

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD  
KATEDRA MECHANIKY – ODDĚLENÍ STAVITELSTVÍ

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**APLIKACE DŘEVA V MODERNÍM STAVITELSVÍ**

Vypracoval:

Bc. Tomáš Štemberk

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jan Pašek, Ph.D.

**Plzeň, 2018**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš ŠTEMBERK**

Osobní číslo: **A17N0114P**

Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**

Studijní obor: **Stavatelství**

Název tématu: **Aplikace dřeva v moderním stavitelství**

Zadávací katedra: **Katedra mechaniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše podkladů.
2. Analýza použití dřeva a materiálů na bázi dřeva v moderním stavitelství.
3. Analýza variant dřevěných konstrukcí.
4. Aplikace dřeva v rizikových podmínkách.
5. Ochrana dřeva před degradací.
6. Zhodnocení z hlediska ekonomického, konstrukčního a materiálového řešení.



Rozsah grafických prací: práce skládající se z výkresů a textových částí  
Rozsah kvalifikační práce: úvodní část 50 - 60 stran A4  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná


Seznam odborné literatury:

1. Soubor zákonů, norem a vyhlášek v oblasti výstavby.
2. GANDELOVÁ, Libuše, Petr HORÁČEK a Jarmila ŠLEZINGEROVÁ. Nauka o dřevě. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1996.
3. HORÁČEK, Petr. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. 2., přeprac. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-169-2.
4. JELÍNEK, Lubomír, Petr ČERVENÝ a František ŘÁHA. Nové krovy. Praha: pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2017. ISBN 978-80-87438-94-7.
5. OSVALD, Anton, Ladislav REINPRECHT a Jozef ŠTEFKO. Moderní dřevostavby + nízkoenergetické domy: vše o bydlení. Bratislava: JAGA Group, 2014.
6. ZAHRADNÍČEK, Václav a Pavel HORÁK. Moderní dřevostavby. Vyd. 2., aktualiz. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3568-6.


Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Jan Pašek, Ph.D.  
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: 2. července 2018

Termín odevzdání diplomové práce: 4. ledna 2019

  
Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová  
děkanka



  
Doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 2. července 2018

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „APLIKACE DŘEVA V MODERNÍM STAVITELSTVÍ“ zpracoval samostatně, pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce a za použití odborné literatury, kterou uvádím v seznamu použité literatury, jež je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne .....

.....

Bc. Tomáš Štemberk



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Janu Paškovi, Ph.D. za užitečné rady, vstřícnost a čas, který mi věnoval při konzultacích.

Mé poděkování patří také Ing. Janu Krystkovi, prof. Ing. Václavovi Mentlovi CSc. a jeho kolegům z Fakulty strojní za asistenci při laboratorním měření. Panu prof. Ing. Františkovi Pláničkovi CSc. patří poděkování za domluvení laboratorního měření na Fakultě strojní.

Poděkování si také zaslouží společnosti PILA MARTINICE s.r.o. a TESARIO PRVNÍ CHODSKÁ s.r.o. za poskytnutí vzorků pro laboratorní měření.

### **Abstrakt:**

Diplomová práce se zabývá aplikací dřeva v moderním stavitelství. Jde o celkový přehled dřevěných prvků, konstrukcí a využití dřeva v pozemním stavitelství. Zmíněna je i ochrana dřeva před degradací a ochrana dřeva proti požáru. Práce také obsahuje praktickou část, ve které jsou vyhodnoceny prováděné experimenty. Jedná se o požární studentský experiment, při kterém byla zjišťována požární odolnost dřevěné krychle, experiment při kterém byla ověřována únosnost v tahu spoje dřevěné pásnice prováděné pomocí styčnickové desky s prolisovanými trny a laboratorní experiment, při kterém byla zjišťována skutečná pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken a kolmo na vlákna.

### **Klíčová slova:**

dřevo, dřevěné konstrukce, dřevostavby, požární odolnost dřeva, laboratorní experiment, zkouška pevnosti v tahu, zkouška pevnosti v tlaku, styčnicková deska, deska s prolisovanými trny, skutečná pevnost dřeva

**Abstract:**

The thesis is about application of wood in modern construction. It is a total summary of wooden elements, construction and use of wood in building construction. The protection of wood against degradation is mentioned and the protection of wood against fire too. The work also contains a practical part in which the made experiment are evaluated. It is about a fire student experiment in which the fire resistance of wooden cube was found out, experiment in which the tensile strength of joining of wooden flanges with the help of truss nail plate was verified and laboratory experiment in which the real strength of wood in compression parallel to grain and perpendicular to grain was found out.

**Key words:**

wood, wooden constructions, wood buildings, fire resistance of wood, laboratory experiment, tensile test, compression strength test, joint plate, truss nail plate, the real strength of wood

## Seznam obrázků, grafů a tabulek:

### Seznam obrázků:

<b>Obrázek 1</b> – Tři anatomické směry [2] .....	18
<b>Obrázek 2</b> – Části kmene [autor].....	21
<b>Obrázek 3</b> – Příčný řez BSH hranolem [10].....	25
<b>Obrázek 4</b> – Zubový spoj KVH hranolu [12].....	26
<b>Obrázek 5</b> – DUO/TRIO hranoly [13] .....	26
<b>Obrázek 6</b> – Překližková deska [18].....	30
<b>Obrázek 7</b> – Dřevotřískové desky [20].....	31
<b>Obrázek 8</b> – Způsob výroby OSB desek [20] .....	32
<b>Obrázek 9</b> – Vrstvené dřevo včetně technologického postupu [15].....	34
<b>Obrázek 10</b> – Vaznicová soustava [30] .....	37
<b>Obrázek 11</b> – Novodobá hambálková soustava [autor] .....	38
<b>Obrázek 12</b> – POSI - JOIST nosníky [36].....	40
<b>Obrázek 13</b> – Přehled sloupkových systémů dřevostaveb [33].....	40
<b>Obrázek 14</b> – Montáž panelového systému [37].....	41
<b>Obrázek 15</b> – Srubový systém [37] .....	42
<b>Obrázek 16</b> – Vícevrstvý srubový systém [33].....	43
<b>Obrázek 17</b> – Skeletový systém [37].....	43
<b>Obrázek 18</b> – Montáž dřevostavby z CLT panelů [37] .....	45
<b>Obrázek 19</b> – Sportovní hala v Bílovci, trojkloubová příhradová hala [42].....	48
<b>Obrázek 20</b> – Vazníková příhradová soustava uložená na ŽB průvlacích [42].....	48
<b>Obrázek 21</b> – Nosná konstrukce rámové plnostěnné haly [43].....	49
<b>Obrázek 22</b> – Montáž krabicových stropů [33] .....	51
<b>Obrázek 23</b> – Bulldog [47].....	54
<b>Obrázek 24</b> – Systémové spojovací prostředky [48].....	55
<b>Obrázek 25</b> – Nosníky před a po namáhání požárem [57].....	64
<b>Obrázek 26</b> – Definice zbytkového a účinného průřezu [62].....	67
<b>Obrázek 27</b> – Vzorek pro provedení zkoušky požární odolnosti [autor] .....	69
<b>Obrázek 28</b> – Propan Butanové lahve [autor].....	70

<b>Obrázek 29</b> – Provádění požárního experimentu [autor].....	71
<b>Obrázek 30</b> – Termokamera Flir T620 [autor].....	71
<b>Obrázek 31</b> – Termosnímky při zatížení požárem ve směru vláken, vzorek 1V [autor] .....	72
<b>Obrázek 32</b> – Termosnímky při zatížení požárem kolmo na vlákna, vzorek 1K [autor] .....	73
<b>Obrázek 33</b> – Schéma vzorku zatěžovaného požárem [autor].....	74
<b>Obrázek 34</b> – Schéma půdorysu vzorku s vyznačením jednotlivých částí [autor] .....	75
<b>Obrázek 35</b> – Ohořelé vzorky vystavené požáru rovnoběžně s vlákny [autor].....	76
<b>Obrázek 36</b> – Ohořelé vzorky vystavené požáru kolmo na vlákna [autor].....	77
<b>Obrázek 37</b> – Ohořelý vzorek 1K [autor] .....	80
<b>Obrázek 38</b> – Ohořelý vzorek 1V [autor] .....	80
<b>Obrázek 39</b> – Vzorky pásnice spojované pomocí styčnickových desek GNA20-MIT - 9ks [autor] .....	98
<b>Obrázek 40</b> – Rozměry vzorku spojovaného pomocí styčnickových desek GNA20-MIT [autor] .....	98
<b>Obrázek 41</b> – Trhací stroj pro statické zkoušky materiálů Zwick / Roell Z050 [autor].....	99
<b>Obrázek 42</b> – Ruční aplikace styčnickové desky [autor] .....	100
<b>Obrázek 43</b> – Zvlnění styčnickové desky [autor] .....	100
<b>Obrázek 44</b> – Zúžení vzorku pro upnutí do trhacího stroje [autor] .....	101
<b>Obrázek 45</b> – Typické porušení vzorku [autor] .....	101
<b>Obrázek 46</b> – Porušený vzorek RM2 [autor].....	104
<b>Obrázek 47</b> – Porušení vzorků M4 a M7 [autor] .....	105
<b>Obrázek 48</b> – Snímky vzorku M5, v čase odpovídající grafu 8 [autor] .....	106
<b>Obrázek 49</b> – Vzorky pásnice spojované pomocí styčnickových desek MITEK T150 – 5ks [autor] .....	107
<b>Obrázek 50</b> – Rozměry vzorku spojovaného pomocí styčnickových desek MITEK T150 [autor] .....	107
<b>Obrázek 51</b> – Poškozený vzorek T1 [autor] .....	108
<b>Obrázek 52</b> – Poškozený vzorek T2 [autor] .....	109
<b>Obrázek 53</b> – Směry zkoušení pevnosti dřeva [autor].....	112
<b>Obrázek 54</b> – Stroj pro statické zkoušky Zwick / Roell Z250 [autor] .....	114
<b>Obrázek 55</b> – Typické porušení vzorků namáhaných ve směru vláken [autor].....	117
<b>Obrázek 56</b> – Typické porušení vzorků namáhaných kolmo k vláknům [autor].....	117

### Seznam grafů:

<b>Graf 1</b> - Hustota materiálů na bázi dřeva [16] .....	28
<b>Graf 2</b> – Pevnost v ohybu jednotlivých materiálů [16] .....	29
<b>Graf 3</b> - Procentuální zastoupení dřevostaveb ve vybraných zemích [29] .....	36
<b>Graf 4</b> - Poloměr čáry zuhelnatění v rozích, v závislosti na čase [62].....	68
<b>Graf 5</b> – Normová teplotní křivka [37] .....	78
<b>Graf 6</b> – Závislost síly na době trvání zkoušky, lisovaný spoj - GNA20-MIT, (M1 – M9) [autor] .....	103
<b>Graf 7</b> – Závislost síly na době trvání zkoušky, ruční aplikace spoje - GNA20-MIT (RM1, RM2) [autor].....	103
<b>Graf 8</b> – Závislost síly na době trvání zkoušky, vzorek M5 s vyznačenými snímky [autor]....	105
<b>Graf 9</b> – Závislost síly na době trvání zkoušky – MITEK T150, vzorek T1 [autor] .....	109
<b>Graf 10</b> – Závislost síly na době trvání zkoušky – MITEK T150, vzorek T2 [autor] .....	110
<b>Graf 11</b> – Závislost síly na rozdrčení, vzorky zatěžované ve směru vláken [autor] .....	115
<b>Graf 12</b> – Závislost síly na rozdrčení, vzorky zatěžované kolmo na vlákna [autor].....	116
<b>Graf 13</b> – Typická závislost síly na rozdrčení u vzorků zatěžovaných kolmo na vlákna v radiálním směru [autor].....	118
<b>Graf 14</b> – Typická závislost síly na rozdrčení u vzorků zatěžovaných kolmo na vlákna v tangenciálním směru [autor] .....	118

### Seznam tabulek:

<b>Tabulka 1</b> - Zastoupení jednotlivých částí stromu u různých typů dřevin [1].....	17
<b>Tabulka 2</b> – Doporučené charakteristické pevnosti a moduly pružnosti dřeva [7].....	23
<b>Tabulka 3</b> - Ekvivalentní pevnostní třídy dřeva [autor].....	23
<b>Tabulka 4</b> - Rozdělení hraněného řeziva dle plochy průřezu [8] .....	24
<b>Tabulka 5</b> – Mechanické vlastnosti překližkových desek [19].....	30
<b>Tabulka 6</b> – Fyzikální vlastnosti překližkových desek [19].....	30
<b>Tabulka 7</b> – Mechanické vlastnosti dřevotřískové desky Kronospan PB P5 [21] .....	31
<b>Tabulka 8</b> – Mechanické vlastnosti OSB desek – OSB 3 Superfinish ECO [22] .....	32
<b>Tabulka 9</b> – Mechanické vlastnosti MDF desek – Kronospan MDF HLS [23] .....	33
<b>Tabulka 10</b> – Mechanické vlastnosti CETRIS desek [26].....	33

<b>Tabulka 11</b> – Fyzikální vlastnosti CETRIS desek [26] .....	34
<b>Tabulka 12</b> – Mechanické vlastnosti LVL desek - Ultralam [27].....	34
<b>Tabulka 13</b> - Cenové ukazatele ve stavebnictví pro Budovy občanské (Kč/m <sup>3</sup> OP) [41] .....	46
<b>Tabulka 14</b> - Konstrukční systémy – přednosti, nedostatky [autor].....	47
<b>Tabulka 15</b> - Dřevěné trámové stropy Fermacell [44].....	50
<b>Tabulka 16</b> - Přehled typů spřažení používaných pro kompozitní dřevo-betonové stropní konstrukce.....	52
<b>Tabulka 17</b> - Třídy použití, dle ČSN EN 335-1,2 pro rostlé dřevo v ČR [52] .....	58
<b>Tabulka 18</b> - Návrhová rychlost zuhelnatění $\theta_0$ [62].....	66
<b>Tabulka 19</b> - Návrhová rychlost zuhelnatění $\theta$ . Zaoblení hran je nutno uvážit. [62] .....	67
<b>Tabulka 20</b> – Porovnání ploch zbytkového průřezu [autor] .....	69
<b>Tabulka 21</b> – Porovnání rozměrů a hmotností vzorků před a po požáru ve směru vláken [autor].....	75
<b>Tabulka 22</b> – Porovnání rozměrů a hmotností vzorků před a po požáru kolmo na vlákna [autor].....	76
<b>Tabulka 23</b> – Porovnání plochy průřezů před a po požáru [autor] .....	78
<b>Tabulka 24</b> – Porovnání průměrných hodnot (rozměru, objemu a hmotnosti) před a po požáru [autor].....	79
<b>Tabulka 25</b> – Zkouška pevnosti vzorku v tahu, lisovaný spoj - GNA20-MIT [autor].....	102
<b>Tabulka 26</b> – Zkouška pevnosti vzorku v tahu, zatloukání styční. desky - GNA20-MIT [autor] .....	102
<b>Tabulka 27</b> – Srovnání vypočtených a naměřených hodnot pevnosti v tahu spoje dřevěné pásnice spojované pomocí desky s prolisovanými trny [autor].....	111
<b>Tabulka 28</b> – Charakteristické hodnoty pevnosti pro konstrukční dřevo C24 [autor].....	113
<b>Tabulka 29</b> – Zkouška pevnosti v tlaku ve směru vláken, laboratorní měření [autor].....	114
<b>Tabulka 30</b> – Zkouška pevnosti v tlaku kolmo na vlákna, laboratorní měření [autor] .....	115

## Obsah:

Úvod .....	15
Cíle práce .....	16
<b>TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>17</b>
<b>1 Dřevo.....</b>	<b>17</b>
1.1 Vlastnosti dřeva .....	18
1.1.1 Fyzikální vlastnosti .....	18
1.1.2 Mechanické vlastnosti .....	20
1.2 Části kmene.....	21
1.2.1 Kůra.....	21
1.2.2 Kambium.....	21
1.2.3 Dřeň .....	21
1.2.4 Dřevo.....	22
1.3 Struktura dřeva .....	22
<b>2 Rostlé a lepené dřevo.....</b>	<b>23</b>
2.1 Řezivo z rostlého dřeva .....	24
2.1.1 Deskové řezivo .....	24
2.1.2 Hraněné řezivo.....	24
2.1.3 Polohraněné řezivo.....	24
2.1.4 Kulatina .....	24
2.2 Lepené lamelové dřevo.....	24
2.2.1 BSH hranoly.....	25
2.2.2 KVH hranoly .....	25
2.2.3 DUO/TRIO hranoly .....	26
2.2.4 CLT panely.....	27



<b>3</b>	<b>Materiály na bázi dřeva.....</b>	<b>28</b>
3.1	Překližkové desky.....	29
3.2	Dřevotřískové desky.....	30
3.3	OSB desky.....	31
3.4	Vláknité desky.....	32
3.5	Cementotřískové desky .....	33
3.6	Vrstvené dřevo.....	34
3.7	Zhuštěné dřevo .....	35
3.8	Modifikované dřevo.....	35
<b>4</b>	<b>Využití dřeva v pozemním stavitelství.....</b>	<b>36</b>
4.1	Novodobé nosné konstrukce střech.....	36
4.1.1	Krovové soustavy.....	36
4.1.2	Vazníkové soustavy.....	38
4.2	Konstrukce moderních dřevostaveb.....	39
4.2.1	Sloupkové systémy .....	39
4.2.2	Rámové (panelové) stavby .....	41
4.2.3	Srubové stavby .....	42
4.2.3	Skeletové stavby .....	43
4.2.4	Stavby z masivního dřeva CLT (KLH).....	44
4.3	Zhodnocení dřevostaveb z různých hledisek.....	45
4.3.1	Z hlediska ekonomického .....	45
4.3.2	Z hlediska konstrukčního a materiálového řešení.....	46
4.4	Halové konstrukce .....	47
4.5	Moderní stropní dřevěné konstrukce.....	49
4.5.1	Panelové konstrukce stropů .....	49
4.5.2	Trámové konstrukce stropů.....	49

4.5.3	Krabicové stropy .....	50
4.5.4	Kompozitní dřevo-betonové stropy.....	51
4.6	Moderní spojování dřevěných prvků.....	53
4.6.1	Hřebíky.....	54
4.6.2	Vrutky .....	54
4.6.3	Svorníky .....	54
4.6.4	Sponky .....	54
4.6.5	Desky s prolisovanými trny .....	55
4.6.6	Systémové spojovací prostředky .....	55
4.7	Zvyšování únosnosti dřevěných prvků.....	56
4.7.1	Zvětšení průřezu .....	56
4.7.2	Nahrazení poškozeného dřeva prvku zdravým dřevem nebo jiným materiálem .	56
4.7.3	Aplikace uhlíkových lamel nebo rohoží na bázi uhlíkových vláken .....	56
<b>5</b>	<b>Aplikace dřeva v rizikových podmínkách .....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>Ochrana dřeva před degradací .....</b>	<b>60</b>
6.1	Atmosférická koroze dřeva .....	61
6.2	Biologická koroze dřeva .....	61
6.2.1	Dřevokazné houby .....	62
6.2.2	Dřevokazný hmyz.....	63
<b>7</b>	<b>Ochrana dřeva proti požáru .....</b>	<b>64</b>
7.1	Obkladové protipožární systémy .....	65
7.2	Nátěrové protipožární systémy .....	65
7.2.1	Zábranový nátěrový systém .....	65
7.2.2	Zpěnitelný nátěrový systém .....	65
7.2.3	Sublimující nátěrový systém .....	65

<b>PRAKTICKÁ ČÁST: .....</b>	<b>66</b>
<b>8 Požární experiment.....</b>	<b>66</b>
8.1 Výpočet plochy zbytkového průřezu .....	66
8.1.1 Zbytkový průřez je uvažován jako ostrohranný.....	66
8.1.2 Zbytkový průřez je uvažován se zaoblením hran .....	67
8.1.3 Tabulkové srovnání výsledků.....	68
8.2 Studentský experiment.....	69
8.2.1 Předmět zkoušky .....	69
8.2.2 Provedení zkoušky .....	70
8.2.3 Měření teploty vzorku .....	71
8.2.4 Teplota okolí .....	74
8.2.5 Výsledky zkoušky .....	74
<b>9 Stanovení maximální tahové síly spoje dřevěné pásnice pomocí desky s prolisovanými trny .....</b>	<b>81</b>
9.1 Výpočet únosnosti spoje dřevěné pásnice .....	81
9.1.1 Výpočet maximální tahové síly spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky MITEK GNA20-MIT.....	82
9.1.2 Výpočet maximální tahové síly spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky MITEK T150.....	90
9.2 Laboratorní měření maximální tahové síly .....	97
9.2.1 Protokol k měření maximální tahové síly spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky MITEK GNA20-MIT.....	97
9.2.2 Protokol k měření maximální tahové síly spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky MITEK T150.....	106
9.3 Srovnání vypočtených a naměřených hodnot .....	110

<b>10</b>	<b>Skutečná pevnost dřeva v tlaku .....</b>	<b>112</b>
10.1	Úvod .....	112
10.2	Soubory vzorků.....	113
10.3	Postup měření .....	113
10.4	Naměřené pevnosti dřeva .....	114
10.5	Závěr .....	116
	<b>Závěr.....</b>	<b>119</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>120</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>121</b>
	<b>Přílohy .....</b>	<b>127</b>

## Úvod

Tématem mé diplomové práce je aplikace dřeva v moderním stavitelství. Práce má dvě hlavní části (teoretickou a praktickou). V teoretické části je popsáno, co je vlastně dřevo a je zde uveden přehled konstrukčních prvků a jednotlivých konstrukčních systémů. V této části je také uvedeno využití dřeva v pozemním stavitelství, ochrana dřeva před degradací a požárem.

Důvodem pro zpracování této práce pro mě bylo to, že dřevo je jeden z nejstarších přírodních obnovitelných materiálů, který byl a je stále využíván jako stavební materiál. Avšak za několik let co se dřevo používá pro stavební konstrukce, doba pokročila a novodobé dřevěné konstrukce se výrazně liší od historických. Jsou daleko více efektivnější a ekonomicky výhodnější. Velký vývoj také zaznamenaly spoje dřevěných prvků, kterými se zabývám i v praktické části. V historii se používala řada tesařských spojů, které byly náročné na provedení. V současné době se používají zejména pozinkované ocelové spojovací prvky.

V praktické části se zabývám požárním experimentem, zjištěním únosnosti v tahu spoje dřevěné pásnice zhotoveného pomocí desky s prolisovanými trny a skutečnou pevností dřeva v tlaku.

Požární experiment je proveden na dřevěné krychli. Cílem experimentu je zjištění rozdílu hoření dřeva ve směru vláken a kolmo na vlákna.

Spoj dřevěné pásnice provedený pomocí desky s prolisovanými trny je testován v laboratoři na pevnost v tahu. Cílem měření je ověření kritické síly, při které dojde ke ztrátě únosnosti spoje a porovnání s hodnotou vypočítanou.

Laboratorní měření pevnosti v tlaku ve směru vláken a kolmo na vlákna je prováděno na dřevěných krychlích. Cílem měření je dokázání faktu, že dřevo má ve skutečnosti větší pevnost než pevnost, která je uváděna v odborné literatuře. V odborné literatuře je pevnost dřeva snížena z důvodu výskytu vad dřeva (trhlin a suků).

K tématu jsem měl k dispozici řadu publikací, které jsem se snažil co nejlépe zpracovat. Využil jsem i internetových zdrojů.

## Cíle práce

Hlavním cílem diplomové práce je vytvoření přehledu informací o dřevu, dřevěných prvcích a zpracování analýz dřevěných konstrukcí využívaných v pozemním stavitelství.

Dalším neméně důležitým cílem je ověření skutečné pevnosti dřeva v tlaku, zjištění únosnosti v tahu spoje dřevěné pásnice provedené pomocí desky s prolisovanými trny, dále porovnání únosnosti spojů prováděných lisováním nebo pomocí ruční aplikace styčnickové desky a rozdíl v požární odolnosti dřeva podle směru požárního zatížení (ve směru vláken nebo kolmo na vlákna).

## TEORETICKÁ ČÁST

### 1 Dřevo

Dřevo představuje přírodní materiál rostlinného původu, který se vyskytuje na povrchu Země a řadí se mezi obnovitelné zdroje energie. Dřevo patří k nejoblíbenějším přírodním materiálům s mnoho možnostmi využití. Jedná se o pevné pletivo stonků vyšších rostlin, které jsou označovány jako dřeviny. Vyznačuje se svojí nízkou hmotností a pružností. Dřevo se lehce opracovává, dobře se s ním manipuluje, je poměrně dobře spojitelné a má dobré tepelně - izolační vlastnosti. Mezi nevýhody dřeva patří hořlavost, lehká zápalnost, vady dřeva a jeho velká nasáklivost. Důsledkem velké nasáklivosti dochází k objemovým změnám dřeva, jeho tvaru, vlastností a snižuje se tak jeho odolnost vůči působení biologických škůdců.

I přes řadu nedostatků, je dřevo oblíbeným materiálem s širokým rozsahem využití. Jednotlivé nedostatky lze vhodným způsobem omezit nebo vyloučit. [1]

Rozlišují se tři základní skupiny dřev:

- dřevo z jehličnatých dřevin,
- dřevo z listnatých dřevin s kruhovitě pórovitou stavbou,
- dřevo z listnatých dřevin s roztroušeně pórovitou stavbou.

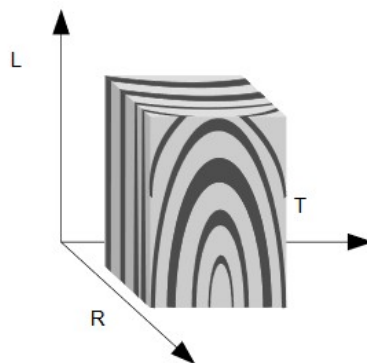
Každý strom má 3 hlavní části: korunu (soubor větví), kmen a kořeny. Zastoupení jednotlivých částí je uvedeno v tabulce 1. Ve stavebním průmyslu se využívá nejvíce dřevo z kmene stromů, dřevo z větví a kořenů se používá na výrobu lesní štěpky pro energetické účely nebo na výrobu dřevotřískových a dřevovláknitých desek.

**Tabulka 1** - Zastoupení jednotlivých částí stromu u různých typů dřevin [1]

dřevina	kmen	kořeny	větve
	%		
smrk, jedle	80 - 90	5 - 15	5 - 10
modřín	77 - 82	12 - 15	6 - 8
borovice	65 - 72	15 - 25	10 - 20
dub	65 - 75	15 - 20	10 - 20
jasan	55 - 70	15 - 25	15 - 20
javor klen	65 - 75	15 - 20	10 - 15
buk	55 - 75	20 - 25	10 - 20
bříza	78 - 90	5 - 12	5 - 10

## 1.1 Vlastnosti dřeva

Dřevo je anizotropní materiál, to znamená, že vlastnosti materiálu se liší v závislosti na směru. Vlastnosti dřeva se liší ve 3 základních směrech - podélném, radiálním a tangenciálním. Anatomické směry jsou uvedeny na obrázku 1.



**Obrázek 1** – Tři anatomické směry [2]  
(L – podélný, R – radiální, T – tangenciální)

### 1.1.1 Fyzikální vlastnosti

#### Vlhkostní vlastnosti dřeva:

Dřevo má schopnost přijímat nebo odevzdávat vodu podle vlhkosti okolního prostředí, v kapalném i plynném skupenství. Při přijímání nebo odevzdávání vázané vody dochází k rozměrovým změnám.

Voda ve dřevě je buď chemicky vázaná, vázaná (hygrokopická), nebo voda volná (kapilární). **Voda chemicky vázaná** je součástí chemických sloučenin. Nelze ji z dřeva odstranit sušením, proto je ve dřevě zastoupena i při nulové absolutní vlhkosti dřeva. Chemicky vázaná voda představuje 1-2 % sušiny dřeva a pro charakteristiku fyzikálních a mechanických vlastností nemá žádný význam. **Voda vázaná (hygrokopická)** se nachází v buněčných stěnách a je vázána vodíkovými můstky na hydroxilové skupiny OH amorfní části celulózy a hemicelulózy. Vyskytuje se ve dřevě při vlhkostech 0 - 30 % a pro charakteristiku fyzikálních a mechanických veličin má největší význam. **Voda volná (kapilární)** vyplňuje ve dřevě lumény buněk a mezibuněčné prostory. Při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností má menší význam než voda vázaná. Hranice mezi vodou vázanou a vodou volnou se stanovuje na základě určení meze nasycení buněčných stěn (MNBS) nebo meze hygroskopicity (MH). Při MNBS je voda v kapalném skupenství a při MH ve skupenství plynném. Při teplotě 15-20 °C mají obě



veličiny přibližně stejnou hodnotu (kolem 30 %), ale na rozdíl od meze nasycení buněčných stěn je mez hygroskopicity závislá na teplotě prostředí a s rostoucí teplotou klesá. [2; 3]

Rozlišuje se vlhkost absolutní a vlhkost relativní. Vlhkost absolutní udává podíl hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu v procentech (%) a spočítá se dle této rovnice:

$$w_{\text{absolutni}} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (1)$$

Vlhkost relativní udává podíl hmotnosti vody ke hmotnosti mokrého dřeva v procentech (%) a spočítá se dle této rovnice:

$$w_{\text{relativni}} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 \quad (2)$$

[2]

#### **Hustota dřeva:**

Jedná se o podíl hmotnosti dřeva a jeho objemu ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ). Je nutné hustotu udávat pro danou vlhkost dřeva.

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o} \quad (3)$$

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad (4)$$

Podle hustoty se rozlišuje dřevo s nízkou hustotou do  $550 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  (borovice, smrk, jedle, topoly, vrby, lípy), dřevo se střední hustotou přibližně od  $550 - 750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  (modřín, bříza, buk, dub) a dřevo s vysokou hustotou nad  $750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  (habr, akát). [1]

#### **Tepelné vlastnosti dřeva:**

Mezi tepelné vlastnosti dřeva patří teplotní roztažnost, která vyjadřuje změnu jednotky délky dřeva při jeho ohřátí o  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vzhledem k tomu že dřevo je anizotropní materiál je teplotní roztažnost dřeva v podélném, radiálním a tangenciálním směru různá. [1]

Přenos tepla ve dřevě se může teoreticky uskutečňovat ve třech formách – vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací). Proudění a sálání tepla se na celkovém přenosu podílí minimálně, proto se celý proces popisuje zjednodušeně pomocí vedení tepla.

[1]

#### **Akustické vlastnosti dřeva:**

Dřevo vibruje, když na něj působí vnější periodické síly. U dřeva se mohou vyskytovat tři druhy vibrací: podélné, příčné a torzní.

### **Barva dřeva:**

Barvu dřeva určují jeho chemické složky – celulóza, hemicelulózy a lignin, důležité je také zastoupení extraktních látek. Pro charakteristiku barvy dřeva se používá základních ukazatelů – tónů, čistoty a světlosti. [1]

### **Povrch dřeva:**

Povrch dřeva je plocha, která odděluje dřevní substanci od okolního prostředí. Rozlišujeme vnější a vnitřní povrch dřeva. Jedním z důležitých parametrů povrchů dřeva je jeho drsnost. Textura dřevěných povrchů je dána makroskopickou stavbou dřeva (tvar a šířka letokruhů). [1]

#### **1.1.2 Mechanické vlastnosti**

Reakci tuhého tělesa na mechanické namáhání vyjadřujeme prostřednictvím mechanických vlastností.

Základní mechanické vlastnosti:

- pevnost,
- pružnost,
- plastičnost,
- houževnatost.

### **Pevnost:**

Je odolnost materiálu proti trvalému porušení. Udává se mezí pevnosti. [4]

### **Pružnost:**

Je schopnost materiálu před porušením se pružně deformovat. Ve fyzikální podstatě jde o změnu stavu tělesa, která nastává při působení mechanických sil a která se projeví deformací jeho objemu. Jedná se o vratný proces. Určuje se mezí úměrnosti, modulem pružnosti, pružnou deformací a energií pružné deformace. [4]

### **Plastičnost:**

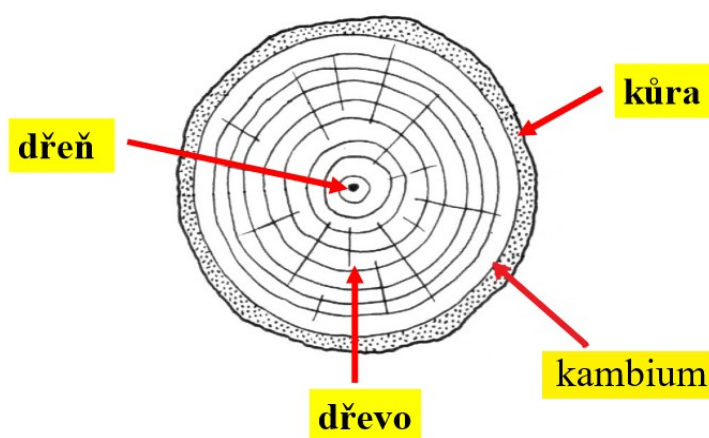
Je schopnost materiálu při působení vnějších sil měnit svůj tvar bez porušení, to znamená se plasticky deformovat. Mírou plastičnosti při mechanickém namáhání je plastická deformace. [4]

### Houževnatost:

Je mechanická energie, která se spotřebuje na plastickou deformaci materiálu. Za opak houževnatosti se považuje křehkost. Křehké dřevo se před porušením plasticky deformuje jen nepatrně a proto má malou houževnatost.

## 1.2 Části kmene

V části kmene v příčném řezu rozlišujeme od okraje směrem ke středu tyto vrstvy: kůru, kambium, dřevo a dřevň. Vrstvy jsou uvedené na obrázku 2.



**Obrázek 2** – Části kmene [autor]

### 1.2.1 Kůra

Kůra je vnější základní vrstva stromů (kmene, větví, kořenů) obklopujících jeho středové části. Na příčném řezu má podobu prstence. Funkce kůry je vodivá, mechanická a izolační. Kůra chrání kmen proti výkyvům teplot. [1; 5]

### 1.2.2 Kambium

Kambium je označováno za dělivé pletivo nacházející se mezi lýkem a dřevem, kde tvoří úzkou makroskopicky nerozlišitelnou vrstvu. Kambium je možné pozorovat na jaře, kdy po odstranění kůry je povrch dřeva pokryt slizem. [1]

### 1.2.3 Dřevň

Dřevň je oválná centrální část jádra stromu, je tvořena světlým řídkým pletivem. U starších stromů je pletivo odumřelé. V prvním roce života stromu se dřevň podílí na vedení vody, později tuto funkci přebírá dřevo. [1; 6]

#### 1.2.4 Dřevo

Dřevem se rozumí centrální část os kmenů stromu, nacházejících se mezi dřením a kambiem. Je nejvíce zastoupenou vrstvou kmene a jde o jeho nejvyužívanější část. [1]

### 1.3 Struktura dřeva

Dřevo je hmota organického původu, která se vytváří přírodními procesy za spolupůsobení ovzduší a půdy v kmeni, větvích, kořenech dřevin. Dřevo představuje rostlinné pletivo, jehož převážná většina buněčných elementů má zdřevnatělé buněčné stěny. [1]

K základním charakteristikám dřeva patří: letokruhy, jarní a letní dřevo v letokruhu, jádro, běl, vyzrálé dřevo, dřeňové paprsky, cévy, pryskyřičné kanálky, dřeňové skvrny a suky. U všech druhů dřev nemusí být tyto znaky pozorovatelné a také se nemusí vyskytovat na všech řezech. [1]

Letokruhem se nazývá kruhový přírůstek dřeva vytvořený ve vegetačním období příslušného roku. Každý letokruh se skládá ze dvou vrstev odlišných svou strukturou a barvou vrstev jarního a letního dřeva. Běl je vnější část dřeva přiléhající ke kambiu. Jádro je vnitřní, obvykle tmavěji zbarvená část kmene. U vyzrálého dřeva je u některých dřevin (smrku, jedle, buku) na čerstvě vytěžené kulatině (na obvodu příčného řezu) patrný pás tmavšího dřeva. Dřeňové paprsky v živém stromu zabezpečují horizontální pohyb zejména organických produktů a vody. Dřeňové skvrny jsou pásy, které vznikly v důsledku poškození kambia hmyzem nebo bakteriemi v případě topolu. Pryskyřičné kanálky tvoří buňky, které shromažďují a vylučují pryskyřici. Cévy představují vodivé elementy listnatých dřev, u jehličnanů se nevyskytují. Suky jsou základy živých nebo odumřelých větví. [1; 5]

## 2 Rostlé a lepené dřevo

Dřevo je rozdělováno do pevnostních tříd jehličnaté – C14 až C40, listnaté – D30 až D70 a lepené lamelové GL20 až GL36, jako je uvedeno v tabulce 2.

**Tabulka 2 – Doporučené charakteristické pevnosti a moduly pružnosti dřeva [7]**

Doporučené charakteristické pevnosti a moduly pružnosti v Mpa													
	Třída pevnosti	Ohyb		Tah		Tlak		Smyk	Modul pružnosti E			Modul pružnosti G	Hustota
		$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$E_{0,mean}$	$E_{0,05}$	$E_{90,mean}$	$G_{mean}$	$\rho_k$	
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kg/m <sup>3</sup> )	
Rostlé dřevo jehličnaté	C40	40	24	0,4	26	6,3	3,8	14000	9400	470	880	420	
	C35	35	21	0,4	25	6	3,4	13000	8700	430	810	400	
	C30	30	18	0,4	23	5,7	3	12000	8000	400	750	380	
	C27	27	16	0,4	22	5,6	2,8	12000	8000	400	750	370	
	C24	24	14	0,4	21	5,3	2,5	11000	7400	370	690	350	
	C22	22	13	0,3	20	5,1	2,4	10000	6700	330	630	340	
	C18	18	11	0,3	18	4,8	2	9000	6000	300	560	320	
	C16	16	10	0,3	17	4,6	1,8	8000	5400	270	500	310	
C14	14	8	0,3	16	4,3	1,7	7000	4700	230	440	290		
Rostlé dřevo listnaté	D70	70	42	0,9	34	13,5	6	20000	16800	1330	1250	900	
	D60	60	36	0,7	32	10,5	5,3	17000	14300	1130	1060	700	
	D50	50	30	0,6	29	9,7	4,6	14000	11800	930	880	650	
	D40	40	24	0,6	26	8,8	3,8	11000	9400	750	700	590	
	D35	35	21	0,6	25	8,4	3,4	10000	8700	690	650	560	
	D30	30	18	0,6	23	8	3	10000	8000	640	600	530	
Lepené lamelové dřevo	GL36	36	27	0,45	31	6,3	3,5	14500	11600			480	
	GL32	32	24	0,45	29	6	3,5	13500	10800			440	
	GL28	28	21	0,45	27	6	3	12000	9600			410	
	GL24	24	18	0,35	24	5,5	2,8	11000	8800	360	680	380	
	GL20	20	15	0,35	21	5	2,8	10000	8000	330	620	360	

Jako běžné konstrukční dřevo se používá tříd pevnosti C24. Takovéto značení se používá při strojovém třídění, které se v České republice téměř nepoužívá a řezivo je tříděno vizuálně do vizuálních tříd S7, S10, S13. Srovnání pevnostních třídy podle strojového třídění a ČSN je uvedeno v tabulce 3. K hlavním parametrům třídění patří rozsah suků, odklon vláken, trhliny a jiné vady řeziva.

**Tabulka 3 - Ekvivalentní pevnostní třídy dřeva [autor]**

Třídy podle ČSN 73 2824-1	Třídy podle ČSN 49 1531-1	Strojové třídění
S7	SII	C16
S10	SI	C24
S13	S0	C30

## 2.1 Řezivo z rostlého dřeva

Řezivo z rostlého dřeva je děleno dle jeho tvaru na deskové řezivo, hraněné řezivo, polohraněné řezivo a kulatinu.

### 2.1.1 Deskové řezivo

Jedná se o prkna a fošny, kde tloušťka je menší než 100 mm a šířka je větší nebo rovná dvojnásobku tloušťky. Konkrétně u prken je tloušťka menší než 40 mm a tloušťka fošen je 40 – 100 mm. Deskové řezivo se dále dělí podle způsobu výroby, a to na nesámované (neořezané boky) a sámované (ořezané boky). [8]

### 2.1.2 Hraněné řezivo

Jde o pravoúhlý průřez, kde je šířka menší než dvojnásobek tloušťky. Rozdělení hraněného řeziva je uvedeno v tabulce 4.

**Tabulka 4** - Rozdělení hraněného řeziva dle plochy průřezu [8]

řezivo	plocha průřezu
hranoly	větší než 10 000 mm <sup>2</sup>
hranolky	2 500 – 10 000 mm <sup>2</sup>
latě	1 000 – 2 500 mm <sup>2</sup>
lišty	menší než 1 000 mm <sup>2</sup>

### 2.1.3 Polohraněné řezivo

Jedná se o dvoustraně řezané řezivo, kde šířka je menší než dvojnásobek tloušťky. Mezi polohraněné řezivo patří polštáře (tloušťka max. 100 mm) a trámy (tloušťka větší než 100 mm).

### 2.1.4 Kulatina

Jedná se o řezivo, kde příčný řez prvkem tvoří kruh.

## 2.2 Lepené lamelové dřevo

V České republice se vyrábí již od 50. let 20. století. Hlavními výhodami lepeného lamelového dřeva jsou mimořádná tvarová a konstrukční variabilita, vysoká estetická hodnota, rozměrová přesnost a stálost, a vynikající požární odolnost. Mezi základní prvky patří BSH, KVH, DUO/TRIO hranoly a CLT panely.

### 2.2.1 BSH hranoly

Jsou tvořeny za pomoci slepení dřevěných lamel tloušťky 40 mm pomocí tlaku a polyuretanového lepidla. Jednotlivé lamely se krátí a vyřezávají se veškeré vady dřeva, poté se lamely podélně napojují do nekonečného vlysu, ze kterého se vyřezává požadovaná délka lamely pro lepený profil. Nejčastěji se BSH hranoly lepí z borovice, smrku a modřínu. Vlhkost dřeva je u BSH hranolů  $10 - 12 \% \pm 2 \%$ . Řez BSH hranolem je zobrazen na obrázku 3. [9; 10]



**Obrázek 3** – Příčný řez BSH hranolem [10]

### 2.2.2 KVH hranoly

Jedná se o masivní konstrukční dřevo, délkově napojované zubovým spojem (viz obrázek 4). Vyrábí se převážně ze smrkového dřeva třídy C24. Z hranolů se vyřezávají vady dřeva. Na části dřeva, které už vady neobsahuje, jsou z čela hranolu vyfrézovány zubové spoje, do kterých se nanese lepidlo a pomocí nich jsou jednotlivé kusy hranolů pod tlakem spojeny. Vlhkost dřeva u KVH hranolů je  $15 \% \pm 3 \%$ . [11]



**Obrázek 4** – Zubový spoj KVH hranolu [12]

### 2.2.3 DUO/TRIO hranoly

Vyrábí se spojením dvou (duo) nebo tří (trio) bočně lepených lamel (viz obrázek 5), které jsou lepeny opačně, než je jejich poloha v kmeni. To zaručuje tvarovou stabilitu prvku, který je ještě méně náchylný k rozměrovým změnám a tvorbě trhlin než KVH hranoly. Vysušené lamely jsou spojeny zubovitým spojem. V konstrukcích jsou používány jako stropní nosníky, sloupy a krokve. Je povoleno je používat pouze ve třídě provozu 1 a 2 (konstrukce v interiéru, kryté konstrukce v exteriéru). [13]



**Obrázek 5** – DUO/TRIO hranoly [13]



#### 2.2.4 CLT panely

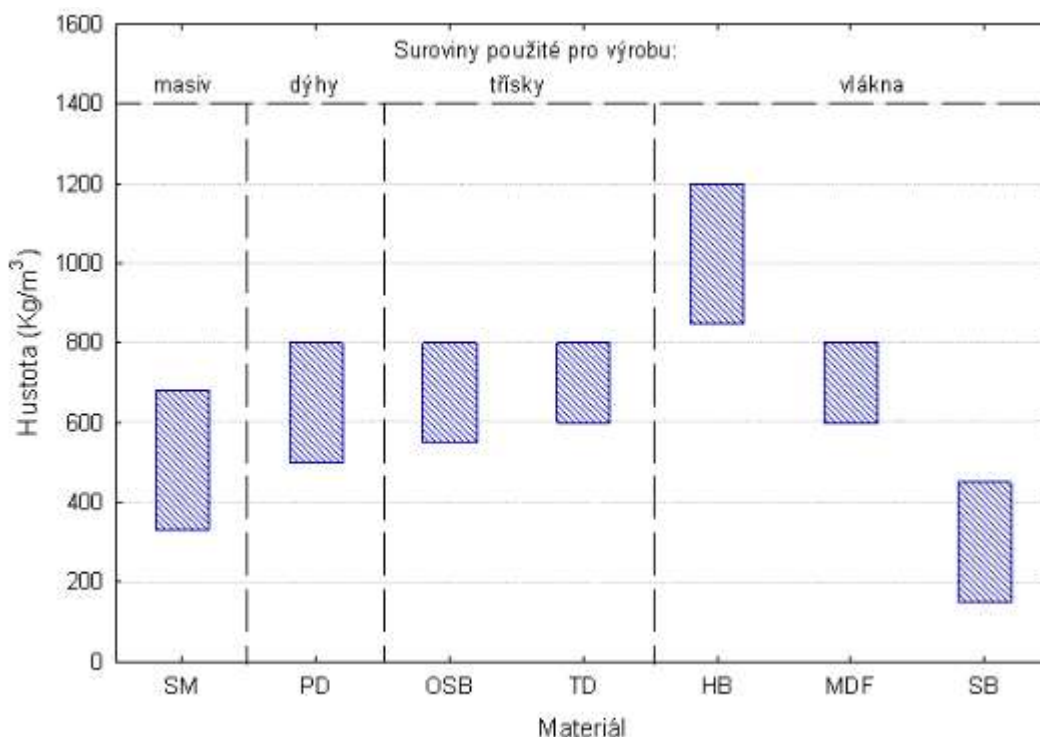
Jedná se o panely slepené z lamel skládaných do lichého počtu vrstev, které jsou vzájemně otočené o 90°, což zaručuje tvarovou stálost panelu i během probíhajících změn vlhkosti. Lepeny jsou vysokým tlakem ve velkoformátovém lisu. [14]

### 3 Materiály na bázi dřeva

Vyrábějí se různým průmyslovým zpracováním dřeva. Většinou jde o lisování připravených dřevěných komponentů získaných mechanickým dělením dřeva. Lisování se provádí zpravidla za tepla. Během růstu stromů vznikají na dřevě různé typy vad (suky, trhliny), které ovlivňují vlastnosti dřeva. Dřevo rozdělíme na menší částice a ty opět spojíme. Vznikne materiál na bázi dřeva, u kterého vliv těchto vad potlačíme, či úplně odstraníme.

Moderní materiály na bázi dřeva jsou vyráběny převážně ze sortimentů nízké kvality z rychle rostoucích druhů dřevin. Za jednu z největších výhod je považováno využití nízké kvality původní suroviny pro výrobu kvalitního produktu.

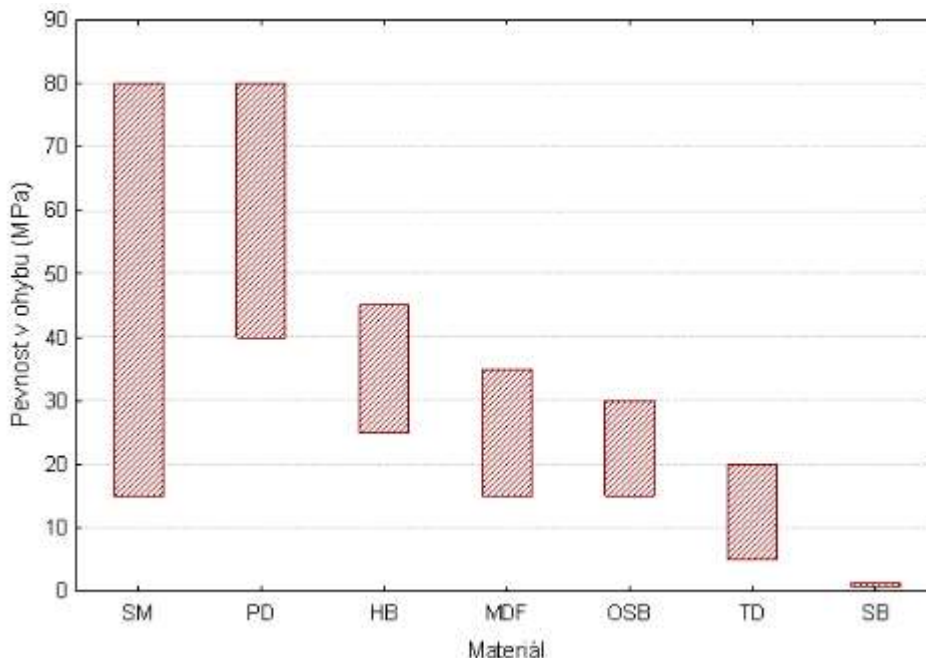
Parametry pevnosti a tuhosti stanovují výrobci daných materiálů na základě jejich zkoušek provedených podle příslušných evropských norem. V grafu 1 je zobrazeno rozmezí normových hodnot hustoty jednotlivých materiálů. [15; 16]



**Graf 1** - Hustota materiálů na bázi dřeva [16]

(SM – smrkové dřevo, PD – překližkové desky, OSB – desky z orientovaných plochých třísek, TD – třískové desky, HB – tvrdé vláknité desky, MDF – polotvrdé vláknité desky, SB – měkké vláknité desky)

V grafu 2 je uvedena pevnost v ohybu jednotlivých materiálů na bázi dřeva. Jde o základní charakteristické hodnoty, které mají vliv na způsob aplikace jednotlivých materiálů, zejména pro výpočty a navrhování konstrukcí.



**Graf 2** – Pevnost v ohybu jednotlivých materiálů [16]

(SM – smrkové dřevo, PD – překližkové desky, OSB – desky z orientovaných plochých třísek, TD – třískové desky, HB – tvrdé vláknité desky, MDF – polotvrdé vláknité desky, SB – měkké vláknité desky)

Materiály na bázi dřeva je možné dělit podle mnoha hledisek (velkoplošné, konstrukční, kompozitní, dle způsobu použití atd.). V této práci jsou materiály rozděleny podle způsobu konstrukce.

### 3.1 Překližkové desky

Překližkové desky se vyrábějí lepením lichého počtu lamel (nejméně tří vrstev). Nejčastěji se ve stavebnictví používají překližkové desky, které jsou složeny z loupaných nebo krájených dýh tak, že dýhy sousedních vrstev svírají obvykle úhel 90°. Řez překližkovou deskou je zobrazen na obrázku 6. Mechanické a fyzikální vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách 5 a 6. [17]



**Obrázek 6 – Překližková deska [18]**

**Tabulka 5 – Mechanické vlastnosti překližkových desek [19]**

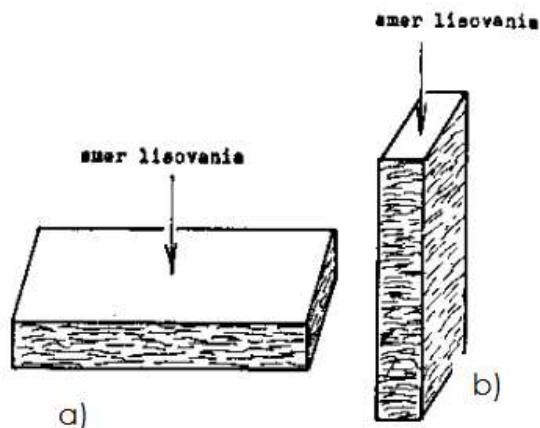
Typ desky	Překližky z jehličnatých dřevin	
	6, 8, 9	12, 15
Pevnost v ohybu podél vláken (MPa)	40	40
Pevnost v ohybu kolmo na vlákna (MPa)	15	15
Modul pružnosti podél vláken (MPa)	4 500	4 500
Modul pružnosti kolmo na vlákna (MPa)	2 200	2 200
Hustota materiálu (kg/m <sup>3</sup> )	540	520

**Tabulka 6 – Fyzikální vlastnosti překližkových desek [19]**

Fyzikální vlastnosti	Tloušťka překližky (mm)			
	6	9	12	15
Faktor difúzního odporu –suchý $\mu$ (-)	204	205	202	202
Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ (W/mK)	0,14	0,14	0,13	0,13
Absolutní vlhkost v době dodání (%)	5 – 12 %			
Třída reakce na oheň	D – S2, d0			

### 3.2 Dřevotřískové desky

Podle polohy třísek rozdělujeme desky na plošně lisované, výtlačně lisované a orientované třískové desky OSB desky (viz obrázek 7). Při plošném lisování se třísky plošně vrství a lisují mezi vyhrátými deskami lisu. U výtlačně lisovaných desek se lisovací směs z třísek protlačí pod velkým tlakem výtlačnou šterbinou a zformuje se do nekonečného pásu. Mechanické vlastnosti desek jsou uvedeny v tabulce 7. [15; 20]



**Obrázek 7 – Dřevotřískové desky [20]**

(a - plošně lisované dřevotřískové desky, b - výtlačně lisované dřevotřískové desky)

**Tabulka 7 – Mechanické vlastnosti dřevotřískové desky Kronospan PB P5 [21]**

Typ desky	DTD deska - Kronospan PB P5				
Tloušťka (mm)	8 až 13	13 až 20	20 až 25	25 až 32	32 až 40
Pevnost v ohybu (MPa)	15	13,3	11,7	10	8,3
Pevnost v tahu (MPa)	9,4	8,5	7,4	6,6	5,6
Pevnost v tlaku (MPa)	12,7	11,8	10,3	9,8	8,5
Modul pružnosti – tlak (MPa)	2 000	1 900	1 800	1 500	1 400
Hustota materiálu (kg/m <sup>3</sup> )	600				

Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  má hodnotu u dřevotřískové desky Kronospan PB P5  $\lambda = 0,13$  W/mK. Třída reakce na oheň této desky je D – S2, d0.

### 3.3 OSB desky

Desky z orientovaných plochých třísek jsou známy pod zkratkou OSB (Oriented strand boards). Vyrábějí se z kvalitních dřevin, jako je například borovice lesní. Krajiní vrstvy desky obsahují třísky orientované zpravidla rovnoběžně s podélným směrem desky. Třísky středové vrstvy jsou uspořádány kolmo k podélnému směru nebo náhodně (viz obrázek 8). Desky jsou lepeny fenolformaldehydovou pryskyřicí, která činí přibližně 2,5 % váhového podílu desky. Mechanické vlastnosti OSB desek jsou uvedeny v tabulce 8. [15; 20]



**Obrázek 8** – Způsob výroby OSB desek [20]

**Tabulka 8** – Mechanické vlastnosti OSB desek – OSB 3 Superfinish ECO [22]

Typ desky	OSB 3 Superfinish ECO – Kronospan OSB		
	6 až 10	10 až 18	18 až 25
Tloušťka (mm)			
Pevnost v ohybu podél vláken (MPa)	18	16,4	14,8
Pevnost v ohybu kolmo na vlákna (MPa)	9	8,2	7,4
Modul pružnosti podél vláken (MPa)	4 930	4 930	4 930
Modul pružnosti kolmo na vlákna (MPa)	1980	1 980	1 980
Hustota materiálu (kg/m <sup>3</sup> )	600		

Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  má hodnotu u OSB desky 3 Superfinish ECO  $\lambda = 0,1$  W/mK. Třída reakce na oheň této desky je D – S2, d0 pro tloušťku desky 6 až 12 a D – S1, d0 pro tloušťku 12 až 32mm.

### 3.4 Vlákenné desky

Vlákenné desky je název pro několik typů desek lišící se způsobem výroby a svými vlastnostmi. Desky se vyrábějí z rozvlákněného odpadu z pilařské výroby. Vyrábějí se mokřím nebo suchým procesem a člení se dle jejich hustoty a způsobu výroby. Mokřím postupem jsou

vyráběny měkké, polotvrdé, tvrdé a velmi tvrdé vláknité desky. Suchým postupem jsou vyráběny polotvrdé vláknité desky MDF desky. Některé MDF desky byly vyvinuty jako paropropustné, hodící se pro difúzně otevřené konstrukce. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 9. [15; 9]

**Tabulka 9 – Mechanické vlastnosti MDF desek – Kronospan MDF HLS [23]**

Typ desky	Kronospan MDF HLS desky		
	10 až 12	13 až 19	20 až 22
Pevnost v ohybu (MPa)	≥ 32	≥ 30	≥ 28
Modul pružnosti v ohybu (MPa)	≥ 2 800	≥ 2 700	≥ 2 600
Hustota materiálu (kg/m <sup>3</sup> )	350 - 850		

Vláknité desky Kronospan MDF HLS jsou vyráběny suchým procesem. Jejich objemová hmotnost je ≥ 700 kg/m<sup>3</sup> a třída reakce na oheň je D – S2, d0. [23]

### 3.5 Cementotřískové desky

Cementotřískové desky neboli CETRIS desky jsou především používány v protipožárních aplikacích, protože i přes vysoký podíl dřeva jsou řazeny do třídy reakce na oheň A2-s1, d0. Vzhledem ke svému složení (pojivo cement) a výrobě (lisování) mají desky vysokou odolnost vůči mechanickému opotřebení. Dále jsou desky odolné vůči povětrnostním podmínkám, odolné vůči mrazu, hmyzu a plísním. Desky se skládají v poměru 74 % třísek, 23 % cementu a 3 % mineralizačních přísad. Mechanické a fyzikální vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách 10 a 11. [20; 24; 25]

**Tabulka 10 – Mechanické vlastnosti CETRIS desek [26]**

Vlastnosti CETRIS desky	
Pevnost v tahu za ohybu dle ČSN EN 310 (MPa)	11,5
Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky dle ČSN EN 319 (MPa)	0,63
Modul pružnosti dle ČSN EN 310 (MPa)	6 800
Objemová hmotnost (kg/m <sup>3</sup> )	1 350



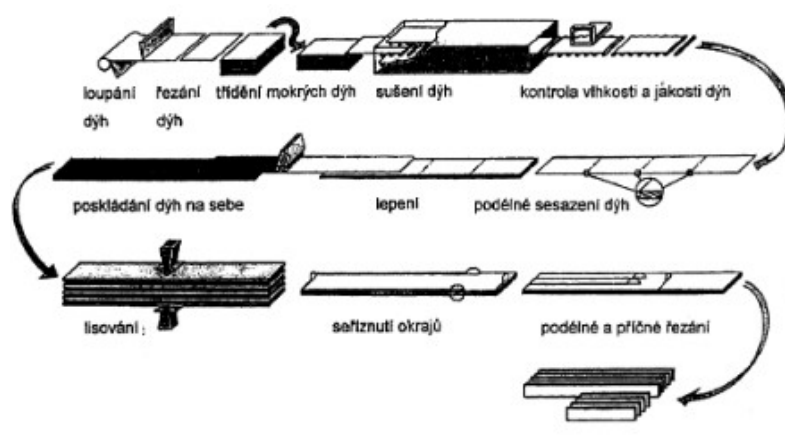
**Tabulka 11 – Fyzikální vlastnosti CETRIS desek [26]**

Fyzikální vlastnosti CETRIS desky	
Faktor difúzního odporu – suchý $\mu$ (-)	52,8 – 69,2
Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ (W/mK)	0,2 – 0,287
Třída reakce na oheň	A2-s1,d0

### 3.6 Vrstvené dřevo

Vrstvené dřevo LVL je materiál podobný překližce, u kterého se dýhy lepí orientací vláken souběžně. [15]

Vyrábí se ze smrkových dýh, které jsou poskládány podélně za sebou s krátkými překrytími v několika vrstvách. Jednotlivé vrstvy jsou slepeny a poté zalisovány (viz obrázek 9).



**Obrázek 9 – Vrstvené dřevo včetně technologického postupu [15]**

Vrstvené dřevo se používá na prutové prvky a nosníky. V současné době existují tři výrobci zabývající se výrobou vrstveného dřeva. Jde o Trust Joist (Microllam), Finnfores (Kerto) a Steico (Ultralam). Mechanické vlastnosti LVL desek jsou uvedeny v tabulce 12.

**Tabulka 12 – Mechanické vlastnosti LVL desek - Ultralam [27]**

Typ desky	Ultralam LVL desky	
	19 až 21	24 až 75
Tloušťka (mm)		
Pevnost v ohybu v rovině desky (MPa)	30	34
Pevnost v ohybu kolmo na rovinu desky (MPa)	34	38
Modul pružnosti podél vláken (MPa)	10 000	10 600
Objemová hmotnost (kg/m <sup>3</sup> )	480	



### 3.7 Zhuštěné dřevo

S růstem objemové hmotnosti roste pevnost materiálu. Dřevo při teplotě 140 – 160 °C a tlaku 10 až 15 MPa je možné slisovat přibližně na poloviční objem. Vzniká nový materiál zhuštěné dřevo. Nejvíce se zhuštěné dřevo v současnosti vyskytuje v podobě zhuštěných překližek, které mají hustotu dřeva 1 400 kg/m<sup>3</sup>, což je výrazně více oproti klasickým překližkám, které mají hustotu dřeva 520 kg/m<sup>3</sup> (540 kg/m<sup>3</sup>). Nejvíce se zhuštěné dřevo používá pro vložky do exponovaných spojů a tenké příložky dřevěných konstrukcí. [15]

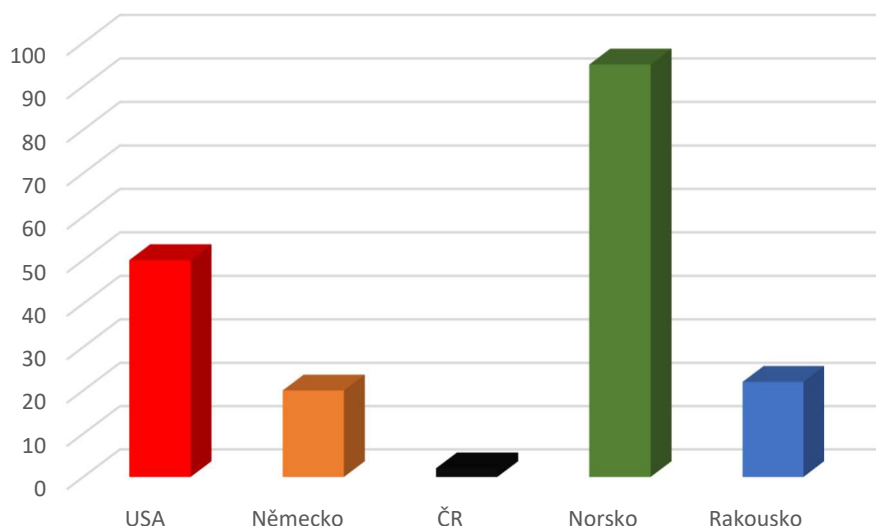
### 3.8 Modifikované dřevo

Jedná se o technologicky upravené dřevo, které je odolnější proti dřevokazným houbám a dále nebobtná ani nesesychá. Modifikované dřevo je vhodné na výrobu oken, okenic, lepených prvků a pro mostní konstrukce. [28]

## 4 Využití dřeva v pozemním stavitelství

Dřevo je materiál s pozitivními vlastnostmi, mezi které patří: dobré účinky na vnitřní klima, příjemná vůně, regulování vlhkosti, zvýšení pocitu tepla a vynikající stavebně fyzikální vlastnosti. Procentuální zastoupení dřevostaveb ve vybraných zemích je uvedeno v grafu 3. To, že dřevo jako stavební materiál zaujímá v současné společnosti stále přednější místo, je dáno mnoha faktory:

- jeho těžební množství v ČR neustále narůstá,
- jeho využití ve výstavbě budov má v ČR historické kořeny,
- energetická náročnost na těžbu, zpracování a likvidace dřeva je 3 až 5 krát nižší, než u betonu a cihly. [29]



**Graf 3** - Procentuální zastoupení dřevostaveb ve vybraných zemích [29]

### 4.1 Novodobé nosné konstrukce střech

Mezi novodobé nosné konstrukce střech patří krovové soustavy (vaznicová, kombinovaná soustava, novodobá hambálková soustava) a konstrukce vazníkové (příhradové, plnostěnné).

#### 4.1.1 Krovové soustavy

V dřívějších dobách byly v podstřešních prostorech situovány půdní prostory. V současné době se do podstřešních prostor umísťují obytné místnosti, proto novodobé krovové soustavy umožňují daleko více variabilní prostor.

### *Vaznicová soustava*

Základním prvkem vaznicové soustavy je vaznice. Zatížení ze střešního pláště nesou krokve, které jsou podporovány vaznicemi a pozednicemi (viz obrázek 10). Vaznice jsou podepřeny maximálně po 4 – 4,5 m pomocí sloupků (tzv. plnými vazbami). V současné době se k podepření vaznic mohou použít střední dělicí stěny, popřípadě mohou být využity únosnější vaznice z lepeného dřeva, popřípadě oceli. V těchto případech je možné mít vaznice podepřené po více než 4,5 m. U novodobých krovů se od původních vaznicových soustav nové liší tím, že zpravidla nemají vazný trám. [30; 31]

Vaznicové soustavy jsou vhodné do rozponu 12 m.

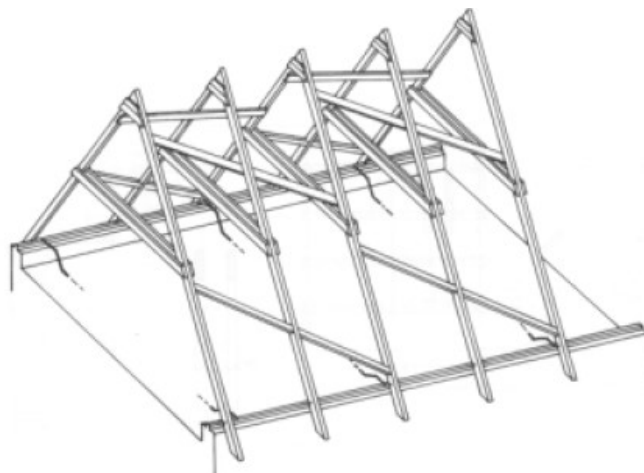


**Obrázek 10** – Vaznicová soustava [30]

### *Novodobá hambálková soustava*

Hambálkový krov neobsahuje žádné podélné prvky. Vytváří nejvýhodnější podmínky pro využití obestavěného podkrovního prostoru. Užívá se zejména u rodinných domů s obytným podkrovním prostorem. Je vhodný do rozponu zhruba 10 m. Zavětrování se provádí v rovině hambálku a v rovině krokví (viz obrázek 11).

Hambálkové krovky se vyznačují jednoduchou montáží, úsporou řeziva a vytvořením volných obytných prostor. U hambálkové soustavy je každá vazba plná. Podélné ztužení se provádí pomocí prken, ocelových prvků, šikmých latí nebo pomocí bednění.



**Obrázek 11** – Novodobá hambáلكová soustava [autor]

#### 4.1.2 Vazníkové soustavy

Jsou určeny pro střechy středního a velkého rozpětí s malým sklonem. Vazníkovou soustavu tvoří vazníky, které jsou příčně uloženy ve vzdálenosti 0,9 – 1,2 m (v případě laťování a bednění) nebo 3,5 – 4 m (v případě, že střešní plášť nesou vazníčky). Podkrovní prostor je u vazníkových soustav převážně nevyužitelný.

##### *Příhradový vazník*

Příhradové vazníky se vyrábějí buď jako sbíjené, lepené, spojované deskami s prolisovanými trny, s vloženými ocelovými plechy a hřeby nebo spojované svorníky. Jde o lehké konstrukce, které jsou vhodné pro typizaci a prefabrikaci.

Příhradové vazníky se skládají z dolního a horního pásu, svislic a diagonál. Příhradové vazníky je možné vyrobit o délce až 30 m. Diagonály a svislice se skládají do trojúhelníkových polí, které rozloží zatížení na příhradový vazník a zároveň zajistí tuhost vazníku. [32]

##### *Plnostěnný vazník*

Jedná se o prefabrikované lepené lamelové prvky, které splňují vysoké estetické i technické nároky a lze je dobře tvarovat. Zejména se používají pro zastřešení halových prostor. Plnostěnné vazníky mohou mít konstantní obdélníkový průřez, průřez ve tvaru I (kde stojnu mohou tvořit například OSB desky) nebo průřez truhlíkový.

## 4.2 Konstrukce moderních dřevostaveb

Dřevostavba je taková stavba, jejíž nosnou konstrukci tvoří dřevěné prvky nebo prvky na bázi dřeva.

Podle způsobu výstavby rozdělujeme dřevostavby na stavěné klasickým způsobem a dřevostavby prefabrikované. Stále častěji se používá kombinace těchto přístupů.

Konstrukci skladeb stěn rozlišujeme na konstrukce difúzně otevřené a konstrukce difúzně uzavřené.

**Difúzně otevřené konstrukce** jsou konstrukce, kde je umožněno vlhkosti procházet skrz skladbu. Místo parozábrany se používá parobrzdá (například OSB deska), která vodní páry pouze brzdí, ale nezastavuje je. Je nutné, aby faktor difuzního odporu jednotlivých vrstev směrem z interiéru do exteriéru klesal a proto, je také důležité použít tepelně izolační materiál s nízkým difúzním faktorem (minerální vatu, dřevovláknité desky). Cena difúzně otevřené dřevostavby je vždy vyšší než u dřevostavby s difúzně uzavřenou konstrukcí.

**Difúzně uzavřené konstrukce** jsou konstrukce, kde zamezíme průniku vodních par do skladby. Pro tento účel používáme parozábranu (materiál s vysokým faktorem difuzního odporu). Aby parozábrana fungovala na 100 %, je nutné, aby nebyla nikde porušena a aby průchody skrz parozábranu byly správně ošetřeny.

V současnosti rozdělujeme dřevostavby na několik typů: sloupkové, panelové, srubové, skeletové a stavby z masivního dřeva. Ještě známe dřevostavby hrázděné, ale ty se dnes řadí k historickým dřevostavbám.

### 4.2.1 Sloupkové systémy

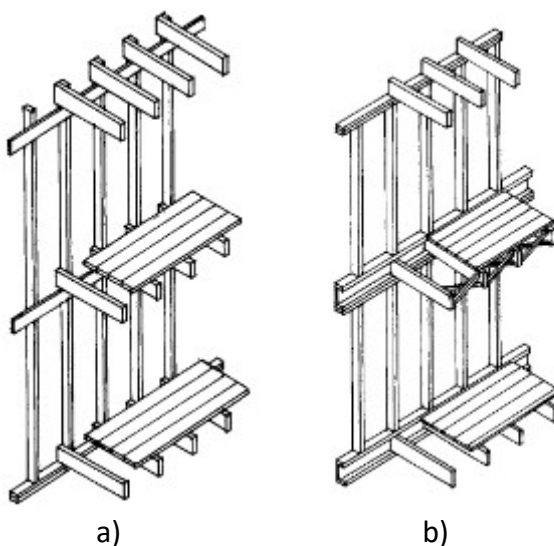
Sloupkové nosné systémy byly vyvinuty na americkém kontinentě jako systém „two by four“, což je průřez nosného sloupku v palcích. V metrické míře tomu odpovídá sloupek o průřezu 50/100 mm. Sloupky jsou osově vzdálené 400 až 600 mm. Kotvené jsou do základového prahu zpravidla stejné dimenze. V moderních konstrukcích bývají hraněné sloupky nahrazovány sloupky tvořenými dřevěnými I profily se stojnou z OSB desky nebo POSI-JOIST nosníky (viz obrázek 12), které nacházejí uplatnění ve stěnových, stropních i střešních konstrukcích. Jedná se o nosníky, které jsou ekonomicky výhodné, lehké a umožňují snadnou montáž. Nosníky jsou tvořené dřevěnými pásnicemi a ocelovými pozinkovanými diagonálami ve tvaru „V“ jako je uvedeno na obrázku 15. Spojení se provádí pomocí lisu.

[33; 34; 35; 36]



**Obrázek 12** – POSI - JOIST nosníky [36]

Sloupky probíhají od základového prahu až k okapu a stropní nosníky jsou k sloupkům přiložené (Balloon frame) nebo jsou sloupky dlouhé na výšku podlaží, stropní nosníky jsou uloženy na vrchní hranol rámu a konstrukce se staví po podlažích (Platform frame). Oba tyto systémy jsou uvedeny na obrázku 13. Obecně je systém Platform frame výhodnější jak z technologického tak konstrukčního hlediska. Tento systém v podstatě převzala i panelová dřevostavba. [34]



**Obrázek 13** – Přehled sloupkových systémů dřevostaveb [33]  
(a - Systém Balloon frame, b - Systém Platform frame)

Chytrost sloupkového systému spočívá v tom, že na stavbu jsou přivezeny hranoly a fošny více méně jednoho profilu a z těchto prvků je pak smontována celá kostra objektu. Pokud sloupky staticky nevyhovují, provádí se jejich sdružování. [33]

Důležitou roli v těchto systémech hrají deskové materiály, které se používají jako opláštění, které plní funkci jak z hlediska požární odolnosti i z hlediska zavětrování (stability stěn). Z hlediska zavětrování je lze nahradit prvkovým zavětrováním z dřevěných nebo ocelových prvků. Nejčastěji se ale používá kombinace obou způsobů.

Kvůli zrušení tepelných mostů a zvýšení tepelného odporu stěny se vnější stěna obkládá tepelnou izolací. [33]

Ze strany interiéru se provádí předstěna pro instalaci TZB rozvodů.

#### 4.2.2 Rámové (panelové) stavby

Jedná se o nejrozšířenější technologii po celé Evropě, ve skutečnosti jde o sloupkový systém v panelovém provedení realizovaný v prefa výrobě. Mezi hlavní charakteristické znaky patří: volnost architektonického řešení, jednoduchý konstrukční systém s opakujícími se detaily, nosná kostra ze štíhlých dostupných profilů v rastru 625 mm, rastr je ztužen opláštěním, spoje jsou prováděny mechanickými spojovacími prostředky, krátká doba výstavby a vysoký stupeň prefabrikace. Montáž panelů je zobrazena na obrázku 14. [34; 37]



**Obrázek 14** – Montáž panelového systému [37]



#### 4.2.3 Srubové stavby

Srubové stavby jsou úzce spjaty s hornatým prostředím. Pro jejich realizaci je potřeba vysoké řemeslné dovednosti. Tyto stavby nabízí malou dispoziční variabilitu a jsou náročné na velkou spotřebu dřeva. To klade vysoké nároky na surovinu, srub ale využije dřevní hmotu co nejekologičtějším způsobem a nevzniká velké množství odpadu. Nepříznivým jevem je u srubů sedání způsobené sesycháním dřeva nebo jeho stlačením. [33; 34; 37]



**Obrázek 15** – *Srubový systém [37]*

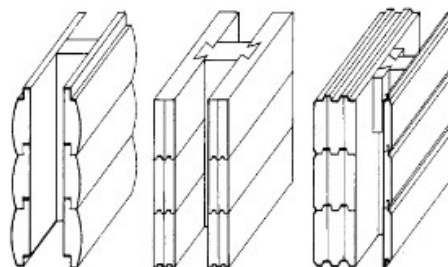
Stěnu srubů vytváří vzájemně seskládané dřevěné prvky (kulatina, hranoly) spojované dřevěnými kolíky (viz obrázek 15). Stěna má identické vlastnosti po celém svém průřezu. Častý problém srubů je, že samotná kulatina bez přidané tepelně izolační vrstvy z hlediska současných předpisů pro tepelnou ochranu budov nedokáže zabezpečit dostatečnou tepelnou ochranu pro trvale obydlenou budovu. Nejproblematictějšími místem jsou zejména zámky a ložné spáry mezi dřevěnými prvky. Řešením je použití tzv. třívrstvého srubového systému. [33; 34; 37; 35]

Třívrstvý srubový systém je systém, kde mezi dvěma vrstvami dřevěné kulatiny je vrstva tepelně izolační. Nevýhodou tohoto řešení je, že je poměrně hodně finančně náročné. Dalším řešením je opláštění jedné pohledové stěny izolačním materiálem, to už ale přicházíme o estetický vzhled srubu. Esteticky bude lepší oplástit stěnu v interiéru, ale z tepelně



technického hlediska a kondenzace vodních par rozhodně z exteriéru (oplaštěním vnitřní stěny bychom přišli o akumulaci schopnosti dřeva a vznikly by poměrně velké tepelné mosty). [34; 37]

Alternativou je použití moderních verzí srubů, které jsou vytvářeny z hoblovaných, někdy lepených hranolů, které vytváří jednoduchou stavebnici a jsou vhodné pro sendvičovou skladbu (viz obrázek 16). [34; 37]

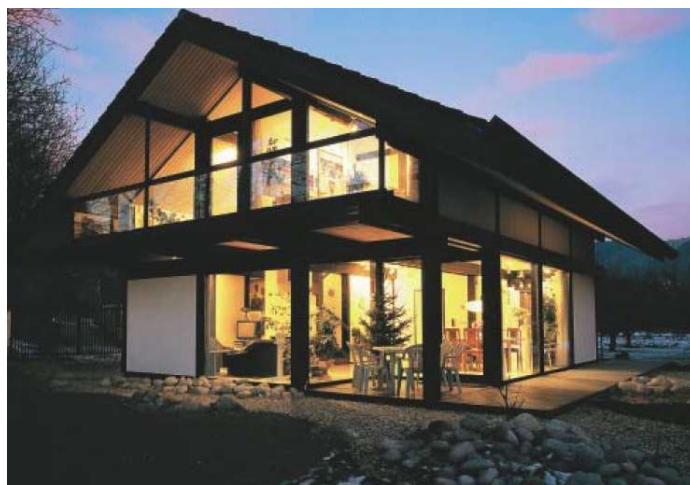


**Obrázek 16** – Vícevrstvý sрубový systém [33]

#### 4.2.3 Skeletové stavby

Skeletové stavby umožňují velkou míru volné dispozice a použití lehkých obvodových plášťů (viz obrázek 17). Nosný systém (sloupy, průvlaky, stropnice) je u skeletových systémů oddělen od opláštění a vnitřních stěn. Ztužení skeletu se provádí pomocí výztužných stěn, příhradových ztužidel nebo rámových ztužidel. Spoje se provádí pomocí mechanických spojovacích prostředků. [33; 34; 37]

Výhodou skeletu je použití na velké rozpory a změna využívání objektu díky variabilní dispozici.



**Obrázek 17** – Skeletový systém [37]

#### 4.2.4 Stavby z masivního dřeva CLT (KLH)

Systémy CLT (KLH) se řadí do skupiny masivních dřevostaveb. CLT neboli anglicky CROSS LAMINATED TIMBER, německy KREUZ LAGEN HOLZ je velkoformátový konstrukční materiál vyrobený slepením smrkového řeziva ve 3, 5 nebo 7 vrstvách uložených kolmo k sobě. Hoblované a sušené smrkové desky v tloušťkách 19 - 40 mm jsou za studena lepeny PUR lepidlem k sobě a poté slisovány ve velkoformátovém lisu. Panely se opracovávají na CNC strojích. Vzniká tak křížem lepená velkoformátová deska, kterou lze použít pro nosnou konstrukci stěn, stropů, střechy. Tloušťka panelů se běžně pohybuje od 60 do 240 mm. Tato technologie je vhodná nejen pro stavbu rodinných domů, ale i pro stavbu vícepodlažních budov. [38; 39]

Prefabrikace usnadňuje a zrychluje montáž stavby (viz obrázek 18), projektanti a stavebníci nejsou ale omezovali typovými elementy. Všechny konstrukční části jsou vyráběny na míru. Rozměrová omezení vycházejí pouze z možností výrobních linek a dopravních limitů. Maximální výška panelu je 3 m, délka 16 – 18 m. [38; 39]

Panelový systém CLT=KLH je hodně uplatňovaný systém v německy mluvících zemích. Z hlediska tepelných požadavků není u této konstrukce problém, konstrukci je možné bez problémů z vnější strany opatřit tepelnou izolací. Vhodná je tepelná izolace s nízkým difúzním odporem (minerální vláknitá izolace), protože je možné vytvořit difúzně otevřený plášť bez použití parozábrany na vnitřní straně konstrukce a strana z interiéru může být tedy pohledová. Spoje CLT panelů jsou prováděny pomocí mechanických spojovacích prostředků.

Vzhledem k narůstající tloušťce panelů při větších rozponech a nutnosti použití 5 – 7 vrstev elementů se nabízí vícevrstvé CLT systémové panely s nosným roštem, určené pro střešní a stropní konstrukce. Spodní a horní část tohoto panelu tvoří vrstvená deska z masivního dřeva slepená a slisovaná se středovým nosným roštem. Žebra mohou být vyplněna akustickou či tepelnou izolací a můžou v této vrstvě být vedeny instalační rozvody. Na pohled se tyto panely od klasických CLT neliší a jsou také vyráběny jako prefabrikáty. Popřípadě je možné použít žebrový strop, který má pouze nosná žebra a horní desku. Panely mají vysokou únosnost, nízkou hmotnost a také zajišťují velkou prostorovou tuhost stavby. [39]

Panely mají příznivou ekologickou bilanci, protože se na výrobu používá dřevo chemicky neošetřené.



**Obrázek 18** – Montáž dřevostavby z CLT panelů [37]

### 4.3 Zhodnocení dřevostaveb z různých hledisek

V současné době se dřevostavby (panelový a sloupkový systém) srovnávají se stavbami postavenými ze silikátových materiálů. Panelové a sloupkové dřevostavby se vyznačují dobrými tepelně izolačními vlastnostmi a jejich hlavní předností je rychlá doba výstavby. Základní vlastností dřevostaveb je, že neakumulují teplo. To znamená, že povrchová teplota konstrukcí dřevostaveb se velmi rychle přizpůsobuje teplotě okolního prostředí. Dobrá akumulační schopnost je velice výhodná, pokud je objekt vytápěn kotlem na pevná paliva bez elektronické regulace. Při použití moderních vytápěcích systémů s elektronickou regulací je však nízká akumulační schopnost konstrukcí výhodou.

Mezi hlavní nevýhody dřevostaveb patří protipožární odolnost dřeva, vady dřeva (suky, trhliny) a působení vlhkosti, které mění tvar a objem dřeva. Tyto nevýhody lze však eliminovat, použijí se vhodné druhy dřeva a provede se vhodné ošetření dřeva.

#### 4.3.1 Z hlediska ekonomického

Dřevostavby se od staveb ze silikátových materiálů liší hlavně v konstrukci stěn. Ostatní prvky stavby jsou zpravidla ze stejných materiálů. U obou materiálových variant potřebujeme shodnou základovou konstrukci, technické zařízení budovy, zdroj tepla, stejný krov a střešní krytinu. Dle oceňovací vyhlášky č. 441/2013 Sb. konstrukce svislých stěn tvoří zhruba 20% celkových nákladů na stavbu. Z pohledu celé stavby lze hovořit tak o zanedbatelné části a je těžké říci, jestli jsou dřevostavby levnější či dražší než stavby z materiálů na bázi silikátů. [40]

Dle tabulky 13 – Cenové ukazatele ve stavebnictví pro Budovy občanské, kde jednotlivé číselné indexy ukazují konstrukčně materiálové charakteristiky:

- 1 - svislá nosná konstrukce zděná z cihel, tvárnic, bloků,
- 2 - svislá nosná konstrukce monolitická betonová tyčová,
- 3 - svislá nosná konstrukce monolitická betonová plošná,
- 4 - svislá nosná konstrukce montovaná z dílců betonových tyčových,
- 5 - svislá nosná konstrukce montovaná z dílců betonových plošných,
- 6 - svislá nosná konstrukce montovaná z prostorových buněk,
- 7 - svislá nosná konstrukce kovová,
- 8 - svislá nosná konstrukce dřevěná a na bázi dřevní hmoty.

Je zřejmé, že ceny dřevostaveb jsou velmi podobné cenám staveb z ostatních materiálů. U budov pro občanskou výstavbu je cena pro konstrukci s nosnou svislou konstrukcí dřevěnou o 365 Kč/m<sup>3</sup>OP levnější než u svislé nosné konstrukce zděné z cihel, tvárnic či bloků.

**Tabulka 13 - Cenové ukazatele ve stavebnictví pro Budovy občanské (Kč/m<sup>3</sup>OP) [41]**

JKSO		průměr	konstrukčně materiálová charakteristika							
			1	2	3	4	5	6	7	8
801	Budovy občanské výstavby	6841	6530	7600	8885	6965	5995	5665	6965	6165
801.1	Budovy pro zdravotní péči	7517	7660	7660		7230				
801.2	Budovy pro komunální služby a osobní hygienu	8165	7680		10410	7250		7320		
801.3	Budovy pro výuku a výchovu	6840	5010		6440	6440	5870		10440	
801.4	Budovy pro vědu, kulturu a osvětlu	8154	5025	9045	11340	8110			7250	
801.5	Budovy pro tělovýchovu	7374	6295	9310		5225				8665
801.6	Budovy pro řízení, správu a administrativu	6804	6015	7095		6800	6950	4075	8310	8380
801.7	Budovy pro společné ubytování a rekreaci	6695	6150	6590	7090	9235	5300			5805
801.8	Budovy pro obchod a společné stravování	6407	6210			7220			5790	
801.9	Budovy pro sociální péči	5796	7520			6370	5225	4070		

#### 4.3.2 Z hlediska konstrukčního a materiálového řešení

V tabulce 14 – Konstrukční systémy – přednosti, nedostatky, jsou uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých konstrukčních systémů dřevostaveb.

**Tabulka 14** - Konstrukční systémy – přednosti, nedostatky [autor]

Konstrukční systém	Přednosti	Nedostatky
<b>Panelový</b>	maximální finalizace ve výrobě, automatizace uzlů výroby, rychlá hrubá a finální montáž stavby, možnost lepší kontroly kvality	potřeba techniky na dopravu při výrobě a montáži, omezená výstavba v náročnějších podmínkách terénu, vyšší režie (provoz výrobní haly a techniky)
<b>Srubový</b>	vysoký stupeň přípravy hrubé stavby ve výrobě, menší nároky na montážní a dopravní techniku, hezká architektura, plné uplatnění dřeva	vyšší pracnost a velké množství dokončovacích prací při montáži, objemové a tvarové změny stavby, vyšší cena
<b>Sloupkový</b>	výrobní a montážní technická nenáročnost, pružné řešení změn a problému při montáži tím odpadá vysoká režie výroby	výroba a montáž na staveništi - konstrukce je vystavena větru, potřebná vyrovnaná plocha na staveništi pro výrobu stěn
<b>Skeletový</b>	ekonomičtější zakládání, mnoho variant uspořádání příček, možnost vytvořit velké vnitřní prostory	náročnější technika při montáži, vyšší pracnost při montáži, vyšší nároky na dřevěné nosné prvky

#### 4.4 Halové konstrukce

Hlavní funkcí halového objektu je využití volných vnitřních prostor s malým počtem nebo zcela bez vnitřních prostor. Halové objekty jsou využívány pro účely: sportu, kultury, výroby, skladování a dopravy.

Dřevěné halové konstrukce je možné rozdělit dle několika kritérií: podle tvaru, podle konstrukčního systému a podle druhu namáhání.

Halové objekty mají většinou půdorysy obdélníkového tvaru, ale vyskytují se i kruhové a mnohoúhelníkové tvary. Konstrukční řešení hal s kruhovými nebo mnohoúhelníkovými tvary je v podstatě stejné jako řešení s obdélníkovým tvarem, liší se pouze tvar uspořádání nosných prvků v půdorysu.

Podle druhu namáhání, dřevěné halové konstrukce rozdělujeme na: tlačené (obloukové haly), na konstrukce namáhané převážně ohybem (vazníkové a rámové soustavy) a deskové prostorové soustavy. Výhody ohýbaných konstrukcí jsou: výrobně jednoduchý tvar, opěrná konstrukce není namáhána vodorovnou silou a vnitřní prostor je lépe využitelný. Výhodou tlačných konstrukcí je větší únosnost a zajímavý architektonický tvar. Dále rozdělujeme dřevěné halové konstrukce na konstrukce z příhradových a plnostěnných prvků.

Základním prvkem **obloukové haly** je tlakem namáhaný konstrukční prvek (viz obrázek 19), prostě uložený nebo vetknutý. Obloukové haly se navrhují jako dvoukloubové



nebo trojkloubové nosníky z lepených nebo příhradových průřezů. Často se uplatňuje proměnný průřez.



**Obrázek 19** – Sportovní hala v Bílovci, trojkloubová příhradová hala [42]

**Vazníkové soustavy** se skládají ze střešních vazníků ukládaných na sloupy, průvlaky nebo stěny. Vazníkové soustavy jsou buď plnostěnné, nebo příhradové (viz obrázek 20). Podle tvaru se rozlišují vazníkové soustavy: přímopásové, pultové, sedlové, lomené a obloukové. Na střešní vazníky jsou ukládány vazničky, které nesou střešní plášť nebo se na vazníky ukládají přímo střešní plošné prvky.



**Obrázek 20** – Vazníková příhradová soustava uložena na ŽB průvlacích [42]

**Rámové soustavy** vznikají vetknutím střešní vazníkové konstrukce do sloupové podpory (plnostěnné, příhradové) – vzniká rámový roh (tuhé spojení), který vede ke zmenšení ohybových momentů uprostřed rozpětí haly. V důsledku tuhého spojení se přenáší rámový

moment do rámové stojky. Konstrukční návrh sbíjeného nebo lepeného průřezu je obdobný jako u vazníkových soustav. Rámová plnostěnná soustava je zobrazena na obrázku 21.



**Obrázek 21** – Nosná konstrukce rámové plnostěnné haly [43]

#### 4.5 Moderní stropní dřevěné konstrukce

V současné době jsou dřevěné stropní konstrukce rozděleny do čtyř hlavních kategorií: dřevěné konstrukce panelové, dřevěné konstrukce trémové, dřevo-betonové spřažené stropy a stropní konstrukce z masivního lepeného dřeva CLT panely, které byly zmíněny v odstavci 4.2.5.

##### 4.5.1 Panelové konstrukce stropů

Jsou prefabrikáty, které mají nosnou konstrukci z trámů a jsou opláštěny deskami na bázi dřeva.

##### 4.5.2 Trémové konstrukce stropů

Konstrukce se liší podle druhu použitého trému (stropnice) a druhu opláštění. Nejčastěji se používají trámy z rostlého nebo lepeného lamelového dřeva obdélníkového průřezu. Výjimkou není ani použití trámů z dřevěných I nosníků se stojnou z OSB desek.

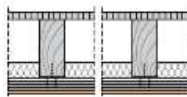
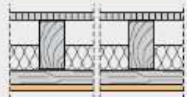
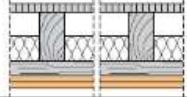


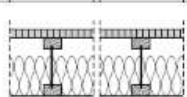
Rozlišujeme stropy s přiznanými trámy nebo stropy s podhledem. Dříve se jako konstrukce záklopu používaly prkna, na kterých byl umístěn násyp nebo hliněná mazanina. Dnes v moderních konstrukcích jsou prkna nahrazeny deskami na bázi dřeva a místo násypu

je použito zvukově-izolačních minerálních desek. Konstrukce podhledu je nejčastěji tvořena zavěšeným sádkartonovým podhledem.

Jako modernější trémové stropy jsou používány tzv. **stropy fošnové**, které byly vynuceny potřebou úspory řeziva. Nosnou funkci fošnového stropu přebírají fošny „amerického typu“ s dimenzí přibližně 60/240 mm. Jsou kladené v osové vzdálenosti 600 mm. Stabilita stropnice proti klopení je zabezpečena bedněním z tuhých desek. Skladba je zpravidla i ze spodní strany opláštěna nejčastěji sádkartonovým podhledem s akustickou izolací. [33]

Příklady novodobých stropů jsou uvedeny v tabulce 15.

**Tabulka 15 - Dřevěné trémové stropy Fermacell [44]**

Označení	Schéma	Druh stropní / střešní konstrukce <sup>104</sup> zatížení <sup>104</sup>	Směr požárního namáhání	Nosná konstrukce <sup>104</sup>	Výška konstrukce <sup>104</sup>
		[mm]		[mm]	
2 H 11/AP		dřevěný strop s nutným horním opláštěním záklupem 18 mm	zdola	stropní trámy 70x170 mm [rozteč max. 610] akustický profil 27 mm	40
2 H 12		dřevěný strop s nutným horním opláštěním záklupem 18 mm	zdola	stropní trámy 45x245 mm [rozteč max. 625 mm] dřevěné latě 30x50	40 42,5
2 H 21		dřevěný strop s nutným horním opláštěním záklupem 18 mm	zdola	stropní trámy 45x245 mm [rozteč max. 625 mm] dřevěné latě 30x50	55
2 H 35		dřevěný strop s nutným horním opláštěním záklupem 18 mm	zdola	stropní trámy 80x160 CD profily 27x60	135
2 H 13		dřevěný strop, z horní strany zaklopený DTD tl. 22 mm	zdola	stropní trámy 60 x 180 mm [rozteč 1000 mm], dřevěné latě 30 x 60 [rozteč 330 mm]	40
2 H 13 I		dřevěný strop s I nosníky	zdola	stropní nosníky STEICOjoist S.J 39/60x240 mm [rozteč max. 625 mm] dřevěné latě 30x50 nebo CD profily 27x60	40 42,5

#### 4.5.3 Krabicové stropy

Jedná se o prefabrikované prvky pro stropní konstrukce s lepšími mechanickými a akustickými vlastnostmi. Skládají se z lepených dutých tvarovek, které se navzájem spojují pomocí pera a drážky, čímž vznikne tuhá deska (viz obrázek 22). Vzduchovou neprůzvučnost je možné zlepšit pomocí akustické výplně v dutinách. Dutiny jsou přístupné pro instalační rozvody. [33]






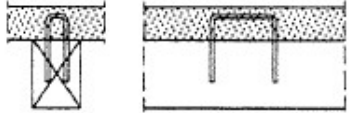
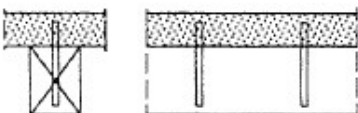
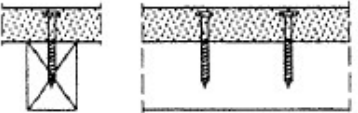
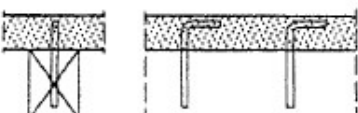
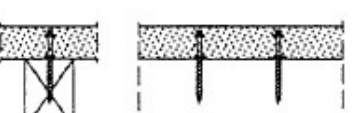

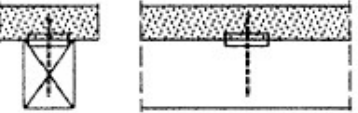
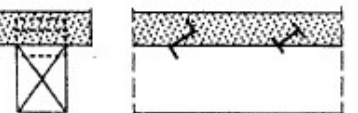
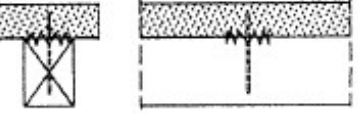
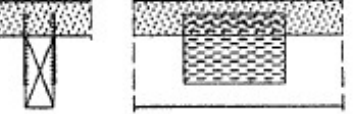
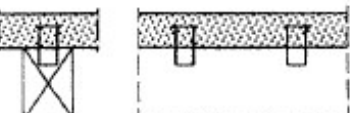
**Obrázek 22** – Montáž krabicových stropů [33]

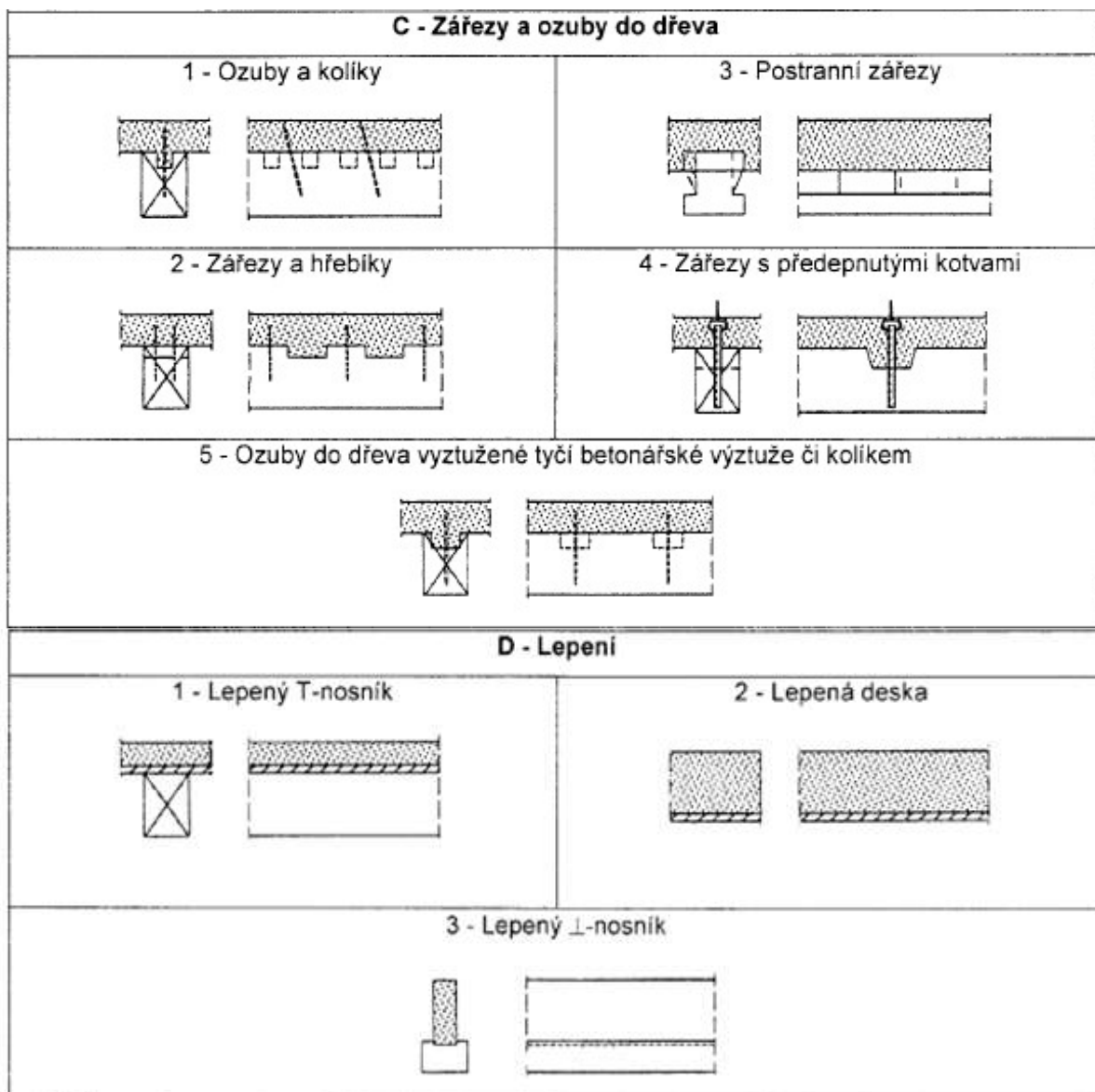
#### 4.5.4 Kompozitní dřevo-betonové stropy

Spřažený dřevo-betonový strop vznikne spřažením dřevěného trámu s železobetonovou deskou. Bednění železobetonové desky je tvořeno OSB deskami. Spřažení je zajištěno pomocí spřahujících prvků. Předností spřažených desek jsou lepší mechanické vlastnosti, akustické vlastnosti (železobetonová deska s vysokou objemovou hmotností zlepšuje vzduchovou neprůzvučnost) a požární odolnost. Betonová deska je využívána na tlak a dřevěný nosník na tah. [33]

Ve starších kompozitních dřevo-betonových konstrukcích dominovaly spřahující prostředky jako hřebíky, vruty a kolíky. Zájem o větší uplatnění kompozitu vedl k vývoji nových spřahujících prvků, které jsou určeny pro tyto konstrukce. Přehled všech spřahujících prvků je uveden v tabulce 16. Ocelové prvky používané pro spřažené konstrukce mají protikorozní povrchovou úpravu. Při betonování je nutné dřevěné prvky chránit před vodou z betonové směsi (například pomocí separační fólie). Provedením spřaženého dřevo-betonového stropu zvýšíme prostorovou tuhost objektu a únosnost konstrukce.

**Tabulka 16** - Přehled typů spřažení používaných pro kompozitní dřevo-betonové stropní konstrukce [45]

<b>A - Ocelové spřahovací prostředky kolikového typu</b>	
1 - Hřebíky 	4 - Tesařské skoby 
2 - Kolíky 	5 - Vrutý 
3 - Tyče betonářské výztuže 	6 - Vrutý se dvěma hlavami 
7 - Speciální vruty 	
<b>B - Speciální ocelové spřahovací prostředky</b>	
1 - Kroužek s kolíkem 	3 - Z a I profily 
2 - Bulldog s kolíkem 	4 - Desky s prolisovanými trny 
5 - Trubky 	



#### 4.6 Moderní spojování dřevěných prvků

Historicky se pro spojování používaly zejména tesařské spoje (sraz, plátování, přeplátování, lípnutí, zapuštění, čepování, kampování, osedlání) a dřevěné prvky (kolíky, hmoždíky, spony, klíny, vložená pera, svlaky, příložky). V současné době se používají pro spojování dřevěných prvků lepené spoje a ocelové spojovací prostředky.

Lepené spoje se používají zejména pro lepené lamelové dřevo. Lepí se z prken nebo fošen s tloušťkou do 45 mm. Pomocí fenol-formaldehydového nebo melamin-formaldehydového lepidla. Pro nastavení lamel se obvykle používá zubovitý spoj.

U ocelových spojovacích prostředků je koroze eliminována použitím nerezavějícího materiálu nebo použitím povrchových úprav spojovacích prvků.

#### 4.6.1 Hřebíky

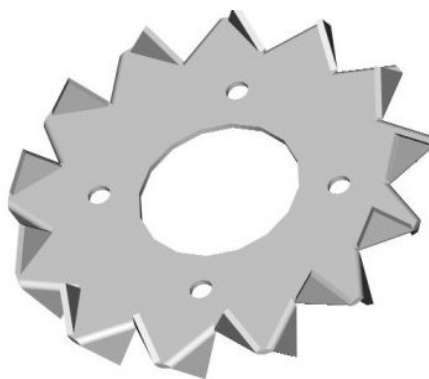
Na konstrukční spoje měkkého dřeva se hřebíky používají nejčastěji. Hřebíkové spoje spolehlivě přenášejí zatížení smykem, ale jsou málo únosné na tah. V nosném spojení musejí být vždy minimálně 4 hřebíky. Průměr hřebíků je 2,75 až 8 mm a délka hřebíků je 40 až 200 mm. Hřebíky jsou buď zaráženy ručně pomocí kladiva nebo pomocí pneumatických hřebíkovačů. [33; 46]

#### 4.6.2 Vrutky

Na rozdíl od hřebíků mají vrutky větší únosnost na tah. Vyrábějí se se zapuštěnou nebo šestihrannou hlavou.

#### 4.6.3 Svorníky

Umožňují spojení větších prvků. Na jednom konci jsou zakončené pevnou hlavou a na druhém konci zpravidla závitem pro matici, která je opatřena podložkou. Po seschnutí dřeva se spoj dotáhne. Průměr otvoru se vrtá větší, než je průměr svorníku. Pro zvýšení spoje na smyk, se mezi dřevěné prvky osazují profilované hmoždíky (geka kroužky, bulldogy). Bulldog je uveden na obrázku 23. [33; 46]



**Obrázek 23 – Bulldog [47]**

#### 4.6.4 Sponky

Používají se nerezové, pozinkované sponky. Slouží k uchycení deskových materiálů na dřevěné nosné rošty. Nejvíce jsou používány u sloupkových a panelových dřevostaveb. Pro aplikaci se používají plynové sponkovačky.

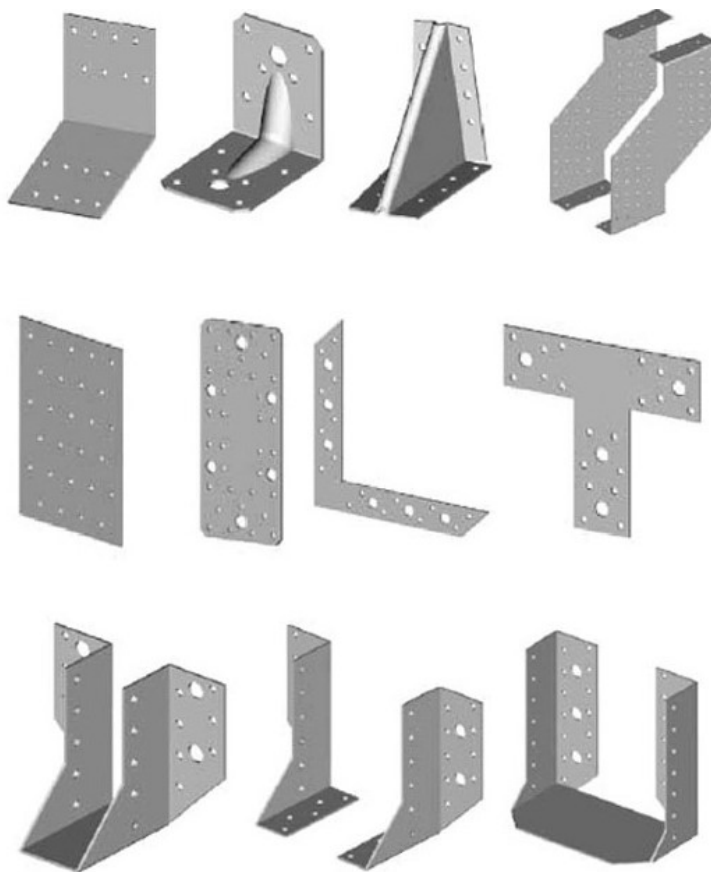
#### 4.6.5 Desky s prolisovanými trny

Jedná se o skupinu hřebíků (Gang Nail), které jsou jednostranně nebo oboustranně vylisovány z tenkých pozinkovaných plechů. Pomocí lisu jsou zalisovány do dřevěných prvků. [33]

#### 4.6.6 Systémové spojovací prostředky

V současnosti je na trhu běžně dostupný sortiment speciálních výrobků pro spojování nebo kotvení dřevěných konstrukčních prvků (viz obrázek 24). Vyrábějí se z pozinkovaných ocelových plechů o tloušťce 0,9 – 2,5 mm. Prvky jsou zpravidla opatřeny předvrtanými otvory, případně vylisovány výztuhami. Například se jedná o: úhelníkové spoje, trámové patky, zavětrovací pásy, ploché spoje, integrální spoje, patky krokví, patky do betonu a podobně. [33; 46]

V ČR tyto spojovací prvky vyrábí například firma BOVA Březnice spol. s.r.o.



**Obrázek 24** – Systémové spojovací prostředky [48]

## 4.7 Zvyšování únosnosti dřevěných prvků

Sanaci jednotlivých prvků lze zhotovit přímým zpevněním jednotlivých prvků (příložkováním, výškovým nastavením, protézováním, aplikací uhlíkových vláken), jejich nepřímým zpevněním (podepřením, odlehčením) a nebo zpevněním konstrukčních celků (spráhnutím formou dřevo – dřevo, dřevo – beton, stáhnutí ocelovými táhly).

Pro zvyšování únosnosti dřevěných prvků se používají zejména tyto metody:

- zvětšení průřezu,
- nahrazení poškozeného dřeva prvku zdravým dřevem nebo jiným materiálem,
- aplikace uhlíkových lamel nebo rohoží na bázi uhlíkových vláken.

### 4.7.1 Zvětšení průřezu

Zpevňování dřevěných konstrukcí zvětšením průřezu se používá k zesílení poškozených prvků nebo ke zvýšení nosnosti konstrukce. Používají se příložky ze dřeva (desky, hranol, vrstvené dřevo, překližka), oceli (U-profil, plát). Příložky se většinou aplikují ze dvou stran a nejčastěji spojují pomocí hřebíků nebo šroubů. Masivnější příložky se připevňují svorníky. [49]

### 4.7.2 Nahrazení poškozeného dřeva prvku zdravým dřevem nebo jiným materiálem

Jedná se o technologii, při níž se nahrazuje nebo doplňuje poškozená část nosného prvku novou částí – protézováním. Cílem je obnovit původní tuhost a pevnost prvku. Materiál, který se používá na protézování je obvykle shodný s původním materiálem (dřevo) nebo se používají i jiné materiály (jiný druh dřeva, polymerbeton v kombinaci se sklolaminátovými pruty apod.). V praxi se nejčastěji používají tesařské metody protézování využívající dřevěné protézy. [49]

### 4.7.3 Aplikace uhlíkových lamel nebo rohoží na bázi uhlíkových vláken

Uhlíkové lamely se aplikují formou externě lepené výztuže. Lamely mohou být využívány pro zvýšení ohybové pevnosti u trámů a desek, při aplikaci na boční strany trámů pak zvyšují odolnost ve smyku a obalením sloupu se zajišťuje ztužení a zvýšení únosnosti v prostém tahu.

Největší nedostatky dřevěných prvků jako je výrazná nehomogenita dřeva způsobená výskytem suků, může být pomocí uhlíkových lamel zcela eliminována. Navíc u historicky chráněných objektů je kladen důraz na to, aby původní tvar dřevěných prvků nebyl nijak esteticky narušen a toho je možné s pomocí uhlíkových lamel dosáhnout. [50]

Aplikace výztužných systémů na bázi externě lepené výztuže se skládá ze dvou základních kroků: přípravy podkladu a samotné aplikace na konstrukci. Příprava podkladu obsahuje zejména odstranění nesoudržných vrstev vysokotlakými metodami (otryskání pískem, vodou) nebo broušením. Pro úspěšnou aplikaci je nutné zajistit rovinnost podkladní vrstvy, proto v případě nerovností je nutné na podklad aplikovat vyrovnávací hmotu. Takto připravený povrch je ještě nutné zbavit prachu a přebytečné vlhkosti. Vlastní aplikace výztužného systému záleží na typu použitého výztužného prvku – lamely a výztužné profily se aplikují většinou pouze pomocí lepidla, výztužné tkaniny pak prostřednictvím laminační pryskyřice. [51]

## 5 Aplikace dřeva v rizikových podmínkách

Dřevo je často považováno za materiál s nízkou životností. Ve skutečnosti má dřevo však vysokou životnost pokud jsou při návrhu dodržena určitá pravidla. K poškození dřeva dochází především díky degradačnímu působení fyzikálních, biologických a atmosférických vlivů. [52]

Fyzikální degradační vliv je především změna vlhkosti dřeva, ke které dochází především v důsledku změn relativní vlhkosti okolního prostředí. Tím dochází ke změnám rozměrů dřeva, v materiálu vzniká vnitřní napětí a může dojít k borcení dřeva. Důležitá je rychlost změny, při pozvolné změně je poškození menší. Při rychlých změnách je i bobtnání či smršťování vnější vrstvy daleko rychlejší, mezi vnitřními a povrchovými vrstvami prvku vzniká silné vnitřní pnutí a poškození bývá rozsáhlejší. [52]

Vliv prostředí je klasifikován pomocí tříd použití dle možnosti ohrožení dřeva biotickými škůdci (viz tabulka 17).

**Tabulka 17** - Třídy použití, dle ČSN EN 335-1,2 pro rostlé dřevo v ČR [52]

Třída použ.	Všeobecné podmínky používání (expozice dřeva)	Popis vystavení účinku vlhkosti v provozních podmínkách	Výskyt biotických činitelů
1	interiér, zakryté	sucho max. 20 %	dřevokazný hmyz
2	interiér nebo zakryté	příležitostně > 20 %	dřevokazný hmyz, dřevozbarvující houby, dřevokazné houby
3	3.1 exteriér, bez styku se zemí, chráněné	příležitostně > 20 %	dřevokazný hmyz, dřevozbarvující houby, dřevokazné houby
	3.2 exteriér, bez styku se zemí, nechráněné	často > 20 %	
4	4.1 exteriér, v kontaktu se zemí a/nebo sladkou vodou	převážně nebo trvale > 20 %	dřevokazný hmyz, dřevozbarvující houby, dřevokazné houby, houby způsobující měkkou hnilobu
	4.2 exteriér, v kontaktu se zemí (zcela) a/nebo sladkou vodou	trvale > 20 %	
5	v mořské vodě	trvale > 20 %	dřevokazný hmyz v částech nad vodou, dřevozbarvující houby, dřevokazné houby, houby způsobující měkkou hnilobu, mořští škůdci dřeva

Konstrukční zásady ochrany dřevěných konstrukcí uvádí ČSN 73 1701. Dřevo je třeba chránit proti vlhkosti, hnilobě, hmyzu, požáru a dalším vlivům. Dřevěné konstrukce mají být přístupné pro kontrolu jejich stavu. Zvláštní pozornost je třeba věnovat částem, které budou vystavené kolísání vlhkosti, případně, které nebudou přístupné pro kontrolu jejich stavu.



Ochrana se zajišťuje vhodným konstrukčním řešením, které zamezuje navlhování dřeva a zabezpečuje trvalé provětrávání konstrukce.

V prostorách s vysokou relativní vlhkostí vzduchu (plavecké stadióny), je nutné chránit dřevěné konstrukce pomocí řízeného odvětrávání, tak aby nedocházelo ke vzniku biologických degradačních činitelů.

Dalšími příčinami poškození dřeva je biologická a atmosférická koroze, které jsou v této práci zmíněny v kapitole č. 6 – **Ochrana dřeva před degradací**.

## 6 Ochrana dřeva před degradací

Dřevo a konstrukce ze dřeva mají kromě řady nesporných výhod a předností i některé nedostatky. V první řadě je to hořlavost, dále je nedostatkem degradovatelnost biotickými a abiotickými činiteli. Dřevokazný hmyz a houby způsobují rozsáhlé škody na zabudovaném dřevě. Při zachování určitých základních pravidel je možné poškození dřeva a výrobků ze dřeva minimalizovat.

Pro zvýšení přirozené kvality dřeva se nejčastěji používá chemická ochrana dřeva, která zvyšuje odolnost proti abiotickým vlivům (slunečnímu záření, emisím, apod.) a biologickým škůdcům (houbám, hmyzu, apod.). Chemická ochrana se na povrch dřeva nebo do jeho určité hloubky nanáší nátěrem, nástřikem, máčením a jinými beztlakovými technologiemi, chce-li se dosáhnout většího průniku do dřeva, tak i podtlakovo-přetlakovými technologiemi v impregnačních kotlích. Důležitým úkolem chemické ochrany je i pomoc při likvidaci biologických škůdců už v infikovaném dřevu. [53]

Prostředky pro chemickou ochranu dřeva obsahují zpravidla jednu nebo více směrově účinných látek a různé průvodní látky. Směrově účinné látky jsou aktivní komponenty ochranných prostředků a podle účinku je dělíme na:

- baktericidy (účinné proti bakteriím),
- fungicidy (účinné proti dřevokazným houbám, dřevozbarvujícím houbám a plísním),
- insekticidy (zabraňují hmyzu požírat zdravé dřevo nebo likvidují hmyz v infikovaném dřevu),
- retardéry hoření (snižují hořlavost dřeva),
- inhibitory chemické koroze (zvyšují odolnost dřeva proti agresivním chemikáliím),
- inhibitory povětrnostní koroze (zvyšují odolnost dřeva proti atmosferickým vlivům).

Průvodními látkami jsou pomocné látky (rozpouštědla, ředidla, emulgátory, pigmenty, barviva, stabilizátory), které zajišťují požadovanou aplikovatelnost a pozitivně ovlivňují jejich stabilitu. [53]

Například pro ochranu proti hmyzu i houbám se používá LIGNOFIX EKO, proti hmyzu, houbám a ohni se používá BORONIT, proti ohni, houbám preventivně proti hmyzu se používá PYRONIT 15, proti houbám, hmyzu a plísním se používá BOCHEMIT QB a LASTANOX D. Proti

povětrnostním vlivům se dřevo chrání pomocí protivětrnostních nátěrů, filmotvornými a lazurovacími nátěry nebo penetračními systémy schopnými vnikat hlouběji do dřeva.

Preventivní opatření jsou nejlevnějším a nejvýhodnějším řešením zachování „zdravých“ dřevěných konstrukcí. Následně vzniklé škody jsou poté náročně identifikovatelné, ještě hůře se některé odstraňují. Jednou z možností odstraňování napadeného dřeva je sterilizace, kdy se dřevo sterilizuje pomocí teplého vzduchu, mikrovln nebo pomocí toxických či interních plynů. Po sterilizaci, která je dočasným opatřením, je však nutné komplexní řešení. Někdy je nutné odstranění poškozené části konstrukce a nahrazení jí částí novou. Nevhodně použité dřevo může přestat plnit svojí funkci už během jednoho či dvou let od jeho montáže. [54]

Korozi dřeva rozdělujeme na atmosférickou a biologickou.

## 6.1 Atmosférická koroze dřeva

Atmosférická koroze je způsobena především povětrnostními vlivy. Probíhá vždy s větší nebo menší intenzitou a rychlostí, v závislosti na vlhkostních podmínkách, teplotních, světelných i atmosférických podmínkách. Největší vliv na atmosférickou korozi dřeva má voda a sluneční záření. Jednou z největších příčin degradace dřeva je vystavování dřeva změnám vlhkosti. Změny vlhkosti způsobují bobtnání a sesychání dřeva, v důsledku toho se na povrchu dřeva vyskytují trhlinky, které se postupně rozšiřují a prohlubují. Trhlinky pak tvoří vhodné prostředí pro růst plísní a následně rozvoj dřevokazných hub. [55; 56]

## 6.2 Biologická koroze dřeva

Biologickou korozi dřeva způsobují biologičtí škůdci – živé organismy, které za určitých podmínek parazitují na dřevě. Především jde o plísně, bakterie, houby, hmyz a hlodavce. [55]

Plísně způsobují hlavně estetické škody, často se vyskytují bezprostředně před napadením dřeva nebezpečnějšími dřevokaznými houbami. Dřevozbarvující houby a plísně rozkládají hlavně původní látky ve dřevě, nemají však schopnost rozkládat makromolekulární složky buněčných stěn. Proces napadení plísněmi lze zastavit odstraněním podmínek k jejich životu, je třeba dřevo vysušit a zajistit větrání. [57]

### Rizikové hodnoty pro biologické napadení:

**Dřevokazné houby** – vlhkost dřeva 18–20 % nebo vyšší (cca 85 – 90 % relativní vlhkosti) a teplota v rozmezí od 2 do 40 °C.

**Dřevokazný hmyz** – vlhkost dřeva 12 % nebo vyšší (cca 60 % relativní vlhkosti) a teplota nad 10 °C.

Dřevo s vlhkostí pod 12 % (pod cca 60 % relativní vlhkosti) je přirozeně odolné proti všem biotickým škůdcům. [52]

#### 6.2.1 Dřevokazné houby

Dřevokazné houby nepotřebují ke svému parazitování na dřevě vysokou vlhkost ani teplotu jako plísně, ale dřevo s vlhkostí menší než 18 % nebývá houbami napadeno. Dělí se podle několika hledisek. Nejčastější dělení je podle hlavní složky dřeva, kterou houby napadají.

**Celuzovorní houby** – v našich podmínkách převažují, napadají hlavně jehličnany. Jedná se o „hnědou hnilobu“. Jejimi hlavními představiteli jsou: dřevomorka domácí a konifora sklepní.

**Ligninovorní houby** – napadají převážně listnaté stromy. Jedná se o „bílou hnilobu“. [55; 57]

Nebezpečí dřevokazných hub spočívá v tom, že způsobují totální rozpad dřevní hmoty a dřevo během napadení nevykazuje objemové změny. Houby se šíří poměrně rychle po dřevěných částech stavby.

Mezi nejrozšířenější dřevokazné houby patří:

**Dřevomorka domácí** je nenáročná a nejnebezpečnější dřevokazná houba. Nejvhodnější podmínky pro ni jsou teplota do 30°C, vlhkost okolo 20% a minimální cirkulace vzduchu. Roste ve sklepích, pod podlahou nebo na krovech. Způsobuje hnilobu a tmavnoucí dřevo, které se rozpadá na části až na prach.

**Konifora sklepní** způsobuje hnilobu a rozpad dřeva na kousky až na prach. Daří se jí ve vlhkém prostředí okolo 40% vlhkosti, vhodná pro ni je teplota do 35°C. Napadené dřevo je mokré, žlutohnědé a později tmavohnědé.

**Trámovka** se nejčastěji vyskytuje v místech, kam zatéká voda. Nejčastěji způsobuje škody v exteriéru. Bývá příčinou hniloby napadeného dřeva, které se ve stádiu vnitřního ztrouchnivění nerozpadne.

**Čechratka sklepní** se nejčastěji vyskytuje ve tmavých a vlhkých prostorech, sklepích a vlhkých stavbách na podlaze a na venkovním zastavěném dřevě. [55]

### 6.2.2 Dřevokazný hmyz

Dřevokazný hmyz napadá poloopracované dřevo, stavební konstrukce a krovky. Poškozuje dřevo přímo i nepřímo. Přímo poškozuje dřevo larvy i dospělý hmyz, které vyhlodávají spleť chodeb skrytých pod povrchem dřeva s vletovými a výletovými otvory. Při větším napadení se chodbičky spojují. Časem je dřevo znehodnoceno, ztrácí pevnost a rozpadá se. Nepřímé škody vznikají tak, že dřevokazný hmyz zavléká do chodeb vyhlodanými larvami některé plísně, a tím je rozšiřuje. [58]

Mezi nejrozšířenější dřevokazný hmyz patří:

**Červotoč proužkovaný** je 3-4 mm dlouhý, tmavohnědý hmyz. Napadá především jehličnaté dřevo, výjimečně i listnaté, opracované i již několik let používané. Charakteristické je, že trámy napadá jen na vnitřní straně místnosti. Venkovní stranu stěn a trámů nepoškozuje. Je schopný přežít v teplotě až 46°C.

**Červotoč umrlčí** je větší než červotoč proužkovaný (dosahuje délky 4 až 5 mm). Celé tělo je černohnědé, jen na štítu u obou zadních rohů jsou zlatožluté skvrnky. V ostatním se podobá červotoči proužkovanému. Napadá jehličnaté i listnaté dřevo v místech vystavených působení zimních mrazů.

**Tesařík krovový** patří spolu s červotočem proužkovaným a umrlčím k největším škůdcům opracovaného dřeva. Je dlouhý 10 – 20 mm, smolně hnědý se dvěma nezřetelnými příčnými pruhy ve středu krovek. Napadá jehličnaté dřevo.

**Dřevokaz čárkovaný** je dlouhý 3 – 4 mm. Hlava a štít jsou hnědožluté až červenavé, krovky bledě žluté s postranním tmavým podélným okrajem. Dřevokaz škodí všem jehličnatým dřevinám.

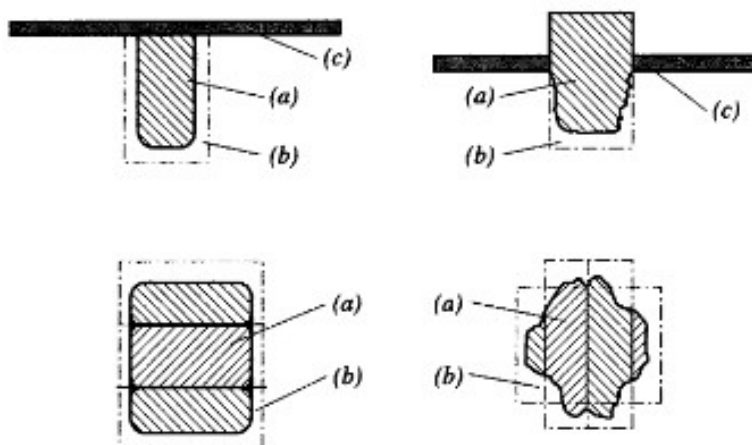
**Pilořitka velká** klade vajíčka do poloopracovaného dřeva. Larvy se vyvíjejí 2 – 3 roky. Vylíhlý jedinec se provrtává ven a nechává kulatý otvor o průměru 5 – 7 mm. Pilořitka se vyskytuje hlavně v borovém, smrkovém a modřínovém dřevu.

**Mravenci dřevokazi** měří 7 – 14 mm a jsou černí. Žijí ve dřevě a pronikají do stavení stojících na okraji lesů. Často žijí v symbióze s červotoči a tesaříky. Mravenci přenášejí do dřeva houby a plísně a tím urychlují degradaci dřeva. [58]

## 7 Ochrana dřeva proti požáru

Mezi jeden z hlavních nedostatků dřeva patří, snadná zápalnost a hořlavost. Příčinou tohoto nedostatku je, že dřevo je organická hmota složená převážně z uhlíku 50 %, kyslíku 42 % a vodíku 5 %. Při praktickém používání dřeva ve stavbách a hodnocení požárního rizika to znamená, že ze 3 základních podmínek pro vznik a hoření požáru (přítomnost hořlaviny, kyslíku a dostatečná zápalná teplota) jsou u dřeva vždy přítomny první dva jmenované faktory. Proto v minulosti se zastával názor, že dřevo je nevhodným stavebním materiálem, opak je ale pravdou. Správně nadimenzované trámy zachovávají při požárech svojí stabilitu a únosnost déle než např. železobetonové nebo ocelové konstrukce. [59]

Navrhování dřevěných konstrukcí na účinky požáru se řídí dle ČSN EN 1995-1-2 *Obecná pravidla – navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Odolnost dřevěných konstrukcí určuje zejména rychlost a hloubka jejich zuhelnatění (viz obrázek 25).



**Obrázek 25** – Nosníky před a po namáhání požárem [57]

(a - zbytkový průřez, b - vrstva dřevěného uhlí, c - požárně ochranná vrstva)

Pro posouzení se používá jedna ze dvou metod: metoda redukovaného průřezu nebo metoda redukovaných vlastností.

Dřevěné prvky lze proti účinkům požáru chránit pomocí nátěrů nebo vhodnými obklady. Žádnou ochranou dřeva nelze učinit dřevo naprosto nehořlavým. Dochází však ke snížení rychlosti hoření a šíření ohně po jeho povrchu.

## 7.1 Obkladové protipožární systémy

Jako obklad se nejčastěji používají např. sádrokartonové desky, CETRIS desky, obalení minerální nebo skelnou vatou, omítnutí vápennou maltou. Nevýhodou obkladu je, že není zachován vzhled dřeva, výhodou je dosažení vysoké požární odolnosti.

## 7.2 Nátěrové protipožární systémy

Na základě funkce a účelu rozeznáváme tyto protipožární nátěrové systémy: **zábranové, zpěnitelné a sublimující.**

### 7.2.1 Zábranový nátěrový systém

Tento nátěrový systém brání přístupu plamene k povrchu chráněného předmětu a během určité doby jeho vznícení, ale i potom zábranové systémy omezují přístup kyslíku a tím brání šíření plamene po povrchu. Vzhledem ke svému složení mají vysokou účinnost, která je srovnatelná s nátěry zpěnitelnými. Oproti zpěňujícím nátěrům ale nemají žádnou izolační schopnost. [60; 61]

### 7.2.2 Zpěnitelný nátěrový systém

Zpěnitelný nebo-li intumescentní nátěr v současnosti patří mezi nejrozšířenější protipožární nátěrové hmoty. Tento systém je založen na několikanásobném zvětšení svého objemu při působení vysokých teplot. Princip těchto nátěrů je v chemické reakci iniciované vyššími teplotami při požáru. Při průběhu chemické reakce se vytváří na povrchu dřevěné konstrukce objemný uhlíkatý zbytek, který brání přístupu plamene k povrchu a zároveň tvoří tepelně izolační vrstvu. Zpěnitelný nátěr nesmí být dodatečně zakryt jinou konstrukcí, nátěr totiž potřebuje dostatečný prostor pro vytvoření ochranné pěny a jakýkoliv obklad prostor pro vytvoření pěny omezuje. [60; 61]

### 7.2.3 Sublimující nátěrový systém

Jedná se kombinaci zábranového a zpěnitelného systému. Podstatou je poměrně silná, obvykle skleněnými vlákny či rohožemi vyztužená vrstva snadno se teplem rozkládajících a sublimujících aditiv v polymerním, obvykle epoxidovém pojivu, která se při vyšších teplotách začíná odpařovat (sublimovat). Odcházejí plyny strhující plamen a ochlazují povrch, na kterém jsou nanášeny. Tento systém je možné použít i v extrémních podmínkách. Výjimečný je svojí stálostí a dlouhou životností. Nevýhodou je jeho vysoká cena. [60; 61]

## PRAKTICKÁ ČÁST:

### 8 Požární experiment

V kapitole **8.1 Výpočet plochy zbytkového průřezu** je proveden výpočet zbytkového průřezu prvku při požárním zatížení 15 min. V kapitole **8.2 Studentský experiment** je uveden průběh a výsledky jednoduchého studentského experimentálního měření.

#### 8.1 Výpočet plochy zbytkového průřezu

Výpočet je proveden pro sloup ze smrkového dřeva průřezu 100 x 100 mm a pevnostní třídy C24. Doba požárního zatížení je 15 minut.

**Čtvercový průřez:**  $a = 100 \text{ mm}$   
 $A = 100^2 = 10\,000 \text{ mm}^2$

##### 8.1.1 Zbytkový průřez je uvažován jako ostrohranný

Neuvažuje se zaoblení hran. Rychlost zuhelnatění je určena z tabulky 18 pro rostlé dřevo z jehličnatých dřevin.

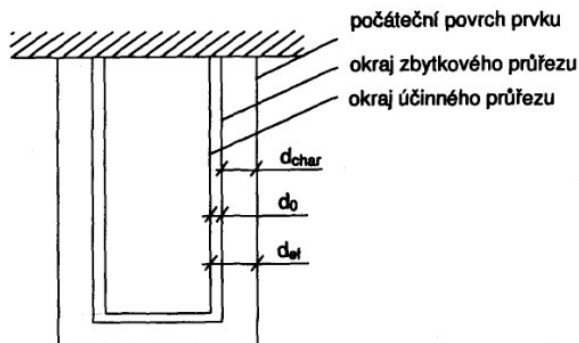
**Tabulka 18** - Návrhová rychlost zuhelnatění  $\beta_0$  [62]

Materiál		$\beta_0$ mm/min
Rostlé dřevo z jehličnatých dřevin	$s \rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$ a $\min a \geq 35 \text{ mm}$	0,8
Lepené lamelové dřevo z NH	$s \rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7
Dřevěné bednění	$s \rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ a $t_p = 20 \text{ mm}$	0,9
Rostlé dřevo z listnatých dřevin	$s \rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,5
Lepené lamelové dřevo z jehličnatých dřevin	$s \rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,5
Dub		0,5
Rostlé dřevo z listnatých dřevin	$s \rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7
Lepené lamelové dřevo z listnatých dřevin	$s \rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7
Překližka	$s \rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ a $t_p = 20 \text{ mm}$	1,0
Materiály na bázi dřeva	$s \rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ a $t_p = 20 \text{ mm}$	0,9



**Jehličnaté dřevo:** hustota dřeva:  $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$   
rychlost zuhelnatění:  $\beta_0 = 0,8 \text{ mm/min}$

Na obrázku 26 je zobrazen zbytkový a účinný průřez.



**Obrázek 26** – Definice zbytkového a účinného průřezu [62]

#### Zuhelnatění:

Návrhová hloubka zuhelnatění se určí dle vztahu (5), kde  $d_{char}$  je návrhová délka zuhelnatění,  $\beta_0$  - rychlost zuhelnatění a  $t$  je doba vystavení účinkům požáru.

$$d_{char} = t \cdot \beta_0 \quad (5)$$

$$d_{char} = 15 \cdot 0,8 = \mathbf{12 \text{ mm}}$$

#### Plocha zbytkového průřezu:

$$a_f = a - 2 \cdot d_{char} \quad (6)$$

$$a_f = 100 - 2 \cdot 12 = \mathbf{76 \text{ mm}}$$

$$A_f = a_f \cdot a_f \quad (7)$$

$$A_f = (100 - 2 \cdot 12) \cdot (100 - 2 \cdot 12) = \mathbf{5\,776 \text{ mm}^2}$$

#### 8.1.2 Zbytkový průřez je uvažován se zaoblením hran

Uvažuje se se zaoblením hran. Počítá se s menší rychlostí zuhelnatění  $\beta$ .

**Tabulka 19** - Návrhová rychlost zuhelnatění  $\beta$ . Zaoblení hran je nutno uvážit. [62]

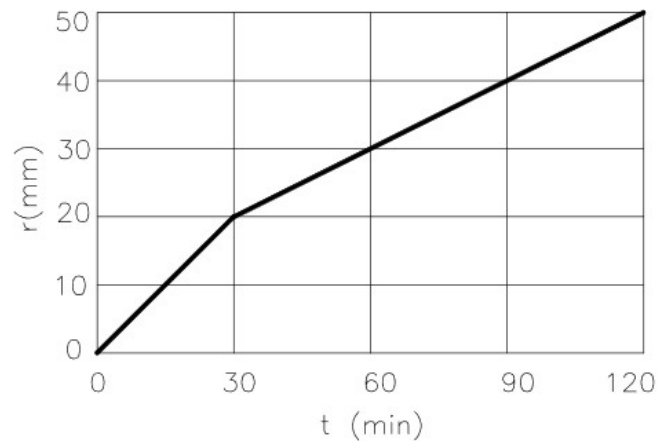
Materiál		$\beta$ mm/min
Rostlé dřevo z jehličnatých dřevin	$s \rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,67
Lepené lamelové dřevo z jehličnatých dřevin	$s \rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,64
Rostlé dřevo z listnatých dřevin	$s \rho_{mean} \geq 350 \text{ kg/m}^3$	0,54
Lepené lamelové dřevo z listnatých dřevin	$s \rho_{mean} \geq 350 \text{ kg/m}^3$	0,54

**Jehličnaté dřevo:** hustota dřeva:  $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$

rychlost zuhelnatění:  $\beta = 0,67 \text{ mm/min}$

**Zuhelnatění:**  $d_{\text{char}} = t \cdot \beta$  (5)

$$d_{\text{char}} = 15 \cdot 0,67 = \mathbf{10 \text{ mm}}$$



**Graf 4 - Poloměr čáry zuhelnatění v rozích, v závislosti na čase [62]**

**Poloměr v rozích:** Z grafu 4 je určen poloměr v rozích na 10 mm při době požárního zatížení 15 minut.

$$r = \mathbf{10 \text{ mm}}$$

**Plocha zbytkového průřezu:**

$$a_f = a - 2 \cdot d_{\text{char}} \quad (6)$$

$$a_f = 100 - 2 \cdot 10 = \mathbf{80 \text{ mm}}$$

$$A_f = a_f \cdot a_f - r^2 (4 - \pi) \quad (8)$$

$$A_f = (100 - 2 \cdot 10) \cdot (100 - 2 \cdot 10) - 10^2 (4 - \pi) = \mathbf{6\,314 \text{ mm}^2}$$

### 8.1.3 Tabulkové srovnání výsledků

Z tabulky 20 je zřejmé, že při uvažování zbytkového průřezu jako ostrohranného je plocha průřezu menší než u průřezu se zaoblenými hranami. To znamená, že zbytkový ostrohranný průřez je na straně bezpečnosti.

**Tabulka 20** – Porovnání ploch zbytkového průřezu [autor]

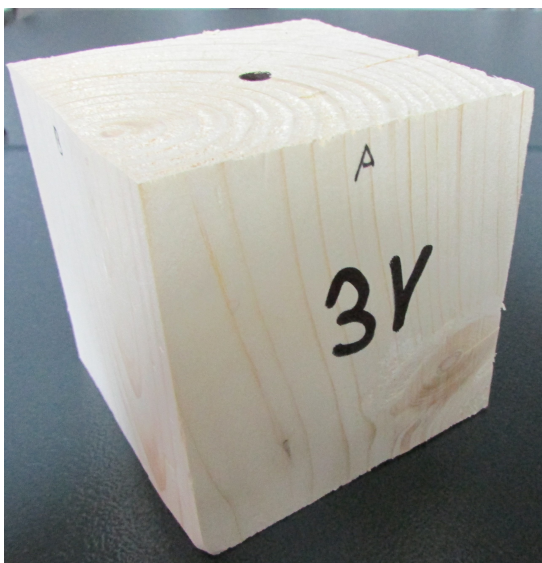
	Rychlost zuhelnatění	Zuhelnatění	Délka strany průřezu	Plocha průřezu
	$\beta$ (mm/min)	$d_{char}$ (mm)	$a_f$ (mm)	$A_f$ (mm <sup>2</sup> )
Zbytkový průřez uvažovaný jako ostrohranný	0,8 mm/min	12 mm	76 mm	5 776 mm <sup>2</sup>
Zbytkový průřez uvažovaný se zaoblením hran	0,67 mm/min	10 mm	80 mm	6 314 mm <sup>2</sup>

## 8.2 Studentský experiment

Předmětem experimentu je provedení a zpracování výsledků zkoušky jednoduchého studentského experimentu požární odolnosti dřeva.

### 8.2.1 Předmět zkoušky

Předmětem experimentu je provedení zkoušky požární odolnosti na dřevěné krychli o rozměrech 100 x 100 x 100 mm (viz obrázek 27). Vzorek je z jehličnatého smrkového dřeva pevnostní třídy C24.



**Obrázek 27** – Vzorek pro provedení zkoušky požární odolnosti [autor]

### 8.2.2 Provedení zkoušky

Dřevěné krychle byly zavěšeny na ocelový drát a poté byly zatěžovány požárním zatížením po dobu 15 minut. Jako zdroj požárního zatížení byly použity propan butanové lahve (viz obrázek 28) s hořákem na propan butan (viz obrázek 29).



**Obrázek 28** – Propan Butanové lahve [autor]

Vzorky byly požárem zatěžovány ve směru vláken (vzorky: 1V, 2V, 3V, 4V) a ve směru kolmo na vlákna (vzorky: 1K, 2K, 3K, 4K). Každou minutu byly prováděny snímky teplot na povrchu krychle (viz obrázky 31, 32). Na vzorky (1V, 2V, 1K, 2K) byly použity pro dosažení vyšších teplot dřeva vždy dva hořáky současně. Vzorky (3V,4V, 3K, 4K) byly zatěžovány pouze jedním plynovým hořákem.





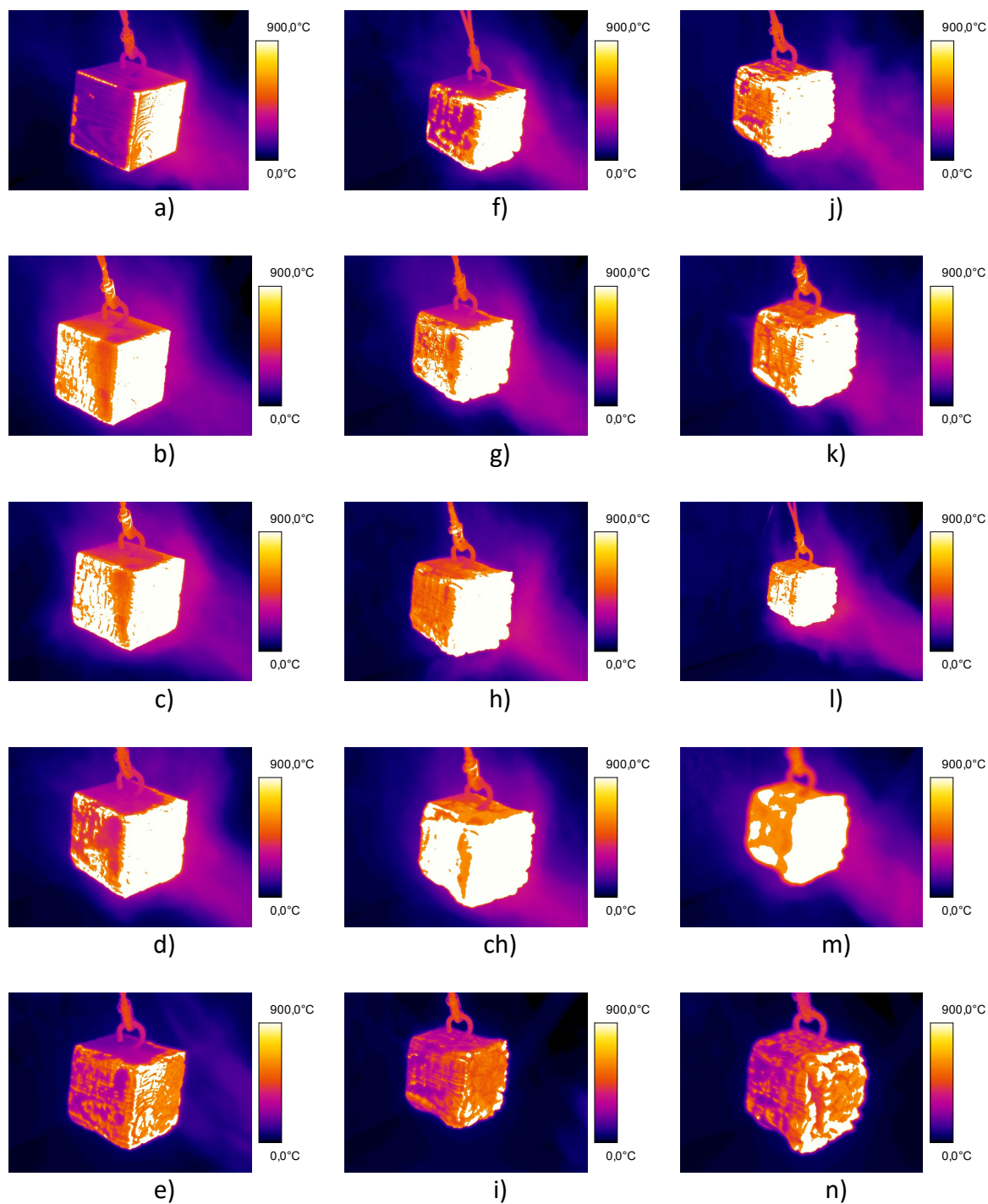
**Obrázek 29** – Provádění požárního experimentu [autor]

### 8.2.3 Měření teploty vzorku

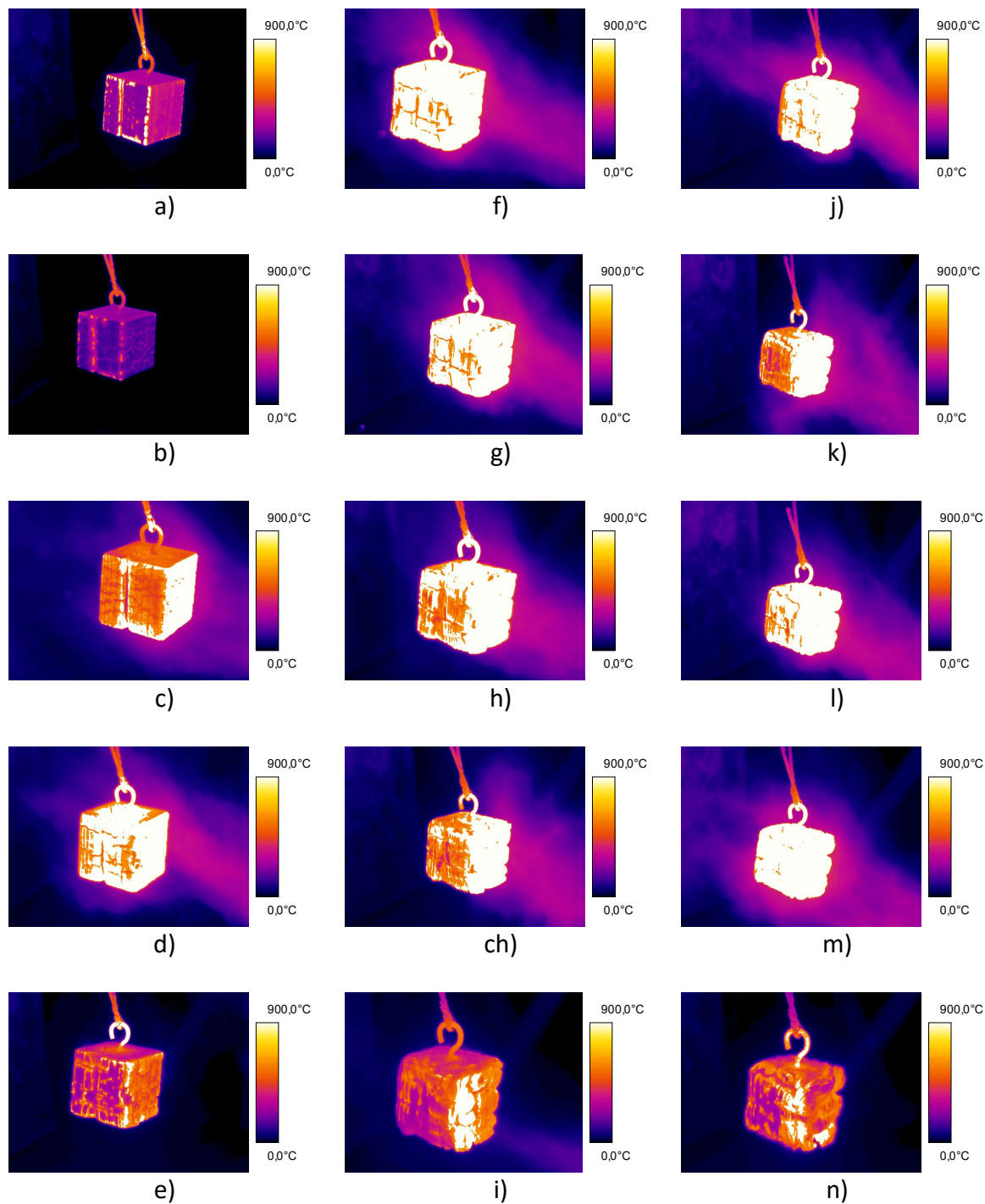
Teplota vzorku byla měřena pomocí termokamery FLIR T620 (viz obrázek 30).



**Obrázek 30** – Termokamera Flir T620 [autor]



**Obrázek 31** – Termosnímky při zatížení požárem ve směru vláken, vzorek 1V [autor]  
(a – termosnímek po 1 minutě, b – po 2 min, c – po 3 min, d – po 4 min, e – po 5 min, e – po 6 min, f – po 7 min, h – po 8 min, ch – po 9 min, i – po 10 min, j – po 11 min, k – po 12 min, l – po 13 min, m – po 14 min, m – po 15 min)



**Obrázek 32** – Termosnímky při zatížení požárem kolmo na vlákna, vzorek 1K [autor]  
(a – termosnímek po 1 minutě, b – po 2 min, c – po 3 min, d – po 4 min, e – po 5 min, e – po 6 min, f – po 7 min, h – po 8 min, ch – po 9 min, i – po 10 min, j – po 11 min, k – po 12 min, l – po 13 min, m – po 14 min, m – po 15 min)



Na obrázcích 31, 32 jsou zobrazeny snímky z termografického měření vzorků 1V a 1K. Měření ostatních vzorků není převratně odlišné. Snímky a – n jsou zhotoveny vždy po 1 minutě. U vzorku 1V byl plynový hořák ztlumen po 5 minutách hoření (viz na obrázku 32 snímky e, i, n), u vzorku 1K byl plynový hořák ztlumen jako u vzorku 1V a ještě při první a druhé minutě měření (snímky a, b).

Termokamera Flir T620 má teplotní rozsah měření od - 40 °C do + 650 °C a nemá teplotní filtr. V softwaru bylo možné dostat se k teplotám 900 °C, avšak absence teplotního filtru v kameře neumožňuje dostat se k teplotám vyšším než 900 °C. Teplota hoření dřeva přesahuje 1000 °C. Změřené teploty nelze tedy považovat za reálně dosažené teploty hoření dřeva během měření.

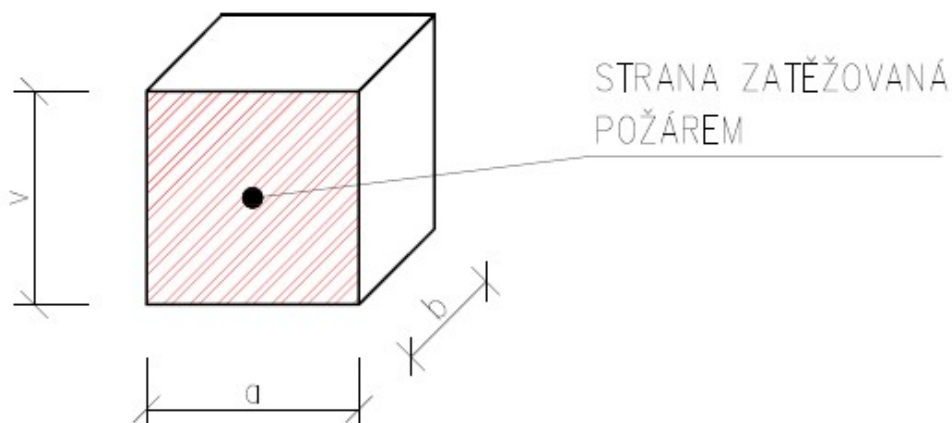
Povrchové teploty se liší i podle toho, jestli v okamžiku snímkování povrch vzorku samovolně hořel, nebo nikoliv. Z uvedených fotek je zřejmé že, vzorek 1K, který je zatěžován kolmo na vlákna hoří víc než vzorek zatěžovaný rovnoběžně s vlákny 1V. Je to způsobeno tím, že u vzorků zatěžovaných kolmo k vláknům dochází k praskání povrchu a tím se zvětšuje povrch vystavený teplu a kyslíku.

#### 8.2.4 Teplota okolí

Teplota okolí během zkoušky byla 0°C a vlhkost vzduchu 60%.

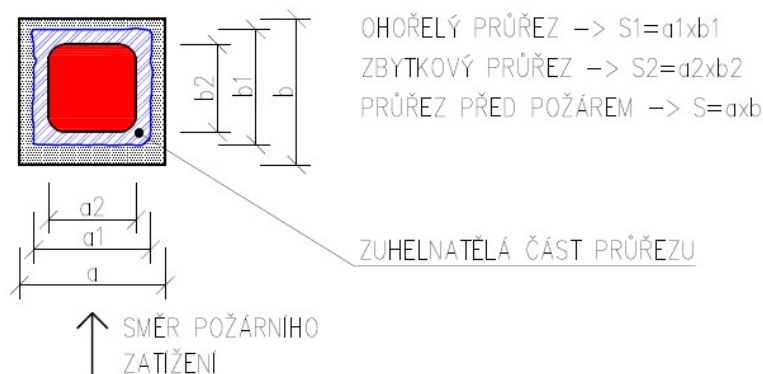
#### 8.2.5 Výsledky zkoušky

V uvedených tabulkách 21 a 22 jsou uvedeny rozměry, objem a hmotnost vzorků před požárem a po požáru. Po požáru byly vzorky změřeny se zuhelnatělou částí - ohořelý vzorek (viz obrázky 35, 36). Poté byl proveden půdorysný řez vzorkem (rovnoběžný s plamenem hořáku) a byl změřen zbytkový průřez dřevěné části vzorku.



**Obrázek 33** – Schéma vzorku zatěžovaného požárem [autor]





**Obrázek 34** – Schéma půdorysu vzorku s vyznačením jednotlivých částí [autor]

Na obrázcích 33, 34 jsou označeny strany vzorku, jednotlivé části ploch vzorků a směr požárního zatížení.

**Tabulka 21** – Porovnání rozměrů a hmotností vzorků před a po požáru ve směru vláken [autor]

Rozměry a hmotnost vzorů před a po požáru ve směru vláken							
Číslo vzorku		Rozměry vzorku			Plocha průřezu	Objem vzorku	Hmotnost vzorku
		a (mm)	b (mm)	v (mm)	(mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	m (g)
1V	Vzorek před požárem	99	100	101	9900	999900	460
	Ohořelý vzorek	90	90	90	8100	729000	157
	Zbytkový průřez	65	70	-	4550		
	Procentuální podíl ohořelého vzorku k původnímu					<b>73%</b>	<b>34%</b>
2V	Vzorek před požárem	99	100	101	9900	999900	412
	Ohořelý vzorek	90	90	85	8100	688500	185
	Zbytkový průřez	70	75	-	5250		
	Procentuální podíl ohořelého vzorku k původnímu					<b>69%</b>	<b>45%</b>
3V	Vzorek před požárem	99	101	100	9999	999900	467
	Ohořelý vzorek	95	95	95	9025	857375	304
	Zbytkový průřez	80	80	-	6400		
	Procentuální podíl ohořelého vzorku k původnímu					<b>86%</b>	<b>65%</b>
4V	Vzorek před požárem	100	99	100	9900	990000	397
	Ohořelý vzorek	95	95	95	9025	857375	265
	Zbytkový průřez	80	80	-	6400		
	Procentuální podíl ohořelého vzorku k původnímu					<b>87%</b>	<b>67%</b>



**Obrázek 35** – Ohořelé vzorky vystavené požáru rovnoběžně s vlákny [autor]  
(zleva vzorky: 1V, 2V, 3V, 4V)

**Tabulka 22** – Porovnání rozměrů a hmotností vzorků před a po požáru kolmo na vlákna [autor]

Rozměry a hmotnost vzorků před a po požáru kolmo na vlákna							
Číslo vzorku		Rozměry vzorku			Plocha průřezu	Objem vzorku	Hmotnost vzorku
		a (mm)	b (mm)	v (mm)	(mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	m (g)
1K	Vzorek před požárem	100	99	100	9900	990000	402
	Ohořelý vzorek	85	80	80	6800	544000	109
	Zbytkový průřez	65	60	-	3900		
	Procentuální podíl ohořelého vzorku k původnímu					55%	27%
2K	Vzorek před požárem	100	99	100	9900	990000	409
	Ohořelý vzorek	85	85	90	7225	650250	153
	Zbytkový průřez	70	70	-	4900		
	Procentuální podíl ohořelého vzorku k původnímu					66%	37%
3K	Vzorek před požárem	100	99	100	9900	990000	425
	Ohořelý vzorek	90	85	95	7650	726750	266
	Zbytkový průřez	80	75	-	6000		
	Procentuální podíl ohořelého vzorku k původnímu					73%	63%
4K	Vzorek před požárem	99	100	99	9900	980100	425
	Ohořelý vzorek	85	85	90	7225	650250	225
	Zbytkový průřez	80	80	-	6400		
	Procentuální podíl ohořelého vzorku k původnímu					66%	53%

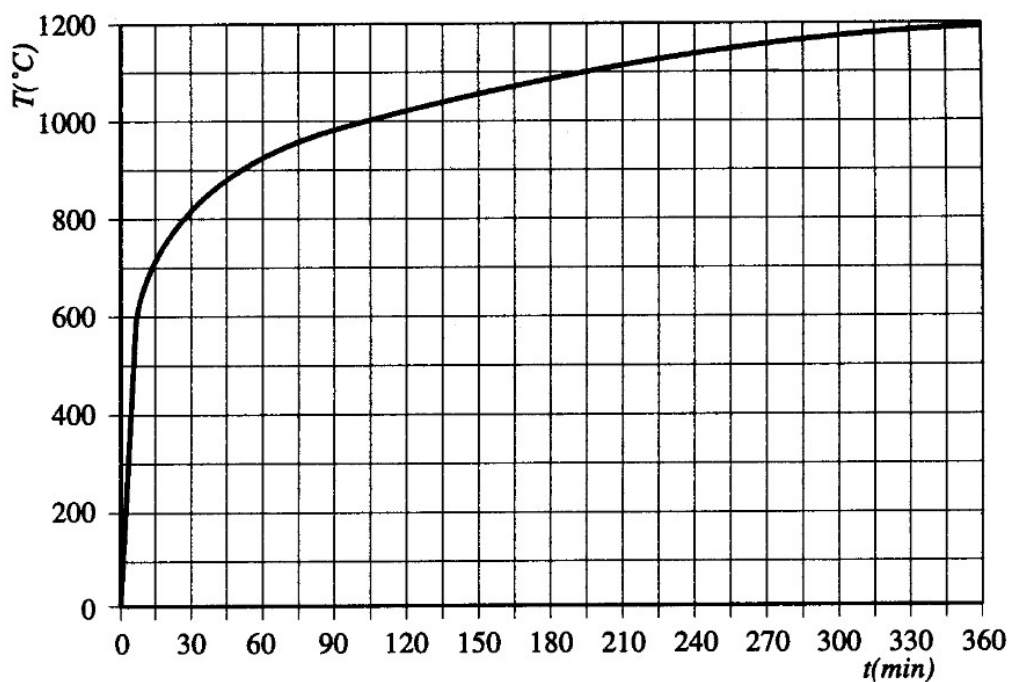


**Obrázek 36** – Ohořelé vzorky vystavené požáru kolmo na vlákna [autor]  
(zleva vzorky: 1K, 2K, 3K, 4K)

Dřevo má ve výpočtech stanovenou rychlost odhořívání pomocí koeficientu  $\beta$  (mm/s). Konkrétní hodnoty součinitele  $\beta$  jsou stanoveny pro různé typy dřevin a danou hustotu dřeva, podle laboratorní zkoušky, jejíž postup je stanoven normou. Při laboratorním měření se vychází z normové teplotní křivky (viz graf 5), podle které jsou v laboratorní peci nastavovány teploty průběhu požáru v čase. V podmínkách v kterých jsem zkoušku požární odolnosti prováděl, nebylo možné nastavovat zdroj požáru (tepla) dle normové křivky, proto jsem zkoušel dvě varianty zatížení požárem s jedním a dvěma plynovými hořáky. Samozřejmě výsledky měření a výpočtové hodnoty nelze přímo porovnávat, protože podmínky pro měření byly studentské a je potřeba je brát s nadhledem. Jedná se o jednoduchý experiment s výraznými omezeními. Cílem měření bylo ověření některých předpokladů, nikoliv dosažení nějakých zásadních výsledků. Dle hodnot, uvedených v tabulce 23 je patrné že, výsledkům výpočtů se blíží více hodnoty z měření, kde požární zatížení tvořil jeden plynový hořák. Tedy testy vzorků: 3V, 4V, 3K, 4K. V tomto případě se výpočtová plocha zbytkového průřezu (ostrohranného a se zaoblenými rohy) nejvíce přibližuje rozměrům zbytkového průřezu z mého měření.

**Tabulka 23 – Porovnání plochy průřezů před a po požáru [autor]**

Celkové srovnání plochy průřezu vzorků								
Plocha průřezu (mm <sup>2</sup> )	Požární zatížení dvěma plynovými hořáky				Požární zatížení jedním plynovým hořákem			
	1V	2V	1K	2K	3V	4V	3K	4K
Před požárem	9900	9900	9900	9900	9999	9900	9900	9900
Ohořelý průřez (včetně zuhelnatělé části)	8100	8100	6800	7225	9025	9025	7650	7225
Zbytkový průřez	4550	5250	3900	4900	6400	6400	6000	6400
Výpočet - zbytkový průřez ostrohranný	5776							
Výpočet - zbytkový průřez se zaoblenými rohy	6314							



**Graf 5 – Normová teplotní křivka [37]**

**Tabulka 24** – Porovnání průměrných hodnot (rozměru, objemu a hmotnosti) před a po požáru [autor]

Srovnání vzorků před a po požáru									
Průměrné hodnoty		Požární zatížení jedním plynovým hořákem				Požární zatížení dvěma plynovými hořáky			
		Požár ve směru vláken dřeva		Požár kolmo na vlákna dřeva		Požár ve směru vláken dřeva		Požár kolmo na vlákna dřeva	
Plocha průřezu vzorku	Před požárem (mm <sup>2</sup> )	9950	100%	9900	100%	9900	100%	9900	100%
	Ohořelý průřez (mm <sup>2</sup> )	9025	91%	7438	75%	8100	82%	7013	71%
	Zbytkový průřez (mm <sup>2</sup> )	6400	64%	6200	63%	4900	49%	4400	44%
Objem vzorku	Před požárem (mm <sup>3</sup> )	994950	100%	985050	100%	999900	100%	990000	100%
	Po požáru (mm <sup>3</sup> )	857375	86%	688500	70%	708750	71%	597125	60%
Hmotnost vzorku	Před požárem (g)	432	100%	425	100%	436	100%	406	100%
	Po požáru (g)	285	66%	246	58%	171	39%	131	32%

V tabulce 24 jsou uvedené procentuální rozdíly mezi vzorkem před požárem, ohořelým průřezem a zbytkovým průřezem. Jedná se o procentuální srovnání průměrných hodnot, které byly naměřeny při měření. Z tabulky je patrné, že k největšímu úbytku průřezu, váhy a objemu došlo u vzorku požárně zatěžovaného kolmo na vlákna při použití dvou plynových hořáků. U obou variant zatížení (s jedním plynovým hořákem, dvěma plynovými hořáky) je větší úbytek dřeva u prvků namáhaných kolmo na vlákna.

Během požáru dochází ve dřevě k uvolňování těkavých látek, pryskyřice a vysušování dřeva, proto není úbytek objemu a hmotnosti stejný.

U vzorků zatěžovaných kolmo k vláknům (viz obrázek 37), dochází dříve k praskání dřeva a tím se zvětšuje povrch vystavený teplu a kyslíku. Praskání dřeva tedy zvyšuje následky hoření. U vzorků zatěžovaných rovnoběžně s vlákny (viz obrázek 38) nedochází tak brzo k praskání dřeva, ale dřevo ve směru vláken má zase naopak lepší tepelnou vodivost, která také urychluje hoření. Koeficient tepelné vodivosti, který vyjadřuje množství tepla, které proteče jednotkovou plochou za jednotku času při jednotkovém gradientu teploty je pro dřevo při vlhkosti  $w = 12\%$  ve směru vláken:  $\lambda = 0,25 - 0,45 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  a pro dřevo kolmo na vlákna:  $\lambda = 0,12 - 0,18 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

Exponovaná strana požárem u vzorku zatěžovaného rovnoběžně s vlákny, není tak hladká, jako u vzorku namáhaného kolmo na vlákna. Jedná se tedy o stranu, která má větší povrch vystavený teplu a kyslíku a u které vzniká zuhelnatělá část dřeva dříve. Zuhelnatělá část je až šestkrát lepší izolant než dřevo a z počátku požárního zatížení tedy může lépe izolovat



požár. Proto je prvek namáhaný ve směru vláken po 5 minutách méně napaden požárem než prvek namáhaný kolmo na vlákna.



a)

b)

**Obrázek 37 – Ohořelý vzorek 1K [autor]**

*(a - po 5 minutách požáru, b - po 15 minutách požáru)*



a)

b)

**Obrázek 38 – Ohořelý vzorek 1V [autor]**

*(a - po 5 minutách požáru, b - po 15 minutách požáru)*

## 9 Stanovení maximální tahové síly spoje dřevěné pásnice pomocí desky s prolisovanými trny

V této kapitole je provedena analýza naměřených a vypočítaných hodnot pevnosti v tahu dřevěné pásnice spojované pomocí styčnickových desek s prolisovanými trny. Byly testovány spoje dřevěné pásnice s odlišnými styčnickovými deskami. Jedná se o styčnickové desky společnosti MITEK INDUSTRIES, spol. s r.o., konkrétně o desky GNA20-MIT a T150. Vzorky pro test, které byly provedeny lisováním, byly poskytnuty od společností PILA MARTINICE s.r.o. a TESARIO s.r.o. Vzorky kde styčnickové desky byly aplikovány ručně pomocí zatloukání, byly spojeny styčnickovými deskami, které poskytla společnost MITEK INDUSTRIES, spol. s r.o.

### 9.1 Výpočet únosnosti spoje dřevěné pásnice

Jedná se o statické výpočty spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickových desek Mitek. Vypočítány byly maximální charakteristické a návrhové síly, při kterých dojde ke ztrátě únosnosti spoje. Ve výpočtech je uvažováno, že směr styčnickové desky je rovnoběžný se směrem pásnice - úhel  $\alpha = 0^\circ$  a dřevěné pásnice mezi sebou svírají úhel  $\beta = 0^\circ$ .

Výpočet je proveden dle ČSN EN 1995-1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí. Mechanické vlastnosti styčnickových desek jsou uvedeny v **přílohách č.1 a č.2.**

### 9.1.1 Výpočet maximální tahové síly spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky MITEK GNA20-MIT

#### Stanovení maximální charakteristické tahové síly $F_{max}$ , při které dojde k porušení vzorku v tahu

##### Vzorek od firmy PILA MARTINICE s.r.o.

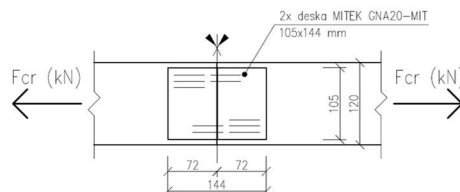
Jedná se o spoj dolní pásnice 45 x 120 mm, který je proveden pomocí dvou styčnickových desek s prolisovanými trny. Styčnickové desky jsou vyrobeny výrobcem MITEK INDUSTRIES, spol. s.r.o. Jde o typ desky GNA20-MIT o rozměrech 105 x 144 mm a délkou trnu 10 mm.

##### Rostlé dřevo jehličnaté C24

pevnost dřeva ve směru vláken  $f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$

##### rozměry pásnice

šířka pásnice  $b_p = 120 \text{ mm}$   
tloušťka pásnice  $t_p = 45 \text{ mm}$   
plocha pásnice  $A = 5400 \text{ mm}^2$



##### Styčnicková deska Mitek GN20-MIT

plocha styčnickové desky  $A = 15120 \text{ mm}^2$   
délka desky  $l_a = 144 \text{ mm}$   
šířka desky  $b_a = 105 \text{ mm}$   
tloušťka desky  $t_a = 1 \text{ mm}$   
délka trnu  $t_t = 10 \text{ mm}$

charakteristická kapacita desek proti vytažení, masivní a lepené dřevo při char. hustotě dřeva  $\rho_k=350 \text{ kg/m}^3$   
 $f_{a,0,0} = 2,83 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{a,90,90} = 1,63 \text{ N/mm}^2$

charakteristická únosnost desky GNA20-MIT v tahu ve směru vláken  $f_{t,0,k} = 152 \text{ N/mm}$   
charakteristická únosnost desky GNA20-MIT v tahu kolmo na vlákna  $f_{t,90,k} = 83 \text{ N/mm}$



### 1. Únosnost dřevěné pásnice v tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,k}}{f_{t,0,k}} \leq 1$$

při tomto vztahu dojde k porušení dřevěného prvku

$$\sigma_{t,0,k} \geq f_{t,0,k}$$

$$\sigma_{t,0,k} = \frac{F_{max}}{A}$$

$$F_{max,k} = \sigma_{t,0,k} \cdot A$$

maximální tahová síla

$$F_{max,k} = 75600 \text{ N}$$

$$F_{max,k} = 75,6 \text{ kN}$$

### 2. Přenos sil ze dřeva na desku (pevnost připojení desky)

#### Účinná plocha styčnickové desky $A_{ef}$

úhel mezi hranou dřeva a směrem vláken

$$\delta = 90^\circ$$

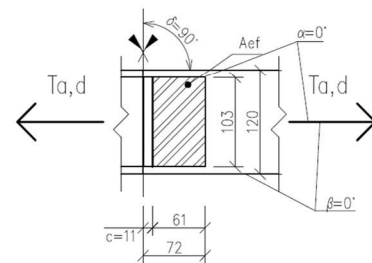
$$c = 5 + 6t_a \cdot \sin\delta$$

šířka okrajových pásů desky

$$c = 11 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = \left( \frac{l_a}{2} - c \right) \cdot b_a$$

$$A_{ef} = 6405 \text{ mm}^2$$



#### Výpočet charakteristické tahové síly působící na styčnick F\_max

charakteristická pevnost  $f_{a,\alpha,0,k} = f_{a,0,0,k} + k_1\alpha$  pro  $\alpha < \alpha_0$

připojení trnů ve směru vláken  $\alpha = 0^\circ$

( $\beta = 0^\circ$ )  $\beta = 0^\circ$

$$f_{a,0,0,k} = 2,83 \text{ N/mm}^2$$

charakteristická pevnost

$$f_{a,0,\beta,k} = f_{a,0,0,k} (1 - C \sin\beta)$$

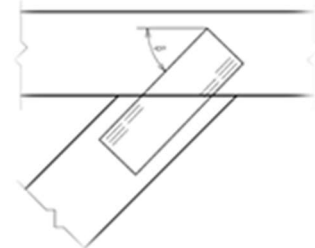
připojení trnů v podélném směru desky ( $\alpha = 0^\circ$ )

Zpravidla  $f_{a,0,90} \approx f_{a,90,90}$  a z toho plyne:

$$C = \frac{f_{a,0,0} - f_{a,90,90}}{f_{a,0,0}}$$

$$C = 0,424$$

$$f_{a,0,0,k} = 2,83 \text{ N/mm}^2$$



napětí v připojení desky

$$\tau_{ak} = \frac{F_{max,k}}{2A_{ef}} \quad F_{max,k} = \tau_{ak} \cdot 2A_{ef}$$

$\tau_{ak} < f_{a,\alpha,\beta,k}$  z toho plyne, že když nastane:

$\tau_{ak} \geq f_{a,0,0,k}$  dojde k porušení vzorku

$$\tau_{ak} = \quad \mathbf{2,83 \text{ Mpa}}$$

$$F_{max,k} = \tau_{ak} \cdot 2A_{ef}$$

maximální tahová síla

$$F_{max,k,1} = \mathbf{36252 \text{ N}}$$

$$F_{max,k,1} = \mathbf{36,25 \text{ kN}}$$

### 3. Přenos sil deskou (únosnost vlastní desky)

Kritický řez desky  $l_s$  je v místě stykové spáry, účinná šířka desky se stanoví bez uvážení oslabení otvory.

$$\begin{aligned} l_s &= 105 \text{ mm} \\ M &= 0 \text{ Nmm} \\ \gamma &= 90^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \end{aligned}$$

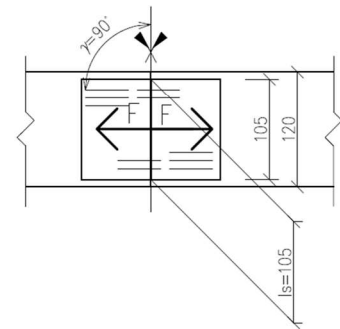
$$F_x = F \cos \alpha \pm 2 F_M \sin \gamma$$

$$F_y = F \sin \alpha \pm 2 F_M \cos \gamma$$

kde:

$F$  je výsledná síla ve spáře

$F_M$  je síla vyvozená momentem ve spáře s hodnotou  $F_M = 2M/l_s$



vztahy po zjednodušení

$$F_x = F = F_{max}$$

$$F_y = 0$$

$$R_{x,k} = \max(f_{ax,0,k} l_s \sin \gamma)$$

$$R_{y,k} = \max(f_{ax,90,k} l_s \cos \gamma)$$

kde:

$$f_{ax,0,k} = f_{t,0,k}$$

$$f_{ax,90,k} = f_{t,90,k}$$

$$R_{x,k} = \mathbf{15960 \text{ N}}$$

$$R_{y,k} = \mathbf{0 \text{ N}}$$

$F_{max,k} \leq R_{x,k}$  z toho plyne, že když nastane:

$F_{max,k} \geq R_{x,k}$  dojde k porušení vzorku

únosnost 1 styčnickové desky

$$F_{max,k} = \mathbf{15960 \text{ N}}$$

$$F_{max,k} = \mathbf{15,96 \text{ kN}}$$

únosnost 2 styčnickových desek  $F_{max,k,2} = 2F_{max,k}$

$$F_{max,k,2} = \mathbf{31,92 \text{ kN}}$$

**Závěrečné hodnocení**

$$F_{\max,k} = \min (F_{\max,k,1}, F_{\max,k,2})$$

$$F_{\max,k} = \min (36,25 \text{ kN}, 31,92 \text{ kN})$$

$$F_{\max,k} = 31,92 \text{ kN}$$

Spoj dřevěných prvků pásnice zhotovených ze smrkového dřeva třídy C24 provedený pomocí styčnickové desky s prolisovanými trny se poruší při dosažení charakteristické kritické síly  $F_{\max} = 31,92 \text{ kN}$ .

## Stanovení maximální návrhové tahové síly $F_{max}$ , při které dojde k porušení vzorku v tahu

### Vzorek od firmy PILA MARTINICE s.r.o.

Jedná se o spoj dolní pásnice 45 x 120 mm, který je proveden pomocí dvou styčnickových desek s prolisovanými trny. Styčnickové desky jsou vyrobeny výrobcem MITEK INDUSTRIES, spol. s.r.o. Jde o typ desky GNA20-MIT o rozměrech 105 x 144 mm a délkou trnu 10 mm.

#### Rostlé dřevo jehličnaté C24

pevnost dřeva ve směru vláken  $f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$

třída vlhkosti a třídu trvání

$k_{mod,d} = 1$

zatížení neuvažujeme

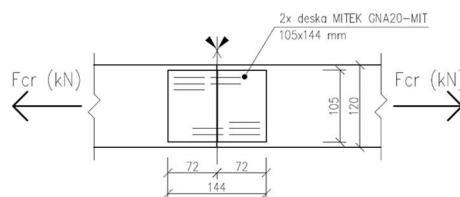
$\gamma_m = 1,3$

#### rozměry pásnice

šířka pásnice  $b_p = 120 \text{ mm}$

tloušťka pásnice  $t_p = 45 \text{ mm}$

plocha pásnice  $A = 5400 \text{ mm}^2$



#### Styčnicková deska Mitek GN20-MIT

plocha styčnickové desky  $A = 15120 \text{ mm}^2$

délka desky  $l_a = 144 \text{ mm}$

šířka desky  $b_a = 105 \text{ mm}$

tloušťka desky  $t_a = 1 \text{ mm}$

délka trnu  $t_t = 10 \text{ mm}$

charakteristická kapacita  $f_{a,0,0} = 2,83 \text{ N/mm}^2$

desek proti vytažení, masivní a

lepené dřevo při char. hustotě

dřeva  $\rho_k=350 \text{ kg/m}^3$   $f_{a,90,90} = 1,63 \text{ N/mm}^2$

charakteristická únosnost

desky GNA20-MIT v tahu ve směru vláken  $f_{t,0,k} = 152 \text{ N/mm}$

charakteristická únosnost

desky GNA20-MIT v tahu kolmo na vlákna  $f_{t,90,k} = 83 \text{ N/mm}$

$\gamma_{a,m} = 1,1$

$k_{mod,s} = 1$

### 1. Únosnost dřevěné pásnice v tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod,d} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m}$$

$$f_{t,0,d} = 10,77 \text{ Mpa}$$

při tomto vztahu dojde k porušení dřevěného prvku

$$\sigma_{t,0,d} \geq f_{t,0,d}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{max}}{A}$$

$$F_{max,d} = \sigma_{t,0,d} \cdot A$$

maximální tahová síla

$$F_{max,d} = 58154 \text{ N}$$

$$F_{max,d} = 58,15 \text{ kN}$$

### 2. Přenos sil ze dřeva na desku (pevnost připojení desky)

#### Účinná plocha styčnickové desky $A_{ef}$

úhel mezi hranou dřeva a směrem vláken

$$\delta = 90^\circ$$

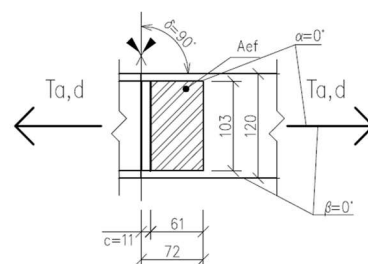
$$c = 5 + 6t_a \cdot \sin\delta$$

šířka okrajových pásů desky

$$c = 11 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = \left( \frac{l_a}{2} - c \right) \cdot b_a$$

$$A_{ef} = 6405 \text{ mm}^2$$



#### Výpočet maximální návrhové tahové síly působící na styčník $F_{max}$

návrhová pevnost připojení trnů ve směru vláken ( $\beta = 0^\circ$ )

$$f_{a,\alpha,0,d} = f_{a,0,0,d} + k_1 \alpha \quad \text{pro } \alpha < \alpha_0$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

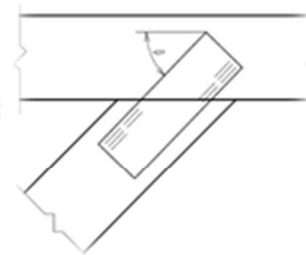
$$f_{a,\alpha,0,d} = f_{a,0,0,d} = k_{mod,d} \cdot \frac{f_{a,0,0,k}}{\gamma_{a,m}}$$

$$f_{a,0,0,d} = 2,573 \text{ N/mm}^2$$

návrhová pevnost připojení trnů v podélném směru desky ( $\alpha = 0^\circ$ )

$$f_{a,0,\beta,d} = f_{a,0,0,d} (1 - C \sin\beta)$$

Zpravidla  $f_{a,0,90} \approx f_{a,90,90}$  a z toho plyne:



$$C = \frac{f_{a,0,0} - f_{a,90,90}}{f_{a,0,0}}$$

$$C = 0,424$$

$$f_{a,0,\beta,d} = k_{mod,d} \frac{f_{a,0,0}}{\gamma_{a,m}} (1 - C \sin\beta)$$

$$f_{a,0,0,d} = 2,573 \text{ N/mm}^2$$

návrhové napětí v připojení  
desky

$$\tau_{ad} = \frac{F_{max,d}}{2A_{ef}} \quad F_{max,d} = \tau_{ad} \cdot 2A_{ef}$$

$$\tau_{ad} < f_{a,\alpha,\beta,d} \quad \text{z toho plyne, že když nastane:}$$

$$\tau_{ad} \geq f_{a,0,0,d} \quad \text{dojde k porušení vzorku}$$

$$\tau_{ad} = 2,573 \text{ Mpa}$$

$$F_{max,d} = \tau_{ad} \cdot 2A_{ef}$$

maximální tahová síla

$$F_{max,d,1} = 32957 \text{ N}$$

$$F_{max,d,1} = 32,96 \text{ kN}$$

### 3. Přenos sil deskou (únosnost vlastní desky)

Kritický řez desky  $l_s$  je v místě stykové spáry, účinná šířka desky se stanoví bez uvážení oslabení otvory.

$$l_s = 105 \text{ mm}$$

$$M = 0 \text{ Nmm}$$

$$\gamma = 90^\circ$$

$$\alpha = 0^\circ$$

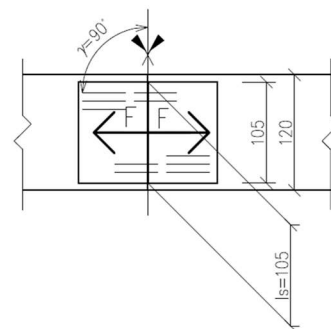
$$F_x = F \cos\alpha \pm 2 F_M \sin\gamma$$

$$F_y = F \sin\alpha \pm 2 F_M \cos\gamma$$

kde:

$F$  je výsledná síla ve spáře

$F_M$  je síla vyvozená momentem ve spáře s hodnotou  $F_M = 2M/l_s$



vztahy po zjednodušení

$$F_x = F = F_{max}$$

$$F_y = 0$$

$$R_{x,d} = \max(f_{ax,0,d} l_s \sin\gamma)$$

$$R_{y,d} = \max(f_{ax,90,d} l_s \cos\gamma)$$

kde:

$$f_{ax,0,d} = f_{t,0,d} = k_{mod,s} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{a,m}}$$

$$f_{ax,90,d} = f_{t,90,d} = k_{mod,s} \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_{a,m}}$$

$$R_{x,d} = 14509 \text{ N}$$

$$R_{y,d} = 0 \text{ N}$$

$$F_{max,d} \leq R_{x,d} \quad \text{z toho plyne, že když nastane:}$$

$$F_{max,d} \geq R_{x,d} \quad \text{dojde k porušení vzorku}$$

únosnost 1 styčnickové desky

$$F_{max,d} = 14509 \text{ N}$$

$$F_{max,d} = 14,51 \text{ kN}$$

únosnost 2 styčnickových desek  $F_{max,d,2} = 2F_{max,d}$

$$F_{max,d,2} = 29,02 \text{ kN}$$

#### Závěrečné hodnocení

$$F_{max,d} = \min (F_{max,d,1}, F_{max,d,2})$$

$$F_{max,d} = \min (32,96 \text{ kN}, 29,02 \text{ kN})$$

$$F_{max,d} = 29,02 \text{ kN}$$

Spoj dřevěných prvků pásnice zhotovených ze smrkového dřeva třídy C24 provedený pomocí styčnickové desky s prolisovanými trny se poruší při dosažení síly  $F_{max} = 29,02 \text{ kN}$ . Za předpokladu, že uvažujeme součinitel  $\gamma_m = 1,3$  pro rostlé dřevo a  $\gamma_{a,m} = 1,1$  pro styčnickovou desku. Součinitel  $k_{mod}$  uvažujeme pro dřevo i styčnickovou desku roven 1.



9.1.2 Výpočet maximální tahové síly spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky MITEK T150

**Stanovení maximální charakteristické tahové síly  $F_{max}$ , při které dojde k porušení vzorku v tahu**

**Vzorek od firmy TESARIO, První Chodská s.r.o.**

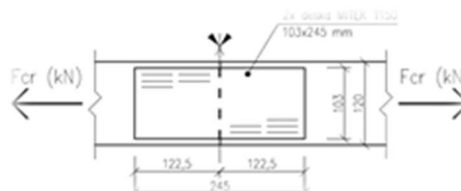
Jedná se o spoj dolní pásnice 45 x 120 mm, který je proveden pomocí dvou styčnickových desek s prolisovanými trny. Styčnickové desky jsou vyrobeny výrobcem MITEK INDUSTRIES, spol. s.r.o. Jde o typ desky T150 o rozměrech 103 x 245 mm a délkou trnu 15 mm.

**Rostlé dřevo jehličnaté C24**

pevnost dřeva ve směru vláken  $f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$

**rozměry pásnice**

šířka pásnice  $b_p = 120 \text{ mm}$   
tloušťka pásnice  $t_p = 45 \text{ mm}$   
plocha pásnice  $A = 5400 \text{ mm}^2$



**Styčnicková deska Mitek M T150**

plocha styčnickové desky  $A = 25235 \text{ mm}^2$   
délka desky  $l_a = 245 \text{ mm}$   
šířka desky  $b_a = 103 \text{ mm}$   
tloušťka desky  $t_a = 1,5 \text{ mm}$   
délka trnu  $t_t = 15 \text{ mm}$

charakteristická kapacita desek  $f_{a,0,0} = 2,61 \text{ N/mm}^2$   
proti vytažení, masivní a  
lepené dřevo při char. hustotě  
dřeva  $\rho_k=350 \text{ kg/m}^3$   $f_{a,90,90} = 1,94 \text{ N/mm}^2$

charakteristická únosnost  
desky M T150 v tahu ve směru vláken  $f_{t,0,k} = 251 \text{ N/mm}$   
charakteristická únosnost  
desky M T150 v tahu kolmo na vlákna  $f_{t,90,k} = 132 \text{ N/mm}$



### 1. Únosnost dřevěné pásnice v tahu

při tomto vztahu dojde k porušení dřevěného prvku

$$\frac{\sigma_{t,0,k}}{f_{t,0,k}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,k} \geq f_{t,0,k}$$

$$\sigma_{t,0,k} = \frac{F_{max,k}}{A}$$

$$F_{max,k} = \sigma_{t,0,k} \cdot A$$

$$F_{max,k} = 75600 \text{ N}$$

$$F_{max,k} = 75,6 \text{ kN}$$

### 2. Přenos sil ze dřeva na desku (pevnost připojení desky)

účinná plocha styčnickové desky  $A_{ef}$

úhel mezi hranou dřeva a směrem vláken

$$\delta = 90^\circ$$

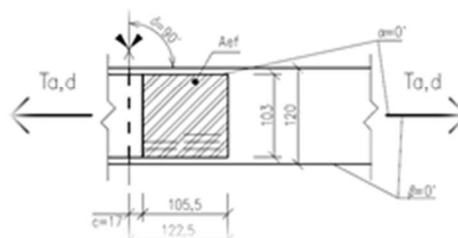
$$c = 5 + 6t_a \cdot \sin \delta$$

šířka okrajových pásů desky

$$c = 14 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = \left( \frac{l_a}{2} - c \right) \cdot b_a$$

$$A_{ef} = 11176 \text{ mm}^2$$



Výpočet maximální charakteristické tahové síly působící na styčník  $F_{max}$

charakteristická pevnost

$$f_{a,\alpha,0,k} = f_{a,0,0,k} + k_1 \alpha \quad \text{pro } \alpha < \alpha_0$$

připojení trnů ve směru vláken

$$\alpha = 0^\circ$$

( $\beta = 0^\circ$ )

$$\beta = 0^\circ$$

$$f_{a,\alpha,0,k} = f_{a,0,0,k}$$

$$f_{a,0,0,k} = 2,61 \text{ N/mm}^2$$

charakteristická pevnost

$$f_{a,0,\beta,k} = f_{a,0,0,k} (1 - C \sin \beta)$$

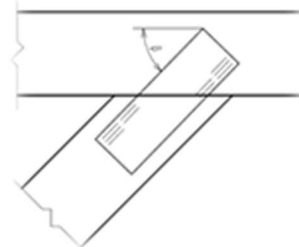
připojení trnů v podélném směru desky ( $\alpha = 0^\circ$ )

Zpravidla  $f_{a,0,90} \approx f_{a,90,90}$  a z toho plyne:

$$C = \frac{f_{a,0,0} - f_{a,90,90}}{f_{a,0,0}}$$

$$C = 0,257$$

$$f_{a,0,0,k} = 2,61 \text{ N/mm}^2$$



napětí v připojení desky

$$\tau_{ak} = \frac{F_{max,k}}{2A_{ef}} \quad F_{max,k} = \tau_{ak} \cdot 2A_{ef}$$

$$\tau_{ak} < f_{a,\alpha,\beta,k} \quad \text{z toho plyne, že když nastane:}$$

$$\tau_{ak} \geq f_{a,0,0,k} \quad \text{dojde k porušení vzorku}$$

$$\tau_{ak} = \quad \mathbf{2,61 \text{ Mpa}}$$

$$F_{max,k,1} = \tau_{ak} \cdot 2A_{ef}$$

$$\mathbf{F_{max,k,1} = 58336 \text{ N}}$$

$$\mathbf{F_{max,k,1} = 58,34 \text{ kN}}$$

### 3. Přenos sil deskou (únosnost vlastní desky)

Kritický řez desky  $l_s$  je v místě stykové spáry, účinná šířka desky se stanoví bez uvážení oslabení otvory.

$$\begin{aligned} l_s &= 103 \text{ mm} \\ M &= 0 \text{ Nmm} \\ \gamma &= 90^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \end{aligned}$$

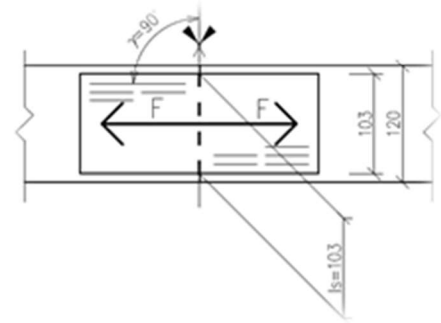
$$F_x = F \cos \alpha \pm 2 F_M \sin \gamma$$

$$F_y = F \sin \alpha \pm 2 F_M \cos \gamma$$

kde:

$F$  je výsledná síla ve spáře

$F_M$  je síla vyvozená momentem ve spáře s hodnotou  $F_M = 2M/l_s$



vztahy po zjednodušení

$$F_x = F = F_{max,d}$$

$$F_y = 0$$

$$R_{x,k} = \max(f_{ax,0,k} l_s \sin \gamma)$$

$$R_{y,k} = \max(f_{ax,90,k} l_s \cos \gamma)$$

kde:

$$f_{ax,0,k} = f_{t,0,k}$$

$$f_{ax,90,k} = f_{t,90,k}$$

$$\mathbf{R_{x,k} = 25853 \text{ N}}$$

$$\mathbf{R_{y,k} = 0 \text{ N}}$$

$$F_{max,k} \leq R_{x,k} \quad \text{z toho plyne, že když nastane:}$$

$$F_{max,k} \geq R_{x,k} \quad \text{dojde k porušení vzorku}$$

únosnost 1 styčnickové desky

$$\mathbf{F_{max,k} = 25853 \text{ N}}$$

$$\mathbf{F_{max,k} = 25,85 \text{ kN}}$$

únosnost celého spoje

$$F_{max,k,2} = 2F_{max}$$

$$\mathbf{F_{max,k,2} = 51,71 \text{ kN}}$$

**Závěrečné hodnocení**

$$F_{\max} = \min (F_{\max1}, F_{\max2})$$

$$F_{\max} = \min (58,34 \text{ kN}, 51,71 \text{ kN})$$

$$F_{\max} = 51,71 \text{ kN}$$

Spoj dřevěných prvků pásnice zhotovených ze smrkového dřeva třídy C24 provedený pomocí styčnickové desky s prolisovanými trny se poruší při dosažení charakteristické kritické síly  $F_{\max} = 51,71 \text{ kN}$ .

## Stanovení maximální návrhové tahové síly $F_{max}$ při které dojde k porušení vzorku v tahu

**Vzorek od firmy TESARIO, První Chodská s.r.o.**

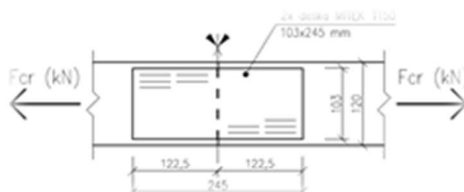
Jedná se o spoj dolní pásnice 45 x 120 mm, který je proveden pomocí dvou styčnickových desek s prolisovanými trny. Styčnickové desky jsou vyrobeny výrobcem MITEK INDUSTRIES, spol. s.r.o. Jde o typ desky T150 o rozměrech 103 x 245 mm a délkou trnu 15 mm.

### Rostlé dřevo jehličnaté C24

pevnost dřeva ve směru vláken  $f_{t,0,k} = 14$  MPa  
 třídu vlhkosti a třídu trvání  
 zatížení neuvažujeme  $k_{mod,d} = 1$   
 $\gamma_m = 1,3$

#### rozměry pásnice

šířka pásnice  $b_p = 120$  mm  
 tloušťka pásnice  $t_p = 45$  mm  
 plocha pásnice  $A = 5400$  mm<sup>2</sup>



### Styčnicková deska Mitek M T150

plocha styčnickové desky  $A = 25235$  mm<sup>2</sup>  
 délka desky  $l_a = 245$  mm  
 šířka desky  $b_a = 103$  mm  
 tloušťka desky  $t_a = 1,5$  mm  
 délka trnu  $t_t = 15$  mm

charakteristická kapacita desek  $f_{a,0,0} = 2,61$  N/mm<sup>2</sup>  
 proti vytažení, masivní a  
 lepené dřevo při char. hustotě  
 dřeva  $\rho_k = 350$  kg/m<sup>3</sup>  $f_{a,90,90} = 1,94$  N/mm<sup>2</sup>

charakteristická únosnost  
 desky M T150 v tahu ve směru  
 vláken  $f_{t,0,k} = 251$  N/mm  
 charakteristická únosnost  
 desky M T150 v tahu kolmo na  
 vlákna  $f_{t,90,k} = 132$  N/mm

$\gamma_{a,m} = 1,1$   
 $k_{mod,s} = 1$

### 1. Únosnost dřevěné pásnice v tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod,d} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m}$$

$$f_{t,0,d} = 10,77 \text{ Mpa}$$

při tomto vztahu dojde k porušení dřevěného prvku

$$\sigma_{t,0,d} \geq f_{t,0,d}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{max,d}}{A}$$

$$F_{max,d} = \sigma_{t,0,d} \cdot A$$

$$F_{max,d} = 58154 \text{ N}$$

$$F_{max,d} = 58,15 \text{ kN}$$

### 2. Přenos sil ze dřeva na desku (pevnost připojení desky)

účinná plocha styčnickové desky  $A_{ef}$

úhel mezi hranou dřeva a směrem vláken

$$\delta = 90^\circ$$

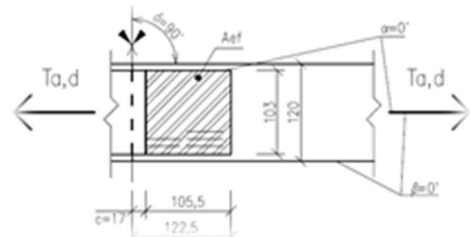
$$c = 5 + 6t_a \cdot \sin \delta$$

šířka okrajových pásů desky

$$c = 14 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = \left( \frac{l_a}{2} - c \right) \cdot b_a$$

$$A_{ef} = 11176 \text{ mm}^2$$



Výpočet maximální návrhové tahové síly působící na styčník  $F_{max}$

návrhová pevnost připojení trnů ve směru vláken ( $\beta = 0^\circ$ )

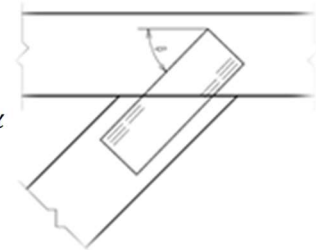
$$f_{a,\alpha,0,d} = f_{a,0,0,d} + k_1 \alpha \quad \text{pro } \alpha < \alpha_0$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$f_{a,\alpha,0,d} = f_{a,0,0,d} = k_{mod,d} \cdot \frac{f_{a,0,0,k}}{\gamma_{a,m}}$$

$$f_{a,0,0,d} = 2,373 \text{ N/mm}^2$$



návrhová pevnost připojení trnů v podélném směru desky ( $\alpha = 0^\circ$ )

$$f_{a,0,\beta,d} = f_{a,0,0,d} (1 - C \sin \beta)$$

Zpravidla  $f_{a,0,90} \approx f_{a,90,90}$  a z toho plyne:

$$C = \frac{f_{a,0,0} - f_{a,90,90}}{f_{a,0,0}}$$

$$C = 0,257$$

$$f_{a,0,\beta,d} = k_{mod,d} \frac{f_{a,0,0}}{\gamma_{a,m}} (1 - C \sin\beta)$$

$$f_{a,0,0,d} = 2,373 \text{ N/mm}^2$$

návrhové napětí v připojení  
desky

$$\tau_{ad} = \frac{F_{max,d}}{2A_{ef}} \quad F_{max,d} = \tau_{ad} \cdot 2A_{ef}$$

$$\tau_{ad} < f_{a,\alpha,\beta,d} \quad \text{z toho plyne, že když nastane:}$$

$$\tau_{ad} \geq f_{a,0,0,d} \quad \text{dojde k porušení vzorku}$$

$$\tau_{ad} = 2,373 \text{ Mpa}$$

$$F_{max,d} = \tau_{ad} \cdot 2A_{ef}$$

$$F_{max,d,1} = 53033 \text{ N}$$

$$F_{max,d,1} = 53,03 \text{ kN}$$

### 3. Přenos sil deskou (únosnost vlastní desky)

Kritický řez desky  $l_s$  je v místě stykové spáry, účinná šířka desky se stanoví bez uvážení oslabení otvory.

$$\begin{aligned} l_s &= 103 \text{ mm} \\ M &= 0 \text{ Nmm} \\ \gamma &= 90^\circ \\ \alpha &= 0^\circ \end{aligned}$$

$$F_x = F \cos\alpha \pm 2 F_M \sin\gamma$$

$$F_y = F \sin\alpha \pm 2 F_M \cos\gamma$$

kde:

$F$  je výsledná síla ve spáře

$F_M$  je síla vyvozená momentem ve spáře s hodnotou  $F_M = 2M/l_s$

vztahy po zjednodušení

$$F_x = F = F_{max,d}$$

$$F_y = 0$$

$$R_{x,d} = \max(f_{ax,0,d} l_s \sin\gamma)$$

$$R_{y,d} = \max(f_{ax,90,d} l_s \cos\gamma)$$

kde:

$$f_{ax,0,d} = f_{t,0,d} = k_{mod,s} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{a,m}}$$

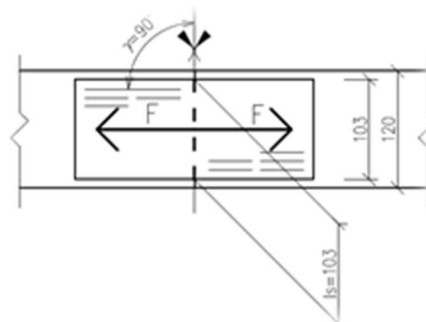
$$f_{ax,90,d} = f_{t,90,d} = k_{mod,s} \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_{a,m}}$$

$$R_{x,d} = 23503 \text{ N}$$

$$R_{y,d} = 0 \text{ N}$$

$$F_{max,d} \leq R_{x,d} \quad \text{z toho plyne, že když nastane:}$$

$$F_{max,d} \geq R_{x,d} \quad \text{dojde k porušení vzorku}$$



únosnost 1 styčnickové desky

$$F_{\max,d} = 23503 \text{ N}$$

$$F_{\max,d} = 23,5 \text{ kN}$$

únosnost celého spoje

$$F_{\max,d,2} = 2F_{\max}$$

$$F_{\max,d,2} = 47,01 \text{ kN}$$

**Závěrečné hodnocení**

$$F_{\max,d} = \min (F_{\max1,d}, F_{\max2,d})$$

$$F_{\max,d} = \min (53,03 \text{ kN}, 47,01 \text{ kN})$$

$$F_{\max,d} = 47,01 \text{ kN}$$

Spoj dřevěných prvků pásnice zhotovených ze smrkového dřeva třídy C24 provedený pomocí styčnickové desky s prolisovanými trny se poruší při dosažení kritické síly  $F_{\max} = 47,01 \text{ kN}$ . Za předpokladu, že uvažujeme součinitel  $\gamma_m = 1,3$  pro rostlé dřevo a  $\gamma_{a,m} = 1,1$  pro styčnickovou desku. Součinitel  $k_{mod}$  uvažujeme pro dřevo i styčnickovou desku roven 1.

## 9.2 Laboratorní měření maximální tahové síly

Cílem měření je zjištění tahové síly, při které dojde ke ztrátě únosnosti spoje dřevěné pásnice. Laboratorní měření je rozděleno na měření dřevěné pásnice spojované pomocí styčnickové desky s prolisovanými trny GNA20-MIT a dřevěné pásnice spojované pomocí desky Mitek T150. Dřevěná pásnice má v obou případech stejný rozměr. U spojů se styčnickovou deskou GNA20-MIT jsou testovány vzorky, které byly provedeny správně lisováním a spoje kde bylo spojení dřevěných pásnic provedeno pomocí ručního zatloukání styčnickové desky. V případě styčnickové desky Mitek T150 jsou testovány vzorky provedené lisováním.

### 9.2.1 Protokol k měření maximální tahové síly spoje síly spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky MITEK GNA20-MIT

#### Cíl měření:

Stanovení pevnosti v tahu u spojů dřevěné pásnice spojované pomocí styčnickových desek s prolisovanými trny (viz obrázek 39). Pevnost je naměřena pro spoje lisované výrobcem PILA MARTINICE s.r.o. a pro spoje kde styčnickové desky jsou aplikovány ručně zatloukáním. Spoje provedené lisování jsou testovány v počtu 9 ks, spoje s ruční aplikací styčnickové desky v počtu 2 ks.



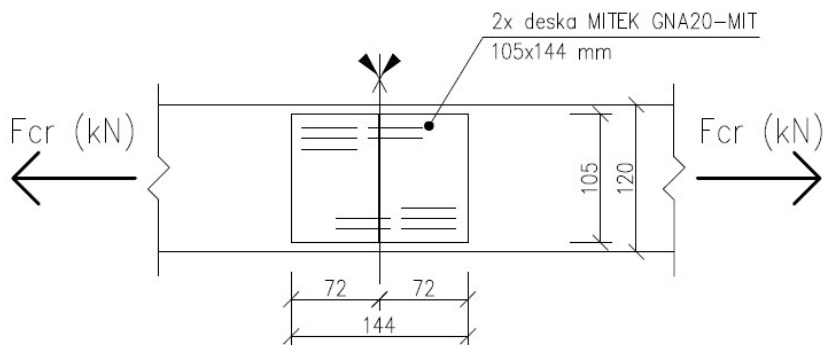


**Obrázek 39** – Vzorky pásnice spojované pomocí styčnickových desek GNA20-MIT - 9ks [autor]

**Zadané veličiny:**

rozměry vzorku ~ 120 x 45 mm

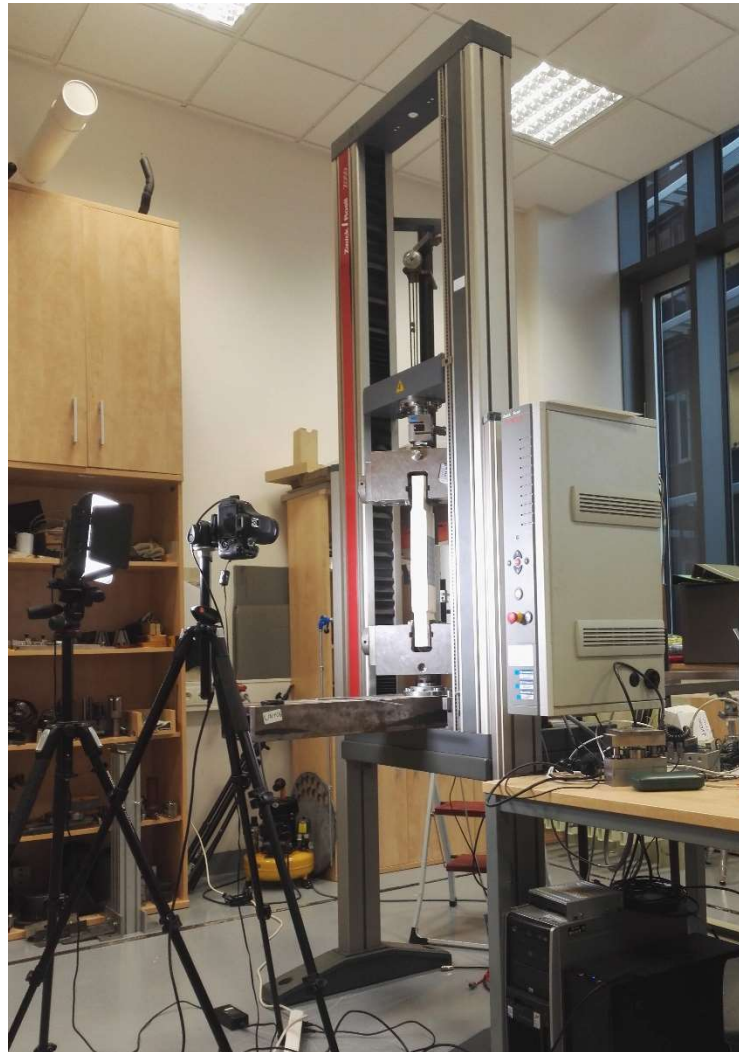
rozměry styčnickové desky: 105 x 144 mm



**Obrázek 40** – Rozměry vzorku spojovaného pomocí styčnickových desek GNA20-MIT [autor]

**Použité přístroje a zařízení:**

- Zkušební vzorek, spoj dřevěné pásnice (lisovaný) - 9 ks,
- zkušební vzorek, spoj dřevěné pásnice (ruční aplikace) – 2 ks,
- trhací stroj pro statické zkoušky pevnosti materiálů – Zwick / Roell Z050 (viz obrázek 41).



**Obrázek 41** – Trhací stroj pro statické zkoušky materiálů Zwick / Roell Z050 [autor]

**Postup měření:**

U vzorků s ruční aplikací styčnickových desek, bylo provedeno zatlučení styčnickové desky s prolisovanými trny přes ocelový plech pomocí těžšího kladiva - palice (viz obrázek 42).



**Obrázek 42** – Ruční aplikace styčnickové desky [autor]

Při zatloukání styčnickové desky docházelo i přes to, že styčnicková deska byla zatloukána přes pomocný ocelový plech ke zvlnění styčnickové desky s prolisovanými trny (viz obrázek 43).



**Obrázek 43** – Zvlnění styčnickové desky [autor]

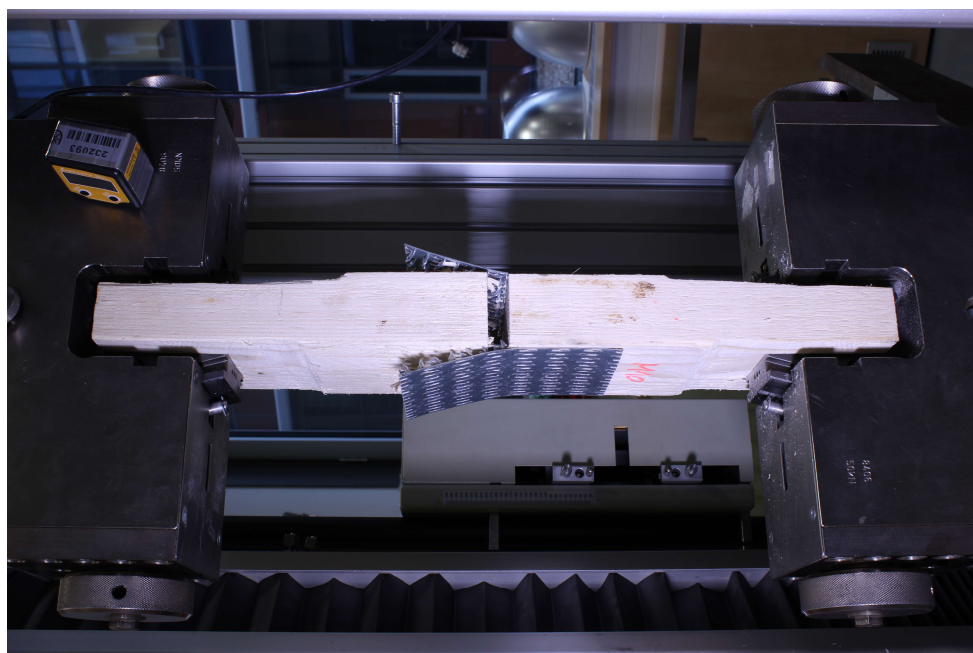
Jelikož má trhací stroj čelisti pro upnutí prvku nastavitelné pouze do 40 mm, bylo nejprve nutné zkoušené vzorky ohoblovat na tento rozměr, tak aby bylo možné vzorky upnout do stroje (viz obrázek 44).





**Obrázek 44** – Zúžení vzorku pro upnutí do trhacího stroje [autor]

Po upnutí vzorku do stroje byly všude nastaveny nulové hodnoty. Vzorek byl postupně zatěžován rychlostí posuvu 5 mm/min. Poté měřící zařízení s výpočetní stanicí zaznamenávalo každou setinu sekundy odpovídající sílu a nominální posuv. Zaznamenávání probíhá do té doby, než dojde k porušení vzorku - dosažení maximální síly a test je ukončen. To probíhá vždy u každého vzorku zvlášť. Typické porušení vzorku je zobrazeno na obrázku 45. Naměřené hodnoty byly zaznamenávány do tabulek a grafů 6, 7.



**Obrázek 45** – Typické porušení vzorku [autor]

**Naměřená data:**

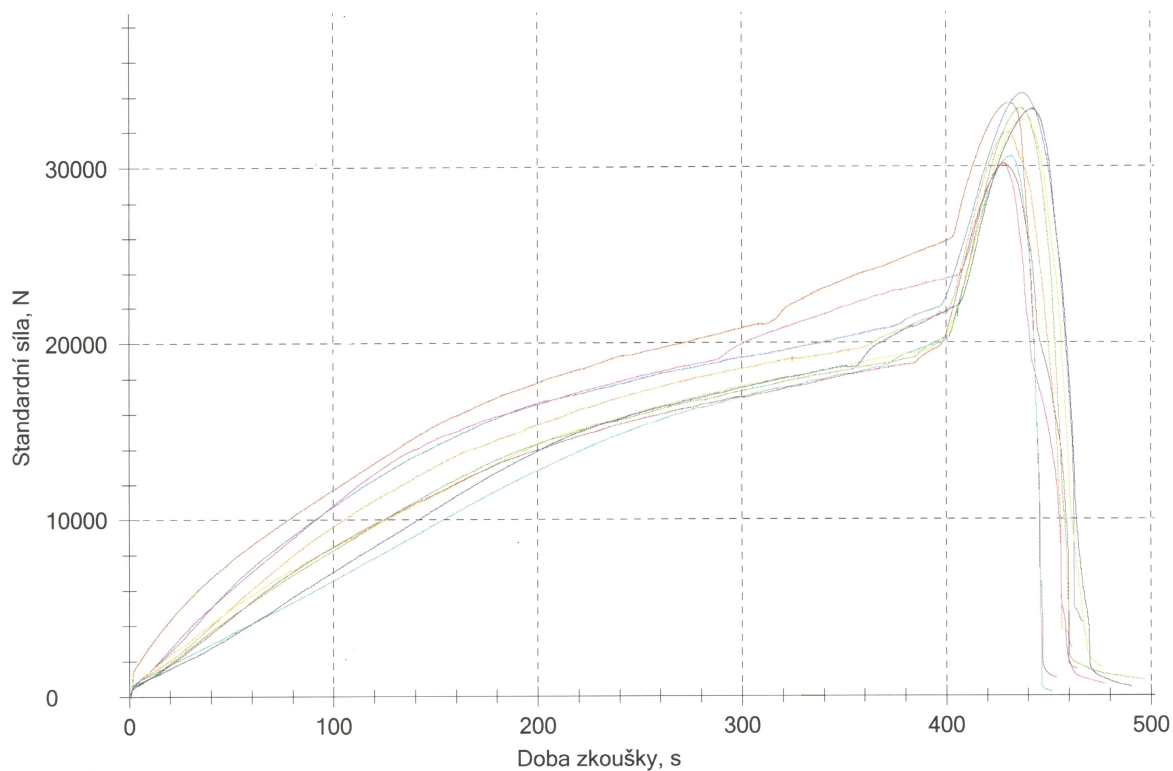
V tabulkách 25, 26 jsou uvedeny naměřené hodnoty pevnosti spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky MITEK GNA20-MIT.

**Tabulka 25 – Zkouška pevnosti vzorku v tahu, lisovaný spoj - GNA20-MIT [autor]**

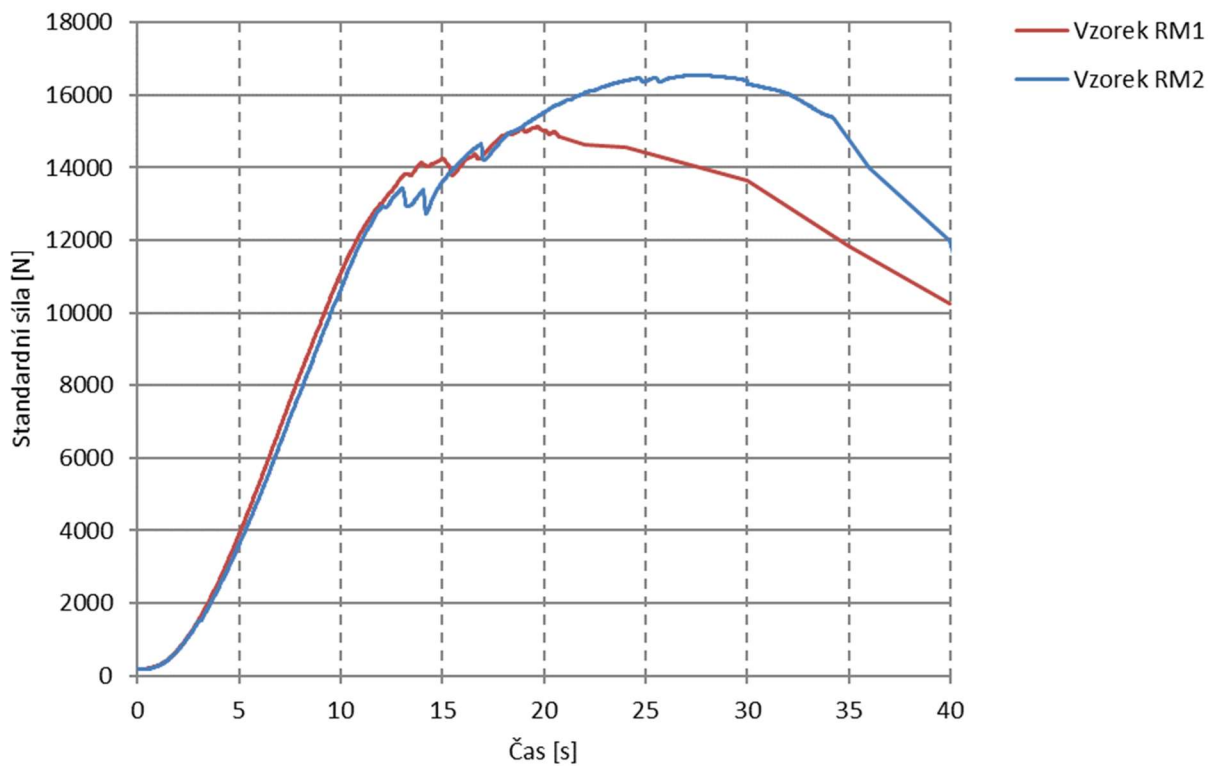
<b>Zkouška pevnosti v tahu dřevěné pásnice spojované pomocí desky s prolisovanými trny MITEK GNA20-MIT. Spoj je provedený firmou PILA MARTINICE s.r.o.</b>								
	šířka pásnice	tloušťka pásnice	plocha pásnice	délka styčnickové desky	šířka styčnickové desky	tloušťka styčnickové desky	délka trnu	maximální síla - tah
Číslo vzorku	bp (mm)	tp (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	l <sub>a</sub> (mm)	b <sub>a</sub> (mm)	t <sub>a</sub> (mm)	t <sub>t</sub> (mm)	F (N)
M1	120	45	5400	144	105	1	10	33572
M2	120	45	5400	144	105	1	10	33292
M3	120	45	5400	144	105	1	10	34143
M4	120	45	5400	144	105	1	10	33250
M5	120	45	5400	144	105	1	10	31921
M6	120	45	5400	144	105	1	10	30165
M7	120	45	5400	144	105	1	10	30566
M8	120	45	5400	144	105	1	10	32610
M9	120	45	5400	144	105	1	10	30090
<b>Aritmetický průměr naměřených hodnot</b>								<b>32179</b>

**Tabulka 26 – Zkouška pevnosti vzorku v tahu, zatlukání styční. desky - GNA20-MIT [autor]**

<b>Zkouška pevnosti v tahu dřevěné pásnice spojované pomocí desky s prolisovanými trny MITEK GNA20-MIT. Spoj je provedený ruční aplikací styčnickové desky.</b>								
	šířka pásnice	tloušťka pásnice	plocha pásnice	délka styčnickové desky	šířka styčnickové desky	tloušťka styčnickové desky	délka trnu	maximální síla - tah
Číslo vzorku	bp (mm)	tp (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	l <sub>a</sub> (mm)	b <sub>a</sub> (mm)	t <sub>a</sub> (mm)	t <sub>t</sub> (mm)	F (N)
RM1	120	45	5400	144	105	1	10	15132
RM2	120	45	5400	144	105	1	10	16534
<b>Aritmetický průměr naměřených hodnot</b>								<b>15833</b>



**Graf 6** – Závislost síly na době trvání zkoušky, lisovaný spoj - GNA20-MIT, (M1 – M9) [autor]



**Graf 7** – Závislost síly na době trvání zkoušky, ruční aplikace spoje - GNA20-MIT (RM1, RM2) [autor]

**Závěr:**

Z naměřených hodnot je patrné že, spoj má větší únosnost pokud je prováděn správně lisováním pomocí C lisu nebo stolového lisu. Konkrétně je naměřená únosnost spoje správně provedeného o 49 % vyšší než u spoje prováděného ručním zatloukáním styčnickových desek (viz tabulka 27). U spojů prováděných pomocí ruční aplikace styčnickové desky může mít velký vliv na výsledek malý počet vzorků (2 ks). Velký význam pro únosnost takto provedeného spoje bude mít způsob zatloukání styčnickové desky. Na obrázku 46 je zobrazen zkoušený vzorek RM2 po tahové zkoušce.

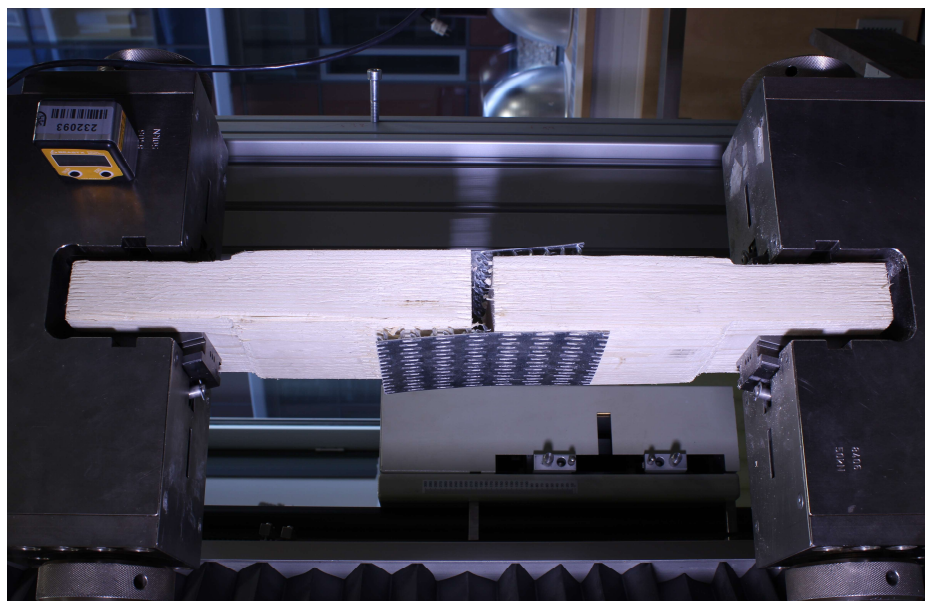


**Obrázek 46** – Porušený vzorek RM2 [autor]

U většiny zkoušených vzorků vypadala deformace dle obrázku 45. U zkoušených vzorků M4, M7 a RM2 nastala deformace jiným způsobem (viz obrázek 47). Toto porušení bylo způsobeno nejspíše přídavným momentem, který mohl vzniknout tím, že vzorek byl ručně ohoblován nesymetricky a nejednalo se tedy o centrický tah prvku. Dle naměřených hodnot v těchto případech pro M4 -  $F_{\max} = 33\,250\text{ N}$  a pro M7 -  $F_{\max} = 30\,566\text{ N}$  se nejedná o extrémní hodnoty a vliv přídavného momentu má bezvýznamný dopad na tahovou sílu.

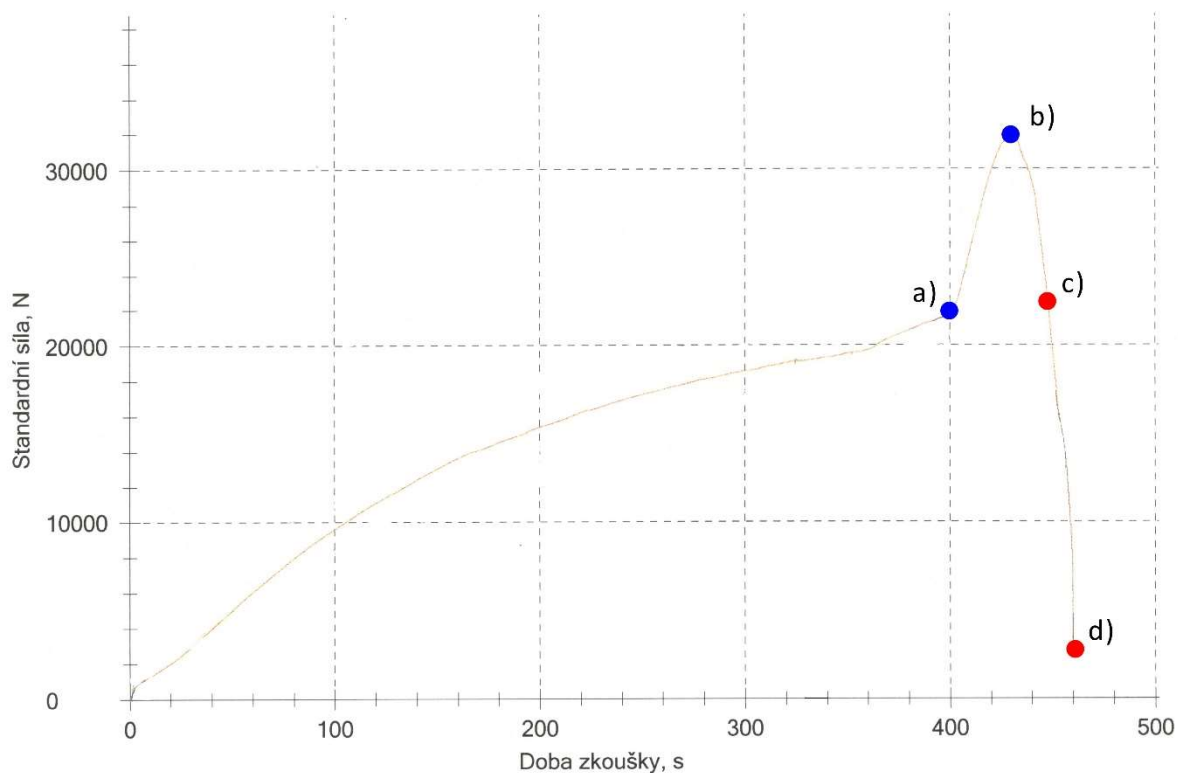
Odchylka trhačího stroje Zwick / Roell Z050 je 1% z naměřené hodnoty. Největší naměřená hodnota byla u vzorku M3 -  $F_{\max} = 34\,143\text{ N}$ , u této hodnoty je tedy odchylka 341 N. V rozptylu naměřených hodnot 30 165 N – 34 143 N nemá smysl tuto odchylku uvažovat.





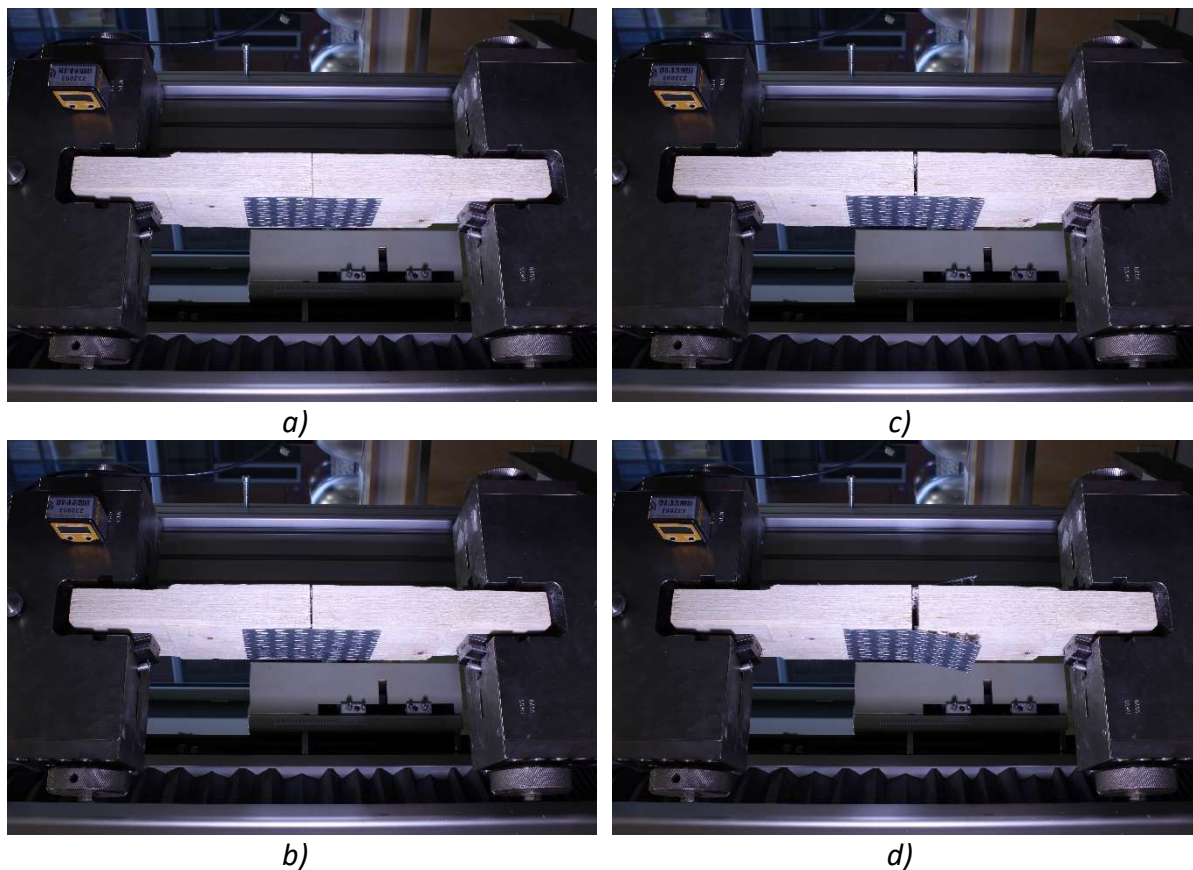
**Obrázek 47** – Porušení vzorků M4 a M7 [autor]

Během tahové zkoušky bylo prováděno snímkování testovaných prvků. Na grafu 8 je uvedena závislost síly na době trvání zkoušky vzorku M5 a vyznačené body (a, b, c, d), kterým odpovídají fotografické snímky na obrázku 48.



**Graf 8** – Závislost síly na době trvání zkoušky, vzorek M5 s vyznačenými snímky [autor]

Z grafu 8 je zřejmé, že mezi body a – b dochází ke zpevnování spoje prvku, protože síla roste rychleji v čase, při daném posunu 5 mm/min. V bodě b je dosaženo kritické síly, při které nastává ztráta únosnosti spoje dřevěné pásnice spojené pomocí desky s prolisovanými trny.

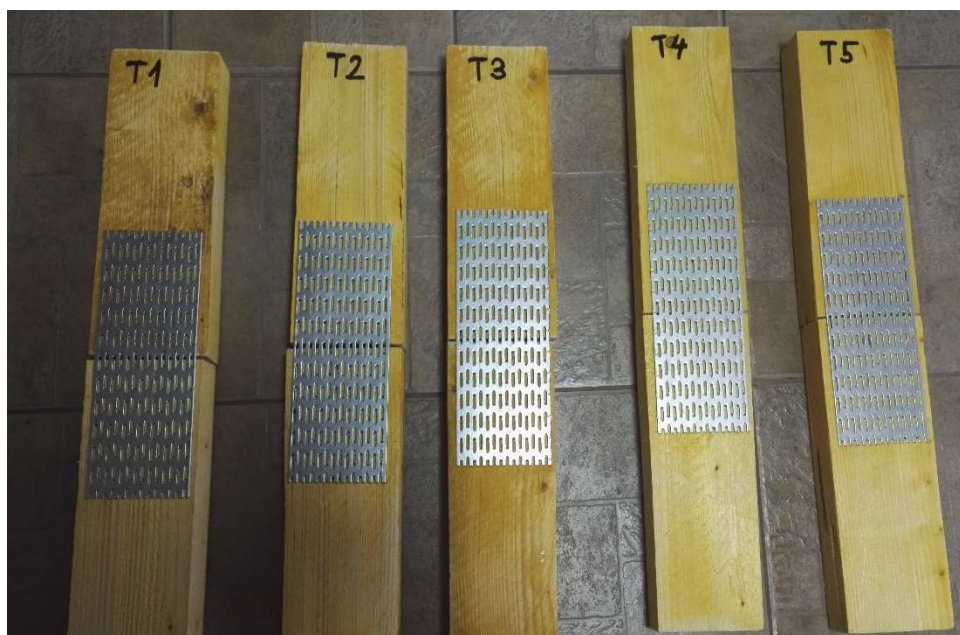


**Obrázek 48** – Snímky vzorku M5, v čase odpovídající grafu 8 [autor]  
(a – snímek v čase 400 s, b – snímek v čase 430 s, c – snímek v čase 445 s,  
d – snímek v čase 460 s)

### 9.2.2 Protokol k měření maximální tahové síly spoje síly spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky MITEK T150

#### Cíl měření:

Stanovení pevnosti v tahu u spojů dřevěné pásnice spojované pomocí styčnickových desek s prolisovanými trny (viz obrázek 49). Pevnost je měřena pro lisované spoje poskytnuté výrobcem TESARIO, První Chodská s.r.o. Společnost pro testování poskytla 5ks vzorků.

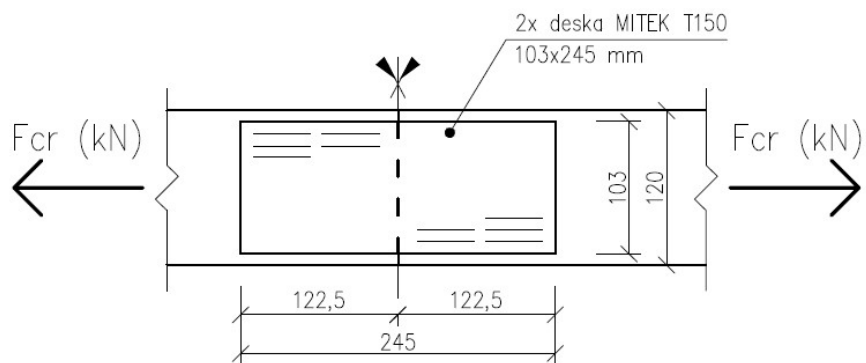


**Obrázek 49** – Vzorky pásnice spojované pomocí styčnickových desek MITEK T150 – 5ks [autor]

**Zadané veličiny:**

rozměry vzorku ~ 120 x 45 mm

rozměry styčnickové desky: 103 x 245 mm



**Obrázek 50** – Rozměry vzorku spojovaného pomocí styčnickových desek MITEK T150 [autor]

**Použité přístroje a zařízení:**

- Zkušební vzorek, spoj dřevěné pásnice (lisovaný) - 5 ks,
- trhací stroj pro statické zkoušky pevnosti materiálů – Zwick / Roell Z050,
- trhací stroj pro statické zkoušky pevnosti materiálů – Zwick / Roell Z250.

### Postup měření:

Stejně jakou u vzorků, kde je použita styčnicková deska GNA-20MIT bylo nutné pro stroj Zwick / Roell Z050 provést zúžení, tak aby bylo možné vzorky upnout do stroje.

Postup měření a způsob zatěžování byl proveden stejně jakou u vzorků M1 - M9 uvedený v kapitole 9.2.2.

V průběhu měření se ukázalo že, měření pevnosti v tahu vzorků T1 – T5 není v laboratorních podmínkách Západočeské univerzity možné. U vzorku T1 došlo k vytržení dřeva v místě uchycení stroje Z050 a následnému prokluzu upínacích čelistí (viz obrázek 51). Pro provedení měření by bylo nutné použít uchycující čelisti s větší plochou. Plocha těchto čelistí je 4800 mm<sup>2</sup>. Nebo mezi upínací čelisti a dřevěný prvek vložit ocelový plech, který by dané zatížení přenesl. V tomto případě by se ale zmenšila upínací šířka a dřevěná pásnice by se nevešla do upínacích čelistí.



**Obrázek 51** – Poškozený vzorek T1 [autor]

Kvůli nepovedenému měření vzorku T1 byl vzorek T2 testován na stroji Zwick / Roell Z250, kde plocha uchycujících čelistí je kruhová o obsahu 4417 mm<sup>2</sup>. Šířka upnutí u stroje Z250 je 50 mm a nebylo tedy nutné provádět zužování dřevěné pásnice. U testování vzorku T2 došlo k rozdrčení dřeva v místě uchycení a vzorek se tak stal nezměřitelný (viz obrázek 52). Ostatní vzorky T3, T4 a T5 tak nemělo smysl měřit.

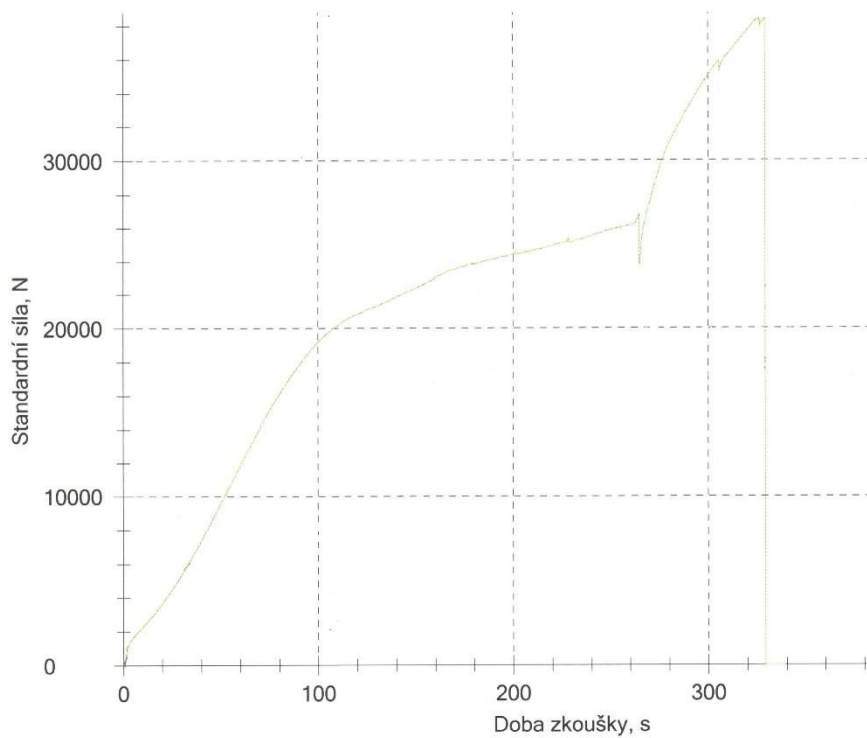




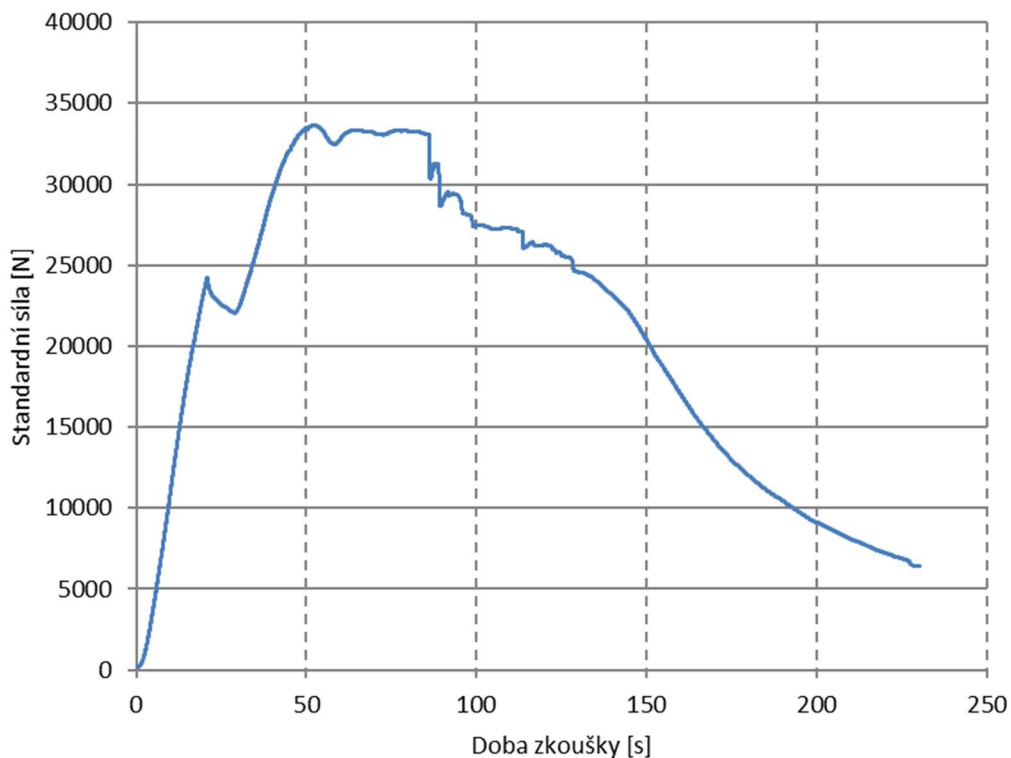
**Obrázek 52** – Poškozený vzorek T2 [autor]

Naměřené hodnoty byly zaznamenávány do grafů - závislosti přibývající síly na době trvání zkoušky (viz grafy 9, 10).

**Naměřená data:**



**Graf 9** – Závislost síly na době trvání zkoušky – MITEK T150, vzorek T1 [autor]



**Graf 10** – Závislost síly na době trvání zkoušky – MITEK T150, vzorek T2 [autor]

#### Závěr:

U vzorku T1 došlo k vytržení dřeva z dřevěné pásnice při dosažení síly **38 425 N** (viz graf 9) a u vzorku T2 došlo k rozdrčení dřeva při dosažení síly **33 626 N** (viz graf 10). V obou případech nedošlo k selhání spoje dřevěné pásnice. Podle vypočtených hodnot by spoj dřevěné pásnice měl selhat při dosažení kritické síly  $F_{cr,k} = 51\,710\text{ N}$ .

### 9.3 Srovnání vypočtených a naměřených hodnot

V tabulce 27 jsou uvedeny průměrné naměřené a vypočtené hodnoty tahové síly, při které došlo k porušení spoje dřevěné pásnice spojované pomocí desky s prolisovanými trny.

**Tabulka 27** – Srovnání vypočtených a naměřených hodnot pevnosti v tahu spoje dřevěné pásnice spojované pomocí desky s prolisovanými trny [autor]

Srovnání vypočtených a naměřených hodnot tahové síly				
		Hodnoty tahové síly (kN):		
		Spoj provedený pomocí styčnickových desek GNA 20-MIT		Spoj provedený pomocí styčnickových desek M-T150
		Spoj provedený lisováním firmou PILA MARTINICE s.r.o	Spoj provedený ruční aplikací styčnickových desek	Spoj provedený lisováním firmou TESARIO s.r.o.
Vypočtené hodnoty maximální tahové síly (kN)	Charakteristická pevnost připojení desky	36,25		58,34
	Charakteristická únosnost vlastní desky	31,92		51,71
	Návrhová pevnost připojení desky	32,96		53,03
	Návrhová únosnost vlastní desky	29,02		47,01
Zprůměrované hodnoty z laboratorního měření (kN)		32,18	15,83	Nezměřeno
Procentuální srovnání naměřené hodnoty z vypočtené charakteristiké únosnosti vlastní desky (%)		101%	50%	-

Naměřená průměrná hodnota pro lisovaný spoj provedený pomocí spojení styčnickových desek GNA 20-MIT je o 1 % vyšší než vypočítaná charakteristická hodnota. Pro spoj spojený pomocí styčnickových desek GNA 20-MIT provedený zatlučením byla naměřena hodnota o 50 % menší než vypočítaná charakteristická hodnota a o 51 % menší než hodnota naměřená pro lisovaný spoj. Spoje provedené pomocí styčnickových desek MITEK T150 nebylo možné změřit, protože nebylo možné upnout spoje pásnice do trhacího stroje tak aby nedošlo k rozdrčení či vytrhnutí dřeva v upínacích čelistech. Vždy došlo k tomuto poškození dřeva dříve než by nastalo roztržení spoje.



## 10 Skutečná pevnost dřeva v tlaku

V této kapitole je stanovena skutečná pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken a kolmo na vlákna. Pevnost dřeva je stanovena pomocí laboratorního měření – zkoušky pevnosti dřeva v tlaku.

### 10.1 Úvod

Cílem měření je zjištění skutečné pevnosti dřeva v tlaku ve směru vláken a kolmo na vlákna. Vzorky, kde je měřena pevnost v tlaku kolmo na vlákna, jsou zatěžovány ve dvou směrech. Vzorky 1K – 5K jsou zatěžovány v radiálním směru, vzorky 6K – 9K jsou zatěžovány v tangenciálním směru. Směry zatěžování vzorků jsou uvedeny na obrázku 53.



**Obrázek 53** – Směry zkoušení pevnosti dřeva [autor]

Pevnost dřeva charakterizuje odolnost dřeva proti jeho trvalému porušení. Pevnost dřeva se vyjadřuje napětím, při kterém dojde k porušení soudržnosti dřeva. Výjimkou je stanovení pevnosti dřeva v tlaku kolmo na vlákna. V tomto případě nikdy nelze dosáhnout konečného porušení vzorku, pouze dochází k postupné deformaci a zhušťování dřevní struktury v celém objemu vzorku. Pevnost v tlaku napříč vláken se tedy v tomto případě stanovuje z meze úměrnosti, kterou je v některých případech těžké určit a proto je zavedena takzvaná konvenční (smluvní) pevnost dřeva.

Největší vliv na mechanické vlastnosti dřeva má hustota a vlhkost. Testované vzorky jsou zhotoveny z jehličnatého smrkového dřeva pevnostní třídy C24 (viz tabulka 28) a jsou vysušené na 12%. Hodnoty mechanických vlastností jsou v odborné literatuře uváděny také pro vlhkost  $w = 12\%$ .

**Tabulka 28** – Charakteristické hodnoty pevnosti pro konstrukční dřevo C24 [autor]

Charakteristické pevnosti dřeva C24 podle EN 338	
charakteristická pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken	$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$
charakteristická pevnost dřeva v tlaku kolmo na vlákna	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$

## 10.2 Soubory vzorků

Pro stanovení skutečné pevnosti dřeva v tlaku byly sestaveny dva soubory vzorků:

- Soubor vzorků testovaný ve směru vláken – 5 ks – rozměry  $\cong 50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$
- Soubor vzorků testovaný kolmo na vlákna v radiálním směru
  - 5 ks - rozměry  $\cong 50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$
- Soubor vzorků testovaný kolmo na vlákna v tangenciálním směru
  - 4 ks - rozměry  $\cong 50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$

Přesné rozměry konkrétních vzorků jsou stanoveny v tabulkách 29 a 30.

## 10.3 Postup měření

Zkušební vzorky o velikosti  $\cong 50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$  použité v experimentu, byly po delší dobu klimatizovány v pokojových podmínkách, tak aby došlo ke sjednocení vlhkosti jednotlivých vzorků.

Pro laboratorní měření byl použit zkušební stroj pro statické zkoušky pevnosti materiálů – Zwick / Roell Z250 (viz obrázek 54). Stroj byl nastaven pro zkoušení pevnosti materiálu v tlaku. Před zkouškou byly změřeny rozměry všech vzorků. Z naměřených hodnot se po zkoušce stanovilo dle vzorce (9) napětí, při kterém došlo k porušení vzorku.

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (9)$$

kde  $\sigma$  je napětí v tlaku (MPa),  $F$  je velikost síly namáhání (N),  $S$  je plocha průřezu ( $\text{mm}^2$ )

Po změření velikosti vzorků, byly zkušební vzorky jednotlivě vkládány do stroje a postupně zatěžovány rychlostí posuvu čelistí 10 mm/min. Poté měřící zařízení s výpočetní stanicí zaznamenávalo posunutí čelistí a tomu odpovídající sílu. U vzorků zkoušených ve směru vláken, zaznamenávání hodnot probíhalo do dosažení meze pevnosti (porušení vzorku).

U vzorků zkoušených kolmo k vláknům, zaznamenávání probíhalo do rozdrčení vzorků 15 mm. Naměřené hodnoty jsou vyobrazeny v tabulkách 29, 30 a grafech 11, 12.



**Obrázek 54** – Stroj pro statické zkoušky Zwick / Roell Z250 [autor]

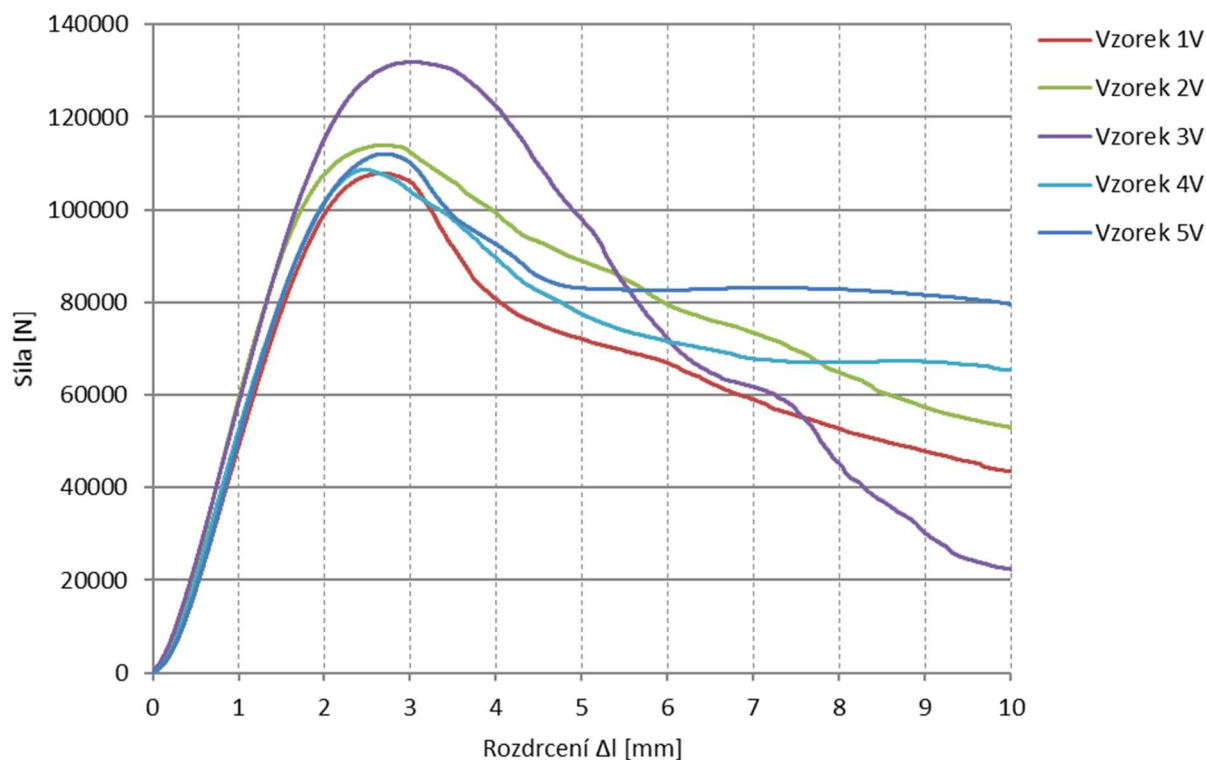
#### 10.4 Naměřené pevnosti dřeva

**Tabulka 29** – Zkouška pevnosti v tlaku ve směru vláken, laboratorní měření [autor]

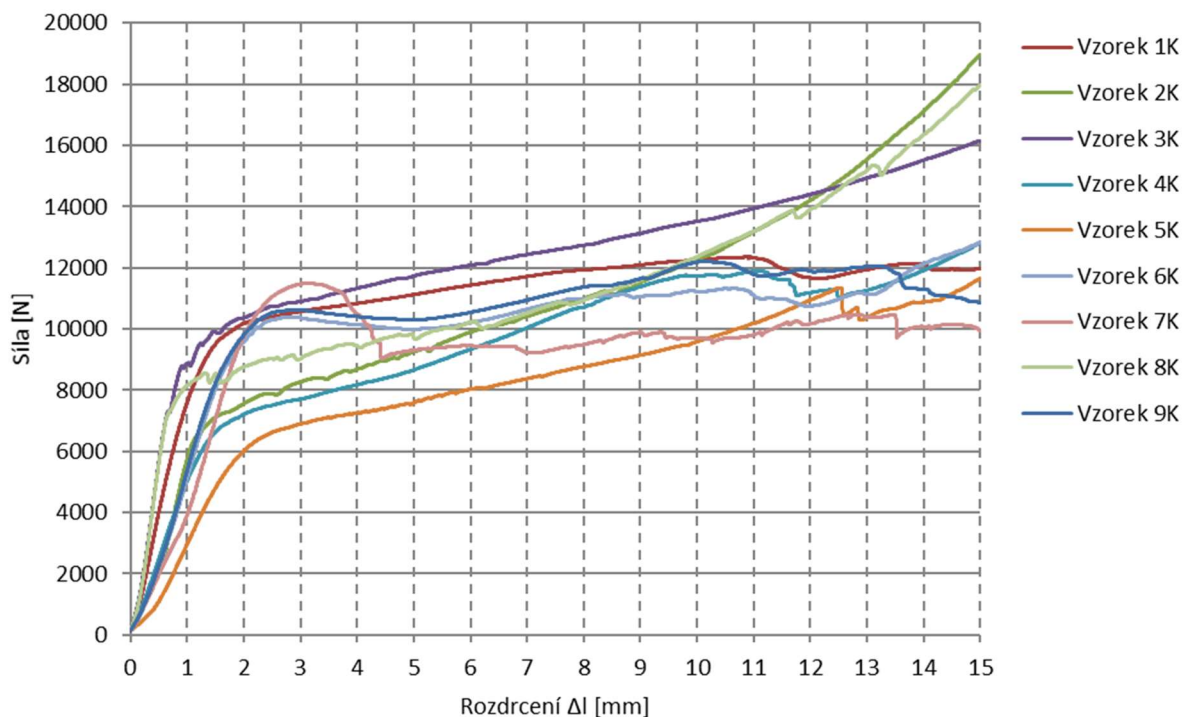
Zkouška pevnosti v tlaku ve směru vláken							
Číslo vzorku	Rozměry vzorku			Zatěžovaná plocha vzorku	Objem vzorku	Síla při které dojde k dosažení meze pevnosti	Napětí
	a (mm)	b (mm)	v (mm)	S (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	F (N)	σ (MPa)
1V	49	48	51	2352	119952	107924	45,9
2V	49	48	49	2352	115248	113897	48,4
3V	49	49	50	2401	120050	131846	54,9
4V	49	48	51	2352	119952	108671	46,2
5V	51	49	51	2499	127449	112029	44,8
Aritmetický průměr naměřených hodnot						114873	<b>48,1</b>

**Tabulka 30** – Zkouška pevnosti v tlaku kolmo na vlákna, laboratorní měření [autor]

Zkouška pevnosti v tlaku kolmo na vlákna								
Směr	Číslo vzorku	Rozměry vzorku			Zatěžovaná plocha vzorku	Objem vzorku	Síla na mezi úměrnosti	Napětí na mezi úměrnosti
		a (mm)	b (mm)	v (mm)	S (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	F (N)	$\sigma$ (MPa)
Radiální	1K	48	51	51	2448	124848	8111	3,3
	2K	49	49	50	2450	120050	6305	2,6
	3K	50	49	50	2500	122500	7103	2,8
	4K	50	49	51	2550	124950	6542	2,6
	5K	50	50	49	2450	122500	5996	2,4
	Aritmetický průměr naměřených hodnot v radiálním směru							<b>7015</b>
Tangenciální	6K	49	49	50	2450	120050	8520	3,5
	7K	49	49	50	2450	120050	4050	1,7
	8K	50	49	50	2450	122500	7135	2,9
	9K	48	48	50	2400	115200	8503	3,5
	Aritmetický průměr naměřených hodnot v tangenciálním směru							<b>7052</b>
Aritmetický průměr naměřených hodnot v radiálním a tangenciálním směru							<b>7034</b>	<b>2,9</b>



**Graf 11** – Závislost síly na rozdrčení, vzorky zatěžované ve směru vláken [autor]



**Graf 12** – Závislost síly na rozdrčení, vzorky zatěžované kolmo na vlákna [autor]

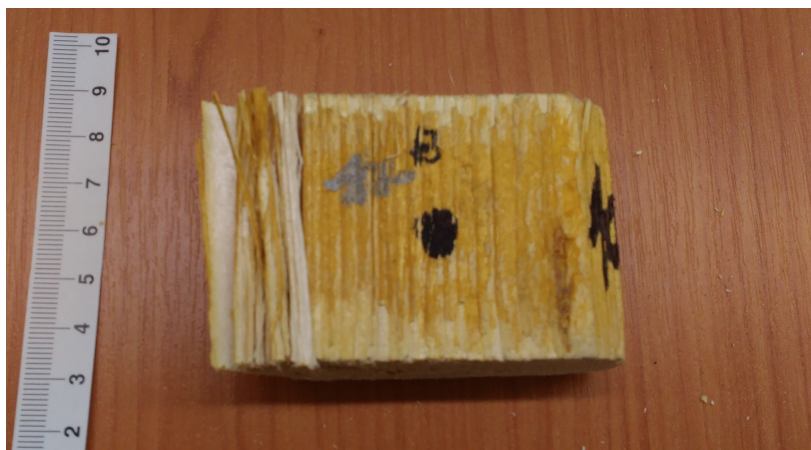
## 10.5 Závěr

Z naměřených hodnot skutečné pevnosti smrkového dřeva C24 v tlaku ve směru vláken, kde naměřená průměrná hodnota napětí je 48,1 MPa (viz tabulka 29), je zřejmé že dřevo má oproti hodnotě uváděné v odborné literatuře  $f_{c,0,k} = 21$  MPa ve skutečnosti 2,3 krát větší pevnost. Je to způsobené tím, že se v odborné literatuře uvažuje s výskytem vad dřeva (suků, trhlin). Porušení dřeva po zkoušce je zobrazeno na obrázku 55.

U měření pevnosti dřeva kolmo k vláknům, kde nedochází k celkovému porušení vzorku (viz obrázek 56), se pevnost dřeva určuje z meze úměrnosti (viz graf 12). Rozdíl mezi vzorky zatěžovanými v radiálním a tangenciálním směru jsou zanedbatelné – liší se o 0,1 MPa. Naměřená průměrná hodnota pevnosti dřeva v tlaku kolmo k vláknům je 2,9 MPa, což je vyšší hodnota než charakteristická hodnota uváděná v odborné literatuře  $f_{c,90,k} = 2,5$  MPa.



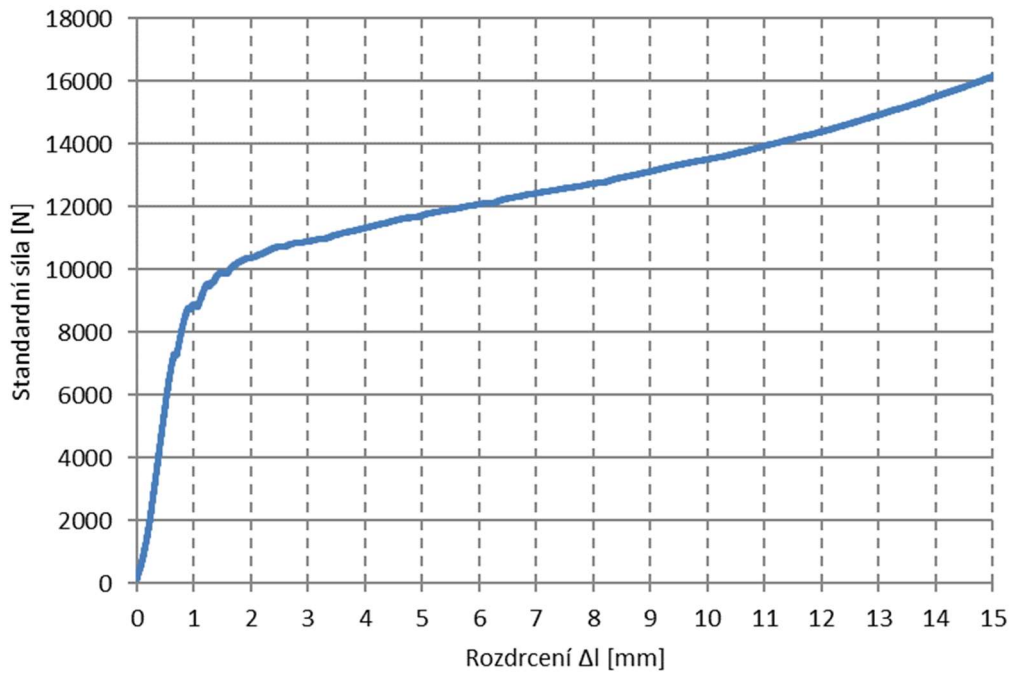
**Obrázek 55** – Typické porušení vzorků namáhaných ve směru vláken [autor]



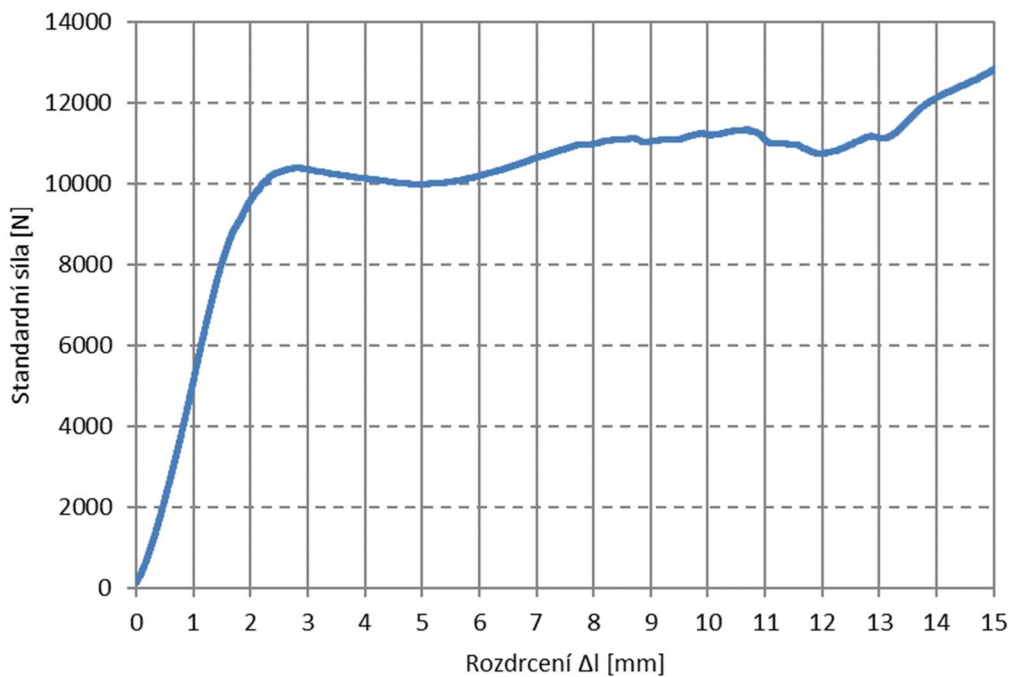
**Obrázek 56** – Typické porušení vzorků namáhaných kolmo k vláknům [autor]

Na grafech 13, 14 je uvedena závislost síly na rozdrčení u vzorků namáhaných v radiálním nebo tangenciálním směru. Z uvedených grafů je patrné, že u prvku namáhaného v tangenciálním směru dochází k většímu porušení dřeva.





**Graf 13** – Typická závislost síly na rozdrcení u vzorků zatěžovaných kolmo na vlákna v radiálním směru [autor]



**Graf 14** – Typická závislost síly na rozdrcení u vzorků zatěžovaných kolmo na vlákna v tangenciálním směru [autor]



## Závěr

V diplomové práci se zabývám aplikací dřeva v moderním stavitelství.

V teoretické části diplomové práce je shrnuto, co je to dřevo. Je zde uveden průřez informacemi o dřevu, materiálech na bázi dřeva, konstrukcích ze dřeva, o využití dřeva v pozemním stavitelství a o aplikaci dřeva v rizikových podmínkách. V textu jsou uvedeny analýzy, úvahy, jednotlivé srovnání a hodnocení.

V praktické části diplomové práce byly provedeny experimenty a jejich následné vyhodnocení. Byl proveden požární experiment, zkouška pevnosti spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky v tahu a zkouška pevnosti dřeva v tlaku.

U požárního experimentu se jednalo o jednoduchý studentský experiment s výraznými omezeními, kterým jsem si chtěl ověřit některé předpoklady, nikoliv dosáhnout nějakých zásadních výsledků.

V případě tahové zkoušky u spoje dřevěné pásnice pomocí styčnickové desky s prolisovanými trny se jednalo o experiment prováděný v laboratořích Západočeské univerzity v Plzni. Bylo provedeno ověření únosnosti spoje a srovnání s vypočtenou hodnotou. Experimentem se ověřilo, že naměřené hodnoty odpovídají hodnotám vypočítaným. Experiment také potvrdil předpoklad, že styčnickové desky se musí aplikovat lisováním nikoliv zatloukáním styčnickové desky.

Zkouška pevnosti dřeva v tlaku byla také prováděna v laboratořích Západočeské univerzity v Plzni. Laboratorním měřením byl dokázán původní předpoklad, že pevnost dřeva ve směru vláken je ve skutečnosti násobně větší než pevnosti dřeva uváděné v odborné literatuře. Dále bylo experimentem dokázáno, že pevnost dřeva kolmo na vlákna v radiálním a tangenciálním směru se výrazně neliší.

## Seznam příloh

**Příloha č. 1** – Prohlášení o vlastnostech DoPGNA20-MIT

**Příloha č. 2** – Prohlášení o vlastnostech DoPMIT-T150

## Seznam použitých zdrojů

- [1] **GANDELOVÁ Libuše, Petr HORÁČEK a Jarmila ŠLEZINGEROVÁ.** Nauka o dřevě. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009. ISBN 978-80-7375-312-2.
- [2] Přehled fyzikálních vlastností dřeva. *Akela.mendelu.cz*. [Online] [Citace: 26. 09 2018.] [https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/EOPORY/DROCH-Drevo\\_a\\_jeho\\_ochrana/droch\\_cv\\_05-FVD.pdf](https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/EOPORY/DROCH-Drevo_a_jeho_ochrana/droch_cv_05-FVD.pdf).
- [3] **HORÁČEK, Petr.** Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. 2., přeprac. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-169-2.
- [4] Mechanické vlastnosti dřeva. *Vos.volyn.cz*. [Online] [Citace: 04. 10 2018.] <http://www.vos.volyn.cz/tu/soubory/mechvlast.pdf>.
- [5] Morfologická charakteristika dřevin. *Is.mendelu.cz*. [Online] [Citace: 01. 10 2018.] [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=71328](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=71328).
- [6] Dřeň. *Mezistromy.cz*. [Online] [Citace: 02. 10 2018.] <https://www.mezistromy.cz/slovník/dren>.
- [7] ČSN EN 338 (73 1711). Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti. Praha : Český normalizační institut. Třídící znak: 731711. 68519.
- [8] Třídění a kvalita stavebního řeziva - konstrukční materiály. *Drevostavby.cz*. [Online] [Citace: 2. 10 2018.] <https://www.drevostavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/3551-trideni-stavebniho-reziva>.
- [9] Dřevo a materiály na jeho bázi ve stavebnictví. *Msdk.cz*. [Online] [Citace: 08. 10 2018.] <http://www.msdk.cz/files/clanek-drevo-a-materialy-na-jeho-bazi.pdf>.
- [10] BSH - lepené lamelové dřevo. *Palis.cz*. [Online] [Citace: 08. 10 2018.] <https://www.palis.cz/dalsi-produkty/dreveny-sortiment/lepene-profily/bsh---lepene-lamelove-drevo/>.
- [11] **Soukup, Ondřej.** 6 důvodů pro KVH hranoly. *Drevostavitel.cz*. [Online] [Citace: 08. 10 2018.] <https://www.drevostavitel.cz/clanek/6-duvodu-pro-kvh-hranoly>.
- [12] Konstrukční hranoly KVH, DUO-TRIO, BSH. *Raj-dreva.cz*. [Online] [Citace: 08. 10 2018.] <http://www.raj-dreva.cz/produkty/konstrukcni-hranoly-kvh-duo-trio-bsh/>.
- [13] DUO/TRIO. *holz.cz*. [Online] [Citace: 26. 11 2018.] <http://www.holz.cz/cz/sortiment/Sortiment/Detail/id-8/index.html>.

- [14] Technologie lepeného konstrukčního dřeva pro nosné účely. *holz.cz*. [Online] [Citace: 26. 11 2018.] <http://www.holz.cz/cz/aktuality/Aktuality/Detail/id-3/index.html>.
- [15] Dřevěné konstrukce. *Mech.fd.cvut.cz*. [Online] [Citace: 3. 10 2018.] <http://mech.fd.cvut.cz/members/malinovsky/materialy/Drevo%20prezentace.pdf>.
- [16] Materiály na bázi dřeva. *epax.cz*. [Online] [Citace: 27. 11 2018.] <http://upload.epax.cz/materialy.pdf>.
- [17] Materiály na bázi dřeva. *Homel.vsb.cz*. [Online] [Citace: 04. 10 2018.] <http://homel.vsb.cz/~ros11/Drevo/04%20Materialy%20na%20bazi%20dreva.pdf>.
- [18] Překližkové desky. *Kaplanpraha.cz*. [Online] [Citace: 30. 10 2018.] [www.kaplanpraha.cz/editor/image/stranky3\\_galerie/tn\\_zoom\\_obrazek\\_744.jpg](http://www.kaplanpraha.cz/editor/image/stranky3_galerie/tn_zoom_obrazek_744.jpg).
- [19] **HOLBA, Ladislav**. Posouzení možnosti použití vrstvených materiálů pro výrobu dřevostaveb. [Online] [Citace: 28. 11 2018.] [https://is.mendelu.cz/zp/portal\\_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=36479;zp=26723;jazyk\\_zalozka=3;lang=cz](https://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=36479;zp=26723;jazyk_zalozka=3;lang=cz).
- [20] Konštrukčné drevné materiály. *Konštrukčné drevné materiály*. [Online] [Citace: 01. 10 2018.] <http://www.vos.volyne.cz/tu/soubory/KDM.pdf>.
- [21] Prohlášení o vlastnostech č. P5-CPR-2013-07-01. *kronospan-express.com*. [Online] [Citace: 28. 11 2018.] [https://cz.kronospan-express.com/cs/ajax/express\\_services/download?show=1&args%5B0%5D=express-services&args%5B1%5D=downloads&args%5B2%5D=Czech-Republic&args%5B3%5D=declaration-of-performance&args%5B4%5D=pb-p5-cz-po-v-cpr-2017-10-23.pdf&name=PB+P5](https://cz.kronospan-express.com/cs/ajax/express_services/download?show=1&args%5B0%5D=express-services&args%5B1%5D=downloads&args%5B2%5D=Czech-Republic&args%5B3%5D=declaration-of-performance&args%5B4%5D=pb-p5-cz-po-v-cpr-2017-10-23.pdf&name=PB+P5).
- [22] Prohlášení o vlastnostech č. OSB3-CPR-2013-07-01. *cz.kronospan-express.com*. [Online] [Citace: 28. 11 2018.] [https://cz.kronospan-express.com/cs/ajax/express\\_services/download?args%5B0%5D=express-services&args%5B1%5D=downloads&args%5B2%5D=Czech-Republic&args%5B3%5D=declaration-of-performance&args%5B4%5D=osb3-eco-cz-po-v-cpr-2016-10-24.pdf&show=1](https://cz.kronospan-express.com/cs/ajax/express_services/download?args%5B0%5D=express-services&args%5B1%5D=downloads&args%5B2%5D=Czech-Republic&args%5B3%5D=declaration-of-performance&args%5B4%5D=osb3-eco-cz-po-v-cpr-2016-10-24.pdf&show=1).
- [23] Declaration of performance MDF.HLS. *kronospan-express.com*. [Online] [Citace: 29. 11 2018.] [https://cz.kronospan-express.com/cs/ajax/express\\_services/download?args%5B0%5D=express-services&args%5B1%5D=downloads&args%5B2%5D=Czech-Republic&args%5B3%5D=declaration-of-performance&args%5B4%5D=mdf-hls-en-do-2017.pdf&show=1](https://cz.kronospan-express.com/cs/ajax/express_services/download?args%5B0%5D=express-services&args%5B1%5D=downloads&args%5B2%5D=Czech-Republic&args%5B3%5D=declaration-of-performance&args%5B4%5D=mdf-hls-en-do-2017.pdf&show=1).

- [24] Konstrukce dřevostaveb. *Drevostavby.cz*. [Online] [Citace: 08. 10 2018.]  
<https://www.drevostavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/1841-nizkoenergeticky-dum-v-dobrusce-je-chvalou-cementotriskovych-desek>.
- [25] CETRIS. *Cetris.cz*. [Online] [Citace: 08. 10 2018.] <http://www.cetris.cz/>.
- [26] Technický list CETRIS BASIC. *cetris.cz*. [Online] [Citace: 28. 11 2018.]  
<http://www.cetris.cz/pagedata/boards/technical-data-sheet-basic-cz.pdf?1467610461>.
- [27] Technické specifikace Ultralam. *ultralam-lvl.cz*. [Online] [Citace: 30. 11 2018.]  
<http://www.ultralam-lvl.cz/images/Dokumentace/LVL1.pdf>.
- [28] Modifikované dřevo. *Drevostavby.cz*. [Online] [Citace: 06. 10 2018.]  
<https://www.drevostavby.cz/component/content/article/252-m/1028-modifikovane-drevo>.
- [29] **VAVERKA Jiří**. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2205-4.
- [30] Šikmé střechy. *Fce.vutbr.cz*. [Online] [Citace: 09. 10 2018.]  
[https://www.fce.vutbr.cz/PST/kolar.r/files/BH02\\_prednaska\\_11\\_2014\\_STUDENTI.pdf](https://www.fce.vutbr.cz/PST/kolar.r/files/BH02_prednaska_11_2014_STUDENTI.pdf).
- [31] **JELÍNEK, Lubomír, Petr ČERVENÝ a František ŘÁHA**. *Nové krovy*. Praha: pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2017. ISBN 978-80-87438-94-7.
- [32] Dřevěné příhradové vazníky: Proč stále častěji nahrazují klasický krov? *Drevostavitel.cz*. [Online] [Citace: 10. 10 2018.] <https://www.drevostavitel.cz/clanek/prihradove-vazniky>.
- [33] Drevené štavebné konštrukcie. *Vos.volynе.cz*. [Online] [Citace: 09. 10 2018.]  
<http://www.vos.volynе.cz/tu/soubory/DRS.pdf>.
- [34] **ZAHRADNÍČEK Václav a Pavel HORÁK**. *Moderní dřevostavby*. Vyd. 2., aktualiz. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3568-6.
35. **OSVALD, Anton, Ladislav REINPRECHT a Jozef ŠTEFKO**. *Moderní dřevostavby + nízkoenergetické domy: vše o bydlení*. Bratislava: JAGA Group, 2014.
- [36] Moderní technologie „POSI“ pro pasivní a nízkoenergetické stavby. *stavba.tzb-info.cz*. [Online] [Citace: 23. 11 2018.] <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/8579-moderni-technologie-posi-pro-pasivni-a-nizkoenergeticke-stavby>.
- [37] Ocelové a dřevěné konstrukce. *Fast10.vsb.cz*. [Online] [Citace: 11. 10 2018.]  
[http://fast10.vsb.cz/odk/prednasdk/ODPK\\_AL\\_06.pdf](http://fast10.vsb.cz/odk/prednasdk/ODPK_AL_06.pdf).

- [38] KLH – masivní panely z lepeného dřeva. *Stavebnictvi3000.cz*. [Online]  
<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/klh-masivni-panely-z-lepeneho-dreva/>.
- [39] **PAVLAS, Marek**. *Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: technologie CLT*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-271-0055-2.
- [40] Ekonomické výhody dřevostaveb. *Mezistromy.cz*. [Online] [Citace: 27. 10 2018.]  
<https://www.mezistromy.cz/zajimavosti-o-drevostavbach/ekonomicke-vyhody-drevostaveb/odborny>.
- [41] Cenové ukazatele ve stavebnictví. *Stavebnistandardy.cz*. [Online] [Citace: 28. 10 2018.]  
[http://www.stavebnistandardy.cz/doc/ceny/thu\\_2018.html](http://www.stavebnistandardy.cz/doc/ceny/thu_2018.html).
- [42] Halové stavby s dřevěnými obloukovými, vazníkovými a rámovými nosnými dílci. *casopisstavebnictvi.cz*. [Online] [Citace: 07. 11 2018.]  
[https://www.casopisstavebnictvi.cz/halove-stavby-s-drevenymi-obloukovymi-vaznikovymi-a-ramovymi-nosnymi-dilci\\_N442](https://www.casopisstavebnictvi.cz/halove-stavby-s-drevenymi-obloukovymi-vaznikovymi-a-ramovymi-nosnymi-dilci_N442).
- [43] Výstavba skladovací haly. *drevene-vazniky.info*. [Online] [Citace: 07. 11 2018.]  
<http://www.drevene-vazniky.info/aktuality/vystavba-skladovaci-haly/>.
- [44] Dřevěné stropy Fermacell. *Fermacell.cz*. [Online] [Citace: 11. 11 2018.]  
<https://marketing.fermacell.cz/viewer/konstrukcni-detaily/#/62-63/zoomed>.
- [45] **ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK**. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. české vyd. Bratislava: JAGA, 2009. Home. ISBN 978-80-8076-080-9.
- [46] Spojovací prvky dřevěných konstrukcí. *Asb-portal.cz*. [Online] [Citace: 17. 10 2018.]  
<https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/drevostavby/spojovaci-prvky-drevenych-konstrukci>.
- [47] Bova-nail. *Bova-nail.cz*. [Online] [Citace: 12. 11 2018.] <http://bova-nail.cz/wp-content/uploads/2015/09/Hmo%C5%BEdinka-Buldog-9536-13-03.png>.
- [48] Systémové spojovací prostředky. *Asb-portal.cz*. [Online] [Citace: 20. 11 2018.]  
<https://www.asb-portal.cz/fotogalerie/stavebnictvi/spojovaci-prvky-drevenych-konstrukci-fotoalbum/spojovaci-prvky-drevenych-konstrukci-1>.
- [49] Rekonstrukce dřevěných prvků protézováním, příložkováním a ukotvením do ocelových konzol. *asb-portal.cz*. [Online] [Citace: 08. 11 2018.] <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strop-a-podlaha/stropni-system/rekonstrukce-drevenych-prvku-protezovanim-prilozkovanim-a-ukotvenim-do-ocelovych-konzol>.

- [50] Příklady využití dodatečně lepené syntetické FRP výztuže v pozemním stavitelství. *Fast10.vsb.cz*. [Online] [Citace: 17. 10 2018.] <http://fast10.vsb.cz/science/seminar2009/pics/46.pdf>.
- [51] Zesilování stavebních konstrukcí dodatečně lepenou kompozitní výztuží. *casopisstavebnictvi.cz*. [Online] [Citace: 10. 11 2018.] [https://www.casopisstavebnictvi.cz/zsilovani-stavebnich-konstrukci-dodatecne-lepenou-kompozitni-vyztuzi\\_N1126](https://www.casopisstavebnictvi.cz/zsilovani-stavebnich-konstrukci-dodatecne-lepenou-kompozitni-vyztuzi_N1126).
- [52] Odolnost a trvanlivost dřevěných konstrukcí. *Stavba.tzb-info.cz*. [Online] [Citace: 23. 10 2018.] <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/9638-odolnost-a-trvanlivost-drevenych-konstrukci>.
- [53] Chemická ochrana dřeva. *Asb-portal.cz*. [Online] [Citace: 18. 10 2018.] <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/lepidla-natery-tmely/chemicka-ochrana-dreva>.
- [54] Poškození dřevěných konstrukcí biotickými a atmosférickými činiteli. *Imaterialy.dumabyt.cz*. [Online] [Citace: 19. 10 2018.] [https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/poruchy/poskozeni-drevenych-konstrukci-biotickymi-a-atmosferickymi-ciniteli\\_42582.html](https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/poruchy/poskozeni-drevenych-konstrukci-biotickymi-a-atmosferickymi-ciniteli_42582.html).
- [55] Atmosférická a biologická koroze. *Drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz*. [Online] [Citace: 18. 10 2018.] <http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/files/atmosfericka-a-biologicka-koroze-dreva.pdf>.
- [56] Abiotické formy znehodnocení dřeva. [Online] [Citace: 17. 10 2018.] <https://docplayer.cz/19382766-3-abioticke-formy-znehodnoceni-dreva.html>.
- [57] **LOKAJ, Antonín.** *Dřevostavby a dřevěné konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.
- [58] Dřevokazný hmyz. *Ochranadreva-brutus.cz*. [Online] [Citace: 19. 10 2018.] <http://www.ochranadreva-brutus.cz/skudci/drevokazny-hmyz/>.
- [59] Hoření dřeva a jeho ochrana proti ohni. *Drevari.humlak.cz*. [Online] [Citace: 25. 10 2018.] [http://drevari.humlak.cz/data\\_web/Data\\_skola/HUdreva/12.pdf](http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/12.pdf).
- [60] Požární nátěry. *People.fsv.cvut.cz*. [Online] [Citace: 26. 10 2018.] [http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni\\_odolnost/e-text/technici/3/3-4\\_Protipozarni\\_natery.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/technici/3/3-4_Protipozarni_natery.pdf).
- [61] Zvyšování požární odolnosti. *Fce.vutbr.cz*. [Online] [Citace: 27. 10 2018.] <https://www.fce.vutbr.cz/pst/bstud/BH11/pozarod.pdf>.



[62] Ocelové a dřevěné prvky - Požární únosnost. *homel.vsb.cz*. [Online] [Citace: 29. 11 2018.] <http://homel.vsb.cz/~ros11/Ocelove%20a%20drevene%20prvky%20a%20kce/08%20Pozarni%20unosnost.pdf>.

## Přílohy



## PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH

č.: DoPGNA20-MIT  
vydáno: 28.02.2014

1. **Výrobek**  
Styčnicková deska GNA20-MIT
2. **Typové označení**  
GNA20-MIT
3. **Zamýšlené použití**  
Styčnicková deska s prolisovanými trny pro nosné dřevěné výrobky
4. **Výrobce**  
MITEK INDUSTRIES, spol. s r.o., Drážní 7, 627 00 Brno, Česká republika  
tel. +420 531 022 272, e-mail: mitek@mitek.cz
5. **Zplnomocněný zástupce**  
Neuplatněn/na
6. **Systém posuzování a ověřování stálosti vlastnosti**  
systém posuzování shody 2+
7. **Technická specifikace - hEN**  
Harmonizovaná norma EN 14545:2008  
Certifikát factory production control (FPC) 1020-CPR-070038938  
Původní posouzení FPC OS-1020-Technický a zkušební  
Průběžné posouzení FPC ústav stavební Praha, s.p.
8. **Technická specifikace - ETA**  
Neuplatněn/na
9. **Vlastnosti uvedené v prohlášení**

Základní vlastnosti	Hodnota vlastnosti	Harmonizovaná tech. specifikace
Ocel	S250GD + Z275 NAC/MAC/MBC	EN 10143:2006 & EN 10346:2009
Tloušťka	1,0 mm	EN 14545:2008
Charakteristická kapacita desek proti vytažení. Masívní a lepené dřevo při char. hustotě dřeva $\rho_k=350 \text{ kg/m}^3$ .	$f_{A,0,0} = 2,83 \text{ N/mm}^2$ $f_{A,90,90} = 1,63 \text{ N/mm}^2$ $k_1 = -0,013$ $k_2 = 0,0004$ $\alpha_0 = 29,0^\circ$	
Charakteristická únosnost desek v tahu, tlaku a stříhu	$f_{t,0} = 152 \text{ N/mm}$ ; $f_{t,90} = 83 \text{ N/mm}$ $f_{c,0} = 89 \text{ N/mm}$ ; $f_{c,90} = 70 \text{ N/mm}$ $f_{v,0} = 61 \text{ N/mm}$ ; $f_{v,90} = 42 \text{ N/mm}$ $\gamma_0 = -0,30^\circ$ ; $k_v = 0,87$	
Modul prokluzu při hustotě dřeva $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$	$k_{w, \text{min}} = 13,1 \text{ N/mm}^2$	
Houževnatost tmů (kržků) styčnickových desek	splněno	
Minimální tloušťka řeziva	35 mm	
Trvanlivost, korózní odolnost	Žárově zinkováno, provedení Z275	
Servisní třída	2	EN1995-1-1

TABULKA OBSAHUJE ZÁKLADNÍ DATA.

Vlastnosti výrobku dle bodu 1. a 2. jsou ve shodě s vlastnostmi uvedenými v tabulce bodu 9. Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodu 4.

Podepsán jménem výrobce: MITEK INDUSTRIES, spol. s r.o.

Antonín Kynčl

Jednatel společnosti

Brno 28.02.2014



## PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH

č.: DoPMIT-T150  
vydáno: 28.02.2014

1. **Výrobek**  
Styčnicková deska MIT-T150
2. **Typové označení**  
MIT-T150
3. **Zamýšlené použití**  
Styčnicková deska s prolisovanými trny pro nosné dřevěné výrobky
4. **Výrobce**  
MITEK INDUSTRIES, spol. s r.o., Drážní 7, 627 00 Brno, Česká republika  
tel. +420 531 022 272, e-mail: mitek@mitek.cz
5. **Zplnomocněný zástupce**  
Neuplatněn/na
6. **Systém posuzování a ověřování stálosti vlastností**  
systém posuzování shody 2+
7. **Technická specifikace - hEN**  
Harmonizovaná norma EN 14545:2008  
Certifikát factory production control (FPC) 1020-CPR-070038938  
Původní posouzení FPC OS-1020-Technický a zkušební  
Průběžné posouzení FPC ústav stavební Praha, s.p.
8. **Technická specifikace - ETA**  
Neuplatněn/na
9. **Vlastnosti uvedené v prohlášení**

Základní vlastnosti	Hodnota vlastnosti	Harmonizovaná tech. specifikace
Oceľ	S250GD + Z275 NAC/MAC/MBC	EN 10143:2006 & EN 10346:2009
Tloušťka	1,5 mm	EN 14545:2008
Charakteristická kapacita desek proti vytažení. Masivní a lepené dřevo při char. hustotě dřeva $\rho_k=350 \text{ kg/m}^3$ .	$f_{A,0,0} = 2,61 \text{ N/mm}^2$ $f_{A,90,90} = 1,94 \text{ N/mm}^2$ $k_1 = -0,0058$ $k_2 = -0,039$ $\alpha_0 = 85,6^\circ$	
Charakteristická únosnost desek v tahu, tlaku a stříhu	$f_{t,0} = 251 \text{ N/mm}$ ; $f_{t,90} = 132 \text{ N/mm}$ $f_{c,0} = 164 \text{ N/mm}$ ; $f_{c,90} = 100 \text{ N/mm}$ $f_{v,0} = 80 \text{ N/mm}$ ; $f_{v,90} = 72 \text{ N/mm}$ $\gamma_0 = 5,50^\circ$ ; $k_v = 0,59$	
Modul prokluzu při hustotě dřeva $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$	$k_{gr,mean} = 9,5 \text{ N/mm}^2$	
Houževnatost trnů (krčků) styčnickových desek	splněno	
Minimální tloušťka žeziva	35 mm	
Trvanlivost, korózní odolnost	Žárově zinkováno, provedení Z275	
Servisní třída	2	EN1995-1-1

TABULKA OBSAHUJE ZÁKLADNÍ DATA.

Vlastnosti výrobku dle bodu 1. a 2. jsou ve shodě s vlastnostmi uvedenými v tabulce bodu 9. Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodu 4.

Podepsán jménem výrobce: MITEK INDUSTRIES, spol. s r.o.

Antonín Kyncl

Jednatel společnosti

Brno 28.02.2014