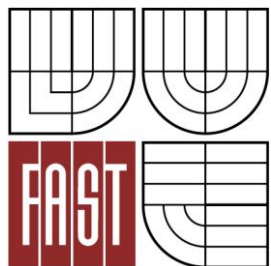




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A  
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF  
BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# HODNOCENÍ STAVU DŘEVA V KONSTRUKCÍCH A ZHODNOCENÍ VYUŽITELNOSTI NEDESTRUKTIVNÍCH METOD ZKOUŠENÍ

ASSESSMENT OF THE STATE OF WOOD IN THE CONSTRUCTION AND EVALUATION OF  
THE USEFULNESS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARKÉTA MUNDUCHOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ BROŽOVSKÝ, CSc.

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Markéta Munduchová
<b>Název</b>	Hodnocení stavu dřeva v konstrukcích a zhodnocení využitelnosti nedestruktivních metod zkoušení
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	doc. Ing. Jiří Brožovský, CSc.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2013
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	30. 5. 2014
V Brně dne 30. 11. 2013	

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

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

## **Podklady a literatura**

FENGEL, D., WEGENER, G. Wood, Chemistry, ultrastructure, Reactions, 2003  
ŠLEZINGEROVÁ, J. a kol.. Nauka o dřevě, MZLU v Brně, 1998  
REINPERCHT, L., ŠTEFKO, J. Dřevěné stropy a krovy. Typy, poruchy, průzkumy a rekonstrukce. ABF Praha, 2000  
POŽGAJ, A a kol. . Štruktura a vlastnosti dřeva, Příroda, a.s., Bratislava, 1997  
Články v odborných časopisech a z konferencí zahraniční a tuzemské.  
Příslušné technické normy.

## **Zásady pro vypracování**

Cílem práce je hodnocení stavu dřevní hmoty v dřevěných stavebních konstrukcích se zaměřením na možnost využití nedestruktivních metod zkoušení. Práce bude sestávat ze dvou částí teoretické a experimentální.

V teoretické části bude: Rešerše technických norem a odborné literatury se zaměřením na řešenou problematiku. Budou popsány základní charakteristiky dřeva z hlediska struktury, vlastností a životnosti výrobků ze dřeva. Stručně budou uvedeny jednotlivé vady, které se mohou ve dřevě vyskytovat a popsány možné druhy poškození dřevní hmoty – dřevokazných hmyzem, dřevokaznými houbami, vlivem povětrnostních podmínek. Budou uvedeny nejvíce vyskytující se typy dřevěných konstrukcí ve stavbách a jejich základní prvky. Dále budou uvedeny základní parametry dřeva zjišťované při hodnocení stavu dřevěných konstrukcí a základní metody jejich zjišťování. Nedestruktivní metody zkoušení - základní rozdělení, nedestruktivní metody zkoušení využívané pro zkoušení dřeva (NDT kodifikované v českých technických normách a ostatní využívané nedestruktivní metody). Experimentální část bude zaměřena na využití ultrazvukové impulsové metody pro zjišťování vad dřeva – bude sledován vliv suků, trhlin, narušení dřevní hmoty škůdci na rychlost šíření ultrazvukového impulsu.

Zhodnocení poznatků z teoretické a experimentální části práce.

Rozsah práce cca 40 stran

## **Předepsané přílohy**

.....

doc. Ing. Jiří Brožovský, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se skládá z teoretické a experimentální části. V teoretické části jsou uvedeny poznatky týkající se struktury dřeva, jeho základních vlastností a životnosti. Dále jsou popsány vady dřeva, vliv dřevokazného hmyzu a hub, typy dřevěných konstrukcí, působení povětrnostních podmínek, chemická koroze a mechanickém poškození dřeva. Hodnocení stavu dřeva v konstrukcích je vhodné pomocí nedestruktivních metod, a proto byla provedena rešerše článků zabývajících se těmito metodami. Využívané nedestruktivní metody jsou: vizuální, tvrdoměrné, akustické, elektrické, radiační, optické a měření vlhkosti.

Experimentální část bakalářské práce je zaměřena na ultrazvukovou impulsovou metodu, kterou lze zjistit vady nebo narušení dřevní hmoty v závislosti na rychlosti šíření ultrazvukového impulsu. Pro spolehlivou interpretaci výsledků je vhodné při hodnocení stavu dřevěné konstrukce vhodně kombinovat nedestruktivní metody.

## **Klíčová slova**

Dřevokazný hmyz, dřevo v konstrukci, nedestruktivní metody, rychlost šíření ultrazvukového impulsu.

## **Abstract**

This bachelor's thesis consists of theoretical and experimental part. In the theoretical part there are given findings regarding on structure of wood, its basic properties and durability. The following describes the wood defects, influence of wood pests and fungi, types of wooden structures, climatic conditions, chemical corrosion and mechanical damage to the wood. Evaluation of the status of wood in the structures is appropriate by using non-destructive methods, therefore was performed research articles on these methods. Non-destructive methods are used: visual, hardness tests, electrical, radiation, optical and moisture determination.

Experimental part of the bachelor's thesis is focused on ultrasonic impulse method, that can detect defects or damage in the wood mass that depends on the speed of ultrasonic impulse. For a reliable interpretation of the results it is appropriate to combine non-destructive methods when assessing status of wood structure.

## **Keywords**

Wood-destroying insects, wood in the construction, non-destructive methods, ultrasonic impulse method.

### **Bibliografická citace VŠKP**

Markéta Munduchová *Hodnocení stavu dřeva v konstrukcích a zhodnocení využitelnosti nedestruktivních metod zkoušení*. Brno, 2014. 69 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Brožovský, CSc.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2014

.....  
podpis autora

Markéta Munduchová

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala panu doc. Ing. Jirímu Brožovskému, CSc. za přístup, cenné rady, odborné vedení a čas, který mi věnoval při zpracování mé bakalářské práce.

## **OBSAH**

1 ÚVOD .....	10
2 CÍLE PRÁCE .....	11
3 STRUKTURA DŘEVA .....	12
3.1 Makroskopické znaky dřeva .....	12
3.2 Mikroskopické znaky dřeva.....	15
3.2.1 Mikrostruktura jehličnatých dřevin.....	15
3.2.2 Mikrostruktura listnatých dřevin.....	16
4 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI DŘEVA A ŽIVOTNOST .....	18
4.1 Vlhkost dřeva.....	18
4.2 Hustota (objemová hmotnost) .....	19
4.3 Sesychání a bobtnání dřeva .....	19
4.4 Pevnost dřeva.....	20
4.5 Životnost prvků ze dřeva .....	21
5 VADY A POŠKOZENÍ DŘEVA .....	22
5.1 Růstové vady .....	22
5.2 Poškození dřevokaznými houbami .....	23
5.2.1 Charakteristika typů poškození.....	23
5.2.2 Nejrozšířenější dřevokazné houby .....	24
5.3 Poškození dřevokazným hmyzem .....	28
5.3.1 Nejrozšířenější dřevokazný hmyz.....	28
5.4 Vliv povětrnostních podmínek .....	32
5.5 Chemická koroze .....	33
5.6 Mechanické poškození .....	33
6 ZÁKLADNÍ TYPY DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ STAVEB.....	35
6.1 Krovové konstrukce.....	35
6.1.1 Vaznicové soustavy .....	35
6.1.2 Hambalková soustava .....	35
6.1.3 Vazníková soustava.....	36
6.2 Stropní konstrukce .....	36
6.2.1 Trámové stropy .....	36
6.2.2 Povalové stropy.....	37
6.2.3 Kazetové stropy .....	37
6.2.4 Fošnové stropy .....	37



7 NEDESTRUKTIVNÍ METODY ZKOUŠENÍ .....	38
7.1 Vizuální metoda.....	38
7.2 Tvrdoměrné metody .....	39
7.3 Akustické metody .....	43
7.4 Radiografická metoda.....	46
7.4.1 Teorie rentgenového záření.....	46
7.4.2 Digitální zpracování obrazu a analýza rentgenového záření .....	47
7.4.3 Aplikace radiografických metod při hodnocení stavu dřeva .....	47
7.5 Optické metody.....	49
7.4.1 Mikroskopie .....	49
7.4.2 Endoskopie.....	49
7.6 Metody měření vlhkosti.....	49
7.5.1 Měření vlhkosti dřeva pomocí elektrických vlhkoměrů .....	49
7.5.2.1 Měření vlhkosti dřeva pomocí odporových vlhkoměrů.....	50
7.5.2.2 Měření vlhkosti dřeva pomocí dielektrických vlhkoměrů .....	50
7.7 Zhodnocení využitelnosti nedestruktivních metod při hodnocení stavu dřeva zabudovaného v konstrukci .....	50
8 VLIV VAD DŘEVA NA VÝSLEDKY MĚŘENÍ ULTRAZVUKOVOU METODOU .....	53
8.1 Zkušební vzorky .....	53
8.2 Ultrazvuková impulsová metoda .....	55
8.2.1 Zkušební postup .....	55
8.2.2 Vyhodnocení výsledků.....	55
8.3 Stanovení objemové hmotnosti a vlhkosti vzorků dřeva.....	56
8.3.1 Stanovení objemové hmotnosti zkušebních vzorků.....	56
8.3.2 Stanovení vlhkosti vzorků.....	57
8.4 Výsledky měření.....	57
8.5 Vyhodnocení.....	62
9 ZÁVĚR.....	63
10 SEZNAM .....	65
10.1 Seznam použité literatury .....	65
10.2 Seznam obrázků.....	68
10.3 Seznam tabulek.....	69

# 1 ÚVOD

Dřevo je jedním z nejstarších materiálů, které člověk používal už v nejstarších dobách. Již pravěký člověk využíval dřevo ve velkém množství a k různým účelům. Pozitivní vliv mělo bohatství dřeva v přírodě, jeho pevnost při malé hmotnosti, snadnost těžby a zpracování.

První z historických inženýrských staveb byl nejspíše kmen stromu, povalený přes soutěsku nebo bystřinu, tvořící trámový most. Dřevěné konstrukce nabyly největšího rozmachu v době otrokářského zřízení ve starém Římě. Římští stavitelé měli k dispozici železné nástroje, což jim umožnilo vytvořit velké množství racionálních konstrukcí, zejména dřevěných trámových mostů. Ve feudálním období nastal rozvoj individuální práce, vlivem rozvinutí řemesla. Konstrukce byly pečlivě propracovány. Návrh jejich tvarů a dimenzování se provádělo empiricky a podle intuice stavitelů.

Kvalitativní zvrat v uplatnění dřeva ve stavebnictví zaznamenal novověk, který byl charakterizován nástupem tovární výroby a rozvojem technických věd. Vznikaly pilařské závody, přecházelo se tedy na strojní práci. Těžké, nepřesné, drahé prvky a těžko spojované materiály byly nahrazeny levnými továrními výrobky na mnohem vyšší úrovni. Na trhu se objevilo velké množství řeziva, na stavbách se tedy mohlo mimo trámových konstrukcí používat také konstrukce prkenné.

V první čtvrtině 20. století se objevily lepené dřevěné konstrukce, které jsou vyráběny tovární výrobou z vysušeného dřeva. V téže době ztratily dřevěné konstrukce svou vedoucí úlohu vlivem rozvoje kovových, betonových konstrukcí a keramického materiálu. Po určité době bylo dřevo jako stavební materiál znovu objevováno zejména z důvodu: příznivých mechanicko - fyzikálních vlastností a nízké energetické náročnosti na jeho těžbu a zpracování.

## 2 CÍLE PRÁCE

Základním materiálem pro dřevěné konstrukce je dřevo, které je organickým materiálem a může být poškozeno jak biotickými tak i mechanickými vlivy. Před opravami, stavebními úpravami či rekonstrukcemi dřevěných konstrukcí je třeba provést stavebně-technický průzkum, obsahem kterého je mj. i hodnocení stavu dřevní hmoty.

Cílem bakalářské práce je problematika hodnocení stavu dřevní hmoty v dřevěných stavebních konstrukcích se zaměřením na možnost využití nedestruktivních metod zkoušení. Práce sestává z teoretické a experimentální části.

V teoretické části, pro naplnění cílu práce bylo na základě rešerše odborné literatury a norem třeba:

- popsat základní charakteristiky dřeva z hlediska jeho struktury, vlastností a životnosti výrobků ze dřeva,
- popsat jednotlivé vady dřeva a možné druhy poškození dřevní hmoty dřevokazným hmyzem a houbami, vlivem povětrnostních podmínek,
- uvést nejčastější typy dřevěných konstrukcí ve stavbách a jejich základní prvky,
- identifikovat základní parametry dřeva zjišťované při hodnocení stavu dřevěných konstrukcí, popsat základní metody jejich zjišťování,
- identifikovat a popsat nedestruktivní metody zkoušení využívané pro zkoušení dřeva.

V experimentální části bude provedeno měření ultrazvukovou impulsovou metodou z hlediska její využitelnosti pro hodnocení vad dřeva.

Výstupem je zhodnocení poznatků z teoretické a experimentální části práce z hlediska hodnocení stavu dřeva zabudovaného v konstrukci.

## 3 STRUKTURA DŘEVA

Strukturu dřeva lze posuzovat ze dvou hledisek: z hlediska makrostruktury a mikrostruktury. Na jejich základě lze usuzovat jednak na druh dřeviny a jednak na jejich vlastnostech. Pro každou z těchto oblastí jsou charakteristické specifické znaky [1].

### 3.1 Makroskopické znaky dřeva

Makroskopické znaky dřeva lze pozorovat pouhým okem. Vizuálně lze tudíž pozorovat charakteristickou stavbu jednotlivých dřevin. Rozeznávají se tyto základní makroskopické znaky dřeva:

- letokruhy,
- běl, jádro, vyzrálé dřevo,
- dřeňové paprsky, dřeňové skvrny,
- pryskyřičné kanálky,
- cévy.

Jednotlivé makroskopické znaky dřeva jsou popsány níže.

#### a) Letokruhy

Letokruh je přírůstek v radiální vrstvě dřeva za jedno vegetační období, je tvořen jarním a letním dřevem. Na jaře, kdy je průchod živin ve dřevě největší, se tvoří cévy o větším průměru, dřevo je tedy světlejší a řidší. Toto dřevo se nazývá jarní. Během roku živin ubývá, tvoří se tedy cévy o menším průměru, dřevo je tmavší, hustší. Toto dřevo se nazývá letní.

Šířka letokruhu závisí na druhu dřeviny a podmínkách růstu. V našich podmínkách se šířka letokruhu pohybuje od 1 do 5 mm. Jsou však i výjimky kdy, stromy s malou korunou a nepříznivým podmínkami růstu mají šířku letokruhu méně než 1 mm a naopak stromy s velkými korunami mohou mít šířku letokruhu i 10 mm.

Jehličnaté dřevo má nejvýraznější rozdíl mezi jarním a letním dřevem. Jarní dřevo je světlejší a měkčí. Letní dřevo je tmavší, tvrdší a má dvakrát až třikrát větší hustotou, než má jarní dřevo.

Kruhovitě pórovité dřevo má výrazné jarní dřevo, kde póry dosahují velikosti 0,2 mm až 0,4 mm a jsou pozorovatelné pouhým okem. Na podélném řezu jsou letokruhy zvýrazněné rýhami pórů jarního dřeva. Tuto stavbu dřeva má dub, jilm, akát, jasan.

Roztroušené pórovité dřevo má nejméně výrazné hranice mezi jarním a letím dřevem. Letokruhy jsou nezřetelné, zvýrazněné úzkou tmavší nebo světlejší vrstvou dřeva. Cévy jsou menších rozměrů neviditelné makroskopicky. Tuto stavbu dřeva má buk, topol, bříza, javor, olše [14].

### **b) Běl, jádro, vyzrálé dřevo**

Jádro je vnitřní tmavší část dřeva, tvořené odumřelými buňkami. Odumřelé buňky jádra jsou vyplněny thylly, pryskyřicí, gumami, minerálními látkami. Tyto látky zabraňují průchodnost cév. Proto je jádrové dřevo tmavší, tvrdší, odolnější, ale křehčí.

Běl je vnější, světlejší část dřeva, tvořena živými buňkami schopnými vodit živiny. Vlhkost běli dosahuje až do hodnoty 150 %.

Nepravé jádro se významně svým zbarvením a nepravidelným, excentrickým ohraničením, které neprobíhá po letokruhu. K výskytu nepravého jádra dochází nejčastěji vlivem působení vnějších vlivů, jako je mráz. Nepravé jádro se vyskytuje u buku, ořešáku, lípy.

Vyzrálé dřevo čerstvě vytěžené kulatiny má na obvodu příčného řezu tmavší část dřeva - běl. Bělová část je tmavší barvy, protože obsahuje více vody než středová část kmene - vyzrálé dřevo. Po vyschnutí kulatiny je barevný rozdíl mezi bělí a vyzrálým dřevem nepatrný. Mezi vyzrálé dřeviny patří smrk, jedle, buk, lípa.

### **c) Dřeňové paprsky, dřeňové skvrny**

Dřeňové paprsky jsou tenké lišty, která probíhá od středu k obvodu kolmo na letokruhy a tímto směrem se i rozšiřují. Jejich funkce je rozvádět živiny v kmenech v horizontální úrovni. Skládají se z parenchymatických buněk obdélníkového tvaru, orientovaných kolmo na osu kmene, které tvoří souvislé řady. V dřeňovém paprsku je na výšku uloženo několik řad buněk nad sebou. Tloušťka dřeňového paprsku udává počet řad parenchymatických buněk vedle sebe.

Dřeňové paprsky mohou být jednovrstvé (jedle, tis, topol) nebo mnohovrstvé (buk, dub). Některé dřeviny mohou mít mezi jednovrstvými dřeňovými paprsky úzké pruhy libriformu, který nejsou pouhým okem pozorovatelné a vytváří dojem, že se jedná o široké

dřeňové paprsky, které se nazývají nepravé dřeňové paprsky, vyskytují se u olše a lísky. Na radiálním řezu vytvářejí dřeňové paprsky plošky, které se nazývají zrcadla. Zrcadla jsou tím výraznější, čím širší a vyšší jsou paprsky. Na tangenciálním řezu se jeví jako různě vysoké a široké skvrny a můžeme zde určit přesně jejich výšku, šířku, vrstevnatost dřeňových paprsků.

Na podélném řezu lze u některých dřevin pozorovat hnědé nebo zelené skvrny, které jsou na radiální i tangenciální straně. Tyto skvrny se nazývají dřeňové skvrny. Jsou to buňky parenchymu, které vznikly poškozením kambia hmyzem, bakteriemi (např. topol) a vyskytují se nejvíce v dolní části kmene (např. topol), u břízy jsou po celém kmeni. Hnědé dřeňové skvrny má bříza, vrba, hruška. Hnědé a zelené javor a jilm.

#### **d) Pryskyřičné kanálky**

Pryskyřičné kanálky se vyskytují u mnohých jehličnatých dřevin v dřeňových paprscích, listnaté dřeviny pryskyřičné kanálky nemají. Pryskyřičné kanálky jsou mezibuněčné prostory, které shromažďují a vylučují pryskyřici. Na příčném řezu jsou obklopeny skupinou parenchymatických buněk a uvnitř vrstvou tenkostěnných buněk výstelkových, epiteliálních z nichž se vylučuje pryskyřice.

Horizontální pryskyřičné kanálky procházejí přes střed vícevrstevných dřeňových paprsků, jsou uloženy kolmo na osu kmene a nejsou viditelné pouhým okem. Jsou tvořeny dvěma vrstvami, epitelovými a mrtvými parenchymatickými buňkami.

Vertikální pryskyřičné kanálky se nachází rovnoběžně s vertikálně orientovanými buňkami dřeva a jsou tvořeny třemi vrstvami parenchymatických buněk. Vnitřní vrstva je tvořena výstelkovými, epiteliálními buňkami, které mohou být tenkostěnné nebo tlustostěnné a v různých počtech na obvodu pryskyřičného kanálku. Střední vrstva je z mrtvých buněk, tvoří mechanickou oporu epiteliálních buněk. Vnější vrstva se skládá z živých parenchymatických buněk, které se vyskytují převážně v letním dřevě a jsou viditelné pouhým okem, jako jemné rýhy na podélném řezu; šířka kanálků se pohybuje v rozmezí 0,08 až 0,14 mm a délka je 10 až 80 cm.

#### **e) Cévy**

Cévy se vyskytují pouze u listnatých dřevin a představují vodivé elementy dřeva. Cévy tvoří neživé kapiláry, jejichž funkcí v živém stromě je vedení vodních roztoků od kořenů ke koruně. Na příčném řezu jsou cévy viditelné jako póry a na podélném řezu jako

rýhy. Největší póry se nachází v jarním dřevě, jejich velikost je nad 0,1 mm a jsou viditelné pouhým okem. V letním dřevě se nachází póry menšího průměru a na příčném řezu nejsou viditelné jako póry, ale jako barevné skvrny. Uspořádání cév v letním dřevě je charakteristické pro jednotlivé dřeviny [1][3].

### **3.2 Mikroskopické znaky dřeva**

Mikroskopické znaky dřeva lze pozorovat pouze při využití mikroskopu nebo jiné technicky umožňující dostatečné zvětšení sledovaných mikroskopických znaků a liší se v závislosti na typu dřeviny (jehličnatá, listnatá).

Jehličnaté dřeviny jsou starší než listnaté dřeviny, proto se vyznačují jednoduchou a pravidelnou stavbou. Listnaté dřevo, které je vývojově mladší, má složitější stavbu. Je tvořeno větším počtem anatomických elementů s funkční specializací a dřevo je tedy tvořeno větším počtem typů buněk [3].

#### **3.2.1 Mikrostruktura jehličnatých dřevin**

Z hlediska mikrostruktury jehličnatých dřevin se jedná o níže uvedené a popsané mikroskopické znaky:

- tracheidy,
- parenchymatické buňky,
- dřeňové paprsky,
- pryskyřičné kanálky.

##### **a) Tracheidy**

Základním anatomickým prvkem jehličnanů jsou tracheidy, které tvoří 87 - 95 % celkového objemu dřeva. Jsou to dlouhé uzavřené buňky, orientované rovnoběžně s podélnou osou kmene a jejich funkce je vodivá a mechanická.

Jarní tracheidy vznikají na začátku vegetačního období. Jejich funkce je vodivá, vedou vodu s rozpuštěnými minerálními látkami. Jsou tenkostěnné, kratší a se širokým lumenem. Jejich povrch stěn je opatřen ztenčeninami - dvojtečkami. Letní tracheidy se tvoří v druhé polovině vegetačního období. Jejich funkce je mechanická. Jsou tlustostěnné, delší než jarní tracheidy a s užším lumenem [14].

### **b) Parenchymatické buňky**

Mají protáhlý hranolovitý tvar. Jsou to živé buňky a jejich funkce je zásobní, ukládají škrob a energeticky bohaté látky. Podílejí se na stavbě dřeňových paprsků, podélného dřevního parenchymu a pryskyřičných kanálků.

### **c) Dřeňové paprsky**

U jehličnatých dřevin tvoří 5 - 10 % celkového objemu dřeva a jsou tvořeny souborem parenchymatických buněk orientovaných kolmo na směr letokruhů. Jejich funkce je zásobení a vedení vody s rozpuštěnými minerálními látkami, také mohou ukládat krystalické anorganické látky.

### **d) Pryskyřičné kanálky**

Pryskyřičné kanálky se nevyskytují u všech jehličnanů. Jsou to dlouhé kanálky obklopené vrstvami parenchymatických buněk, prostor kanálků je vyplněn pryskyřicí. Podle uložení ve dřevě jsou kanálky vertikální a horizontální, které jsou vzájemně propojeny [3][14].

## **3.2.2 Mikrostruktura listnatých dřevin**

Z hlediska mikrostruktury listnatých dřevin se jedná o níže uvedené a popsané mikroskopické znaky:

- tracheje (cévy),
- tracheidy (cévice),
- parenchymatické buňky,
- podélný dřevní parenchym,
- dřeňové paprsky.

### **a) Tracheje (cévy)**

Ve dřevě zaujímají 10 - 20 % z celkového objemu dřeva. Jedná se o různě dlouhé kapiláry a jejich funkce je vodivá. Ve dřevě tvoří síť axiálních drah, jimiž je v bělové části dřeva vedena voda s rozpuštěnými minerálními látkami. V jádrovém dřevě mohou být cévy vyplněny jádrovými látkami, thylly, vodou, nebo jsou prázdné.



## **b) Tracheidy (cévice)**

Jejich funkce je vodivá, mechanická a zásobní. Tracheidy jsou tvarově i funkčně odlišné a proto se rozdělují do tří skupin - cévovité, vazicentrické, vláknité. Jejich zastoupení ve dřevě listnáčů je velmi rozmanité, u některých druhů dřevin tvoří velkou část základního pletiva, jinde se vyskytují ojediněle nebo vůbec. Z mikroskopického hlediska jsou doplňkovým elementem.

## **c) Parenchymatické buňky**

Ve dřevě listnáčů jsou hojněji zastoupeny než v jehličnatém dřevě. Jejich zastoupení je 8 - 35 % z celkového objemu dřeva. Tvar buněk je rozmanitý - hranolovitý, krychlovitý, zploštělé válečky a jejich povrch je opatřen neztloustlým místem v buněčné stěně; jsou to živé buňky. Jejich hlavní funkce je zásobní, částečně vodivá a mohou ukládat zásobní látky jako je škrob, tuky, bílkoviny a dle potřeby je uvolňují. Buňky uložené ve směru podélné osy tvoří podélný, axiální dřevní parenchym a buňky orientované kolmo na osu kmene tvoří dřeňové paprsky.

## **d) Podélný dřevní parenchym**

Průměrné zastoupení u listnatých dřevin je 10 % z celkového objemu dřeva. Je tvořen parenchymatickými buňkami, které mají tvar hranolovitý, krychlovitý, větvenovitý a jejich podélná osa je orientována rovnoběžně s podélnou osou kmene. Buněčné stěny jsou tenké a opatřeny neztloustlým místem v buněčné stěně, které zabezpečuje transport vody a živin. Jejich funkce je zásobní, ukládají škrob a v jádrovém dřevě obsahují anorganické krystaly.

## **e) Dřeňové paprsky**

Jsou tvořeny seskupením parenchymatických buněk orientovaných kolmo na podélnou osu kmene. Procentuální zastoupení je 10 - 20 % z celkového objemu dřeva. Jejich buněčné stěny jsou ztenčené a opatřeny neztloustlým místem v buněčné stěně, které zabezpečuje transport vody a živin. Jsou po určitou dobu živé a slouží k ukládání zásobních látek, ale mají i pomocnou vodivou funkci [3][14].

## 4 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI DŘEVA A ŽIVOTNOST

U dřeva se zjišťují tyto základní fyzikální a mechanické charakteristiky (zkoušky jednotlivých parametrů jsou uvedeny v příslušných českých technických normách):

- vlhkost (ČSN 490103),
- nasákavost a navlhavost (ČSN 490104),
- hustota (objemová hmotnost) (ČSN 490108),
- bobtnání (ČSN 490126),
- sesychání (ČSN 490128),
- pevnosti (v tahu, tlaku, ohybu, smyku) (ČSN 490110 - 490116, ČSN 490118),
- modul pružnosti (ČSN 490111).

### 4.1 Vlhkost dřeva

Vlhkost dřeva ovlivňuje jeho fyzikálně - mechanické vlastnosti, a proto je velice důležitým parametrem; zjišťuje se buď gravimetricky (ČSN 490103) [30] nebo s využitím nedestruktivních metod (vlhkoměry na různém principu měření).

Voda ve dřevě se vyskytuje ve třech základních formách:

- *Voda volná (kapilární):* vyplňuje ve dřevě zejména lumen, případně mezibuněčné prostory. Je poutána silami kapilární povahy. Ve dřevě se nachází jen tehdy, pokud jsou buněčné stěny vyplněny vázanou vodou. Množství volně vázané vody se pohybuje od meze nasycení buněčných stěn po úplné nasycení dřeva vodou.
- *Voda vázaná (hygroskopická):* vyplňuje buněčné stěny a je vázaná vodíkovými vazbami. Tato voda má ve dřevě rozmezí vlhkosti od 0 % do bodu nasycení buněčných stěn, což odpovídá průměrné vlhkosti 30 %.
- *Voda na bodu nasycení buněčných stěn:* jedná se o stav dřeva, kdy dřevo obsahuje jen vodu vázanou a buněčné stěny jsou plně nasyceny vodou bez toho, aby se v dutinách buněk objevovala voda v kapalném skupenství. Vlhkost dřeva při bodu nasycení buněčných stěn se pohybuje dle druhu dřeviny v rozmezí od 22 do 35 % [1][9].

## 4.2 Hustota (objemová hmotnost)

Jedná se o charakteristiku, která výrazně ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Hustota dřeva nabývá význam, při jeho mechanickém a chemickém zpracování, kde se klade důraz na hmotnost dřevěné hmoty a tam, kde je nutno vědět, kolik dřevní hmoty obsahuje konkrétní objemová jednotka. Dále je ukazatelem vhodnosti použití dřeva na takové účely, kde se vyžaduje nízká hmotnost současně s vysokou pevností nebo pružností. Postup stanovení je uveden v ČSN 490108 [32].

Rozlišují se 4 typy objemové hmotnosti dřeva:

- objemová hmotnost při dané vlhkosti,
- objemová hmotnost v suchém stavu,
- konvenční objemová hmotnost při dané vlhkosti (výpočet vychází z hmotnosti vzorku ve vysušeném stavu a rozměry pro stanovení objemu se určují u vzorku při dané vlhkosti),
- konvenční objemová hmotnost při maximálním objemu (výpočet vychází z hmotnosti vzorku ve vysušeném stavu a rozměry pro stanovení objemu se určují u vzorku při vlhkosti rovné nebo vyšší než je mez nasycení buněčných stěn) [9][14].

Objemová hmotnost dřeva vybraných dřevin při různé vlhkosti je uvedena v tabulce 1.

*Tab. 1: Objemová hmotnost vybraných dřevin při různé vlhkosti*

Dřevina	$\rho_0$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{12}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Smrk	420	450	370
Jedle	405	435	355
Borovice	505	535	445
Modřín	560	590	485
Buk	685	720	570
Dub	680	725	610

## 4.3 Sesychání a bobtnání dřeva

Jedná se o procesy změny vlhkosti ve dřevě, které jsou doprovázeny rozměrovými změnami vzorků i produktů.

Bobtnání dřeva je proces, při kterém se zvětšují rozměry, plocha, objem dřeva při přijímání vázané vody v rozmezí od 0 % do bodu nasycení buněčných stěn. Vázaná voda se dostává do amorfni oblasti celulózových fibril, které roztlačí, což vyvolá zvětšení buněčných stěn.

*Sesychání dřeva* je proces, při kterém se zmenšují rozměry, plocha, objem dřeva v důsledku úbytku vázané vody. Tento proces má anizotropní charakter, což vede k rozdílným hodnotám sesychání v jednotlivých směrech. Rozměry dřeva se nejvíce zmenšují napříč vláken a méně podél vláken. Dřevo sesychá rozdílně i napříč vláken, v tangenciálním směru je sesychání 1,5 až 2 krát větší než ve směru radiálním. Toto je možné vysvětlit tím, že jednotlivé elementy dřeva nesesychají stejně. Cévy, parenchymatické buňky, dřeňové paprsky obvykle sesychají více ve směru tangenciálním [1][10].

#### 4.4 Pevnost dřeva

Pevnost dřeva je odpor nebo odolnost dřeva proti jeho trvalému porušení. Pevnost je vyjádřena napětím, při kterém se poruší soudržnost dřeva. Podle fyzikální povahy veličin, kterými pevnost definujeme, rozlišujeme tři druhy pevností:

- *Konvenční pevnost*: se definuje největším neskutečným napětím vyjadřující určitý stav při zatížení. Tato pevnost se vyjadřuje jako největší napětí, které se vztahuje na výchozí průřez zkoušeného tělesa.
- *Skutečná pevnost*: se definuje skutečným napětím v okamžiku porušení tělesa.
- *Ideální (teoretická) pevnost*: je maximální teoretická hodnota pevnosti dřeva, které je možno dosáhnout při dané dřevině a daných podmínkách zatěžování.

Pevnostní charakteristiky dřeva jako jsou tah, tlak, ohyb, tvrdost a další závisí na struktuře a hustotě dřeva. Vlivem poškození a s narůstající vlhkostí se pevnost dřeva snižuje [1][2].

Pro ilustraci je v tabulce 2 uveden poměr mezi jednotlivými pevnostmi dřeva a v tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty pevností při konvenční vlhkosti dřeva 12 % pro vybrané dřeviny.

Tab. 2: Poměr mezi jednotlivými typy pevností dřeva

Pevnost [MPa]						
v tahu		v tlaku		ohybu	ve smyku	
ve směru vláken	kolmo na vlákna	ve směru vláken	kolmo na vlákna		ve směru vláken	kolmo na vlákna
1	1/9 - 1/30	1/2 - 1/3	1/6 - 1/20	3/4	1/14 - 1/20	1/3 - 1/4

Tab. 3: Pevnosti vybraných dřevin při vlhkosti 12 %

Dřevina	Pevnost v tahu [MPa]		Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost ohybu [MPa]	Pevnost ve smyku [MPa]
	ve směru vláken	kolmo na vlákna			
Smrk	90	2,7	50	78	6,7
Jedle	84	2,3	47	73	5,0
Borovice	104	3,0	55	100	10,0
Modřín	107	2,3	55	99	9,0
Buk	135	7,0	62	123	12,0
Dub	90	4,0	65	110	11,0

Dřevo pro konstrukční účely je podle ČSN EN 338 charakterizováno pevnostní třídou, která vychází z pevnosti ohybu a dále z pevnosti v tahu rovnoběžně a kolmo k vláknům, z pevnosti v tlaku rovnoběžně a kolmo k vláknům a z pevnosti ve smyku. Pro jehličnaté dřeviny uvádí pevnostní třídy C14 až C50 a pro listnaté dřeviny uvádí pevnostní třídy D18 až D70 [46].

#### 4.5 Životnost prvků ze dřeva

Výrobky ze dřeva časem podléhají opotřebení. Opotřebení může být fyzické a morální. Fyzické opotřebení způsobují dřevoznehodnocující činitelé a morální opotřebení je způsobeno změnou nároků na funkčnost a estetiku.

Životnost výrobků je závislá na čase, po který by měly výrobky vyhovovat funkčně-technickým a estetickým požadavkům za určitých podmínek užívání. Životnost lze definovat jako dobu, za kterou se výrobek dostane do mezního stavu, tj. stav nepoužitelnosti. Životnost je proměnlivá veličina, u které se nedají dodržet předpokládané expoziční podmínky [2].

Životnost výrobků ze dřeva lze posuzovat z více hledisek:

- *Fyzická životnost:* charakterizuje skutečný technický stav dřevěných prvků či konstrukcí; není stejná pro všechny dřevěné výrobky, závisí na podmínkách exploatace a je také ovlivněna případnými nedostatky v projektu, při provádění, působením neočekávaných vlivů (požár, živelné pohromy), chybami při užívání nebo nepředvídanými novými požadavky různých předpisů.
- *Morální životnost:* charakterizuje estetickou stránku a funkčnost dřevěných prvků či konstrukcí (modernost, nároky na tepelnou a hlukovou izolaci, prostorovost).
- *Ekonomická životnost:* charakterizuje efektivnost vynaložených prostředků na údržbu a opravy.

## 5 VADY A POŠKOZENÍ DŘEVA

Tato kapitola se zabývá vadami, které se mohou vyskytnout v dřevní hmotě prvků zabudovaných v konstrukci a uvádí jejich charakteristiku.

Vady a poškození dřeva zabudovaného konstrukci lze rozdělit následovně:

- růstové vady (suky, trhliny, točivý růst, smolníky),
- napadení dřevokaznými škůdci (houby, hmyz, plísňe),
- vliv povětrnostních podmínek,
- chemická koroze,
- mechanické poškození.

Kromě růstových defektů může dřevo v konstrukci vykazovat i biotické a abiotické poškození. Biologické poškození dřeva vzniká vlivem mikroorganismů (bakterie), hub (dřevokazné houby, dřevozbarvující houby, plísňe), parazitických semenných rostlin, dřevokazného hmyzu, hlodavců a ptáků, člověkem. Abiotické poškození dřeva vzniká vlivem činitelů atmosférických (voda, kyslík, sluneční záření, změna teploty, mechanické vlivy), termických (plamen, sálavé teplo), chemických (kyselina, zásada, oxidační látky).

Dřevu, které je poškozené biologickými a abiotickými činiteli, se změní jeho struktura. Následkem změny struktury se mění jeho pevnost, vlhkost, tepelné a estetické vlastnosti. Intenzita změn je dána charakterem a rozsahem degradace.

Degradace může začínat už na molekulární strukturní hladině dřeva, což má za následek změny fyzikálních, mechanických a estetických vlastností. Dochází k poškození polysacharidů a ligninu ve dřevě. Toto poškození se výrazně projeví na anatomické, morfologické a geometrické hladině. Při poškození dřeva na úrovni vyšší strukturní hladiny (mikroskopické a makroskopické trhliny) si buňky v okolí poškození zachovávají anatomickou, morfologickou a geometrickou strukturu a tím se nemění pevnost, vlhkost a další vlastnosti.

### 5.1 Růstové vady

**a) Suky:** je část větve, která je obrostlá dřevem. Vzniká zarůstáním větví do kmene stromu. Suky mají hustší dřevo, které více sesychá po tloušťce, ale podstatně méně ve směru podélné osy (větve).

Podle zdravotního stavu se suky dělí na :

- *Zdravé*: suk je bez příznaků hniloby.
- *Nahnilé*: suk s příznakem hniloby, které zaujímá nejvýše 1/3 plochy průřezu suku.
- *Shnilé*: suk s hnilobou, která zaujímá více než 1/3 plochy průřezu suku.

**b) Trhliny:** trhliny rozdělují dřevo podél jeho vláken a dělí se:

- *Dřeňové trhliny*: vznikají v rostoucím stromu a po pokácení se trhliny už jen zvětšují vlivem sesychání dřeva.
- *Mrazové trhliny*: vznikají v rostoucím stromu a vyznačují se zbarvením okolního dřeva do tmavší barvy a zvlněním letokruhů.
- *Výsušné (sesychací) trhliny*: vznikají v pokáceném dřevě.
- *Odlupčivé trhliny*: nachází se v jádře mezi letokruhy a mají značnou délku.

**c) Nepravidelnosti struktury:** zahrnují:

- Odklon vláken od podélné osy dřevěného prvku.
- Smolníky a živičné kapsy jsou dutiny, které jsou uvnitř nebo mezi letokruhy. Jsou naplněny úplně nebo částečně pryskyřicí a živicí [4][29].

## 5.2 Poškození dřevokaznými houbami

### 5.2.1 Charakteristika typů poškození

Houby napadají živou nebo neživou organickou hmotu o určité vlhkosti. Jsou to chemoheterotrofní organizmy. Nemají fotosyntetické pigmenty, a proto nemohou přeměňovat oxid uhličitý ze vzduchu na organické látky. Uhlík získávají z organického substrátu. Pro svůj život potřebují vodu [5].

Houby poškozují dřevo těmito způsoby:

- *Celulózovorní nebo ligninovorní rozklad dřeva*: způsobený dřevokaznou houbou. Celulózovorní houby způsobují destrukční hnědou hnilobu, zdrojem výživy houby je složka celulózy. Dřevo napadené celulózovorní houbou tmavne a kostkovitě se rozpadá. Činnost celulózovorních hub je nazývána jako červená a hnědá hniloba a způsobuje jí houba z rodu *Serpula* a *Coniophora*. Ligninovorní houby způsobují korozivní hnilobu,

kteřá se živí složkou celulózy i ligninu. Dřevo napadené ligninovorní houbou zesvětľá, změkne, vytvoří se komůrky a drolí se, napadení se označuje jako bílá hniloba dřeva.

- *Zbarvení dřeva*: vlivem napadení dřevozbarvující houby. Tyto houby nedokážou zevnitř napadat stavební složky dřeva, a proto jsou nejméně nebezpečné. Hloubka a intenzita průniku houby je závislá na druhu houby, dřevu a okolních podmínkách. Tyto houby napadají převážně bělové dřevo. Živí se protoplazmatickými zbytky z lumenu buněk. Nezhoršují mechanické vlastnosti dřeva, ovlivňují fyzikální vlastnosti (barva, propustnost). Produkují pigmenty různých barev. Optimální vlhkost dřeva pro růst houby je 30 až 130 % a teplota 18 až 29 °C. V suchém dřevě se růst houby zastaví.
- *Plísňové povlaky*: způsobené mikroskopicky jemnou vláknitou houbou. Plísně napadají povrch dřeva a zhoršují jeho estetickou stránku, ale nesnižují jeho pevnost. Negativně ovlivňují technologické procesy zpracování dřeva a prodlužují dobu sušení řeziva. Optimální relativní vlhkost vzduchu pro růst plísně je 95 % a teplota 27 až 37 °C.

#### Vývin dřevokazných hub ovlivní následující faktory:


- *Trofické faktory*: houby pro svůj růst potřebují živiny a energii, které získají ze dřeva, konkrétně uhlík, dusík, minerální a doprovodné látky.
- *Abiotické faktory*: voda a vzduch ve dřevě, teplota dřeva, klimatické podmínky v okolí dřeva. Houby při dýchání rozkládají organický substrát na oxid uhličitý a vodu a přitom produkují teplo, které a společně se slunečním zářením vytváří podmínky pro život hub.
- *Biologické faktory*: přítomnost jiných organismů v jeho struktuře.
- *Antropogenní faktory*: externí zásahy do struktury dřeva, ochrana chemickými prostředky, skladování dřeva [2].

### **5.2.2 Nejrozšířenější dřevokazné houby**

V dalším je uvedena charakteristika dřevokazných hub nejčastěji napadávající prvky dřevěných konstrukcí, konkrétně se jedná:

- Dřevomorku domácí - *Serpula Lacrymans*,
- Konioforu sklepní - *Coniophora Puteana*,
- Trámovku trámovou - *Gloeophyllum Trabeum*,
- Trámovku plotní - *Gloeophyllum Sepiarium*.



<b>a) Dřevomorka domácí - <i>Serpula lacrymans</i></b> (nejnebezpečnější celulózožravá houba)	
Podmínky růstu	Optimální vlhkost dřeva pro růst houby je 30 % a teplota 22 °C, optimální pH substrátu je 5 až 7.
	
<i>Obr. 1: Dřevomorka domácí [28]</i>	<i>Obr. 2: Degradace dřevní hmoty vlivem Dřevomorky domácí [28]</i>
Popis houby	Plodnice dřevomorky domácí jsou převážně rozlité a za vhodných podmínek narůstají až do průměru 30 cm a někdy splývají a vytváří plošné útvary. Nejprve se zakládají jako měkké, sněhobílé až nažloutlé vatové bochánky, které přerůstají v terčovité útvary. Uprostřed plodnice se začne rozdělovat vlnovitě zprohýbané rouško s důlkovými záhyby. Poté se rouško zbarví ze žlutooranžové až do hnědo - rezavé barvy od vyzrálých výtrusů. Výtrusy jsou hladké, žluto - rezavé, ledvinovitého tvaru. Plodnice se nejčastěji vytváří v místech, kde je slabé proudění vzduchu.
Mechanismus degradace dřevní hmoty	Dřevomorka domácí rozkládá dřevo ve třech fázích. V první fázi se napadené dřevo zbarví do světle okrové barvy a jeho lom je vláknitý. Ve druhé fázi se dřevo zbarví do hnědo - žluta až hnědo - oranžova a začínají se tvořit podélné a příčné trhlinky. Ve třetí fázi rozkladu má dřevo barvu tmavohnědou, hranolovitě se rozpadá, lom je hladký a dřevo ztrácí pevnost. Tato poslední fáze se označuje jako kostkový rozpad dřeva.
Ostatní účinky	Vedle škodlivosti pro materiály obsahující celulózu je i dřevomorka domácí škodlivá pro lidské zdraví. Plodnice vytvářejí velké množství výtrusů a ty znečišťují ovzduší. Staré plodnice se při zvýšené vlhkosti rozkládají a produkují dusíkaté sloučeniny, které mohou u lidí způsobit zdravotní potíže.

**b) Koniofora sklepní - Coniophora Puteana**

Podmínky růstu	Optimální vlhkost dřeva pro růst houby je 34 až 46 % a teplota 23 °C, optimální pH substrátu je 5,7 až 6,3.
----------------	---



Obr. 3: Koniofora sklepní [28]

Popis houby	Plodnice jsou rozlité a vytvářejí ploché, tenké povlaky o průměru 10 až 50 cm a tloušťce 0,3 až 0,8 mm. Barva plodnice je žlutá až okrová. Po vyzrání výtrusů má povrch plodnice barvu olivově až kávově hnědou a okraj je bílý. Výtrusy jsou hnědo - olivové, hladké, elipsovité.
Mechanismus degradace dřevní hmoty	Napadá zdravé, vlhké dřevo a napadení se šíří směrem od povrchu dovnitř dřeva. Napadené dřevo hnědne až černá.
Ostatní účinky	Dřevo při počátečním rozkladu vykazuje kyselou reakci, která je vhodná pro klíčení výtrusů dřevomorky domácí a v tom tkví nebezpečnost.

**c) Trámovka trámová - Gloeophyllum Trabeum**



Podmínky růstu	Optimální vlhkost pro růst houby je 40 % a teplota 35 °C, optimální pH substrátu 3,8 až 6.
----------------	--



Obr. 4: Trámovka trámová [28]

Popis houby	Houba vytváří velké póry (2 až 4 póry na 1 mm). Plodnice mají barvu tmavě hnědou a vyráží k povrchu dřeva štěrbinami nebo trhlinami a zpočátku připomínají bochánky. Později se rozrůstá po substrátu a výjimečně tvoří plodnice s velkými póry, se vytvářejí válcové výtrusy.
Mechanismus degradace dřevní hmoty	Mycelium způsobí hnědou kostkovitou hnilobu. Napadené dřevo má nejdříve světle žlutou barvu, poté tmavne do červeno hnědé barvy. Houba dřevo rozkládá zevnitř a povrch je dlouho neporušen. Destrukce dřeva poznáme až jeho zlomením, protože plodnice se na povrchu nemusí objevit a působení houby nepoznáme. Poškozené dřevo křehne, láme se, tvoří kostičky s hladkými plochami.
Ostatní účinky	Odolává vyšším teplotám a silnějším mrazům, proto je tak nebezpečná. Ve vhodných podmínkách vyroste i po několikaletém vyschnutí.

#### **d) Trámovka plotní - *Gloeophyllum Sepiarium***

Podmínky růstu	Optimální vlhkost dřeva pro její růst je 40 % a teplota 35 °C, optimální pH substrátu je 3,8 až 6.	
		
	<i>Obr. 5: Trámovka plotní [28]</i>	<i>Obr. 6: Degradace dřevní hmoty vlivem Trámovky plotní [28]</i>
Popis houby	Mycelium houby má oranžovou barvu a vyskytuje se uvnitř dřeva, protože denní světlo brání jeho růstu. Plodnice vyrůstají do velikosti 2 až 8 cm a mají široké lupeny žlutohnědé barvy. V počátku růstu má klobouček žluto - rezavou barvu, ve stáří kaštanovou.	
Mechanismus degradace dřevní hmoty	Poškozené dřeva má nejdříve žlutou barvu, později červenou až hnědou. Houba způsobuje hnědou kostkovitou hnilobu. Napadené dřevo zkřehne a láme se, plocha lomu zůstává hladká a křehká.	

Ostatní účinky	Odolává silnějším mrazům. Při odstranění vlhkosti ze dřeva se mycelium vysuší, nastanou-li v době tří let příznivé podmínky, rozroste se [2][5].
----------------	--

### 5.3 Poškození dřevokazným hmyzem

Dřevokazný hmyz napadá poloopracované dřevo, stavební konstrukce, krovy, podlahy a další dřevěné předměty. Hmyz a larvy vytváří uvnitř dřevní hmoty splet' chodeb s vletovými a výletovými otvory. Při rozsáhlejším napadení se chodbičky spojují a vytvářejí ve dřevě kaverny, které jsou naplněny odpadovou drtí. Dřevokazný hmyz se obvykle rozmnožuje pomocí vajíček, které samička klade oplodněné nebo neoplozené. Jsou některé druhy dřevokazného hmyzu, kde samička rodí živé jedince.



Základní fáze vývoje dřevokazného hmyzu jsou:


- *Vajíčko*: vajíčko snáší samička. Počet je odlišný podle druhu hmyzu a ekologických podmínek. Vývin ze zárodku po vajíčko trvá několik dní nebo týdnů a pokud vajíčko přezimuje, vývin trvá i více měsíců.
- *Larva*: další růstové stádium. Larvy se podle vzhledu a druhu přeměny dělí na primární (tvarem těla jsou podobné dospělému jedinci), sekundární (mají některé orgány, které během dalšího vývinu zmizí) a terciální (tvar těla je jiný, než u dospělého jedince).
- *Kukla*: nepohyblivé stádium mezi larvou a dospělým jedincem. Vývin kukly závisí na teplotě, přičemž v zimě se úplně zastaví.
- *Dospělý hmyz*: se po přeměně vylíhne z kukly. Dospělý jedinec vylézá ze dřeva matičními chodbami, které vytvořili jejich rodiče, nebo si vytváří vlastní výletové chodbičky. Dospělý jedinec žije několik hodin až týdnů, určité druhy 2 až 3 roky a královna termitů až 10 let [2].

#### 5.3.1 Nejrozšířenější dřevokazný hmyz

V tuzemských podmínkách mezi nejrozšířenější dřevokazný hmyz patří:

- Tesařík krovový,
- Červotoč proužkovaný,
- Červotoč umrlčí,
- Pilořitka velká.

<b>a) Tesařík krovový</b>	
Podmínky pro vývoj	Optimální teplota pro vývoj larev je 29 °C a vlhkost dřeva 30 %.
	
	<i>Obr. 7: Tesařík krovový [28]</i>
	<i>Obr. 8: Degradace dřevní hmoty vlivem Tesaříka krovového [28]</i>
Napadané dřeviny	Napadá dřevo jehličnatých stromů, ze kterého se vyrábí ploty, sloupy, trámy, krovy, podlahy.
Popis vývoje	Samička klade 140 až 180 vajíček do trhlín a spár ve dřevě. Z vajíček se larvy líhnou po týdnu. Larvy se vyvíjí do dobu 3 až 10 let. Po vyvinutí se larva zakuklí, kuklové období trvá 2 až 4 týdny. Dospělý jedinec je dlouhý 7 až 25 mm, zbarvený do hnědo - černa a žije nejvýše 1 měsíc.
Mechanismus degradace dřevní hmoty	Larvy dělají chodbičky spíše v jarním dřevě v podélném směru, protože toto dřevo je bohatší na živiny. Napadené dřevo se rozpadá až na dřev. Povrchovou vrstvu dřeva nepožirají, poškození dřeva uniká pozornosti.
Ostatní účinky	Nevyskytuje ve sklepních prostorách, pro vyšší relativní vlhkost ovzduší.

<b>b) Červotoč proužkovaný</b>	
Podmínky pro vývoj	Optimální teplota pro vývoj larev je 21 až 24 °C a vlhkost dřeva je na bodu nasycení vláken 30 %.
	
<i>Obr. 9: Červotoč proužkovaný [28]</i>	





Napadané dřeviny	Napadá jehličnaté dřevo a vzácně se vyskytuje na březovém a lipovém dřevě.
Popis vývoje	Samička klade 30 až 60 vajíček do trhlin a spár. Z vajíček se za 2 až 3 týdny vylíhnou larvy, které mají délku 4 až 6 mm a nejčastěji se vyvíjí v běli, která je bohatá na bílkoviny a škrob. Při relativní vlhkosti vzduchu nižší než 45 % nedochází k líhnutí larev, protože nemohou prokousat zaschlou blánu vajíčka. Larvy se kuklí těsně pod povrchem dřeva a stádium kukly trvá asi 2 týdny. Dospělý jedinec dosahuje délky 2,5 až 5 mm, jeho barva je hnědá.
Mechanismus degradace dřevní hmoty	Charakteristické je, že trámy napadá jen na vnitřní straně místnosti, venkovní stranu nepoškozuje. Larvy vyvrtávají ve dřevě podélné chodby, jejichž hlavní část je soustředěna do letokruhů jarního dřeva. Průměr chodbiček je 0,4 až 2 mm. Dřevo napadené červotočem ztrácí pevnost a časem se rozpadá.
Ostatní účinky	Poškozené části krovů a schodišť se hroutí, nábytek se rozpadá.

### c) Červotoč umrlčí

Podmínky pro vývoj	Optimální teplota pro vývoj larev je 25 až 26 °C a vlhkost dřeva nad 19 %.
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p><i>Obr. 10: Červotoč umrlčí [28]</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Obr. 11: Degradace dřevní hmoty vlivem Červotoče umrlčího [28]</i></p> </div> </div>	
Napadané dřeviny	Napadá vlhčí jehličnaté dřevo, dřevo v pokročilém stádiu hnědé hniloby. Listnaté dřevo napadá výjimečně. Čerstvé dříví nenapadá.
Popis vývoje	Samička klade asi 30 vajíček do štěrbin ve dřevě. Po 3 až 4 týdnech se z nich vylíhnou larvy, které ve dřevě vytváří chodbičky. Dospělý jedinec je dlouhý 4 až 6 mm. Délka trvání generace je 2 až 3 roky.

Mechanismus degradace dřevní hmoty	Larvy ve dřevě vyhlodávají chodbičky v jarním dřevě o průměru 3 mm, které jsou vyplněny drtí.
Ostatní účinky	Napadají hlavně krovy, zhlaví povalových a trámových stropů.

<b>d) Pilořítka velká</b>	
Podmínky pro vývoj	Optimální teplota pro vývoj larev je 25 až 26 °C a vlhkost dřeva nad 18 %.
 <p>Obr. 12: Pilořítka velká [28]</p>	 <p>Obr. 13: Degradace dřevní hmoty vlivem Pilořítky velké [28]</p>
Napadané dřeviny	Napadají jehličnatou kulatinu, nejvíce smrk, jedli a borovici.
Popis vývoje	Samičky kladou 50 až 350 vajíček do oslabeného, odumřelého nebo čerstvě pokáceného stromu. Larvy se vyvíjí 2 až 3 roky. Barva larev je bíložlutá s hnědou hlavou. Délka těla u dospělého jedince je 24 až 44 mm. Dospělý jedinec má černé tělo se žlutými články břicha, nohy a tykadly.
Mechanismus degradace dřevní hmoty	Larvy vyžirají chodbičky podél vláken v jarním dřevě, ale i šikmo přes letní dřevo a tím dřevo znehodnocují. Chodbičky jsou kruhového průřezu o průměru 5 až 7 mm.
Ostatní účinky	Je-li opracované dřevo přikryto jiným materiálem, který stojí v cestě líhnoucímu se jedinci, bývá poškozena i tato krytina (koberce, tapety, knihy) [5][8].

## 5.4 Vliv povětrnostních podmínek

Přirozené stárnutí dřeva vlivem povětrnosti. Proces probíhá nepřetržitě nebo s menší intenzitou v závislosti na vlhkosti, tepelných a světelných podmínkách. Intenzita koroze dřeva je výraznější v exteriéru, kde se střídají klimatické podmínky během roku.

Atmosférickou korozi dřeva vyvolávají činitelé hmotného charakteru a energetických polí. Mezi činitele hmotného charakteru patří voda, kyslík, agresivní plyny, chemické agresivní látky, prach a písek. Mezi činitele energetických polí patří sluneční záření, teplo a proudění vzduchu. Pokud působí na dřevo více činitelů současně, jejich degradační účinek se násobí. Vlivem působení těchto činitelů probíhá ve dřevě fotodegradace, ohřívání, rozměrové změny, trhliny, eroze, barevné změny.

Nejvýznamnější vliv na stárnutí dřeva má voda a sluneční záření, ostatní faktory stárnutí dřeva jen navyšují. Ve stárnoucím dřevě se vytváří příznivější podmínky pro napadení biologickými škůdci. Je to způsobeno depolymerizací ligninu a hemicelulóz, uvolňování tříslovin s biocidním účinkem.

Povětrnostní činitelé mění strukturu a vlastnosti dřeva do hloubky 2 až 10 mm od povrchu. V optimálních podmínkách si dřevo dokáže zachovat svoji strukturu po dobu několika tisíciletí. Pro zvýšení odolnosti dřeva proti povětrnostním vlivům se používají nátěry s hydrofóbními složkami [2].

### a) Vliv vody na dřevo

Voda na dřevo může působit v podobě plynné fáze (vzdušná vlhkost) nebo v podobě kapalné fáze (dešťová voda) a v podobě pevné fáze (led). Voda smáčí povrch dřeva a lehce vniká do jeho struktury pomocí kapilárních sil. Voda se do buněčných stěn adsorbuje a tím dřevo bobtná, nebo dochází k desorpci a dřevo sesychá. Vlivem vlhkostních změn dochází k pracování dřeva, tvorbě trhlín a trvalé deformaci. V mokřém dřevě je vysoký podíl volné vody, která se při silných mrazech mění na led, který způsobí mrazové trhliny ve dřevě.

### b) Vliv slunečního záření na dřevo

Dřevo vystavené slunečnímu záření mění na povrchu svoji barvu. Světlé dřevo (javor, buk) tmavne, což způsobuje chemická reakce vyvolaná v ligninu vlivem UV záření. Během probíhajících reakcí je sytost barvy závislá na tom, kolik tmavého produktu ligninu se z dřeva



vyplaví. Pro erozi dřeva jsou rozhodující faktory slunečního záření, vody, kyslíku, ale i teploty a proudění vzduchu [2].

## 5.5 Chemická koroze

Chemická koroze dřeva je proces, který nastává po kontaktu složek dřeva s agresivními chemickými látkami. Mezi agresivní chemické látky patří zásady, kyseliny, oxidovadla. Příčinou chemické koroze dřeva mohou být pomocné chemické látky aplikované do struktury dřeva záměrně. Tyto látky mohou mít za úkol zvýšit odolnost dřeva proti biotickým škůdcům, snížit hořlavost atd. Při korozi dřeva v něm probíhají depolymerizační, dehydratační, oxidační chemické reakce. Tyto reakce mají za následek zbarvení dřeviny, mikroskopicky pozorovatelné změny buněčných stěn a makroskopické defekty geometrie dřeva.

Dřevo poškozené silnými alkáliemi (hydroxid sodný, draselný) více sesychá i bobtná, ale nastávají zde u mechanických vlastností jisté anomálie. V mokřém stavu je pevnost dřeva výrazně snížena, ale v suchém stavu je výrazně vyšší než je pevnost zdravého dřeva. Dřevo poškozené silnými kyselinami (kyselina sírová, chlorovodíková) nebo oxidačními činidly (peroxid vodíku) má výrazně nižší hodnoty mechanických parametrů v suchém i mokřém stavu. Slabé organické kyseliny (kyselina octová) korodují dřevo jen mírně. Intenzita chemické koroze narůstá se zvyšující se teplotou a se zvyšující se koncentrací agresivní chemické látky. Jehličnaté dřevo je oproti listnatému dřevu více odolné chemické korozi [6].

## 5.6 Mechanické poškození

Mechanické poškození je zpravidla povrchové poškození kmene nebo jeho výřezů dřevorubeckým nářadím, stroji při těžbě, dopravě, třídění a zpracování dříví. Příčina poškození je obvykle neodborné zacházení s kmenem při kácení, krácení, přibližování, nakládání, skládání.

Druhy mechanického poškození:

- oděr kůry,
- zásek,
- zářez,
- lizina,

- výrobní trhlina,
- nedořez,
- vytrhaná vlákna a třísky.

Při mechanickém poškození dřeva dojde k celkovému snížení výtěži dřeva. Výrobní trhlina může být dlouhá 2 až 3 metry, čím se znehodnotí nejcennější oddenková část kmene. Podobné účinky mají i vytrhaná vlákna a třísky. Následné použití dřeva je výrazně omezeno (palivo, vláknina). Mechanické poškození dřevin nelze vyloučit, ale odbornou způsobilostí a pečlivostí je možné vnik toho poškození omezit na minimum [4].

## 6 ZÁKLADNÍ TYPY DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ STAVEB

Mezi základní typy dřevěných konstrukcí patří krovy a dřevěné trémové stropy.

### 6.1 Krovové konstrukce

Krov je součástí zastřešení budovy, kde plní nosnou funkci střešního pláště (krytina, laťování, bednění, izolační a podhledové vrstvy). Krovy vytváří tvar střechy a přenáší zatížení od střešního pláště, sněhu, větru do nosných částí objektu.

Krovové konstrukce se podle nosného systému soustavy dělí:

- vaznicová soustavy,
- hambalková soustava,
- vazníková soustava.

#### 6.1.1 Vaznicové soustavy

Hlavním nosným prvkem soustavy je vodorovně uložená vaznice, která je vynášena sloupky. Sloupky jsou začepovány do vazného trámu nebo jsou kotveny do stropní konstrukce v místě nad podporou - nosná zeď. Vaznice vynáší krokve, které jsou zatíženy střešním pláštěm a tvoří spád střechy. Dále může být vazba doplněna vzpěrou, kleštinou a páskem. Tato vazba se nazývá plná. Ostatní vazby, které nejsou takto podporovány pod krokví, se nazývají prázdné. V místě, kde krokev přeruší komínové těleso nebo vikýř, se provádí výměna.

Vaznicové soustavy se podle umístění jednotlivých prvků rozdělují na soustavy se stojatou stolicí, ležatou stolicí, věšadla, vzpěradla, mansardové soustavy a kombinované soustavy.

#### 6.1.2 Hambalková soustava

Hambalková soustava má každou vazbu plnou. Soustava je tvořena z krokve a vodorovné výztuhy, která se nazývá hambálek. Počet hambálek nad sebou se určí podle rozponu střechy. Na konstrukci působí značné horizontální zatížení, které se musí v místě osedlání krokví na pozednici zachytit pomocí ocelových kotev připevněných do stropní konstrukce. Ztužení soustavy v podélném směru zabezpečují ondřejské kříže umístěné v rovinně střešního pláště.

### 6.1.3 Vazníková soustava

Nosným prvkem vazníkové soustavy jsou vazníky uložené v příčném směru ve vzdálenosti 0,9 až 1,2 metrů. Vazníky se rozdělují na plnostěnné a příhradové. Zabezpečení prostorové tuhosti v podélném směru se provádí ondřejskými kříži. Vazníková soustava je vhodná pro střechy s malým spádem a velkým rozpětím [11].

## 6.2 Stropní konstrukce

Úkolem stropní konstrukce je rozdělit budovu po výšce na jednotlivá podlaží. Stropní konstrukce pomocí nosných prvků přenáší zatížení do svislých nosných prvků. Zatížení, které působí na stropní konstrukci, je vždy její vlastní tíha a mohou působit i další zatížení (nenosné příčky, osoby, havárie). Stropní konstrukci je nutno navrhovat s ohledem na požární odolnost, tepelnou a akustickou izolaci.

Podle způsobu konstrukce se stropy rozdělují na stropy:

- trámové,
- povalové,
- kazetové,
- fošnové.

### 6.2.1 Trámové stropy

Trámy se obvykle vyrábí z jehličnatého dřeva jako je smrk, jedle, modřín. Výjimečně se používá dřevo listnaté (dub) pro krátké rozpony. Stropní trámy (stropnice), které plní nosnou funkci, jsou rozmístěny ve vzdálenosti 0,9 až 1,2 metrů. Rozměry stropnice jsou dány rozpětím a zatížením, které na ně působí. Poměr výšky  $h$  a šířky  $b$  bývá od 7/5 do 2. Trámy se ukládají minimálně 150 až 200 mm do kapes v nosné zdi. Zhlaví trámu je ošetřeno fungicidními prostředky a klade se do kapes na podložku. Spřažení stropní konstrukce s nosnou stěnou se provádí pomocí trámových kleštín. Podle uložení trámů se stropy dělí na trámové stropy s přiznanými trámy, trámové stropy s rovným podhledem, trámové strop s trámy uloženými do ocelových nosníků.

### **6.2.2 Povalové stropy**

Nosnou část stropu tvoří povalové trámy. Trámy jsou hraněny ze třech stran a spojeny na doraz k sobě. Ve vzdálenosti 1 až 1,5 metrů jsou trámy spojeny ocelovými skobami nebo dřevěnými klíny, které jsou šikmo zaražené. Uložení trámů je minimálně 80 mm a to buď do kapes nebo na římsu na nosné stěně. V místech, kde trámy musí překonat větší rozpon, se kladou do ocelových válcovaných nosníků.

### **6.2.3 Kazetové stropy**

Mezi stropnice se vkládají příčné trámy (výměny). Výška výměn je poloviční vzhledem ke stropnicím. Stropnice a výměny bývají nejčastěji přiznané. Mohou být i obložené dřevěným obkladem. Přiznaná struktura se používá u esteticky náročných objektů.

### **6.2.4 Fošnové stropy**

Nosným prvkem jsou fošny průřezu 60/240 mm uložené v osově vzdálenosti 600 mm. Fošny jsou rozepřeny proti klopení křížovými vzpěrami ve vzdálenosti 1,5 metrů. Spodní strana fošen je podbita prkny a na horní straně je vytvořen záklop [11].

## 7 NEDESTRUKTIVNÍ METODY ZKOUŠENÍ

Nedestruktivní metody zkoušení jsou využívány pro zjišťování parametrů stavebních materiálů, nejčastěji kovů a betonu. Je však tendence je využívat i pro hodnocení stavu dřeva, zejména zbudovaného v konstrukcích. Z hlediska principu měření lze rozdělit nedestruktivní metody:

- vizuální,
- tvrdoměrné metody,
- akustické metody,
- elektrické,
- radiační,
- optické,
- vlhkostní.

### 7.1 Vizuální metoda

Je to nejjednodušší metoda pro hodnocení stavu dřevěné konstrukce. Pohledem zjistíme suky, obsah vlhkosti, zhoršení kvality dřeva ovlivní jeho pevnost.

Vizuální kontrolou může být zjištěno poškození v kritických oblastech v počátečních fázích. Poloha suku má velký vliv na pevnostní vlastnosti dřeva. Platí to u měkkého i tvrdého dřeva. Míra degradace v kritických průřezech musí být určena pomocí dalších metod [23][24].

Míru degradace lze zjistit na vzorku dřeva odebraném pomocí přírůstkového vrtáku – viz obrázek 14. Který slouží jako podklad pro aplikaci dalších metod vyšetřování stavu konstrukce.



*Obr. 14: Přírůstkový vrták*

## 7.2 Tvrdoměrné metody

Jsou založeny na zjišťování tvrdosti materiálu a v případě existence kalibračního vztahu lze z tvrdosti odvodit hodnotu fyzikálně - mechanické charakteristiky, zpravidla se jedná o pevnost v tlaku.

Pro hodnocení dřeva jsou využívány tyto tvrdoměrné metody:

- tvrdost podle Janka,
- tvrdost podle Brinella,
- tvrdost podle Vickerse,
- tvrdost podle Moninna,
- odpor při vrtání,
- zarážení trnu,
- mikrovývrty (semidstruktivní metoda).

<i>a) Stanovení tvrdost dřeva podle Janka</i>	
Předpis	Postup zkoušení vychází z ČSN 490136: Drevo Metóda zisťovania tvrdosti podľa Janka
Podstata metody	Zjišťuje se síla potřebná pro zatlačení razníku ve tvaru polokoule o poloměru 5,64 mm do dřeva na stanovenou hloubku (5,64 mm resp. 2,82 mm) a vypočítá se statická tvrdost jako poměr síly k ploše průměru otisku. Zjišťuje se průměr otisku indentoru při zatěžovací síle 1 kN. Ze zjištěného průměru otisku a působící síly se vypočítá tvrdost.
Zkušební těleso	Průřez 50x50 mm, délka minimálně 50 mm ve směru vláken
Zkušební zařízení	Zkušební lis, zkušební přípravek s číselníkovým úchylkoměrem
Výstup změření	<ul style="list-style-type: none"><li>- síla potřebná pro zatlačení razníku do požadované hloubky</li><li>- statická tvrdost <math>H_w</math> [N/mm<sup>2</sup>]</li></ul>
Podmínky zkoušení	Povrch vzorku musí být rovný, hladký a očištěn. Zkoušku nelze provést na konstrukci ze dřeva [26][44].

<b>b) Stanovení tvrdosti dřeva podle Brinella</b>	
Předpis	Postup zkoušení vychází z ČSN EN 1534: Parketa a jiné dřevěné podlahoviny - Stanovení odolnosti proti vtisku
Podstata metody	Zjišťuje se průměr vtisku indentoru při zatěžovací síle 1 kN (tvrdé dřeviny), 0,5 kN (středně tvrdé dřeviny), 0,1 kN (měkké dřeviny). Ze zjištěného průměru vtisku a působící síly se vypočítá tvrdost.
Zkušební těleso	Průřez 50x50x50 mm
Zkušební zařízení	Indentor - kulička o průměru $10 \pm 0,01$ mm, měřicí zařízení, zatěžovací hlavice zkušebního tělesa
Výstup změření	<ul style="list-style-type: none"> <li>- průměr otisku kuličky při působící síle 1 kN</li> <li>- statická tvrdost HB [<math>\text{kp/mm}^2</math>]</li> </ul>
Výhody	Určitá empirická závislost mezi pevností a tvrdostí. Metoda je vhodná pro měkké a středně tvrdé materiály. Principiálně jednoduchá zkouška.
Nevýhody	Povrch vzorku musí být rovný, hladký a očištěn. Zkoušku nelze provést na konstrukci ze dřeva [26][47].

<b>c) Stanovení tvrdosti dřeva podle Vickerse</b>	
Předpis	Postup zkoušení vychází z ČSN EN ISO 6507-1: Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Vickerse
Podstata metody	Diamantový pravidelný čtyřboký jehlan se vtlačuje do materiálu silou (F) o velikosti 10 - 1000 N. Tvrdost podle Vickerse je určena poměrem vtlačovací síly F a povrchu vtisku.
Zkušební těleso	Tloušťka tělesa minimálně 1,5 násobek délky úhlopříčky vtisku
Zkušební zařízení	Vickersův tvrdoměr
Výstup změření	<ul style="list-style-type: none"> <li>- délka úhlopříček vtisku</li> <li>- tvrdost <math>H_V</math> [<math>\text{N/mm}^2</math>]</li> </ul>
Výhody	Metoda je velmi přesná a je vhodná jak pro měkké, tak pro tvrdé materiály.
Nevýhody	Vysoká náročnost na kvalitu zkoušeného povrchu. Je nutno zamezit působení chvění a rázů na tvrdoměr. Zkoušku nelze provést na konstrukci ze dřeva [26][49].



<b>d) Stanovení tvrdosti dřeva podle Moninna</b>	
Podstata metody	Ocelový válec se vtlačuje silou 2 kN do dřeva. Tvrdost se určí ze vztahu hloubky průniku ( $t$ ) 30 mm ocelového válce a šířky otlacení na radiální části vzorku ( $l$ ) při maximálním zatížení 2 kN, které je dosaženo za 5 sekund.
Zkušební zařízení	Moninnův tvrdoměr
Výstup změření	<ul style="list-style-type: none"> <li>– hloubka průniku válce</li> <li>– šířka otlacení válce na radiální straně vzorku</li> <li>– tvrdost <math>H_M</math> [N/mm<sup>2</sup>]</li> </ul>
Nevýhody	Zkoušku nelze provést na konstrukci ze dřeva [26].

<b>e) Stanovení odporu při vrtání</b>	
Podstata metody	Metoda je založena na měření odporu vůči prostupu vrtáku malého průřezu zkoumaným materiálem. Dochází k zaznamenání energie při vrtání. Menší vrtný odpor, který je spojený s menší hustotou, dutinami, poškozením, rozštípnutím a trhlinami, vyžaduje menší točivý moment motoru.
Zkušební zařízení	Resistograph
Výstup změření	<ul style="list-style-type: none"> <li>– grafický záznam energii potřebné na udržení konstantní vrtné rychlosti</li> <li>– hodnota odporu při vrtání</li> </ul>
Výhody	Okamžitá interpretace výsledků na základě grafického výstupu. Relativně přesné určení vnitřního stavu prvku. Zkoušku lze provést na konstrukci ze dřeva.
Nevýhody	Metoda je vhodná pouze pro radiální směr, protože při jiném směru se vrták stáčí do oblasti měkčího jarního dřeva. Metoda může být negativně ovlivněna faktory, jako je vlhkost a druh dřeviny [13].

<b>f) Metoda zarážení trnu</b>	
Podstata metody	Mechanické zařízení Pilodyn měří hloubku průniku trnu o průměru 2,5 mm vystřeleného do dřeva při konstantní zatěžovací síle 6 J.
Zkušební zařízení	Pilodyn
Výstup změření	– hloubka průniku trnu – tvrdost dřeva
Výhody	Jednoduché a lehké provedení. Metoda vhodná při poškození dřeviny měkkou hnilobou, která se projevuje u povrchu prvku. Zkoušku lze provést na konstrukci ze dřeva.
Nevýhody	V průběhu zarážení trnu dochází pouze k povrchové penetraci do dřeva, a známe tedy jenom povrchovou informaci o stavu konstrukčního prvku. Měření je ovlivněno obsahem vlhkosti. S vyšším obsahem vlhkosti Pilodyn snadno penetruje do dřeva [15][27].

<b>g) Mikrovývrty</b>	
Podstata metody	Pomocí ruční nebo elektrické vrtačky se z dřevěné konstrukce odebírají vývrty. Vývrty se odebírají ve směru kolmém na letokruhy a jsou následně destruktivně zkoušeny v laboratoři.
Zkušební těleso	Válec průměru 4,5 mm a délce minimálně 40 mm
Zkušební zařízení	Vrtačka pro odběr vzorků, zkušební zařízení pro zkoušku tlakem, posuvné měřidlo
Výstup změření	– pevnost v tlaku
Výhody	Radiální vývrty lze použít ke stanovení fyzikálních a mechanických vlastností s poměrně velkou přesností. Zkoušku lze provést na konstrukci ze dřeva.
Nevýhody	Vývrty pro zkoušky je možné odebírat jenom v zdravých částech prvků, tím se výsledky zkreslují, jelikož neodpovídají skutečnému poškození. Z konstrukce se musí odebrat více vzorků, aby bylo dosaženo určitého stupně spolehlivosti [13].

### 7.3 Akustické metody

Metody jsou založené na snímání elastického vlnění, které vzniká v důsledku dynamických procesů objevujících se v materiálu vlivem zatěžování vnitřními nebo vnějšími silami.

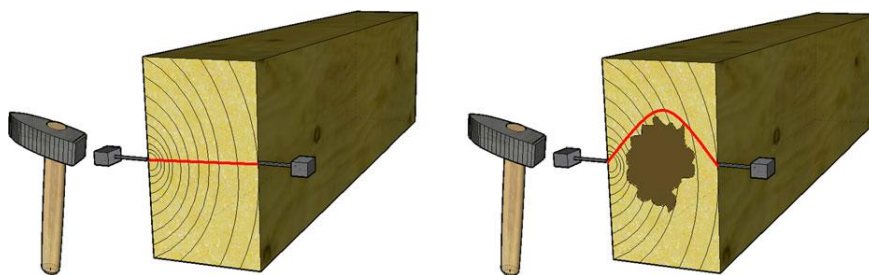
Pro hodnocení dřeva lze využít tyto akustické metody :

<b>a) Ultrazvuková impulsová metoda</b>	
Předpis	Postup zkoušení vychází z ČSN EN 12504 - 4: Zkoušení betonu - Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukových impulsů
Podstata metody	Přístroj vysílá ultrazvukový impuls (frekvence pro dřevo 70 - 150 kHz), které prochází zkoumaným materiálem a tento impuls je snímán snímačem. Měří se čas, za který projde ultrazvukový impuls materiálem.
Zkušební těleso	Minimální nejmenší rozměr ve směru prozvučování $d_{\min}$ musí splňovat podmínku: délka vlny $\lambda_L/d_{\min} < 1$ .
Zkušební zařízení	Zkušební přístroj pro stanovení doby průchodu ultrazvukového vlnění
Výstup změření	<ul style="list-style-type: none"> <li>- doba šíření ultrazvukového impulsu zkoumaným materiálem</li> <li>- rychlost šíření ultrazvukového impulsu</li> <li>- dynamický modul pružnosti</li> </ul>
Výhody	Zjišťujeme vady v celém průřezu zkoušeného materiálu. U napadeného dřevěného prvku (dřevokazný hmyz, houba) se rychlost přenosu vln výrazně prodlouží. Při povrchovém prozvučování (nepřímé) lze zjistit rozdíly ve stavu povrchové vrstvy dřeva. Zkoušku lze provést na konstrukci ze dřeva.
Nevýhody	Rychlost šíření ultrazvukového impulsu může být snížena vlhkostí. Pro zajištění reprodukovatelnosti výsledků je nezbytné provádět měření s vysokou četností. Nelze provádět ve špatně přístupných částech konstrukce, např. zhlaví trámů [48].

<b>b) Rezonanční metoda</b>	
Předpis	ČSN 490124 (zrušená): Dřevo - Rezonanční metoda zisťovania modulov pružnosti a logaritmickeho dekrementa kmitania

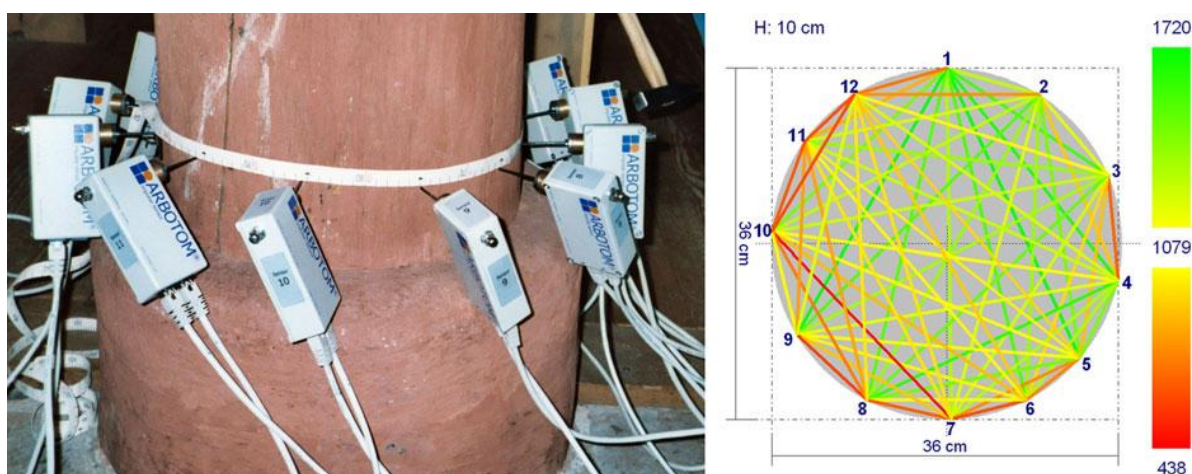
Podstata metody	Zkušební těleso se upne do zařízení. Budič a snímač se umístí dle toho, zda bude probíhat měření podélných nebo ohybových kmitů. Při podélném kmitání budič vyvodí frekvenci v rozsahu 6 - 12 kHz a při ohybovém kmitání frekvenci 1,5 - 3,5 kHz. Pomocí snímače se tato rezonanční frekvence zaznamenává.
Zkušební těleso	Pravoúhlý hranol s rozměry 20x20x300 mm
Zkušební zařízení	Rezonanční aparatura, posuvné měřidlo, váhy, zařízení na zjištění vlhkosti
Výstup změřen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– frekvence kmitání</li> <li>– modul pružnosti v tlaku, tahu</li> <li>– modul pružnosti ve smyku</li> </ul>
Výhody	U poškozeného vzorku (dřevokazný hmyz, houba) se sníží frekvence kmitání.
Nevýhody	Zkoušení pouze na vzorcích pravidelného tvaru [41].

<b>c) Kladívková metoda pružného rázu</b>	
Podstata metody	Úder kladívka se ve zkoumaného materiálu vzbudí a vysílá mechanické vlnění, které se snímá snímači a sleduje se doba průchodu vln. Metoda je založena na změně akustických vlastností degradovaného dřeva. Průběh šíření vlny je znázorněn na obrázku 15.
Zkušební zařízení	Kladívko, detektor vln
Výstup změřen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– doba průchodu vlny materiálem</li> <li>– rychlost zvuku</li> <li>– dynamický modul pružnosti</li> </ul>
Výhody	Zjišťujeme vady ve zkoušeném materiálu. U napadeného dřevěného prvku (dřevokazný hmyz, houba) se rychlost přenosu vln výrazně prodlouží. Metodu lze využít pro zkoušení na dřevěné konstrukci.
Nevýhody	Výsledky mohou být ovlivněny různými faktory: vlhkost, druh dřeviny nebo orientace letokruhů vzhledem ke směru nárazu [17][16][18].



Obr. 15: Průběh šíření vlny ve zdravé a poškozené části dřeva při měření kladívkovou metodou pružného rázu [16]

<b>d) Ultrazvuková tomografie</b>	
Podstata metody	Dvojice sond (vysílač, přijímač) se umístí na zkoumaný prvek. Do snímač se klepne například kladívkem, aby došlo k vyvolání vlny. Tento signál se spustí v celém řetězci. Určí se čas, za který rázová vlna dorazí k odpovídajícímu snímači. Rychlost vln je zaznamenávána počítačem a výsledkem je 2 - D obraz, na kterém je zobrazena rychlost v jednotlivých snímačích. Tento jev je zobrazen na obrázku 16.
Zkušební zařízení	Sondy propojeny kabely
Výstup změření	<ul style="list-style-type: none"> <li>– doba průchodu ultrazvukového impulsu</li> <li>– 2 - D obraz</li> </ul>
Výhody	Zkoušku lze provést na konstrukci ze dřeva. Zjišťujeme vady v celém průřezu zkoušeného materiálu [16][19].



Obr. 16: Způsob měření metodou ultrazvukové tomografie [16]

<b>e) Ultrazvuková odrazová metoda</b>	
Podstata metody	Sonda vysílá krátký ultrazvukový impuls, který se šíří materiálem a odráží od všech rozhraní (vada, povrch), tento impuls se vrací zpět do sondy a je zaznamenán časový průběh impulsu. Na display přístroje se znázorní informace o tloušťce prvku a hloubce vady.
Zkušební zařízení	Sondy - vysílač a snímač, osciloskop
Výstup změření	<ul style="list-style-type: none"> <li>– doba průchodu ultrazvukového impulsu</li> <li>– dvourozměrné zobrazení změn ve struktuře dřeva</li> </ul>
Výhody	Přístup pouze z jedné strany konstrukce. Vysílač a snímač může být jedna sonda. Zkoušku lze provést na konstrukci ze dřeva.
Nevýhody	Není možné ve dřevě zjistit poškození resp. imperfekce menší než 1/2 vlnové délky. Vyšší hodnota frekvence má za následek útlum ultrazvukového signálu [20][21].

## **7.4 Radiografická metoda**

Do nedávné doby se rentgenové vyšetřování používalo jako kvalitativní hodnocení dřevěné konstrukce. Cílem bylo odhalit poškozené plochy dřeva, oblasti s menší hustotou dřeva důsledkem napadení biologickými škůdci. Později se metoda začala používat i jako kvantitativní hodnocení pro vnitřní deformace upevňovacích materiálů, zjišťování rozměrů vnitřních prvků [13][25].

### **7.4.1 Teorie rentgenového záření**

Rentgenové paprsky jsou krátké vlnové délky elektromagnetického záření. Intenzita pronikání paprsku je závislá na hustotě materiálu, druhu a tloušťce prozařovaného materiálu, energii záření.

Rentgenové paprsky tvoří elektrony vysoké rychlosti, kde se jen malý zlomek přemění na krátké vlnové záření. Zbytek se přemění na teplo, které musí být ze systému odstraněno.

Rentgenová trubka obsahuje katodu a anodu, které emitují elektrony při zahřátí na záření. Mezi anodou a katodou je napětí, dochází k urychlování elektronů a vzniká rentgenové záření. Rentgenové paprsky vycházejí jako světlo, které má nízkou absorpci. Vyzařované

paprsky ztrácí intenzitu při průchodu materiálem. Průnik paprsků je ovlivněn: složením, hustotou, tloušťkou materiálu, pórovitostí a vlhkostí materiálu.

#### **7.4.2 Digitální zpracování obrazu a analýza rentgenového záření**

Na fotografickém obrazu se odráží vlastnosti zkoumaného materiálu, jeho hustota, tloušťka, absorpce vyzařované energie. Pomocí infračervené termografie a akustických nedestruktivních metod lze zjistit napadení dřeva škůdci. Hlavním přínosem použití rentgenového záření je možnost určení stavu konstrukce bez jejího porušení. Mezi další výhody patří zjištění přesných rozměrů konstrukce, identifikace spojovacích prostředků (hřebíky, šrouby), identifikace konstrukčních detail pro historické účely. Metody mají i problémy a to zejména při identifikaci trhlin. Trhliny musí být orientovány rovnoběžně se zářením a jejich velikost musí být alespoň 2 % tloušťky prvku. Dalším problémem je členité uspořádání konstrukce, které brání vhodnému umístění zobrazovací desky. Lze použít zobrazovací skenery, pro vylepšení digitálního obrazu pomocí software. Vylepšený obraz byl použit pro vyčíslení stupně poškození konstrukce. Identifikovala se intenzita šedých tónů z rentgenového snímku, každý tón měl jiný počet pixelů. Došlo k lepšímu rozeznání změn ve struktuře dřeva [22].

#### **7.4.3 Aplikace radiografických metod při hodnocení stavu dřeva**

##### **a) Redukce průřezu**

U starého dřeva může dojít ke změně průřezu vlivem napadení konstrukce hmyzem nebo zmenšováním trhlin. Při dostupnosti konstrukce se rentgenové záření vysílá ve směru podél vláken. Předpoví se místo největšího dovoleného namáhání a v tomto bodě se určí, jestli došlo ke zmenšení průřezu. Pokud ke zmenšení průřezu dojde, provádí se zesilování konstrukce.

##### **b) Skryté geometrie**

Skryté kovové detaily uvnitř konstrukce lze posoudit rentgenovým zářením. Ukryté dřevěné detaily v konstrukcích se pomocí záření identifikují obtížněji. Hmoždinka ze dřeva má přibližně stejnou hustotu jako okolní dřevo a na snímku jde rozpoznat hůře.

##### **c) Posouzení hustoty dřeva**

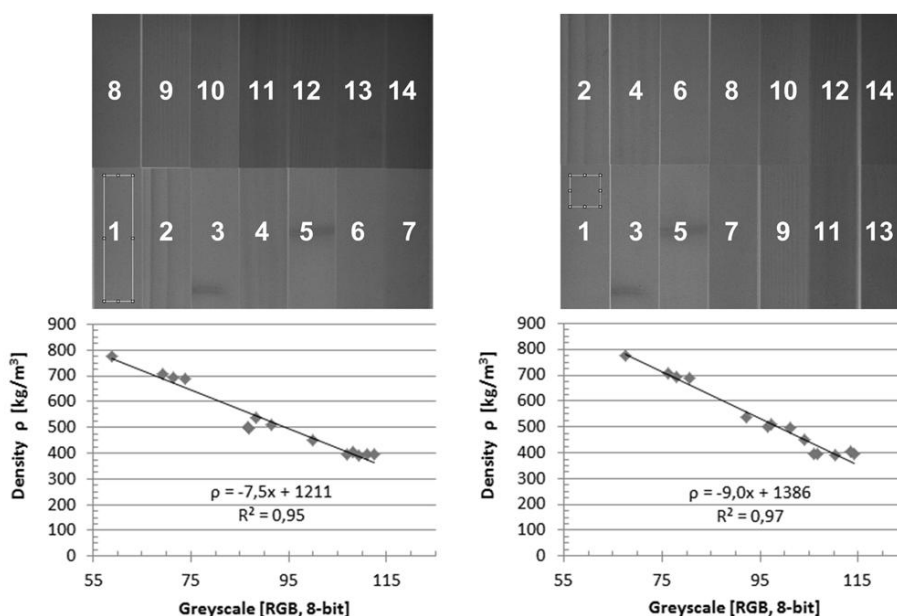
Hustota dřeva souvisí s řadou mechanických vlastností, a proto může být použita při hodnocení dřevěných konstrukcí. Hodnota modulu pružnosti, pevnosti, ale i kotevní síla

mechanických dřevěných spojů, souvisí s hustotou dřeva. K vyhodnocení hustoty dřevěných konstrukcí se používá rentgenové záření. Měření by mělo být doprovázeno dalšími nedestruktivními zkouškami, jako je ultrazvukové měření. Přenosné rentgenové záření je schopno identifikovat poškození, vady, trhliny ve struktuře dřeva. Cílem je získat vztah mezi naměřenou hustotou dřevěné konstrukce a stupni šedi získaných z rentgenového snímku. Rozdíly v hustotě dřeva se zobrazí rozdílnými odstíny šedi, tento jev můžeme pozorovat na obrázku 17. Na toto měření má vliv tloušťka konstrukce a obsah vlhkosti ve dřevě.

Postup při vyhodnocení hustoty lze rozdělit do čtyř fází :

- *První fáze:* je založena na vztahu mezi stupněm šedi a hustotou. Vzorky různých druhů dřevin jsou prověřeny pomocí rentgenového záření. Obsah vlhkosti ve vyšetřovaných vzorcích je 12 %.
- *Druhá fáze:* určuje se vztah mezi intenzitou barvy a tloušťkou materiálu. Jsou zkoumány a porovnávány vzorky s různou tloušťkou a hustotou dřeva. Se zvyšující se tloušťkou materiálu dochází k útlumu rentgenového záření.
- *Třetí fáze:* zahrnuje se obsah vlhkosti ve vzorcích a její vliv na stupně šedi na rentgenovém snímku.
- *Čtvrtá fáze:* výpočet korigované hodnoty pro stupně šedi.

Rentgenové záření zaznamenává vztah mezi hustotou dřeva a stupni šedi. Tento vztah má lineární závislost a je platný až do hodnoty hustoty dřeva 1000 - 1200 kg/m<sup>3</sup> [22][25].



Obr. 17: Příklady vztahů mezi hustotou a stupni šedi jednotlivých vzorků [22]



## **7.5 Optické metody**

Optické pozorování je základní metoda při zkoumání objektů. Zkoumaný objekt lze pozorovat, vyhodnocovat, měřit. Z těchto metod při hodnocení dřeva dřevěných konstrukcí mají uplatnění mikroskopie a endoskopie.

### **7.4.1 Mikroskopie**

Mikroskopická studie poskytuje informace o buněčné struktuře dřeva a jejím poškození, napadání dřeva houbami, plísní a hmyzem. Plodnice hub nejsou vždy zřetelné. Pod mikroskopem lze podle specifických vlastností (barva, tvar) určit, o jaký druh houby se jedná. Pro určení druhu hmyzu, který napadl dřevěnou konstrukci, se používají jeho výtrusy, které se zkoumají pod mikroskopem.

### **7.4.2 Endoskopie**

Endoskop je zařízení pro vizuální kontrolu těžko dostupných míst (vnitřní dutiny). Endoskop je vybaven zaváděcí trubicí, na jejímž konci je umístěna optická hlava s kamerou a vestavným zdrojem světla. Do zkoumané konstrukce se vyvrtá otvor o průměru 10 až 16 mm. Hlavice endoskopu se zastrčí do vyvrtaného otvoru a následně je možné pozorovat vnitřní stav konstrukce. Obraz z kamery se přenáší na display. Lze uvnitř dřeva rozpoznat napadení dřevokazným hmyzem, houbou a plísní. Endoskopie je vhodná pro dřevěné trámové stropy, stěnové prvky, dřevěné trámy [7].

## **7.6 Metody měření vlhkosti**

Pro zjišťování obsahu vlhkosti ve dřevě se používá celá řada metod. Metody se dělí na přímé a nepřímé. Přímé metody zjišťují skutečný obsah vody ve dřevě. Toto metodou je metoda gravimetrická. Metody nepřímé zjišťují obsah vlhkosti nepřímo pomocí měření jiné veličiny, jejíž hodnota závisí na obsahu vody ve dřevě. Mezi metody nepřímé patří metody elektrofyzikální, radiometrické, akustické.

### **7.5.1 Měření vlhkosti dřeva pomocí elektrických vlhkoměrů**

Vlhkost ve dřevě výrazně ovlivňuje elektrofyzikální vlastnosti dřeva. Proto tyto vlastnosti mohou být použity pro účely měření vlhkosti ve dřevě. Elektrické vlhkoměry jsou přístroje, jejichž principi spočívá v měření některých elektrických veličin dřeva. Měří tedy

elektrickou veličinu, která ale nepředstavuje materiálovou charakteristiku. Mezi měřené elektrické veličiny patří například odpor.

Podle druhu elektrického napětí se vlhkoměry dělí na odporové s jednosměrným napětím a dielektrické se střídavým napětím.

#### **7.5.2.1 Měření vlhkosti dřeva pomocí odporových vlhkoměrů**

Měřicí elektrody zajišťují kontakt se dřevem. Elektrody mohou být samostatné, spojené s přístrojem pomocí kabelu, fixované na měřicí přístroj. Podle konstrukce se elektrody dělí: zarážecí (jehlové), upínací (svorkové), přítlačné (razítkové), hloubkové, zvláštní (kombinované). Je-li vlhkost dřeva konstantní a rovnoměrně rozdělená po celém průřezu, výsledek měření nezávisí na typu elektrod.

Přítlačné elektrody jsou vhodné pro měření vlhkosti dýhy a pro zjištění obsahu vlhkosti v povrchových vrstvách dřeva. Zarážecí elektrody jsou vhodné pro zjišťování vlhkosti nerovnoměrně rozložené po průřezu materiálu. Upínací elektrody se využívají pro různé tloušťky materiálu. Vlhkoměry spolehlivě určí vlhkost 5 - 30 %.

#### **7.5.2.2 Měření vlhkosti dřeva pomocí dielektrických vlhkoměrů**

Podle měřené veličiny se vlhkoměry dělí: kapacitní, absorpční včetně mikrovlnných, admitační. Podle používaných frekvencí se vlhkoměry dělí: nízkofrekvenční, vysokofrekvenční, mikrovlnné. Přesnější dielektrické vlhkoměry jsou vysokofrekvenční a mikrovlnné. Pracují ve frekvencích 1 - 10 MHz a 0,1 - 5 GHz. Nevýhodou je, že vlhkoměry udávají spíše povrchovou vlhkost dřeva. Vlhkoměry spolehlivě určí obsah vlhkosti 0 - 30 % [14].

### **7.7 Zhodnocení využitelnosti nedestruktivních metod při hodnocení stavu dřeva zabudovaného v konstrukci**

Nedestruktivní metody jsou stále více využívány při stavebně technických průzkumech. Jejich výhodou je zjištění stávajícího stavu dřevěné konstrukce bez jejího narušení.

Pro hodnocení stavu dřevní hmoty prvků zabudovaných v konstrukcích jsou využitelné :

- *Vizuální metoda*: nejjednodušší metoda pro zhodnocení stavu dřevěné konstrukce. Lze zpozorovat výletové otvory způsobené dřevokazným hmyzem, napadení dřevokaznou

houbou, suky a další vady konstrukce. Nevýhodou metody je zjištění stavu dřevěné konstrukce pouze na jejím povrchu. Proto je vhodné tuto metodu doplnit dalšími, nejlépe nedestruktivními metodami, které nám určí vnitřní stav dřevěné konstrukce.

- *Průchodová ultrazvuková impulsová metoda*: z rychlosti šíření ultrazvukového impulsu lze zjistit, zda měření místo dřevěné konstrukce je zdravé nebo poškozené. Při biotickém poškození dřevěné konstrukce dojde ke snížení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu; míra snížení rychlosti závisí na míře porušení dřevní hmoty. Při značném porušení dřevní hmoty může nastat případ, kdy nelze již stanovit dobu průchodu ultrazvukového impulsu ve dřevě.
- *Kladívková metoda pružného rázu*: metoda je založena na změně akustických vlastností degradovaného dřeva. Úder kladívka se ve zkoumaném materiálu vzbudí a vysílá mechanické vlnění, sleduje se doba průchodu těchto vln. Touto metodou nelze exaktně kvantifikovat míru narušení dřevní hmoty.
- *Ultrazvuková tomografie*: výsledkem metody je 2 - D obrázek, na kterém jsou zaznamenány rychlosti šíření impulsu v jednotlivých bodech průřezu, a podle těchto rychlostí lze zjistit, zda je daný prvek v měřeném místě narušený nebo není. Nevýhodou této metody je náročnost provedení a cenové náklady na pořízení přístroje.
- *Ultrazvuková odrazová metoda*: při zjišťování vnitřního porušení dřevěné konstrukce je nutné znát rychlost šíření ultrazvukového materiálu ve zdravé části prvku. Přístroj změří dobu průchodu ultrazvukového impulsu v měřeném místě, a pokud zaznamená skrytou vadu, je zjištěna kratší doba průchodu impulsu a na display přístroji se ukáže hodnota s hloubkou defektu. Touto metodou nezjistíme druh vady ani míru porušení dřevní hmoty. Nevýhodou je, že ve dřevě nezjistíme škody menší než 1/2 vlnové délky vysílaného impulsu.
- *Stanovení odporu při vrtání*: metoda je poměrně přesná a ihned se dovíme stav dřevěné konstrukce. Nevýhodou této metody je, že dojde k narušení vyšetřovaného prvku.
- *Metoda zarážení trnu*: metoda je poměrně přesná a ihned se dovíme stav dřevěné konstrukce. Nevýhodou metody zarážení trnu je to, že trn penetruje pouze do malé hloubky a nezjistíme tak stav dřeva uvnitř prvku.
- *Radiografická metoda*: výsledkem této metody je snímek, ze kterého lze rozpoznat vnitřní poškození dřevěné konstrukce. Nevýhodou této metody je manipulace s nebezpečným  $\gamma$  zářením, náročná příprava měřicího zařízení a vysoké cenové náklady na pořízení měřicího přístroje.

K určení vlhkosti dřeva v konstrukci lze využít elektrických vlhkoměrů založených na různých principech. V případě potřeby zvýšení reprodukovatelnosti výsledků měření je možné provést upřesnění na omezeném počtu vzorků odebraných z konstrukce.

Zjištění pevnosti v tlaku dřeva ve směru vláken lze pomocí metod místního porušení, která je založena na zkoušení jádrových vývrtů o průměru 4,5 mm a minimální délce 40 mm. Nevýhodou této metody je, že dojde k narušení vyšetřovaného prvku, které je z hlediska statického nevýznamné.

Pro stanovení míry narušení dřevní hmoty prvků ve vyšetřované konstrukci je nezbytné provádět měření s vysokou četností, protože uvedené metody umožňují zjišťovat narušení v omezené části prvku, zpravidla průřezu. Do určité míry lze omezit četnost měření prvotní podrobnou vizuální prohlídkou vyšetřované konstrukce s vybráním míst pro podrobné vyšetření. Toto platí i při měření vlhkosti či stanovení pevnosti na mikrovývrtech.




## 8 VLIV VAD DŘEVA NA VÝSLEDKY MĚŘENÍ ULTRAZVUKOVOU METODOU








Konstrukce ze dřeva mohou vykazovat poškození způsobená dřevokazným hmyzem, hnilobou a přetížením. Všechny poruchy materiálu ovlivní jeho kvalitu a jejich výskyt se projeví na výsledcích zkoušky tak, že dojde k poklesu rychlosti šíření ultrazvukového impulsu daným materiálem.

### 8.1 Zkušební vzorky

Vzorky použité pro ultrazvukovou metodu byly z jehličnatého dřeva - jedle bělokorá. Vzorky měly rozměry 60x60x100 mm. Zkoumaných vzorků bylo 10. Měření se na vzorcích provádělo ve směru podélném, radiálním a tangenciálním. Doba průchodu ultrazvukového impulsu se vždy měřila v nenarušeném místě vzorku a v místě dle poškození vzorku. Jednotlivá poškození vzorků jsou popsána v tabulce 4.

Tab. 4: Druhy poškození vzorků

Ozn.	Druh poškození	Foto
JD1	trhlina ve směru podélném do hloubky 23 mm, šířka 0,5 mm	
JD2	suk průměru 16 mm ve směru tangenciálním	
JD3	suk průměru 13,75 mm ve směru kolmém na směr podélný	
	napadení dřevokazným hmyzem 15 % z celkového objemu vzorku	

JD4	napadení dřevokazným hmyzem 10 % z celkového objemu vzorku	
JD5	trhlina ve směru podélném do hloubky 50 mm, šířka 0,9 mm	
JD6	napadení dřevokazným hmyzem 50 % z celkového objemu vzorku	
JD7	napadení dřevokazným hmyzem 65 % z celkového objemu vzorku	
JD8	suk průměru 28 mm s trhlinou šířky 2,2 mm ve směru radiálním	
JD9	suk průměru 23 mm s trhlinou šířky 1 mm ve směru radiálním	
JD10	suk průměru 8 mm ve směru kolmém na směr podélný	

## 8.2 Ultrazvuková impulsová metoda

Měření bylo prováděno pomocí ultrazvukového přístroje TICO od firmy Proceq.

### 8.2.1 Zkušební postup

Přístroj se před samotným měřením musel nakalibrovat pomocí etalonu. Na přístroji byla nastavena frekvence impulsů 150 kHz. Jako akustický vazebný prostředek byl použit gel. Tento gel se nanese na sondy (budič a přijímač). Sody se umístily na vzorek tak, že na protilehlých stranách byly proti sobě. Následně probíhalo měření a na obrazovce přístroje se ukázal čas, který uplynul při průchodu ultrazvukového impulsu vzorkem. Měření bylo provedeno ve směru příčném, podélném a radiálním [48].

### 8.2.2 Vyhodnocení výsledků

Výstupem měření byl čas, který uplynul při průchodu ultrazvukového impulsu měřící základnou. Z času se vypočítá rychlost šíření ultrazvukového impulsu pro daný vzorek. Pro přímé prozvučování se rychlost šíření ultrazvukového impulsu v materiálu určí (vzorec 1):

$$V = \frac{L}{T} \quad (1)$$

kde: V - rychlost šíření ultrazvukového impulsu [km/s]

L - délka měřící základny [mm]

T - čas, který uplyne při průchodu impulsu měřící základnou [μs]

Rychlost šíření ultrazvukového impulsu byla vyhodnocena v místě zdravého vzorku a v místě porušeného vzorku dřeva. Dle následujícího vztahu (vzorec 2) se určí, o kolik procent došlo ke snížení rychlosti šíření impulsů v porušeném místě vzorku vzhledem k rychlosti šíření impulsu ve zdravém místě vzorku.

$$\Delta R = \frac{V_N - V_Z}{V_Z} \cdot 100 \quad (2)$$

kde:  $\Delta R$  - pokles rychlosti šíření ultrazvukového impulsu v porušeném místě vzorku [%]

$V_Z$  - rychlost šíření ultrazvukového impulsu v místě zdravého dřeva [km/s]

$V_N$  - rychlost šíření ultrazvukového impulsu v místě narušeného dřeva [km/s]

### 8.3 Stanovení objemové hmotnosti a vlhkosti vzorků dřeva

Podstata zkoušky pro zjištění objemové hmotnosti zkušebních vzorků je v jeho zvážení a změření rozměrů. Podstata zkoušky pro zjištění hmotnosti vody ve zkušebním tělese vychází z procentuálního poměru hmotnosti zkušebního tělesa v nevysušeném stavu a hmotnosti zkušebního tělesa ve vysušeném stavu.

#### 8.3.1 Stanovení objemové hmotnosti zkušebních vzorků

Zjišťování objemové hmotnosti zkušebních vzorků se provádělo podle ČSN 490108 - Drevo. Zisťovanie hustoty [32].

Zkušební těleso bylo zváženo s přesností 0,01 g ( $m_w$ ) a změřeny jeho rozměry s přesností 0,1 mm ( $a_w$ ,  $b_w$ ,  $l_w$ ). Následně bylo těleso umístěno do sušárny při teplotě  $103 \pm 2$  °C a vysušeno do konstantní hmotnosti. U vysušeného tělesa byla zjištěna hmotnost s přesností 0,01 g ( $m_0$ ) a změřeny rozměry s přesností 0,1 mm ( $a_0$ ,  $b_0$ ,  $l_0$ ).

##### a) Objemová hmotnost při dané vlhkosti

Tato objemová hmotnost se vypočítá dle (vzorce 3):

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} \quad (3)$$

kde:  $\rho_w$  - objemová hmotnost při dané vlhkosti [ $\text{kg/m}^3$ ]

$m_w$  - hmotnost vzorku při dané vlhkosti [kg]

$a_w$ ,  $b_w$ ,  $l_w$  - rozměry vzorku při dané vlhkosti [m]

##### b) Objemová hmotnost v suchém stavu

Tato objemová hmotnost se vypočítá dle (vzorec 4):

$$\rho_0 = \frac{m_0}{a_0 \cdot b_0 \cdot l_0} \quad (4)$$

kde:  $\rho_0$  - objemová hmotnost v suchém stavu [ $\text{kg/m}^3$ ]

$m_0$  - hmotnost vzorku ve vysušeném stavu [kg]

$a_0$ ,  $b_0$ ,  $l_0$  - rozměry vzorku ve vysušeném stavu [m]



### 8.3.2 Stanovení vlhkosti vzorků

Vlhkost zkušebních vzorků byla stanovena podle ČSN 490103 - Drevo. Zisťovania vlhkosti pri fyzikálnych mechanických skúškach [30].

Zkušební těleso bylo zváženo s přesností 0,01 g ( $m_1$ ) a následně umístěno do sušárny při teplotě cca  $103 \pm 2$  °C a vysušeno do konstantní hmotnosti. Vysušené těleso se zvážilo s přesností 0,01 g ( $m_0$ ).

Vlhkost vzorku se vypočítá podle vztahu (vzorec 5):

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (5)$$

kde: W - vlhkost [%]

$m_1$  - hmotnost vzorku v nevysušeném stavu [kg]

$m_0$  - hmotnost vzorku ve vysušeném stavu [kg]

### 8.4 Výsledky měření

Z naměřené doby průchodu ultrazvukového impulsu měřící základnou se vypočítala rychlost šíření impulsu daným vzorkem. Rychlost šíření ultrazvukového impulsu v daném místě vorku se mění dle toho, zda bylo měřené místo zdravé, se sukem, trhlinou nebo napadené dřevokazným hmyzem.

Objemová hmotnost při dané vlhkosti, objemová hmotnost v suchém stavu a vlhkost vzorků je uvedena v tabulce 5. V tabulce 6 jsou uvedeny rychlosti šíření ultrazvukového impulsu v podélném směru vzorků, v tabulce 7 jsou tyto hodnoty pro radiální směr a v tabulce 8 jsou uvedeny hodnoty pro tangenciální směr.

Tab. 5: Objemové hmotnosti a vlhkost vzorků

Ozn.	W [%]	$\rho_w$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_0$ [kg/m <sup>3</sup> ]
JD1	8,7	430	395
JD2	7,7	435	420
JD3	8,3	470	450
JD4	9,2	445	415
JD5	8,0	450	425
JD6	8,5	400	380

JD7	9,1	390	380
JD8	8,3	565	540
JD9	9,1	545	520
JD10	9,5	475	460

Tab. 6: Rychlost šíření ultrazvukového impulsu v podélném směru

Ozn.	l [mm]	Stav vzorku	V <sub>1</sub> [km/s]	V <sub>2</sub> [km/s]	V <sub>prům</sub> [km/s]	ΔR [%]
JD1	100,65	zdravé	5,654	5,686	5,670	- 2,47
		trhlina	5,530	5,530	5,530	
JD2	100,93	zdravé	5,735	5,702	5,718	- 6,37
		suk	5,369	5,340	5,354	
JD3	100,65	zdravé	5,592	5,654	5,623	0,28
		suk	5,623	5,654	5,639	
		hmyz	5,033	4,910	4,971	
JD4	100,63	zdravé	5,591	5,469	5,530	- 10,80
		hmyz	4,909	4,957	4,933	
JD5	100,36	zdravé	5,638	5,576	5,607	- 3,51
		trhlina	5,425	5,396	5,410	
JD6	100,61	zdravé	5,005	4,680	4,843	- 17,39
		hmyz	3,945	4,057	4,001	
JD7	100,28	zdravé	5,334	5,363	5,348	- 21,05
		hmyz	4,231	4,213	4,222	
JD8	100,35	zdravé	5,120	5,094	5,107	- 17,96
		suk	4,181	4,199	4,190	
JD9	100,20	zdravé	5,860	5,826	5,843	- 7,51
		suk	5,505	5,302	5,404	
JD10	101,12	zdravé	5,557	5,587	5,572	0,83
		suk	5,618	5,618	5,618	

Tab. 7: Rychlost šíření ultrazvukového impulsu v radiálním směru

Ozn.	l [mm]	Stav vzorku	V <sub>1</sub> [km/s]	V <sub>2</sub> [km/s]	V <sub>prům</sub> [km/s]	ΔR [%]
JD1	59,88	zdravé	1,907	1,895	1,901	- 1,89
		trhlina	1,854	1,877	1,865	

JD2	60,08	zdravé	1,736	1,747	1,741	12,58
		suk	1,944	1,976	1,960	
JD3*	59,02	zdravé	1,323	1,329	1,326	2,71
		suk	1,373	1,354	1,363	
		hmyz	0,987	0,989	0,988	
JD4*	59,06	zdravé	1,038	1,038	1,038	- 9,44
		hmyz	0,939	0,940	0,940	
JD5	59,25	zdravé	2,124	2,094	2,109	- 6,73
		trhlina	1,971	1,9625	1,967	
JD6*	58,95	zdravé	n	n	N	-
		hmyz	n	n	N	
JD7*	58,74	zdravé	n	n	N	-
		hmyz	n	n	N	
JD8	58,99	zdravé	2,077	2,107	2,092	- 45,60
		suk	1,139	1,137	1,138	
JD9	58,43	zdravé	1,583	1,588	1,586	27,87
		suk	1,954	2,102	2,028	
JD10*	58,19	zdravé	1,296	1,311	1,303	0,61
		suk	1,314	1,308	1,311	

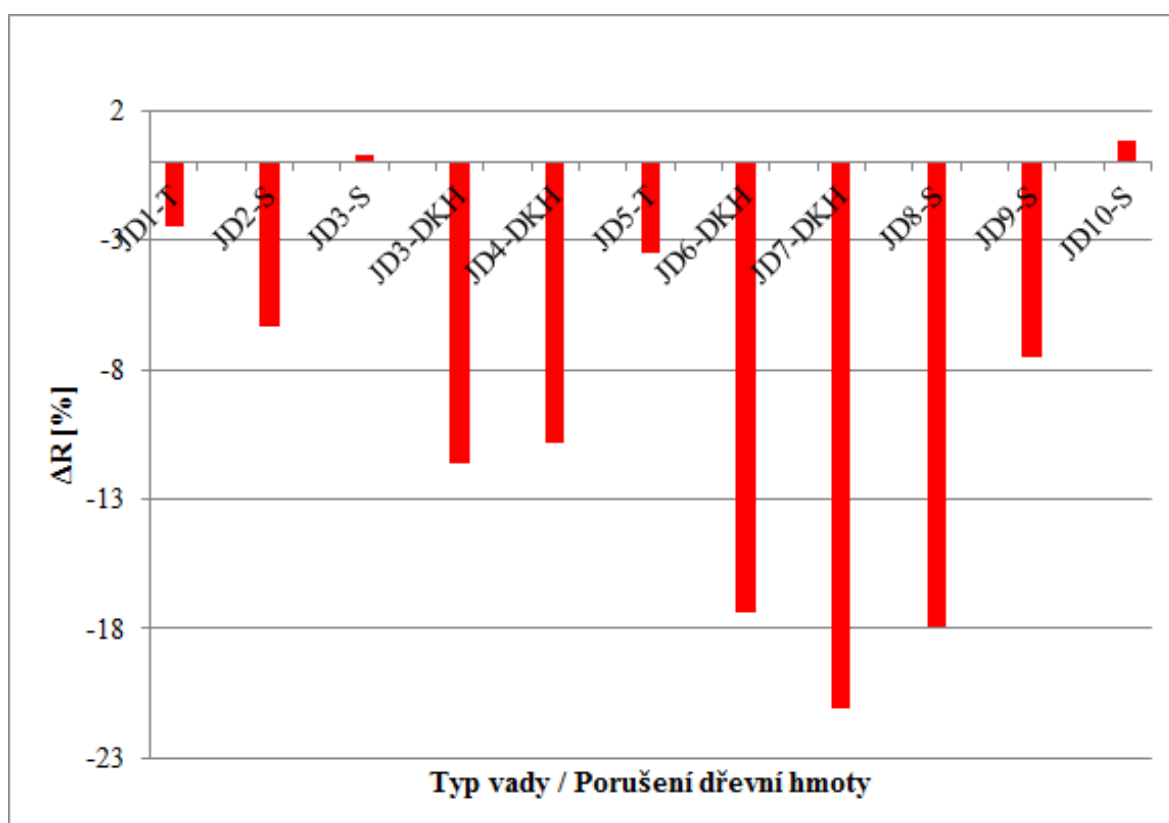
Tab. 8: Rychlost šíření ultrazvukového impulsu v tangenciálním směru

Ozn.	l [mm]	Stav vzorku	V <sub>1</sub> [km/s]	V <sub>2</sub> [km/s]	V <sub>prům</sub> [km/s]	ΔR [%]
JD1	57,82	zdravé	1,546	1,534	1,540	- 40,26
		trhlina	0,909	0,931	0,920	
JD2	58,68	zdravé	1,548	1,508	1,528	- 26,05
		suk	1,087	1,174	1,130	
JD3*	59,35	zdravé	1,416	1,413	1,414	2,54
		suk	1,455	1,448	1,451	
		hmyz	1,364	1,364	1,364	
JD4*	59,02	zdravé	1,264	1,317	1,291	- 23,01
		hmyz	1,004	0,984	0,994	
JD5	58,80	zdravé	1,313	1,151	1,232	- 32,71
		trhlina	0,831	0,827	0,829	

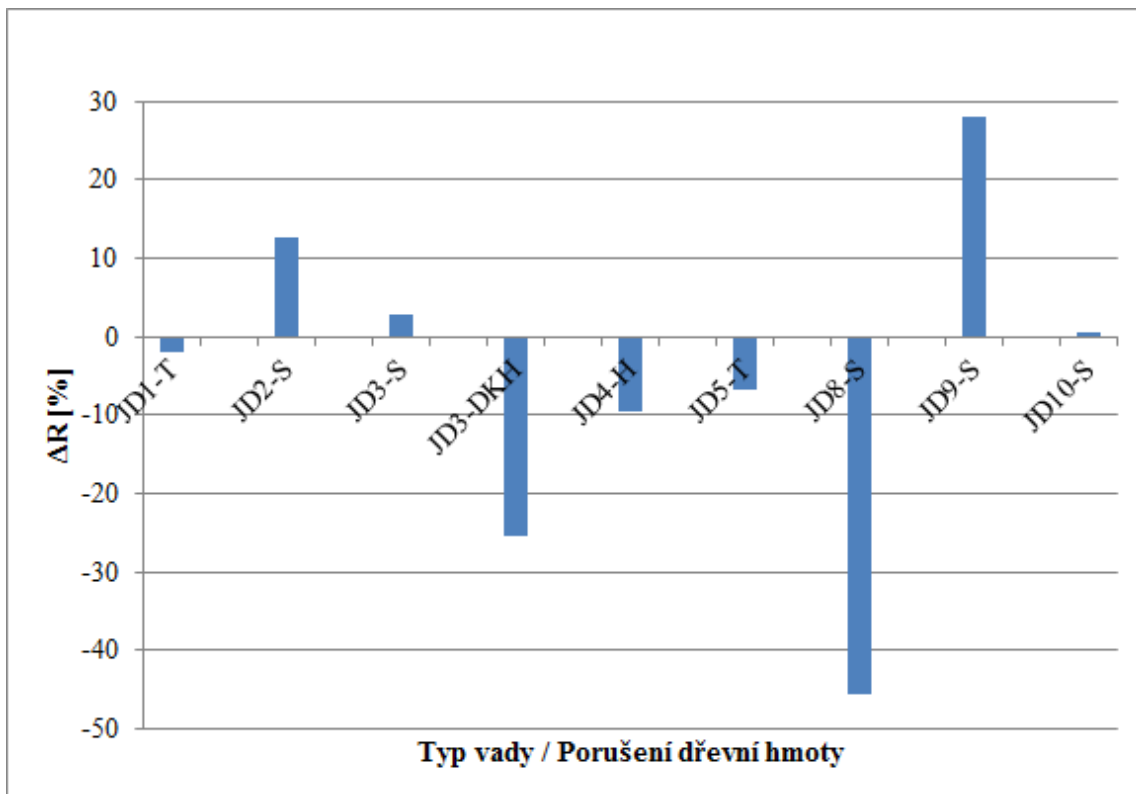
JD6*	57,48	zdravé	1,289	1,280	1,284	- 42,06
		hmyz	0,746	0,743	0,744	
JD7*	58,13	zdravé	1,038	1,082	1,060	-
		hmyz	n	n	N	
JD8	57,32	zdravé	1,520	1,501	1,510	- 2,52
		suk	1,474	1,470	1,472	
JD9	59,48	zdravé	1,582	1,586	1,584	5,05
		suk	1,661	1,666	1,664	
JD10*	58,49	zdravé	1,196	1,199	1,197	11,95
		suk	1,338	1,342	1,340	

\* - letokruhy jsou pod úhlem 45 °

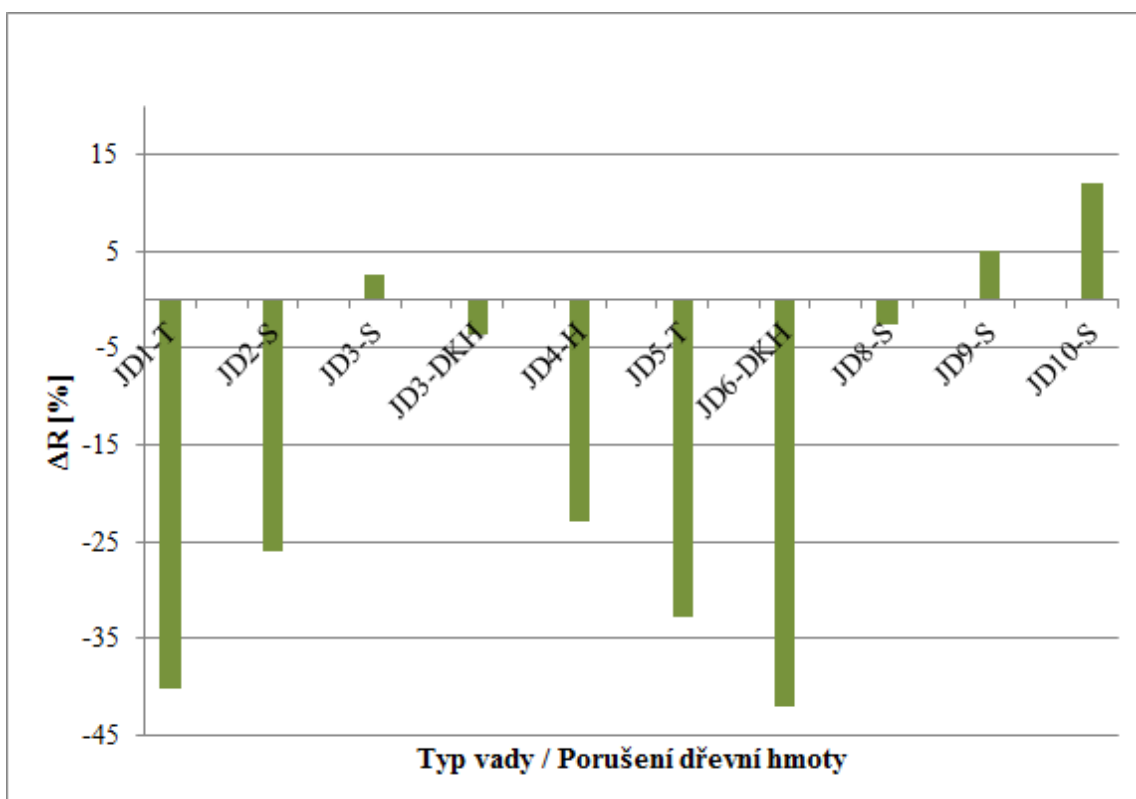
n - vzorek byl natolik porušený, že čas průchodu ultrazvukového impulsu měřící základnou nebyl možný změřit



Obr. 18: Vliv typu vady / porušení dřevní hmoty na rychlost šíření ultrazvukového impulsu ve směru podél vláken



Obr. 19: Vliv typu vady / porušení dřevní hmoty na rychlost šíření ultrazvukového impulsu ve směru radiálním



Obr. 20: Vliv typu vady / porušení dřevní hmoty na rychlost šíření ultrazvukového impulsu ve směru tangenciálním

## 8.5 Vyhodnocení

Cílem experimentální práce bylo zjistit vliv narušení dřevní hmoty (suky, trhliny, dřevokazný hmyz) na rychlost šíření ultrazvukového impulsu. Pro zhodnocení vlivu jednotlivých vad byla provedena měření v neporušené části vzorku a v místě s danou vadou.

Pro měření byly použity vzorky dřeva z jedle bělokoré. Průměrná objemová hmotnost při dané vlhkosti byla  $390 - 565 \text{ kg/m}^3$  a objemová hmotnost vzorků ve vysušeném stavu činila  $380 - 540 \text{ kg/m}^3$ . Vlhkost dřeva při měření se pohybovala v rozmezí 7,7 - 9,5%. Na základě analýzy výsledků měření ultrazvukovou impulsovou metodou s různým porušením či vadami dřevní hmoty byly získány následující poznatky:

- *Narušení dřevní hmoty dřevokazným hmyzem*: ve všech směrech prozvučování došlo ke snížení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu; se zvyšující se mírou porušení rychlost klesala a v ojedinělých případech, při narušení cca 65 % nebylo možno indikovat žádný výstup z měření. V závislosti na míře narušení 10 - 65 % rychlost šíření ultrazvukového impulsu klesla v podélném směru 10,8 - 21,05 %, v tangenciálním směru byl pokles 3,60 - 42,06 % a ve směru radiálním 10,44 - 25,49 %.
- *Trhliny*: ve všech směrech prozvučování došlo ke snížení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu; míra poklesu rychlosti šíření ultrazvukového impulsu závisí v jaké poloze ke směru prozvučování se trhlina nacházela. Při prozvučování ve směru kolmém na trhlinu tento pokles činil 32,60 – 40,26 % v závislosti na hloubce trhliny 23 - 50 mm. V tomto případě je dráha průchodu ultrazvukového impulsu prodloužena v důsledku obcházení trhliny. Pro směr prozvučování rovnoběžný s trhlinou byl tento pokles nižší, pohyboval se rozmezí 1,89 – 6,73 %. Toto lze vysvětlit tím, že ultrazvukové vlnění částečně prochází dřevní hmotou a částečně přes trhlinu, která je vyplněna vzduchem, ve kterém je rychlost ultrazvukového impulsu nižší.
- *Růstová vada suka*: rychlosti šíření ultrazvukového impulsu v místě suků ve srovnání s rychlostí šíření ve zdravém dřevě byla různá (nižší i vyšší) v závislosti na směru prozvučování (kolmo, rovnoběžně se sukem), stavu soku (zdravý, narušený) a poloze soku. Ve směru kolmém na směr zdravého soku došlo k prodloužení doby průchodu ultrazvukového impulsu v rozmezí 0,61 - 12,58 %. Pro směr prozvučování rovnoběžný se zdravým sukem došlo k zvýšení rychlosti ultrazvukového impulsu o 2,71 - 11,95 %.

Ultrazvukovou impulsovou metodou lze identifikovat místa s narušením resp. vadami dřevní hmoty, avšak míru narušení ve vyšetřovaném průřezu nelze přesně kvantifikovat.

## 9 ZÁVĚR

Bakalářské práce je zaměřena na hodnocení stavu dřevní hmoty prvků zabudovaných v dřevěných konstrukcích se zaměřením na zhodnocení využitelnosti nedestruktivních metod zkoušení a sestává z teoretické a experimentální části.

Na základě rešerše odborné literatury jsou uvedeny poznatky týkající se struktury dřeva, jeho základních vlastností a životnosti. Popsány jsou vady dřeva a jeho možné poškození dřevokazným hmyzem, houbami a jsou zde uvedeny také poznatky o vlivu povětrnostních podmínek na dřevo, chemické korozi a mechanickém poškození.

Jsou uvedeny základní typy dřevěných konstrukcí používaných ve stavbách, konkrétně typy konstrukcí krovu a stropních konstrukcí.

Z oblasti nedestruktivních metod zkoušení jsou uvedeny údaje o nedestruktivních metodách zkoušení dřeva, které jsou kodifikovány v technických normách a údaje a poznatky z odborné literatury, které se zabývají využitím nedestruktivních metod zkoušení, především z hlediska hodnocení stavu dřeva v konstrukcích. V českých technických normách jsou uvedeny metody stanovení tvrdosti dřeva (Janka, Brinell) a rezonanční metoda pro zjištění dynamického modulu pružnosti (zrušena k 1. 10. 2002). Uvedené metody jsou však využitelné pouze pro zkoušení dřeva na vzorcích.

V odborné literatuře je uvedena řada nedestruktivních metod na různých principech (vizuální, optické, tvrdoměrné, akustické, radiografické, měření vlhkosti). Z hlediska hodnocení stavu dřeva v konstrukci jsou využitelné akustické (ultrazvuková impulsová metoda, kladívková metoda pružného rázu, ultrazvuková tomografie, ultrazvuková odporová metoda), tvrdoměrné (odpor při vrtání, zarážení trnu), radiační a elektrické (vlhkoměry). Z hlediska hodnocení míry porušení dřevní hmoty prvků je jejich vypovídací schopnost různá, ne vždy umožňují její exaktní kvantifikaci. Ve většině případů se jedná o aplikaci nedestruktivních metod využívaných pro hodnocení jiných druhů stavebních hmot, které v závislosti na typu metody a materiálů dávají lépe reprodukovatelné a interpretovatelné výsledky. Při hodnocení míry narušení dřevní hmoty prvků v konstrukci je nezbytné provádět měření s vysokou četností, protože uvedené metody umožňují zjišťovat narušení v omezené části prvku, zpravidla průřezu. Do určité míry lze omezit četnost měření prvotní podrobnou vizuální prohlídkou vyšetřované konstrukce s vybráním míst pro podrobné vyšetření.

Pro zjišťování pevnosti dřeva v tlaku ve směru vláken je vhodná metoda místního porušení, založená na zkoušení jádrových mikrovývrtů odebraných z dřevěného prvku.

Pro zjišťování vlhkosti dřeva existuje široká škála elektrických vlhkoměrů s různou předností měření.

Jako nejvhodnější metody pro hodnocení stavu dřeva v konstrukci jsou akustické metody založené na snímání ultrazvukového vlnění a uvedené tvrdoměrné metody. Jejich provedení je nenáročné, nevyžadují speciální přípravu zkoušeného povrchu a je možná okamžitá interpretace výsledků.

V experimentální části bakalářské práce byl zkoumán vliv vybraných vad nebo narušení dřevní hmoty na výsledky měření ultrazvukovou impulsovou metodou, konkrétně na rychlost šíření ultrazvukového impulsu.

Tato metoda se ukázala jako využitelná pro hodnocení stavu dřevěných prvků v konstrukci, zejména v případě biotického porušení. U biotického porušení dochází k snížení rychlosti ultrazvukového impulsu, a proto lze usuzovat, že je prvek v tomto místě poškozen. V případě, že míra poškození přesahuje 60 %, může být doba průchodu ultrazvukového impulsu neměřitelná. Pomocí této metody však nelze jednoznačně kvantifikovat míru poškození dřevěného prvku ve vyšetřovaném průřezu. Přibližnou kvantifikaci by bylo možné provést na základě dostatečného počtu měření provedených na jedné druhu dřeviny při prozvučování ve stejném směru, která má podobné hodnoty objemové hmotnosti a vlhkosti.

Vada typu „suk“ ovlivňuje výsledky měření různou měrou v závislosti na poloze ke směru prozvučování a jeho stavu. V případě výskytu trhlin dochází k poklesu rychlosti šíření ultrazvukového impulsu, nejvyšší pokles je v případě prozvučování kolmo na trhlínu, kdy se výrazně prodlužuje dráha průchodu ultrazvukového impulsu.

Vhodnou kombinací nedestruktivních metod lze interpretovat spolehlivěji výsledky vyšetření stavu prvků dřevěných konstrukcí a tím snížit chyby vyplývající z použití pouze jedné nedestruktivní metody.

Předložená bakalářská práce splnila stanovené cíle. Jsou v ní uvedeny poznatky pro využití nedestruktivních metod zkoušení pro hodnocení stavu dřevní hmoty prvků dřevěných konstrukcí.



## 10 SEZNAM

### 10.1 Seznam použité literatury

- [1] POŽGAJ, A, CHOVANEC, D, KURJATKO, S a BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda, 1993. ISBN 80-07-00960-4.
- [2] REINPRECHT, L. *Ochrana dreva*. Zvolene: Technická univerzita vo Zvolene, 2008, 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.
- [3] ŠLEZINGEROVÁ, J a GANDELOVÁ, L. *Stavba dřeva*. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1994.
- [4] *Lexikon vad* [online]. 2010 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: [http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon\\_vad/](http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_vad/)
- [5] BAIER, J a TÝN, Z. *Ochrana dřeva*. Praha: Grana Publishing, 1996, 96 s. ISBN 80 - 7169-275-1.
- [6] *Drevo.celyden.cz*. [online]. 2007. vyd. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: [drevo.celyden.cz/vady-dreva/chemicka-koroze-dreva/](http://drevo.celyden.cz/vady-dreva/chemicka-koroze-dreva/)
- [7] BÄCHLE, F, JUNGHANS, K, NIEMZ, P, BAUM, S a HERBERS, Y. *Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung im Bauwesen*. Zürich, 2007.
- [8] BAIER, J, PEKLÍK, V a TÝN, Z. *Ochrana dřeva v bytech, chatách a chalupách*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983, 79 s. ISBN 80-03-00094-7.
- [9] LEXA, J, NEČESANÝ, V, PACLT, J, TESAŘOVÁ, M a ŠTEFKO, J. *Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva*. Bratislava: ROH, 1952, 436 s.
- [10] HOLICKÝ. *Stanovení vlastností materiálů při hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: ČVUT, 2007, 126 s. ISBN 978-80-01-03688-4.
- [11] REINPRECHT, L a ŠTEFKO, J. *Dřevěné stropy a krovy. Typy, poruchy, průzkumy a rekonstrukce*. Praha: ABF, 2000, 237 s.
- [12] PAVLÍK, A a DOLEŽEL, J. *Nedestruktivní vyšetřování betonových konstrukcí*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1977, 273 s.
- [13] DRDÁCKÝ, M. *Vybrané metody diagnostiky, monitorování a analýzy poruch historických konstrukcí a materiálů*. Brno: Vutium, 2004, 31 s, ISBN 80-214-2723-X, ISSN 1213-418X.

- [14] GANDELOVÁ, L, HORÁČEK, P a ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009, iv, 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2.
- [15] TEDER, M, PILT, K, MILJAN, LAINURM a KRUUDA. *OVERVIEW OF SOME NON-DESTRUCTIVE METHODS FOR IN SITU ASSESSMENT OF STRUCTURAL TIMBER*. [online]. Dostupné z: [http://lufb.llu.lv/conference/Civil\\_engineering/2011/Latvia-Univ-Agriculture\\_civil\\_engineering2011\\_137-143.pdf](http://lufb.llu.lv/conference/Civil_engineering/2011/Latvia-Univ-Agriculture_civil_engineering2011_137-143.pdf)
- [16] DACKERMANN, Ulrike, Keith CREWS, Bohumil KASAL, Jianchun LI, Mariapaola RIGGIO, Frank RINN a Thomas TANNERT. In situ assessment of structural timber using stress-wave measurements. *Materials and Structures* [online]. 2014, vol. 47, issue 5, s. 787-803 [cit. 2014-03-23]. DOI: 10.1617/s11527-013-0095-4. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1617/s11527-013-0095-4>
- [17] Dolwin, JA, Lonsdale, D, Barnett, J. *Detection of decay in trees*. 1999.
- [18] Schwarze, FWMR, Lonsdale, D, Mattheck, C. *Detectability of wood decay caused by *ustulina deusta* in comparison with other tree-decay fungi*, 1995.
- [19] Mattheck, CG, Bethge, KA. *Detection of decay in trees with the Metriguard Stress Wave Timer*. 1993.
- [20] Hasenstab, A, Hillemeier, B, Krause, M. *Defect localisation in wood with low frequency ultrasonic echo technique*. Germany, 2005.
- [21] Maack, S, Krause, M. *Diagnostic investigations of wooden structures using ultrasonic-echo technique*. In: *Proceedings Symposium On-Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures*. Italy, 2008.
- [22] KRUGLOWA, T. *In-situ assessment of density and material properties in timber structures by non-destructive and semi-destructive testing*. Sweden: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2012. ISSN no. 1652-9146.
- [23] Ravenshorst, G. *An economic method to determine the strength class of wood species*, Heron. 2004.
- [24] Kollmann F. F. P. and Cote Jr W. A. *Principles of wood science and technology. I. Solid wood*. *Principles of wood science and technology. I. Solid wood*. 1968.
- [25] N.C.P.T.T. *Advances in Digital Radioscopy for Use in Historic Preservation*. 2005.

- [26] Riggio M. and Piazza M. *Hardness Tests. RILEM Symposium on On Site Assessment of Concrete*. Italy, 2008.
- [27] Dinwoodie, J. *Timber: Its nature and behaviour*. London, Taylor & Francis, 2000.
- [28] Www.skudci.com. [online]. [cit. 2014-05-01]. Dostupné z:  
<http://www.skudci.com/abecedne-cz>
- [29] ČSN 490016. *Řezivo. Vady. Názvy a definice*.
- [30] ČSN 490103. *Drevo. Zisťovania vlhkosti pri fyzikálnych mechanických skúškach*.
- [31] ČSN 490104. *Skúšky vlastností rasteného dreva. Metóda zisťovania nasiakavosti a navlhavosti*.
- [32] ČSN 490108. *Drevo. Zisťovanie hustoty*.
- [33] ČSN 49 0110. *Drevo. Medza pevnosti v tlaku v smere vlákien*.
- [34] ČSN 49 0111. *Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania modulu pružnosti v tlaku pozdĺž vlákien*.
- [35] ČSN 49 0112. *Drevo. Tlak naprieč vlákien*.
- [36] ČSN 49 0113. *Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania pevnosti v ťahu pozdĺž vlákien*.
- [37] ČSN 49 0114. *Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania pevnosti v ťahu naprieč vlákien*.
- [38] ČSN 49 0115. *Drevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe*.
- [39] ČSN 49 0116. *Drevo. Metóda zisťovania modulu pružnosti pri statickom ohybe*.
- [40] ČSN 49 0118. *Drevo. Medza pevnosti v šmyku v smere vlákien*.
- [41] ČSN 490124. *Drevo. Rezonančná metóda zisťovania modulov pružnosti a logaritmickeho dekrementa kmitania*.
- [42] ČSN 490126. *Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania napúčavosti*.
- [43] ČSN 490128. *Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania zosýchavosti*.
- [44] ČSN 490136. *Drevo. Metóda zisťovania tvrdosti podľa Janky*.
- [45] ČSN 731373. *Nedestruktívni zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*.
- [46] ČSN EN 338. *Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti*.

[47] ČSN EN 1534. *Dřevěné podlahoviny - Stanovení odolnosti proti vtisku - Metoda zkoušení.*

[48] ČSN EN 12504 - 4. *Zkoušení betonu - Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu.*

[49] ČSN EN ISO 6507-1. *Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Vickerse - Část 1: Zkušební metoda.*

## 10.2 Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Dřevomorka domácí [28] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 2: Degradace dřevní hmoty vlivem Dřevomorky domácí [28] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3: Koniofora sklepní [28] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 4: Trámovka trámová [28] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 5: Trámovka plotní [28] .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 6: Degradace dřevní hmoty vlivem Trámovky plotní [28] .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 7: Tesařík krovový [28] .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 8: Degradace dřevní hmoty vlivem Tesaříka krovového [28] .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 9: Červotoč proužkovaný [28] .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 10: Červotoč umrlčí [28] .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 11: Degradace dřevní hmoty vlivem Červotoče umrlčího [28] .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 12: Pilořitka velká [28] .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 13: Degradace dřevní hmoty vlivem Pilořítky velké [28] .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 14: Přírůstkový vrták .....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 15: Průběh šíření vlny ve zdravé a poškozené části dřeva při měření kladívkovou metodou pružného rázu [16] .....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 16: Způsob měření metodou ultrazvukové tomografie [16] .....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 17: Příklady vztahů mezi hustotou a stupni šedi jednotlivých vzorků [22] .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 18: Vliv typu vady / porušení dřevní hmoty na rychlost šíření ultrazvukového impulsu ve směru podél vláken .....</i>	<i>60</i>

*Obr. 19: Vliv typu vady / porušení dřevní hmoty na rychlost šíření ultrazvukového impulsu ve směru radiálním ..... 61*

*Obr. 20: Vliv typu vady / porušení dřevní hmoty na rychlost šíření ultrazvukového impulsu ve směru tangenciálním ..... 61*

### **10.3 Seznam tabulek**

*Tab. 1: Objemová hmotnost vybraných dřevin při různé vlhkosti ..... 19*

*Tab. 2: Poměr mezi jednotlivými typy pevností dřeva ..... 20*

*Tab. 3: Pevnosti vybraných dřevin při vlhkosti 12 % ..... 21*

*Tab. 4: Druhy poškození vzorků ..... 53*

*Tab. 5: Objemové hmotnosti a vlhkost vzorků ..... 57*

*Tab. 6: Rychlost šíření ultrazvukového impulsu v podélném směru ..... 58*

*Tab. 7: Rychlost šíření ultrazvukového impulsu v radiálním směru ..... 58*

*Tab. 8: Rychlost šíření ultrazvukového impulsu v tangenciálním směru ..... 59*