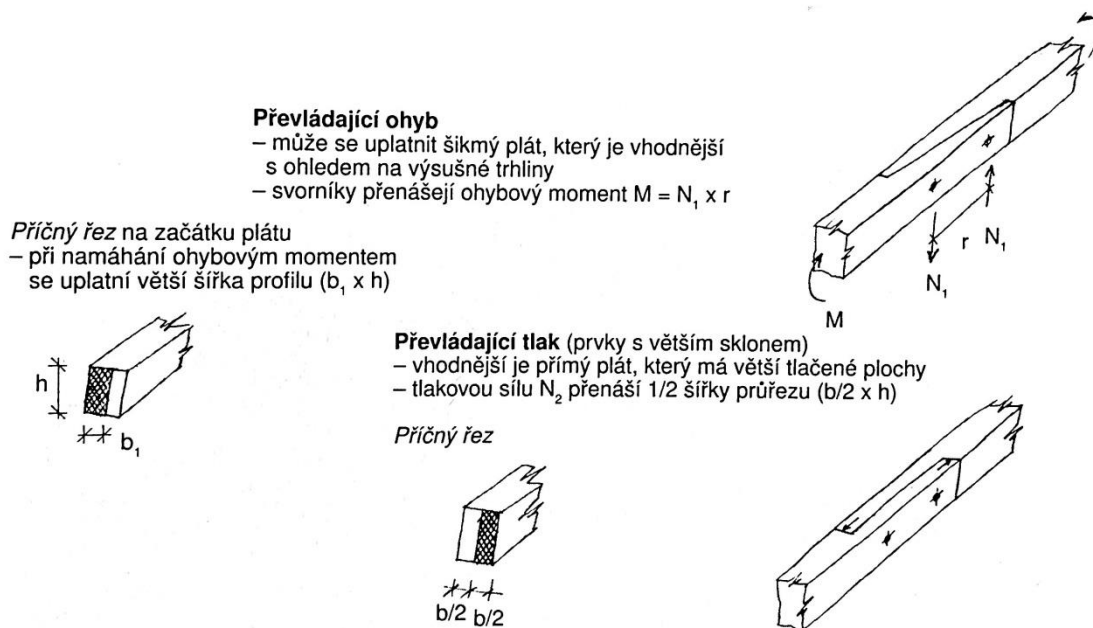
Obrázek 4.4 – Nastavení ohýbaných prvků (vazné, stropní trámy)

Zdroj: (Vinař, 2010)



Obrázek 4.5 – Způsoby nastavení uhníklých konců trámů

Zdroj: (Vinař, 2010)



Obrázek 4.6 – Nastavení prvků tlačných a ohýbaných (vzpěry, krokve)

Zdroj: (Vinař, 2010)



## Experimentální část

### 5 Lokality odběru napadených dřevěných prvků

#### 5.1 Dožice

Tabulka 5.1 – Základní informace: Dožice

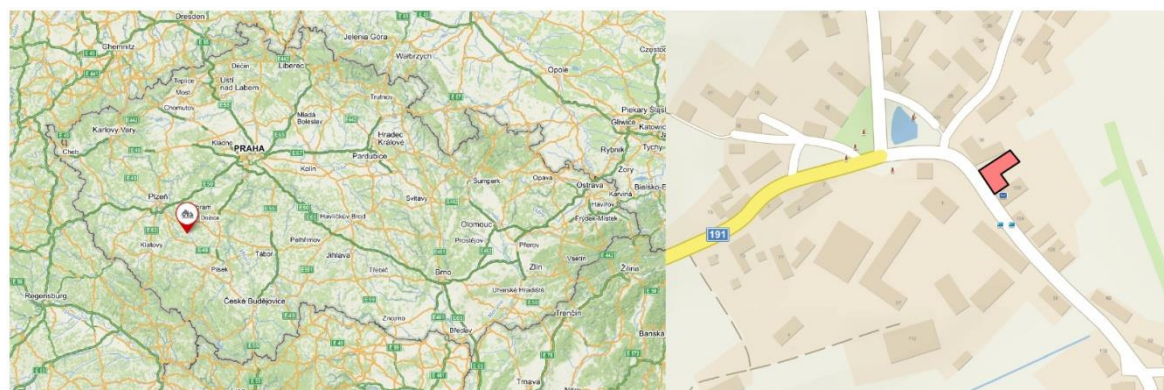
Zdroj: (maps.google.cz a autor, 2023)

Obec:	Dožice, část obce Mladý Smolivec
Okres:	Plzeň-jih
Kraj:	Plzeňský
Rok výstavby:	1920-1930
Rok demontáže krovu:	2023
Důvod demontáže krovu:	rekonstrukce
Účel užívání stavby:	rodinný dům
Prvek krovu:	krokev



Obrázek 5.1 – Fotografie odebraných prvků: Dožice

Zdroj: (autor, 2023)



Obrázek 5.2 – Lokalita odběru: Dožice

Zdroj: (maps.cz a autor, 2023)

## 5.2 Malenice

Tabulka 5.2 – Základní informace: Malenice

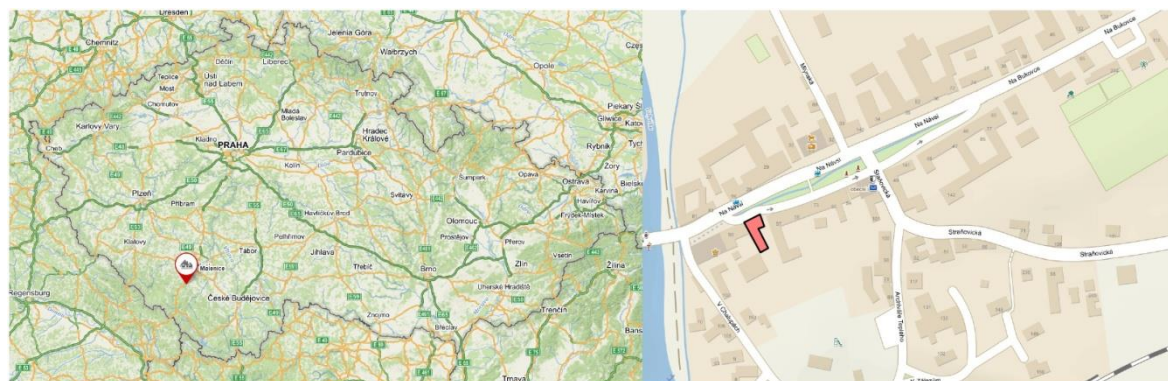
Zdroj: (maps.google.cz a autor, 2023)

Obec:	Malenice
Okres:	Strakonice
Kraj:	Jihočeský
Rok výstavby:	1820
Rok demontáže krovu:	2023
Důvod demontáže krovu:	demolice objektu
Účel užívání stavby:	rodinný dům
Prvek krovu:	stropní trám



Obrázek 5.3 – Fotografie odebraných prvků: Malenice

Zdroj: (autor, 2023)



Obrázek 5.4 – Lokalita odběru: Malenice

Zdroj: (maps.cz a autor, 2023)



### 5.3 Lnáře

Tabulka 5.3 – Základní informace: Lnáře

Zdroj: (maps.google.cz a autor, 2023)

Obec:	Lnáře
Okres:	Strakonice
Kraj:	Jihočeský
Rok výstavby:	1968
Rok demontáže krovu:	2020
Důvod demontáže krovu:	rekonstrukce
Účel užívání stavby:	rodinný dům
Prvek krovu:	krokev



Obrázek 5.5 – Fotografie odebraných prvků: Lnáře

Zdroj: (autor, 2023)



Obrázek 5.6 – Lokalita odběru: Lnáře

Zdroj: (mapy.cz a autor, 2023)

## 5.4 Boršov nad Vltavou

**Tabulka 5.4** – Základní informace: Boršov nad Vltavou

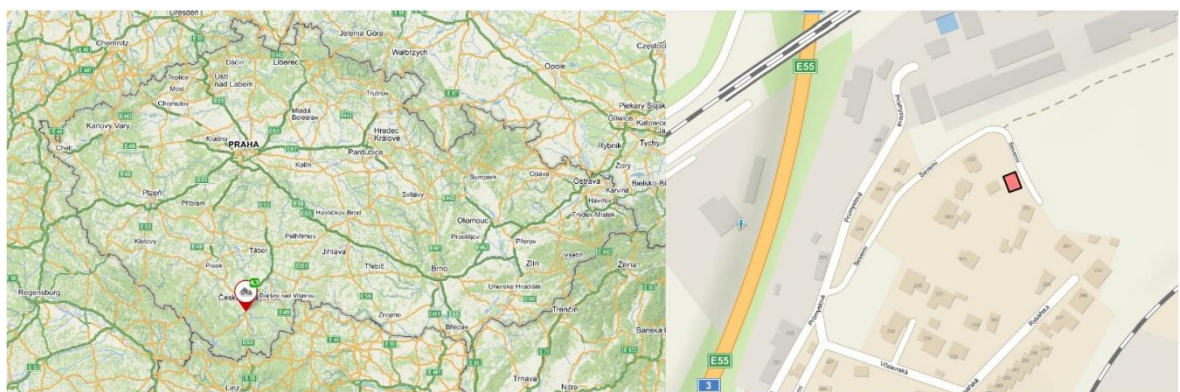
Zdroj: (maps.google.cz a autor, 2023)

Obec:	Boršov nad Vltavou
Okres:	České Budějovice
Kraj:	Jihočeský
Rok výstavby:	1940
Rok demontáže krovu:	2022
Důvod demontáže krovu:	rekonstrukce
Účel užívání stavby:	rodinný dům
Prvek krovu:	vaznice



**Obrázek 5.7** – Fotografie odebraných prvků: Boršov nad Vltavou

Zdroj: (autor, 2023)



**Obrázek 5.8** – Lokalita odběru: Boršov nad Vltavou

Zdroj: (mapy.cz a autor, 2023)



## 6 Zpracování dřevěných prvků

### 6.1 Popis výroby vzorků

Pro zpracování odebraných dřevěných prvků byla oslovena Vyšší odborná a Střední průmyslová škola ve Volyni, z důvodu absolvování studia na této škole. Výuka je zde na velmi vysoké úrovni a pro dřevozpracující obory se v zázemí školy nachází dílny s nejmodernějším strojním vybavením (*Obrázek 6.1*). Právě toto vybavení bylo využito na výrobu vzorků pro experiment praktické části k této diplomové práci.



*Obrázek 6.1* – Dílna pro výrobu vzorků

Zdroj: (evolvyne.cz, 2023)

Dřevěné prvky byly nejprve očištěny od nečistot a poté začal proces výroby vzorků. Využitím několika druhů dřevozpracujících strojů byly vyrobeny vzorky o rozměrech 30x30x300 mm (*Obrázek 6.2*).



*Obrázek 6.2* – Vyrobené vzorky

Zdroj: (autor, 2023)

## 6.2 Výběr a vyřazení vzorků

Po zpracování a výrobě vzorků dřeva bylo nutné určit a vybrat ty nejvhodnější pro následný experiment. Na každém vzorku byla provedena vizuální prohlídka pro stanovení stavu daného vzorku a definování vhodnosti pro účely zkoušky.

Vyřazení vzorku bylo nejčastěji z důvodu:

- výskytu suků (*Obrázek 6.3*),
- rozsáhlé výsušné trhliny (*Obrázek 6.4*),
- neúplného profilu vzorku (*Obrázek 6.5*).

Touto selekcí bylo vybráno 30 vzorků, které byly posouzeny jako vhodné pro tento experiment. Tyto vzorky budou blíže specifikovány v Příloze A pomocí obrázků a grafů.



**Obrázek 6.3** – Vyřazený vzorek z důvodu výskytu suku

Zdroj: (autor, 2023)



**Obrázek 6.4** – Vyřazený vzorek z důvodu výskytu výsušných trhlin

Zdroj: (autor, 2023)



**Obrázek 6.5** – Vyřazený vzorek z důvodu neúplného profilu

Zdroj: (autor, 2023)

### 6.3 Rozdělení vzorků do sad

Vzhledem k vyššímu počtu odběrných míst byly vzorky rozděleny do celkem pěti sad (*Tabulka 6.1*). Díky tomu bude přehlednější a více vypovídající vyhodnocení celého experimentu. Dřevěné prvky odebrané v Dožicích jsou ve dvou sadách z důvodu napadení dvojím typem dřevokazného hmyzu na jedné konstrukci krovu.

*Tabulka 6.1* – Sady vzorků

Zdroj: (autor, 2023)

Označení sady	Lokalita odběru	Dřevina
I	Dožice (červotoč proužkovaný)	smrk
II	Dožice (tesařík krovový)	smrk
III	Malenice	smrk
IV	Lnáře	smrk
V	Boršov nad Vltavou	borovice

### 6.4 Kódové značení vzorků

Každému vzorku bylo přiřazeno unikátní kódové označení, které v sobě nese kromě číselného označení také informace o lokalitě (sadě), druhu napadení a typu prvku v konstrukci krovu. Tento kód se bude nacházet ve většině tabulek a bude tak udržena přehlednost klíčových informací o jednotlivých vzorcích. Vysvětlení kódového označení jednotlivých vzorků se nachází v tabulce níže (*Tabulka 6.2*).

*Tabulka 6.2* – Vysvětlení kódového označení

Zdroj: (autor, 2023)

Sada vzorků	Číslo vzorku	Stav vzorku	Druh napadení	Prvek krovu	Příklad kódového označení
I-V	1-30	Nepoškozený - N Poškozený - P	Tesařík - T Červotoč - Č Žádné - 0	Krokev - KR Trám - TR	III-11-P-Č-TR

## 7 Příprava a metodika experimentu

### 7.1 Příprava zkoušky

Zkouška probíhala v zázemí Fakulty aplikovaných věd v areálu Západočeské univerzity v Plzni, konkrétně v budově Výzkumného centra NTIS. Byl využit lis Zwick-Roell Z050 se schopností vyvinutí zatížení až 50 kN, na kterém lze provádět zkoušky na pevnost v ohybu dřevěných vzorků. Bylo nutné namontovat veškeré potřebné součástky lisu pro usazení a vyzkoušení vzorků. Dále bylo připraveno osvětlení zkušebního místa a připojen fotoaparát pro dílčí zaznamenávání průběhu zkoušky (*Obrázek 7.1*). Lis i fotoaparát byly propojeny s místním počítačem, kde byla shromažďována veškerá data zkoušky.



*Obrázek 7.1* – Příprava zkoušky

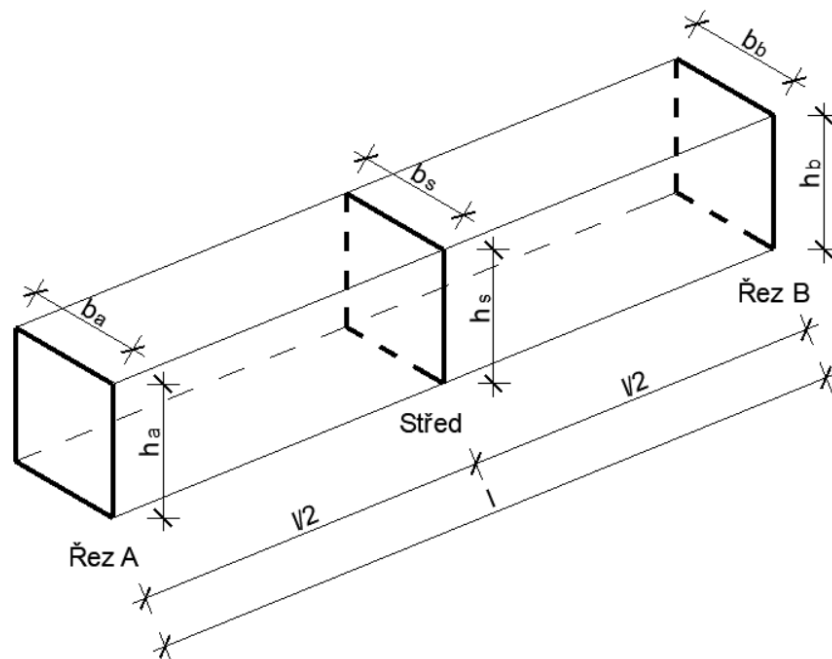
Zdroj: (autor, 2023)



## 7.2 Vstupní hodnoty vzorků

### 7.2.1 Rozměry vzorků

Byla změřena výška a šířka průřezu ve třech místech vzorku a také jeho délka (Obrázek 7.2). Tyto hodnoty byly zaznamenány do tabulky (Tabulka 7.1) a využity pro další výpočty.



Obrázek 7.2 – Schéma měření rozměrů

Zdroj: (autor, 2023)

Pro měření bylo použito posuvné měřítko, tzv. šuplera (Obrázek 7.3). Naměřené hodnoty byly odebrány s přesností na 0,05 mm.



Obrázek 7.3 – Posuvné měřítko (šuplera)

Zdroj: (autor, 2023)

Tabulka 7.1 – Rozměry vzorků

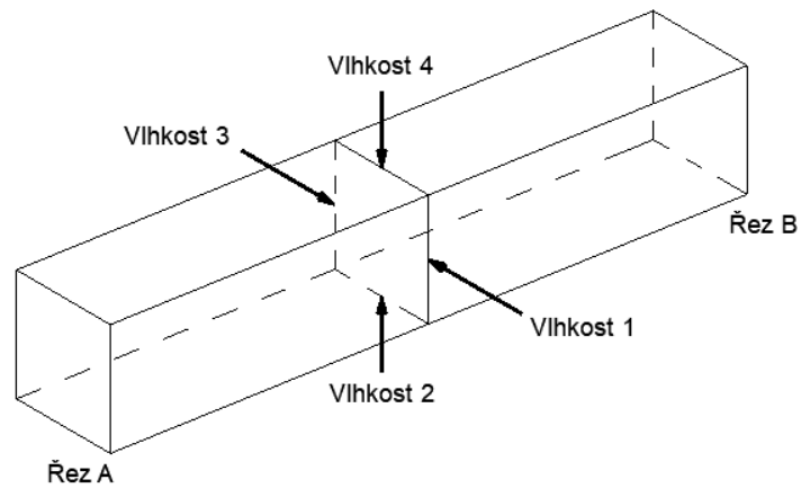
Zdroj: (autor, 2023)

Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						délka $l$ [mm]
			Řez A		Střed		Řez B		
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]	
I	1	I-1-N-0-KR	29,9	31,1	30,6	30,35	30,05	30,25	300
	2	I-2-N-0-KR	30,55	30,25	30,35	30,25	30,5	30,45	
	3	I-3-P-Č-KR	30,05	30,9	30,25	30,6	29,95	30,1	
	4	I-4-P-Č-KR	30,05	30	29,7	29,7	30,05	30,05	
II	5	II-5-N-0-KR	30,25	30,4	29,5	30,3	29,5	30,5	300
	6	II-6-N-0-KR	30,6	30,2	30,3	30,6	30,6	30,6	
	7	II-7-P-T-KR	30,45	30,25	30,1	29,75	30	29,85	
	8	II-8-P-T-KR	30	30,1	30,2	29,8	30,25	30,4	
III	9	III-9-N-0-TR	30,7	30,6	30,4	30,75	30,75	30,8	300
	10	III-10-N-0-TR	30,35	30,75	30,5	30,6	30,15	30,65	
	11	III-11-P-Č-TR	29,95	31,1	28,8	30,8	29,75	30,2	
	12	III-12-P-Č-TR	29,8	31,1	30	31	30,45	30,35	
IV	13	IV-13-N-0-KR	30,1	30,55	30,2	30,75	30,5	30,45	300
	14	IV-14-N-0-KR	30,45	30,05	30,8	30,35	30,7	30,5	
	15	IV-15-P-T-KR	30,4	39,3	30,1	30,7	30,2	30,25	
	16	IV-16-P-T-KR	30,4	30,35	29,5	30,35	30,4	30,6	
	17	IV-17-P-T-KR	30,35	30,05	30,35	30,2	30,15	29,7	
	18	IV-18-P-T-KR	30	29,5	30,1	29,9	29,7	29,55	
	19	IV-19-P-T-KR	29,35	30	29,5	30,8	29,35	30,4	
V	20	IV-20-P-T-KR	30,1	29,25	30,6	30,55	29,7	30	300
	21	V-21-N-0-TR	29,7	30,3	30,3	30	30,5	29,95	
	22	V-22-N-0-TR	30,55	30,6	30,2	30,4	29,65	30,5	
	23	V-23-P-T+Č-TR	30,75	29,65	30,6	30,5	30,5	30,15	
	24	V-24-P-T+Č-TR	30,85	30,05	30,95	30,5	30,95	30,55	
	25	V-25-P-T+Č-TR	29	30,6	29,4	30,5	28,1	30,3	
	26	V-26-P-T+Č-TR	30,5	30,1	30,7	30,35	29,35	29,55	
	27	V-27-P-T+Č-TR	30,15	30,1	30,05	31	30,15	29,95	
	28	V-28-P-T+Č-TR	31	29,25	30,95	30,5	29,4	29,85	
	29	V-29-P-T+Č-TR	30,35	29	30,25	29,35	30,75	30	
30	V-30-P-T+Č-TR	30,5	30,8	30,55	30,65	30,6	30,15		

Pozn.: Délka vzorku  $l$  byla nastavena při řezání na 300 mm a nebyla měřena posuvným měřítkem.

### 7.2.2 Vlhkost vzorků

Vlhkost byla měřena pomocí vlhkoměru stavebních materiálů (Obrázek 7.5). Měřila se vlhkost na čtyřech podélných stranách vzorku v polovině délky (Obrázek 7.4). Tyto hodnoty byly rovněž zapsány do tabulky (Tabulka 7.2) a z nich se poté vypočítala průměrná vlhkost celého vzorku. V případě, že se na měřené straně nacházelo rozsáhlejší napadení nebo výsušná trhlina, nebyla tato hodnota do průměru započítávána.



Obrázek 7.4 – Schéma měření vlhkosti

Zdroj: (autor, 2023)

Měření vlhkoměrem probíhalo tak, že byla přiložena měřicí část zařízení na vzorek, a na displeji byla odečtena naměřená vlhkost. Jedná se o nedestruktivní zjišťování vlhkosti dřeva.



Obrázek 7.5 – Vlhkoměr stavebních materiálů

Zdroj: (autor, 2023)

**Tabulka 7.2** – Vlhkost vzorků

Zdroj: (autor, 2023)

Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Vlhkost vzorku [%]				Průměrná vlhkost vzorku [%]	Procentuální podíl vztážen k 12% vlhkosti [%]
			Vlhkost 1	Vlhkost 2	Vlhkost 3	Vlhkost 4		
I	1	I-1-N-0-KR	11,4	12,3	11,2	10,1	11,25	93,75
	2	I-2-N-0-KR	12,1	13	11,7	10,8	11,90	99,17
	3	I-3-P-Č-KR	12,1	12	11,8	12,4	12,08	100,63
	4	I-4-P-Č-KR	11,5	11,7	12,7	12,2	12,03	100,21
II	5	II-5-N-0-KR	11,4	11,5	11	11,3	11,30	94,17
	6	II-6-N-0-KR	11,5	11,6	11,9	11,9	11,73	97,71
	7	II-7-P-T-KR	11,7	10,8	12,7	11,9	11,78	98,13
	8	II-8-P-T-KR	12,9	11,9	9,2	11,3	11,33	94,38
III	9	III-9-N-0-TR	11,9	10,8	11	11,6	11,33	94,38
	10	III-10-N-0-TR	11	11,5	10,3	10,4	10,80	90,00
	11	III-11-P-Č-TR	10,6	7,4*	8,7*	8,3*	10,60	88,33
	12	III-12-P-Č-TR	9,2**	8,4**	9,8	10,5	10,15	84,58
IV	13	IV-13-N-0-KR	12,6	12,4	12	10,6	11,90	99,17
	14	IV-14-N-0-KR	12,5	11	11,4	11,6	11,63	96,88
	15	IV-15-P-T-KR	15,7	12,7	15,2	14	14,40	120,00
	16	IV-16-P-T-KR	13,6	13,6	15,3	13,2	13,93	116,04
	17	IV-17-P-T-KR	15,1	15,5	15,9	14,2	15,18	126,46
	18	IV-18-P-T-KR	13,8	15,9	16,6	14,3	15,15	126,25
	19	IV-19-P-T-KR	13,5	14	13,9	12,9	13,58	113,13
	20	IV-20-P-T-KR	14,3	13,3	12,8	9*	13,47	112,22
V	21	V-21-N-0-TR	11,3	11,9	10,9	12	11,53	96,04
	22	V-22-N-0-TR	12,4	11,7	10,6	10,6	11,33	94,38
	23	V-23-P-T+Č-TR	11,6	10,4	12,4	11,2	11,40	95,00
	24	V-24-P-T+Č-TR	12,1	8,9**	11,4	13,1	12,20	101,67
	25	V-25-P-T+Č-TR	12,3	11,9	11,1	11,1	11,60	96,67
	26	V-26-P-T+Č-TR	13,1	11,8	11,9	12,9	12,43	103,54
	27	V-27-P-T+Č-TR	11,7	10,2	10,5	11,8	11,05	92,08
	28	V-28-P-T+Č-TR	11,3	10	11,4	11,3	11,00	91,67
	29	V-29-P-T+Č-TR	12	11,4	12,5	12,5	12,10	100,83
	30	V-30-P-T+Č-TR	11,7	10,6	11,9	11,8	11,50	95,83

Pozn.:

\* vlhkost měřena v místě výsušné trhliny

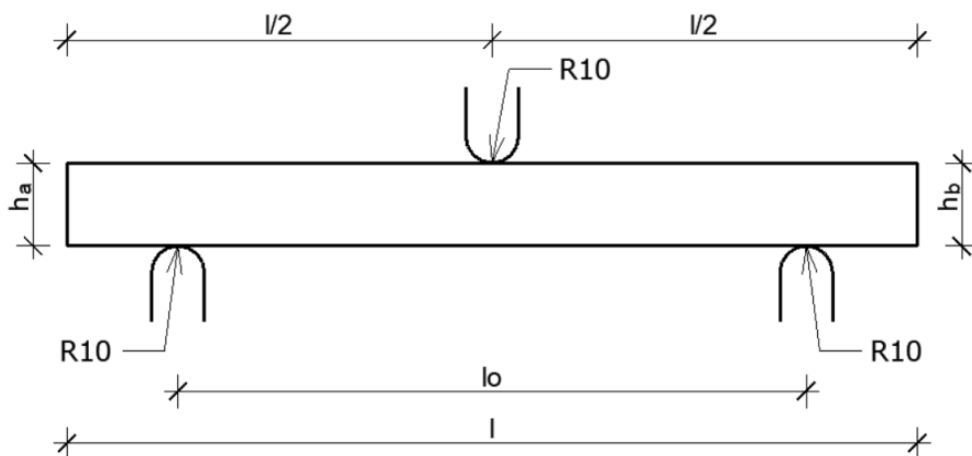
\*\* vysoká míra poškození dřevokazným hmyzem

Takto ovlivněné hodnoty nebyly započítávány do průměrné vlhkosti vzorku.

### 7.3 Metodika experimentu

Inspirací pro sestavení tohoto experimentálního zkoušení byla norma ČSN 49 0115.

Zkouška každého vzorku začínala tím, že se označila poloha podpor pro přesné umístění vzorku do zkušebního zařízení. Vzdálenost podpor  $l_0$  byla určena na 240 mm. Po označení byl vzorek umístěn do měřicího lisu. Poloměr podpor a zatěžovacího trnu byl R10 (Obrázek 7.6).

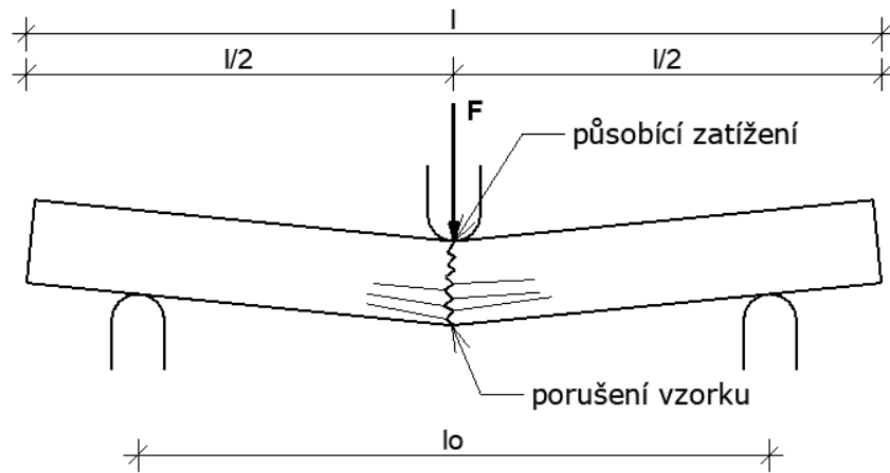


Obrázek 7.6 – Uložení vzorku

Zdroj: (autor, 2023)

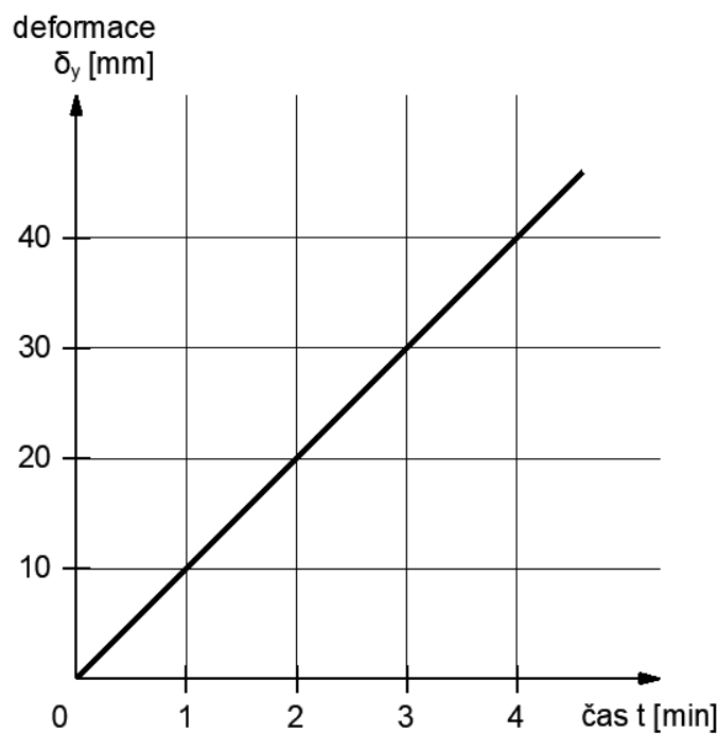
Pro docílení vhodné doby zkoušky a nastavení působícího zatížení byly odzkoušeny dva testovací vzorky. Uvažovaná doba zkoušky byla 60-90 vteřin. Spojení tohoto údaje a testovacího měření vedlo ke stanovení zatížení pro 30 základních vzorků na 10 mm/min (Obrázek 7.8). Dalším krokem bylo spuštění zatěžování a během této fáze byly zaznamenávány fotografie a hodnoty zkoušky.

Po dosažení maximální působící síly a porušení vzorku bylo zatěžování ukončeno, vzorek byl odlehčen od lisu a odebrán (Obrázek 7.7). Zaznamenaná data byla uložena, lis byl očištěn od nečistot a tím mohla být zahájena zkouška dalšího vzorku. Tento způsob měření byl aplikován u všech 30 vzorků.



Obrázek 7.7 – Způsob zatížení

Zdroj: (autor, 2023)



Obrázek 7.8 – Grafické znázornění zatížení

Zdroj: (autor, 2023)

## 8 Výsledky měření a výpočtů

### 8.1 Teorie výpočtů

Pro dosažení výsledků byly použity následující výpočetní vzorce:

$$\sigma_w = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_o}{2 \cdot b \cdot h^2},$$

kde  $\sigma_w$  je pevnost ve statickém ohybu při vlhkosti  $w$  [ $MPa$ ],

$F_{max}$  lomové zatížení [ $N$ ],

$l_o$  osová vzdálenost podpor [ $mm$ ],

$h$  průměrná výška průřezu [ $mm$ ],

$b$  průměrná šířka průřezu [ $mm$ ]. (10)

Tomuto vzorci předchází následující úpravy:

$$\sigma_w = \frac{M_o}{W_o} = \frac{\frac{F_{max} \cdot l_o}{4}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{F_{max} \cdot l_o}{4} \cdot \frac{6}{b \cdot h^2} = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_o}{2 \cdot b \cdot h^2},$$

kde  $M_o$  je ohybový moment [ $N \cdot mm$ ],

$W_o$  modul průřezu [ $mm^3$ ]. [pozn. aut.]

Posledním výpočtem byl přepočet pevnosti  $\sigma_w$  na pevnost při 12% vlhkosti dřeva  $\sigma_{12}$  podle vzorce:

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1 + \alpha(w - 12)],$$

kde  $\alpha$  je opravný vlhkostní koeficient stejný pro všechny dřeviny 0,04;

$w$  průměrná vlhkost dřeva [%]. (10)

## 8.2 Výsledky

Tabulka 8.1 – Výsledky měření a výpočtů

Zdroj: (autor, 2023)

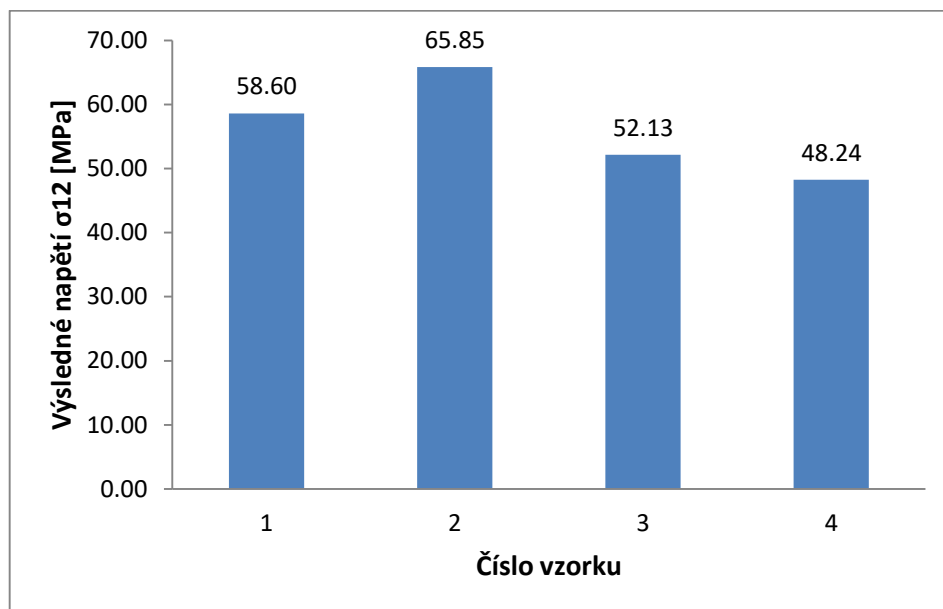
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]
I	1	922,60	4700,15	4732,23	283933,71	60,41	58,60
	2	923,65	4666,99	5142,43	308545,92	66,11	65,85
	3	918,54	4674,37	4048,93	242935,62	51,97	52,13
	4	895,51	4465,09	3586,03	215161,86	48,19	48,24
II	5	904,40	4582,29	4614,85	276890,82	60,43	58,73
	6	929,23	4718,44	4509,82	270589,44	57,35	56,72
	7	903,99	4512,42	4548,14	272888,10	60,47	59,93
	8	907,52	4552,70	3846,84	230810,10	50,70	49,33
III	9	940,44	4814,54	3814,88	228892,74	47,54	46,26
	10	930,22	4754,47	3757,35	225440,70	47,42	45,14
	11	905,65	4633,91	2421,79	145307,46	31,36	29,60
	12	927,07	4761,52	2617,18	157030,98	32,98	30,54
IV	13	925,66	4718,27	4274,40	256463,82	54,36	54,14
	14	928,70	4689,91	3388,15	203289,18	43,35	42,70
	15	1010,30	5626,79	3948,08	236884,92	42,10	46,14
	16	916,04	4646,38	3797,53	227851,62	49,04	52,81
	17	908,00	4537,45	4357,49	261449,52	57,62	64,94
	18	887,52	4385,84	3433,31	205998,48	46,97	52,89
	19	893,76	4528,38	3979,35	238760,94	52,73	56,05
	20	901,99	4499,93	1433,07	85984,02	19,11	20,23
V	21	907,51	4550,17	3573,01	214380,66	47,11	46,22
	22	919,07	4671,92	2376,64	142598,22	30,52	29,70
	23	921,56	4623,17	2374,09	142445,58	30,81	30,07
	24	938,84	4751,55	1991,40	119483,70	25,15	25,35
	25	878,46	4460,60	2600,38	156022,98	34,98	34,42
	26	905,50	4527,50	2785,34	167120,46	36,91	37,54
	27	914,04	4623,52	3714,44	222866,13	48,20	46,37
	28	909,44	4526,99	3468,77	208126,08	45,97	44,14
	29	896,75	4401,56	1036,82	62209,00	14,13	14,19
	30	932,79	4746,88	3501,79	210107,34	44,26	43,38



## 9 Vyhodnocení výsledků

### 9.1 Porovnání výsledných napětí

#### 9.1.1 Porovnání napětí v rámci sady vzorků I



*Graf 9.1* – Výsledné napětí sady vzorků I

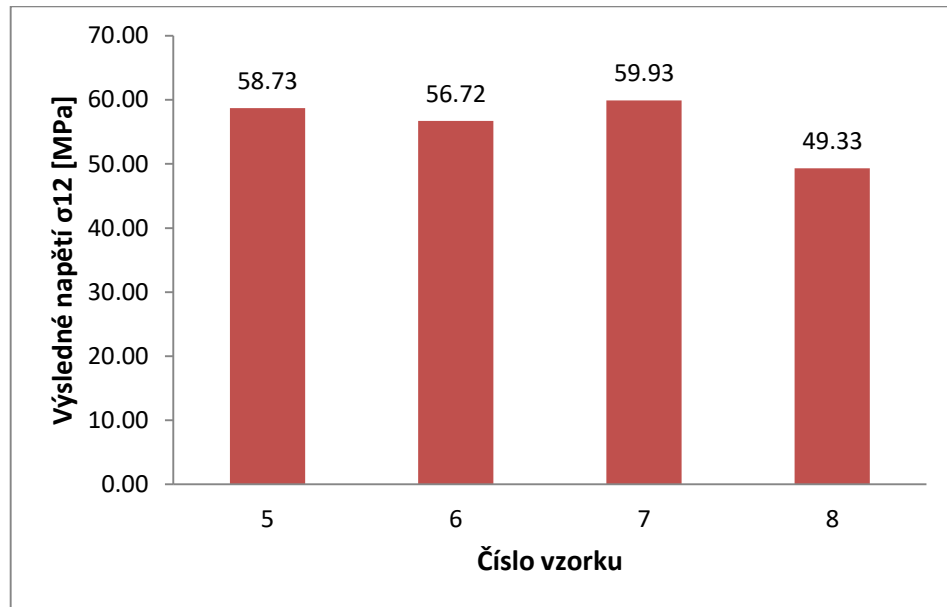
Zdroj: (autor, 2023)

Vzorky č. 1 a 2 byly zhodnoceny po vizuální prohlídce jako prvky nepoškozené dřevokazným hmyzem. Zbylé dva vzorky jsou napadeny červotočem proužkovaným. Všechny vzorky sady pocházejí z jednoho dřevěného prvku krovu, v tomto případě z krokve.

I přes to, že jsou oba zdravé vzorky dřeva ze stejného kusu materiálu, dosahují poměrně významně odlišných hodnot (*Graf 9.1*). Pro porovnání bude uvažován jako referenční vzorek č. 1, protože vzorek č. 2 obsahuje dva suky, které mohly pevnost vzorku ovlivnit. Při zkoušce navíc došlo k porušení právě v místech, kde se tyto vady dřeva nacházely.

Vzorek č. 3 a 4 z vizuálního hodnocení žádné přirozené vady dřeva nevykazuje. Pokles pevnosti lze tedy přiřadit vlivu napadení dřevokazným hmyzem, zde konkrétně červotočem. U vzorku č. 3 jde o pokles pevnosti, který dosahuje 11% z celkové pevnosti referenčního vzorku, pevnost vzorku č. 4 klesla o 17,6%.

### 9.1.2 Porovnání napětí v rámci sady vzorků II



**Graf 9.2** – Výsledné napětí sady vzorků II

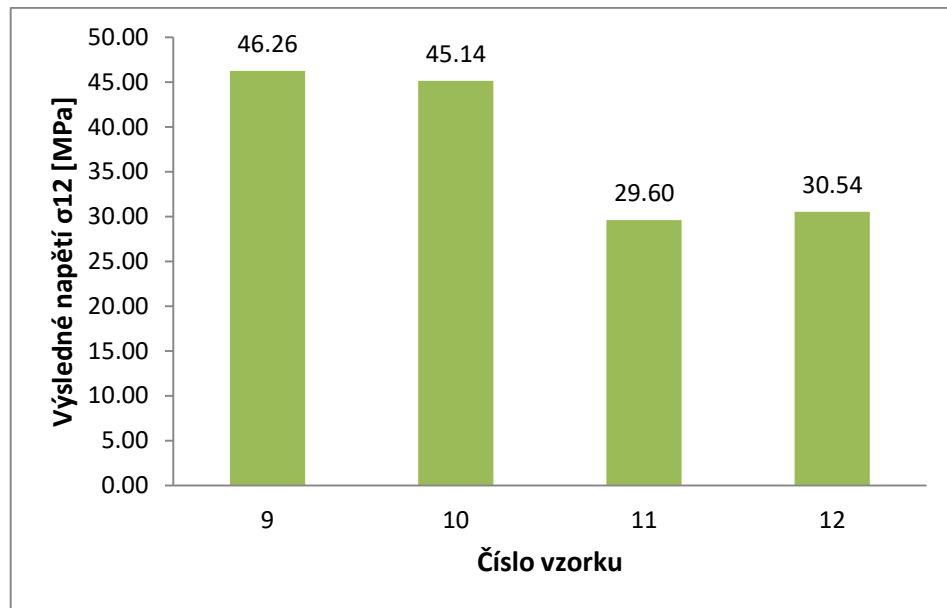
Zdroj: (autor, 2023)

Stejně tak jako u sady I, i v této sadě jsou první dva vzorky (č. 5 a 6) neporušené dřevokazným hmyzem a naopak druhé dva (č. 7 a 8) ano. V této sadě se jedná o napadení tesaříkem krovovým. Všechny vzorky sady pocházejí z jednoho kusu materiálu, i v tomto případě z krokve.

Nenapadené vzorky dosahují obdobných hodnot (*Graf 9.2*) a jako referenční hodnota pro porovnání bude použit aritmetický průměr těchto dvou pevností, který činí 57,73 MPa.

Na vzorku č. 7 se nacházejí zjevná porušení způsobená přítomností tesaříka krovového. Avšak nedošlo k žádnému snížení pevnosti oproti porovnávané hodnotě. To bude patrně způsobeno tím, že poškození není příliš rozsáhlé a materiál se chová jako zdravé dřevo. Porušení vzorku č. 8 je již při vizuálním hodnocení o něco vážnější, než u vzorku č. 7, a to má vliv na výsledné napětí. Toto napětí je vůči referenční hodnotě menší o 14,5%.

### 9.1.3 Porovnání napětí v rámci sady vzorků III



**Graf 9.3** – Výsledné napětí sady vzorků III

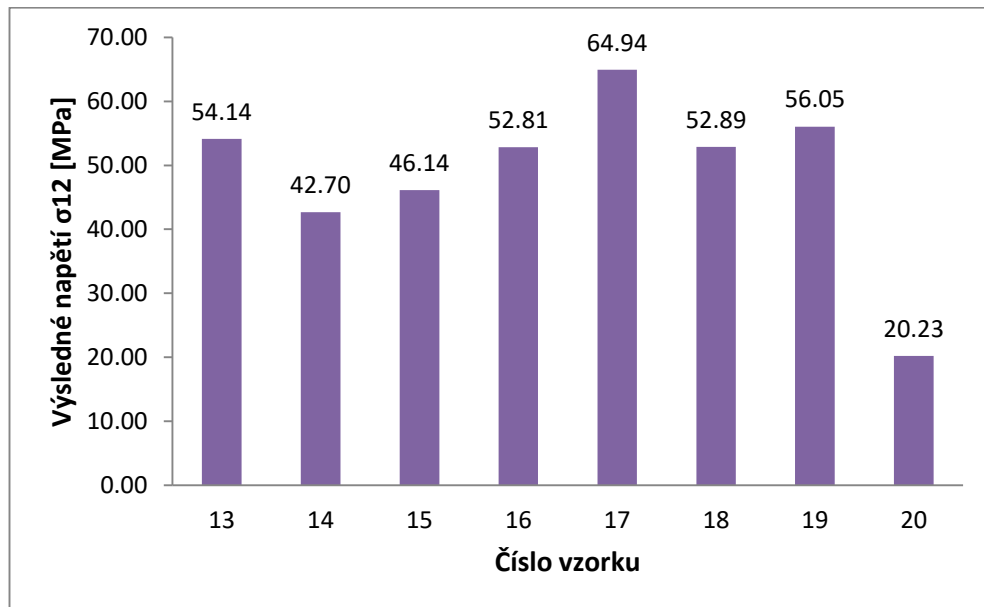
Zdroj: (autor, 2023)

Také skupina vzorků v rámci sady III je rozdělena na vzorky nenapadené (č. 9 a 10) a vzorky napadené dřevokazným hmyzem (č. 11 a 12). V rámci této sady se hodnotí vzorky pocházející ze stropního trámu napadeného červotočem proužkovaným. Všechny vzorky byly vyrobeny z jednoho trámu.

Podobně jako u předešlé sady, nenapadené vzorky dosahují obdobných hodnot (*Graf 9.3*) a jako referenční hodnota pro porovnání bude použit aritmetický průměr těchto dvou pevností, který činí 45,7 MPa.

Ani jeden ze vzorků v této sadě neobsahuje viditelné přirozené nedostatky či vady a lze uvažovat, že pokles pevnosti zapříčinilo napadení biotickým škůdcem. Napadené vzorky dosahují velmi vysokých ztrát pevnosti. Výsledné napětí vzorku č. 11 má o 35,2% nižší pevnost než je referenční hodnota. Vzorek č. 12 ztratil oproti této pevnosti 33,1%.

### 9.1.4 Porovnání napětí v rámci sady vzorků IV



**Graf 9.4** – Výsledné napětí sady vzorků IV

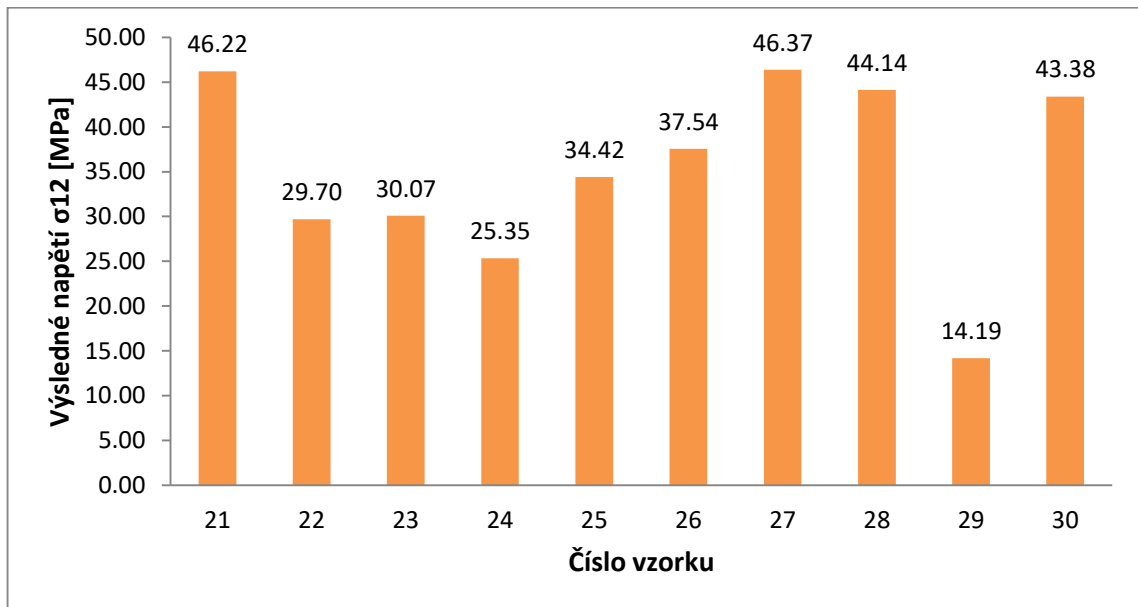
Zdroj: (autor, 2023)

Předposlední sada, sada vzorků IV, obsahuje celkem osm vzorků (*Graf 9.4*). Byl dodržen formát rozdělení nenapadených vzorků a i zde jsou první dva vzorky sady (č. 13 a 14) ze zdravého dřeva. Tato sada vzorků byla vyrobena z jednoho kusu krokve napadené tesaříkem krovovým.

Jako referenční prvek bude použit vzorek č. 13. Vzorek č. 14 obsahuje v místě spodních vláken uprostřed vzorku suk a v důsledku toho není jeho výsledná pevnost relevantní pro tento experiment.

Pro porovnání nebudou uvažovány vzorky č. 17, 19 a 20. Porušení vzorků č. 17 a č. 19, způsobené napadením tesaříkem krovovým, není příliš rozsáhlé a dosahují vyšší pevnosti než referenční vzorek. Nízkou pevnost vzorku č. 20 zapříčinila výsušná trhлина, která oslabila celý vzorek. Zbylé vzorky v sadě byly oslabeny vlivem napadení dřevokazným hmyzem. Konkrétně vzorek č. 15 o 14,7%, vzorek č. 16 o 2,4% a vzorek č. 18 o 2,3%.

### 9.1.5 Porovnání napětí v rámci sady vzorků V



**Graf 9.5** – Výsledné napětí sady vzorků V

Zdroj: (autor, 2023)

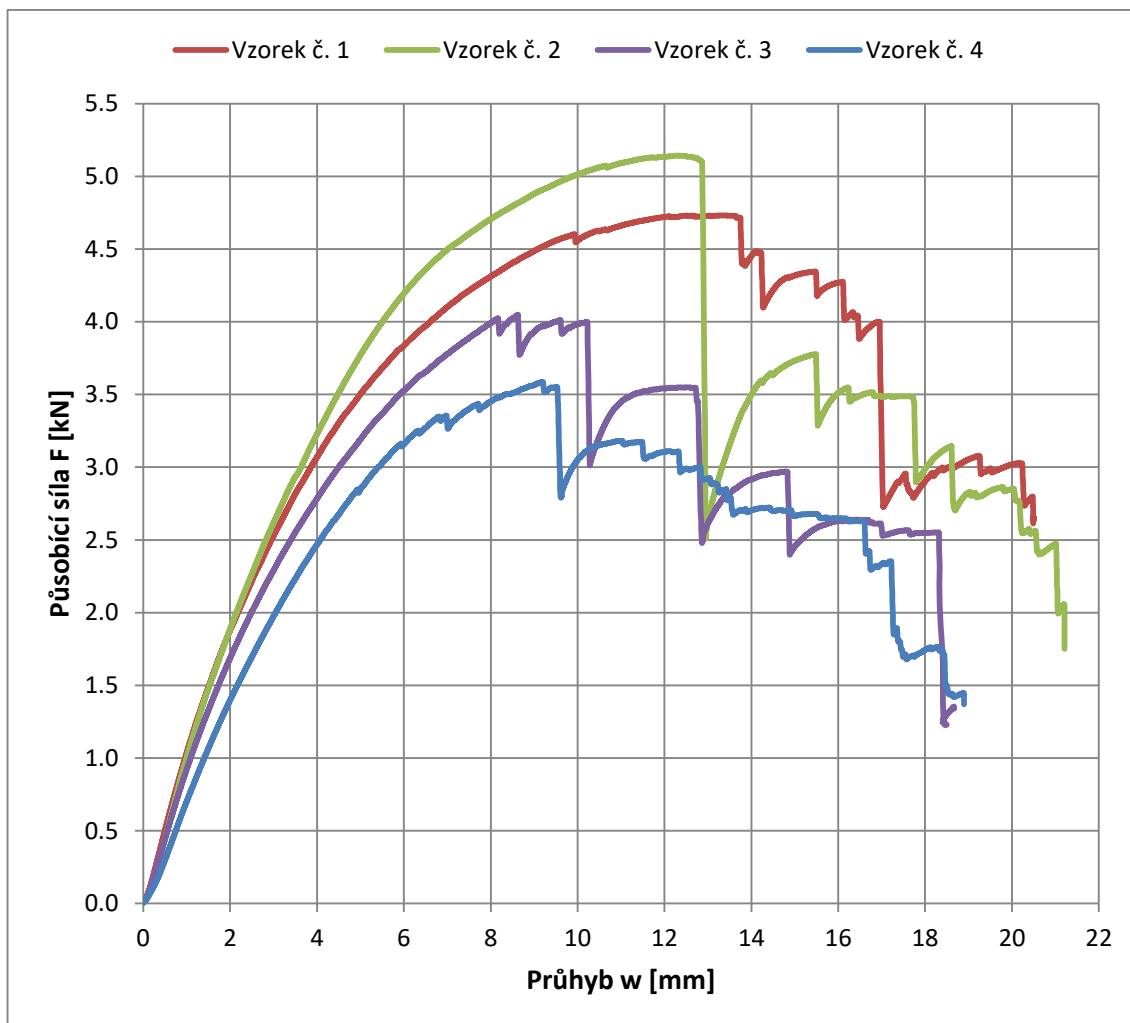
Poslední posuzovanou sadou je sada vzorků V (*Graf 9.5*). V této sadě se nachází nejvíce vzorků a to celkem deset. Stejný postup jako u všech ostatních sad byl aplikován i zde. První dva vzorky (č. 21 a 22) nejsou poškozeny žádným z dřevokazných škůdců. Zbytek vzorků v sadě je porušen kombinací napadení tesařika krovového a červotoče proužkovaného. Všechny vzorky jsou vyrobeny z jednoho dřevěného prvku, konkrétně středové vaznice krovu. Velkým problémem u tohoto prvku byl vysoký počet vad dřeva, v tomto případě suků.

Výchozí hodnotou pro porovnání bude výsledná pevnost vzorku č. 21. Pevnost vzorku č. 22 byla ovlivněna výskytem soku ve spodních vláknech, a proto ji není možné použít pro další porovnání.

Z porovnání jsou vyřazeny vzorky č. 24 a 29, které byly rovněž porušeny přítomností suků ve dřevě. Vzorek č. 27 obsahuje malé množství porušení dřevokazným hmyzem a nedošlo u něj ke ztrátě pevnosti. U zbývajících vzorků (č. 23, 25, 26, 28, 30) došlo k poklesu pevnosti oproti referenční hodnotě v rozsahu od 4,51% do 34,94%.

## 9.2 Porovnání pracovních diagramů

### 9.2.1 Porovnání pracovních diagramů v rámci sady vzorků I

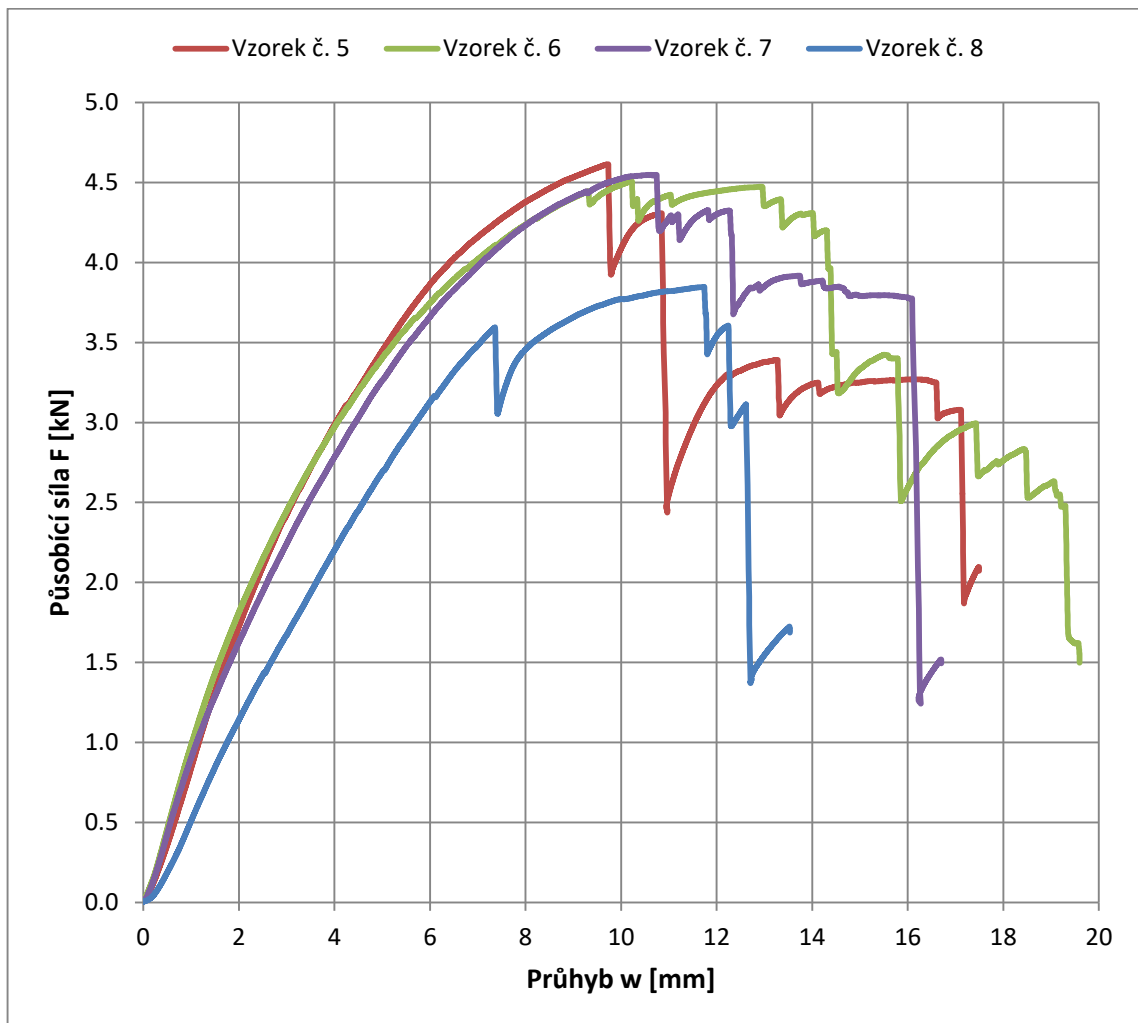


Graf 9.6 – Pracovní diagramy sady vzorků I

Zdroj: (autor, 2023)

V prvním porovnání lze z grafu (Graf 9.6) odečíst, které vzorky sady I byly napadeny dřevokazným hmyzem a které nikoliv. Prvním rozdílem mezi těmito typy vzorků je maximální dosažené zatížení působící silou  $F$ , kdy zdravé dřevěné vzorky (č. 1 a 2) dosahují vyšších hodnot, než vzorky poškozené (č. 3 a 4). Další rozdílem je velikost průhybu, ve které dochází ke kritickému zatížení. U napadených vzorků dochází k porušení maximální silou mezi 8 a 10 mm průhybu  $w$ , oproti 12-14 mm u zdravého dřeva. Posledním rozdílem je průběh křivky grafu. U poškozeného dřeva dřevokazným hmyzem dochází k poklesům působícího zatížení vlivem postupného praskání vláken mezi pozerkovými chodbičkami. Křivky grafu nenapadených vzorků klesají až po dosažení maximálního zatížení.

### 9.2.2 Porovnání pracovních diagramů v rámci sady vzorků II

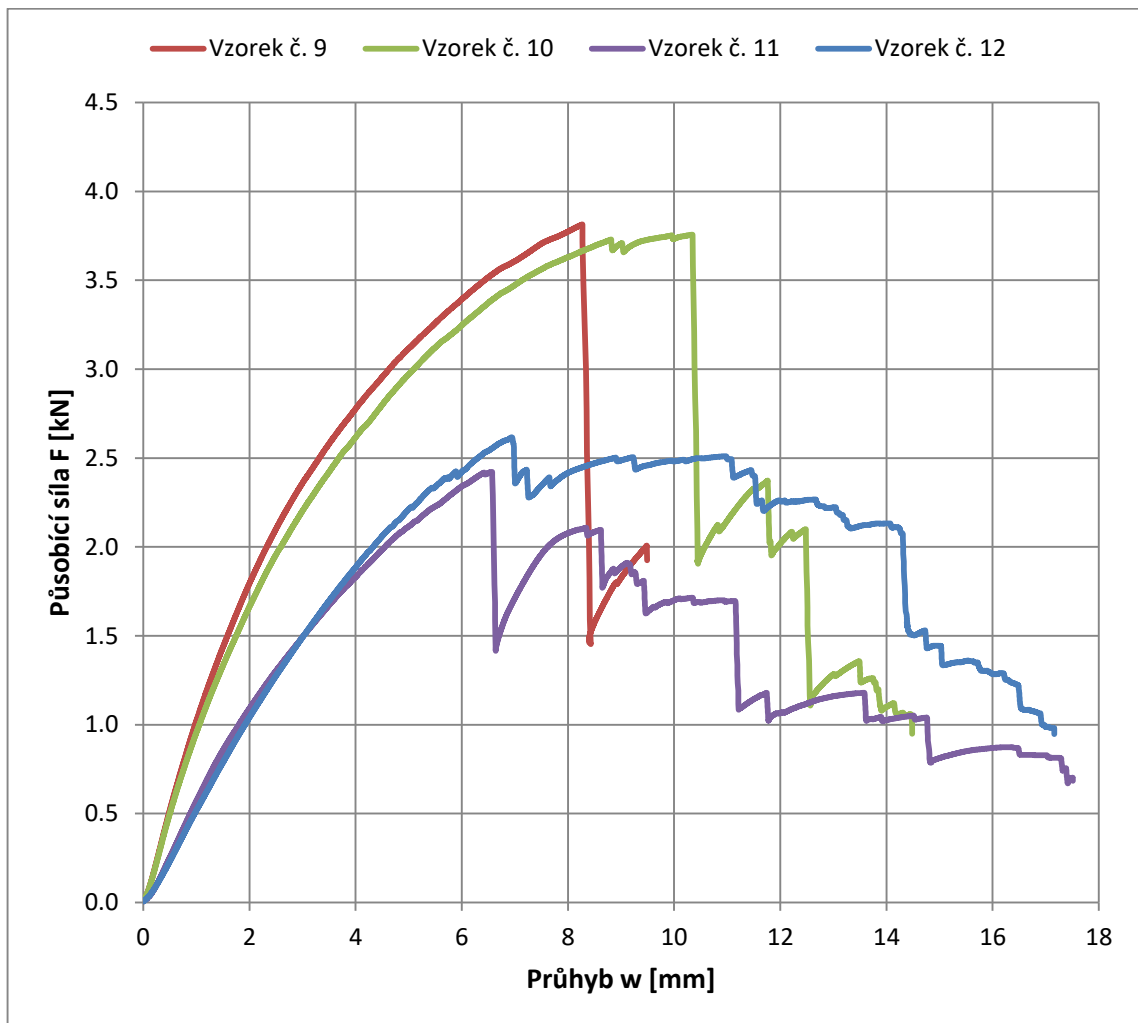


Graf 9.7 – Pracovní diagramy sady vzorků II

Zdroj: (autor, 2023)

Druhý graf (*Graf 9.7*) porovnává pracovní diagramy získané při zkoušce sady vzorků II. Jak již bylo zmíněno v porovnání výsledných napětí (*Kapitola 9.1.2*), vzorek č. 7 se chová v důsledku mírného napadení dřevokazným hmyzem jako zdravé dřevo vzorků č. 5 a 6. Je to patrné i z tohoto grafu, kdy je průběh pracovních diagramů těchto tří vzorků velmi podobný. Vzorek č. 7 rovněž nevykazuje žádné poklesy působící síly až do dosažení maximálního zatížení. Znatelně více porušený vzorek č. 8 dosahuje menší maximální síly a ke kritickému poškození tělesa dochází mezi 6-8 mm průhybu  $w$ . První tři vzorky se dostaly na hodnoty okolo 10 mm průhybu.

### 9.2.3 Porovnání pracovních diagramů v rámci sady vzorků III



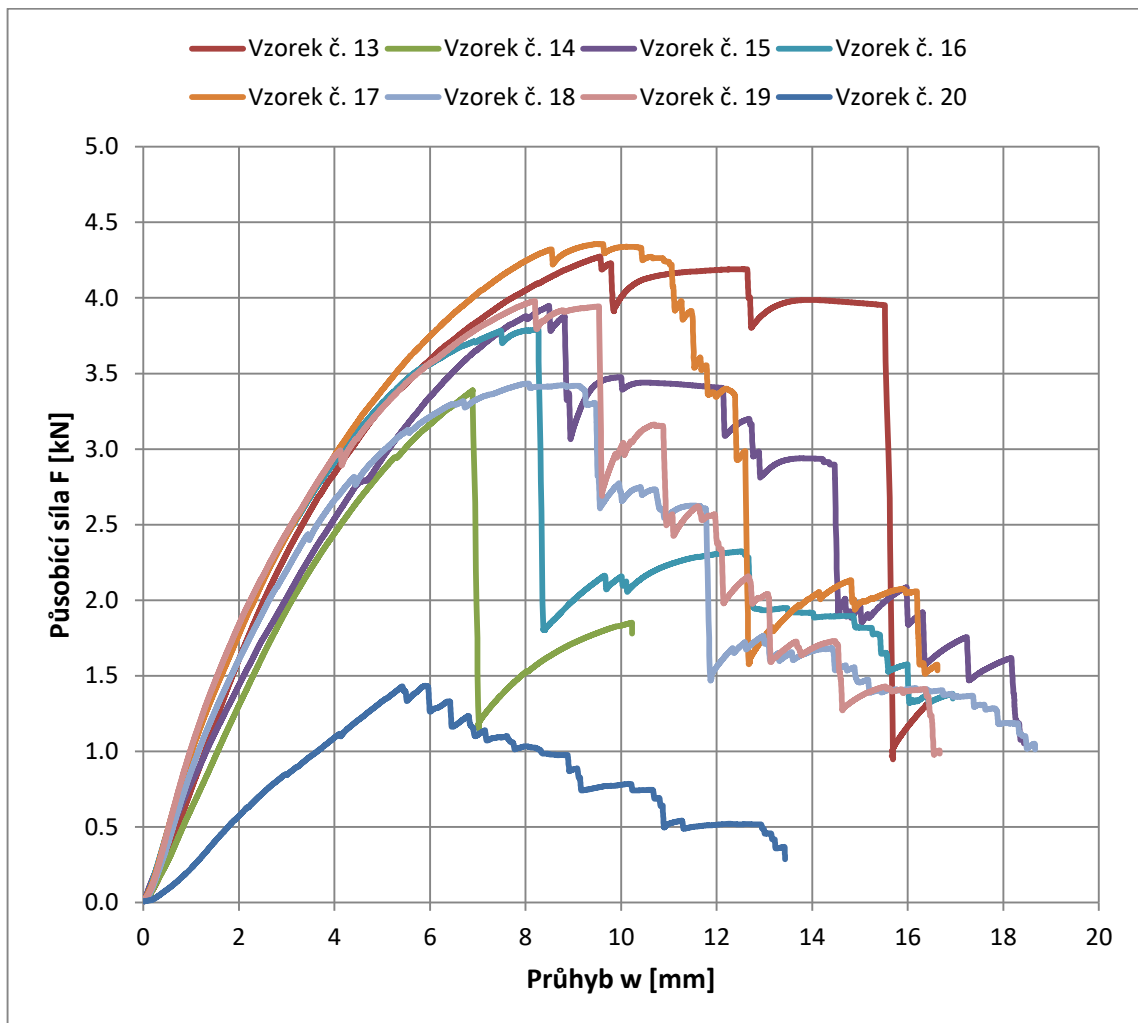
Graf 9.8 – Pracovní diagramy sady vzorků III

Zdroj: (autor, 2023)

Další porovnání pracovních diagramů se věnuje sadě vzorků III (Graf 9.8). V rámci této sady došlo k nejvýraznějším poklesům výsledných hodnot napětí v porovnání s ostatními sadami vzorků. Značných rozdílů mezi zdravými a napadenými vzorky bylo naměřeno u maximální působící síly. U obou napadených vzorků se jedná o pokles zhruba 1,2 kN oproti zdravým vzorkům. Rozdíl mezi napadenými a zdravými vzorky lze vidět také u hodnoty průhybu, kdy došlo k maximálnímu zatížení a porušení vzorku mnohem dříve, respektive v menším průhybu přibližně o 2-3 mm.



### 9.2.4 Porovnání pracovních diagramů v rámci sady vzorků IV

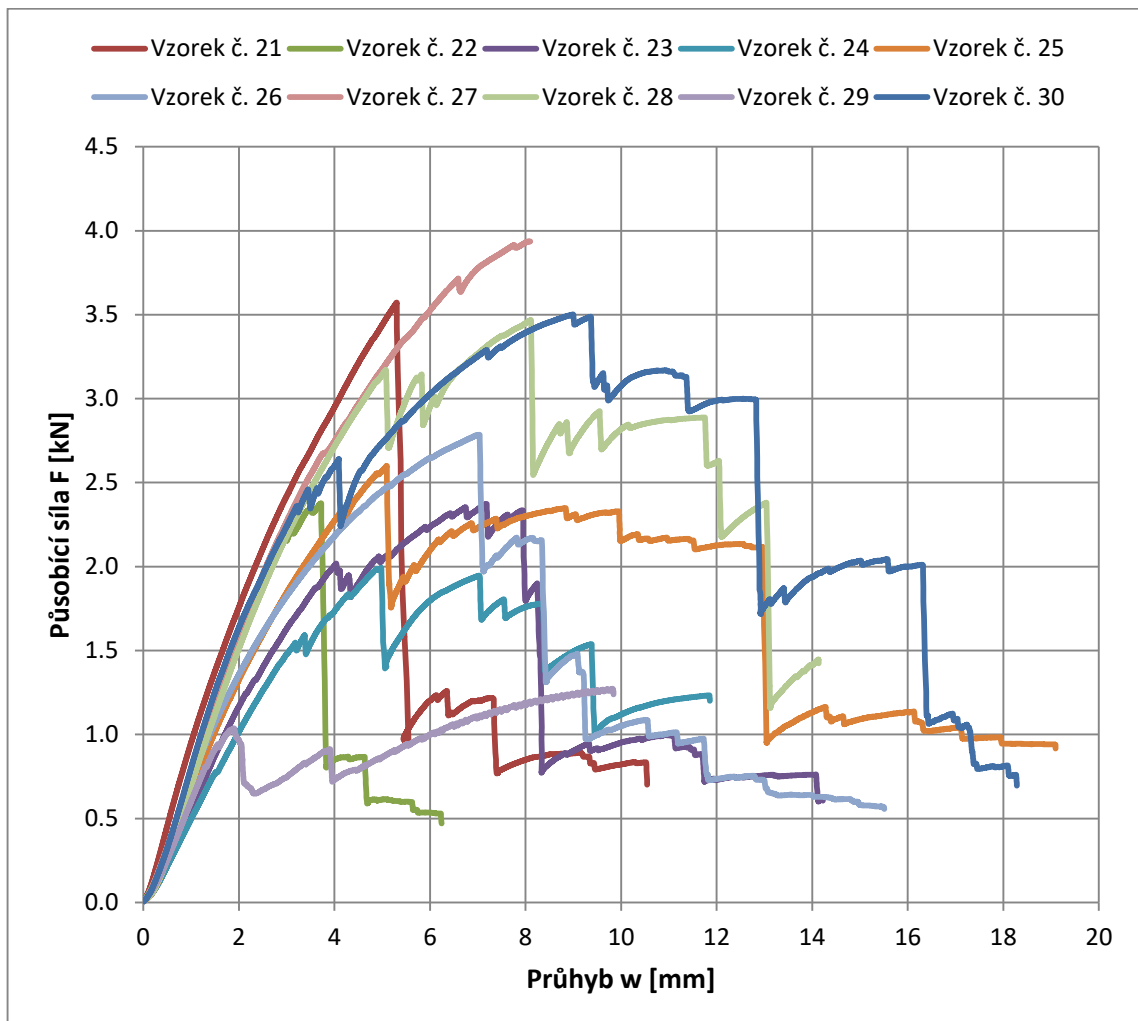


**Graf 9.9** – Pracovní diagramy sady vzorků IV

Zdroj: (autor, 2023)

Předposlední vyhodnocovanou skupinou vzorků je sada IV. V této sadě se nachází osm vzorků, a jak lze odečíst z příslušného grafu (*Graf 9.9*), výsledné pracovní diagramy mají poměrně široký rozsah. Vzorek č. 13 byl použit jako referenční pro porovnání výsledných napětí. Další zdravý vzorek (č. 14) byl ovlivněn přítomností suku a došlo jimi k jeho oslabení. Nejpodobnější průběh zkoušky vůči referenčnímu vzorku má vzorek č. 17, který svým pracovním diagramem nevykazuje známky napadení. Zkouška vzorku č. 20 byla také ovlivněna výskytem suku a došlo k jeho porušení při malém zatížení i průhybu. Ostatní vzorky, které jsou napadeny tesaříkem krovovým, mají podobný pracovní diagram. Lze na něm vidět poklesy působící síly vlivem postupného deformování oslabeného dřeva a k maximálnímu zatížení dochází při průhybu okolo 8 mm.

### 9.2.5 Porovnání pracovních diagramů v rámci sady vzorků V



Graf 9.10 – Pracovní diagramy sady vzorků V

Zdroj: (autor, 2023)

V posledním vyhodnocení se řeší porovnání pracovních diagramů sady vzorků V (Graf 9.10), která je nejpočetnější ze všech. Veškeré vzorky experimentu mají vlastní protokol, kde se nachází kromě pracovních diagramů i fotodokumentace vzorku či mechanismus porušení při zkoušce. Protokoly se nachází v Příloze A.

Vzorek č. 22 nemohl být použit jako referenční z důvodu výskytu suku, který ovlivnil průběh jeho zkoušky. Mezi napadenými vzorky byly těmito vadami dřeva, tj. suky, znehodnoceny vzorky č. 24 a 29. Zbytek vzorků v této sadě byl napaden kombinací dvou druhů dřevokazného hmyzu (tesařík krovový a červotoč proužkovaný). Z pracovních diagramů těchto vzorků jsou zřetelné četné poklesy působící síly vlivem oslabeného průřezu, které způsobila přítomnost biotických škůdců. Tento jev se opakoval u napadených vzorků ve všech hodnocených sadách.

## 10 Diskuze výsledků

Jeden z posuzovaných vzorků sady I ztratil 11% pevnosti, druhý 17,68%. Průměrný pokles pevnosti v rámci sady I byl zjištěn 14,34% z referenčního vzorku sady. Tato hodnota ukazuje míru oslabení dřeva vlivem biologického napadení. Podobně byl zjištěn pokles pevnosti v rámci sady II, který činil 14,55% z referenční hodnoty sady. Tyto výsledky potvrzují, že biologická degradace dřeva způsobená dřevokazným hmyzem má negativní dopad na pevnost dřeva. V případě sady III byl zaznamenán výraznější průměrný pokles pevnosti o hodnotě 34,15% z referenční hodnoty sady. Toto zjištění naznačuje, že napadení dřevokazným hmyzem v tomto případě mělo značně vyšší vliv na strukturální integritu dřeva. Dřevo z této sady vykazovalo významné oslabení, a ukazuje, k jak velkému poklesu pevnosti může dojít vlivem napadení dřevokazným hmyzem v konstrukci. Naopak, průměrný pokles pevnosti v rámci sady IV byl relativně nízký, činící 6,47% z referenčního vzorku sady. První dva vzorky sady ztratily 2,45% a 2,31% pevnosti, třetí vzorek 14,77%. Sada V vykazovala pokles pevnosti v rozsahu od 4,51 do 34,94% z referenčního vzorku sady. Tyto výsledky ukazují, že dřevo z této sady bylo oslabeno biologickou degradací v nízké, ale i vyšší míře v rámci celého průřezu dřevěného prvku.

Ze všech grafů napadených dřevěných vzorků jsou patrné poklesy a vzrůsty zatížení v malých intervalech znázorněné nehladkou křivkou pracovního diagramu ve fázi postupného zatěžování vzorku. Tento jev zapříčinil s velkou pravděpodobností interlaminární přenos sil mezi zdravými a poškozenými vlákny dřeva. Interlaminární přenos sil ve dřevě se týká přenosu mechanického zatížení mezi vlákny dřeva v rámci jejich struktury. Vlákna dřeva jsou dlouhá a štíhlé buňky, které jsou hlavními nosnými složkami dřeva. Mezi těmito vlákny dochází ke kontaktu a vzájemnému přenosu sil, který je klíčový pro mechanickou pevnost dřeva. Pokles křivky grafu znamená přítomnost porušeného vlákna vlivem napadení dřevokazným hmyzem. Růst křivky a zatížení znamená, že zdravá vlákna v okolí poškozeného přenesla zatížení z tohoto oslaběného místa.

Všeobecně lze konstatovat, že biologická degradace způsobená dřevokazným hmyzem má značný negativní vliv na pevnost dřeva. Tyto výsledky podporují potřebu vhodných opatření pro ochranu a opravu dřevěných konstrukcí. Nicméně napadené vzorky v rámci tohoto experimentu byly v drtivé většině odebrány z kraje průřezu dřevěných prvků. Jádra průřezů jednotlivých krokví a trámů nebyla dřevokazným hmyzem napadena.

Nastává tedy otázka, zda je při napadení krovu biologickými škůdci vždy nutné krov zcela demontovat. Za použití nedestruktivních i destruktivních metod by bylo možné zjistit, kolik procent průřezu je napadeno, poté odhadnout ztrátu pevnosti díky poznatkům tohoto a navazujících experimentů, stanovit přesný technologický postup sanace a nakonec aplikovat nejvhodnější specifické opatření na příslušné hodnocené krovy.

Je důležité si uvědomit, že přítomnost suků u několika vzorků výrazně ovlivnila výsledky měření, protože jejich vyřazení z hodnocení ovlivnilo reprezentativnost výsledků z důvodu zmenšení počtu vzorků. Tyto vady dřeva mají vysoký vliv na pevnost dřeva a velmi ho oslabují. Pevnost zdravých vzorků kvůli soku klesla o 21,14% u jednoho a o 35,75% u druhého. Proto by při budoucích výzkumech a experimentech bylo vhodné provádět dodatečné analýzy a vyhodnocení s přesným zohledněním přítomnosti suků.

## 11 Závěr

Tato diplomová práce měla za cíl studovat vlastnosti dřeva, biologickou degradaci, ochranu a opravy dřevěných konstrukcí. Byl proveden důkladný literární přehled, který poskytl přehled o vlastnostech dřeva, mechanismech biologické degradace včetně napadení dřevokazného hmyzu a metodách ochrany a oprav dřevěných konstrukcí. Následně byla provedena experimentální studie zaměřená na zkoumání pevnosti dřeva, nenapadeného i napadeného dřevokazným hmyzem, při tříbodovém ohybu.

Literární rešerše řešené problematiky ukazuje, že vlastnosti dřeva, jako je vlhkost či objemová hmotnost, významně ovlivňují jeho chování a odolnost vůči biologické degradaci. Byly popsány různé druhy dřevokazného hmyzu, které mohou poškozovat dřevo a snižovat jeho pevnost. Zároveň byly představeny různé metody ochrany a oprav dřeva.

Experimentální studijní zkouška se zaměřila na měření pevnosti dřeva při tříbodovém ohybu. Bylo provedeno testování vzorků dřeva různých dřevin (smrk a borovice) a odlišné míry biologického napadení. Výsledky ukázaly, že biologická degradace dřeva způsobená napadením dřevokazným hmyzem výrazně snižuje jeho pevnost a odolnost v ohybu, avšak při správném zhodnocení a ošetření by nemusela být nutná úplná demontáž napadených prvků z konstrukce.

V experimentální části bylo použito omezené množství vzorků dřeva pro testování pevnosti při tříbodovém ohybu. Nicméně je důležité poznamenat, že pro lepší výsledky a závěry by bylo nezbytné získat mnohem větší počet vzorků z jednoho kusu materiálu, který by přesahoval rozsah této studijní práce. Navíc by ani takový rozsáhlý soubor vzorků nezaručil jednoznačné výsledky s ohledem na variabilitu struktury a vlastností dřeva v různých místech průřezu. Toto omezení naznačuje potenciál pro další výzkum a rozšíření experimentálního rozsahu. V budoucnosti by bylo vhodné rozšířit počet vzorků a zahrnout dřeva různého původu, druhu a úrovně biologického napadení. Tím by se zvýšila reprezentativnost a spolehlivost výsledků, umožňující důkladnější zhodnocení pevnosti dřeva při tříbodovém ohybu a vlivu biologické degradace. Ale i tak, vzhledem k rozmanitosti dřeva, by se nemuselo dojít k jednoznačným závěrům.

Během experimentu bylo také zjištěno, že přítomnost suků u několika vzorků měla výrazný vliv na jejich pevnost. Tyto vadné oblasti dřeva způsobují značné oslabení celkové

pevnosti vzorků. Suky jsou přirozenou součástí dřeva, nicméně jejich nerovnoměrné rozložení a výskyt v prvcích může vytvářet slabá místa, která jsou náchylná k porušení. **Výsledky experimentálního měření ukázaly, že přítomnost suku na vzorku měla daleko větší vliv na oslabení v pevnosti než samotné napadení dřevokazným hmyzem.**

Toto zjištění poukazuje na důležitost pečlivého hodnocení a přípravy vzorků před experimentem, ať už se jedná o výběr vhodných oblastí dřeva bez výrazné přítomnosti suků, nebo o vhodnou manipulaci s materiálem při zpracování vzorků. I přes pečlivý výběr vzorků a jejich vyřazování při přítomnosti suků nebo trhlin se díky omezenému počtu vzorků nepodařilo takto porušené vzorky zcela vyřadit. Při analýze výsledků je také nutné brát v úvahu vliv těchto vad na pevnost dřeva, což může být důležitým faktorem při navrhování a posuzování dřevěných konstrukcí.

V rámci dalšího výzkumu by bylo také zajímavé zkoumat vliv biologického napadení na modul pružnosti dřeva pomocí metody čtyřbodového ohybu dle normy ČSN 49 0116 Drevo. Metóda zistovania modulu pružnosti pri statickom ohybe. S ohledem na rozmanitost struktury dřeva a různé mechanismy biologické degradace by takový výzkum poskytl další užitečné informace o změnách v mechanických vlastnostech dřeva. Pro dosažení věrohodných výsledků by bylo vhodné provést experimenty na dostatečně velkém počtu vzorků. Tím by se získalo podrobnější povědomí o vztahu mezi biologickou degradací a modulem pružnosti, což by mohlo přispět k lepšímu porozumění chování dřeva v reálných podmínkách a poskytnout důležité informace pro navrhování a opravy dřevěných konstrukcí vzhledem k meznímu stavu použitelnosti, který bývá u dřevěných konstrukcí rozhodující.

Zároveň je důležité věnovat pozornost studiu ekologických a udržitelných způsobů ochrany dřeva, které minimalizují negativní dopady na životní prostředí. Využití biologicky příznivých nátěrů, přírodních konzervačních látek a ekologicky šetrných metod může přispět k udržitelnému využívání dřeva a ochraně jeho přírodních vlastností. Celkově lze konstatovat, že dřevo je nejen tradiční a esteticky příjemný stavební materiál, ale také vykazuje jedinečné mechanické vlastnosti. Výsledky této práce poskytují užitečné informace o vlastnostech dřeva, biologické degradaci, ochraně a opravách dřevěných konstrukcí. Pokračování výzkumu v této oblasti a implementace nových poznatků a technologií může přispět k rozvoji a inovacím ve stavebnictví a zajištění dlouhodobého udržitelného využívání dřeva jako cenného stavebního materiálu.

## 12 Seznam odborné literatury

1. **VAVERKA, Jiří, Zdeňka HAVÍŘOVÁ, Miroslav JINDRÁK a kol.** *Dřevostavby pro bydlení*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2008.
2. **KUKLÍK, Petr.** *Dřevěné konstrukce*. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2005.
3. **ČSN EN 1990 ed. 2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí**. Praha : Česká agentura pro standardizaci, 2021.
4. **ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla pro pozemní stavby**. Praha : Český normalizační institut, 2006.
5. **PEŠTA, Jan.** *Rekonstrukce roubených staveb*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2013.
6. **DRDÁCKÝ, Miloš a Michal, KLOIBER.** *Diagnostika dřevěných konstrukcí*. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2015.
7. **JELÍNEK, Lubomír, ČERVENÝ Petr, ŘÁHA František.** *Nové krovy*. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2017.
8. **ČSN EN 335: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Třídy použití: definice, aplikace na rostlé dřevo a na výrobky na bázi dřeva**. Praha : Český normalizační institut, 2013.
9. **VINAŘ, Jan a kol.** *Historické krovy*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2010.
10. **ČSN 49 0115: Dřevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe**. Praha : Vydavateľství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha, 1979.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Katedra mechaniky

## **13 Příloha A**

# Protokoly experimentálních zkoušek pevnosti dřeva tříbodovým ohybem

Autor práce: Bc. Jiří Němeček

Vedoucí práce: Ing. Jan Kubát, Ph.D.

Plzeň 2023



## Vzorek č. 1

Tabulka A.1 – Protokol vzorku č. 1

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
I	1	I-1-N-0-KR	29,9	31,1	30,6	30,35	30,05	30,25	300	11,25
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
I	1	922,60	4700,15	4732,23	283933,71	60,41	58,60			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 2

Tabulka A.2 – Protokol vzorku č. 2

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
I	2	I-2-N-0-KR	30,55	30,25	30,35	30,25	30,5	30,45	300	11,90
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
I	2	923,65	4666,99	5142,43	308545,92	66,11	65,85			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

### Vzorek č. 3

Tabulka A.3 – Protokol vzorku č. 3

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku							Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]
			Řez A		Střed		Řez B		délka $l$ [mm]	
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		
I	3	I-3-P-Č-KR	30,05	30,9	30,25	30,6	29,95	30,1	300	12,08
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
I	3	918,54	4674,37	4048,93	242935,62	51,97	52,13			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 4

Tabulka A.4 – Protokol vzorku č. 4

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
I	4	I-4-P-Č-KR	30,05	30	29,7	29,7	30,05	30,05	300	12,03
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
I	4	895,51	4465,09	3586,03	215161,86	48,19	48,24			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 5

Tabulka A.5 – Protokol vzorku č. 5

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
II	5	II-5-N-0-KR	30,25	30,4	29,5	30,3	29,5	30,5	300	11,30
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
II	5	904,40	4582,29	4614,85	276890,82	60,43	58,73			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										



## Vzorek č. 6

Tabulka A.6 – Protokol vzorku č. 6

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
II	6	II-6-N-0-KR	30,6	30,2	30,3	30,6	30,6	30,6	300	11,73
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
II	6	929,23	4718,44	4509,82	270589,44	57,35	56,72			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 7

Tabulka A.7 – Protokol vzorku č. 7

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
II	7	II-7-P-T-KR	30,45	30,25	30,1	29,75	30	29,85	300	11,78
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
II	7	903,99	4512,42	4548,14	272888,10	60,48	59,93			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										



## Vzorek č. 8

Tabulka A.8 – Protokol vzorku č. 8

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
II	8	II-8-P-T-KR	30	30,1	30,2	29,8	30,25	30,4	300	11,33
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
II	8	907,52	4552,70	3846,84	230810,10	50,70	49,33			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 9

Tabulka A.9 – Protokol vzorku č. 9

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
III	9	III-9-N-0-TR	30,7	30,6	30,4	30,75	30,75	30,8	300	11,33
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
III	9	940,44	4814,54	3814,88	228892,74	47,54	46,26			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 10

Tabulka A.10 – Protokol vzorku č. 10

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
III	10	III-10-N-0-TR	30,35	30,75	30,5	30,6	30,15	30,65	300	10,80
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
III	10	930,22	4754,47	3757,35	225440,70	47,42	45,14			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 11

Tabulka A.11 – Protokol vzorku č. 11

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
III	11	III-11-P-Č-TR	29,95	31,1	28,8	30,8	29,75	30,2	300	10,60
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
III	11	905,65	4633,91	2421,79	145307,46	31,36	29,60			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 12

Tabulka A.12 – Protokol vzorku č. 12

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
III	12	III-12-P-Č-TR	29,8	31,1	30	31	30,45	30,35	300	10,15
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
III	12	927,07	4761,52	2617,18	157030,98	32,98	30,54			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										



## Vzorek č. 13

Tabulka A.13 – Protokol vzorku č. 13

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			délka $l$ [mm]
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		
IV	13	IV-13-N-0-KR	30,1	30,55	30,2	30,75	30,5	30,45	300	11,90
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
IV	13	925,66	4718,27	4274,40	256463,82	54,36	54,14			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 14

Tabulka A.14 – Protokol vzorku č. 14

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			délka $l$ [mm]
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		
IV	14	IV-14-N-0-KR	30,45	30,05	30,8	30,35	30,7	30,5	300	11,63
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
IV	14	928,70	4689,91	3388,15	203289,18	43,35	42,70			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										



## Vzorek č. 15

Tabulka A.15 – Protokol vzorku č. 15

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka	výška	šířka	výška	šířka	výška		délka $l$
			$b_a$ [mm]	$h_a$ [mm]	$b_s$ [mm]	$h_s$ [mm]	$b_b$ [mm]	$h_b$ [mm]		[mm]
IV	15	IV-15-P-T-KR	30,4	39,3	30,1	30,7	30,2	30,25	300	14,40
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
IV	15	1010,30	5626,79	3948,08	236884,92	42,10	46,14			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 16

Tabulka A.16 – Protokol vzorku č. 16

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
IV	16	IV-16-P-T-KR	30,4	30,35	29,5	30,35	30,4	30,6	300	13,93
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
IV	16	916,04	4646,38	3797,53	227851,62	49,04	52,82			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 17

Tabulka A.17 – Protokol vzorku č. 17

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
IV	17	IV-17-P-T-KR	30,35	30,05	30,35	30,2	30,15	29,7	300	15,18
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
IV	17	908,00	4537,45	4357,49	261449,52	57,62	64,94			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 18

Tabulka A.18 – Protokol vzorku č. 18

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
IV	18	IV-18-P-T-KR	30	29,5	30,1	29,9	29,7	29,55	300	15,15
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
IV	18	887,52	4385,84	3433,31	205998,48	46,97	52,89			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 19

Tabulka A.19 – Protokol vzorku č. 19

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku							Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]
			Řez A		Střed		Řez B		délka $l$ [mm]	
			šířka	výška	šířka	výška	šířka	výška		
			$b_a$ [mm]	$h_a$ [mm]	$b_s$ [mm]	$h_s$ [mm]	$b_b$ [mm]	$h_b$ [mm]		
IV	19	IV-19-P-T-KR	29,35	30	29,5	30,8	29,35	30,4	300	13,58
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
IV	19	893,76	4528,38	3979,35	238760,94	52,73	56,05			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										



## Vzorek č. 20

Tabulka A.20 – Protokol vzorku č. 20

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
IV	20	IV-20-P-T-KR	30,1	29,25	30,6	30,55	29,7	30	300	13,47
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
IV	20	901,99	4499,93	1433,07	85984,02	19,11	20,23			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 21

Tabulka A.21 – Protokol vzorku č. 21

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
V	21	V-21-N-0-TR	29,7	30,3	30,3	30	30,5	29,95	300	11,53
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
V	21	907,51	4550,17	3573,01	214380,66	47,12	46,22			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										



## Vzorek č. 22

Tabulka A.22 – Protokol vzorku č. 22

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			délka $l$ [mm]
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		
V	22	V-22-N-0-TR	30,55	30,6	30,2	30,4	29,65	30,5	300	11,33
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
V	22	919,07	4671,92	2376,64	142598,22	30,52	29,70			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 23

Tabulka A.23 – Protokol vzorku č. 23

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
V	23	V-23-P-T+Č-TR	30,75	29,65	30,6	30,5	30,5	30,15	300	11,40
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
V	23	921,56	4623,17	2374,09	142445,58	30,81	30,07			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 24

Tabulka A.24 – Protokol vzorku č. 24

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
V	24	V-24-P-T+Č-TR	30,85	30,05	30,95	30,5	30,95	30,55	300	12,20
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
V	24	938,84	4751,55	1991,40	119483,70	25,15	25,35			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 25

Tabulka A.25 – Protokol vzorku č. 25

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			délka $l$ [mm]
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		
V	25	V-25-P-T+Č-TR	29	30,6	29,4	30,5	28,1	30,3	300	11,60
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
V	25	878,46	4460,60	2600,38	156022,98	34,98	34,42			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										

## Vzorek č. 26

Tabulka A.26 – Protokol vzorku č. 26

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku							Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]
			Řez A		Střed		Řez B		délka $l$ [mm]	
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		
V	26	V-26-P-T+Č-TR	30,5	30,1	30,7	30,35	29,35	29,55	300	12,43
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
V	26	905,50	4527,50	2785,34	167120,46	36,91	37,54			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										



## Vzorek č. 27

Tabulka A.27 – Protokol vzorku č. 27

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		délka $l$ [mm]
V	27	V-27-P-T+Č-TR	30,15	30,1	30,05	31	30,15	29,95	300	11,05
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
V	27	914,04	4623,52	3714,44	222866,13	48,20	46,37			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										
Pozn.: Zkouška vzorku byla ukončena z důvodu ochrany zkušebního lisu proti porušení.										

## Vzorek č. 28

Tabulka A.28 – Protokol vzorku č. 28

Zdroj: (autor, 2023)

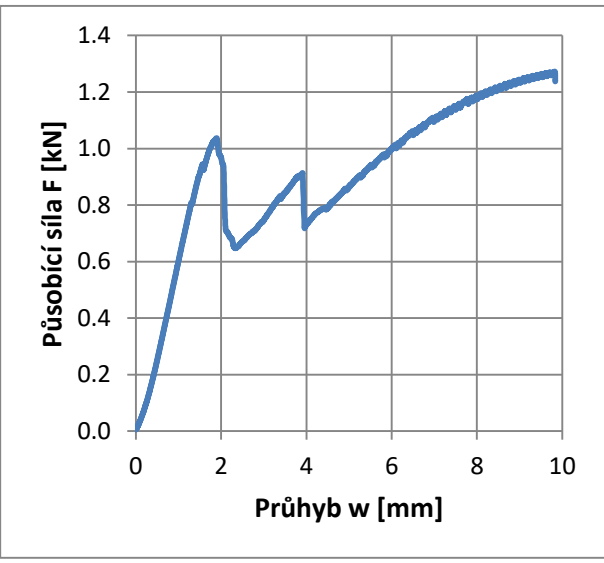
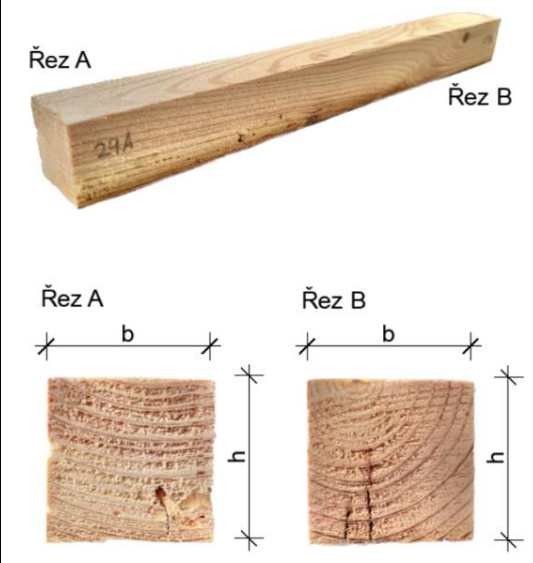

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			délka $l$ [mm]
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		
V	28	V-28-P-T+Č-TR	31	29,25	30,95	30,5	29,4	29,85	300	11,00
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
V	28	909,44	4526,99	3468,77	208126,08	45,97	44,14			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										



## Vzorek č. 29

Tabulka A.29 – Protokol vzorku č. 29

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			
			šířka	výška	šířka	výška	šířka	výška		délka $l$
			$b_a$ [mm]	$h_a$ [mm]	$b_s$ [mm]	$h_s$ [mm]	$b_b$ [mm]	$h_b$ [mm]		[mm]
V	29	V-29-P-T+Č-TR	30,35	29	30,25	29,35	30,75	30	300	12,10
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
V	29	896,75	4401,56	1036,82	62209,00	14,13	14,19			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
										
Mechanismus porušení:										
										
Pozn.: Vzorek byl po porušení našťipnutý vlivem přítomnosti suku a absorboval zatížení zkušební lisu. Proto chybí klesající křivka diagramu. Zkouška byla po tomto jevu ukončena.										

## Vzorek č. 30

Tabulka A.30 – Protokol vzorku č. 30

Zdroj: (autor, 2023)

Vstupní hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Kódové označení	Rozměry vzorku						Průměrná vlhkost vzorku $w$ [%]	
			Řez A		Střed		Řez B			délka $l$ [mm]
			šířka $b_a$ [mm]	výška $h_a$ [mm]	šířka $b_s$ [mm]	výška $h_s$ [mm]	šířka $b_b$ [mm]	výška $h_b$ [mm]		
V	30	V-30-P-T+Č-TR	30,5	30,8	30,55	30,65	30,6	30,15	300	11,50
Výsledné hodnoty:										
Sada vzorků	Číslo vzorku	Průměrná plocha průřezu $S_o$ [mm <sup>2</sup> ]	Modul průřezu $W_o$ [mm <sup>3</sup> ]	Zatížení na mezi pevnosti $F_{max}$ [N]	Ohybový moment $M_o$ [N.mm]	Napětí na mezi pevnosti $\sigma_w$ [MPa]	Napětí přepočtené na 12% vlhkost $\sigma_{12}$ [MPa]			
V	30	932,79	4746,88	3501,79	210107,34	44,26	43,38			
Pracovní diagram:					Fotodokumentace vzorku:					
Mechanismus porušení:										