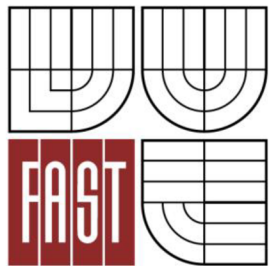




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A**  
**DÍLCŮ**

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

# **ODOLNOST LEPENÉ SPÁRY DŘEVA PROTI VYŠŠÍM TEPLOTÁM**

HEAT RESISTANCE OF WOOD BONDLINES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN ŠUSTÁČEK**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. JAN VANĚREK, Ph.D.

BRNO 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Jan Šustáček
<b>Název</b>	Odolnost lepené spáry dřeva proti vyšším teplotám
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2015
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	27. 5. 2016
V Brně dne 30. 11. 2015	

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

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

## Podklady a literatura

- Wald, F. a kol. Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8.
- Bradáčová a kol. Stavby a jejich požární bezpečnost, TK 20, Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika, Praha 1999, s. 263, ISBN 80-902697-2-9
- Richter, K., Steiger, R. Thermal Stability of Wood-Wood and Wood-FRP Bonding with Polyurethane and Epoxy Adhesives. *Advanced Engineering Materials*, 7 (5), 2005, 419–426
- Cavalli, A. Malavolti, M., Morosini, A., Salvini, A., Togni, M. Mechanical performance of full scale steel-timber epoxy joints after exposure to extreme environmental conditions, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2014, 54-86
- H. R. Milner, Towards a performance-based standard for structural timber bondlines, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2006, 20 (8), 897
- Custódio, J., Broughton, J., Cruz, H. A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2009, 29 (2), 173

## Zásady pro vypracování

V poslední době se rozvíjí oblast výstavby objektů, ve kterých se častěji vyskytují lepené dřevěné konstrukce, ať už se jedná o lepené lamelové dřevo, nebo o rostlé dřevo podélně napojované zazubenými spoji. Pro lepení jsou využívána lepidla na různé bázi, ponejvíce na fenolické či aminové bázi, případně lepidla izokyanátová. Pro tyto prvky je nezbytné znát i chování lepené spáry při vyšších teplotách.

V teoretické části bakalářské práce budou shrnuty požadavky na požární klasifikaci stavebních materiálů dle EN 13501-1 a následně stručně popsány základní normativní předpisy, kterými je upravována odolnost lepené spáry proto vyšším teplotám. Z provedené literární rešerše pak bude provedena analýza vlivu typu lepidla na odolnost lepené spáry při vyšší teplotě. Pozornost bude zaměřena zejména na hodnocení teplotní odolnosti pod zatížením. V dílčí experimentální části autor provede posouzení lepené spáry při aplikaci různých typů lepidel při různých teplotách a provede vyhodnocení dosažených výsledků.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....  
doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

**Abstrakt:**

Tato bakalářská práce je zaměřena na studium vlivu zvýšených teplot na odolnost lepené spáry. Cílem této práce je posoudit vliv působení teplot na vybrané druhy lepidel. V teoretické části byla provedena rešerše vybraných druhů aglomerovaných materiálů a byla popsána problematika požární bezpečnosti budov. Pro zjištění pevnostních charakteristik lepené spáry při různých teplotách byly provedeny v praktické části zatěžovací zkoušky dle platných norem.

**Klíčová slova:**

Požární odolnost, aglomerované materiály, lepidlo, adheze, teplota, dřevo, lepená spára, smyková pevnost.

**Abstract:**

This thesis is focused on studying the impact of elevated temperatures on the resistance of bonded joints. The aim of this study is to assess the impact of exposure to temperatures on selected types of adhesives. In the theoretical part was made research and comparison of selected species agglomerated materials and described the issue of fire safety of buildings. To determine the strength characteristics of bonded joints at different temperatures have been made in the practical part load tests according to valid standards.

**Keywords:**

Fire resistance, agglomerated materials, adhesive, adhesion, temperature, wood, bondline, shear strenght.

## **Bibliografická citace VŠKP**

Jan Šustáček *Odolnost lepené spáry dřeva proti vyšším teplotám*. Brno, 2016. 58 s., 0 s. příl.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 23.5.2016

.....  
podpis autora  
Jan Šustáček

**Poděkování:**

Rád bych upřímně poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Janu Vaněrkovi, Ph.D., za pomoc, rady, připomínky a podněty.

Samozřejmě obrovské poděkování patří i mé rodině za trpělivost a podporu, kterou mně poskytovali během celého studia.

## Obsah:

1.	Úvod .....	10
2.	Materiály na bázi dřeva .....	11
3.	Aglomerované materiály na bázi dřeva .....	12
3.1.	Suroviny pro výrobu aglomerovaných materiálů .....	13
3.2.	Vybrané aglomerované materiály na bázi dřeva .....	15
3.2.1.	Desky z orientovaných plochých třísek (OSB) .....	15
3.2.2.	Dřevotřískové desky .....	16
3.2.3.	Protipožární desky Grenamat .....	18
3.2.4.	Dřevoplastové kompozity (WPC) .....	18
3.2.5.	Překližky .....	19
3.2.6.	Laťovky .....	20
4.	Požadavky na požární bezpečnost staveb .....	21
4.1.	Požární bezpečnost – normativní požadavky .....	22
4.2.	Požární bezpečnost nevýrobních objektů dle ČSN 73 0802 .....	23
4.3.	Metody posouzení požární bezpečnosti stavby .....	24
5.	Normativní požadavky na požární odolnost dřevěných prvků .....	25
5.1.	Geometrie prvku .....	25
5.2.	Hloubka zuhelnatění .....	25
5.3.	Klasifikační kritéria hořlavosti – Třída reakce na oheň .....	26
6.	Lepidla .....	28
6.1.	Základní poznatky .....	28
6.2.	Vytvrzování lepidel .....	28
6.3.	Dřevo jako lepený materiál .....	28
6.4.	Teorie lepení .....	29
7.	Přírodní lepidla .....	30
8.	Syntetická lepidla .....	30
8.1.	Močovinoformaldehydová lepidla (UF) .....	30
8.2.	Melaminformaldehydová lepidla (MF) .....	31
8.3.	Fenolformaldehydová lepidla (PF) .....	32
8.4.	Polyvinylacetátová lepidla (PVAc) .....	32
9.	Lepené spoje vystavené vyšším teplotám .....	33
9.1.	Evropa .....	33
9.2.	Severní Amerika .....	33
9.3.	Japonsko .....	34
9.4.	Austrálie a Nový Zéland .....	34
9.5.	Testy při zvýšených teplotách .....	34
9.6.	Požární zkoušky – lepené lamelové dřevo .....	35
10.	Cíl práce .....	37



11.	Metodika zkoušek .....	38
11.1.	Použitá lepidla.....	38
11.1.1.	Lepidlo melamin - močovinoformaldehydové (MUF) .....	38
11.1.2.	Lepidlo resorcínformaldehydové (RF) .....	38
11.1.3.	Lepidlo polyuretanové (PUR) .....	38
11.1.4.	Lepidlo epoxidové (EP).....	38
11.2.	Dřevěné slepence .....	39
11.3.	Teplotní zatěžování slepenců .....	40
11.3.1.	Tělesa při teplotě 23 °C .....	40
11.3.2.	Tělesa při zvýšených teplotách .....	40
11.4.	Zkouška smykové pevnosti.....	40
11.5.	Stanovení kohezního poškození ve dřevě (WF).....	41
12.	Výsledky zkoušek .....	42
12.1.	Zkouška smykové pevnosti – lepidlo MUF .....	42
12.2.	Zkouška smykové pevnosti – lepidlo RF.....	43
12.3.	PUR lepidlo .....	45
12.4.	Epoxidové lepidlo EP .....	47
12.5.	Výsledky zkoušek při 220 °C .....	49
13.	Vyhodnocení zkoušek .....	51
13.1.	Zkouška smykové pevnosti použitých lepidel .....	51
13.2.	Stanovení kohezního poškození ve dřevě .....	51
13.3.	Vyhodnocení výsledků pevností vybraných lepidel.....	52
13.4.	Klasifikace testovaných lepidel.....	55
13.5.	Celkové shrnutí testovaných lepidel.....	56
14.	Závěr.....	57
	Zdroje a související literatura: .....	58

## 1. Úvod

V současnosti je kladen důraz na šetrnost k životnímu prostředí a využití obnovitelných zdrojů. Z toho důvodu v poslední době převažuje snaha o využití kompozitních materiálů na bázi dřeva, jejichž využití se uplatňuje zejména v oblasti výstavby objektů. Důvodů je hned několik. Jednoznačnou výhodou je i rychlost výstavby, které nelze dosáhnout při zhotovování klasické zděné konstrukce. Stavby s využitím aglomerovaných materiálů na bázi dřeva v systémech obalových konstrukcí disponují velmi dobrými izolačními vlastnostmi, čehož lze využít při stavbě nízkoenergetických či dokonce pasivních staveb. Pro dřevostavby platí příslušné požární normy a předpisy, které zajišťují jejich dostatečnou požární odolnost. Samotné rostlé dřevo má v masivní formě vyšší požární odolnost než ocel.

Jak bylo zmíněno, současná snaha v oblasti dřevozpracujícího průmyslu využívá v procesu výroby častěji recyklovatelné materiály, přičemž dřevo je materiál, který lze poměrně snadno recyklovat. Proto se v poslední době čím dál více ustupuje od masivních dřevěných prvků a převládá snaha nahrazovat je materiály kompozitními. S tím ovšem vyvstává spousta otázek týkajících se jejich mechanických vlastností. O dřevě, jakožto o rostlém materiálu, je k dispozici poměrně velké množství informací o jejich mechanických vlastnostech. V případě aglomerovaných materiálů jsou stále vyvíjeny nové materiály, které využívají nové poznatky (nanoplňiva, úprava plniv, povrchové úpravy, vývoj lepidel), které rezultují ve vývoj nových aglomerovaných materiálů. Pro tyto je pak nutné provést a navrhnout zkušební metody, které by byly schopné přesně určit jejich fyzikální a mechanických vlastností.

Jednou z neméně důležitých vlastností je odolnost vůči zvýšeným teplotám, popřípadě požáru. Je důležité vědět, jak se prvky vyráběné lepením různých dřevních elementů chovají za zvýšených teplot. U prvků z rostlého dřeva záleží zejména na objemové hmotnosti, se kterou ve většině případů rostou i mechanické vlastnosti. U lepených prvků dojde při požáru nejprve k selhání lepidel, která ztrácejí svou pevnost už při nižších teplotách, než jsou teploty při zasažení objektu požárem. V mnoha případech je lepidlo obsažené v materiálu rozšiřovatelem plamene.

## 2. Materiály na bázi dřeva

V nábytkářském průmyslu je dřevo spotřebovááno ve velké míře, na rozdíl od stavebnictví, kde dřevo na své masivní využití teprve čeká. Hlavní příčinu můžeme hledat v tom, že dřevo narozdíl od jiných stavebních materiálů má značně nehomogenní vlastnosti. Ačkoli nízká objemová hmotnost dřeva vzhledem k jeho pevnostem představuje výborné předpoklady k jeho využití, často se hovoří o překážkách bránících širšího užití ve stavebnictví. První negativní vlastností dřeva je hygroskopicitá. Jedná se o děj, kdy látka pohlcuje vlhkost. Tuto vlastnost mají i jiné stavební materiály, ale u dřeva dochází se změnou vlhkosti ke změnám rozměrů a pevností. Další nevýhodou dřeva je jeho různorodost struktury, kvality a vlastností. Tato vlastnost je označována jako nehomogenita. Dřevo také vykazuje zcela odlišné mechanické vlastnosti podél a napříč vláken (anizotropie). Hlavním důvodem, který vedl k vývoji materiálů na bázi dřeva byla snaha o výrobu produktů, které využívají výhod dřeva a zároveň překonávají jeho nedostatky [6].

Dřevo je materiál, který mění své rozměry (sesychá a bobtná) při změně vlhkosti, ale k významným objemovým změnám dochází pouze ve směru kolmém na vlákna. Tyto negativní změny lze minimalizovat vhodným konstrukčním řešením, například křížovým lepením. Lepení materiálu je provedeno tak, že směry vláken jednotlivých vrstev jsou na sebe kolmé. Tímto postupem při výrobě, lze dosáhnout nižších hodnot vlhkostní roztažnosti. Materiály na bázi dřeva také překonávají nehomogenitu dřeva. Proto se pro tyto materiály nabízí rozmanitější konstrukční řešení. Materiály na bázi dřeva (stejně jako vstupní surovina, kterou je dřevo) vykazují anizotropní chování, ale jsme schopni tuto vlastnost do jisté míry regulovat. Nástrojem pro regulaci může být například velikost, či orientace dřevních částic [6].

Moderní materiály na bázi dřeva jsou vyráběny zejména z dřevin nízké kvality, které mají schopnost rychlého růstu. Za jednu z největších výhod těchto materiálů je považována skutečnost, že z materiálu nízké kvality (i kulatiny malého průměru) lze vyrobit kvalitní produkt. Další nespornou výhodou je, že z několika málo druhů dřevin lze vyrobit materiály se širokou škálou vlastností [6].



**Obrázek 1** - Základní dřevní elementy, zleva shora: dýhy, velké ploché třísky pro výrobu OSB, bílá (papírenská) štěpka, štěpka pro výrobu třísek a vláken, třísky, vlákna [6].

### 3. Aglomerované materiály na bázi dřeva

Materiály složené z materiálů jednodušších tj. základních jsou nazývány materiály kompozitními. Do této skupiny řadíme taktéž materiály aglomerované. Aglomerované materiály, jsou složeny z dřevních anebo jiných lignocelulózových částic. Tyto materiály do značné míry překonávají nevýhody dřeva. Aglomerované materiály mají celou řadu předností, mezi které řadíme například velkoplošnou strukturu bez přírodních vad, příznivé mechanické vlastnosti vzhledem ke své hustotě, nízkou tepelnou vodivost apod. V současné době se výroba a s tím spojené vlastnosti aglomerovaných materiálů řídí účelem jejich použití. [5].

#### Faktory ovlivňující kvalitu

Kvalitu třískových desek lze charakterizovat jejími vlastnostmi, které se odvíjí od použitých surovin, pomocných látek a technologie výroby. Proto lze tyto faktory rozdělit do dvou základních skupin. Do první skupiny řadíme surovinové faktory. Pod tímto termínem je zahrnuta kvalita použitých surovin, která je dána příslušnými normami, technickými podmínkami apod. Proto lze tento faktor lehce kontrolovat a lze tyto nepříznivé vlivy včas eliminovat. Druhou skupinu tvoří faktory technologické. Jsou dány technologickým procesem a s tím spojeným strojně-technologickým zařízením. Tento faktor je hůře kontrolovatelný, jelikož se výrobní proces vyznačuje svou postupností a dynamikou operací. Kontrola a regulace těchto procesů je závislá na technické úrovni výrobního zařízení, na použité

regulační a měřicí technice a v neposlední řadě na vývoji nedestruktivních metod zkoušení těchto materiálů [5].

Plošné aglomerované výrobky vykazují značné **tloušťkové bobtnání** vlivem působení vody nebo vysoké relativní vlhkosti prostředí. Je to způsobeno zejména bobtnáním dřeva obsaženého ve struktuře a odpružením slisovaných třísek, které mají snahu vrátit se do původního tvaru před slisováním. Bobtnání těchto materiálů má nepříznivý vliv na kvalitu povrchu, ale i na fyzikální a mechanické vlastnosti. Pro snížení bobtnání se užívá hydrofobizačních prostředků. Nejčastěji je přidáván parafin, který je možné dávkovat v tekuté formě či v podobě parafinové emulze, vše se odvíjí od způsobu zpracování. Do aglomerovaných materiálů se přidávají taktéž biocidní prostředky, sloužící jako látky působící proti biologickým činitelům (plísně a dřevokazné houby či hmyz) [5].

### **3.1. Suroviny pro výrobu aglomerovaných materiálů**

#### **Dřevo**

Požadavky na vhodnost dřevin určených pro výrobu třískových a vláknitých desek jsou částečně odlišné. Základními parametry dřeva pro výrobu třískových desek (dále jen **TD**) jsou hustota, roztřískovatelnost, podíl běle a jádra nebo pH dřeviny. U dřeva pro výrobu vláknitých desek (dále jen **VD**) jsou směrodatnými vlastnostmi rozvláknitelnost, délka dřevních vláken nebo obsah ligninu a hemicelulos. Zpočátku se pro výrobu TD využívalo jehličnatých dřevin a měkkých listnatých dřevin. Obě tyto skupiny dřevin se vyznačují svou nižší hustotou, kterou si zachovaly i výrobky. Nyní se ve stávající komplikované surovinové situaci a vzhledem k cenové úrovni použitých dřevních materiálů stále více využívají tvrdé listnaté dřeviny. Vše je ale řízeno zásadou přesného poměru mísení vstupních dřevin. Reakce dřeva má totiž významnou roli. Při zpracování dřevin s extrémním pH (např. dub) je nutné upravit množství přidávaných chemikálií, zejména tvrdidla k lepicí směsi [5].

#### **Recyklované dřevo**

S ohledem na ceny dřeva se stále více zpracovává tzv. recyklované dřevo. Podle zkušenosti světových výrobců TD tvoří cena lepidla a dřeva 40 – 50 % ceny nákladů na výrobu desky. Uchylují se proto k užití dřevní odpadové hmoty (použité palety, bedýnky, odpady z nábytkářských závodů apod.). Kůra je v podstatě nežádoucí, jelikož zhoršuje fyzikální a mechanické vlastnosti aglomerovaných materiálů. Ovšem její použití není zcela vyloučeno. Může být obsažena ve středové vrstvě do 20 % [5].

### **Alternativní materiály na lignocelulózové bázi**

Využívá se také jiných lignocelulózových surovin. Jako příklad je možné uvést pazdeří, což je odpadní produkt při zpracování lnu a konopí. Dalším zástupcem těchto materiálů je bagasa. Je to zbytek po vylisování a extrakci cukru z cukrové třtiny a po dřevě je nejdůležitější surovinou pro výrobu TD. Další suroviny mohou být stonky z bavlníku, bambus, papyrus a sláma [5].

### **Pojiva**

Neméně důležitou surovinou při výrobě aglomerovaných materiálů jsou lepidla. Je užíváno syntetických lepidel termoreaktivního typu které zahrnují lepidla močovinoformaldehydová (UF), fenolformaldehydová (PF), melaminformaldehydová (MEF), izokyanátová, taninová, omezeně sulfitové výlohy a dále minerální pojiva [5].

Druh použitého lepidla závisí na účelu výsledného aglomerovaného materiálu. Desky pojeny UF lepidly, jsou vhodné pro použití ve vnitřním prostředí, ve kterém dlouhodobě nepůsobí zvýšená vlhkost. Naopak desky vystavené delšímu působení vlhkosti budou pojeny lepidly na bázi PF či MEF. V současné době se stále více používají diisokyanátová lepidla, která jsou při nižší spotřebě schopna zajistit dostatečnou pevnost a odolnost TD při působení vlhkosti. Této pevnosti je dosaženo pomocí chemické vazby mezi lepidlem a hydroxylovou skupinou dřevních složek. Při nanesení vyššího množství lepidla obecně platí, že hodnoty pevnosti v ohybu či tahu kolmo na rovinu desky vzrůstají a hodnoty bobtnání po 2 h uložení ve vodě klesají [5].

### **Retardéry hoření**

Z hlediska odolnosti vůči ohni se aglomerované materiály (dále jen AM) opatřují retardéry hoření. Jelikož se jedná o materiál na dřevěné bázi, je vyžadováno zvýšení jejich ohnivzdornosti. Je několik způsobů, jak lze dosáhnou vyšší ohnivzdornosti těchto materiálů. První možností je výroba speciálních ohnivzdorných desek, které mají nižší obsah dřeva nebo jiných lignocelulosových částic ve struktuře AM. Další možností je výroba AM, zejména TD s obsahem nehořlavých pevných částic. Pod pojmem nehořlavé pevné částice jsou zahrnuta skelná vlákna, PVC, diamoniumfosfát apod. Tyto materiály jsou soustředěny těsně pod povrchovou vrstvou třísek, kde plní funkci ochranné vrstvy proti prostupu ohně. Třetí možností je impregnace ať už třísek nebo hotových desek. Impregnace třísek je nejpoužívanější způsob zvýšení ohnivzdornosti TD. Pro dosažení požadované účinnosti je zapotřebí, aby desky obsahovaly 10 - 22 % těchto látek. Poslední možností je ošetření

povrchu ohnivzdornými látkami. Jsou užity v podstatě stejné prostředky, které musí být přizpůsobeny nátěrové technice. Přidávají se pigmenty, smáčedla, plastifikátory, minerální pojiva apod. [5].

Jednotlivé retardéry hoření mají specifické účinky z pohledu působení proti ohni. Například křemičitany nebo sloučeniny boru vytváří taveninu neboli vrstvu, která zabraňuje úniku hořlavých produktů vytvořením ochranné atmosféry nad povrchem AM. Halogenidy působí jako elektronový akceptor. Jeho úkolem je omezovat rozsah tvorby hořlavých produktů. Porušují poměr mezi plynem a vzduchem. Dalšími retardéry jsou fosforečnany a sírany, které mají schopnost snižovat teplotu rozkladu uhlovodíků. Zároveň napomáhají karbonizaci za zvýšené tvorby vody a oxidu uhličitého. Intumescenční nátěry mají schopnost rozkladu při působení tepla. Důsledkem toho je, že několikanásobně zvětší svůj objem a vytváří tuhou pěnu [5].

### 3.2. Vybrané aglomerované materiály na bázi dřeva

V této části budou popsány pouze takové materiály, které se běžně využívají v oblasti dřevostaveb.

#### 3.2.1. Desky z orientovaných plochých třísek (OSB)

OSB – *oriented strand board* je velkoplošný výrobek složený z plochých orientovaných třísek. Třísky na horních vrstvách jsou orientovány rovnoběžně s délkou desky a naopak střední vrstvy jsou orientovány kolmo na ně nebo jsou zde uspořádány chaoticky. Tohle uspořádání má vliv zejména na pevnost v ohybu [5].



**Obrázek 2** - Deska z orientovaných plochých třísek (OSB) [6]



**Obrázek 3** - Ploché třísky z roztřískovače

### **Použité dřeviny**

Při výrobě jsou opět použity dokonale odkorněné dřevní hmoty. Kůry se zbavujeme jednak z estetického hlediska, ale vyšší pozornost je samozřejmě věnována negativním fyzikálním a mechanickým vlastnostem. Výhodou těchto desek je, že použité spektrum dřevin je mnohem širší než například při výrobě řeziva či překližek. Spektrum dřevin použitelných do OSB je tedy velmi široké, ale přednostně by měly být voleny dřeviny s hustotou v rozmezí 350 – 700 kg/m<sup>3</sup>. Menší hustota má za příčinu menší pevnosti a trhliny, naopak vyšší hustota má za následek, že výslednému materiálu se musí enormně zvyšovat hustota pro dosažení požadovaných vlastností. Typická tříska pro výrobu OSB má rozměry 75 x 25 x 0,6 mm. Pro maximální množství těchto třísek se využívá síťového třídiče. Mohou být ale použity i třísky o délce 300 mm [5].

### **Lepidla**

Lepidlo se nanáší tryskami a rychle se otáčejícími diskovými rozprašovači. Pro výrobu OSB jsou vhodná tradiční lepidla a jejich kombinace. Ovšem nejvíce používané je vodovzdorné fenolformaldehydové lepidlo nebo lepidlo izokyanátové. Po smísení a uspořádání třísek se přechází k lisování. Záleží na použitém lepidlu, ale doba lisování se pohybuje v rozmezí 16 – 22 s/mm. Lisovací tlak je 5 až 15 MPa a teplota 180 až 220 °C. Dle požadavků na kvalitu mohou být desky také broušeny [5].

### **3.2.2. Dřevotřískové desky**

Rozdělení a definici třískových desek popisuje norma ČSN EN 309:2005 - Třískové desky - Definice a klasifikace. V této normě jsou popsány třískové desky jako materiály vyrobené slisováním a ohřevem částic (hoblin, třísek, pilin apod.) nebo mohou být použity jiné lignocelulózoové materiály (konopí, sláma apod.) s přídavkem polymerního lepidla [5].

Základní vlastnosti TD jsou všeobecně závazné. Při výrobě musí probíhat dostatečná četnost kontrol, aby mohly být včas provedeny zásahy do technologie výroby a výrobce mohl zajistit danou stabilitu kvality TD. Pod tyto vlastnosti patří rozměr desek, jejich vlhkost, hustota, tloušťkové bobtnání po 2 h máčení ve vodě, pevnost kolmo na rovinu desky nebo obsah formaldehydu. Další speciální vlastnosti nejsou normou přesně specifikovány, a proto nejsou součástí běžné kontroly (z důvodu časové náročnosti). Speciální vlastnosti mají spíše význam doplňujících informací, mají především význam v oblasti výzkumu, studiu procesu tvorby aglomerovaných materiálů či při zkoumání faktorů, které mohou ovlivnit jejich kvalitu [5].





**Obrázek 1** - Dřevotřísková deska pro použití v suchém prostředí [6]

Zavedením výroby dřevotřískových desek (dále jen DTD) se rozšířila možnost zpracování zbytkového dřeva. Dříve by to byl jen odpadní materiál, ale díky tomuto využití je DTD nejvíce rozšířeným aglomerovaným materiálem vůbec [6].

### **Výroba**

Výroba DTD je velmi složitý a finančně náročný proces. Počátky vzniku DTD sahají do poloviny 20. století, kdy představa byla taková, že se k továrně na zpracování dřeva vybuduje tzv. přístavná linka. Kvalita vyrobených desek byla ovšem velice nízká. Postupem času se zjistilo, že výroba vyžaduje značné výrobní zařízení [6].

Pro výrobu je možné zpracovat různé formy zbytkového dřeva. Naskýtá se zde také možnost zpracování použitého dřeva, např. palet, nábytku apod. Při výrobě DTD se nevyskytuje pojem nevyužitý odpad, protože se do určité míry zpracovává i kůra. Výroba začíná zpravidla předsušením vstupní suroviny na venkovních hromadách. V dalším kroku je dřevěný materiál zpracován na třísky. Zde se naskytuje možnost nákupu pilin, u jiných odpadního materiálu. Jejich využití je ale omezeno do 30 % množství z důvodu jejich malých rozměrů, důsledkem toho dochází ke snižování vazby třísek v hotové desce [6].

I když je dřevo předsušeno, zůstává v něm nežádoucí množství vody. Z technologických důvodů se suší na vlhkost 3 %. Sušení probíhá ve vznosu, třísky jsou proto usušeny během několika vteřin. Následuje třídění na vibračních síťových třidičích. Zde je oddělena velmi jemná a hrubá frakce [6].

Ze zásobníku jsou vybrané třísky přivedeny do nanášecího lepidla. Na dopravní pás se postupně vrství tři vrstvy třísek rozdělené dle hrubosti (jemné – hrubé – jemné). Vzniklé pláty postupují do vyhřívaného lisu. Výsledného vzhledu a rozměrů je dosaženo řezáním a broušením [6].

### **Vlastnosti DTD**

Mají horší mechanické vlastnosti než rostlé dřevo, zato dosahují lepší objemové stálosti při působení vlhkosti. Vlastnosti jsou ovlivněny několika činiteli, nejdůležitější je velikost třísek, druh použitého lepidla a dřeviny. Naskytuje se zde možnost výroby desek s různou objemovou hmotností a bez jakýchkoli vad. Po skončení životnosti desek je zde možnost je opět recyklovat [6].

Nevýhodami těchto desek jsou horší mechanické vlastnosti, které lze ovlivnit vhodným dimenzováním a konstrukčním řešením výrobku. Dobře odolávají dlouhodobé vlhkosti, ale nejsou vhodné k užití do exteriéru. Výsledný vzhled není podobný stavbě dřeva, proto se často uchyluje k použití dýh [6].

### **3.2.3. Protipožární desky Grenamat**

Rozdílem od běžné DTD je přidání expandovaného vermikulitu a organických pojiv. Do některých typů desek se přidávají retardéry hoření. Mechanické vlastnosti jsou velmi podobné DTD. Vyrábějí se ve třech variantách rozdělených podle schopnosti odolávat ohni. Typ A – nehořlavé, typ B – nesnadno hořlavé, typ C – těžce hořlavé [6].



**Obrázek 2** - Protipožární deska Grenamat [6]

Nejčastěji tyto desky slouží jako výplně ocelových konstrukcí, využití najdou také jako materiál na příčky, obklady stěny, stropů [6].

### **3.2.4. Dřevoplastové kompozity (WPC)**

#### **Výroba**

Tyto kompozity jsou vyráběny ze smrkového nebo borovicového dřeva. Po rozkladu dřeva na jemné piliny je přidáván polypropylen (méně často také polyetylén či polyvinylchlorid). Po důkladném promíchání obou vstupních surovin je směs zahřívána na cca 100°C.

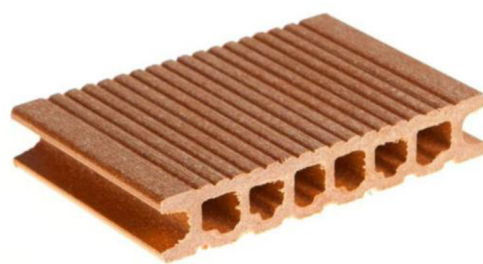
Současně s barvivem jsou přidány UV stabilizátory a poté je směs vytlačována na extruzní lince na nekonečný pás, který se buď granuluje nebo se již ochlazuje v případě vytlačování finálního tvaru výrobku včetně formátování na požadované rozměry [6].

### **Použití**

Díky vysoké odolnosti proti vlhkosti, dobrým mechanickým vlastnostem a dlouhodobé trvanlivosti je v nabídce široká škála uplatnění. Tyto materiály jsou využívány zejména v exteriéru pro podlahy teras, obložení staveb, ale i jako střešní krytina. Dílce určené na podlahy do exteriéru jsou obvykle masivní, ale mohou být i vylehčené. Zpravidla jsou podlahové dílce opatřeny protiskluzovým povrchem s drážkami [6].



**Obrázek 3** - Nevylehčený podlahový dílec z WPC s protiskluzovou úpravou [6]



**Obrázek 7** - Vylehčený podlahový dílec z WPC s protiskluzovou úpravou [6]

### **3.2.5. Překližky**

#### **Charakteristika**

Vzniká křížovým slepením velkoplošných listů dřeva (dých). Tento materiál překračuje vlastnosti rostlého dřeva v několika směrech. Zejména je zde velmi omezena anizotropie dřeva a rovněž je dosaženo výrazné snížení procesu sesychání a bobtnání. Vše je ovlivňováno použitím různých druhů dřevin, volbou počtu a tloušťky vrstev nebo volbou lepidla. Některé překližky jsou dokonce určeny pro přímý styk s vlhkostí [6].

#### **Výroba**

Pro výrobu se obvykle používají dřeviny s nevýraznou kresbou a dřeviny méněcenné (smrk, borovice, topol ad.). Cennější dřeviny jsou využívány pro výrobu okrasných dých [6].

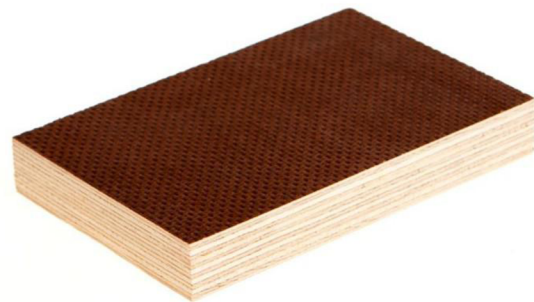
Suroviny pro výrobu se skladují na vyspárované zpevněné ploše s možností postřiku v teplém období. Pro dosažení kvalitního řezu je při procesu nutno výřezy plastifikovat párou nebo horkou vodou ve speciálních zařízeních. Další krok probíhá v odkorňovačích, přičemž výsledné dočištění probíhá tlakovou vodou. Z teplých výřezů se na loupacích strojích

naloupou pásy dýh, obvykle 2 m dlouhé. Následně se pásy rozstřihají na příslušné formáty a vysuší v pásových sušárnách [6].

Ve válcové nanášedce lepidla se na každou sudou vrstvu nanáší termoreaktivní lepidlo. Skládání dýh v kolmých směrech potom probíhá na skládacích stolech. Soubor dýh se poté lisuje ve vyhřívaných lisech. Poté následuje už jen ořez na požadovaný formát a zatmelení povrchových nedostatků [6].



**Obrázek 8** - Truhlářská překližka [6]



**Obrázek 9** - Vodovzdorná stavební překližka s protiskluzovou úpravou [6]

### **Vlastnosti**

Křížovým lepením omezíme pracování dřeva při změně vlhkosti prostředí. Běžně se překližky vyrábějí v tloušťkách od 2 do 40 mm. Volbou lepidla lze také zvýšit pevnost lepených spojů, kterou je možno ještě zvýšit povrchovými nátěry nebo nalisováním papírové fólie s voděvzdornou pryskyřicí. Tyto překližky nachází využití ve stavebnictví jako materiál pro bednění [6].

### **3.2.6. Laťovky**

Jedná se také o překližkový materiál. Jsou tvořeny laťkovým středem, který je oboustranně křížově oplepen dýhou. Obvykle se vyrábí v tloušťkách 16 a 19 mm. Cena tohoto materiálu je vyšší než u běžné překližky, jelikož je nutností použít kvalitní dřevo pro výrobu dýhových vrstev. Vyrábí se obvykle třívrstvé laťovky nebo i pětivrstvé. Materiál najde nejširší uplatnění v nábytkářském průmyslu [6].



**Obrázek 10** - Laťovka se středem ze smrkových latěk opláštěvaná březovou dýhou [6]

#### **4. Požadavky na požární bezpečnost staveb**

Rozvoj vědomostí v oblasti dřevostaveb je předpokladem jejich většího využití v bytové výstavbě. Nízká energetická náročnost na zpracování dřeva, jeho snadná likvidace a další faktory jsou přednostmi dřeva, jež vede k jeho použití při výstavbě dřevěných konstrukcí. Je známo, že dřevo je materiál zápalný a hořlavý, nicméně při požáru se mění jeho mechanické vlastnosti jen minimálně. Degradace materiálu a jeho chování při požáru je snadno odhadnutelná a stanovení únosnosti je relativně jednoduché [7].

##### **Základní pojmy a seznámení s problematikou požární bezpečnosti staveb**

Požárním úsekem nazýváme prostor stavebního objektu, který je ohraničený od ostatních částí stavby požárně dělícími konstrukcemi. Je to základní požadavek z hlediska požární bezpečnosti budov. Budovy musí být také opatřeny tzv. požární dělící konstrukcí. Úkolem požární dělící konstrukce je bránit šíření požáru mimo požární úsek a má schopnost odolávat účinkům požáru. Příkladem požární dělící konstrukce může být požární stěna, požární strop, střecha nebo obvodová stěna včetně požárních uzávěrů otvorů v těchto konstrukcích. Co se týče povrchových úprav stěn, stropů a podlah, hodnotí se indexem  $i_s$  [mm/min], který vyjadřuje schopnost šíření plamene po povrchu [2].

Konstrukce, jejíž funkce musí být během požáru zachována, se nazývá konstrukční systém objektu. Lze do této skupiny zařadit sloupy, nosné stěny, průvlaky a ztužidla. Tyto systémy se dělí na systémy z nehořlavých hmot, na systémy smíšené (mohou obsahovat až 50 % hmotnosti hořlavých hmot, ale nesmí být použity ve svislých nosných prvcích) a na systémy z hořlavých hmot (konstrukce nevyhovující kritériím pro nosné konstrukce) [2].

Dalším důležitým pojmem je stupeň požární bezpečnosti. Stupeň požární bezpečnosti je zařazení požárního úseku, který vyjadřuje schopnost stavebních konstrukcí jako celku čelit

účinkům požáru. Požární odolnost je doba udávána v minutách, po kterou je konstrukce schopna odolávat teplotám, vznikajícím při požáru, bez ztráty funkce. Určuje se podle normy ČSN EN 1363-1. Pravděpodobnostní rozvoj a průběh požáru znázorňuje návrhový požár. Ve stavebním objektu slouží pro dimenzování požárního úseku. Zahrnuje několik etap. První etapou je rozvoj požáru, následuje rozvinutý požár (požár rozvinutý na celé ploše místnosti či požárního úseku, teploty plynů dosahují 500 - 600 °C) a poslední etapou je dohořívání tzv. chladnutí (od okamžiku kdy teploty plynů v místnosti začnou klesat) [2].

#### **4.1. Požární bezpečnost – normativní požadavky**

Z hlediska požární bezpečnosti stavby se nikdy nehodnotí jen jeden parametr, ale posuzuje se stavba jako celek. Jakou má schopnost zajišťovat ochranu života a zdraví osob či zvířat a do jaké míry je schopna bránit škodám na majetku. PBS závisí na urbanistickém začlenění objektu, dále na jeho dispozičním, materiálovém a konstrukčním řešení. Je na místě zmínit zde termín požárně bezpečnostní zařízení a opatření. Jsou to všechna opatření, sloužící ke snížení intenzity vzniklého požáru [1].

Účelem protipožárních opatření je:

- a) zaručit po určitou dobu únosnost a stabilitu,
- b) zajistit bezpečný únik osob, popř. zvířat,
- c) zamezit šíření požáru uvnitř objektu,
- d) zabránit přenesení požáru,
- e) umožnit zasahujícím jednotkám požární ochrany účinný zásah [1].

V roce 1997 byla vyhlášena platnost normy ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb. Základní ustanovení a tím vešel do užívání kodex norem požární bezpečnosti staveb, který s různými upřesněními a doplňky je užíván v České republice dodnes. Požadavky na stavby a výrobky v nich zabudované týkající se požární bezpečnosti jsou stanoveny kodexem požárních norem (normy řady ČSN 73 08.. a ČSN EN) [1] [8].

## **4.2. Požární bezpečnost nevýrobních objektů dle ČSN 73 0802**

Pro řešení požární bezpečnosti domů určených k bydlení se vztahuje norma ČSN 73 0802:2009, která nahradila znění normy z roku 2000. Změny nastaly v oblasti upřesnění interpretací, aniž by se měnil jejich záměr či význam. Došlo také ke zpřesnění hodnocení druhu požárně dělicích konstrukcí v návaznosti na ČSN 73 0810 včetně značení DP1, DP2, DP3. Ke změnám došlo také v hodnocení hořlavosti stavebních hmot a výrobků dle ČSN EN 13501-1 tj. hodnocení A1 – F. Nejčastěji používané stavební výrobky a jejich reakce na oheň jsou uvedeny v příloze ČSN 73 0810:2009. Rozšířila se také možnost užití hořlavých konstrukčních systémů (dřevěných staveb) z původních devíti metrů výšky na dvanáct metrů výšky objektu [2].

### **4.2.1. Třídění konstrukčních částí na druhy DP1 – DP3 dle ČSN 73 0810**

Konstrukční části druhu **DP1** nezvyšují v době požáru jeho intenzitu. Podstatné složky konstrukcí jsou složeny z výrobků třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Mohou být použity i materiály třídy B – F, ale musí být umístěny uvnitř konstrukční části mezi výrobky třídy A1 a A2. A to tím způsobem, že v požadované době požární odolnosti se nedosáhne teploty vzplanutí hmot obsažených ve výrobcích. Na těchto částech není závislá stabilita či únosnost [8].

Konstrukční části druhu **DP2** taktéž nezvyšují intenzitu požáru. Prvky jsou sestaveny z materiálů třídy A1 nebo A2, jejichž tloušťka je stanovena zkouškou nebo je alespoň 12 mm. Během požáru nesmí být narušena jejich stabilita. Uvnitř těchto konstrukcí mohou být materiály třídy B – F, aniž by na nich byla závislá stabilita konstrukční části. Části druhu **DP3** zvyšují v době požáru jeho intenzitu. Patří zde podstatné složky konstrukcí, nevyhovující druhu DP1 a DP2 [8].

### **4.2.2. Klasifikace požární odolnosti staveb dle ČSN 73 0810**

Dosažené mezní stavy se charakterizují pomocí značek. R – únosnost nebo stabilita, E – celistvost, I – teplota na neohřívané straně, W – hustota tepelného toku a S – prostup zplodin hoření [2].

#### 4.2.3. Třídění hořlavosti materiálů dle ČSN EN 13501-1

Nehořlavé stavební výrobky jsou klasifikovány dle reakce na oheň a rozděleny do tříd A1 a A2. Tyto látky při požáru neuvolňují teplo, nebo je množství tepla zanedbatelné. Hořlavé stavební výrobky se rozdělují do tříd B až F. Obecně jsou to látky, které při požáru uvolňují teplo a mohou požár šířit [2].

#### 4.3. Metody posouzení požární bezpečnosti stavby

Posouzení požárně bezpečnostního řešení stavby lze docílit několika postupy [3]:

- a) statický výpočet konstrukce dle eurokódů a příslušných norem. Nevýhodou tohoto řešení je, že výsledkem jsou požární odolnosti konstrukčních prvků pouze na kritérium R a E. Posouzení celé konstrukce se řídí podle EN 1995-1-2, avšak v návaznosti na EN 1991-1-2 je nutné provést výpočet pro každý konkrétní případ. K výpočtovému posouzení se dále dokládají výkresy stavby, detaily konstrukčních prvků, statické schéma a statické výpočty zatížení jednotlivých prvků konstrukce.
- b) tabulkovou hodnotou – dle ČSN 730821 ed.2. Tyto tabulkové hodnoty ovšem platí pouze pro uvedené konkrétní konstrukce.
- c) tabulkovou hodnotou dle publikace „*Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí podle Eurokódů*“. Tuto publikaci vydal PAVUS, a.s., Centrum technické normalizace pro požární ochranu, Praha 2009.
- d) posudkem soudního znalce, který musí být kvalifikovaný v oboru PBS.
- e) atestem konstrukce, kterým je stanovena požární odolnost jednotlivých konstrukcí. Tato metoda je ovšem finančně velmi náročná.



## 5. Normativní požadavky na požární odolnost dřevěných prvků

Jsou-li materiály na bázi dřeva vystaveny požáru, nejprve vzplanou a silně hoří. Tento stav přetrvává až do chvíle, kdy se na povrchu vytvoří zuhelnatěná vrstva dřevní hmoty. Tato vrstva zamezí přístupu vzduchu a zpomalí tím hoření. Díky izolačním vlastnostem ohořelé vrstvy zůstává vnitřní část průřezu z teplotního hlediska nezměněna. Tím si v podstatě materiály na bázi dřeva zachovávají své fyzikální a mechanické vlastnosti. Materiály na dřevěné bázi při hoření nepraskají a ani příliš nesesychají, což je důsledkem celistvého povrchu [4].

Popis chování dřevěných materiálů při působení požáru se nedá jednoduše popsat. Materiály se chovají odlišně při rozhořívání a při rozvinutém požáru. Při rozhořívání hraje hlavní roli hořlavost materiálu, jeho stupeň zápalnosti a rychlost šíření plamene na jeho povrchu. Naopak při plně rozvinutém požáru sledujeme schopnost materiálu zachovávat si své mechanické vlastnosti a omezovat schopnost ohně šířit se od oblasti jeho vzniku. Schopnost prvku odolávat požáru se obecně nazývá **požární odolnost**. Požární odolnost stavebních konstrukcí se stanovuje dle příslušných zkušebních norem. Rozhořívání a chladnutí se neuvažuje, modeluje se plně rozvinutý požár. Oproti teoretickým výpočtům požární odolnosti jsou tyto zkoušky jak časově, tak i finančně náročnější. Na druhou stranu vedou výpočtové modely k méně ekonomicky náročným řešením [4].

### 5.1. Geometrie prvku

Chování prvků na dřevěné bázi při požáru je dáno také jejich tvarem, povrchem a všeobecně jejich velikostí. Hořlavost závisí také na poměru povrchu k objemu. Mnoho ostrých hran a drsný povrch mění tento poměr a tím dřevo snáze hoří. Způsobem, jak tomuto zabránit, je hoblování hran a zamezení trhlin ve dřevě. Lamelové dřevo vykazuje menší hodnoty zuhelnatění, jelikož je bez trhlin. Hořlavost dřeva závisí také na hustotě dřeva, s rostoucí hodnotou hustoty klesá schopnost šíření ohně [4].

### 5.2. Hloubka zuhelnatění

Hloubkou zuhelnatění, která je dána rychlostí zuhelnatění, se charakterizuje odolnost (proti účinkům požáru) prvků na dřevěné bázi. Četnými zkouškami byla zjištěna lineární závislost mezi zuhelnatěním a délkou trvání požáru. Ve výpočtu je uvažováno se stejnou rychlostí zuhelnatění. Pro jednoduché postupy navrhování uvažujeme s průřezem bez zaoblení hran. Zbytkový průřez se po té uvažuje jako ostrohranný [4].

**Tabulka 1** – Chování dřeva při zvyšující se teplotě [7].

Teplota [°C]	Děj
95 - 200	Transport vodní páry a možné odhořívání dřeva.
200 - 280	Únik vodní páry, kyseliny mravenčí, kyseliny octové atd. Zapálení je možné, ale nikoliv snadné.
280 - 500	Zasažené vrstvy průřezu černají. Vyskytuje se rozvinutý požár. Se zvyšující teplotou roste tloušťka hořících vrstev.
500 a více	Dřevo se postupně mění v uhlí, to žhne a je pohlcováno ohněm.

### 5.3. Klasifikační kritéria hořlavosti – Třída reakce na oheň

**Třída F** – pro tuto třídu nejsou stanovena žádná kritéria chování při požáru. Třída F je také použita u výrobků, které nesplnily požadavky pro skupiny E, tj. zkouška podle prEN ISO 11925-2 [9].

**Třída E** – pro zařazení výrobku do této třídy, musí splnit kritéria daná normou prEN ISO 11925-2. Při 15 s působení plamene na povrch (někdy požadavek působení na hranu), se nesmí plamen rozšířit více než 150 mm ve svislém směru od zkušební místo a to do 20 s po ukončení působení plamenem [9].

**Třída D** – výrobek zařazen do této třídy musí splňovat dvě kritéria. První udává norma prEN ISO 11925-2. V této normě je požadavek opět zaměřen na šíření plamene podobně jako u třídy E, s tím rozdílem, že plamen působí 30 s a nesmí zasáhnout více než do vzdálenosti 150 mm a to po dobu 60 s. Další z požadavků je uveden v normě EN 13823 [9].

**Třída C** – jsou dána dvě kritéria. První je uvedeno opět v normě prEN ISO 11925-2. Postup je totožný jako u skupiny D. Působení plamenem opět 30 s, vzdálenost 150 mm, rozšíření po dobu 60 s. Rozdíl nastává v normě EN 13823, která udává, že nesmí nastat žádné postranní šíření plamene (LSF) ke hraně zkušební tělesa [9].

**Třída B** – podmínky pro splnění dle prEN ISO 11925-2 jsou zde stejné jako u tříd D a C. Změna je opět v normě EN 13823, kde musí být splněny podmínky FIGRA pro danou třídu [9].

**Třída A2 a A1** – do těchto skupin jsou klasifikovány prvky dvojího typu. Jsou to stejnorodé a nestejnorodé výrobky. Při zařazování do tříd jsou na výrobky kladeny odlišné požadavky [9].

Pro stejnorodé výrobky platí, že pokud mají být klasifikovány do třídy A1, musí se zkoušet podle prEN ISO 1182 a podle prEN ISO 1716. Pokud mají být klasifikovány do třídy A2, jsou pro ně určeny normy prEN ISO 1182 nebo podle prEN ISO 1716 [9].

U nestejnorodých výrobků, které mají být klasifikovány do třídy A1, se musí jednotlivě zkoušet každá složka. K tomu jsou určeny normy prEN ISO 1182 a prEN ISO 1716. Výrobky, které mají být zařazeny do třídy A2, se musí navíc zkoušet podle EN 13823 [9].

**Doplňková klasifikace s1, s2, s3 podle tvorby kouře** – klasifikace s1, s2 a s3 se odvozují z dat naměřených při zkoušce. Zkouška se provádí podle EN 13823 [9].

**Doplňková klasifikace d0, d1, d2 podle plamenně hořících kapek/částic** – tato klasifikace se odvozuje z pozorování plamenně hořících kapek či částic. Pro třídu E se provádí zkouška dle prEN ISO 11925-2. Pro třídy D, C a B platí normy prEN ISO 11925-2 a EN 13823. Třída A2 se zkouší pouze dle normy EN 13823 [9].

**Tabulka 2** – Převodník pro nahrazení stupně hořlavosti třídami reakce na oheň [8].

Stupeň hořlavosti dle ČSN 73 0862	Třída reakce na oheň dle ČSN EN 13501 - 1
A	A1
	A2
B	B
C1	C
C2	D
C3	E
	F

## **6. Lepidla**

Obecně jsou lepidla užívána jako spojovací materiál jednotlivých vrstev nebo konstrukčních prvků. Lepidla jsou látky kapalné, tedy alespoň v době nanášení a působení na jednotlivé spojované povrchy. První užívaná lepidla byly různé druhy rostlinných nebo živočišných klišů. Stoupající požadavky na kvalitu měly zásadní vliv na rozšíření syntetických lepidel [10].

### **6.1. Základní poznatky**

Za lepení neboli adhezi je považována síla, která spojuje dva předměty na rozhraní jejich povrchů. Povrch se jinak označuje jako adherend. Pevnost spoje ovšem nezávisí pouze na dobré adhezi, je závislá také na soudržnosti molekul lepidla po vytvrzení (koheze lepidla) [11].

### **6.2. Vytvrzování lepidel**

Lepidla jsou látky koloidního charakteru, které mají schopnost měnit skupenství z kapalného v tuhé. Proces vytvrzování může mít různý charakter. Prvním je pohlcování rozpouštědla adherendem a jeho částečné vypařování. Základním předpokladem je ovšem určitá pórovitost alespoň jednoho lepeného materiálu. V případě tavných lepidel je využíváno ochlazení. Je to poměrně rychlý proces, ve kterém není zapotřebí užití rozpouštědel. V případě disperzních lepidel vzniká při vytvrzování tzv. „film“. K tomuto ději ovšem nedochází při nízkých teplotách, následkem může být špatná adheze. Nejběžnějším způsobem vytvrzení je chemická reakce složek lepidla. Probíhá nárůst relativní molekulové hmotnosti v důsledku zesíťování molekul [11].

### **6.3. Dřevo jako lepený materiál**

Pro dosažení pevného spoje nejsou důležité jen vlastnosti lepidla, ale i všeobecné vlastnosti dřeva. Kromě základních složek dřeva (celulóza, hemicelulóz a lignin) dřevo obsahuje ještě doprovodné látky různého složení, které mají rovněž vliv na kvalitu spoje. Skupina těchto složek je zastoupena bílkovinami, škroby, tuky, cukry a anorganickými solemi. Jehličnaté dřeviny obsahují vyšší množství přírodních živíc a éterických olejů. V případě listnatých dřevin je vyšší zastoupení tříslovin [11].

Extrémně kyselá nebo zásaditá lepidla mají negativní vliv na pevnost spoje, dochází k narušování celulózy a hemicelulóz. Tento děj má negativní dopad na mechanické vlastnosti

dřeva. Dalším klíčovým faktorem je hustota dřeva. Při užití přírodních lepidel se zjistil úměrný vztah mezi hustotou dřeva a smykovou pevností lepeného spoje. S narůstající hustotou dřeva je zapotřebí zvýšit i tlak, který je ovšem závislý také na rovnosti povrchu. Dřeviny s nižší hustotou vyžadují nižší tlak, jelikož se jedná o poddajnější materiál. Na pevnost lepeného spoje má vliv nespočet faktorů, zde jsou uvedeny jen ty nezákladnější [11].

#### **6.4. Teorie lepení**

Na základě teoretických úvah a na ně navazujících experimentálních výzkumů vzniklo několik názorů na charakter lepení. Níže budou uvedeny některé vybrané teorie a budou vysvětleny základní principy [10].

##### **6.4.1. Mechanická teorie**

Touto teorií je popsána soudržnost lepeného spoje vlivem vniknutí tekutého lepidla do pórů a nerovností lepeného materiálu. Vznikne velké množství tzv. *mikrokolikových spojů*. Tato teorie však nevysvětluje lepení neporézních materiálů. Také nevysvětluje, proč lepivost ve směru podélného řezu je vyšší, i když průnik lepidla je hlubší a intenzivnější ve směru kolmého řezu. Lepení tedy musí záviset na jiných faktorech, o čemž pojednávají teorie uvedené níže. Ty se označují jako teorie adheze [10].

##### **6.4.2. Adhezivní teorie**

Velký počet různých názorů nasvědčuje, že teorie adheze není jednoduchý proces. Je složený z více fyzikálně chemických procesů, vzájemně se doplňujících. Přesto už dnes víme, jaké vlastnosti musí mít dobré lepidlo a jaké podmínky musíme při lepení dodržovat. Všechny teorie se ale shodují v tom, že se musí molekuly lepidla a substrátu dostatečně přiblížit, aby mezi nimi byla adheze. Lepidlo musí být proto kapalné, nebo minimálně plastické v okamžiku lepení, aby dostatečně smáčelo lepený povrch [10].

##### **6.4.3. Elektrostatická teorie**

Podle ní je adheze popsána jako působení elektrostatických přitažlivých sil. Autoři vychází z pozorování, kdy při odtrhnutí lepidlového filmu od povrchu dochází k elektrickým výbojům. Tohle tvrzení ale nebylo nikdy dostatečně prokázáno [10].

##### **6.4.4. Teorie difúze**

Je popsána jako transport molekul z pojiva do adherendu a opačně. Tento děj se nazývá mikro-Brownův molekulový pohyb. Tato teorie však může fungovat pouze za předpokladu vzájemné rozpustnosti polymerních látek v lepidle a lepeném materiálu. Další podmínkou je dostatečná pohyblivost makromolekuly nebo jejích částí. Bez těchto podmínek je teorie neuplatnitelná [10].

## 7. Přírodní lepidla

Rozlišujeme dva základní typy lepidel. První skupinu tvoří přírodní lepidla. Tato skupina se ještě dále rozděluje na lepidla rostlinného a živočišného původu. Mezi zástupce lepidel rostlinného původu zařazujeme např. mouky, škroby, dextriny, rostlinné gumy a další. Živočišná lepidla jsou různé typy klišů, pro příklad glutinové, kaseinové, albominové a rybí [12].

## 8. Syntetická lepidla

### 8.1. Močovinoformaldehydová lepidla (UF)

Pro lepení dřeva asi nejpoužívanější a nejrozšířenější druh lepidla. Jejich poptávka u nás i ve světě velmi rychle stoupá. Příčinou je stále narůstající výroba aglomerovaných materiálů, zejména dřevotřísek nebo překližek. UF lepidla jsou stále více oblíbené pro své výhodné vlastnosti. Do těch můžeme zahrnout jejich schopnost vytvrzení v širokém rozmezí teplot (10 až 150 °C), dále rychlost vytvrzení, bezbarevnost a částečná odolnost proti vodě. Ovšem tyto lepidla mají i své negativní projevy, zejména nižší odolnost proti působení vlhkosti [10].

#### Složení

Močovina je ve vodě snadno rozpustná bezbarvá krystalická látka. Nejčastější způsob výroby je z  $\text{CO}_2$  a  $\text{NH}_3$  při zvýšené teplotě. Další složkou je formaldehyd, který je při normální teplotě bezbarvý plyn velmi výrazného zápachu. Získává se dehydrogenací metanolu, je snadno rozpustný ve vodě. Samotná výroba probíhá kondenzací těchto dvou vstupních látek. Do reakce vstupuje několik faktorů, jimiž se ovlivňují vlastnosti výsledného lepidla [10].

#### Nastavovadla

Do UF lepidel jsou přidávána tzv. nastavovadla. Důvodem přidávání těchto látek je snížení výrobních nákladů snížením samotné spotřeby lepidla. Samozřejmě mají vliv i na vlastnosti lepidla. Zahušťují lepidlo a zvyšují stálost lepeného spoje. Nejčastěji používanými nastavovadly jsou obilná mouka, bramborový škrob nebo krevní albumín. Nejvhodnější jsou látky, které mají samy o sobě schopnost lepení. Při použití do 20 % nemají zásadní vliv na mechanické vlastnosti ani vodotěsnost [12].

### **Zvyšování vodovzdornosti**

V oblasti dřevěných materiálů je tohle téma velmi důležité vzhledem k tomu, že výrobou aglomerovaných materiálů se snažíme docílit různých vlastností, mezi nimiž je i odolnost vůči vodě (bobtnání apod.). UF lepidla mají po vytvrdnutí omezenou odolnost vůči studené vodě, za tu považujeme vodu do teploty 70 °C. Proti teplé vodě nejsou tyto lepidla odolná v podstatě vůbec. Přídavkem plnidel a nastavovadel tuto vlastnost posuneme ještě níže, proto je důležité volit i jejich použití [12].

### **Aplikace**

Vzniklá vrstva lepidla ve spáře by neměla být tlustší než 0,1 mm. Narůstající tloušťka filmu ovlivňuje vlastnosti lepené spáry a to zejména negativně. Při vyšší vrstvě se stává lepidlo křehčí, rychleji stárne a snižuje se jeho mechanická pevnost. Pro omezení těchto vlivů se do lepidel přidávají tzv. plnidla. Příkladem může být dřevní moučka, hydrolyzované piliny nebo moučka z vlašských ořechů. Z anorganických plniv mletý sádrovec, perlit a další [10].

## **8.2. Melaminformaldehydová lepidla (MF)**

Svou strukturou velmi připomínají UF pryskyřice. Oproti UF však dobře odolávají studené i teplé vodě, částečně i povětrnostním podmínkám. Svými vlastnostmi se blíží fenolickým lepidlům. Nedostatky MF lepidel jsou výrobní náklady (asi 3x vyšší než u UF lepidel) a malá stabilita roztoků. Tento problém se řeší mísením s UF lepidly, kdy je dosaženo rozumného poměru ceny a výsledného materiálu [10].

### **Složení**

Surovinami pro výrobu jsou formaldehyd a melamin. Melamin je specifikován jako bílá krystalická látka nesnadno rozpustná ve vodě. Vzniká při reakci dusíkatého vápna  $\text{CaCN}_2$  s vodou za studena. Reakce těchto dvou látek probíhá podobně jako u UF lepidel, záleží na více faktorech, zejména však na molovém poměru [10].

### **Aplikace a vytvrzování**

Proces vytvrzování probíhá v kyselém nebo neutrálním prostředí při vyšších teplotách (130 až 140 °C). Důvodem je vytvoření trojrozměrných makromolekul, které jsou nerozpustné ve vodě a jsou netavitelné, vznikají však jen v kyselém prostředí. I zde je možnost přídavku plnidel a nastavovadel, stejně jako v případě UF lepidel. Speciálním druhem aplikace je impregnace papírových nosičů. Vzniknou tzv. melaminové lepicí fólie.

Jejich použití se však omezuje z cenových důvodů. Uplatnění najdou výhradně v případech, kdy se vyžaduje zvýšená zdravotní bezpečnost, např. u laminátů (umacart) [10].

### **8.3. Fenolformaldehydová lepidla (PF)**

Jsou to polykondenzační látky složené z fenolu a formaldehydu. Hlavní využití mají hlavně při výrobě překližek. Výsledné spoje jsou pružné a odolné vůči vodě, povětrnostním podmínkám, mikroorganismům, rozpouštědlům a stárnutí. Rozlišujeme dva základní typy těchto lepidel. Prvním je PF lepidlo tvrditelné za horka (135 až 165 °C), kdy je nutností výrobní linka. Druhým typem je však PF lepidlo tvrditelné při normální teplotě (tzv. montážní), které je možné vytvrzovat pomocí kyselých tvrdidel. Rozdíl je při výrobě, kdy zásadní roli hraje pH prostředí. Při reakci v kyselém prostředí vznikají tzv. novolaky, v zásaditém rezoly [10].

### **8.4. Polyvinylacetátová lepidla (PVAc)**

Jde o směs acetylénu a kyseliny octové za přítomnosti rtuťnatých solí. Tyto lepidla se vyznačují dobrou afinitou ke dřevu a poskytují velmi pevné a pružné spoje. Tato vlastnost se dá ještě umocnit přidávkem plastifikátorů (do 5 %). Vytvrzování neprobíhá chemickou reakcí, jde o fyzikální proces, kdy dochází k odebírání vody dřevem za současného vytváření filmu lepidla. Tyto lepidla najdou nejširší uplatnění v oblasti montážních účelů [10].



## 9. Lepené spoje vystavené vyšším teplotám

Požadavky na lepidla a jejich chování při zvýšených teplotách se různí dle regionů, kterými jsou Evropa, Severní Amerika, Japonsko, Austrálie a Nový Zéland.

### 9.1. Evropa

Požadavky na lepidla používaná v lepených konstrukcích jsou normativně upravovány EN normami, které jsou dále specifikovány pro jednotlivé druhy lepidla. Zkoušky pro fenolické a aminoplastové lepidla jsou řízeny normou EN 301:2013. Požadavky na lepidla polyuretanová jsou shrnuty v normě EN 15425:2008; pro emulzní polymerní izokyanáty je platná norma EN 16254:2013. Nejvyšší teploty, které je dosaženo v evropských standardech je 90 °C. Zkoušky se provádí po dobu dvou týdnů pod neustálým zatěžováním vzorků. Tyto zkoušky simulují dlouhodobé vystavení vysokým teplotám, pro příklad působení slunečního záření. Dotvarování a deformace lepidel se zkouší v cyklických klimatických podmínkách (teploty do 45 °C). Současné standardy EN **neposkytují** žádné další informace o chování lepidel **při zvýšené teplotě**, nebo v případě požáru. Zkoušky a kritéria pro schválení se liší v různých zemích, zvláště schválení lepidel právě na výkonnost při zvýšené teplotě a požáru. Tohle chování bude blíže popsáno níže [13].

#### Standardizace

Zkoušky se provádí dle EUROKÓDU 5 (EN 1995-1-2, 2004). Tato norma uvádí, že u některých lepidel je teplota skelného přechodu výrazně nižší, než teplota zuhelnatění dřeva. Jiné standardy EN testují tuto vlastnost při teplotách vyšších než je teplota místnosti. Zkouška probíhá tak, že se zkušební těleso zatíží předepsanou silou a zvyšuje se teplota rychlostí 50 nebo 80 °C/hod. Výsledkem zkoušky je doba poškození lepeného spoje. V roce 2009 byl vytvořen ISO standard, který v mnohém vychází ze severoamerického standardu ASTM D7247 a zahrnují testování lepené spáry při teplotách vyšších než 220 °C [13].

### 9.2. Severní Amerika

Stejně jako v Evropě se liší stavební předpisy i v Severní Americe. Například v Kanadě a Spojených státech jsou vyžadovány tzv. „*full scale*“ testy požární odolnosti k tomu, aby stavební prvky a materiály splňovaly normy. Jako alternativu testování celých budov (z hlediska finanční náročnosti), bylo vyvinuto testování pevnosti ve smyku při zvýšené teplotě na tělesech menšího měřítka. Hodnotí se samotné spoje při teplotách vyšších

než 220 °C. Tyto zkoušky popisují normy ASTM D7247:2007 na vzorcích specifikovaných v ASTM D 905:2008. V těchto zemích jsou navíc zařazeny zkoušky odolnosti vůči krípu při statickém zatížení. Při splnění předepsaných podmínek, dostanou lepidla certifikát CSA [13].

### **Standardizace**

Výrobky musí splňovat tři podmínky přiložené v CSA. Jeden z těchto testů je test plamene v malém rozsahu, ve kterém se testuje, zda lepidlo udržuje vazbu mezi pyrolýzní a normální zónou dřeva. Druhý test je dle přílohy zkouška pro hodnocení lepených sloupů a lepených nosníků. Poslední zkušební metoda popisuje chování překližky nad hořákem při teplotách 800 až 900 °C po dobu 10 minut, nebo dokud zuhelnatění neprostoupí vzorek [13].

### **9.3. Japonsko**

Tato země se řídí normami JIS K 6831:2003 a JIS K 6852:1994. Zkoušení probíhá při různých teplotách, maximálně však 150 °C. Zkouška začíná stabilizováním lepidla po dobu 168 hodin a poté se zahřeje na požadovanou teplotu po dobu 24 hodin. Stejný postup je aplikován na zkoušku působení tlakem i ve smyku. Pro splnění podmínky v tlaku musí lepidlo dosáhnout minimálně 66 % původní pevnosti, ve smyku minimálně 75 %. Dále je zaveden test krípu, při kterém je vzorek udržován při teplotě 71 °C po dobu 7 dnů. Překližky jsou testovány tím způsobem, že jsou vystaveny ohni o předepsané intenzitě po dobu 45 minut. Výsledná hloubka zuhelnatění by měla být menší než 35 mm, což odpovídá rychlosti zuhelnatění 0,8 mm/min [13].

### **9.4. Austrálie a Nový Zéland**

Lepidla zde musí splňovat požadavky uvedené v normě AS / NZS 4364:2010. Jsou zavedeny dvě zkušební metody, které jsou zvoleny dle způsobu aplikace lepidla. Test smykového krípu se provádí při maximální teplotě do 70 °C po dobu 7 dnů. Zkouška pevnosti v tahu je identická jako u evropských zkušebních metod, tzn. testy probíhají při teplotách do 90 °C [13].

### **9.5. Testy při zvýšených teplotách**

Chování lepených spojů bylo zkoumáno poměrně intenzivně při normální teplotě. Informací o chování lepených spojů při zvýšené teplotě nebo požáru je málo. Nyman v roce 1980 studoval vliv teploty a vlhkosti na odolnost lepeného spoje. Později v roce 1982 se touto problematikou zabývali Nielsen a Olesen, kteří se hlouběji zaměřili na lepené lamelové dřevo.

V roce 2012 byly provedeny série tahových zkoušek, kdy lepené materiály byly spojeny čtyřmi druhy PUR lepidel a jedním MUF lepidlem. Testy ukázaly výrazné snížení pevnosti v závislosti na teplotě. Došlo se k závěru, že chemická struktura má velký vliv na mechanické vlastnosti lepidla z pohledu stability při zvýšených teplotách. Důkazem toho jsou výsledky testovaných PUR lepidel, kdy každé dosáhlo rozdílných hodnot. Výsledek jednoho typu PUR lepidla proto není platný pro ostatní [13].

Vztah mezi chemickou strukturou a teplotou byl proto dále zkoumán pomocí metody nukleární magnetické rezonanční spektroskopie. Bylo zjištěno, že kombinace několika chemických parametrů má zásadní vliv na tepelnou stabilitu PUR lepidla. Nová testovací metoda byla nedávno vyvinuta v Kanadě, při které je na lepený spoj vyvoláváno tahové namáhání s ohledem na nejčastější způsob namáhání lepených prvků ve stavebnictví. V této zkoušce (vliv zatížení a teploty do 220 °C) prokázala spoje lepené PRF a MF na rozdíl od lepidel PUR a PVAc delších časových hodnot, kdy došlo k selhání spoje. Tyto zkušební metody ovšem zachycují pouze dlouhodobou pevnost lepených spojů, spíše než aby prošetřily vliv intenzivní teploty, ke které dochází v případě požáru [13].

Z tohoto důvodu provedl Schaffer studii s cílem vyvinout jednoduchý test vyhodnocení chování lepidla při požáru. Výsledkem byl test, při kterém jsou obě strany lepeného vzorku vystaveny plameni po dobu 5 minut. Po vychladnutí vzorku je vedený řez podél středu vzorku a je zkoumáno lepidlo ve třech ohledech – dělení do třech skupin. První skupinu tvoří lepidla, která udržují zdánlivou pevnost spoje. Lepidla omezující delaminaci řadíme do druhé skupiny. Třetí skupina jsou lepidla, se schopností separace účinků od vysokých teplot na dřevo [13].

## **9.6. Požární zkoušky – lepené lamelové dřevo**

Požární zkoušky z lepeného lamelového dřeva pojených lepidly RF a PRF nikdy nevedly k obavám z neúspěchu lepidla. Kromě toho, požární zkoušky lepeného lamelového dřeva a trámů z nich vyrobených pojené kaseinovým lepidlem vykazovaly vždy neporušené spoje [13].

Testování ve studii [13] obsahovalo soubor 18 ohybových zkoušek prováděných při vystavení ohni dle normy DIN 4102:1940. Šestnáct vzorků vylo vystaveno působení plamene po dobu 30 min a dva vzorky po dobu 60 min. Celkem byly provedeny čtyři série zkoušek s pěti různými průřezy a čtyřmi typy lepidel (Aerodux 185, Kaurit W, Kaurit WHK, Kauresin 440). Během testů se měřila teplota uvnitř trámů. Po zkoušení byly vzorky uhašeny vodou nebo dusíkem. Autoři navrhuji dosáhnout minimální požární odolnosti 30 minut i pro

minimální šířky lepených nosníků. Trámy jsou vystaveny požáru v souladu s normou ISO, je tedy simulován požár ze všech čtyř stran. Nosníky spojené UF lepidlem vykázaly vyšší míru zuhelnatění po stranách prvku. Z testu také vyplynulo, že vady dřeva mají významný vliv na výsledek zkoušky, zejména suky ve dřevě [13].

Kromě nosníků byly testovány i sloupy z lepeného lamelového dřeva. Bylo provedeno 26 požárních zkoušek v plném měřítku. Opět byly použité čtyři lepidla (fenolové, Resorcinol, močovina, kasein) aby byly vyšetřeny pro odolnost vůči ohni. Prováděny byly testy s různým i konstantním zatížením a trvaly v rozmezí od 23 do 77 hodin. Na základě těchto testů se došlo k závěru, že lepidlo může mít vliv na pevnost lepeného lamelového sloupu. Jeden z pravděpodobně nejzkoumanějších parametrů těchto zkoušek byla rychlost zuhelnatění různých druhů dřeva [13].

V poslední době se ve Švédsku začaly testovat i lepené nosné stěny. Při těchto testech byly testovány stěny o tloušťce 82 mm, proběhlo celkem 18 zkoušek. Třívrstvá konstrukce byla tvořena sádrokartonovým typem desky 12,5 mm a na druhé straně tvořila plášť 15 mm deska opět ze sádrokartonu. Vzorky byly zatíženy 10 % jejich nosnosti při normální teplotě. Poté se začalo na povrch působit plamenem po dobu 40 a 60 minut. Výsledkem zkoušky byla rychlost zuhelnatění, která se pohybovala v rozmezí 0,89 – 0,58 mm/min, podle druhu použitého sádrokartonu. Z těchto testů byl stanoven horní limit zuhelnatění 0,72 mm/min [13].

V tomto testu je brán zřetel i na odpadávající zuhelnatěné vrstvy. Při zkoušce trvajících 40 minut pravděpodobně nebude mít pád zuhelnatěných vrstev větší vliv na pevnost, protože odpadne jen první (krycí) vrstva, která nemá zásadní vliv na pevnosti. Na rozdíl od toho u zkoušky trvajících 60 minut dojde k zúžení ve zbytkovém průřezu [13].

## 10. Cíl práce

Dřevěné lepené materiály čím dále častěji nahrazují rostlé dřevo v konstrukcích. Jejich spoje mohou ovlivňovat i celkovou požární odolnost takto lepeného prvku. Z toho důvodu bylo přistoupeno k návrhu experimentálních zkoušek, kterými bude pro různé typy lepidel posouzena odolnost takto lepených prvků různými typy lepidel vůči zvýšené teplotě.

U vybraných druhů lepidel se pro porovnání provedla smyková zkouška u vzorků slepenců, které byly vystaveny zvýšené teplotní expozici. Testy byly provedeny na malých vzorcích ze smrkového dřeva při použití lepidel močovinoformaldehydového (MUF), resorcinformaldehydového (RF), polyuretanového (PUR) a epoxidového (EP).

Znalost chování jednotlivých lepidel je velmi důležité, neboť v případě expozice lepených prvků zvýšené teplotě mohou významně ovlivnit únosnost prvku.

## 11. Metodika zkoušek

### 11.1. Použitá lepidla

#### 11.1.1. Lepidlo melamin - močovinoformaldehydové (MUF)

Bylo použito lepidlo 1247 + tužidlo 2526 od výrobce CASCO Adhesive. Je schváleno pro užití při výrobě dřevěných konstrukcí dle EN 386 a DIN 1052. Obě složky mají udávaný bod vzplanutí nad 100 °C a jsou klasifikovány jako nehořlavé. Tužidlo lze dávkovat v množství 20 % - 100 % hmotnostních. Pro experiment bylo zvoleno 50 % tužidla v hmotnostním poměru vůči lepidlu. Po smísení v tomto poměru se směs musí zpracovat do patnácti minut. Naneseno v množství 300 g/m<sup>2</sup> jednostranně desku. Slepence byly lisovány po dobu 6,5 hodin pod tlakem 1 MPa

#### 11.1.2. Lepidlo resorcínformaldehydové (RF)

Dalším testovaným bylo lepidlo CASCOSINOL 1712 s tužidlem 2520. Lepidlo je určeno zejména k aplikacím v dřevařském průmyslu, kde se klade velký důraz na vodovzdornost a odolnost vůči vnějšímu klimatu. Bod vznícení je udáván v rozmezí 50 °C – 100 °C. Výrobce předepsaný míšící poměr je 15 % hmotnostních. Lepidlo bylo po smísení naneseno také v množství 300 g/m<sup>2</sup> na jednu lepenou plochu. Slepence byly lisovány po dobu 9 hodin pod tlakem 1 MPa (předepsané minimum je 0,5 MPa).

#### 11.1.3. Lepidlo polyuretanové (PUR)

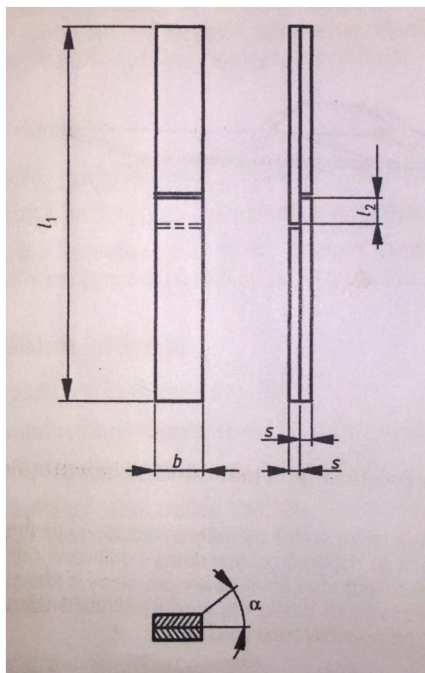
Konkrétně se jedná o jednosložkové lepidlo PUR 1968, výrobce CASCO Adhesive. Výrobce udávaný bod vznícení je nad 170 °C. Lepidlo bylo naneseno v množství 300 g/m<sup>2</sup>. Vytvrzení v lisu probíhalo po dobu 24 hodin.

#### 11.1.4. Lepidlo epoxidové (EP)

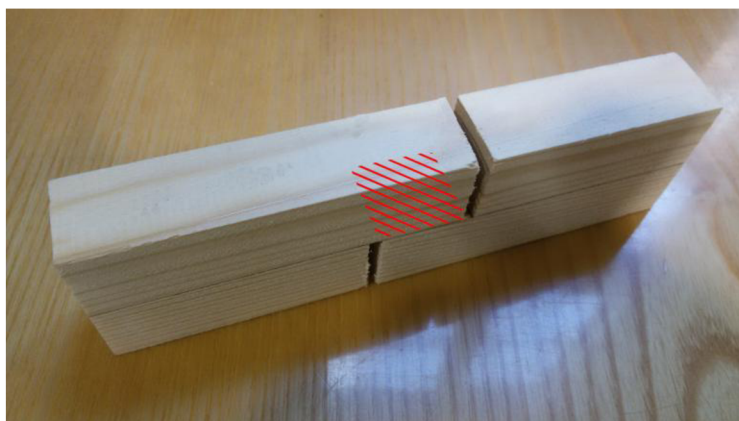
Posledním testovaným lepidlem bylo CHS – EPOXY 512 / P11, výrobce Spolchemie a.s. Zvolený poměr mísení byl 100 : 12. Lepidlo muselo být zpracováno do dvaceti minut od zamíchání jednotlivých složek. Množství naneseného lepidla bylo 300 g/m<sup>2</sup> oboustranně. Lepidlo bylo plně vytvrzeno po 24 hod. při lisovacím tlaku 1,0 MPa.

## 11.2. Dřevěné slepence

Výchozím materiálem pro výrobu zkušebních těles byly ohoblované smrkové desky. Tyto desky byly následně nařezány příčně ke směru vláken na délku 150 mm. Takto vzniklé kusy byly slepeny tak, aby úhel mezi letokruhy a lepenými plochami byl  $30^\circ$  až  $90^\circ$ . Lepidlo bylo nanášeno stěrkou v tloušťce cca 0,1 mm. Po nanesení byl přiložen druhý díl a takto slepené desky byly zalisovány tlakem 1,0 MPa. Po výrobcem uvedeném čase byly tyto slepené desky vyjmuty z lisu a nařezány v podélném směru na cca 20 mm široké vzorky. Do těchto byly vyřezány drážky, čímž vznikla smyková plocha dle EN 302-1, viz obrázek níže.



Obrázek 11 – Schéma zkušebního tělesa [14]



Obrázek 12 – Znárodnění zkoušené plochy

### 11.3. Teplotní zatěžování slepenců

#### 11.3.1. Tělesa při teplotě 23 °C

První testovanou sadou těles byly vzorky o teplotě 23 °C a vlhkosti 65 %. Kondicionování probíhalo po dobu sedmi dnů v laboratorním prostředí. Výsledky měření těchto vzorků pro nás byly výchozími pro další výpočty.

#### 11.3.2. Tělesa při zvýšených teplotách

Odolnost lepidel při vyšších teplotách byla testována při 110 °C, 160 °C, a 220 °C. Tělesa se vyskládala na rošt z důvodu rovnoměrného prostupu tepla a pec se nastavila na požadovanou teplotu s dobou působení teploty po dobu 24 h. Po uplynutí této doby byly vzorky připraveny pro další testování. Bezprostředně po vyjmutí z pece byly vzorky zatěžovány, aby byl úbytek tepla co nejmenší.

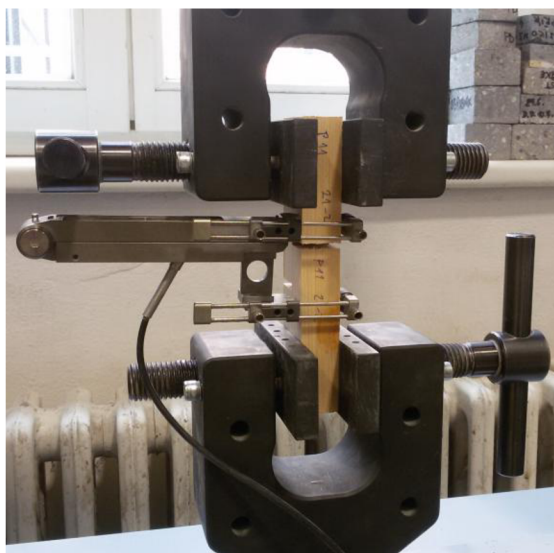


Obrázek 13 – Vzorky uložené v peci s elektrickým výhřevem

### 11.4. Zkouška smykové pevnosti

Zkouška byla provedena dle ČSN EN 302-1. Zkušební těleso se upevní symetricky do čelistí lisu, přičemž vzdálenost čelistí je v rozmezí od 50 mm do 90 mm. Uchycení je situováno tak, že podélná osa vzorku je rovnoběžná se silou zatěžování. Tahovou silou se působí až do porušení vzorku. Zatěžovalo se rychlostí 50 N/s. Z dosažené hodnoty síly při porušení byla vypočtena smyková pevnost.





**Obrázek 14** – Upevnění vzorku do zkušebního zařízení

### **11.5. Stanovení kohezního poškození ve dřevě (WF)**

Vyhodnocení probíhalo hned po porušení vzorků v tahu a vyjmutí z lisovacího zařízení. Hodnota byla vyhodnocena v kontextu normy optickým posouzením smykové plochy s přesností na 10 %.



**Obrázek 15** – Kohezní poškození dřeva (WF), zleva: 0 %, 80 %, 100 %

## 12. Výsledky zkoušek

### 12.1. Zkouška smykové pevnosti – lepidlo MUF

Byly testovány vzorky lepeného smrkové dřeva, které byly vystaveny rozdílné teplotní zátěži. Výsledky průměrných hodnot pevnosti ve smyku jsou uvedeny pro jednotlivé teploty v následujících tabulkách č. 3 – 6.

**Tabulka 3** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená MUF lepidlem, při teplotě 23 °C

Označení vzorku	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5
rozměr a [mm]	20,6	20,2	20,2	20,0	20,6
rozměr b [mm]	20,2	20,3	20,2	20,3	20,0
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	416,12	410,06	408,04	406,00	412,00
síla F [N]	2468	2573	3064	3256	3039
WF - wood failure [%]	100	80	90	100	100
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	5,9	6,3	7,5	8,0	7,4
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	7,0				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,8				
Variační koeficient [%]	0,6				

**Tabulka 4** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená MUF lepidlem, při teplotě 110 °C

Označení vzorku	110-1	110-2	110-3	110-4	110-5
rozměr a [mm]	20,1	20,2	20,2	20,4	20,5
rozměr b [mm]	20,3	20,2	20,2	20,3	20,2
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	408,03	408,04	408,04	414,12	414,10
síla F [N]	3006	4262	2997	1972,7	3110
WF - wood failure [%]	100	100	100	100	90
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	7,4	10,4	7,3	4,8	7,5
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	7,5				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	1,8				
Variační koeficient [%]	3,2				

**Tabulka 5** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená MUF lepidlem, při teplotě 160 °C

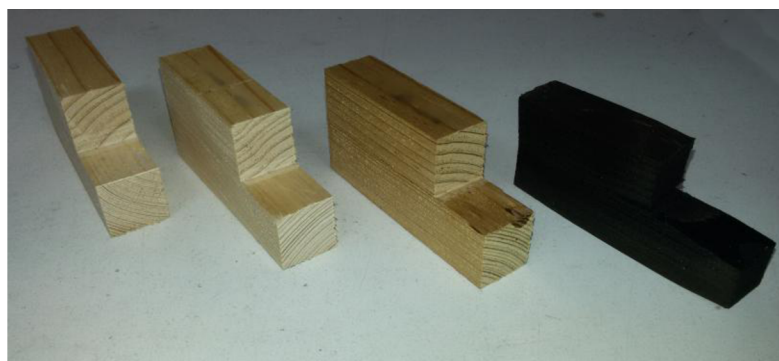
Označení vzorku	160-1	160-2	160-3	160-4	160-5
rozměr a [mm]	20,2	20,5	20,1	20,0	20,7
rozměr b [mm]	20,2	20,3	20,2	20,1	20,3
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	408,04	416,15	406,02	402,00	420,21
síla F [N]	1033,2	791,6	1585,1	1168,3	1283,1
WF - wood failure [%]	100	100	50	100	100

Označení vzorku	160-1	160-2	160-3	160-4	160-5
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	2,53	1,90	3,90	2,91	3,05
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	2,9				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,7				
Variační koeficient [%]	0,4				

**Tabulka 6** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená MUF lepidlem, při teplotě 220 °C

Označení vzorku	220-1	220-2	220-3	220-4	220-5
rozměr a [mm]	21,1	20,2	20,2	20,5	20,3
rozměr b [mm]	20,1	20,2	20,1	20,4	20,3
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	424,11	408,04	406,02	418,20	412,09
síla F [N]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WF - wood failure [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	0,0				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,0				
Variační koeficient [%]	0,0				

Z naměřených hodnot lze vyčíst, že MUF lepidlo dosáhlo pevnosti lepené spáry 7,0 N/mm<sup>2</sup> při 23 °C. Při teplotě 110 °C bylo dosaženo vyšších pevností a to 7,5 N/mm<sup>2</sup>. Tento výsledek přisuzuji vysušení dřeva a tím zvýšení jeho pevnosti. Při 160 °C už hodnoty pevností klesly. Byl potvrzen i pokles hodnoty kohezního poškození. Při 220 °C byly vzorky poškozeny pro testy pevností ve smyku, kterou nebylo možné provést.



**Obrázek 16** – Vzorky slepené MUF lepidlem po vystavení teplotám 23°C, 110°C, 160°C a 220 °C

## 12.2. Zkouška smykové pevnosti – lepidlo RF

Testy proběhly taktéž na vzorcích ze smrkového dřeva stejných rozměrů jako u všech testovaných lepidel. Výsledky zkoušek jsou znázorněny v tabulkách 7 – 11.

**Tabulka 7** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená RF lepidlem, při teplotě 23 °C

Označení vzorku	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5
rozměr a [mm]	19,8	20,1	19,8	19,8	20,0
rozměr b [mm]	20,0	20,2	20,3	20,2	20,1
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	396,00	406,02	401,94	399,96	402,00
síla F [N]	2541	1894,1	3159	2398	3743
WF - wood failure [%]	50	90	100	80	80
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	6,42	4,67	7,86	6,00	9,31
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	6,8				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	1,6				
Variační koeficient [%]	2,6				

**Tabulka 8** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená RF lepidlem, při teplotě 110 °C

Označení vzorku	110-1	110-2	110-3	110-4	110-5
rozměr a [mm]	20,2	19,8	20,8	20,2	20,0
rozměr b [mm]	20,3	20,2	20,2	20,4	20,3
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	410,06	399,96	420,16	412,08	406,00
síla F [N]	1226,1	913,4	1817,9	2620	1762,7
WF - wood failure [%]	10	80	60	40	90
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	2,99	2,28	4,33	6,36	4,34
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	4,1				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	1,4				
Variační koeficient [%]	2,0				

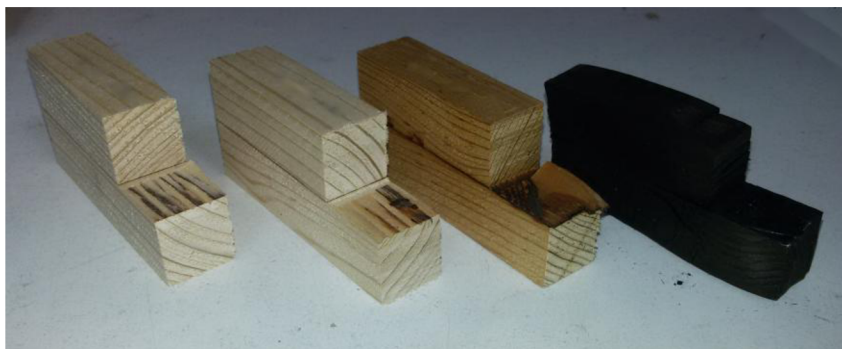
**Tabulka 9** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená RF lepidlem, při teplotě 160 °C

Označení vzorku	160-1	160-2	160-3	160-4	160-5
rozměr a [mm]	20,4	20,2	20,2	20,1	20,1
rozměr b [mm]	20,2	20,1	20,2	20,3	20,1
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	412,08	406,02	408,04	408,03	404,01
síla F [N]	1524	1027,1	926,6	1011,2	858,1
WF - wood failure [%]	30	50	100	100	70
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	3,70	2,53	2,27	2,48	2,12
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	2,6				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,6				
Variační koeficient [%]	0,3				

**Tabulka 10** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená RF lepidlem, při teplotě 220 °C

Označení vzorku	220-1	220-2	220-3	220-4	220-5
rozměr a [mm]	20,4	20,0	20,3	20,0	19,7
rozměr b [mm]	20,3	20,2	20,3	20,3	20,4
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	414,12	404,00	412,09	406,00	401,88
síla F [N]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WF - wood failure [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	0,0				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,0				
Variační koeficient [%]	0,0				

U testovaného lepidla RF byla nejvyšší průměrná naměřená pevnost 6,8 N/mm<sup>2</sup> při teplotě 23 °C. Při zvýšené teplotě pevnosti klesly na průměrnou hodnotu 4,1 N/mm<sup>2</sup>. Z hodnot při 160 °C lze vyčíst, že nárůstem teploty tento typ lepidla silně ztrácí své mechanické vlastnosti. Jeho pevnosti klesly na 2,6 N/mm<sup>2</sup>. Vzorky zahřáté na 220 °C nebyly vhodné pro další testování.



**Obrázek 17** – Vzorky slepené RF lepidlem po vystavení teplotám 23°C, 110°C, 160°C a 220 °C

### 12.3. PUR lepidlo

Ze sady testovaných lepidel je to jediný zástupce jednosložkového lepidla. Zkouška probíhala stejně jako u ostatních testovaných vzorků beze změn. Výsledky zkoušek jsou znázorněny v tabulkách 11 – 14.

**Tabulka 11** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená polyuretanovým lepidlem, při teplotě 23 °C

Označení vzorku	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5
rozměr a [mm]	23,4	25,2	22,8	30,8	27,2
rozměr b [mm]	20,6	22,2	20,7	20,8	20,7
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	482,04	559,44	471,96	640,64	563,04
síla F [N]	1882,2	1686,2	1038,6	1306,2	1707
WF - wood failure [%]	100	100	100	100	100
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	3,90	3,01	2,20	2,04	3,03
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	2,8				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,7				
Variační koeficient [%]	0,5				

**Tabulka 12** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená polyuretanovým lepidlem, při teplotě 110 °C

Označení vzorku	110-1	110-2	110-3	110-4	110-5
rozměr a [mm]	25,7	27,1	24,5	30,9	23,8
rozměr b [mm]	20,4	20,7	20,8	20,3	20,6
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	524,28	560,97	509,60	627,27	490,28
síla F [N]	1853,6	1907,9	1522,5	1974	1397,4
WF - wood failure [%]	100	100	60	100	100
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	3,54	3,40	2,99	3,15	2,85
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	3,2				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,3				
Variační koeficient [%]	0,1				

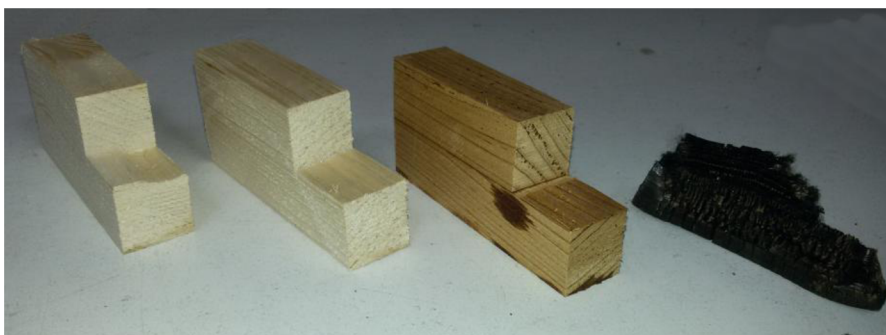
**Tabulka 13** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená polyuretanovým lepidlem, při teplotě 160 °C

Označení vzorku	160-1	160-2	160-3	160-4	160-5
rozměr a [mm]	27,7	30,1	23,7	25,8	24,5
rozměr b [mm]	15,8	20,8	20,7	20,8	20,6
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	437,66	626,08	490,59	536,64	504,70
síla F [N]	1053,6	779,1	728,1	1086	784,20
WF - wood failure [%]	100	100	100	100	100
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	2,41	1,24	1,48	2,02	1,55
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	1,7				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,4				
Variační koeficient [%]	0,2				

**Tabulka 14** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená polyuretanovým lepidlem, při teplotě 220 °C

Označení vzorku	220-1	220-2	220-3	220-4	220-5
rozměr a [mm]	30,9	25,5	26,9	31,0	23,2
rozměr b [mm]	20,6	21,0	20,9	21,2	20,7
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	636,54	535,50	562,21	657,20	480,24
síla F [N]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WF - wood failure [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	0,0				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,0				
Variační koeficient [%]	0,0				

Z naměřených hodnot je zřejmé, že tento typ lepidla dosáhl relativně nízkých pevností. Nebyl však zaznamenán pokles pevností. Velmi důležitým poznatkem bylo zjištění, že hodnoty kohezního poškození byly neměnné a i při vyšších teplotách dosahovaly vysokých hodnot. Z toho vyplývá závěr, že lepidlo jako takové dobře odolávalo teplotám od 23 °C až po 160 °C. K přetržení vzorku došlo v drtivé většině případů ve dřevě. Při testech za teplot 220 °C došlo ke vznícení lepidla a úplnému rozpadu vzorku.



**Obrázek 18** – Vzorky slepené PUR lepidlem po vystavení teplotám 23°C, 110°C, 160°C a 220 °C

#### 12.4. Epoxidové lepidlo EP

Výsledky měření jsou znázorněny v tabulkách 15 – 18. Zkoušky byly opět prováděny za nezměněných podmínek.

**Tabulka 15** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená epoxidovým lepidlem, při teplotě 23 °C

Označení vzorku	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5
rozměr a [mm]	20,7	20,7	20,9	20,9	21,1
rozměr b [mm]	20,0	20,3	20,0	20,2	20,2
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	414,00	420,21	418,00	422,18	426,22
síla F [N]	3573	3024	1692,6	1425,1	2465
WF - wood failure [%]	90	70	70	60	40
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	8,63	7,20	4,05	3,38	5,78
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	5,8				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	1,9				
Variační koeficient [%]	3,8				

**Tabulka 16** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená epoxidovým lepidlem, při teplotě 110 °C

Označení vzorku	110-1	110-2	110-3	110-4	110-5
rozměr a [mm]	21,0	20,7	20,9	20,4	20,5
rozměr b [mm]	20,2	20,1	20,2	20,2	20,3
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	424,20	416,07	422,18	412,08	416,15
síla F [N]	1808,9	1508,3	1364,6	2372	1651,6
WF - wood failure [%]	0	20	0	30	10
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	4,26	3,63	3,23	5,76	3,97
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	4,2				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,9				
Variační koeficient [%]	0,8				

**Tabulka 17** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená epoxidovým lepidlem, při teplotě 160 °C

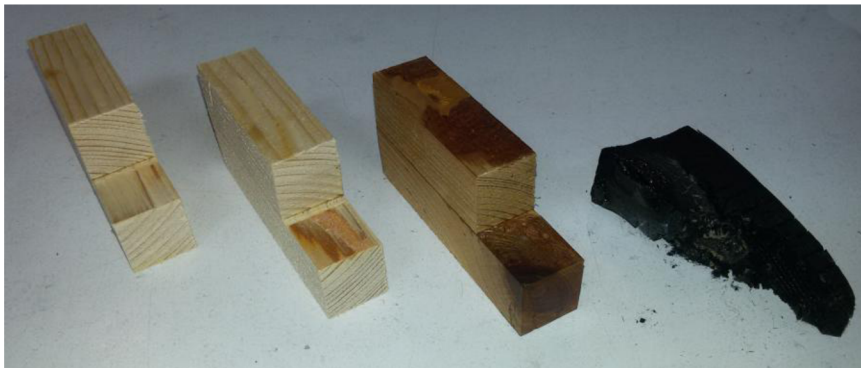
Označení vzorku	160-1	160-2	160-3	160-4	160-5
rozměr a [mm]	20,9	20,7	20,9	21,0	21,0
rozměr b [mm]	20,2	20,3	20,2	20,1	20,1
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	422,18	420,21	422,18	422,10	422,10
síla F [N]	447,6	0,00	565,6	228,7	0,00
WF - wood failure [%]	0	0	0	0	0
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	1,06	0,00	1,34	0,54	0,00
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	0,6				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,5				
Variační koeficient [%]	0,3				



**Tabulka 18** – Tabulka hodnot pro tělesa slepená epoxidovým lepidlem, při teplotě 220 °C

Označení vzorku	220-1	220-2	220-3	220-4	220-5
rozměr a [mm]	20,6	20,5	20,5	20,4	20,7
rozměr b [mm]	20,1	20,2	20,3	20,2	20,1
plocha smyku [mm <sup>2</sup> ]	414,06	414,10	416,15	412,08	416,07
síla F [N]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WF - wood failure [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Smyková pevnost [N/mm <sup>2</sup> ]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aritmetický průměr smykové pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	0,0				
Směrodatná odchylka [N/mm <sup>2</sup> ]	0,0				
Variační koeficient [%]	0,0				

Tento typ lepidla dosáhl nejnižších pevností. Výsledky zkoušky prokázaly významný vliv zvyšující se teploty na pevnost lepidla. Při teplotě 23 °C dosáhly vzorky v celku srovnatelné pevnosti jako jiná lepidla. Ovšem s nárůstem teploty je zřejmé, že začala klesat pevnost spoje. Odvodit to lze z hodnot kohezního poškození a naměřených pevností. Při 160 °C lze říci, že lepený spoj ztratil téměř všechnu pevnost, jelikož se všechny vzorky přetrhly v lepené spáře a dosažené pevnosti byly velmi malé, v průměru 0,6 N/mm<sup>2</sup>. Při zahřátí vzorků na 220 °C došlo k jejich vznícení a rozsáhlým poškozením.



**Obrázek 19** – Vzorky slepené epoxidovým lepidlem po vystavení teplotám 23°C, 110°C, 160°C a 220 °C

### 12.5. Výsledky zkoušek při 220 °C

Všechny hodnoty pevností pro teplotu 220 °C mají v tabulce nulovou hodnotu. Důvodem, je rozpad vzorků při dané teplotě. V průběhu zahřívání došlo ke vznícení lepidla a vzorky slepené EP a PUR lepidlem se rozpadly, nebo byly zcela nepoužitelné pro zkoušku, viz. obrázek 20. U dřeva pojeného RF a MUF lepidlem nedošlo ke vznícení, ale vzorky byly působením teploty zcela zdeformované, což znemožnilo upnutí to lisovacího zařízení.

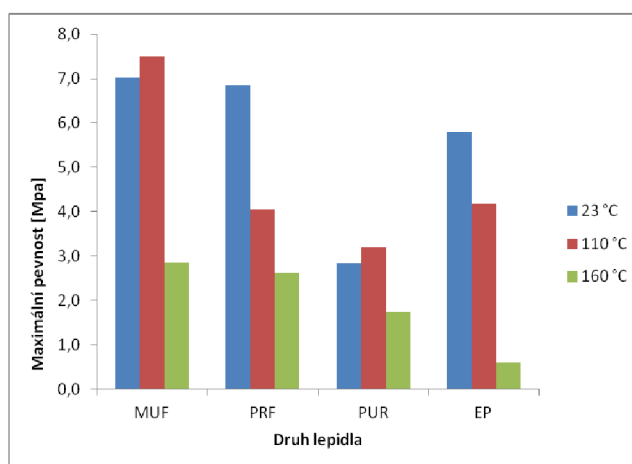


**Obrázek 20** – Vzorke vystavené teplotě 220 °C po dobu 24 hodin

## 13. Vyhodnocení zkoušek

### 13.1. Zkouška smykové pevnosti použitých lepidel

V následujícím grafu je znázorněna pevnost jednotlivých typů testovaných lepidel. Pro každou teplotu je zde vyobrazení průměrných smykových pevností lepeného spoje. Teplota 220 °C zde není zobrazena, jelikož nebylo dosaženo žádných pevností.

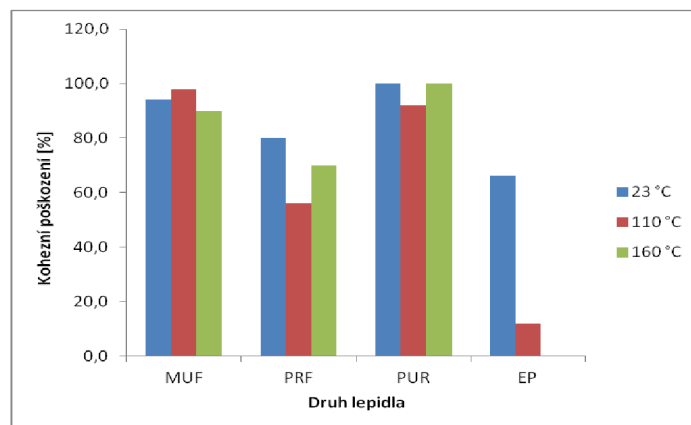


**Graf 1-** Srovnávací graf pevností, dosažených při použití různých typů lepidel při testovaných teplotách

Nejvyšší pevnosti dosáhly vzorky MUF lepidla při teplotě 110 °C. Naopak nejnižší hodnoty při této teplotě dosáhly vzorky PUR lepidla, ale jak již bylo řečeno, k poškození došlo ve dřevěném adherendu, nikoli v lepené spáře. Nejnižších hodnot dosahovaly vzorky dle očekávání při teplotě 160 °C. U MUF a PUR lepidel je z grafu viditelné, že při zahřátí na 110 °C došlo k nárůstům pevností ve dřevě, přičemž zásadně neklesla pevnost lepeného spoje. Vzorky testované při 220 °C v grafu nejsou znázorněny.

### 13.2. Stanovení kohezního poškození ve dřevě

V grafu 2 je znázorněno kohezní poškození ve dřevě po porušení zkušebních těles. Je zde graficky znázorněna závislost typu lepidla na vzniklém kohezním poškození dřeva. Uvedené hodnoty jsou hodnoty průměrné z tabulek 3 – 18.



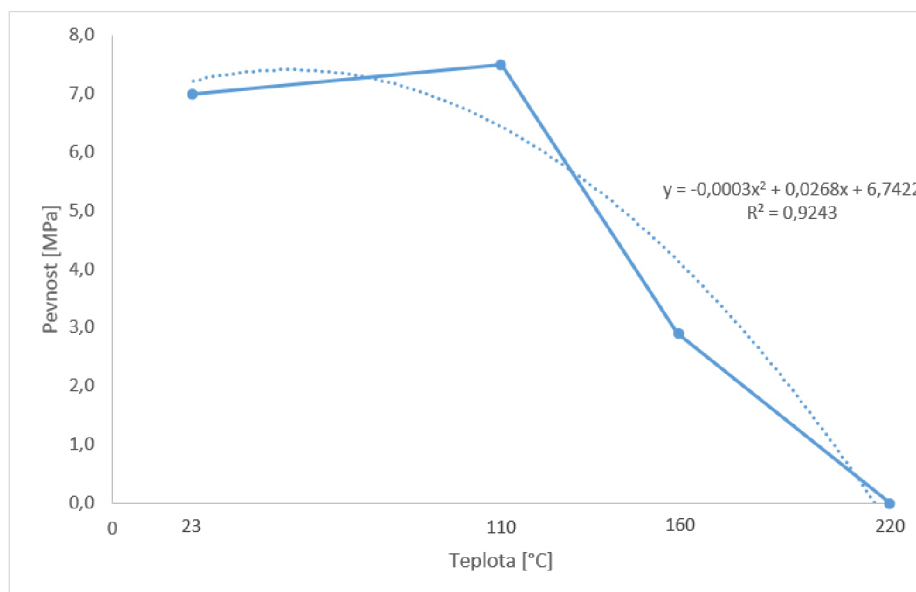
**Graf 2** – Kohezní poškození ve dřevě při testovaných teplotách

Z tohoto grafu lze snadno vyčíst, že lepidla MUF a PUR dobře odolávala působení zvýšených teplot. Lepené spoje většinou zůstaly bez poškození a k poškození došlo ve dřevě. S výjimkou MUF lepidla se při zahřátí na 110 °C snížila hodnota WF, což naznačuje snížení pevnosti spoje. Mimo EP lepidla zůstaly hodnoty při 160 °C relativně vysoké, z toho lze odvodit, že spoje neztrácely při těchto teplotách svoji pevnost. Výsledky při teplotě 220 °C nejsou znázorněny.

### 13.3. Vyhodnocení výsledků pevností vybraných lepidel

#### MUF lepidlo

Výsledky zkoušek pro lepidlo MUF jsou znázorněny v grafu 3. Výchozí hodnoty pro sestavení grafu jsou uvedeny v tabulkách 3, 7, 11 a 15.

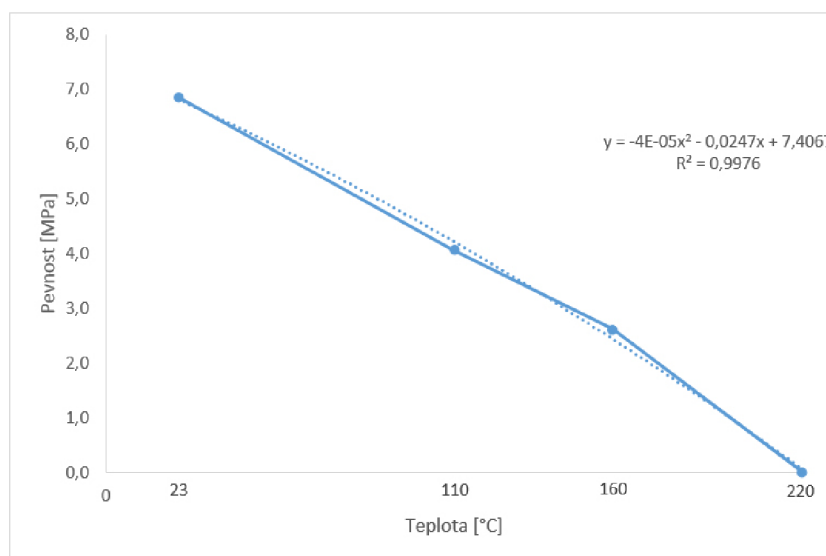


**Graf 3** – Závislost pevnosti spoje na zvýšené teplotě – MUF lepidlo

Z průměrných hodnot pevností vyplynulo, že graf nemá pouze sestupný trend. Při teplotě 110 °C došlo k nárůstu pevností, což přisuzuji vysušení dřeva. Zkoušky při 160 °C vykázaly razantní snížení pevností. Pro názornost je zde uvedena i průměrná hodnota pevnosti při 220 °C.

### RF lepidlo

Grafické znázornění průměrných hodnot pevností z tabulek 4, 8, 12 a 16 je uvedeno v Grafu 4, zobrazeném níže.

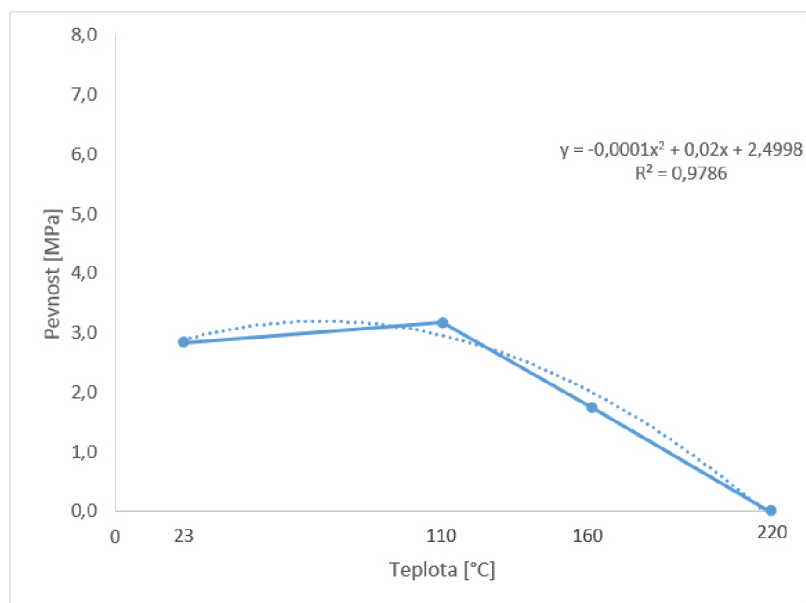


**Graf 4** – Závislost pevnosti spoje na zvýšené teplotě – RF lepidlo

Uvedený graf pro výsledky měření RF lepidla má sestupnou tendenci v celém rozsahu. Příčinou uvedeného snížení hodnot je ztráta mechanických vlastností spoje. Pevnost samotného dřeva v tomto případě nehraje zásadní roli.

### PUR lepidlo

Níže je v grafu 5 je znázorněna závislost pevnosti na zvýšené teplotě. Opět se jedná o průměrné hodnoty naměřených pevností uvedených v tabulkách 5, 9, 13 a 17, přičemž každá testovaná teplota by odzkoušena na pěti zkušebních vzorcích.

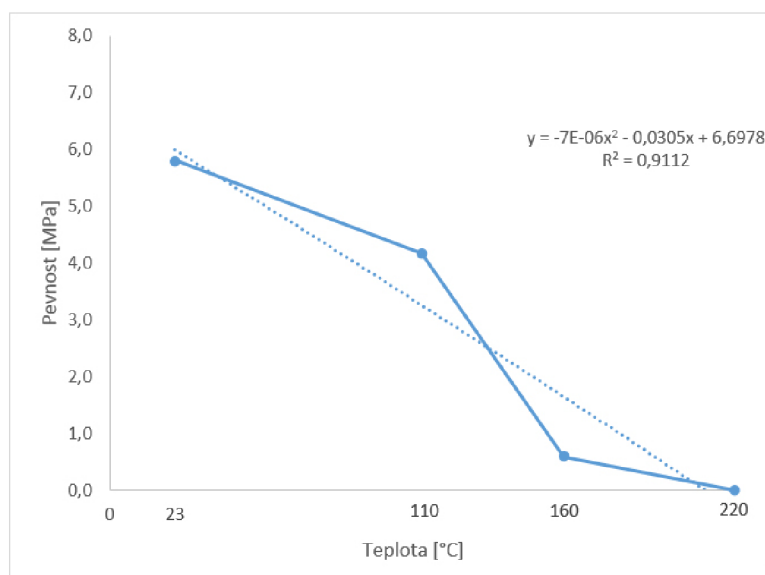


**Graf 5** - Závislost pevnosti spoje na zvýšené teplotě – PUR lepidlo

Uvedený graf má stejně jako v případě MUF lepidla zpočátku vzestupnou tendenci, následně od teploty 110 °C začaly pevnosti klesat.

### EP lepidlo

Posledním testovaným byly vzorky dřeva slepené EP lepidlem. Výsledky dosažených hodnot jsou znázorněny v grafu 6. Výchozí hodnoty jsou výčtem průměrných pevností z tabulek 6, 10, 14 a 18.



**Graf 6** - Závislost pevnosti spoje na zvýšené teplotě – EP lepidlo

Pevnosti lepidel mají sestupný charakter hodnot při narůstajících teplotách. Testované vzorky se při zvýšených teplotách přetrhly zpravidla v rovině lepené spáry. Graf pevností je proto jen minimálně zkrácený, co se týče spolupůsobení dřeva na výsledných pevnostech.

#### 13.4. Klasifikace testovaných lepidel

Klasifikace proběhla dle normy ISO 19212. V této normě je udaná teplota pro vyhodnocení 80 °C. V mé práci použiji testovanou teplotu 110 °C. Rozdíly pevností u těchto teplot budou minimální a pro zařazení do skupin nebudou mít zásadní vliv na výsledek.

**Tabulka 19** – Klasifikace lepidel na jejich teplotní závislosti dle ISO 19212:2006

Typ	Procentuální podíl pevností při zvýšené teplotě vztahované k referenční pevnosti při teplotě 23 °C [%]
1	100 - 80
2	79 - 60
3	59 - 40
4	39 - 0

**Tabulka 20** – Klasifikace konkrétních lepidel na jejich teplotní závislosti

Lepidlo	MUF	PRF	PUR	Epoxid
Pevnost při 23 °C [MPa]	7,0	6,8	2,8	5,8
Pevnost při 110 °C [MPa]	7,5	4,1	3,2	4,2
Poměr pevností [%]	107,1	60,3	114,3	72,4
Typ	1	2	1	2

Výsledky dosažených průměrných pevností při 23 °C a 110 °C jednotlivých lepidel byly rozhodující pro zařazení dle ISO 19212:2006. Při zkouškách dosahovaly nejlepší pevnostní stálosti při zvýšené teplotě vzorky MUF a PUR lepidel. Po přepočtu na procentuální ztrátu pevnosti vyšly tyto dvě lepidla na zařazení do lepidel typu 1. Lepidla RF a EP byly pro své pevnostní vlastnosti zařazeny do lepidel typu 2. Největšího pevnostního propadu dosáhlo RF lepidlo, už při 110 °C mělo jen 60,3 % své původní pevnosti. U MUF a PUR lepidel můžeme říci, že nebylo dosaženo snížení pevnosti, což předurčuje tyto lepidla vhodnými k lepení nosných dřevěných prvků.

### 13.5. Celkové shrnutí testovaných lepidel

Experimentálně bylo zjištěno, že MUF lepidlo dosáhlo nejvyšších pevností lepené spáry při 23 °C, tato hodnota byla 7,0 N/mm<sup>2</sup>. Při teplotě 110 °C dosáhlo dokonce ještě vyšších pevností a to 7,5 N/mm<sup>2</sup>. Tento výsledek přisuzují vysušení dřeva a tím zvýšení jeho pevnosti. Lepidlo bylo zařazeno do skupiny lepidel typu 1. Při teplotě 160 °C byly dosažené pevnosti nižší, v průměru 2,9 N/mm<sup>2</sup>. Ovšem ztráta pevnosti nebyla v rovině lepeného spoje, nýbrž došlo k oslabení struktury dřeva, což je zřetelné z kohezního poškození dřeva. Měření při 220 °C nebylo možné provést.

RF lepidlo mělo pevnost při 23 °C 6,8 N/mm<sup>2</sup>, což ho z hlediska pevností řadí na druhé místo. Naproti MUF lepidlu ale začalo ztrácet pevnost už při 110 °C, kdy průměrná pevnost dosáhla 4,1 N/mm<sup>2</sup>. tento jev byl i podpořen ztrátou hodnoty procentuálního poškození dřeva. Tohle tvrzení se také potvrdilo při zařazení do lepidel typu 2. Test při 160 °C vykázal výsledek 2,6 N/mm<sup>2</sup>. Pro zkoušku při 220 °C byly vzorky příliš poškozené pro zjištění pevností.

Vzorky slepené PUR lepidlem dosáhly relativně nízkých pevností, ale tyto výsledky jsou poněkud zkreslené, jelikož k poškození došlo v převážné většině vzorků ve dřevě. I zde, stejně jako u MUF lepidla, byla zjištěna skutečnost, že při teplotě 110 °C došlo ke zvýšení pevnosti spoje. Při 23 °C byla naměřená pevnost 2,8 N/mm<sup>2</sup> a při 110 °C 3,2 N/mm<sup>2</sup>. Při 160 °C už pevnost materiálu klesla na 1,7 N/mm<sup>2</sup>, ale lepidlo stále odolávalo teplotám. Ztráty pevností při změnách teplot odpovídaly pro zařazení do typu 1. Při zahřátí na 220 °C došlo ke vznícení lepidla a vzorky téměř celé shořely.

Posledním testovaným byl epoxid, který dosahoval při 23 °C relativně dobrých výsledků 5,8 N/mm<sup>2</sup>. V tomto případě ale nepodléhalo zkoušce dřevo ale samotné lepidlo, což je zřetelné v tabulce hodnot pro 23 °C. Při zvýšení teploty na 110 °C začalo lepidlo ztrácet pevnosti a k přetržení došlo zpravidla v rovině lepidla. Průměrná pevnost při této teplotě byla 4,2 N/mm<sup>2</sup>. Výsledky pevností vedly k zařazení do typu 2. Při 160 °C se dá říct, že lepidlo selhalo. Dosažená průměrná pevnost byla 0,6 N/mm<sup>2</sup> a k poškození došlo vždy v rovině lepidla. Teplota 220 °C bylo pro lepidlo teplotou, kdy došlo ke vznícení.



## 14. Závěr

Tato práce měla za cíl porovnat chování různých lepidel pro dřevěné lepené prvky smrku při jejich vystavení teplotám 23 °C, 110 °C, 160 °C a 220 °C při použití lepidel močovinoformaldehydového (MUF), resorcinformaldehydového (RF), polyuretanového (PUR) a epoxidového (EP).

Pokud srovnáme pevnosti lepených spojů smrkového dřeva jednotlivými lepidly při teplotě 23 °C, tak nejvyšších pevností bylo dosaženo v případě použití MUF lepidla. Naopak nejnižší hodnoty vykázaly spoje lepené PUR lepidlem. Nicméně u tohoto lepidla bylo dosaženo vysokého procenta kohezního poškození ve dřevě, což značí pevný spoj. Při 110 °C neztratilo na pevnosti MUF ani PUR lepidlo na rozdíl od RF a epoxidového (EP) lepidla, které začaly podléhat působící teplotě a jejich pevnosti lepených spojů se snížily. Při 160 °C byl u lepených vzorků epoxidovým lepidlem zjištěn nejvyšší pokles pevnosti o 89,6 % a pokles kohezního poškození o celých 100 %. U MUF lepidla bylo dosaženo při stejné teplotě 160 °C poklesu pevnosti o 58,6 % při poklesu kohezního poškození o 4,2%; u RF poklesu pevnosti o 61,8 % při poklesu kohezního poškození o 12,5 %; a pro PUR poklesu pevnosti o 39,3 % při 100% kohezním poškození ve dřevě. Z těchto výsledků lze usoudit, že této teplotě nejlépe odolávalo PUR lepidlo. Při expozici 220 °C nebyla zjištěna jakákoliv pevnost lepeného spoje pro žádné lepidlo.

Dle dílce ISO 19212:2006 lze dle výsledků zkoušek zatřídit lepidla PUR a MUF do typu 1 (lepidla s nejvyšší odolností proti vyšším teplotám), naopak lepidla RF a epoxidová byly zatříděny do typu 2. Z výsledků lze usuzovat, že zejména PUR lepidlo se jeví jako velmi vhodné pro lepení nosných dřevěných prvků, neboť vykazuje i nejvyšší stabilitu lepeného spoje při působení vyšších teplot.

## Zdroje a související literatura:

- [1] BRADÁČOVÁ, I. *Stavby a jejich požární bezpečnost*. Praha: ŠEL, spol. s r. o., 1999. ISBN 80-902697-2-9.
- [2] ČSN 73 0802 *Požární bezpečnost staveb – nevýrobní objekty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 122 s.
- [3] HENEK, V. *Webové stránky firmy Stamina*. Dostupné na <http://www.stamin.eu/blog-pozarni-bezpecnost-u-drevostaveb.htm>
- [4] WALD, F. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03157-8.
- [5] HRÁZSKÝ, J., KRÁL, P. *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007. ISBN 978-80-7375-034-3
- [6] BÖHM, M., REISNER, J., BOMBA, J. *Materiály na bázi dřeva*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2012. ISBN 978-80-213-2251-6.
- [7] KOLEKTIV AUTORŮ. *Dřevostavby*. Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola. Volyně, 2006. ISBN 80-86837-03-3.
- [8] *Webové stránky firmy Rigips*. Dostupné na <http://www.rigips.cz>
- [9] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*. : Český normalizační institut, Praha, 2003. 44 s. Třídící znak EN 13501 – 1.
- [10] doc. Dr. Ing. KRÁL, P. *Dýhy, překližky a lepené materiály*. Mendelova univerzita v Brně, 2011. 241 s. ISBN 978-80-7375-552-2.
- [11] E. LIPTÁKOVÁ, M. SEDLIAČIK. *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*. Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava, 1989. 520 s. ISBN 80-05-00116-9.
- [12] BOUBLÍK, V. *Lepidla a jejich příprava*. Redakce polytechnické literatury, 1966. ISBN 04-952-66.
- [13] KLIPPEL, M. *Fire safety of bonded structural timber elements*. Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich, 2014.
- [14] ČSN EN 302-1. *Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Metody zkoušení – Část 1: Stanovení podélné smykové pevnosti*. Český normalizační institut. 2013. 20 s.
- [15] ISO 19212. *Adhesives – Determination of temperature dependence of shear strength*. 2006. 7 s.
- [16] KOLEKTIV AUTORŮ. *Příručka lepení dřeva*. Praha, 1966. 286 s.
- [17] LYSÝ, F., JÍRŮ, P. *Nauka o dřevě*. Státní nakladatelství technické literatury, 1961. 638 s.