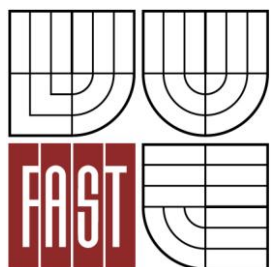




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

METODIKA DIAGNOSTIKY DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

DIAGNOSTIC METHODOLOGY OF TIMBER CONSTRUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

bachelor's thesis

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

KATEŘINA ZOUHAROVÁ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kateřina Zouharová
Název	Metodika diagnostiky dřevěných konstrukcí
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013
V Brně dne 30. 11. 2012	

.....
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
Vedoucí ústavu

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

Podklady a literatura

- HOBST, L. a kol.: Diagnostika stavebních konstrukcí, knihovnicka.cz, 2005
- SVOBODA, L. a kol.: Stavební hmoty, Jaga, 2007
- VYMAZAL, T. a kol.: Stavební látky – cvičebnice, CERM Brno, 2012
- KUKLÍK P.: Dřevěné konstrukce, ČKAIT 2005
- ČSN EN 408 Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností
- Další příslušné platné normy
- www.kloiber.cz

Zásady pro vypracování

Úvod - stručný úvod do problematiky bakalářské práce.

Cíl práce – vypracovat přehled diagnostických metod pro hodnocení stavu dřevěné konstrukce in situ. Provést zjištění míry poškození a ověření materiálových charakteristik u konkrétního prvku dřevěné konstrukce.

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

- vlastnosti dřeva, materiálové charakteristiky dřeva,
- diagnostické metody zkoušení dřevěných konstrukcí s důrazem na radiační metody.

Experimentální část – provést zjištění míry poškození a ověření materiálových charakteristik u dřevěného prvku konstrukce. Zpracovat a zhodnotit výsledky experimentu a porovnání výsledků radiometrických měření a vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva z konstrukce.

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

Předepsané přílohy

.....

Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

Metodika diagnostiky dřevěných konstrukcí

Abstrakt

Práce je zaměřena na posouzení stavu dřevěné střešní konstrukce rekonstruovaného rodinného domu v obci Lomnice. První část popisuje strukturu a vlastnosti dřeva, v další části následuje popis diagnostických metod, v závěrečné kapitole je kompletní diagnostika dřevěného krovu včetně návrhu sanačních opatření.

Hodnocení krovu probíhalo na základě průzkumu smyslovými a přístrojovými metodami. V první části byl určen typ krovové soustavy. Dále se zkoumalo poškození jednotlivých prvků a jeho příčiny. Sanační opatření bylo stanoveno pro každý typ poškození tak, aby prvky odolávaly co nejdéle jakémukoli napadení.

Klíčová slova

Diagnostické metody, dřevěný krov, dřevokazný hmyz, plíseň, sanace dřeva.

Diagnostic methodology of timber construction

Abstract

The thesis is focused on the appraisal of a wooden roof construction in reconstructed family house in the village Lomnice. The first part describes the structure and properties of wood, in the next section followed by a description of diagnostic methods. The final chapter is complete diagnostics of wooden roof truss with remediation measures.

Rating roof truss was based on a survey of sensory and instrumental methods. In the first part was determined the type of roof truss system. In the next section was researched damage of elements and his causes. Remedial measures were established for each type of damage to the components resist any attack as long as possible.

Key words

Diagnostic methods, wooden roof truss, wooden-destroying insects, mold, remediation of wood.

Bibliografická citace VŠKP

ZOUHAROVÁ, Kateřina. *Metodika diagnostiky dřevěných konstrukcí*. Brno, 2013. 78 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 18.5.2013

.....
podpis autora
Kateřina Zouharová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. za ochotu a pomoc během zpracování bakalářské práce. Dále děkuji Ing. Věře Heřmánkové, Ph.D., že s námi absolvovala diagnostiku dřevěného krovu. Na závěr děkuji své rodině a přátelům, kteří mě ve studiu podporovali.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Obsah:

1	Úvod.....	14
2	Cíl práce.....	15
3	Struktura a vlastnosti dřeva.....	16
3.1	Stavba kmene.....	16
3.2	Stavba dřeva.....	17
3.3	Druhy dřevin.....	19
3.3.1	Jehličnaté dřeviny.....	19
3.3.2	Listnaté dřeviny.....	20
3.4	Vlastnosti dřeva.....	21
3.4.1	Vlhkost dřeva.....	22
3.4.2	Vztah mezi dřevem a vodou.....	23
3.4.3	Rozměrové změny spojené se změnou vlhkosti.....	24
3.4.4	Hustota dřeva.....	24
3.4.5	Tepelné vlastnosti dřeva.....	25
3.4.6	Akustické vlastnosti dřeva.....	25
3.4.7	Pružnost dřeva.....	26
3.4.8	Pevnost dřeva.....	26
3.4.9	Houževnatost dřeva.....	27
3.4.10	Tvrdost dřeva.....	27
3.5	Trvanlivost dřeva.....	27
3.5.1	Abiotické poškození.....	28
3.5.2	Biotičtí činitelé.....	28
4	Průzkum a hodnocení dřevěných konstrukcí.....	31
4.1	Diagnostické metody prováděné na místě konstrukce.....	31
4.1.1	Vizuální hodnocení.....	31
4.1.2	Měření vlhkosti.....	33
4.1.3	Měření šíření ultrazvukových vln.....	33
4.1.4	Odporové zarážení trnu.....	35
4.1.5	Odporové vrtání.....	36
4.1.6	Zkoušení radiálních vývrtů.....	36
4.1.7	Endoskopie.....	37
4.2	Laboratorní zkoušky.....	38
4.2.1	Mechanické vlastnosti stanovené na zkušebních tělesech.....	39
4.2.2	Alternativní postupy pro stanovení mechanických vlastností.....	40

4.2.3	Mechanické vlastnosti pro jiné jakostní třídy dřeva	40
4.2.4	Hustota	40
4.2.5	Postup přejímání pro ověřování dávky	41
4.2.6	Radiační metody	41
5	Diagnostika dřevěného krovu	44
5.1	Úvodní informace o objektu	44
5.2	Konstrukce krovu.....	45
5.3	Vizuální a sluchová metoda	47
5.4	Měření vlhkosti	68
5.5	Měření vzdálenosti.....	69
5.6	Radiografie.....	70
5.7	Návrh sanačních opatření.....	75
6	Závěr	76
7	Seznam použitých zdrojů.....	77

Seznam tabulek:

<i>Tab. 3.1: Zastoupení jednotlivých druhů dřevin v lesních porostech ČR [5].....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 4.1: Třídy pevnosti - charakteristické hodnoty pro konstrukční dřevo podle ČSN EN 338. [17]</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 5.1: Přehled diagnostiky příčných vazeb, žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 5.2: Přehled diagnostiky podélných prvků, žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna</i>	<i>67</i>

Seznam obrázků:

<i>Obr. 3.1: 1 – dřevina s jádrovým dřevem, 2 – dřevina s bělovým dřevem, 3 – dřevina s vyzrálým dřevem, 4 – dřevina s jádrovým a vyzrálým dřevem [19]</i>	16
<i>Obr. 3.2: Stavba kmene [19]</i>	17
<i>Obr. 3.3: Základní řezy dřevem [4]</i>	18
<i>Obr. 3.4: Základní anatomické směry ve dřevě [1]</i>	21
<i>Obr. 3.5: Procentuální zastoupení vlhkosti ve dřevě [10]</i>	22
<i>Obr. 3.6: Schematické znázornění uložení vázané a volné vody ve dřevě [1]</i>	23
<i>Obr. 3.7: Změny vlhkosti v kmenech rostoucích stromů během roku [1]</i>	23
<i>Obr. 3.8: Schematické znázornění příčného borcení desek, hranolů a tyčí v radiálním a tangenciálním směru [1]</i>	24
<i>Obr. 3.9: Schematické znázornění tvaru podélného borcení desek, 1 – průhyb,</i>	24
<i>2 – stočení [1]</i>	24
<i>Obr. 3.10: Dřevomorka domácí</i>	29
<i>Obr. 3.11: Trámovka plotní</i>	29
<i>Obr. 3.12: Zničené dřevo od Tesaříka krovového</i>	29
<i>Obr. 3.13 a 3.14: Tesařík krovový (larva a brouk)</i>	30
<i>Obr. 3.15: Červotoč umrlčí (larva a brouk) [25]</i>	30
<i>Obr. 3.16 a 3.17: Chodbičky vytvořené larvou Červotoče umrlčího</i>	30
<i>Obr. 4.1: Odporový vlhkoměr se zarážecími hroty</i>	33
<i>Obr. 4.2: Ultrazvukový přístroj TICO</i>	34
<i>Obr. 4.3: Možnosti přikládání sond při měření ultrazvukem</i>	34
<i>Obr. 4.4: Pilodyn 6J Forest [13]</i>	35
<i>Obr. 4.5: Resistograph od firmy Rinntech [11]</i>	36
<i>Obr. 4.6: Vybavení pro odběr radiálního vývrtu [11]</i>	37
<i>Obr. 4.7: Zatěžovací čelist s vyfrézovanou drážkou [11]</i>	37
<i>Obr. 4.8: Obraz získaný pomocí přístroje Videoprobe XL PRO</i>	38
<i>Obr. 4.9: Radiogram masivního jedlového trámu v konstrukci krovů historického objektu</i>	43
<i>Obr. 5.1 a 5.2: Pohledy na dům ze strany západní a jihozápadní</i>	44
<i>Obr. 5.3 a 5.4: Pohledy na dům ze strany jižní a jihovýchodní</i>	44
<i>Obr. 5.5: Pohled na konstrukci krovu (jižní strana)</i>	45
<i>Obr. 5.6: : Pohled na konstrukci krovu (severní strana)</i>	46
<i>Obr. 5.7: Typická plná vazba stojaté stolice [9]</i>	46
<i>Obr. 5.8: Příčná plná vazba krovu – základní rozměry a názvosloví</i>	46
<i>Obr. 5.9: Příčná prázdná vazba krovu – základní rozměry a názvosloví</i>	47
<i>Obr. 5.10: Půdorys krovu – základní rozměry a označení příčných vazeb pro postup diagnostiky</i>	48

<i>Obr. 5.11: 1. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna.</i>	48
<i>Obr. 5.12: Pravá krokev – výletové otvory od tesaříka</i>	49
<i>Obr. 5.13: Pravý pásek - pootočení</i>	49
<i>Obr. 5.14: 2. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky</i>	49
<i>Obr. 5.15: 3. příčná vazba: červená barva – poškozený prvek, nutná výměna</i>	50
<i>Obr. 5.16: Místo, kde zatékala voda</i>	50
<i>Obr. 5.17: Plíseň na hambálku (bílé skvrny)</i>	51
<i>Obr. 5.18: Chybějící kolík, vysunutí</i>	51
<i>Obr. 5.19: Kostkovitý rozpad dřeva</i>	51
<i>Obr. 5.20: Kostkovitý rozpad dřeva vlivem hniloby</i>	51
<i>Obr. 5.21: 4. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky</i>	52
<i>Obr. 5.22 a 5.23: Vysunutý kolík při pohledu směrem na sever a jih</i>	52
<i>Obr. 5.24: 5. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky</i>	53
<i>Obr. 5.25: Vazný trám – výletové otvory od červotoče</i>	53
<i>Obr. 5.26: 6. příčná vazba: žlutá barva – poškozený prvek, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna</i>	54
<i>Obr. 5.27: 7. příčná vazba: žlutá barva – poškozený prvek, červená barva – poškozený prvek, nutná výměna</i>	54
<i>Obr. 5.28: Hambálek napadený plísní (bílé skvrny) a tesaříkem (požerky)</i>	55
<i>Obr. 5.29: 8. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky</i>	55
<i>Obr. 5.30: Odkryté chodbičky a výletové otvory od červotoče ve vazném trámu</i>	56
<i>Obr. 5.31: Hambálek napaden plísní od dřevěných desek</i>	56
<i>Obr. 5.32: 9. příčná vazba: žlutá barva – poškozený prvek, červená barva – poškozený prvek, nutná výměna</i>	57
<i>Obr. 5.33: Levá krokev – požerky od červotoče, plíseň</i>	57
<i>Obr. 5.34: 10. příčná vazba: žlutá barva – poškozený prvek, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna</i>	58
<i>Obr. 5.35: Rozpad vazného trámu v důsledku působení červotoče</i>	58
<i>Obr. 5.36: Sloupek zničený červotočem</i>	59
<i>Obr. 5.37: Na fotografii vidíme sloupek s bývalým tesařským spojem pro upevnění pásků a přidělanou podporu</i>	59
<i>Obr. 5.38: 11. příčná vazba: červená barva – poškozený prvek, nutná výměna</i>	59
<i>Obr. 5.39: 12. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozený prvek, nutná výměna</i>	60
<i>Obr. 5.40: 13. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna</i>	61
<i>Obr. 5.41: Požerky červotoče na sloupku</i>	61
<i>Obr. 5.42: Ukázka tesařského spoje</i>	62

<i>Obr. 5.43: 14. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky.</i>	62
<i>Obr. 5.44: 15. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky.</i>	63
<i>Obr. 5.45: Pohled na poslední 4 příčné vazby</i>	63
<i>Obr. 5.46: Půdorys krovu: žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna</i>	65
<i>Obr. 5.47: Vaznice napadená červotočem a shnilá v podélné trhlině</i>	66
<i>Obr. 5.48: Zničená pozednice povětrnostními vlivy na pravé straně krovu mezi příčnými vazbami 2 a 3.</i>	67
<i>Obr. 5.49: Měření vlhkosti hambálku 3. příčné vazby v místě, kde zatékala voda</i>	69
<i>Obr. 5.50: Radiogram fragmentu hambálku</i>	70
<i>Obr. 5.51: Detail předchozího snímku. Oblast s masivní hnilobou a výskytem požerků červotoče</i>	71
<i>Obr. 5.52: Radiogram fragmentu hambálku s patrnou zdravou strukturou dřeva, viditelnou sesychací prasklinou a místy suků.</i>	71
<i>Obr. 5.53: Radiogram fragmentu hambálku</i>	72
<i>Obr. 5.54: Radiogram fragmentu hambálku s patrným smolníkem a výletovými otvory od tesaříka.</i>	72
<i>Obr. 5.55: Rentgen EcoRay HF1040.</i>	72
<i>Obr. 5.56: Bezdrátový zobrazovací panel Aero DR (v pozadí)</i>	73
<i>Obr. 5.57: Prozařování fragmentu hambálku rentgenem EcoRay HF1040 s užitím bezdrátového zobrazovacího panelu Aero DR.</i>	73
<i>Obr. 5.58: Starší rentgen Andrex CP160</i>	74
<i>Obr. 5.59. Externí rentgenka rentgenu Andrex CP160</i>	74

1 Úvod

Dřevo provází člověka při výstavbě obydlí v celé jeho civilizační historii. Svoje postavení si dřevo udrželo nejen pro příjemný a teplý přírodní charakter, ale zejména kvůli neomezeným způsobům využití, snadnému zpracování a možnosti uplatnit se v moderních technologiích. Dále vykazuje dobré izolační vlastnosti tepelné i akustické, rezonanční vlastnosti a poměrně vysokou pevnost vzhledem k lehkosti.

Dřevo má však i své nedostatky, které musíme brát v potaz při diagnostice konstrukcí. Mezi ně patří anizotropie materiálu, jejímž následkem jsou různé vlastnosti v různých směrech. Odolnost dřeva závisí na vlhkosti ve dřevě i vzduchu kolem. Změna vlhkosti ve dřevě je provázána fyzikálními jevy např. bobtnání, borcení, sesychání, hnití. Při zvýšené vlhkosti vzduchu je dřevo náchylné na napadení dřevokazným hmyzem a houbami. Důležitou vlastností je lehká zápalnost a hořlavost dřeva.

2 Cíl práce

Hlavním cílem bakalářské práce bylo vypracovat přehled diagnostických metod pro hodnocení stavu dřevěné konstrukce in situ. Zmíněny budou metody aplikované v praktické části a další důležité či zajímavé. Postupy pro diagnostiku dřevěných konstrukcí jsou navrženy tak, aby odhalily nejlépe všechny poruchy a nedostatky ve dřevě.

V praktické části budou některé s metod využity při diagnostice konkrétního krovu v Lomnici (okres Bruntál). Jedná se o vizuální a sluchovou metodu a měření vlhkosti. Každý prvek krovu bude detailně prozkoumán. Podle rozsahu poškození bude navrženo buď ošetření, nebo odstranění. Také je využita radiografie, která bude prováděna na odebraných zničených prvcích v laboratoři.

3 Struktura a vlastnosti dřeva

3.1 Stavba kmene

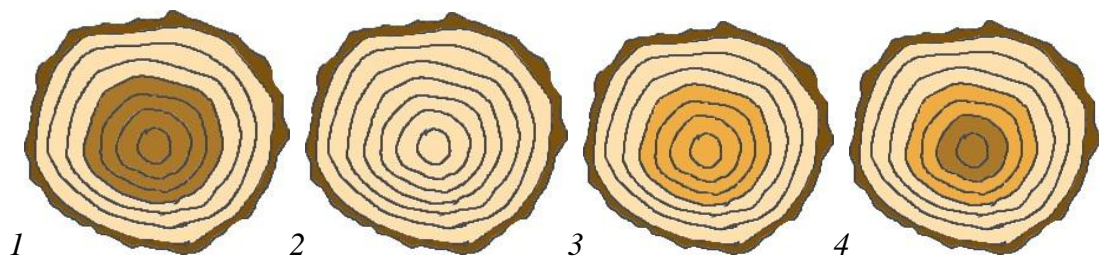
Kmen je hlavní dřevnatá část organismu dřevin, zejména stromů, vyrůstající z kořenové části. Z kmene se oddělují větve, nahoře je zakončen vrcholovým pupenem. [18]

Kůra je vnější část kmene, jejíž hlavní funkcí je ochrana stromu. Vzhled kůry je ovlivněn stářím stromu. Šířka je různá podle druhu dřeviny. Skládá se ze dvou vrstev. [19]

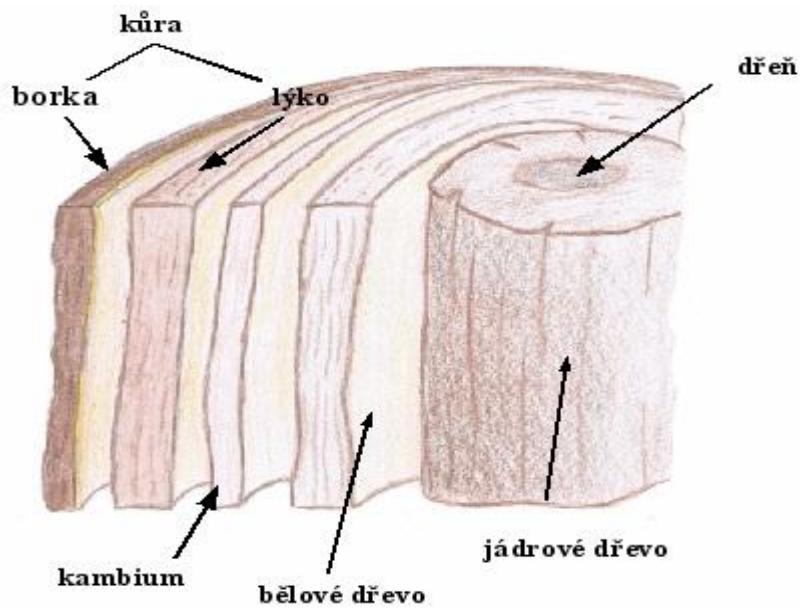
- borka – odumřelá vnější vrstva kůry, má ochrannou funkci. Chrání dřevo před atmosférickými vlivy a mechanickým poškozením. [19]
- lýko – vnitřní vrstva kůry, vede vodu se živinami kmenem. Přiléhá ke kambiu. Vede produkty fotosyntézy z listů do ostatních částí stromu. [19]

Kambium je tenké, pouhým okem neviditelné, dělivé pletivo mezi lýkem a dřevem, které zajišťuje růst stromu. Na vnitřní straně kambia se vytvářejí buňky dřeva, na vnější straně vytvářejí kůru. Dřevo přirůstá rychleji - buňky na vnitřní straně kambia se rychleji dělí. V mírném podnebném pásmu se činnost kambia zastaví před zimním obdobím a začíná pracovat na jaře. Výsledkem této činnosti je tvorba letokruhů. [19]

Dřevo je hlavní část kmene. Nachází se mezi dřéní a kůrou a tvoří 70-93 % objemu stromu. U dřevin je část dřeva blíže kůry světlejší - **běl**, blíže ke dřéní je dřevo tmavší - **jádro**. Barevné rozlišení se nemusí vyskytovat u všech dřevin. Přechod mezi běl a jádrem může být pozvolný nebo náhlý. Dřevo, které již není vodivé a jeho barva se neliší od bělového dřeva, se nazývá **vyzrálé dřevo**. [19]



Obr. 3.1: 1 – dřevina s jádrovým dřevem, 2 – dřevina s bělovým dřevem, 3 – dřevina s vyzrálým dřevem, 4 – dřevina s jádrovým a vyzrálým dřevem [19]



Obr. 3.2: Stavba kmene [19]

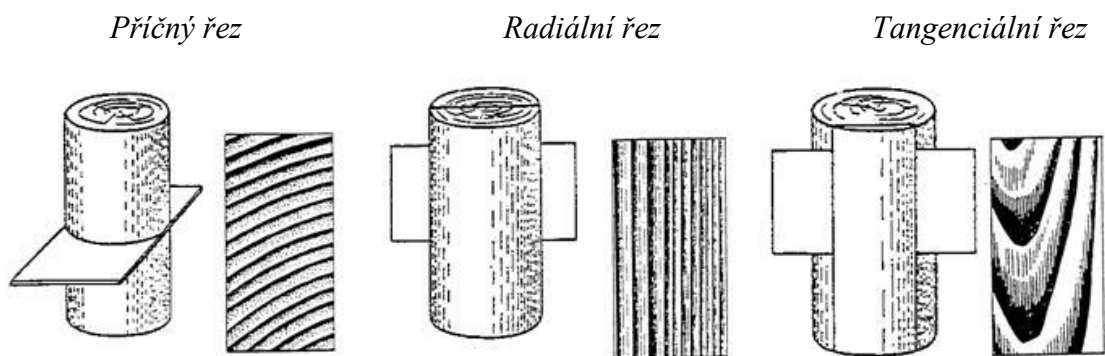
3.2 Stavba dřeva

Dřevo je přírodní organický buněčný materiál. Je kompozitem vytvořeným z chemického komplexu celulózy, hemicelulózy, ligninu a extraktivních látek. Dřevo je vysoce anizotropní zejména vzhledem k podlouhlému tvaru buněk a orientované stavbě stěn buněk. Anizotropie kromě toho vyplývá z rozdílných velikostí buněk v průběhu růstového období a částečně z převládajícího směru určitých typů buněk (např. dřevných paprsků). [9]

Nepravidelný růst dřeva, jemná struktura a uspořádání buněk jsou důsledkem dělení stavby dřeva do tří kategorií – makroskopická, mikroskopická, submikroskopická.

Makroskopická stavba dřeva je struktura dřeva, kterou lze pozorovat pouhým okem nebo pomocí lupy. Slouží k identifikaci dřevin (pouze do úrovně rodu), určení vad a kvality dřevin. Mezi typické znaky patří letokruhy, suky, dřev, dřevné paprsky, dřevné skvrny, cévy, pryskyřičné kanálky. Dále sem spadají povrchové a vzhledové vlastnosti – svalovitost, kořenice, očka, lískovcové dřevo, lesk, barva, vůně.

Makroskopickou stavbu určujeme na třech různých řezech - příčný, radiální, tangenciální (Obr. 3.3).



Obr. 3.3: Základní řezy dřevem [4]

Příčný řez (transversální) – veden v rovině kolmé k ose kmene (soustředné uspořádání letokruhů)

Radiální řez (středový, poloměrový) – veden v rovině rovnoběžné s osou kmene a procházející středem kmene (letokruhy – svislé pásy)

Tangenciální řez (tečnový, fládrový) – veden v rovině rovnoběžné s osou kmene a neprocházející středem kmene (letokruhy – parabolické útvary neboli fládry)

Mikroskopická stavba dřeva - pozorovatelná pod mikroskopem. Popisuje buňky, které tvoří dřevo (rozměry, uspořádání, složení). Pro stavební konstrukce méně významná než makroskopická stavba. Buňky lze rozdělit do tří skupin (libriformní vlákna, tracheje a tracheidy, parenchymatické buňky).

- Libriformní vlákna – zejména u listnatých dřevin. Buňky jsou podlouhlé, úzké a zašpičatělé. Jsou to anatomické elementy mrtvé. Mechanická funkce.
- Tracheje a tracheidy – podlouhlé buňky, které vytvářejí síť vodivých drah k rozvádění vody a živin od kořenů ke koruně. Tracheje u listnáčů, tracheidy u jehličnanů.
- Parenchymatické buňky – spíše u listnáčů, jsou živé, rozmanitý tvar, zásobní a metabolická funkce.

Submikroskopická stavba dřeva – stavba buněčné stěny

3.3 Druhy dřevin

Dřeviny dělíme na jehličnaté a listnaté. Zastoupení jednotlivých druhů dřevin v lesních porostech ČR je uvedeno v tabulce 3.1.

Tab. 3.1: Zastoupení jednotlivých druhů dřevin v lesních porostech ČR [5]

JEDNOTLIVÝ DRUH	PROCENTUÁLNÍ PODÍL	
	jednotlivě	celkově
smrk	52,1	76,1
borovice	15,1	
jedle	7,5	
modřín	1,3	
ostatní	0,1	
buk	13,8	23,9
dub	4,2	
ostatní	5,9	

3.3.1 Jehličnaté dřeviny

Jehličnaté dřeviny jsou většinou tzv. měkké dřeviny nebo tvoří přechod k měkkým dřevinám. Rostou 80 až 100 let. Dosahují výšky 25 až 40 m a průměru kmene až 2 m. Ve stavebnictví se nejvíce používá smrk, jedle a borovice, k dekoračním účelům modřín. [5]

Smrkové dřevo – měkké až středně tvrdé, středně lehké, elastické, pevné, málo sesychá, dobrá rozměrová a tvarová stálost, dobře se suší, snadné opracování. Odolné proti povětrnostním vlivům, neodolné proti napadení houbou a hmyzem. Plochy podélného řezu lesklé. Barva žlutobílá až načervenalá bílá, při stárnutí žlutohnědá. Využití - konstrukční dřevo u pozemních, vodních, mostních, důlních a podzemních staveb, které však nejsou vystaveny vlivu vlhkého prostředí. Dále pak na trámoví, krokve, bednění. [2]

Jedlové dřevo – měkké, středně lehké, elastické, pevné, málo sesychá, dobrá rozměrová a tvarová stálost, dobře se suší i opracovává. Středně odolné proti povětrnostním vlivům, neodolné proti napadení houbou a hmyzem. Plochy podélného řezu

matné, nepryskyřičnaté, nepříjemná vůně při opracování. Barva bílá až bílošedá, při stárnutí červenošedá. Využití obdobné jako u smrkového dřeva. [2]

Borové dřevo – středně tvrdé, lehké, elastické, velmi pevné, málo sesychá, dobrá rozměrová a tvarová stálost, dobře se suší i opracovává, obsahuje velké množství pryskyřice. Středně odolné proti povětrnostním vlivům, bělové dřevo neodolné proti napadení houbou a hmyzem. Plochy podélného řezu matně až voskově lesklé, velmi pryskyřičnaté, časté smolníky, dřevo často zamodralé. Barva bělového dřeva žlutobílá až načervenalé bílá, jádro tmavší, silně oxidačně tmavne. Využití – podlahy, dýhy, překližky, deskové materiály. [2]

Modřínové dřevo – středně tvrdé, středně těžké, elastické, pevné, málo sesychá, rozměrová a tvarová stálost, dobře se suší i opracovává, impregnovat lze jen za určitých podmínek. Pod vodou velmi trvanlivé, málo náchylné k napadení houbou či hmyzem. Povětrnostním vlivům odolné za určitých podmínek. Plochy podélného řezu zčásti lesklé, zčásti matné, nepatrně pryskyřičnaté. Dřevo má aromatickou, příjemnou vůni. Barva bělí žlutobílá až žlutá, jádro červenohnědé, silně oxidačně tmavne. Využití – vnější a vnitřní práce, krycí a překližkové dýhy. [2]

3.3.2 Listnaté dřeviny

Listnaté dřeviny se dělí na měkké, většinou bělové (lípa, osika, olše, kaštan), měkké jádrové (topol, vrba) a tvrdé dřeviny bělové (buk, habr, javor, bříza) a tvrdé jádrové dřeviny (dub, jasan, jilm, akát a velká skupina ovocných dřevin). Rostou 120 až 150 let. Dosahují výšky 20 až 25 m (dub až 60 m) a průměru až 1,5 m (dub až 3 m). Ve stavebnictví se nejvíce používá dřevo dubové a bukové. Ostatní druhy se používají jen výjimečně na okrasné dýhy, vlasy, apod. [5]

Dubové dřevo – tvrdé, středně těžké, elastické, velmi pevné, málo sesychá, rozměrová a tvarová stálost, pomalu se suší, snadno se opracovává. Jádrové dřevo odolné proti povětrnostním vlivům a trvanlivé. Běl náchylná k napadení houbou a hmyzem. Plochy podélného řezu slabě lesklé, zřetelně viditelné póry, nakyslý zápach. Barva bělí šedobílá, jádro žlutohnědé až barvy hnědé kůže, silně oxidačně tmavne. Používá se hlavně při stavbě mostů a ve vodních stavbách. [2]

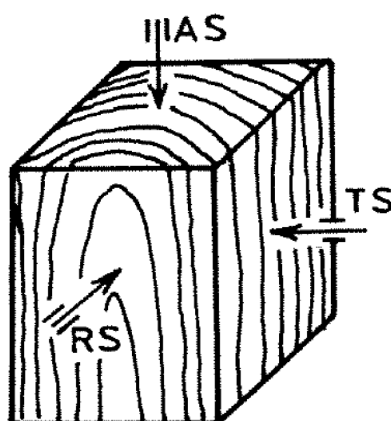
Bukové dřevo – tvrdé, těžké, pevné, velmi silně sesychá, velmi malá rozměrová a tvarová stálost, sklon k trhání, musí se pomalu sušit, dobře se opracovává. Neodolné proti povětrnostním vlivům, náchylné vůči napadení houbou a hmyzem, snadno se zapaří. Plochy podélného řezu matné, póry sotva znatelné. Propařené dřevo se snadno ohýbá. Barva bělí a zralého dřeva žlutavě bílá, oxidačně tmavne do žlutohněda. Využití – nábytek, ohýbané dřevo, schody, parkety, nástroje, stroje. [2]

3.4 Vlastnosti dřeva

Dřevo má v různých směrech různé vlastnosti – jedná se o anizotropní materiál. K nejdůležitějším faktorům, které ovlivňují vlastnosti a chování dřeva patří: chemické složení a anatomická stavba dřeva, předcházející historie dřeva, vlastnosti prostředí a zkušební metody.

Základní anatomické směry:

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



Obr. 3.4: Základní anatomické směry ve dřevě [1]

3.4.1 Vlhkost dřeva

Přítomnost kapalin ve dřevě. Vyjadřuje se podílem hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu – vlhkost absolutní w_{abs} , nebo podílem hmotnosti vody ke hmotnosti mokrého dřeva – vlhkost relativní w_{rel} . Vlhkost se nejčastěji vyjadřuje v procentech a počítá se podle následujících vztahů: [6]

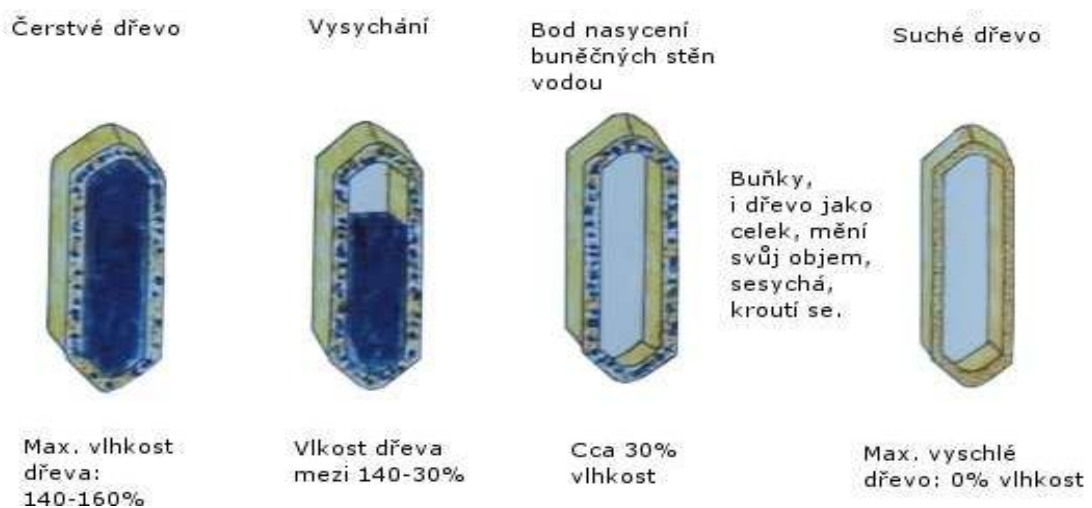
$$w_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_w}{m_0} \cdot 100 \qquad w_{rel} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_w} \cdot 100$$

kde

- m_w je hmotnost vlhkého dřeva;
- m_0 hmotnost absolutně suchého dřeva;
- m_v hmotnost vody.

V závislosti na podílu vody ve dřevě ve vztahu k sušině dřeva rozlišujeme tři hraniční hodnoty (obr. 3.5):

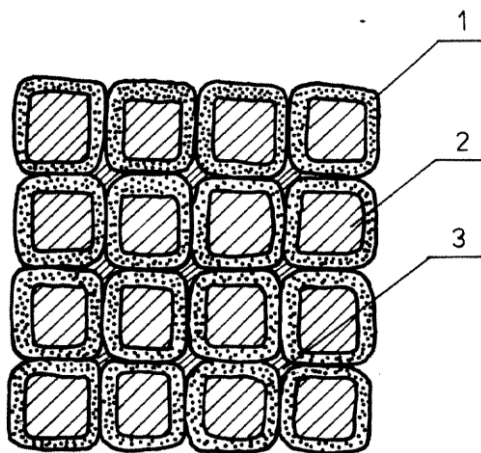
- Vlhkost suchého dřeva (ve dřevě se nenachází žádná voda vázaná ani volná)
- Vlhkost při nasycení buněčných stěn (mikrokapilární systém v buněčné stěně je zcela zaplněn vodou)
- Vlhkost při nasycení dřeva (mikro- i makrokapilární systém je plně nasycen vodou, dřevo obsahuje maximální množství vody)



Obr. 3.5: Procentuální zastoupení vlhkosti ve dřevě [10]

Dělení vody z hlediska uložení ve dřevě (obr. 3.6):

- Chemicky vázaná – součástí chemických sloučenin, lze odstranit pouze spálením dřeva, nemá velký význam
- Vázaná – hygroskopická, nachází se v buněčných stěnách, vázána vodíkovými můstky na hydroxylové skupiny, má zásadní význam
- Volná – kapilární, vyplňuje lumény buněk a mezibuněčné prostory, menší význam než voda vázaná



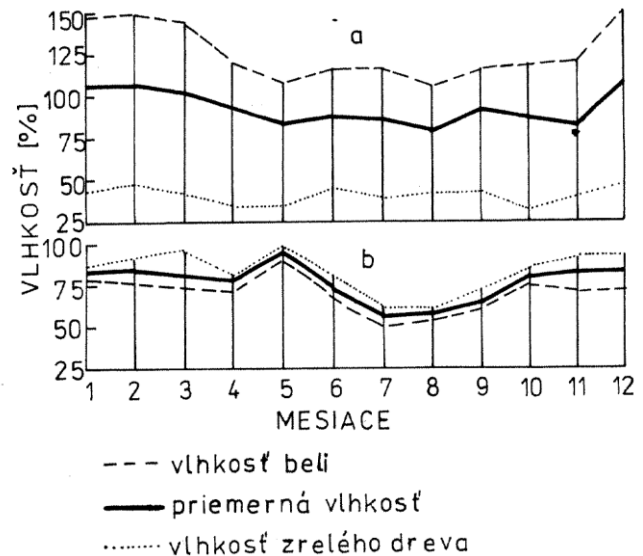
Obr. 3.6: Schematické znázornění uložení

vázané a volné vody ve dřevě [1]

1 – voda vázaná v buněčné stěně

2 – volná voda v lumenu

3 – volná voda v mezibuněčném prostoru



Obr. 3.7: Změny vlhkosti v kmenech rostoucích stromů během roku [1]

a – smrk

b - bříza

3.4.2 Vztah mezi dřevem a vodou

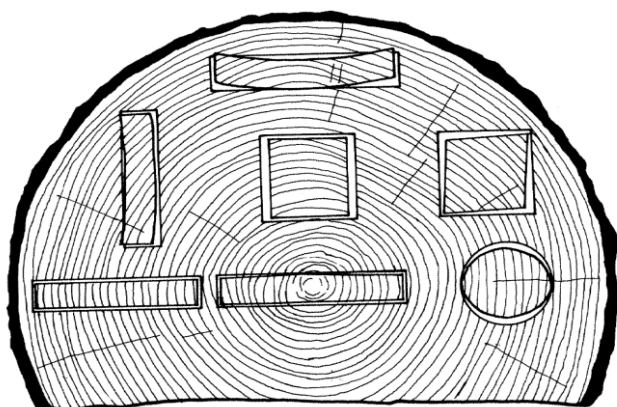
Dřevo je ve vztahu k okolnímu prostředí hygroskopickým materiálem schopným přijímat nebo odevzdávat vodu, ať ve skupenství kapalném nebo plynném, a má schopnost měnit svoji vlhkost podle vlhkosti okolního prostředí. [6]

3.4.3 Rozměrové změny spojené se změnou vlhkosti

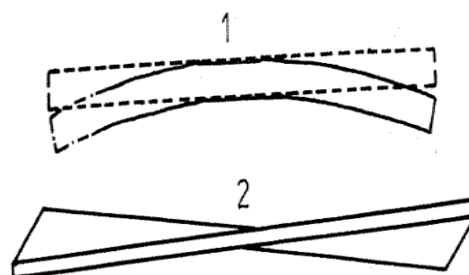
Bobtnání – schopnost dřeva zvětšovat svoje lineární rozměry, plochu nebo objem při přijímání vody v rozsahu vlhkosti 0%. Bobtnání od absolutně suchého stavu do meze hygroskopicity – bobtnání celkové, bobtnání v jakémkoli menším intervalu – částečné. Vyjadřuje se podílem změny rozměru k původní hodnotě a uvádí se nejčastěji v %.

Sesychání – proces, při kterém se zmenšují lineární rozměry, plochy nebo objem tělesa v důsledku ztráty vody vázané. Řídí se podobnými zákonitostmi jako bobtnání. Dřevo dělíme na málo sesýchavá – tis, vrba, topol, středně sesýchavá – borovice, smrk, jedle, dub, hodně sesýchavá – buk, modřín, bříza.

Borcení dřeva – změna tvaru sortimentu. K tomuto jevu dochází při bobtnání nebo sesychání dřeva v důsledku anizotropního charakteru hygroexpanze dřeva. Nastává v příčném nebo podélném směru.



Obr. 3.8: Schematické znázornění příčného borcení desek, hranolů a tyčí v radiálním a tangenciálním směru [1]



Obr. 3.9: Schematické znázornění tvaru podélného borcení desek, 1 – průhyb, 2 – stočení [1]

3.4.4 Hustota dřeva

Pro charakteristiku hustoty dřeva používáme nejčastěji následující vlhkostní stavy:

- hustota dřeva v suchém stavu ($w = 0 \%$)
- hustota dřeva při vlhkosti 12 %
- hustota dřeva vlhkého ($w > 0 \%$)

Hustota dřeva je charakterizována podílem hmotnosti a objemu dřeva při určité vlhkosti. Hustota dřeva se zvyšuje s vlhkostí, ale hmotnost a objem dřeva nerostou stejným způsobem. Zatímco hmotnost dřeva roste se zvyšující se vlhkostí až do maximálního nasycení (maximální vlhkosti dřeva), objem se zvyšuje jen do bodu nasycení buněčných stěn. [6]

Dělení domácích dřevin podle hustoty:

- Dřeva s nízkou hustotou ($\rho_{12} < 540 \text{ kg.m}^{-3}$) - borovice, smrk, jedle, topol, lípa
- Dřeva se střední hustotou ($\rho_{12} = 540 - 750 \text{ kg.m}^{-3}$) - modřín, tis, bříza, buk
- Dřeva s vysokou hustotou ($\rho_{12} > 750 \text{ kg.m}^{-3}$) - habr, moruše, akát

3.4.5 Tepelné vlastnosti dřeva

Teplotní roztažnost – zvyšování teploty tělesa způsobuje zvyšování energie jeho molekul, a v konečném důsledku i zvětšení rozměrů tělesa. Teplotní roztažnost je charakterizována koeficientem teplotní roztažnosti, který je definován podobně jako koeficient bobtnání či sesychání – podíl změny nového rozměru a rozměru původního při lineární závislosti na teplotě. Hodnoty jsou však mnohem nižší – teplotní rozměrové změny můžeme ve srovnání s vlhkostními změnami zanedbat. [6]

Tepelná vodivost dřeva je velmi malá, proto je řazeno mezi tepelně izolační materiály. Napříč vláken je dřevo až 3x méně vodivé než podél vláken.

Hořlavost dřeva - schopnost vznítit se, žhnout a hořet. Hoření dřeva představuje termický rozklad vazeb základních chemických komponent dřeva a změnu jeho chemického složení za vzniku nových produktů. Hořlavost dřeva je určována bodem vzplanutí (180-275°C), bodem hoření (260-290°C), bodem zápalnosti (330-520°C) a termickým rozkladem dřeva.

3.4.6 Akustické vlastnosti dřeva

Jedná se o schopnost materiálu utlumit, vést nebo zesílit zvuk. Dřevo je materiálem s velmi dobrými akustickými vlastnostmi, které ho předurčují k výrobě hudebních nástrojů a ke zlepšení akustických vlastností společenských místností.

3.4.7 Pružnost dřeva

Pružnost dřeva je všeobecně definována jako schopnost dřeva dosahovat původní tvar a rozměry po uvolnění vnějších sil. Moduly pružnosti vyjadřují vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci, udávají se v MPa. Rozlišujeme moduly pružnosti při normálových namáháních (tah, tlak, ohyb) – Youngovy moduly pružnosti, a smykové moduly při namáháních tangenciálních (smyk a krut). [7]

- **modul pružnosti v tahu a tlaku** – charakterizován podílem napětí a poměrné deformace. Průměrná hodnota ve směru vláken se pro domácí dřeviny udává v rozpětí 10 000 – 15 000 MPa při průměrné absolutní vlhkosti 12%. Napříč vláken je tato hodnota 25x menší, přičemž v radiálním směru je cca o 20 – 50% vyšší než ve směru tangenciálním.
- **smykový modul pružnosti** – pro naše dřeva se pohybuje v rozpětí 100 – 2000 MPa.

3.4.8 Pevnost dřeva

Pevnost dřeva charakterizuje odolnost dřeva proti jeho trvalému porušení. Údaje o pevnosti dřeva se zjišťují prostřednictvím zkoušek, kde se sleduje skutečné napětí v okamžiku porušení tělesa. Pevnost dřeva ovlivňuje vlhkost, teplota a hustota. Se stoupající vlhkostí se pružnostní a pevnostní vlastnosti dřeva snižují. Zvyšováním teploty a vlhkosti se pevnost výrazně snižuje, přičemž současné působení obou faktorů snižuje pevnost více, než působení každého samostatně. S rostoucí hustotou se pevnost dřeva zvyšuje. [7]

- **Pevnost v tlaku** - s ohledem na směr působící síly k orientaci vláken a letokruhům dřeva rozlišujeme **pevnost v tlaku ve směru vláken** – působením tlaku na těleso podél vláken dojde ke zkrácení délky tělesa (důležitými činiteli jsou hustota a vlhkost), **pevnost v tlaku napříč vláken** (ve směru radiálním nebo tangenciálním) – postupná deformace a zhušťování dřevní struktury v celém objemu.
- **Pevnost v tahu** – podobně jako u tlaku se rozděluje s ohledem na anizotropii na **pevnost v tahu ve směru vláken** – v porovnání s ostatními pevnostmi největší, průměrná hodnota pro všechna naše dřeva je 120 MPa, **pevnost v tahu napříč vláken** (ve směru radiálním nebo tangenciálním) – jedna z nejmenších pevností,

měli bychom se tomuto způsobu zatížení vyhnout, pohybuje se v rozpětí 1,5 – 5 MPa.

- **Pevnost v ohybu** - jednou z nejdůležitějších mechanických vlastností. Zpravidla se sleduje pevnost v ohybu napříč vláken v tangenciálním směru (větší rozdíly mezi pevností v ohybu radiálním a tangenciálním byly zjištěny jen u jehličnatých dřevin). Mez pevnosti napříč vláken je průměrně 100 MPa.

3.4.9 Houževnatost dřeva

- **Statická** - mechanická vlastnost, která představuje mechanickou energii spotřebovanou na vznik plastické deformace. Pokud je práce malá a plastická deformace zanedbatelná – křehký materiál. Dřevo je na vznik deformace energeticky náročné a deformace je výrazná – houževnatý materiál.
- **Dynamická (rázová)** – schopnost absorbovat práci vykonanou rázovým ohybem. Vyjadřuje ji spotřebovaná energie na přeražení dřeva definovaných rozměrů. Na zjištění této vlastnosti používáme např. Charpyho kladivo.

3.4.10 Tvrdość dřeva

Schopnost dřeva klást odpor proti vnikání jiného tělesa do jeho struktury. Tvrdość dřeva má význam při opracování reznými nástroji a v případech, kdy se dřevo odírá. Podle druhu zatížení se rozlišuje statická a dynamická tvrdość. [7]

Podle statické tvrdości při vlhkosti 12% dělíme naše dřeviny na měkké (smrk, jedle, borovice), středně tvrdé (buk, dub, modřín), tvrdé (habr, akát, tis).

3.5 Trvanlivost dřeva

Trvanlivost dřeva je schopnost dřeva odolávat vnějším vlivům a současně si zachovávat své původní vlastnosti. Dělíme ji na přirozenou a zvýšenou (lidským počinem). Trvanlivost je především závislá na chemickém složení dřeva. [8] Trvanlivá dřeva dlouho odolávají degradačnímu působení biotických činitelů a abiotických faktorů. K přirozené trvanlivosti pozitivně přispívají jádrové látky, třísloviny, pryskyřice a dřevní gumy,

negativně přispívají bílkoviny, cukry, škroby a tuky. Hustota nemá vliv. Další faktory ovlivňující trvanlivost dřeva – druh dřeva, podmínky růstu, ošetření po těžbě, uskladnění, uložení.

3.5.1 Abiotické poškození

Mezi hlavní faktory, které vyvolávají jednotlivé druhy abiotického poškození, patří:

Atmosférická koroze - sluneční záření (ztmavení povrchu dřeva), déšť a vítr (mechanická abraze prachovými částicemi). Stupeň degradace je úměrný energii světla a délce působení.

Mechanická abraze – odírání dřeva různě velkými částicemi. Vzniká členitý povrch s propadeným jarním dřevem a vystouplým dřevem letním.

Agresivní chemikálie – voda, kyseliny, zásady, soli, plyny, kovy. Závisí na délce trvání působení a teplotě.

Jednoduché preventivní prohlídky a ochranná opatření zabrání další destrukci dřevěných konstrukcí zabudovaných do staveb vlivem abiotického poškození.

3.5.2 Biotičtí činitelé

Dřevokazné houby – rozkládají dřevo a způsobují hnilobu. Poškozují rostoucí stromy i výrobky ze dřeva. Projevují se až ve stádiu, kdy je dřevo již nevratně znehodnoceno. Jejich rozvoj je podmíněn zvýšením vlhkosti na více jak 20%, přístupem vzduchu a teplotou (20-30°C). Dělíme je na celulózožravé (rozkládají celulózu) a ligninožravé (rozkládají lignin). Celulózožravé druhy vytvářejí tzv. destrukční hnilobu dřeva, dřevo postupně tmavne a kostkovitě se rozpadá. Tento proces se označuje jako **červená** nebo **hnědá hniloba**. Při napadení ligninožravými houbami vzniká **bílá hniloba**. Počáteční stádium hniloby, kterou houby způsobují, se nazývá tvrdá hniloba – dřevo má ještě zachovanou pevnost, ale došlo ke změně barvy. Rozvinuté napadení dřeva se označuje jako měkká hniloba – dřevo ztrácí pevnost, stává se křehkým a rozpadá se. Nejrozšířenější dřevokazné houby jsou Dřevomorka domácí, Koniofora sklepní, Trámovka plotní a Pornatka Vaillantova.



Obr. 3.10: Dřevomorka domácí, autor fotografie: Miroslav Deml ze dne 27. Červenec 2006 [20]



Obr. 3.11: Trámovka plotní, autor fotografie: Václav Hanzlík z října 2005 [21]

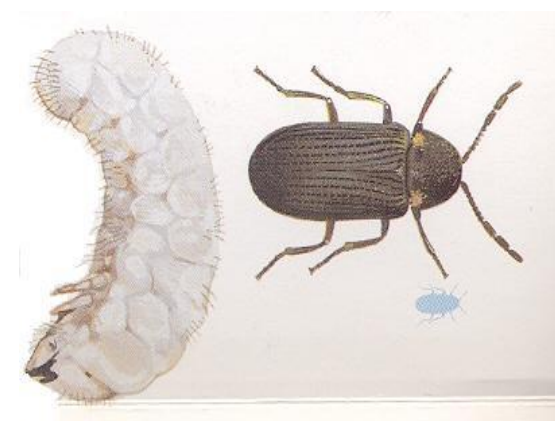
dřevokazný hmyz - škodí na dřevěných prvcích přímo požitky nebo nepřímo snížením produkce a kvality dřeva rostoucích stromů. Napadá rostoucí stromy, čerstvě vytěžené dřevo a odumřelé dřevo. Zasaženo je především bělové dřevo, v němž je více zásobních a méně konzervačních látek. Dřevo napadené hmyzem je pro kvalitnější výrobky nepoužitelné – ztrácí své původní fyzikální a mechanické vlastnosti. Podle ČSN EN 1311 se zaznamenává výskyt otvorů nebo se měří průměr otvorů v mm a určuje se druh hmyzu anebo se zjišťuje poškození na více místech a určuje se počet otvorů na 1 m délky. Optimální podmínky pro růst je vlhkost dřeva 10 – 12 % a teplota 20°C. Mezi dřevokazný hmyz patří kůrovci, pilořitky, hrbohlavci, červotoči, tesařici (krovový, fialový, obrovský, skladištní, smrkový). [4]



Obr. 3.12: Zničené dřevo od Tesaříka krovového, autor fotografie: Václav Hanzlík ze dne 23. únor 2010 [22]



Obr. 3.13 a 3.14: Tesařík krovový (larva a brouk), autoři fotografií Václav Hanzlík a Petr Kalina ze dnů 23. únor 2010 a 16. červenec 2010 [23] a [24]



Obr. 3.15: Červotoč umrlčí (larva a brouk) [25]



Obr. 3.16 a 3.17: Chodbičky vytvořené larvou Červotoče umrlčího

4 Průzkum a hodnocení dřevěných konstrukcí

Průzkum dřevěných konstrukcí je prováděn za účelem zjištění poruch. Vyžaduje se postupovat podle platných norem a používat vhodné diagnostické metody.

U dřevěných konstrukcí se musí ověřit druh a jakost dřeva, pokud tyto charakteristiky nejsou zcela jednoznačně známy. Rovněž se musí ověřit stav dřevěných konstrukcí s ohledem na možnost jejich napadení biologickými škůdci. Vyhodnocení materiálových vlastností musí být provedeno na části konstrukce napadené biologickými škůdci. [15]

K průzkumu a hodnocení dřevěných konstrukcí je možno využít několika diagnostických metod. Metody jsou přímo proveditelné in situ neboli na místě konstrukce, nebo na normovaných odebraných vzorcích v laboratoři.

4.1 Diagnostické metody prováděné na místě konstrukce

- **Nedestruktivní metody**

Metody, při kterých nedojde k porušení zkoušených prvků. Zkoušky se provádí přímo na konstrukci.

4.1.1 Vizuální hodnocení

Vizuální průzkum je základem jakékoliv diagnostiky dřevěných objektů a patří mezi nejpoužívanější, nejjednodušší a nejstarší nedestruktivní metody. Používá se za účelem získání informací týkajících se vlastností a stavu materiálu, ale také pro odhalení původních technologických postupů a dodatečných zásahů do dřevěných konstrukcí. Mezi hodnocení stavu prvků patří určování druhu použitého dřeva, charakteristické znaky prvku, vady dřeva (suky, trhliny, točivost vláken, barevné skvrny), odhalení povrchového biotického a abiotického poškození dřeva. Vizuální hodnocení je dále zaměřeno na identifikaci a vyhodnocení biodegradace a zjištění přítomnosti biologických škůdců (výletové otvory, změny povrchu, drť a prach blízko poškozeného prvku, plodnice hub,

změny barvy). Rovněž je možné odhalit deformace dřevěných prvků nebo uvolnění konstrukčních spojů. [13]

Největší úskalí vizuálního hodnocení vyplývá ze stanovení hodnotících kritérií a subjektivního hodnocení diagnostika. Vizuální hodnocení je proto vhodné zejména pro identifikaci kritických míst, která je třeba následně detailně vyhodnotit pomocí nedestruktivních defektoskopických přístrojů.

Vizuální určování stupně biotického poškození hnilobou a hmyzem, při srovnání s následně zjištěnými mechanickými vlastnostmi, vykazuje lepší závislosti, než mezi vizuálním hodnocením přirozených vad (trhlin a suků) a mechanickými vlastnostmi. Hodnocení přirozených vad dřeva je v rámci celkového hodnocení prvků velmi problematické. Třídy vizuálního hodnocení stanovuje norma ČSN EN 1912 (73 2073) Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti. Přiřazení vizuálních tříd jakosti a dřevin. [14]

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

Tab. 4.1: Třídy pevnosti - charakteristické hodnoty pro konstrukční dřevo podle ČSN EN 338. [17]

4.1.2 Měření vlhkosti

Zvýšený obsah vody může ovlivňovat výsledky nedestruktivního a semi-destruktivního testování, proto jeho měření nesmí být opomíjeno při průzkumech in situ. Měření vlhkosti může být vhodným vodítkem při identifikaci míst průsaku vody střešním pláštěm. V místě lokalizace části konstrukce, kde se vyskytuje problém se zvýšenou vlhkostí, by měl být proveden detailní průzkum a následně zhodnocen rozsah poškození. Vlivem zvýšené vlhkosti jsou vytvořeny ideální podmínky pro rozvoj biotické



degradace. Následně dochází k významnému zhoršení mechanických vlastností prvků zabudovaných do konstrukcí, proto se zjišťování vlhkosti stalo prvotním požadavkem při provádění průzkumů in situ. [13]

Při diagnostice zabudovaných prvků se používají především příruční vlhkoměry, kalibrované na zjišťování vlhkosti s ohledem na druh a teplotu dřeva. V praxi nejpoužívanější jsou odporové, které využívají elektrický stejnosměrný odpor a vodivost dřeva. [11]

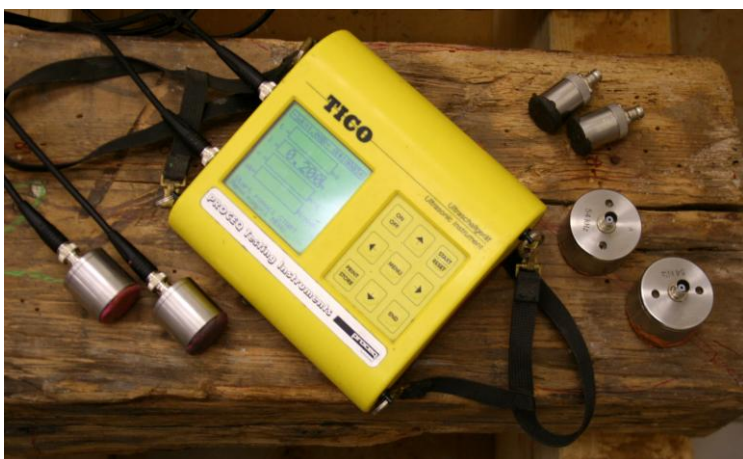
Obr. 4.1: Odporový vlhkoměr se zarážecími hroty

4.1.3 Měření šíření ultrazvukových vln

Měření rychlosti šíření ultrazvukových vln je jedna z nejpoužívanějších metod vyšetřování stavu konstrukcí. Je to způsobeno hlavně tím, že je zcela nedestruktivní, poskytuje okamžité výsledky, a to nejen lokálně, ale i celkové hodnocení stavu prvku. Diagnostické přístroje pracují s frekvencemi od 20 kHz do 500 kHz, záleží na typu přístroje a použitých sondách. Mezi nejpoužívanější ultrazvukové přístroje patří Arborsonic Decay Detector, Sylvatest, Pudít a Tico. [11]

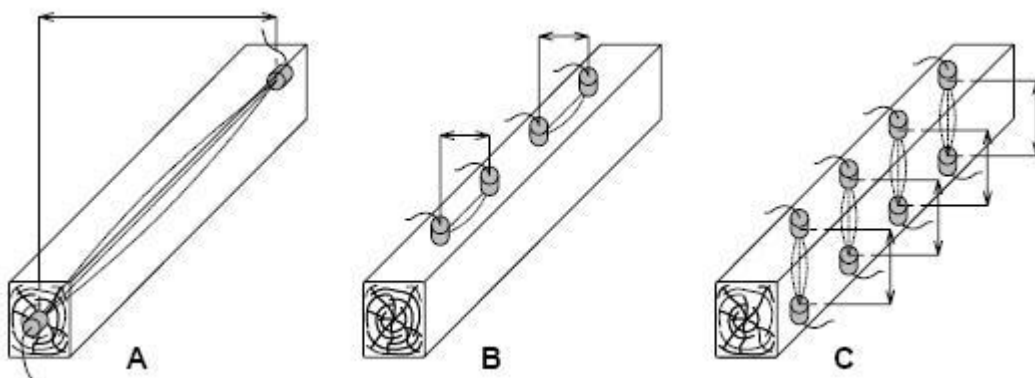
Měření probíhá pomocí dvou snímačů, kde jeden je budič ultrazvukového signálu a druhý snímač. Rychlost šíření závisí na druhu dřeva, jeho vlastnostech, hustotě, tuhosti a vnějších podmínkách. Se vzrůstající vlhkostí dřeva rychlost klesá. Rychlost zvuku ve dřevě

je anizotropní a je funkcí aktuálního stavu materiálu. Degradované dřevo vykazuje nižší rychlosti šíření zvuku. Vlna prochází přes nejkvalitnější zóny dřeva a obchází zóny s defekty (trhliny, suky, hnilobu, odklon vláken), čímž se snižuje její rychlost. Rozdílné rychlosti, resp. časy průchodu, slouží jako porovnávací veličiny pro hodnocení aktuálního stavu materiálu a je možné najít i jejich závislost na fyzikálních a mechanických vlastnostech dřeva. [13]



Obr. 4.2: Ultrazvukový přístroj TICO umožňuje použití více sond o různých frekvencích [11]

Nejvíce vypovídající výsledek měření získáme při měření rychlosti šíření vln podél vláken, tím získáme i odhad vlastností celého prvku. Při průzkumech konstrukcí in-situ je většinou nemožné provést měření tímto způsobem. Pro získání výsledků podél vláken přikládáme sondy na jednu stranu prvku, teoretický průběh vlny je potom po oblouku a ne po přímce, nebo můžeme měřit rychlost prostupu napříč vlákny, potom přikládáme sondy z obou protilehlých stran prvku, což je přesnější způsob měření, vyžaduje však přístup na obě protilehlé strany prvku. Pro diagnostiku celého prvku potřebujeme opět měření na více místech, tímto způsobem lze ale odhalit lokální poruchy, které nám měření podélně jen naznačí. [11]



Obr. 4.3: Možnosti přikládání sond při měření ultrazvukem: A - přímé měření podél vláken, B - nepřímé měření podél vláken, C - přímé měření napříč vlákny [13]

Při diagnostice větších prvků dochází k útlumu signálu, což lze eliminovat použitím menších frekvencí. Ty jsou ale méně citlivé na menší vnitřní vady prvku. Měření při použití vysokých frekvencí, které jsou více citlivé, je ovlivněno velkým útlumem signálu. Ultrazvuková metoda je tedy plně použitelná spíše na prvky malých rozměrů. [11]

- **Semi-destruktivní metody**

Zásah do konstrukčního prvku je malý (například při odběru vzorků v podobě vývrtnu). Nesmí být ovlivněna stabilita a funkčnost prvku. Výstupy ze semi-destruktivních zkoušek jsou objektivnější, než u zkoušek nedestruktivních.

4.1.4 Odporové zarážení trnu

Nejčastěji používaný přístroj Pilodyn 6J Forest. Jednoduché mechanické zařízení umožňující měřit hloubku zarážení trnu s průměrem 2,5 mm vystřelovaného do dřeva při konstantní zarážecí síle 6 J. Délka trnu je 40 mm, váha celého přístroje 1,55 kg, délka přístroje 335 mm a průměr přístroje 50 mm. Pomocí dynamického nárazu kalibrovaného výstřelu, který je odpovědný za penetraci hrotu do povrchu materiálu, je možné měřit hloubku zarážení trnu. Maximální hloubka zarážení trnu je 40 mm. Existuje několik verzí tohoto zařízení, např. Pilodyn 12J a Pilodyn 18J, které mají větší úderovou sílu, nebo Pilodyn 4JR s opakovaným výstřelem. Měření pilodynem je alternativa pro rychlý a málo



Obr. 4.4: Pilodyn 6J Forest [13]

invazivní odhad hustoty dřeva. [13]

Výsledky měření ovlivňuje vlhkost prvku, směr zarážení trnu (radiální a tangenciální) a modul pružnosti. Doporučuje se doplnění metody dalšími zkouškami, jelikož naměřené údaje vypovídají o poškození prvku jen do hloubky zarážení trnu.

4.1.5 Odporové vrtání

Provádí se pomocí přístroje Resistograph, který pracuje na principu měření odporu materiálu při vrtání. Používané wolframové vrtáky mají průměr 1,5 - 3,0 mm a zvláštní úhlovou geometrii, která zaručuje, že se odpor soustředí v ocelové špičce, a je tak eliminováno tření vřetene. Vřeteno vrtáku je neustále stabilizováno uvnitř vrtacího zařízení speciálním teleskopem. Přístroj váží přibližně 3 kg a obsahuje dva elektrické motory napájené stejnosměrným proudem o napětí 24 V. [13]

Výstupem z měření je grafický záznam. Vrcholy v grafickém záznamu odpovídají vyšším odporům (hustotě dřeva), nižší body jsou spojené s nižším odporem dřeva. Měření Resistographem ovlivňuje vlhkost dřeva, směr vrtání, ostrost vrtáku, mála ohybová tuhost vrtáku, naražení vrtáku na překážku (vybočení ze směru) a lokálnost měření. Je



Obr. 4.5: Resistograph od firmy Rinntech [11]

vhodné doplnit dalšími diagnostickými zkouškami.

Resistograph nabízí přehled o vnitřním poškození oproti Pilodyn, který je schopen penetrace jenom povrchové.

4.1.6 Zkoušení radiálních vývrtů

Principem je odběr vzorků válcovitého tvaru, na kterých je ve speciálním zatěžovacím zařízení zjišťována pevnost a modul pružnosti v tlaku podél vláken. [12] Otvory po odběru výrazně snižují pevnost prvku a mohou být zazátkovány z důvodu prevence proti vnikání vlhkosti, napadení hmyzem, snížení pravděpodobnosti vzniku hniloby nebo v případě cennějších konstrukcí z estetického hlediska. [11]

Radiální vývrty mají průměr 4,8 mm a otvor v prvku je 10 mm. Délka vývrtů by měla být minimálně 20 mm (kvůli zabezpečení hodnověrnosti výsledků a eliminaci variability výsledků v důsledku střídání jarního a letního dřeva).

Radiální vývrty jsou odebírány elektrickou vrtačkou se speciálním vrtákem (Obr. 4.6), který byl vyvinutý na ÚTAM AVČR. V průběhu odběru je zabezpečována konstantní

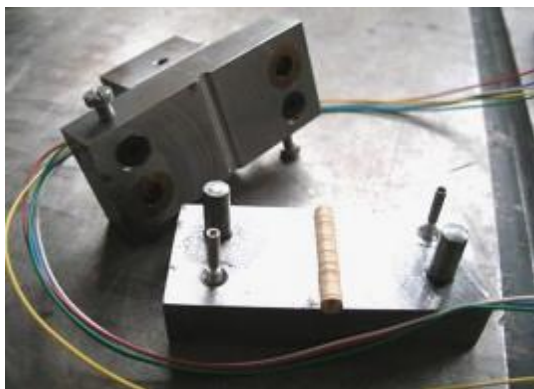


Obr. 4.6: Vybavení pro odběr radiálního vývrtnu [11]

Odběr vývrtnu by měl probíhat z nepoškozených míst prvku a zároveň v čistě radiálním směru, protože orientace letokruhů je velmi důležitým základem pro správné provedení zatěžovací zkoušky.

Radiální vývrty mohou být použity pro determinaci několika dalších vlastností dřeva, jako jsou např.: hustota, vlhkost, modul pružnosti a pevnost v tlaku podél vláken. Lze je využít i pro identifikaci druhu dřeva, dendrochronologické datování, mikroskopickou analýzu hniloby, vizuální hodnocení a zároveň i penetraci ochranných látek.

Pro vlastní zkoušení radiálních vývrtnů se používají čelisti s drážkami, které umožňují zatěžování tlakem kolmo na osu vývrtnu, tedy ve směru vláken dřeva (Obr. 4.7). Dva lineárně



Obr. 4.7: Zatěžovací čelist s vyfrézovanou drážkou [11]

proměnné snímače jsou použity na měření vzdálenosti mezi čelistmi a tedy k měření deformace vývrtnu. Náležité umístění vývrtnu ve zkušebním zařízení je rozhodující pro správné určení pevnosti a modulu pružnosti. Dřevo má největší pevnost podél vláken a nevycentrované vývrty v čelistech způsobují větší variabilitu měření. [11]

rychlost, aby nedošlo k poškození vzorků. Hrot vrtáku musí být ostrý a čistý. Vzorek je přenášen do laboratoře ve schránce, která brání jeho poškození a změně vlhkosti. [13]

Metoda zkoušení radiálních vývrtnů byla vyvinuta pro zjišťování kvality řeziva pomocí tlakových zkoušek rovnoběžně s vlákny.

4.1.7 Endoskopie

Nejjednodušší defektoskopickou metodou pro zjišťování stavu dřevěných prvků zabudovaných do konstrukcí je vizuální hodnocení. Tato metoda je ovšem limitovaná

přístupem k jednotlivým prvkům. V případě stropních konstrukcí, těžce dostupných míst nebo zazděných prvků je možné používat endoskop či videoskop. Pomocí endoskopu lze vizuálně posuzovat biotické poškození dřeva, dále je možné odhadovat vývojové stádium hub, změny barvy, zborcení, povrchový nebo kostkovitý rozklad a mechanické poškození. Dřevokazný hmyz může být identifikován pomocí charakteristického požerku a trusu. Přesné určování druhu hmyzu a hniloby ovšem vyžaduje odběr vzorků, což již v dnešní době pro některé typy endoskopů není problém. [11]

Předpokladem pro provedení průzkumu pomocí endoskopu je předem připravený otvor o velikosti 10–12 mm, do kterého je následně zasouván bovden s mikrokamerou. Požadované otvory mohou být po dokončení průzkumu zazátkované.

Poškození, které vzniká navrtáním otvorů, je vzhledem k rozsahu odhalení v nepřístupných místech konstrukcí zanedbatelné. V některých případech lze využít různé štěrby.



Obr. 4.8: Obrázek získaný pomocí přístroje Videoprobe XL PRO z jednotlivých vrtaných sond [11]

4.2 Laboratorní zkoušky

Výsledky nedestruktivního zkoušení vlastností dřeva jsou vždy jen orientační. Pro jejich zpřesnění by měly být provedeny průkazné zkoušky na odebraných vzorcích podle ČSN EN 384 Konstrukční dřevo – Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty. Jedná se o destruktivní diagnostické metody.

Počty vzorků stanovené v ČSN EN 384 lze omezit vzhledem k tomu, že dřevo použité v konstrukci již bylo v projektu zatříděno. Vzorky se odebírají ze zdravých částí dřeva. Pro určení materiálových vlastností se provádějí zejména zkoušky ohybové a tahové pevnosti. Pokud se materiálové vlastnosti určují podle vypsání postupu, lze považovat zjištěnou pevnost dřeva za charakteristickou pevnost dřeva. [15]

4.2.1 Mechanické vlastnosti stanovené na zkušebních tělesech

Tvorba výběru – výběry musí být vybrány ze základního souboru dřeva tříděného vizuálně nebo strojně dle EN 14081-1. Zkušební materiál musí být reprezentativním výběrem (původ dřeva, rozměry, jakost) ze základního souboru. V rámci jednoho výběru musí mít tělesa stejný průřez. [16]

Zkoušení – dle EN 408 (vlhkost, hustota, modul pružnosti v ohybu, modul pružnosti ve smyku, modul pružnosti v tahu rovnoběžně s vlákny, pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny, modul pružnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny, pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, pevnost v tahu a v tlaku kolmo k vláknům, modul pružnosti kolmo k vláknům, pevnost ve smyku rovnoběžně s vlákny, pevnost v ohybu rovnoběžně s vlákny). Kromě pevnosti ve smyku, tahu kolmo k vláknům a tlaku kolmo k vláknům musí být pro každý prvek stanoven kritický průřez – místo očekávaného porušení. [16]

Analýza výsledků – stanovení 5procentního kvantilu, stanovení průměrné hodnoty modulu pružnosti.

Referenční podmínky: vlhkost - musí odpovídat 20 °C a 65 % relativní vlhkosti vzduchu (pro většinu jehličnatých dřevin 12 %), pevnost v ohybu – výška průřezu 150 mm a standardní uspořádání zkoušky (břemena ve třetině rozpětí, které je 18násobkem výšky), pevnost v tahu – šířka průřezu 150 mm

Opravné součinitele: každé zkušební těleso nebo hodnota 5procentního kvantilu nebo průměrná hodnota výběru musí být upravena na standardní referenční podmínky. [16]

Pevnostní vlastnosti – charakteristická hodnota pevnosti f_k se vypočte ze vztahu:

$$f_k = \bar{f}_{05} k_s k_v$$

kde

\bar{f}_{05} je průměr (v N/mm²) upravených hodnot 5procentních kvantilů pro každý výběr, vážených podle počtu prvků v každém výběru;

k_s součinitel, kterým se zohledňuje počet výběrů a jejich rozsah;

k_v součinitel, kterým se uvažuje nižší variabilita hodnot f_{05} mezi výběry pro strojně tříděné dřevo v porovnání s vizuálně tříděným dřevem. [16]

Modul pružnosti – po úpravě hodnoty \bar{E} pro každý výběr na referenční podmínky se vypočte charakteristická hodnota $E_{0,mean}$ ze vztahu:

$$E_{0,mean} = \frac{\sum \bar{E}_j n_j}{\sum n_j}$$

kde

n_j je počet zkušebních těles v j-tém výběru;

\bar{E}_j průměrná hodnota modulu pružnosti pro j-tý výběr, vyjádřená v N/mm². [16]

4.2.2 Alternativní postupy pro stanovení mechanických vlastností

Pokud pro uvažované vlastnosti nejsou k dispozici výsledky zkoušek těles konstrukčních rozměrů, musí se charakteristické hodnoty stanovit podle vztahů uvedených v normě ČSN EN 384 z charakteristických hodnot pro pevnost v ohybu, průměrný modul pružnosti a hustotu, za předpokladu, že tyto hodnoty byly stanoveny podle kapitol 4.2.1, 4.2.3 a 4.2.4. Jedná se o pevnost v tahu a pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, pevnost ve smyku, pevnost v tahu kolmo k vláknům, pevnost v tlaku kolmo k vláknům, charakteristická hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny, průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům, modul pružnosti ve smyku.

4.2.3 Mechanické vlastnosti pro jiné jakostní třídy dřeva

Pokud jsou k dispozici údaje pro stanovení charakteristických hodnot pevnosti v ohybu, modulu pružnosti a hustoty podle kapitol 4.2.1 a 4.2.4 pro jednu jakostní třídu jedné dřeviny nebo skupiny dřevin, charakteristické hodnoty pro jiné jakostní třídy téže dřeviny se mohou stanovit použitím poměných součinitelů jakostní třídy. Tyto součinitele se odvodí z poměrů charakteristických hodnot, stanovených podle kapitol 4.2.1 a 4.2.4, pro nejméně tři jiné porovnatelné dřeviny nebo kombinace dřevin, pro které existují údaje pro všechny požadované jakostní třídy. [16]

4.2.4 Hustota

Charakteristická hustota musí být vypočtena z měření hustoty na výběrech, odebraných podle 4.2.1 – tvorba výběru.

Měření se musí provádět podle 6.1 ISO 3131:1975. Jeli vlhkost dřeva větší než 12 %, hustota se musí redukovat o 0,5 % pro každé procento rozdílu vlhkosti dřeva; při vlhkosti menší než 12 % se hustota musí zvětšit o 0,5 % pro každé procento rozdílu vlhkosti dřeva. Předpoklad, že vlhkost i objem byly měřeny při vlhkosti dřeva při zkoušce.

Pro každý výběr se musí stanovit hodnota 5procentního kvantilu ρ_{05} ze vzestupného uspořádání všech zkušebních hodnot výběru. Pro tuto hodnotu je 5 % zkušebních hodnot nižších nebo se jí 5 % zkušebních hodnot rovná. Pokud to není skutečná zkušební hodnota, interpoluje se mezi dvěma sousedními hodnotami.

Pokud se nezkouší všechna zkušební tělesa až do porušení, hustota každého zkušebního tělesa se dovoluje stanovit z hmotnosti a objemu celého zkušebního tělesa a upravit dělením 1,05 na hustotu malých bezvadých zkušebních těles podle ISO 3131:1975. V této korekci není zahrnuta úprava s ohledem na vliv vlhkosti dřeva, která může být také potřebná.

Charakteristická hustota ρ_k se vypočte ze vztahu:

$$\rho_k = \frac{\sum \rho_{05,j} n_j}{\sum n_j}$$

kde

n_j je počet zkušebních těles v j-tém výběru;

$\rho_{05,j}$ 5procentní kvantil hustoty pro j-tý výběr. [16]

4.2.5 Postup přejímání pro ověřování dávky

Pro kontrolu stanovených charakteristických hodnot určité dávky se musí výběr z této dávky vyzkoušet podle 4.2.1 – zkoušení. Rozsah výběru a požadavky na ověření jsou uvedeny pro průměrné hodnoty a 5procentní kvantily dle normy ČSN ISO 384.

4.2.6 Radiační metody

Radiační metody využívají vlastnosti ionizujícího záření, které je v materiálu zeslabováno a toto zeslabené záření je zobrazeno na film – radiografie. Nebo je zeslabení měřeno detektory – radiometrie. Jedná se o zcela nedestruktivní metody. Nevýhodou je nutnost zvláštních bezpečnostních opatření. Z tohoto důvodu, jsem radiografii prováděla ve

speciálních laboratořích na odebraných poškozených prvcích krovu, který jsem zkoumala v praktické části. Proto jsou tyto metody zařazeny mezi laboratorní zkoušky.

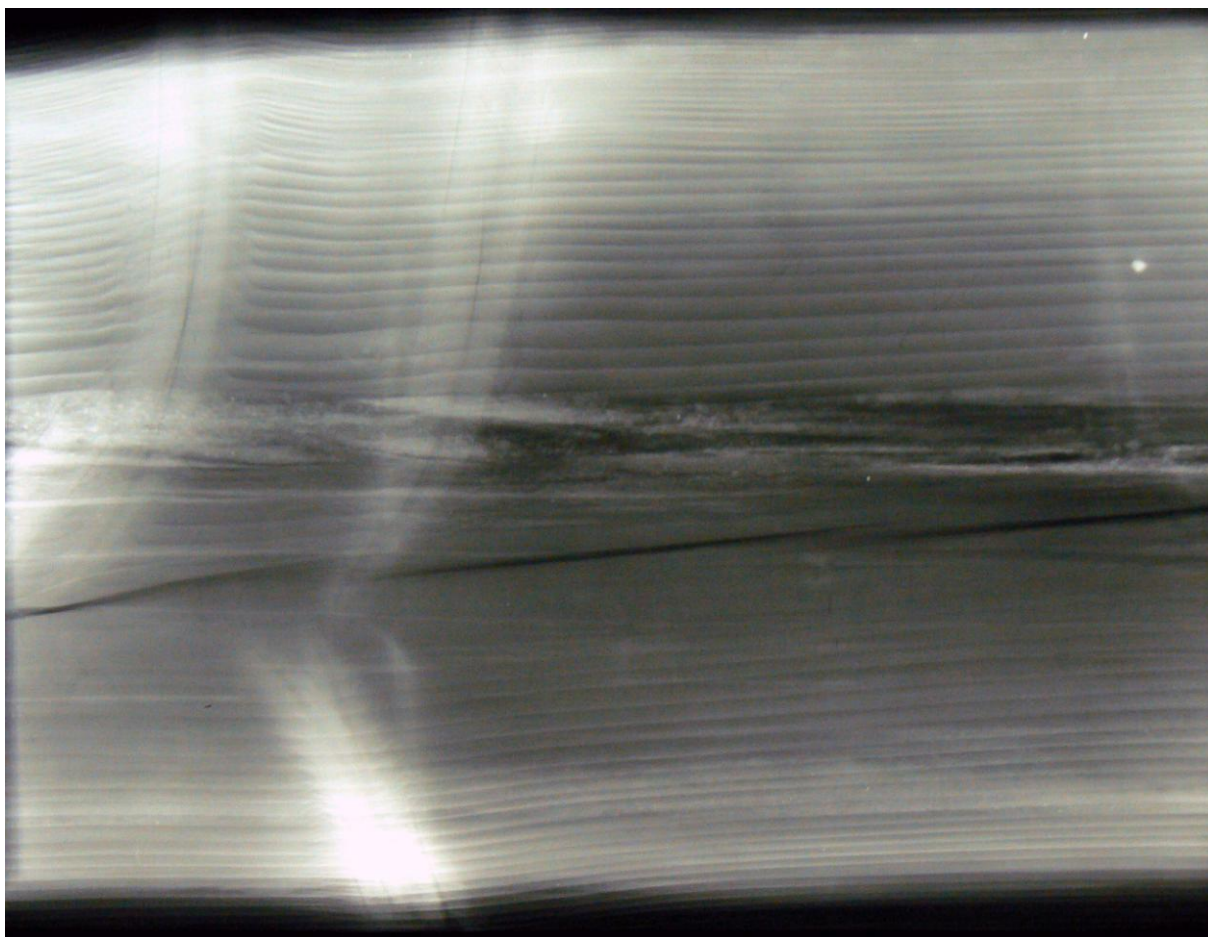
Radiometrie - umožňuje měření objemové hmotnosti a vlhkosti s využitím ionizujícího záření. Radiometrie se ve stavebnictví používá zejména v případech, kde měření objemové hmotnosti a vlhkosti klasickými metodami (např. měřením objemu a vážením) jsou zdlouhavá nebo technicky nerealizovatelná.

Radiometrické určení objemové hmotnosti je založeno na principu průchodu a zeslabení záření gama (měřený materiál mezi zdrojem záření a detektorem, přesnější), případně na principu rozptylu záření gama (zdroj záření a detektor na jedné straně zkoumaného prvku, mezi nimi stínící vrstva, méně přesné). Jako zdroje záření gama se nejčastěji používá vhodný radioaktivní zářič, např. cesium Cs 137. Detektory záření jsou buď Geiger – Mülleryovy počítače částic nebo scintilační detektory, které jsou spojeny s vyhodnocovací jednotkou. Výsledkem měření je četnost impulsů za časovou jednotku, kterou je třeba pomocí kalibrační křivky převést na objemovou hmotnost. U moderních přístrojů je kalibrační křivka ve vyhodnocovací jednotce naprogramována a výsledky měření jsou udávány přímo v kilogramech na krychlový metr.

Radiografie - je založena na specifických vlastnostech rentgenového záření a záření gama, které je rozptylováno a absorbováno prostředím, kterým prochází. Míra zeslabení při stejné energii záření je závislá na prozařované tloušťce a na objemové hmotnosti materiálu. V technické praxi jde tedy o metodu, umožňující zobrazení vnitřních nehomogenit v materiálech a prvcích konstrukcí zcela bez porušení.

Míra zeslabení záření po průchodu materiálem je obvykle zaznamenávána na radiografickém filmu, který po vyvolání zobrazuje vnitřní strukturu kontrolovaného místa. Místa s vyšší hustotou v prozařovaném předmětu se projeví světlejšími stopami nižšího zčernání na vyvolaném filmu. V posledních letech se pro detekci prošlého záření využívají místo radiografických filmů i mnohonásobně použitelné tzv. záznamové folie.

V případě diagnostiky dřevěných konstrukcí může být radiografie cenným pomocníkem při zobrazení vad a poruch uvnitř dřevěných prvků, které by nemusely jiné diagnostické metody odhalit. Jako zdroje záření je v diagnostice dřevěných konstrukcí vhodné využít některý z technických rentgenů. [11]



Obr. 4.9: Radiogram masivního jedlového trámu v konstrukci krovů historického objektu. Dobře je patrna struktura dřeva, suky, trhliny ve středu rozvinutá středová hniloba, z povrchu trámu neviditelná. Radiogram vytvořen klasickou technologií Rentgenem Andrex CP160 na radiografický film.

5 Diagnostika dřevěného krovu

V praktické části bakalářské práce jsem prováděla diagnostiku dřevěného krovu rodinného domu nacházejícího se v obci Lomnice (okres Bruntál). Jedná se o téměř 100 let starou stavbu, která byla v poslední době využívána jako chata. Nový majitelé domu plánují kompletní rekonstrukci včetně výměny střešní krytiny. Z tohoto důvodu je potřeba ověřit únosnost dřevěného krovu.

5.1 Úvodní informace o objektu

Objekt leží v obci Lomnice 5 m západně od hlavní silnice, která vede s Olomouce do Bruntálu. Dům stojí ve velmi mírném kopci. Budova se skládá z jednoho nadzemního podlaží (1NP), podkroví a půdy, která však bude, po odstranění stropu v podobě dřevěných desek, propojena s podkrovím. Tvar střechy – sedlová s námětkem, námětek zmírňuje spád střechy. Rozloha domu je 241,367 m².



Obr. 5.1 a 5.2: Pohledy na dům ze strany západní a jihozápadní



Obr. 5.3 a 5.4: Pohledy na dům ze strany jižní a jihovýchodní

5.2 Konstrukce krovu

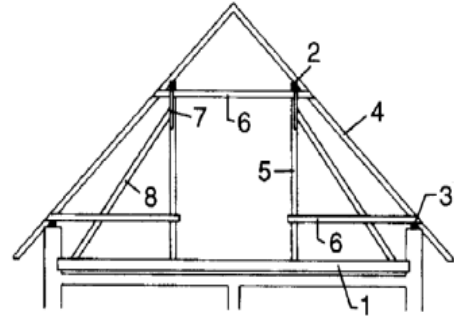
Před diagnostikou jednotlivých částí krovu, jsem určila druh konstrukce krovu. V tomto případě se jedná o atypické uspořádání jednotlivých prvků do vaznicové soustavy (stojatá stolice) viz obr. 5.8. Při určování soustavy byl největší problém s příčně uloženým hranolem (v obr. 5.8 číslo 6). Obvykle se u tohoto typu soustavy jedná o kleštinu. Kleštiny jsou dvojice prken nacházející se z každé strany krokve. V mém případě se nejedná o dvojici prken, ale o jeden hranol s kolíkem, který je uložen mezi krokve. Z toho vyplývá, že hranol je hambálek, který zajišťuje prostorovou tuhost v příčném směru. Hambálek bývá většinou uložen ve dvou třetinách výšky střechy, nebo, při větších výškách, jich je více nad sebou. V hambálkové soustavě je každá vazba plná, což v tomto případě není. V konstrukci jsou obsaženy vazné trámy, které hambálková soustava většinou nevyžaduje. Avšak mnou zkoumaný krov je vzhledem ke svému stáří historický. Do 19. století byly hambálky ve vaznicové soustavě používány. Nyní však má většina těchto krovů kleštiny. Další odlišnost od typické stojaté stolice vaznicové soustavy je absence kleštin nad pozednicemi. Jejich funkci přebírá vazný trám. Dále soustava obsahuje výměny kráčat a kráčata (prázdná vazba). Počet příčných vazeb je 15, jejich vzdálenost je různá. Pohybuje se kolem hodnoty 1800 mm a 1400 mm. Celá konstrukce je z jedlového dřeva.



Obr. 5.5: Pohled na konstrukci krovu (jižní strana). První vazba plná, následující tři vazby prázdné

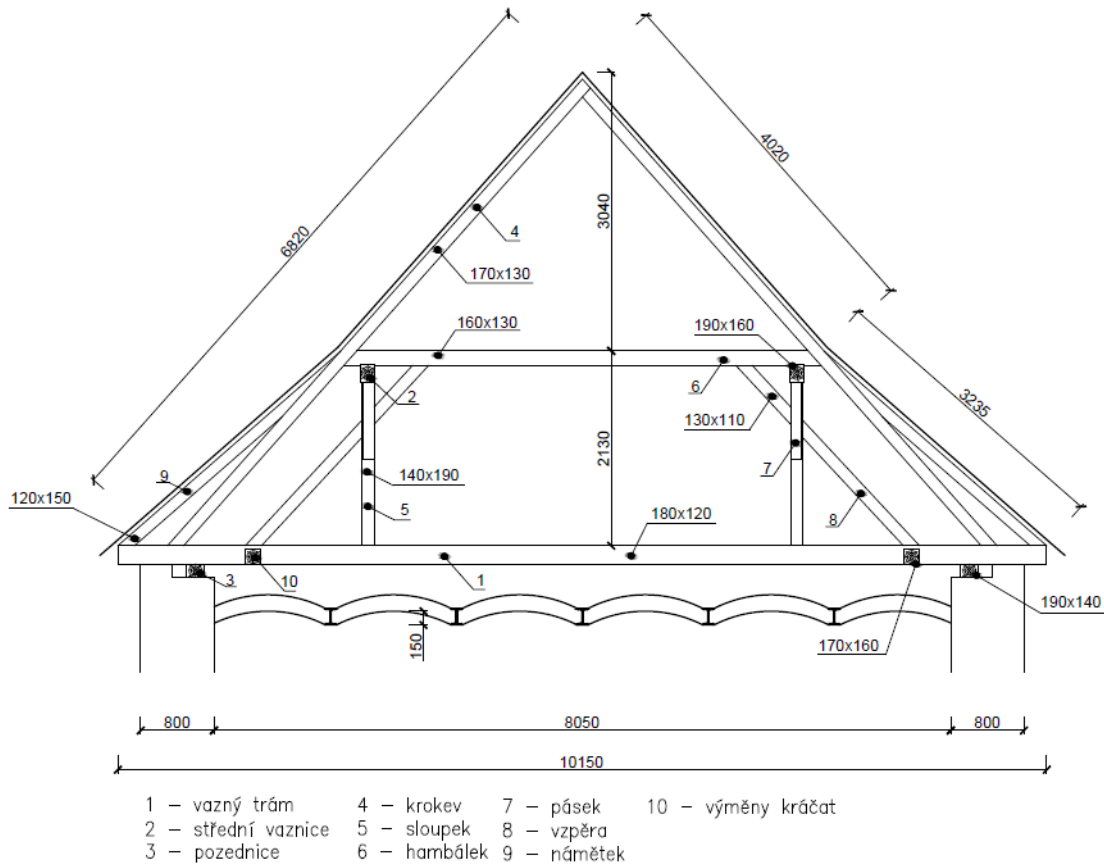


Obr. 5.6: : Pohled na konstrukci krovu (severní strana). První a třetí vazba plná, druhá vazba prázdná



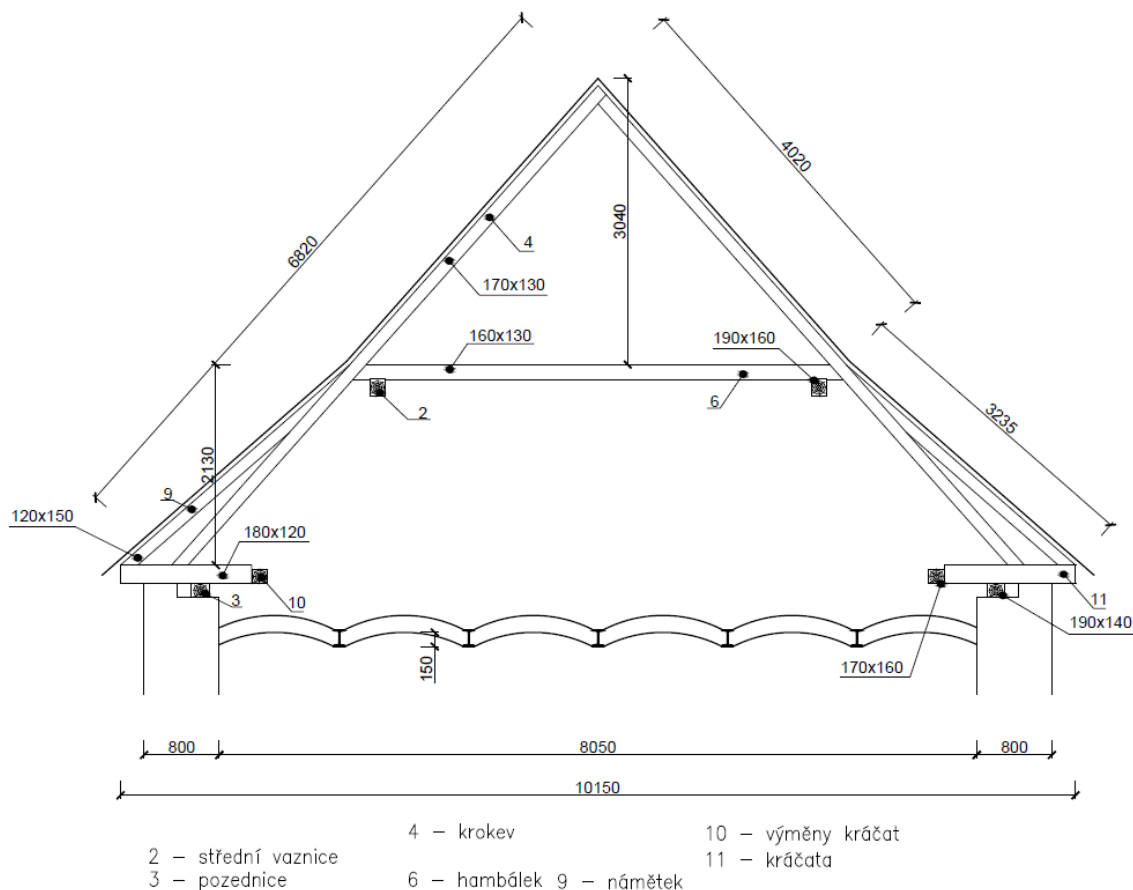
Obr. 1.30 Plná vazba stojaté stolice pro sedlovou střechu s rozponem 7 až 12 m: 1 – vazní trám, 2 – střední vaznice, 3 – pozednice, 4 – krokev, 5 – sloupek, 6 – kleština, 7 – pásek, 8 – vzpěra

Obr. 5.7: Typická plná vazba stojaté stolice [3]



Obr. 5.8: Příčná plná vazba krovu – základní rozměry a názvosloví

Prázdná vazba stojaté stolice neobsahuje vazný trám, ale pouze částečný vazný trám - kráčata (obr. 5.9 číslo 11). Dále vazba nemá sloupek, pásek a vzpěru.



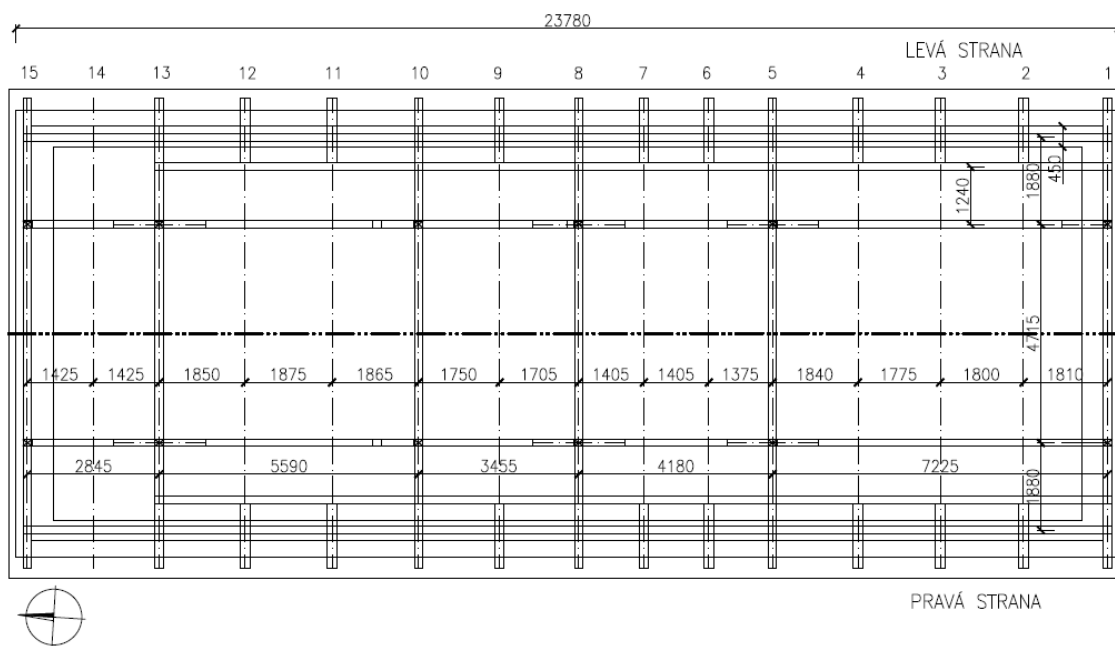
Obr. 5.9: Příčná prázdná vazba krovu – základní rozměry a názvosloví

5.3 Vizuální a sluchová metoda

Vizuální metodou bylo zejména kontrolováno, zdali je dřevo napadené hmyzem a hnilobou. Dále jsem objevila poškozené spoje a dodatečné zásahy do konstrukce. Také byla v některých místech diagnostikována zvýšená vlhkost dřeva a opotřebení následkem povětrnostních vlivů.

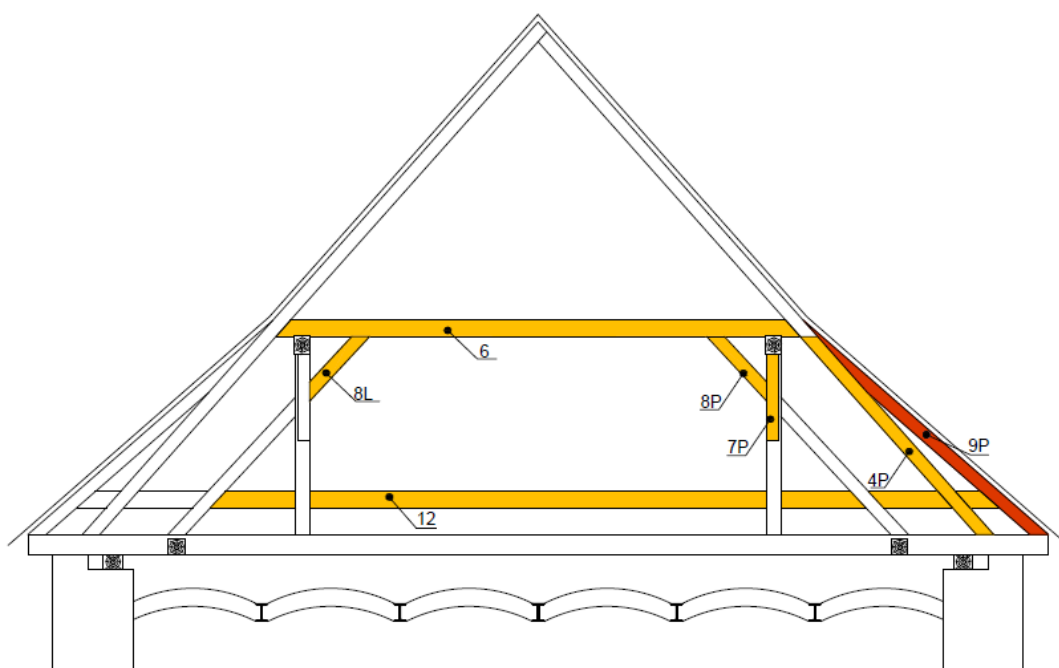
Sluchová metoda se provádí pomocí kladívka. Podle odezvy na poklep byla zjištěna přítomnost dřevokazného hmyzu a hniloby.

Obě metody byly prováděny zároveň u každého prvku konstrukce. Postupovalo se od jižní strany krovu směrem na sever. Každá příčná vazba byla rozdělena na pravou a levou část (pokud se prvky vyskytovaly v páru). Postup znázorněn na obr. 5.10. Po kontrole všech 15ti příčných vazeb následovala diagnostika podélných částí konstrukce tedy vaznic, pozednic a výměny kráčat.



Obr. 5.10: Půdorys krovu – základní rozměry a označení příčných vazeb pro postup diagnostiky

1. příčná vazba – plná



Obr. 5.11: 1. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna.

Pozn.: V 1. příčné vazbě jeden prvek navíc – číslo 12. Jedná se o hranol, který zpevňuje štít v místě podlomenice (úzká stříška na spodní straně štítu viz obr. 5.2 a 5.3).

Výpis poškozených prvků:

- 4P (pravá krokev) – napadení tesaříkem (viz obr. 5.12)
- 6 (hambálek) – napadení tesaříkem
- 7P (pravý pásek) – pootočení (viz obr. 5.13)
- 8P, 8L (pravá a levá vzpěra) – napadení červotočem
- 9P (pravý námětek) – napadení tesaříkem a červotočem
- 12 (hranol v místě podlomenice) – napadení červotočem

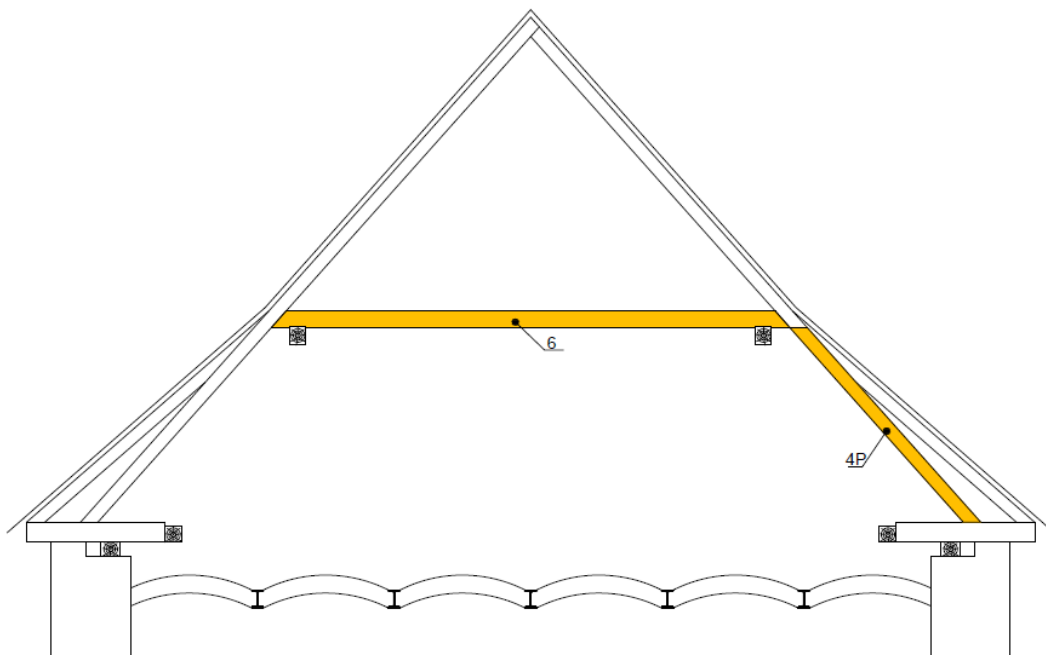


Obr. 5.12: Pravá krokev – výletové otvory od tesaříka



Obr. 5.13: Pravý pásek - pootočení

2. příčná vazba – prázdná

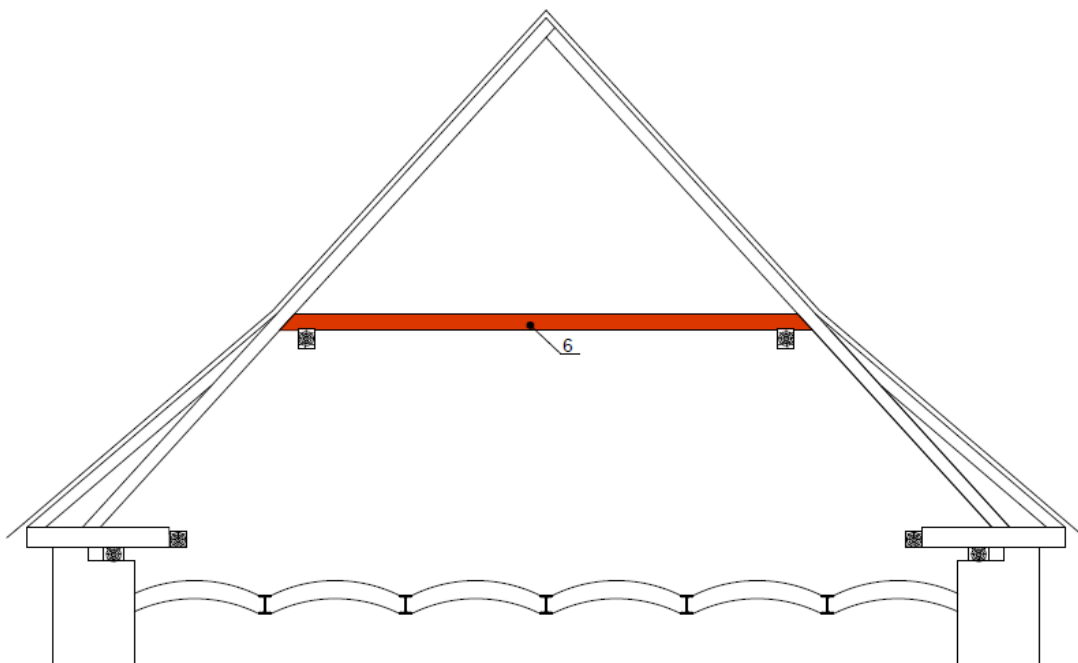


Obr. 5.14: 2. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky

Výpis poškozených prvků:

- 4P – napadení červotočem
- 6 – napadení plísní, na pravé straně chybí kolík – vysunutí

3. příčná vazba – prázdná



Obr. 5.15: 3. příčná vazba: červená barva – poškozený prvek, nutná výměna

Výpis poškozených prvků:

- 6 – jako u předešlé vazby, chyběl na pravé straně kolík (obr. 5.18). V místě hambálku zatékala do konstrukce voda (obr. 5.16). Pomocí sluchové metody a vlhkoměru bylo diagnostikováno, že prvek je nadále únosný (vlhkost 13,3 %). V místě hambálku se také rozvíjela plíseň (obr. 5.17), která se na konstrukci dostala z dřevěných desek, které oddělovaly podkroví a půdu. Desky bylo potřeba odstranit. Po jejich likvidaci a odhalení vrchní části hambálku majitel zjistil, že prvek je velmi rozsáhle poškozen hnědou hnilobou (obr. 5.19, 5.20). Následovalo odstranění celého prvku.

Obr. 5.16: Místo, kde zatékala voda.

Pozn.: Hranol, který je vidět za hambálkem, nemá významnou funkci v konstrukci krovu. Byl dodatečně přidělán (zvýšení tuhosti).





Obr. 5.17: Plíseň na hambálku (bílé skvrny)



Obr. 5.18: Chybějící kolík, vysunutí

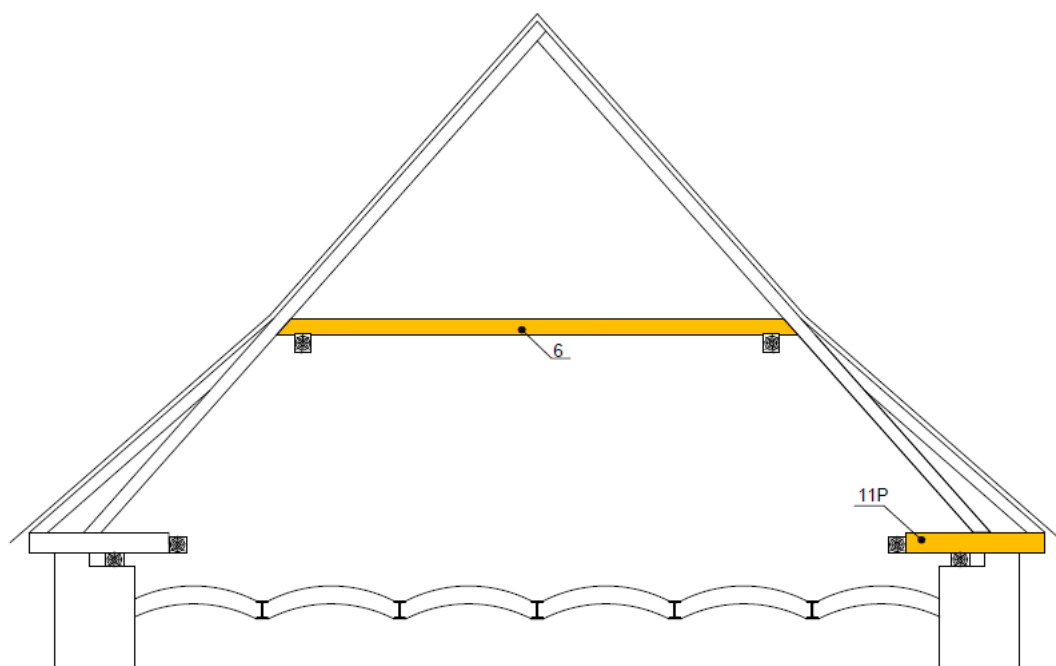


Obr. 5.19: Kostkovitý rozpad dřeva



Obr. 5.20: Kostkovitý rozpad dřeva vlivem hniloby

4. příčná vazba – prázdná



Obr. 5.21: 4. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky

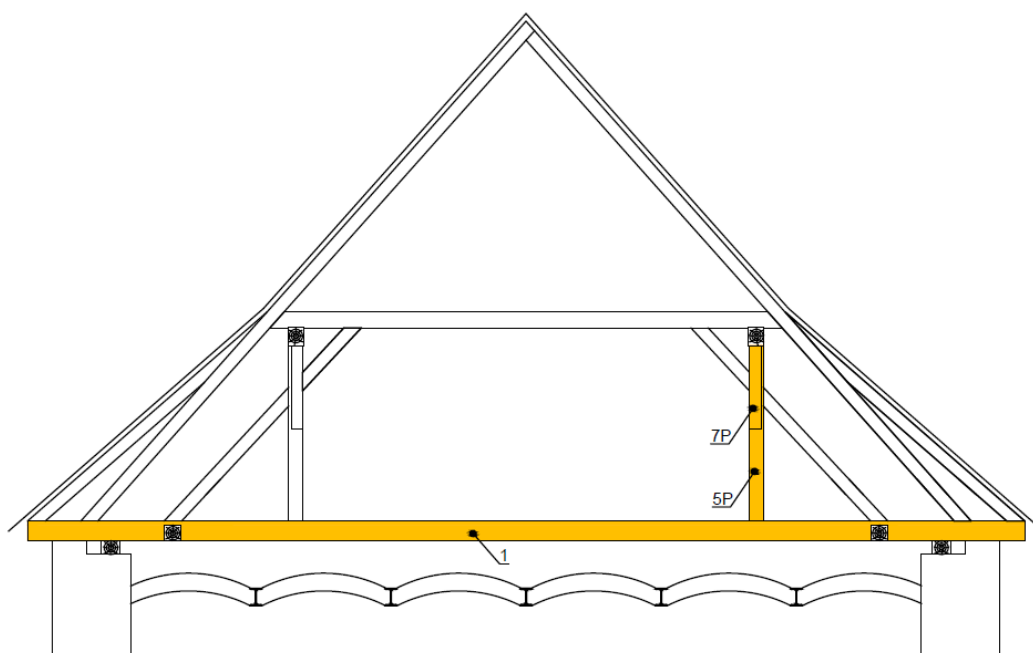
Výpis poškozených prvků:

- 6 – vysunutí hambálku na pravé straně – chybí kolík, na levé straně je kolík vysunutý (viz obr. 5.22, 5.23)
- 11P (kráče pravé) – červotoč



Obr. 5.22 a 5.23: Vysunutý kolík při pohledu směrem na sever a jih

5. příčná vazba – plná



Obr. 5.24: 5. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky

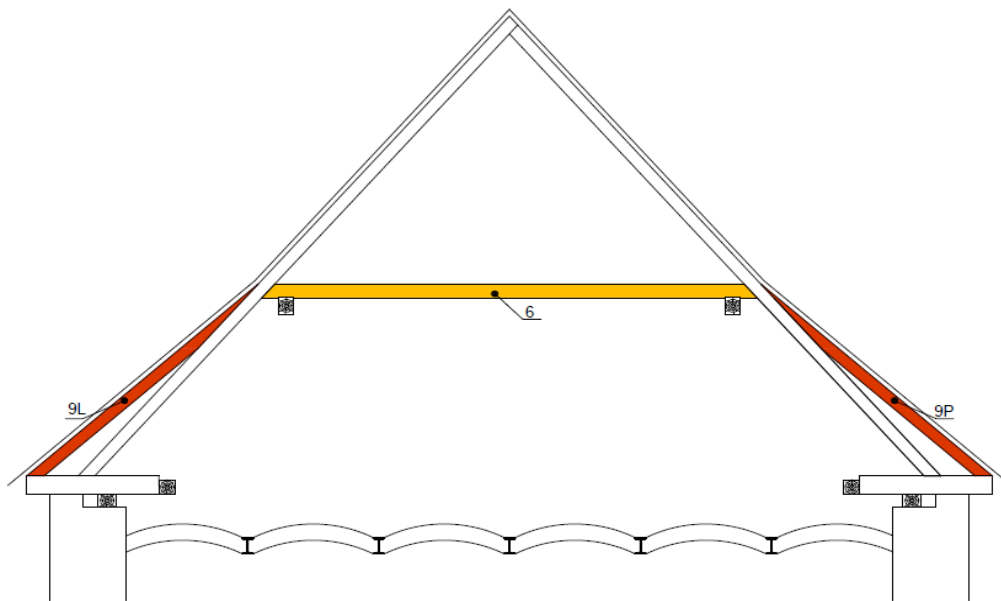
Výpis poškozených prvků:

- 1 (vazný trám) – červotoč (viz obr. 5.25)
- 5P (pravý sloupek) – červotoč
- 7P (pravé pásy) – červotoč



Obr. 5.25: Vazný trám – výletové otvory od červotoče

6. příčná vazba – prázdná

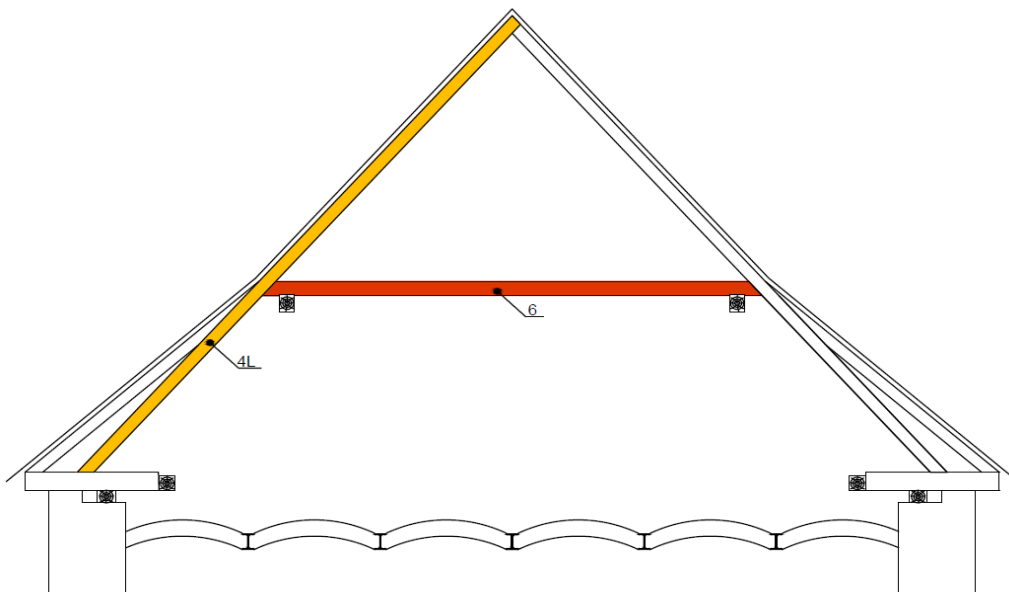


Obr. 5.26: 6. příčná vazba: žlutá barva – poškozený prvek, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna

Výpis poškozených prvků:

- 6 – tesařík
- 9P, 9L – tesařík, červotoč

7. příčná vazba – prázdná



Obr. 5.27: 7. příčná vazba: žlutá barva – poškozený prvek, červená barva – poškozený prvek, nutná výměna

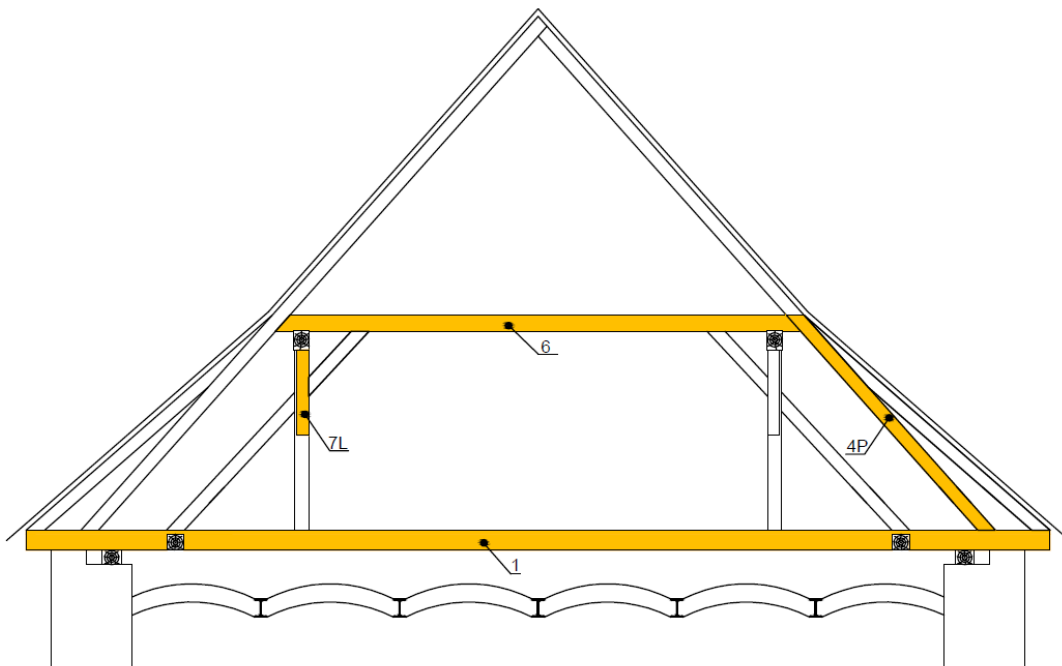
Výpis poškozených prvků:

- 4L – kroev se vysunula z kráčet. Příčinou posunutí je dostavovaná veranda, která svou tíhou namáhá část příčné vazby. Majitelé plánují její odstranění.
- 6 – plíseň (od dřevěných desek), tesařík (viz obr. 5.28)



Obr. 5.28: Hambálek napadený plísní (bílé skvrny) a tesaříkem (požerky)

8. příčná vazba – plná



Obr. 5.29: 8. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky

Výpis poškozených prvků:

- 1 – vazný trám velmi poškozen od larev červotoče (viz obr. 5.30). V této vazbě slouží prvek zároveň i jako práh do místnosti, která nebude obývána. Proto se důkladně chemicky ošetří a ponechá na místě. Jeho omezenou funkci přebere přidané táhlo.
- 4P – plíseň (Od dřevěné příčky, která odděluje místnosti. Příčka je tvořena ze stejných desek, které oddělují podkroví a půdu)
- 6 – plíseň (dřevěné desky), (viz obr. 5.31)
- 7L - červotoč

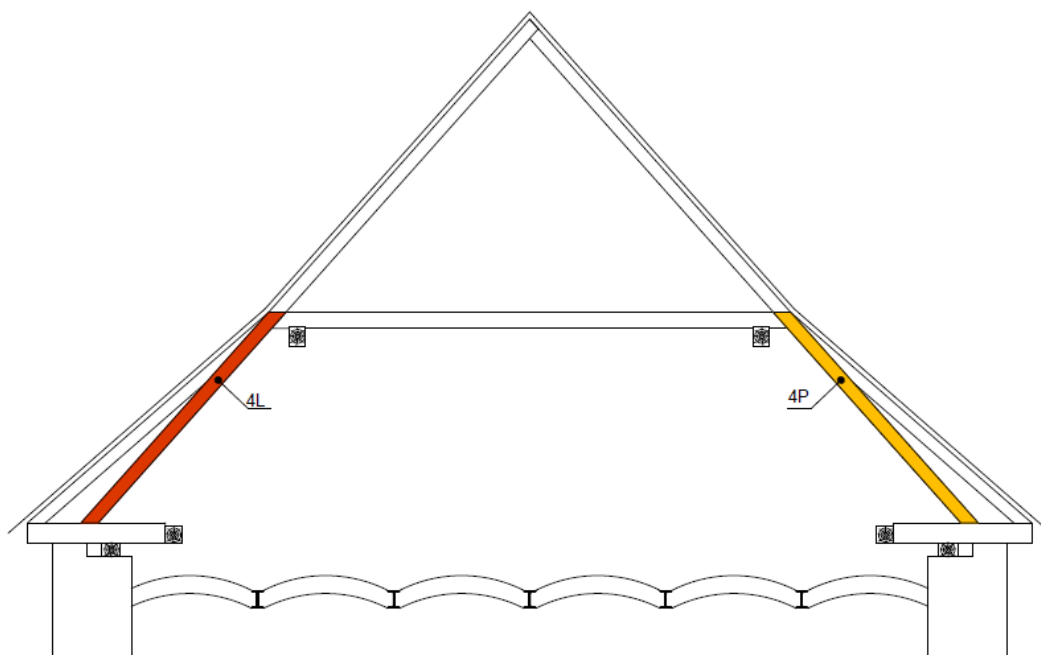


Obr. 5.30: Odkryté chodbičky a výletové otvory od červotoče ve vazném trámu



Obr. 5.31: Hambálek napaden plísní od dřevěných desek (v levé části je vidět příčka)

9. příčná vazba – prázdná



Obr. 5.32: 9. příčná vazba: žlutá barva – poškozený prvek, červená barva – poškozený prvek, nutná výměna

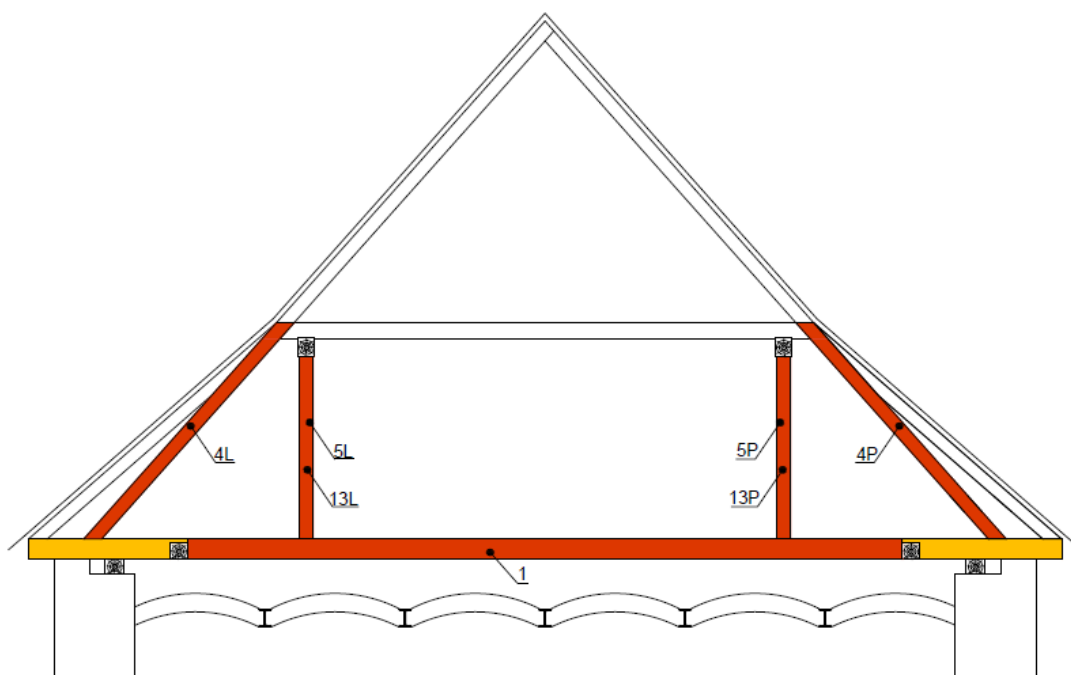
Výpis poškozených prvků:

- 4P, 4L - obě krokve napadeny červotočem, levá navíc i plíseň (viz obr. 5.33)



Obr. 5.33: Levá krokev – požerky od červotoče, plíseň

10. příčná vazba – plná



Obr. 5.34: 10. příčná vazba: žlutá barva – poškozený prvek, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna.

Pozn.: V 10. Příčné vazbě chybí vzpěry a pásky. Místo pásek jsou vloženy podpory (označeny číslem 13) mezi 10. a 11. příčnou vazbou (viz obr. 5.37).

Výpis poškozených prvků:

- 1 - vazný trám zničen červotočem (viz obr. 5.35). Mezi podélnými vaznými trámy bude odstraněn a nahrazen táhlem, sloupky budou podepřeny krátkým hranolem, zbývající části se chemicky ošetří.
- 4P, 4L - červotoč, plíseň
- 5P, 5L (sloupky) – červotoč (viz obr. 5.36)
- 13P, 13L (podpory) - červotoč



Obr. 5.35: Rozpad vazného trámu v důsledku působení červotoče

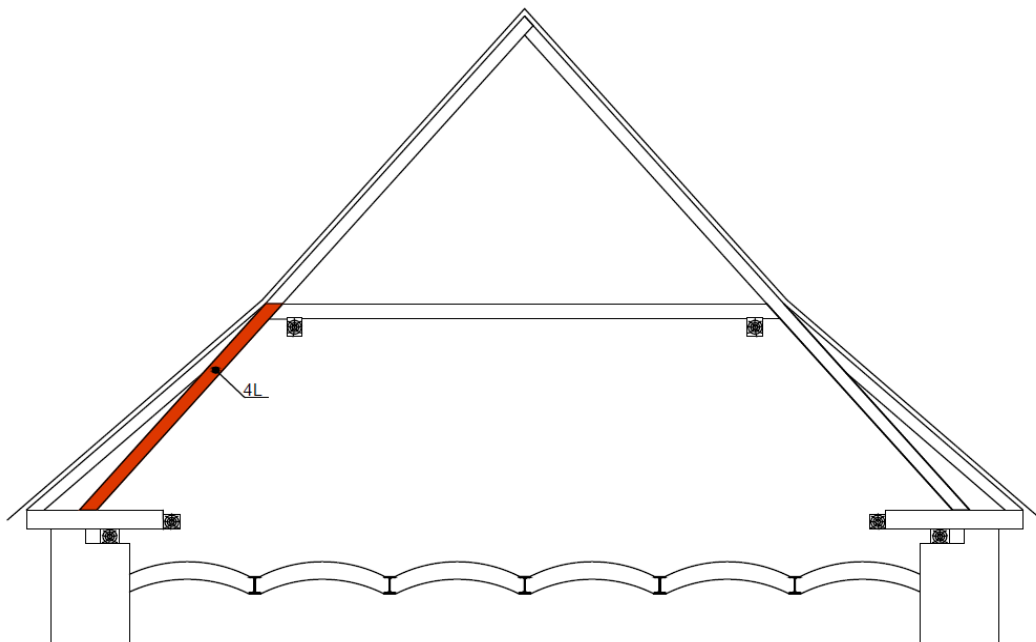


Obr. 5.36: Sloupek zničený červotočem



Obr. 5.37: Na fotografii vidíme sloupek s bývalým tesařským spojem pro upevnění pásků a přidělanou podporu

11. příčná vazba – prázdná

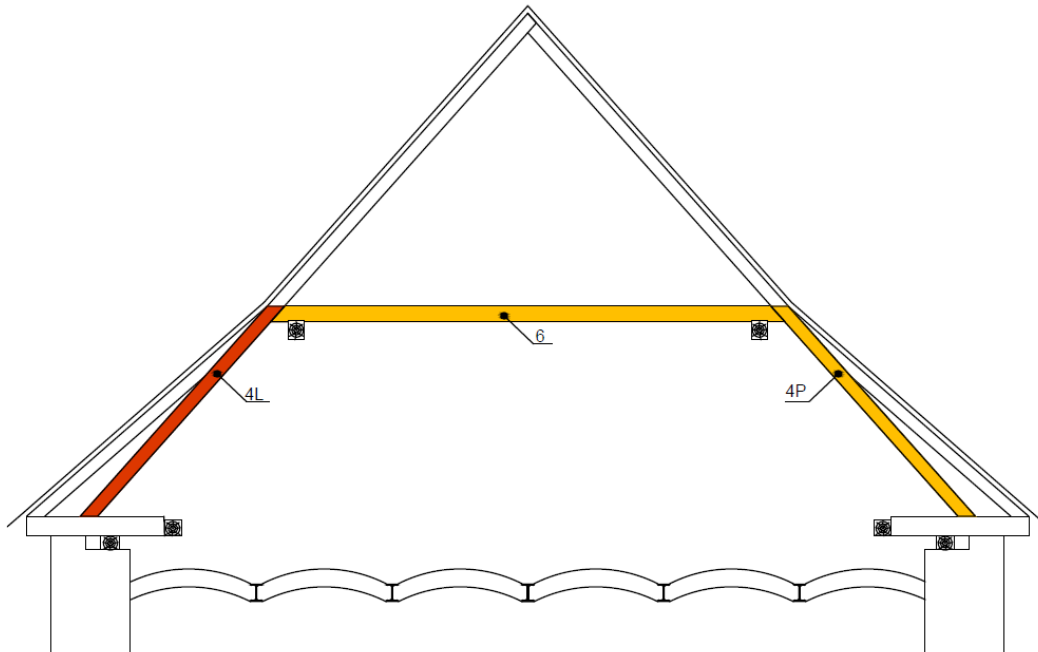


Obr. 5.38: 11. příčná vazba: červená barva – poškozený prvek, nutná výměna

Výpis poškozených prvků:

- 4L – červotoč

12. příčná vazba – prázdná

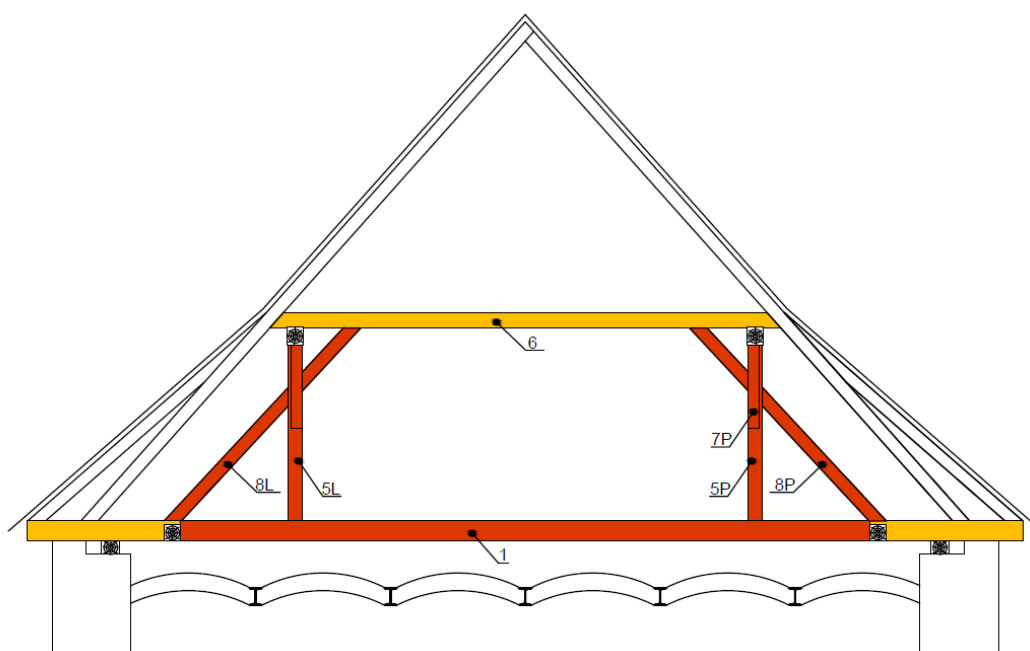


Obr. 5.39: 12. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozený prvek, nutná výměna

Výpis poškozených prvků:

- 4P – červotoč
- 4L – červotoč, plíseň
- 6 - červotoč

13. příčná vazba – plná



Obr. 5.40: 13. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna

Výpis poškozených prvků:

- 1 - vazný trám zničen červotočem. Mezi podélnými vaznými trámy bude odstraněn a nahrazen táhlem, sloupky budou podepřeny krátkým hranolem, zbývající části se chemicky ošetří.
- 5P, 5L – červotoč (viz obr. 5.41)
- 6 – červotoč
- 7P – červotoč
- 8P, 8L – červotoč

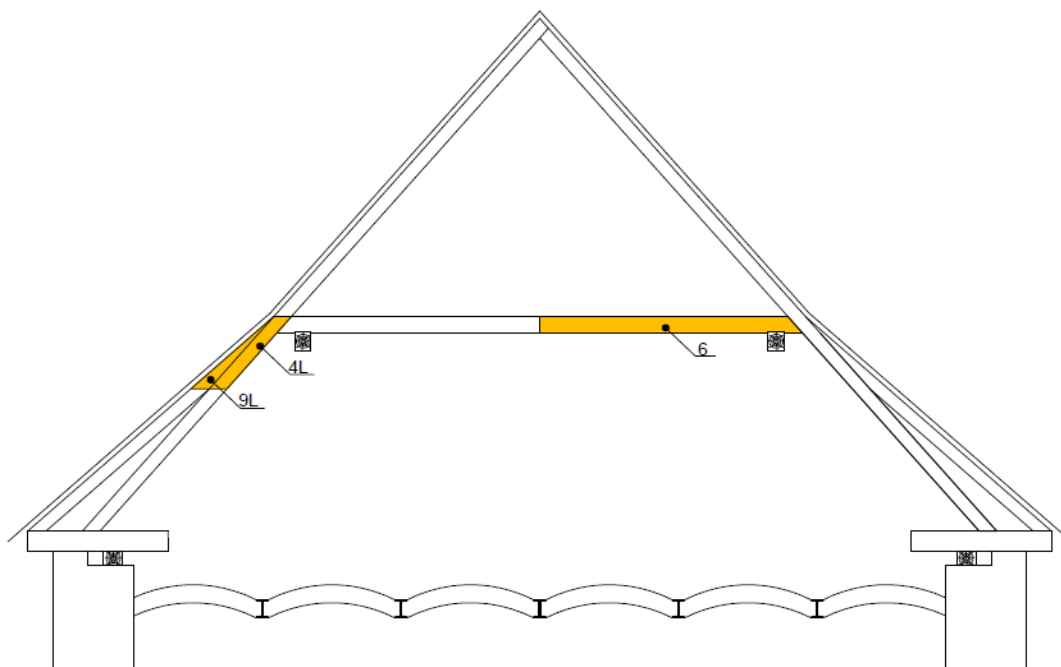


Obr. 5.41: Požerky červotoče na sloupku

Obr. 5.42: Ukázka tesařského spoje – připojení pásků na sloupek na pravé straně 13. příčné vazby. Dále vidíme vzpěru, krokev, vazný trám a ukončení výměny kráčet.



14. příčná vazba – prázdná



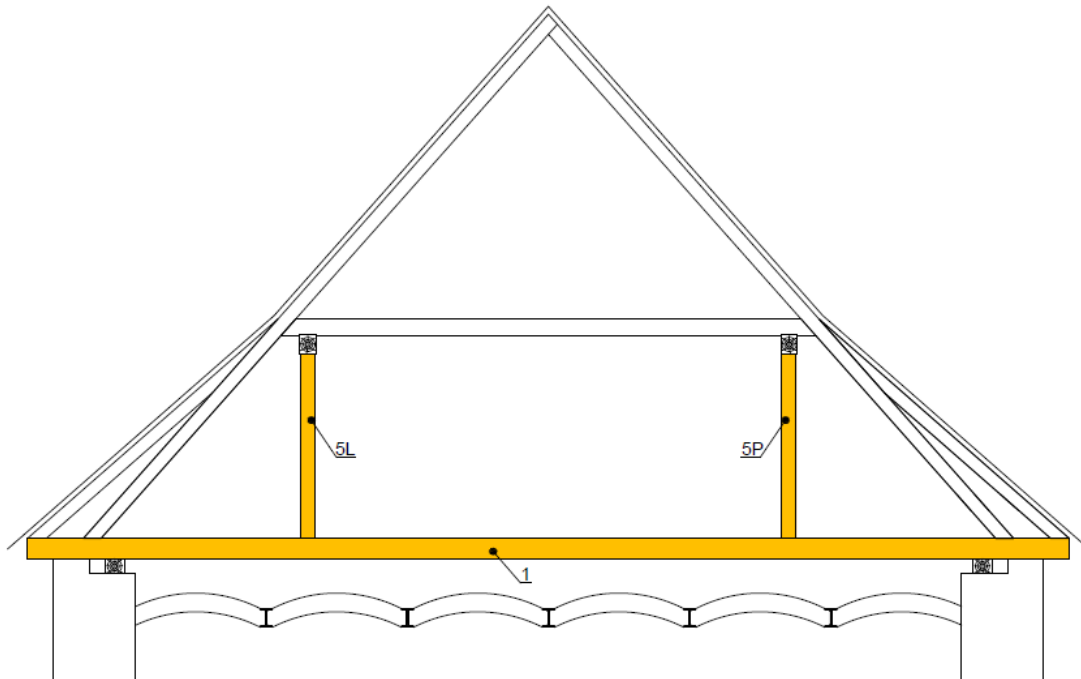
Obr. 5.43: 14. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky.

Pozn.: Vazba již neobsahuje výměny kráčet.

Výpis poškozených prvků:

- 4L, 9L – plíseň mezi krokví a námětkem
- 6 - červotoč

15. příčná vazba – plná



Obr. 5.44: 15. příčná vazba: žlutá barva – poškozené prvky.

Pozn.: Vazba již neobsahuje výměny kráčat. Chybí také vzpěry a pásy.

Výpis poškozených prvků:

- 1 – červotoč
- 5P, 5L - červotoč

Obr. 5.45:
Pohled na
poslední 4 příčné
vazby



Přehled diagnostiky příčných vazeb

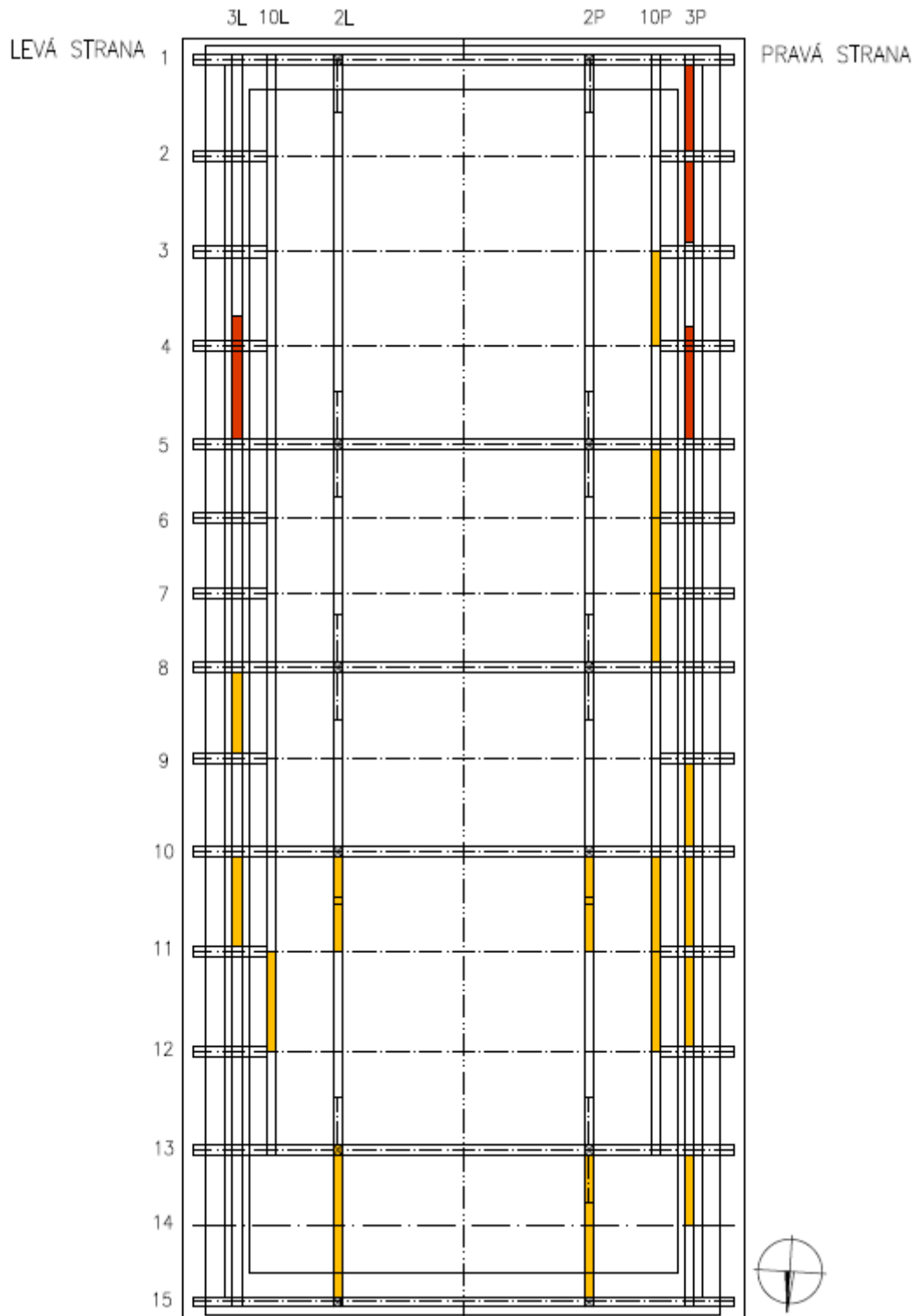
		PRVEK																
		1	4P	4L	5P	5L	6	7P	7L	8P	8L	9P	9L	11P	11L	12	13P	13L
ČÍSLO PŘÍČNÉ VAZBY	1	OK	T	OK	OK	OK	T	S	OK	Č	Č	T,Č	OK	-	-	Č	-	-
	2	-	Č	OK	-	-	P,S	-	-	-	-	OK	OK	OK	OK	-	-	-
	3	-	OK	OK	-	-	H	-	-	-	-	OK	OK	OK	OK	-	-	-
	4	-	OK	OK	-	-	S	-	-	-	-	OK	OK	Č	OK	-	-	-
	5	Č	OK	OK	Č	OK	OK	Č	OK	OK	OK	OK	OK	-	-	-	-	-
	6	-	OK	OK	-	-	T	-	-	-	-	T,Č	T,Č	OK	OK	-	-	-
	7	-	OK	S	-	-	P,T	-	-	-	-	OK	OK	OK	OK	-	-	-
	8	Č	P	OK	OK	OK	P	OK	Č	OK	OK	OK	OK	-	-	-	-	-
	9	-	Č	Č,P	-	-	OK	-	-	-	-	OK	OK	OK	OK	-	-	-
	10	Č	Č,P	Č,P	Č	Č	OK	-	-	-	-	OK	OK	-	-	-	Č	Č
	11	-	OK	Č	-	-	OK	-	-	-	-	OK	OK	OK	OK	-	-	-
	12	-	Č	Č,P	-	-	Č	-	-	-	-	OK	OK	OK	OK	-	-	-
	13	Č	OK	OK	Č	Č	Č	Č	OK	Č	Č	OK	OK	-	-	-	-	-
	14	-	OK	P	-	-	Č	-	-	-	-	OK	P	OK	OK	-	-	-
	15	Č	OK	OK	Č	Č	OK	-	-	-	-	OK	OK	-	-	-	-	-

Tab. 5.1: Přehled diagnostiky příčných vazeb, žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna

Použité zkratky:

- 1 = vazný trám
- 4P = pravá krokev
- 4L = levá krokev
- 5P = pravý sloupek
- 5L = levý sloupek
- 6 = hambálek
- 7P = pravé pásy
- 7L = levé pásy
- 8P = pravá vzpěra
- 8L = levá vzpěra
- 9P = pravý námětek
- 9L = levý námětek
- 11P = pravé kráče
- 11L = levé kráče
- 12 = hranol v podlomenici
- 13P = pravá podpora
- 13L = levá podpora
- T = tesařík
- S = špatný spoj
- Č = červotoč
- P = plíseň
- H = hniloba
- OK = zdravé dřevo

Diagnostika podélných prvků



Obr. 5.46: Půdorys krovu: žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna

Výpis poškozených prvků:

1. Střední vaznice

- 2P – mezi příčnými vazbami 10 a 11 plíseň, 13 a 15 červotoč
- 2L – mezi příčnými vazbami 10 a 11 trochu nahnílé + červotoč, 13 a 14 shnilé v podélné trhlině + červotoč (viz obr. 5.47), 14 a 15 červotoč



Obr. 5.47: Vaznice napadená červotočem a shnilá v podélné trhlině

2. Výměny kráčet

- 10P – mezi příčnými vazbami 3 a 4, 5 a 8, 10 a 12 – červotoč
- 10L – mezi příčnými vazbami 11 a 12 - červotoč

3. Pozednice

- 3P – mezi příčnými vazbami 1 a 5 – destrukce povětrnostními vlivy (viz obr. 5.48), 9 a 10 – červotoč, 10 a 12 – plíseň, 13 a 14 – plíseň
- 3L – mezi příčnými vazbami 3 a 5 – destrukce povětrnostními vlivy, 8 a 9 – červotoč, 10 a 11 - plíseň



Obr. 5.48: Zničená pozednice povětrnostními vlivy na pravé straně krovu mezi příčnými vazbami 2 a 3. Na fotografii také vidíme výměnu krácat, kráče, krokev a námětek.

Přehled diagnostiky podélných prvků

		PRVEK					
		2P	2L	3P	3L	10P	10L
VAZBA	1 až 2	OK	OK	D	OK	OK	OK
	2 až 3	OK	OK	D	OK	OK	OK
	3 až 4	OK	OK	D	D	Č	OK
	4 až 5	OK	OK	D	D	OK	OK
	5 až 6	OK	OK	OK	OK	Č	OK
	6 až 7	OK	OK	OK	OK	Č	OK
	7 až 8	OK	OK	OK	OK	Č	OK
	8 až 9	OK	OK	OK	Č	OK	OK
	9 až 10	OK	OK	Č	OK	OK	OK
	10 až 11	P	Č,H	P	P	Č	OK
	11 až 12	OK	OK	P	OK	Č	Č
	12 až 13	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	13 až 14	Č	Č,H	P	OK	-	-
	14 až 15	Č	Č	OK	OK	-	-

Tab. 5.2: Přehled diagnostiky podélných prvků, žlutá barva – poškozené prvky, červená barva – poškozené prvky, nutná výměna

Použité zkratky:

- 2P = pravá střední vaznice
- 2L = levá střední vaznice
- 3P = pravá pozednice
- 3L = levá pozednice
- 10P = pravá výměna kráčet
- 10L = levá výměna kráčet
- Č = červotoč
- P = plíseň
- H = hniloba
- D = destrukce povětrnostními vlivy
- OK = zdravé dřevo

5.4 Měření vlhkosti

Vlhkost dřeva byla měřena přístrojem Hygrotest 6500 na vybraných částech konstrukce.

1. příčná vazba: 1 (vazný trám) uprostřed 16,4 %, 1 na pravém kraji 14 %
3. příčná vazba: 6 (hambálek) v místě, kde zatékala voda 13,3 % (viz obr. 5.49)
4. příčná vazba: 6 uprostřed 13,0 %
5. příčná vazba: 1 na levém kraji 15,7 %, 1 uprostřed 13,0 %, 1 na pravém kraji 18,1 %
8. příčná vazba: 1 uprostřed 16,2 %
10. příčná vazba: 1 uprostřed 15,4 %
13. příčná vazba: 1 uprostřed 10,0 %
15. příčná vazba: 1 uprostřed 16,5 %, 6 uprostřed 16,5 %



Obr. 5.49: Měření vlhkosti hambálku 3. příčné vazby v místě, kde zatékala voda. Naměřená vlhkost 13,3 % - dřevo je již vysušené.

Vlhkost dřeva v konstrukcích se pohybuje v rozmezí 15 – 20 %. Naměřené hodnoty jsou všechny pod 20 %, některé i pod 15 %. Nízká vlhkost dřeva vyplývá ze značného stáří konstrukce.

5.5 Měření vzdálenosti

Pomocí laserového dálkoměru byla ve vybraných příčných vazbách měřena vzdálenost mezi vnitřními hranami pozednic.

1. příčná vazba: 8,80 m
3. příčná vazba: 8,86 m
5. příčná vazba: 8,79 m
8. příčná vazba: 8,20 m
10. příčná vazba: 8,33 m
13. příčná vazba: 8,29 m

Rozdílné vzdálenosti jsou důsledkem dodatečných zásahů do konstrukce. V některých místech je pozednice obnovována jinými profily hranolů. Dalším důvodem je statické působení konstrukce. Pozednice uhýbá pod tíhou ostatních prvků. Ve svých orientačních výkresech jsem pro zjednodušení použila vzdálenost 8,30 m.

5.6 Radiografie

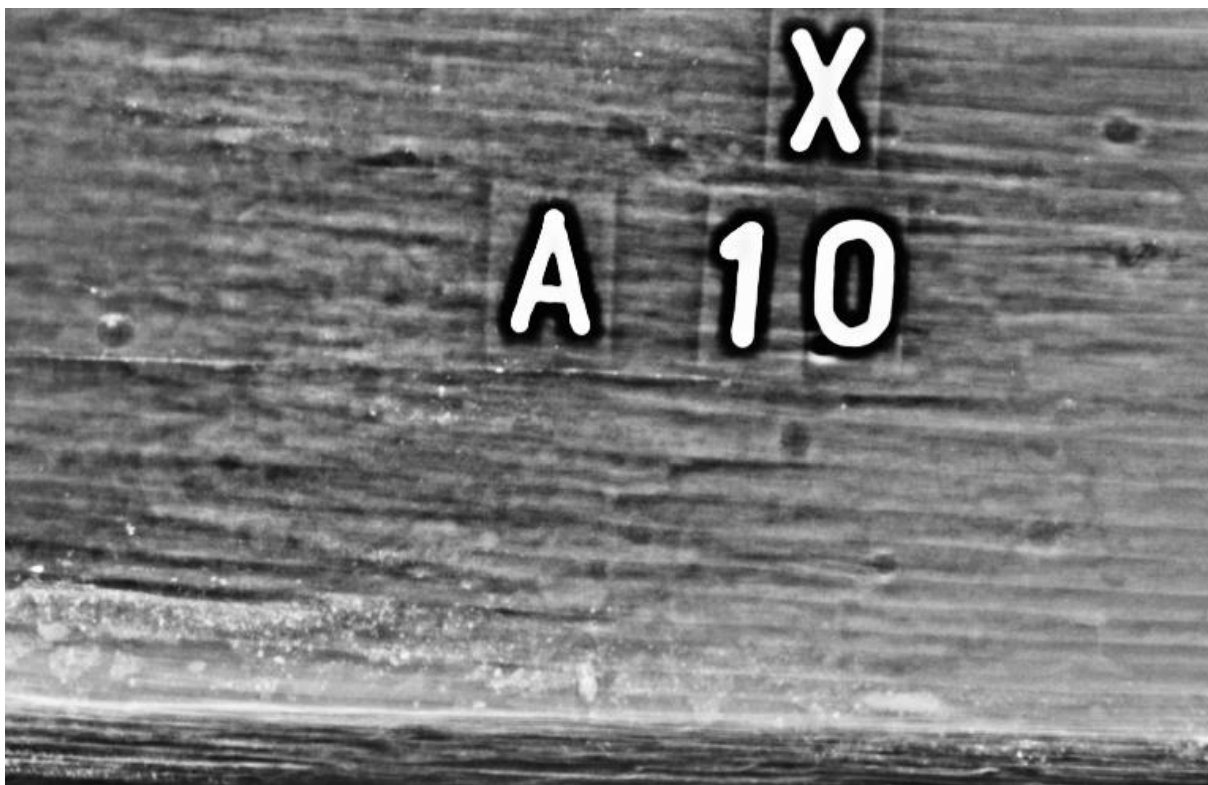
Na fragmentech hambálek byla možnost zkoumat jejich strukturu v celém profilu pomocí radiografie s užitím nejmodernějšího rentgenu EcoRay HF1040 a bezdrátového zobrazovacího panelu Aero DR. Celá sestava je v současnosti v rámci České republiky pro prozařování dřevěných konstrukcí unikátní a probíhá její testování. Souprava má výhodu ve velké mobilitě a relativní bezpečnosti, kdy rentgenový přístroj umožňuje prozařování s pobytem osob ve vzdálenosti řádově jednotek metrů od místa prozařování.

Výpis zkoumaných hambálek:

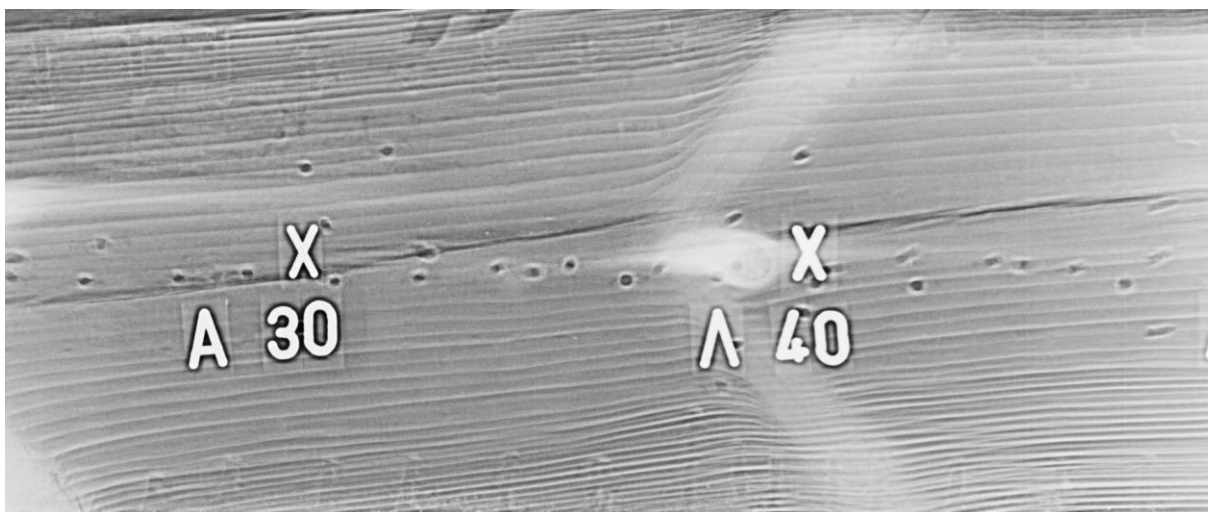
- Hambálek v 3. příčné vazbě (viz obr. 5.50, 5.51 a 5.52)



Obr. 5.50: Radiogram fragmentu hambálku. Lze rozeznat markantní rozdíl ve struktuře materiálu v levé části radiogramu s masivní hnilobou, naproti tomu v pravé části radiogramu je možno pozorovat zdravou strukturu dřeva. Radiogram vytvořen rentgenem EcoRay HF1040 s užitím bezdrátového zobrazovacího panelu Aero DR.

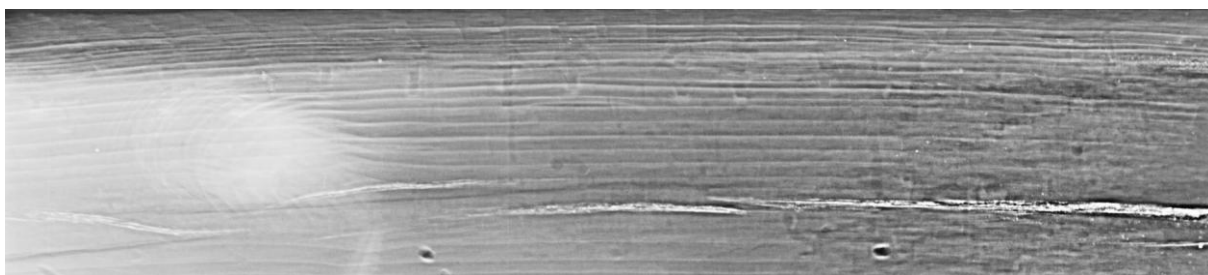


Obr. 5.51: Detail předchozího snímku. Oblast s masivní hnilobou a výskytem požerků červotoče. Radiogram vytvořen rentgenem EcoRay HF1040 s užitím bezdrátového zobrazovacího panelu Aero DR.

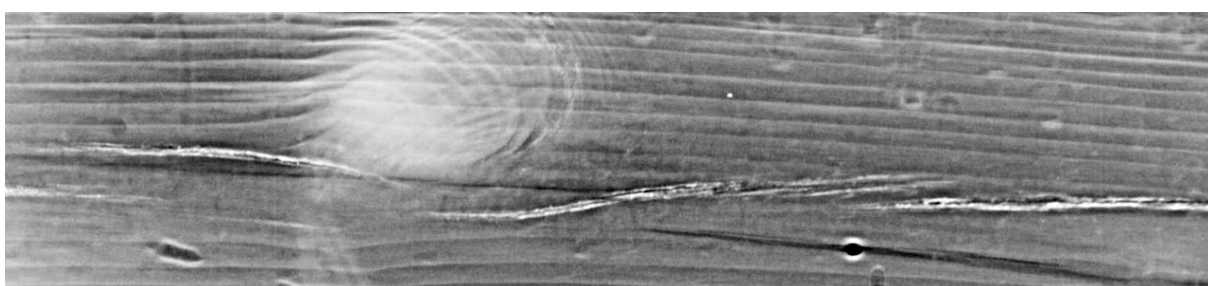


Obr. 5.52: Radiogram fragmentu hambálku s patrnou zdravou strukturou dřeva, viditelnou sesychací prasklinou a místy suků. Rovněž je vidět, že na vzorku byly prováděny zkoušky přístrojem Pilodyn. Radiogram vytvořen rentgenem EcoRay HF1040 s užitím bezdrátového zobrazovacího panelu Aero DR.

- Hambálek v 7. příčné vazbě (viz obr. 5.53 a 5.54)



Obr. 5.53: Radiogram fragmentu hambálku. V pravé polovině snímku poškození hnilobou, patrný rovněž smolník (liniová prasklina vyplněná pryskyřicí). Radiogram vytvořen rentgenem EcoRay HF1040 s užitím bezdrátového zobrazovacího panelu Aero DR.



Obr. 5.54: Radiogram fragmentu hambálku s patrným smolníkem a výletovými otvory od tesaříka. Radiogram vytvořen rentgenem EcoRay HF1040 s užitím bezdrátového zobrazovacího panelu Aero DR.

Jak je z obrázků patrné, radiografií se ověřila přítomnost hniloby a dřevokazného hmyzu ve dřevě. Výsledky se shodují s předešlými metodami. Při průzkumu dřevěných konstrukcí by bylo ideální provádět radiografii ve vybraných místech a využívat tuto metodu jako standardní tam, kde je podezření na hloubkové dosahy hniloby a působení dřevokazného hmyzu.

Použitá zařízení:



Obr. 5.55: Rentgen EcoRay HF1040. Přístroj původně určený pro veterinární lékařství, ale svou mobilitou a výkonem ideální pro terénní prozařování dřevěných konstrukcí.



Obr. 5.56: Bezdrátový zobrazovací panel Aero DR (v pozadí)



Obr. 5.57: Prozařování fragmentu hambálku rentgenem EcoRay HF1040 s užitím bezdrátového zobrazovacího panelu Aero DR.

Jiná zařízení:



Obr. 5.58: Starší rentgen Andrex CP160. Přístroj je hmotný a rozměrný, pro prozařování v terénu sice použitelný, ale s řadou omezení.



Obr. 5.59. Externí rentgenka rentgenu Andrex CP160

5.7 Návrh sanačních opatření

Před započítím sanace bude nutné zlikvidovat všechny dřevěné příčky, které oddělují místnosti a desky, které oddělují podkroví a půdu. Desky a příčky jsou napadeny plísní, která se přenáší na krov. Dále je třeba mechanicky očistit všechny dřevěné konstrukční prvky od zbytků biotického napadení. Červeně vyznačené prvky je třeba odstranit a nahradit novými, které budou plnit požadovanou funkci. Před osazením těchto částí je třeba v některých místech vyčistit a dozdit korunu obvodového zdiva. Materiálem na konstrukční sanaci by měla být dřevina původně používaná, tzn. jedle (popřípadě smrk). Nově vestavěné prvky je třeba preventivně chemicky ošetřit máčením. V místech, kde se odstraňuje vazný trám, se použije ocelové táhlo o průměru 10 mm. Narušení estetického vzhledu není problém, jelikož se jedná o neobývanou část podkroví. Dále bude třeba sesadit rozvolněné spoje konstrukce (hambálek na krokev) a vrátit do původní polohy. Součástí návrhu konstrukční sanace krovu bude i odstranění a předělání nefunkčních popř. částečně dodělávaných prvků. Konstrukce se chemicky ošetří vhodným chemickým přípravkem. Nejvhodnější způsob aplikace bude pomocí postřiku a nátěru, uskutečněného v jarním období. Látku bude nutné nanést na všechny plochy konstrukčních prvků, aby se zamezilo opětovnému napadení biotickými škůdci. Pro zvýšení účinnosti ochranné látky je vhodné postřik nebo nátěr 2x opakovat, vždy po zaschnutí předchozího nátěru. Dále je potřeba zajistit větrání konstrukce, aby vlhkost vzduchu nepřesáhla 60 % (nad 60 % dochází k vývoji červotoče a rozvíjí se plíseň).

6 Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo provést celkový průzkum, zhodnocení stavu a návrh sanačních opatření dřevěné střešní konstrukce rekonstruovaného rodinného domu v obci Lomnice (okres Bruntál). Rozbor krovu byl proveden podle metodiky uvedené v české technické normě ČSN ISO 13822.

Krov řadíme do vaznicové soustavy (stojatá stolice). Největší odlišností od typické vaznicové soustavy je hambálek, který zde zastupuje kleštiny. Krov se rozkládá nad obdélníkovým půdorysem o plošném rozměru 241,367 m². Počet příčných vazeb soustavy je 15. Zkoumanými prvky v příčné vazbě jsou: vazný trám, kráčata, hambálek, krokve, námětky, sloupky, vzpěry, pásy, podpory a hranol zpevňující štít v podlomenici. Z podélných prvků soustava obsahuje středové vaznice, pozednice a výměny kráčat.

Průzkum konstrukce byl konán pomocí vizuální a sluchové metody. Z přístrojů byl použit Hygrotest 6500 na měření vlhkosti a laserový dálkoměr na měření vzdálenosti. Diagnostika pomocí těchto metod a zařízení byla prováděna in situ. Výsledky zkoušek byly porovnány s výstupy z radiografie, která byla prováděna v laboratoři. Radiogramy byly vytvořeny rentgenem EcoRay HF1040 s užitím bezdrátového zobrazovacího panelu Aero DR.

Postup průzkumu probíhal nejprve po jednotlivých příčných vazbách směrem od jihu k severu. Poškození prvků bylo zejména od napadení červotočem, tesaříkem a plísní. V prvních čtyřech vazbách byl také vysunutý kolík, kterým se upevňuje hambálek na krokvě. Nedokonalý spoj způsobil posunutí konstrukce, a tím pádem byla v některých místech více namáhána. Prvky napadené plísní a hmyzem nebo dvěma druhy hmyzu zároveň se musely odstranit. Vyměněny byly také prvky, které vykazovaly rozsáhlé poškození od napadení červotočem. Dále se postupovalo diagnostikou podélných prvků. Odstraněny byly pouze části pozednice na obou stranách mezi prvními pěti vazbami. Pozednice zde byla zničena povětrnostními vlivy, jelikož obvodové zdivo kolem nebylo dokonalé. Ostatní podélné prvky vykazovaly podobné nedostatky jako prvky zkoumané v příčných vazbách. Dále byla prováděna radiografie na dvou zničených hambálcích. Výsledky měření byly téměř shodné s diagnostikou in situ.

Sanační návrhy dřevěné konstrukce jsou navrženy tak, aby prvky po ošetření byly co nejdéle schopny odolávat jakémukoli napadení.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] POŽGAJ A. a kolektiv. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd. Bratislava, Príroda, a.s., 1997. 488 s. ISBN 80-07-00960-4.
- [2] NUTSCH, Wolfgang a kolektiv. *Průručka pro truhláře*. Upravený dotisk podle 18. německého vydání. Praha, Sobotáles, 2002. 540 s. ISBN 80-85920-60-3.
- [3] REINPRECHT L.; ŠTEFKO J. *Dřevěné stropy a krovy; Typy, poruchy, průzkumy a rekonstrukce*. 1. vyd. Praha; ARCH, 2000. 243 s. ISBN 80-86165-29-9.
- [4] ŠLEZINGEROVÁ J.; GANDELOVÁ L. *Stavba dřeva*. 1. vyd. Brno, MENDELU v Brně 2002. 187 s.
- [5] ADÁMEK J. a kolektiv, *Stavební látky; Modul BI-M04; keramika, dřevo, kovy a sklo*. Brno, CERM, 2004. 72 s.
- [6] HORÁČEK, Petr. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. Dotisk. Brno, MENDELU v Brně, 2001. 128 s. ISBN 80-7157-636-0.
- [7] GANDELOVÁ L.; HORÁČEK P.; ŠLEZINGEROVÁ J. *Nauka o dřevě*. Brno, MENDELU v Brně, 1998. 180 s.
- [8] HOLAN, Jiří. *Ochrana dřeva*. Brno, učební text MENDELU v Brně. 92 s.
- [9] KUKLÍK, Petr. Prohlubovací kurs v oboru dřevostaveb. *Dřevo jako stavební materiál*. proLignum. 19 s.
- [10] HEŘMÁNKOVÁ, Věra. *AI01 Stavební látky a geologie; Dřevo, dřevěné výrobky a konstrukce*. Brno, výuková prezentace VUT v Brně, 2012.
- [11] HEŘMÁNKOVÁ V.; KLOIBER M.; TIPPNER J., ANTON O. *Diagnostické metody pro hodnocení konstrukčního dřeva*. Brno, příspěvek do konference zkoušení a jakost ve stavebnictví, 2011.
- [12] Kasal, B., Drdácký, M. Jirovsky. I.: *Semi-destructive methods for evaluation of timber structures*. Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture VIII. C.A. Brebia, Editor. Advances in Architecture. WIT Press. Southampton, 2003, pp. 835–842.
- [13] KLOIBER, Michal. *Nedestruktivní zjišťování vlastností dřeva*. Brno, 2007. 208 s. Dizertační práce na Lesnické a dřevařské fakultě MENDELU na Ústavu nauky o dřevě. Vedoucí dizertační práce Doc. Dr. Ing. Petru Horáček.
- [14] KŘIVÁNKOVÁ, Soňa. *Diagnostické metody pro ověřování míry poškození a materiálových charakteristik dřevěných prvků*. Brno, 2011. 69 s., 14 s. příl. Bakalářská

práce na Stavební fakultě VUT na Ústavu stavebního zkušebnictví. Vedoucí bakalářské práce Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.

[15] ČSN ISO 13822. *Česká technická norma; Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha, Český normalizační institut, srpen 2005. 72 s.

[16] ČSN EN 384. *Česká technická norma; Konstrukční dřevo – Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty*. Praha, Český normalizační institut, říjen 2010. 20 s.

[17] ČSN EN 338. *Česká technická norma; Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti*. Praha, Český normalizační institut, květen 2010. 12 s.

[18] Kmen (botanika) – Wikipedie. *Kmen (botanika)* [online]. 2007, 12. 3. 2013 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Kmen_\(botanika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kmen_(botanika))>.

[19] WERTHANOVÁ, Marie. *Atlas dřeva: Dřevo: Stavba kmene* [online]. 2010 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z:

<http://www.atlasdreva.hu.cz/makro_exoticke/teorie_stavba_kmene.html>.

[20] *BioLib – Obrázek – Serpula lacrymans (dřevomorka domácí)* [online]. 2006 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <<http://www.biolib.cz/cz/image/id18135/>>.

[21] *BioLib – Obrázek – Gloeophyllum sepiarium (trámovka plotní)* [online]. 2005 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <<http://www.biolib.cz/cz/image/id14471/>>.

[22] *BioLib – Obrázek – Hylotrupes bajulus (tesářík krovový)* [online]. 2010 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <<http://www.biolib.cz/cz/image/id111982/>>.

[23] *BioLib – Obrázek – Hylotrupes bajulus (tesářík krovový)* [online]. 2010 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <<http://www.biolib.cz/cz/image/id111983/>>.

[24] *BioLib – Obrázek – Hylotrupes bajulus (tesářík krovový)* [online]. 2010 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <<http://www.biolib.cz/cz/image/id125472/>>.

[25] *Červotoč umrlčí / Škůdci* [online]. 2010 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <<http://www.skudci.com/cervotoc-umrlci>>.