

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Požárně-technické vlastnosti a termická
odolnost dřeva v dřevostavbách**

Bakalářská práce

Autor: Daniel Dědič

Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Daniel Dědič

Dřevařství

Dřevařství

Název práce

Požárně-technické vlastnosti a termická odolnost dřeva v dřevostavbách

Název anglicky

Fire-technical properties and thermal resistance of wood in wooden buildings

Cíle práce

Cílem práce je stanovení požárně-technických vlastností dřeva, charakteristiku a metody stanovení, možnosti zvyšování těchto vlastností, vliv dřeva na bezpečnost dřevostaveb.

Metodika

V rámci řešení bude zpracována literární rešerše zaměřená na oblast požárně-technických vlastností dřeva, bude vybrána vhodná metoda charakterizující tyto vlastnosti. Součástí práce bude návrh vybraných opatření pro zvýšení požární odolnosti dřeva pro aplikace do stavebních konstrukcí.

Květen – červen 2020

- Literární rešerše požárně-technických vlastností dřeva

Červenec – září 2020

- Stanovení vhodné metody pro charakterizování požárně-technických vlastností dřeva

Říjen – prosinec 2020

- Realizace testů pro stanovení požárně-technických vlastností dřeva

Leden – únor 2021

- Vyhodnocení výsledků

- Závěr

Doporučený rozsah práce

50

Klíčová slova

Dřevo, požárně-technické vlastnosti, dřevostavby

Doporučené zdroje informací

- Atreya, A., Carpentier, C., Harkleroad, M. (1986). Effect of sample orientation on piloted ignition and flame spread. *Fire Safety Sciences* 1. pp. 97-109
- Čekovská, H., Gaff, M., Osvald, A., Kačík, F., Kubš, J., Kaplan, L. (2017). Fire Resistance of Thermally Modified Spruce Wood. *BioResources* 12(1). pp. 947-959
- Fengel, D., Wegener, G. (2003). *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Reactions, Verlag Kessel, Remagen. ISBN: 3-935638-39-6
- Hill, C. A. S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester. ISBN: 978-0-470-02172-9
- Mikkola, E. (1991). Charring of wood based materials. In: *Fire safety science—proceedings of the third international symposium*. Elsevier Applied Science, London, pp. 547-556
- Rowell, R. M. (2005). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC Press. ISBN 0-8493-1588-3
- Schmid, J., Just, A., Klippel, M., Fragiaco, M. (2014). The reduced cross-section method for evaluation of the fire resistance of timber members: discussion and determination of the zero-strength layer. *Fire Technology*. 51(6). pp. 1285-1309
- Tewarson, A. (1994). Flammability parameters of materials: Ignition, combustion, and fire propagation. *Journal of Fire Sciences* 12(4). pp. 329-356. DOI: 10.1177/073490419401200401
- Wiedenhoef, A. (2010). Structure and function of wood. In: *Wood handbook: wood as an engineering material*. Madison, WI. Forest products. pp. 3.1-3.18

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Jozef Mitterpach, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 06. 03. 2021

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Požárně-technické vlastnosti a termická odolnost dřeva v dřevostavbách** vypracoval samostatně pod vedením Ing. Přemysla Šedivky, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze

.....

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval prof. RNDr. Františku Kačíkovi, Ph.D. a Ing. Přemyslu Šedivkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a důvěru, bez čehož by tato práce nemohla vzniknout.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá požárně-technickými vlastnostmi dřeva, jeho termickou odolností a možnostmi zlepšení jeho požární ochrany v dřevostavbách. Konkrétně je popsána jeho termická degradace, zkušební metody stanovení jeho reakce na oheň a možnosti jeho požární ochrany. Dále je přiblížena problematika požární bezpečnosti dřevostaveb pro správný a bezpečný návrh dřevostaveb v souladu s platnými předpisy. V rámci této bakalářské práce bylo provedeno experimentální zkoušení retardéru hoření dřeva na bázi nanočástic oxidu titaničitého, který byl aplikován na zkušební vzorky a podroben zkoušce hmotnostního úbytku.

Klíčová slova: dřevo, požárně-technické vlastnosti, dřevostavby.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the fire-technical properties of wood, its thermal resistance and the possibilities of improving its fire protection in wooden buildings. It describes its thermal degradation, test methods for determining its reaction to fire and the possibility of its fire protection. The next part approaches the issue of fire safety of wooden buildings for the correct and safe design of wooden buildings in accordance with applicable regulations. In this bachelor's thesis, experimental testing of a wood flame retardant made of nanomaterial titanium dioxide was performed, which was applied to test specimens and subjected to a weight loss test.

Keywords: wood, fire-technical properties, wooden buildings.

OBSAH

1	Úvod	10
2	Cíle práce a metodika	11
TEORETICKÁ ČÁST		
3	Vlastnosti dřeva.....	12
3.1	Struktura dřeva	12
3.1.1	Makroskopická stavba dřeva	12
3.1.2	Chemické složení dřeva	14
3.2	Fyzikální vlastnosti dřeva.....	14
3.2.1	Vnější vlastnosti.....	15
3.2.2	Vnitřní vlastnosti.....	15
3.2.3	Reakce na fyzikální jevy	16
3.3	Mechanické vlastnosti dřeva	17
4	Termické vlastnosti dřeva	18
4.1	Etapy termické degradace dřeva.....	18
4.2	Hořlavost dřeva	19
4.3	Působení požáru na dřevo.....	20
5	Zkušební metody stanovení reakce na oheň.....	22
5.1	Zkouška malým zdrojem plamene.....	22
5.2	Stanovení chování při hoření užitím zdroje sálavého tepla.....	23
5.3	Výrobky vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu.....	24
6	Možnosti požární ochrany dřeva.....	26
6.1	Retardéry hoření	26
6.1.1	Přípravky na bázi anorganických solí.....	27
6.1.2	Zpěnitelné nátěrové hmoty	28
7	Typy a charakteristiky dřevostaveb.....	30
8	Požární bezpečnost dřevostaveb.....	37
8.1	Třídy reakce na oheň, konstrukční části a konstrukční systém	38
8.2	Požární odolnost	40
PRAKTICKÁ ČÁST		
9	Experimentální zkoušení retardéru hoření dřeva z nanočástic.....	42
9.1	Metodika měření.....	42
9.2	Příprava zkušebních těles	42
9.3	Použitý retardér hoření	43
9.4	Průběh zkoušky	43
9.5	Výsledky a vyhodnocení	44
10	Diskuze.....	49
11	Závěr	50
12	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	51

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Chemické složení dřeva.....	14
Tabulka 2. Objemová hmotnost dřeva.....	15
Tabulka 3. Třídy reakce na oheň.	38
Tabulka 4. Ztráta hmotnosti analyzovaných vzorků v časovém rozpětí 0 až 600 sekund. .	45
Tabulka 5. Procentuální úbytek hmotnosti v časovém rozpětí 0 až 600 sekund.	47

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Příčný, radiální, tangenciální řez kmene.....	12
Obrázek 2. Příčný řez kmene.....	13
Obrázek 3. Vysychání buněk dřeva.....	16
Obrázek 4. Trojúhelník hoření.....	19
Obrázek 5. Změna dřeva v průřezu konstrukčního prvku při požáru.....	21
Obrázek 6. Zkouška malým zdrojem plamene.....	22
Obrázek 7. Zkouška užitím zdroje sálavého tepla.....	24
Obrázek 8. Zkouška jednotlivým hořícím předmětem.....	25
Obrázek 9. Retardér hoření na bázi anorganických solí vakuově impregnovaný.....	27
Obrázek 10. Dřevo ošetřené intumescentním nátěrem (vlevo) a neošetřené dřevo (vpravo) při působení tepla.....	28
Obrázek 11. Dřevostavba z lehkého skeletu.....	31
Obrázek 12. Dřevostavba z těžkého skeletu.....	32
Obrázek 13. Dřevostavba z CLT panelů.....	33
Obrázek 14. Sendvičový panel.....	34
Obrázek 15. Roubená stavba.....	35
Obrázek 16. Srubová stavba.....	36
Obrázek 17. Zkušební tělísko.....	42
Obrázek 18. Průběh zkoušky hmotnostního úbytku.....	43
Obrázek 19. Termický rozpad testovaných zkušebních těles.....	44

1 ÚVOD

Dřevo se jako obnovitelný a přírodní materiál těší v posledních letech velké oblibě, a to jak ve stavebnictví, tak v každodenním použití ve formě materiálů na bázi dřeva. Jako každý materiál má i dřevo své výhody a nevýhody a vyznačuje se specifickými vlastnostmi. Z tohoto důvodu je potřeba věnovat pozornost jeho co nejbezpečnějšímu a nejefektivnějšímu použití.

Dřevo jako stavební materiál není materiálem nehořlavým, na rozdíl od jiných tradičních materiálů, což má velký vliv na veřejné mínění, které se mnohdy obává dřevostaveb ve vztahu k požáru. Je třeba si ale uvědomit, že dřevo při požáru neztrácí svou pevnost a tuhost ani zdaleka tak rychle jako například ocel. Co se týče zápalnosti dřeva, máme metody, které mohou zápalnost výrazně oddálit, a to vhodnými chemickými úpravami a konstrukčními řešeními.

Dřevostavby můžeme z konstrukčního hlediska rozdělit do několika typů, přičemž se od sebe mohou velmi lišit. Obecně ale platí, že dřevostavby jsou ekologické, mají vysokou rychlost výstavby, dobré tepelně izolační vlastnosti a jsou cenově dostupné. Naopak nevýhodou je v případě špatného provedení možnost napadení dřeva dřevokazným hmyzem, plísněmi a houbami, z čehož plynou vysoké nároky na kvalitní zhotovení stavby, vhodná pravidelná údržba, a další nevýhodou je již i zmíněná hořlavost dřeva.

Při navrhování dřevostaveb se s ohledem na požární bezpečnost musíme řídit souborem předpisů, díky kterým můžeme při požáru umožnit bezpečnou evakuaci osob, bránit šíření požáru mezi jednotlivými požárními úseky objektu, bránit šíření požáru mimo objekt, a umožnit účinný zásah hasičských jednotek při hašení a záchranných pracích. Tyto předpisy musíme zohlednit na konkrétní konstrukční typ dřevostavby.

2 CÍLE PRÁCE A METODIKA

Cílem bakalářské práce je přiblížit problematiku požárně-technických vlastností dřeva, jeho termickou odolnost a stupně jeho termické degradace. Dále u použití dřeva v dřevostavbách zohlednit nařízená omezení při jeho použití a platné předpisy u návrhu dřevostaveb. Dílčím cílem práce je experimentálně ověřit účinnost retardéru hoření na bázi nanočástic oxidu titaničitého a vyhodnotit jeho využití pro tento účel.

Pro zpracování literární rešerše budou použity zdroje odborné literatury a elektronické zdroje týkající se daného tématu. V první části práce bude věnována pozornost samotnému dřevu a to zejména jeho fyzikálním vlastnostem a chemickému složení. Následně bude podrobně popsána termická degradace dřeva, jeho hořlavost a chování při zvýšených teplotách způsobených požárem. Dále budou popsány základní zkušební metody stanovení reakce na oheň a možnosti požární ochrany dřeva. Ke konci práce budou pro pochopení problematiky analyzovány typy konstrukcí dřevostaveb a základní systémy požární bezpečnosti dřevostaveb.

3 VLASTNOSTI DŘEVA

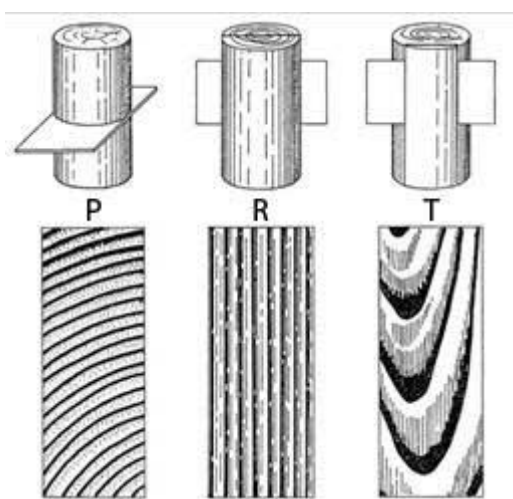
Seznámení se základními vlastnostmi dřeva je zásadní jak pro účel jeho použití, tak pro pochopení všech dějů, které v souvislosti s užíváním dřevěných výrobků mohou nastat.

3.1 STRUKTURA DŘEVA

Dřevo je přírodní obnovitelný materiál, který je výsledkem činnosti dělicího pletiva (kambia). Z hlediska struktury dřeva rozlišujeme makroskopické znaky, mikroskopické znaky a submikroskopické znaky.

3.1.1 MAKROSKOPICKÁ STAVBA DŘEVA

Makroskopické znaky jsou takové, které můžeme vidět pouhým okem. Každá dřevina má své typické znaky což nám umožňuje poznat druh dřeviny. Většina znaků dřeva se projevuje rozdílně na řezech, které mají různou polohu od podélné osy kmene (obr. 1). Rozeznáváme tři základní řezy osou kmene a to transversální (příčný), radiální a tangenciální. (Požgaj, 1997)



Obrázek 1 Příčný, radiální, tangenciální řez kmene. Zdroj: Balabán, 1995

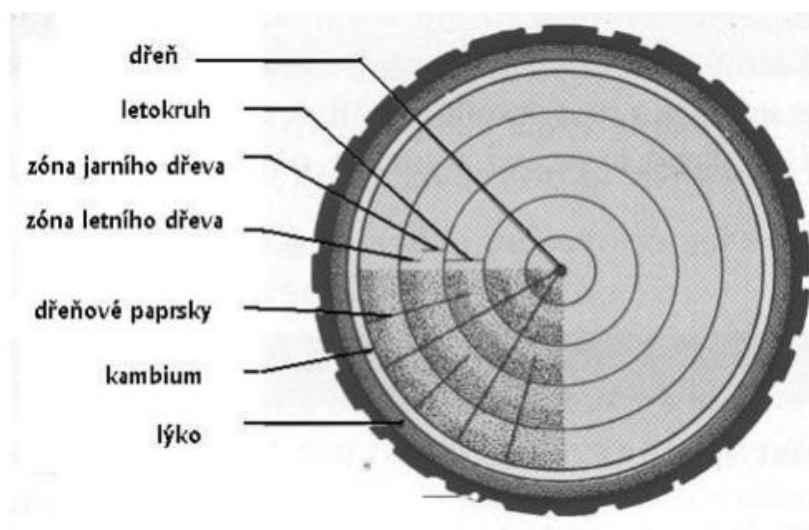
Letokruhy jsou hloubkové přírůstky dřeva za jeden rok, vytvořené ve vegetačním období. Obvykle lze podle letokruhů určit věk stromu ale může se stát že při dlouhodobém suchu se může vytvořit více než jeden letokruh, který však nemá ostře viditelné hranice. Vnitřní část letokruhu se nazývá jarní dřevo, které je obvykle měkčí a vnější letní dřevo je tvrdší a má podstatně větší hustotu. (Miller, 1999)

Běl a jádro jsou další znaky, které jsou makroskopicky pozorovatelné. Dřeviny dělíme na zpravidla na tři skupiny a to bělové, zralé a jádrové. Bělové dřeviny se vyznačují jednobarevným odstínem po celém průřezu kmene a nevýrazným rozdílem vlhkosti, mezi středovou a obvodovou částí kmene. Zralé dřeviny mají naopak čerstvě po vytěžení výrazný rozdíl ve vlhkosti obvodové a středové části kmene. Obvodová část má podstatně větší vlhkost než středová zóna – zralé dřevo, což se projevuje tmavším pásem dřeva – běl. Jádrové dřeviny mají ve středové části kmene výrazně tmavší barvu – jádro, které v případě středoevropských dřevin již neobsahuje živé buňky a má hlavně mechanickou funkci. Zbylá obvodová zóna – běl vede vodu s rozpuštěnými minerálními látkami a zároveň je uskládá.

Dřeňové paprsky jsou sestavy parenchymatických buněk s orientací kolmo na osu kmene, které zajišťují horizontální pohyb organických látek. Dřeňové paprsky mají všechny dřeviny, ale u některých nejsou viditelné pouhým okem (jehličnaté dřeviny, topol) anebo jsou pozorovatelné pouze na radiálním řezu (většina listnatých dřevin).

Pryskyřičné kanálky se vyskytují pouze u některých jehličnatých dřevin, z našich domácích například smrk, borovice, modřín. Rozeznáváme dva typy pryskyřičných kanálků, a to horizontální a vertikální ale pouze vertikální lze pozorovat pouhým okem. Funkce těchto kanálků je ochranná (při poranění) a impregnační (odolnost proti houbám).

Cévy, ať už lehce pozorovatelné u kruhovitě pórovitých nebo pouhým okem těžko viditelné u roztroušeně pórovitých dřevin se starají o přesun vody od kořenů do koruny listnatých stromů. (Požgaj, 1997)



Obrázek 2. Příčný řez kmene. Zdroj: Pecina a další, 2006

3.1.2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ DŘEVA

Prakticky všechny vysušené dřeviny mají téměř stejné elementární chemické složení a to přibližně 50 % uhlíku, 44 % kyslíku, 6 % vodíku. Kromě zmíněných organických látek dřevo obsahuje ještě minerální látky, které jsou při spalování odpovědné za vznik popela, tvořící přibližně 1,2-0,2 % podílu dřeva.

Tabulka 1. Chemické složení dřeva. Zdroj: Dědič, 2020

DŘEVO				
Hlavní složky		Doprovodné složky		
Sacharidická část		Aromatická část	Organické	Anorganické
Holocelulóza		Lignin	Polymery	Monomery
Celulóza	Hemicelulózy			

Chemické složky dřeva už nemají tak totožné zastoupení u všech druhů dřevin. Obecně platí, že listnaté druhy (tvrdá dřeva) mají menší obsah celulózy, hemicelulózy a ligninu naopak jehličnaté druhy (měkké dřevo) mají vyšší obsah těchto látek.

Celulóza tvoří v průměru 40–50 % hmotnosti jehličnatého a listnatého dřeva. Představuje základní strukturální prvek buněčných stěn dřeva (vytváří tedy jakousi kostru zdřevnatělých buněk). Většina celulózy ve dřevě je krystalická, okolo 65 % a zbylá část je amorfni. Krystalická oblast celulózy je odpovědná za chemickou odolnost, lámavost, tažnost, zatímco amorfni oblast za průběh chemických reakcí.

Hemicelulózy mají oproti celulóze menší relativní molekulovou hmotnost a kratší řetězce. Obvykle jsou v zásadě snadno rozpustné a lehce se hydrolyzují kyselinami. Hemicelulózy mají velký vliv na fyzikální a chemické vlastnosti dřeva projevující se například při sušení nebo lisování dřeva. Obsah hemicelulóz ve dřevinách se pohybuje od 20 do 35 % o něco větší zastoupení má v listnatých dřevinách a to 23 až 35 %.

Lignin dodává dřevu pevnost, a to tím že spojuje vlákna (mezibuněčné vrstvy), a působí, jako zpevňující prvek celulózových molekul v rámci buněčných stěn. Tvoří 20-30 % hmotnosti dřeva a jeho obsah je větší v jehličnatých dřevinách než v listnatých. (Rowell, 2005)

3.2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI DŘEVA

Dřevo je materiál, který má z hlediska fyzikálních vlastností několik charakteristik. Je to materiál anizotropní, takže má vlastnosti závislé na směru vláken, dále je pórovitý, hygroskopický což znamená, že mění svoji vlhkost podle okolních podmínek, a také

nehomogenní. Pro přesné určení jeho fyzikálních vlastností je nutné s výše uvedeným počítat. (Barnett, Jeronimidis, 2003)

3.2.1 VNĚJŠÍ VLASTNOSTI

Barva dřeva je důležitá pro jeho výsledné estetické vlastnosti a dále se z ní dají určit vady dřeva. Zásadní vliv na barvu dřeva mají jeho chemické složky, nikoliv však svým procentuálním zastoupením ale výrazností. Na určování barvy dřeva se používá objektivní metoda trichromatické soustavy, která spočívá ve skutečnosti, že mícháním tří základních světél můžeme vyvolat vněm jakékoliv barvy. Díky tomu jakoukoliv spektrální barvu jsme schopni rozložit na základní barevné složky x, y, z.

Textura dřeva je závislá na řezu a na druhu dřeviny, přičemž jí vytváří kombinace makroskopických znaků charakteristických pro danou dřevinu. Klíčové faktory ovlivňující texturu jsou letokruhy, dřevné paprsky, barevnost jádra a běli, suky apod. (Barnett, Jeronimidis, 2003)

3.2.2 VNITŘNÍ VLASTNOSTI

Hustota má zásadní vliv na pevnost a tuhost dřeva je tedy jednou z hlavních technických vlastností dřeva. Hustotu nejčastěji vyjadřujeme v kg/m^3 nebo v g/cm^3 a její hodnoty jsou mezi jednotlivými dřevinami velmi variabilní – tab. 2. Pomocí hustoty můžeme určit vhodnost dřevin pro různé účely konečného použití. (Barnett, Jeronimidis, 2003)

Tabulka 2. Objemová hmotnost dřeva. Zdroj: Dědič, 2021

Dřeviny	Objemová hmotnost sušiny	Příklady dřevin
Velmi lehké	do 400 kg.m^3	vejmutovka, topol
Lehké	$400 - 500 \text{ kg.m}^3$	jedle, smrk, borovice
Mírně těžké	$500 - 600 \text{ kg.m}^3$	vrba, modřín, javor
Středně těžké	$600 - 700 \text{ kg.m}^3$	bříza, jasan, dub, buk
Těžké	$700 - 1000 \text{ kg.m}^3$	akát, habr

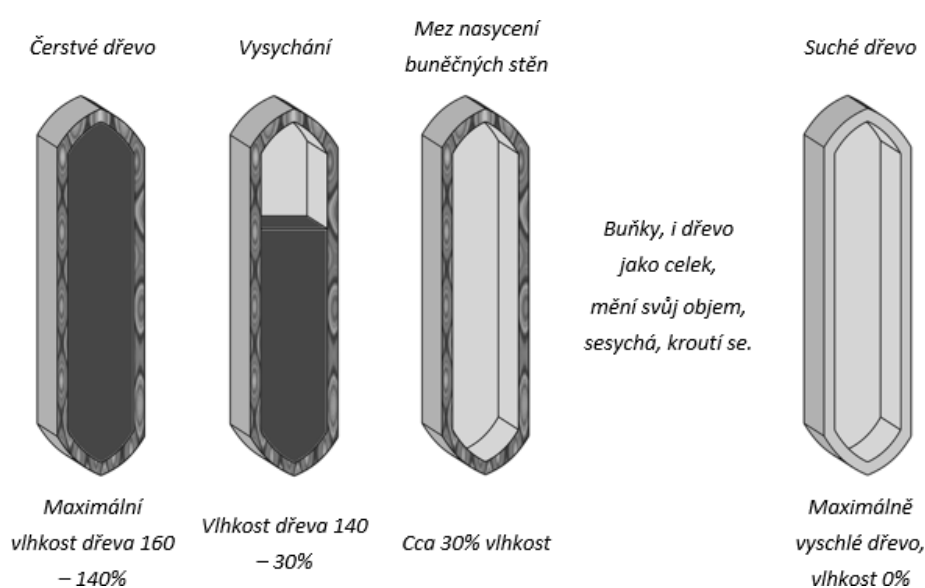
Vedle hustoty, což je hmotnost jednotkového objemu dřeva při určité vlhkosti se můžeme setkat s pojmem hustota dřevní substance. Dřevní substancí se rozumí hmota

buněčných stěn bez pórů. Tato hustota je téměř stejná u všech dřevin a mění se jen podle chemického složení dřeva. (Požgaj, 1997)

3.2.3 REAKCE NA FYZIKÁLNÍ JEVY

Vlhkost dřeva rozeznáváme absolutní a relativní a nejčastěji ji označujeme v %. Absolutní vlhkost je poměr hmotnosti vody k hmotnosti absolutně suchého dřeva a relativní vlhkost je poměr hmotnosti vody k hmotnosti mokrého dřeva.

Vodu ve dřevě můžeme obecně rozdělit na volnou a vázanou. Volná voda vyplňuje v dřevě lumény a mezibuněčné prostory a její množství se mění na základě okolní vlhkosti. Vázaná voda je uložena v buněčných stěnách a je vázána vodíkovými vazbami. (obr. 3)



Obrázek 3. Vysychání buněk dřeva. Zdroj: Heřmánková a další, 2018

Přenos tepla ve dřevě může nastat všemi třemi základními přenosy tedy vedením, prouděním a zářením. Zásadní je přenos tepla vedením zbylé dva způsoby přenosu mají pouze malý podíl. Přenos tepla ve dřevě je zásadní z hlediska tepelně izolačních vlastností, hydrotermické a chemické úpravy dřeva apod. Důležitou veličinou udávající schopnost vést teplo je koeficient tepelné vodivosti λ [W.m-1K-1], který vyjadřuje množství tepla protékající jednotkovou plochou za jednotku času při jednotkovém gradientu teploty. Je důležité počítat s anizotropním charakterem dřeva, neboť dřevo kolmo na vlákna vede teplo hůře než ve směru rovnoběžně s vlákny. (Zejda a kol., 2007)

3.3 MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

Základní mechanické vlastnosti dřeva znázorňují jeho pružnost a pevnost a odvíjejí se od mnoha faktorů. Jsou to faktory zatížení, tedy doba a charakter zatížení, dále vlastnosti samotného dřeva, u nichž je podstatná jeho vlhkost, objemová hmotnost a případné vady dřeva.

Mechanické vlastnosti dřeva mají anizotropní charakter, který je určen orientací a uspořádáním molekul stavebních látek ve dřevě. Největší rozdíl mechanických vlastností je patrný zejména ve směru rovnoběžném s vlákny a kolmém na vlákna.

Při samotném mechanickém namáhání dochází k vzájemnému působení mezi mechanickými silami a dřevem. Dřevo při mechanickém namáhání reaguje na základě anatomické stavby, vazeb mezi chemickými složkami dřeva a geometrii tělesa.

Mechanické namáhání má několik základních druhů, které lze dělit podle druhu napětí. Toto napětí představuje míru vnitřních sil vznikajících jako následek působení vnějších mechanických sil. Normálové napětí vzniká, jestliže na průřezovou plochu tělesa působí síly kolmo. Takovýto případ nastává v případě tahu a tlaku. Tangenciální nebo také smykové napětí vzniká u působení sil v rovině průřezu a má za následek napětí ve smyku. V případě že působí jak normálové, tak tangenciální napětí vzniká ohyb. (Zejska a kol., 2007)

4 TERMICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

Dřevo je hořlavý a tepelně odbouratelný materiál. I při mírné tepelné degradaci se mění jeho strukturální vlastnosti, což může mít na mnoho aplikací závažný vliv. Jeho termické vlastnosti však můžeme různými způsoby zlepšit ať už zhoršením jeho zápalnosti, hořlavosti nebo zpomalením rychlosti šíření plamene po povrchu dřeva. Jestliže se tepelný rozklad uskutečňuje za nepřítomnosti kyslíku, tedy bez plamene nazýváme proces pyrolýza. (Reinprecht, 1998)

4.1 ETAPY TERMICKÉ DEGRADACE DŘEVA

Při dlouhodobém vystavení dřeva teplotě od $+80^{\circ}\text{C}$ do $+120^{\circ}\text{C}$ se ze dřeva uvolňuje volná i vázaná voda čímž se vysušuje. To má za následek zvětšení vnitřního povrchu dřeva a v kontaktu se vzduchem se stává snadněji zapalitelné. Dalším jevem je tvorba trhlin, mírné ztmavnutí dřeva a u jehličnatých dřevin uvolňování pryskyřice. Mechanické vlastnosti se při těchto teplotách mění jen zanedbatelně a nenastává ani výrazný úbytek hmotnosti.

První stupeň termické degradace dřeva vzniká při teplotách od $+150^{\circ}\text{C}$ do $+200^{\circ}\text{C}$, přičemž dochází k dehydrataci polysacharidů – celulózy a hemicelulóz. V rozmezí těchto teplot ještě nedochází k významnému uvolňování hořlavých plynů, ale už se pozorovatelně snižují mechanické vlastnosti a dřevo se zbarvuje do hnědých odstínů.

Druhý stupeň termické degradace nastává při vystavení dřeva teplotám nad $+220^{\circ}\text{C}$ a má za následek pyrolýzu polysacharidů z ligninu – depolymerizaci. Při těchto teplotách se již uvolňují plynné produkty jako metan, vodík, oxid uhelnatý a další nízkomolekulární látky. Jestliže tyto látky reagují se vzdušným kyslíkem, může nastat hoření (prudký vývoj tepla a světelných efektů). Samotné hoření dřeva je tedy hoření uvolňovaných plynů ze dřeva. V tomto stupni termické degradace dřeva již také nastává významný pokles mechanických vlastností.

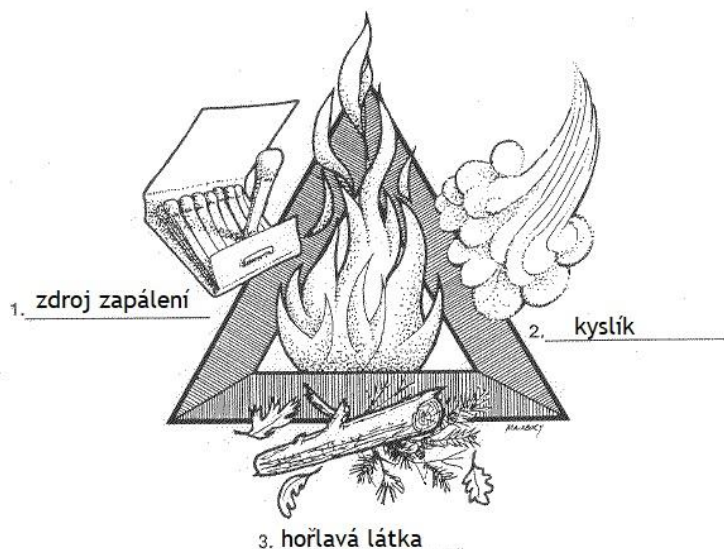
Poté, co je dřevo vystaveno termické degradaci vzniká dřevěné uhlí, které potřebuje teplotu přibližně nad $+350^{\circ}\text{C}$ k tomu, aby za přítomnosti kyslíku žhnulo (hořelo bezplamenně). Tímto procesem se uvolňuje další energie potřebná k pyrolýze vnitřních vrstev dřeva. Nakonec zbydou pouze anorganické složky – dřevěný popel. (Reinprecht, 1998)

4.2 HOŘLAVOST DŘEVA

Samotné hoření je fyzikálně chemickou reakcí, kdy spolu reaguje hořlavá látka a oxidační prostředek. Tato reakce má za následek vyřazování velkého množství tepla a světla ovšem aby k hoření vůbec došlo, musí být k dispozici 3 základní činitelé (obr. 4):

- hořlavá látka – dřevo, jiný hořlavý materiál,
- oxidační prostředek – vzdušný kyslík,
- zdroj zapálení – plamen, jiný tepelný zdroj.

Tyto činitelé musí být dále v dostatečném množství. Aby dřevo hořelo, je zapotřebí dostatečný přístup kyslíku a dostatečně silný zdroj tepla. Jestliže jeden z těchto činitelů není k dispozici nebo v dostatečném množství k hoření nedojde. Toho využíváme při zlepšování požárních vlastnostech dřeva.



Obrázek 4. Trojúhelník hoření. Zdroj: Dědič 2021

Při vystavení požáru nám chování a vlastnosti dřeva udávají požárně technické charakteristiky, jako jsou teplota vzplanutí, teplota vznícení, výhřevnost, rychlost odhořívání, rychlost uvolňování tepla. Pochopení těchto charakteristik je pro požární problematiku dřevěných konstrukcí zásadní.

Teplota vzplanutí dřeva je nejnižší teplota, při které dřevo za normálního tlaku vyvine dostatečné množství hořlavých plynů na to, aby při smísení se vzduchem vzplálo po přiblížení definovaného plamene. Zapálení dřeva není možné pod teplotou vzplanutí,

protože nedochází k uvolnění dostatečného množství hořlavých plynů, aby se vytvořila zápalná směs se vzduchem.

Teplotou vznícení dřeva se rozumí nejnižší teplota, které je dřevo vystaveno, při níž dojde k vznícení směsi uvolněných plynů se vzduchem. Vznícení se tedy vyvolá pouze teplotou, bez zdroje plamene nebo jiskry.

Výhřevnost dřeva udáváme v jednotkách MJ/kg a udává nám množství tepla uvolňujícím se dokonalým spálením jednoho kilogramu dřeva. Čím je výhřevnost dřeva vyšší, tím více vody potřebujeme na jeho uhašení. (Pecl, 1999)

Rychlost odhořívání je specifická pro každou látku. Můžeme jí uvádět hmotnostním úbytkem ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$) nebo lineárním úbytkem (mm/s). Kdy hmotnostní úbytek vyjadřuje úbytek hmoty z m^2 za určitý čas a lineární úbytek vyjadřuje vzdálenost odhoření za určitý čas.

Rychlost uvolňování tepla je v poslední době jednou z klíčových požárně technických charakteristik. Uvádí množství uvolněného tepla za čas v průběhu rozvoje požáru (J/s) neboli (W). Čím je hodnota rychlosti uvolňování tepla vyšší, tím kratší je doba, po kterou je pobyt člověka v zasaženém prostoru bezpečná. (Najmanová, Hejtmánek, Ševčík, 2005)

4.3 PŮSOBENÍ POŽÁRU NA DŘEVO

Pokud je dřevo vystaveno požáru, jeho chování se značně odvíjí od stádia, ve kterém se požár nachází. Rozlišujeme proto 2 fáze požáru:

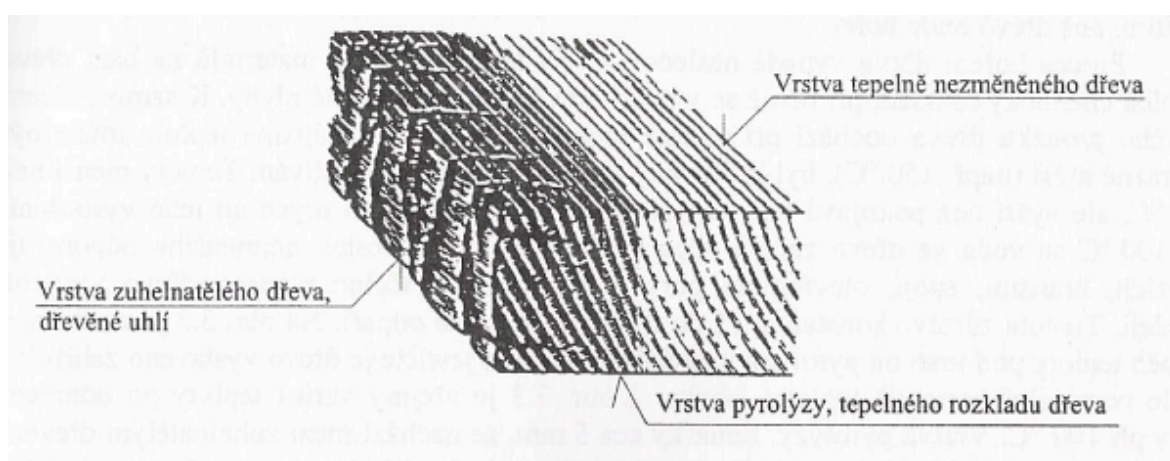
- vznikající požár,
- plně rozvinutý požár.

U vznikajícího požáru jsou zásadní výše zmíněné požárně technické charakteristiky jako hořlavost, teplota vzplanutí apod. Pokud je požáru vystaveno rostlé dřevo, jeho zapálení je značně obtížnější než u vyschlého dřeva. V případě že je vystaveno po krátký, až středně dlouhý časový úsek zdroji zapálení, musí se jeho povrchová teplota po určité době udržet nad 300°C . Pro samovznícení rostlého dřeva je potřeba povrchová teplota dokonce nad 400°C . Pokud však teplota působí v delším časovém úseku, tyto teploty se výrazně zmenší.

Plně rozvinutý požár znamená, že všechny hořlavé povrchy již vzplály a hoří. Při této druhé fázi jsou kladeny požadavky zejména na udržení mechanických vlastností

a nešíření požáru mimo oblast jeho vzniku. To jak konstrukční prvek dovede reagovat na působení plného požáru, značí jeho požární odolnost.

Pokud je dřevo vystaveno účinkům plně rozvinutého požáru a jeho povrch se zapálí, nastává nejdříve silné hoření. Za poměrně krátkou dobu se však vytvoří zuhelnatělá vrstva, která se svými dobrými tepelně izolačními vlastnostmi chrání spodní části dřeva. Pod touto zuhelnatělou vrstvou se při delším působení požáru vyskytuje zhruba 30 [mm] silná část dřeva se zvýšenou teplotou, ve které se nachází vrstva pyrolýzy, která začíná při působení teploty nad 200° C a má tloušťku zhruba 5 mm (obr. 5). V této vrstvě se již odehrávají chemické změny, dřevo v ní však ještě není úplně rozloženo. Pod vrstvou pyrolýzy, dochází nejprve k vysoušení dřeva, načež se voda začíná odpařovat a uniká ze dřeva cestou nejmenšího odporu, tedy trhlinami, čely, hranami apod. Poté co se všechna voda odpaří, dochází k prudkému nárůstu teploty a k uvolňování plynů CO₂ a CO při rozmezí teplot 150° C až 200° C. Při zvýšení teploty pyrolýzy nad 270° C dochází k tvorbě směsi snadno zápalných uhlovodíků a tím pádem k dalšímu prudkému navýšení teploty. S tím, jak se teplota zvyšuje, vytváří se stále více hořlavých plynů, jejichž maximum se tvoří při teplotách 400° C až 420° C. Pokud teplota překročí 500° C uvolňování plynů, se začne snižovat.



Obrázek 5. Změna dřeva v průřezu konstrukčního prvku při požáru. Zdroj: Dufková, 2011

Jak již bylo zmíněno, hořlavost je významně ovlivněna vlhkostí, ale také na celkovém tvaru povrchu. Čím je povrch hladší, bez výstupků a hran, tím horší je jeho hořlavost, neboť hořlavost dřeva závisí na velikosti povrchu dřeva k jeho objemu. V neposlední řadě má svůj vliv také hustota dřeva, přičemž čím je hustota větší, tím je dřevo hůře zapalitelné. (Reichel, 1968)

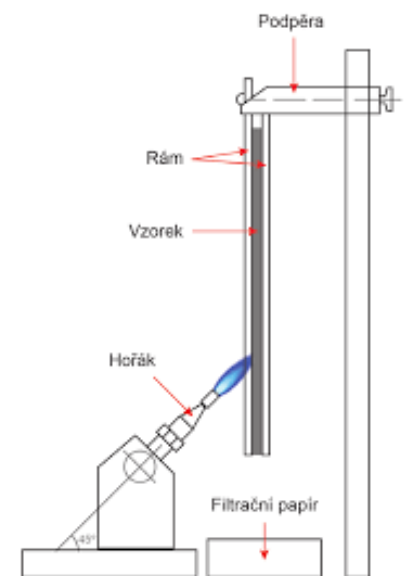
5 ZKUŠEBNÍ METODY STANOVENÍ REAKCE NA OHEŇ

Tyto zkoušky provádíme za účelem porovnání materiálů mezi sebou a určení požadavků na jejich konkrétní použití. Jsou tedy stěžejní pro rozdělení materiálu podle hořlavosti. Stupeň hořlavosti materiálů určovala dříve platná norma ČSN 73 0862, která rozdělovala materiály do stupňů: A, B, C1, C2, C3. V současné době ale již platí evropská norma třída reakce na oheň (ČSN 13501-1+A1). Tato norma rozděluje materiály na třídy: A1, A2, B, C, D, E, F. Kdy třídy A1 a A2 znázorňují materiály, které nepřispívají k šíření plamene ani k rozvoji požáru a do ostatních tříd zařazujeme hořlavé materiály. Zkoušky, kterým je materiál vystaven tedy určují jeho zařazení do příslušné třídy reakce na oheň. Dřevo jakožto hořlavý materiál je tedy zbytečné podrobovat zkouškám pro třídy A1, A2. (sychta.eu, 2018), (Najmanová, Hejtmánek, Ševčík, 2005)

5.1 ZKOUŠKA MALÝM ZDROJEM PLAMENE

Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene (ČSN EN ISO 11925-2)

Tato zkouška se provádí ve ventilační komoře, kde je vzorek umístěn ve svislé poloze, přičemž na něj působí 20 mm vysoký plamen z plynového hořáku (obr. 6)



Obrázek 6. Zkouška malým zdrojem plamene. Zdroj: JSP Industrial Controls. APRO. 2021

Zkouška se provádí s dobou expozice plamene: 15 s, 30 s nebo 60 s, načež se hořák přesune.

Vzorek může být vystaven plamenu dvěma způsoby, a to jeho povrchem nebo hranou.

U zkoušky určujeme následující:

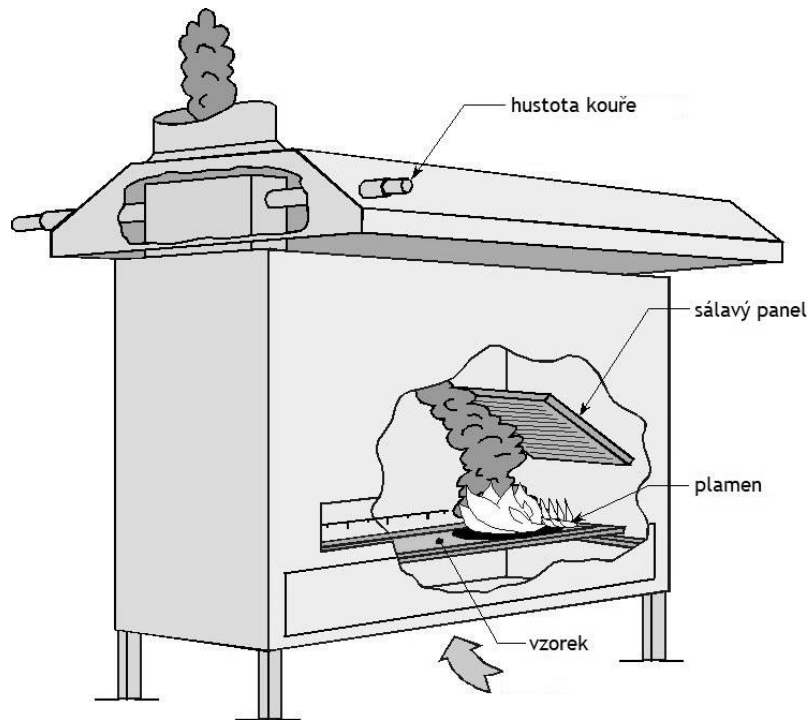
- zda se vzorek zapálí,
- zda hrot plamene dosáhne 150 mm nad bodem aplikace plamene a čas kdy k tomu dojde,
- výskyt hořících kapiček (kusy které způsobí vznícení filtračního papíru),
- fyzické chování zkušební vzorku.

Testovací vzorek má standartní velikost 250x90mm a tloušťku 60mm. U každé podmínky expozice musí být testováno minimálně 6 reprezentativních vzorků. Polovina vzorků se rozřízne podélně a polovina příčně. (sychta.eu, 2018)

5.2 STANOVENÍ CHOVÁNÍ PŘI HOŘENÍ UŽITÍM ZDROJE SÁLAVÉHO TEPLA

Zkoušení reakce podlahových krytin na oheň – Část 1: Stanovení chování při hoření užitím zdroje sálavého tepla (ČSN EN ISO 9239-1)

Zkouška spočívá v podrobení testovaného vzorku umístěného vodorovně na nehořlavou základovou desku působení vnějšího tepelného toku o určených rozměňňovacích hustotách podél vzorku a plamenu iniciujícím spalování (obr. 7). Plamen se šíří podél vzorku ve směru snižování hustoty tepelného toku, dokud spontánně nezhasne.



Obrázek 7. Zkouška užitím zdroje sálavého tepla. Zdroj: Hertzberg, 2007

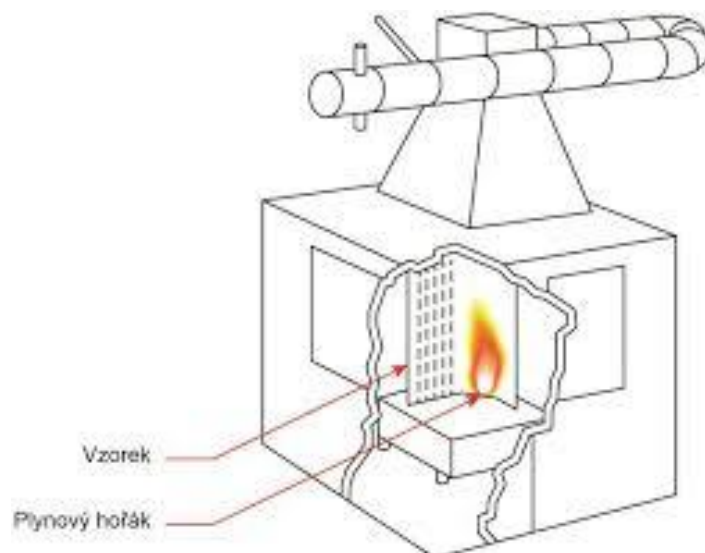
Při zkoušce měříme kritický tepelný tok při hašení (CHF) což je nejmenší hodnota tepelného toku povrchu zkušebního vzorku, při které plamen spontánně zhasne. Dále se měří množství kouře, který projde přes výfukové potrubí zkušebního zařízení.

Základně se testují tři vzorky o rozměrech 230x5 mm x 1050x5 mm. Tloušťka vzorků s podstavou by neměla přesáhnout 60 mm. Zkušební vzorky by měli představovat skutečné uspořádání podlahové krytiny, včetně způsobu upevnění a základny. (sychta.eu, 2018)

5.3 VÝROBKY VYSTAVENÉ TEPELNÉMU ÚČINKU JEDNOTLIVÉHO HOŘÍCÍHO PŘEDMĚTU

Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň – stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu (ČSN EN 13823:2003).

Tato zkušební metoda určuje potencionální dopad jednoho hořícího předmětu např. odpadkového koše v rohu místnosti na vznik požáru (obr. 8). Zdrojem požáru je plynový hořák.



Obrázek 8. Zkouška jednotlivým hořícím předmětem. Zdroj: JSP Industrial Controls. ARPRO, 2021

Testovány jsou společně dva vzorky tvořící roh označované:

- Krátký vzorek 495 ± 5 mm 1500 ± 5 mm
- Dlouhý vzorek 1000 ± 5 mm 1500 ± 5 mm
- Maximální tloušťka vzorků je 200 mm.

Vzorek je zkoušce vystaven po dobu 20 minut, během kterých se měří výroba tepla, produkce kouře, horizontální šíření plamene, padající plamenné kapičky a částice. Na základě těchto naměřených hodnot se určí hodnoty klasifikačních parametrů:

- indikátor rychlosti požáru,
- teplo indikované vzorkem,
- celkové teplo uvolněné ze vzorku během prvních 600 sekund vystavení plamenům hořáku,
- celková míra produkce kouře,
- úplná emise kouře ze vzorku během prvních 600 sekund vystavení plamenům hořáku
- indikátor kouře,
- šíření plamene podél dlouhého křídla zkušební vzorku. (sychta.eu, 2018)

6 MOŽNOSTI POŽÁRNÍ OCHRANY DŘEVA

Existuje celá řada prostředků pro zvýšení požární ochrany dřevěných prvků. Mezi nejjednodušší požární ochranu dřeva patří protipožární obklady (nejčastěji sádkartonové a sádrovláknité desky), které však překrývají povrch dřeva, a tudíž nejsou vždy z estetických či jiných důvodů vhodné. Lze s nimi však dosáhnout nejlepších výsledků požární ochrany dřeva. Kromě protipožárních obkladů existují látky souhrnně se nazývající retardéry hoření, které jsou schopny zachovat přirozený vzhled dřeva a mohou být výhodné z ekonomických důvodů či z jednoduchosti a rychlosti aplikace. (Bukovský a kol. 2002)

6.1 RETARDÉRY HOŘENÍ

Požární odolnost dřeva lze významně zlepšit retardéry hoření. Tyto látky snižují hořlavost dřeva, zpomalují jeho vznětlivost, šíření plamene na povrchu dřeva a rychlost hoření. Těchto výsledků dosahují pomocí fyzikálních nebo chemických reakcí.

Fyzikální účinky retardérů hoření spočívají především v omezování přenosových jevů, jako jsou:

- omezení přenosu hmoty,
- omezení přenosu tepla,
- ředění hořlavých plynů.

Omezení přenosu hmoty se docílí za pomoci látek, které na povrchu dřeva vytvoří obtížně propustnou vrstvu, čímž omezí přenos kyslíku do dřeva a hořlavých plynů ze dřeva ven.

Omezení přenosu tepla od působení termického zdroje spočívá v obalení vnějšího povrchu dřeva tepelně-izolačními vrstvami, a to buď intumescentními nebo zuhelnatělými.

Ředění hořlavých plynů spočívá v uvolňování nehořlavých plynů z retardéru hoření v okamžiku, kdy dochází k termickému rozkladu dřeva, čímž se se hořlavé plyny z něho uvolňované zředí na menší úroveň.

Chemické účinky retardérů hoření mohou působit dvěma způsoby:

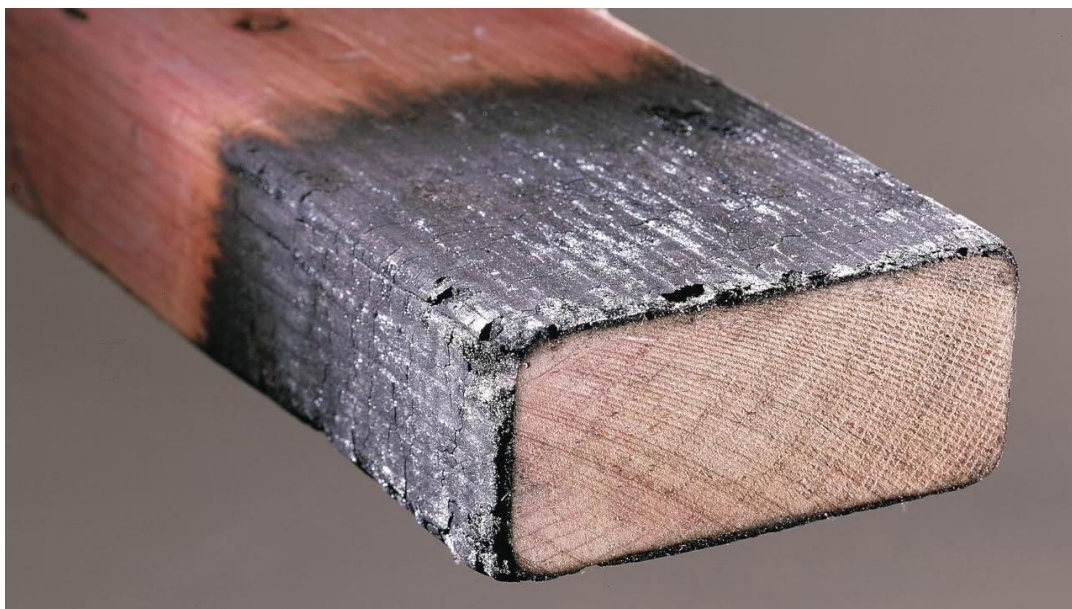
- snížení koncentrace kyslíku v dřevě a nad povrchem dřeva,
- podporování tvorby zuhelnatělé izolační vrstvy.

Snížení koncentrace kyslíku spočívá v schopnosti látek vázat na sebe chemickou vazbou kyslík a tím snížit jeho koncentraci v zóně pyrolýzy čímž se blokuje proces hoření.

Podporování tvorby zuhelnatělé izolační vrstvy se dosáhne za pomoci dehydratace polysacharidů. Při této endotermické reakci se z celulózy a hemicelulóz uvolňují molekuly vody což má za následek, že tyto složky dřeva podléhají výrazné karbonizaci. Takto zuhelnatělé dřevo se poté v menší míře rozkládá na hořlavé plyny. (Reinprecht, 2008)

6.1.1 PŘÍPRAVKY NA BÁZI ANORGANICKÝCH SOLÍ

Do této skupiny patří mnoho sloučenin a jejich kombinací nejčastěji se však využívají např.: síran amonný, kyselina boritá, fosforečnany amonné, chlorid amonný, borax, alkalické křemičitany (vodní sklo) a podobně. Tyto přípravky mají své výhody i nevýhody mezi jejich přednosti patří výborná rozpustnost ve vodě a jejich dobré penetrační vlastnosti do povrchových vrstev dřeva. Borité sloučeniny a chlorid zinečnatý poté dřevo chrání i proti dřevokaznému hmyzu. Naopak nevýhodami u části z nich jsou jejich korozivní účinky na samotné dřevo a na kovové předměty, dále již zmíněná rozpustnost ve vodě má za následek jejich lehkou vyluhovatelnost ze dřeva. Další obtíží je jejich omezená životnost kvůli čemuž se musí nátěr poměrně často obnovovat. Tento nedostatek však lze vyřešit hloubkovou impregnací (obr. 9), po které je životnost téměř neomezena a také se výrazně zvýší účinnost. (Petrová, Soudek, Vaněk. 2015)



Obrázek 9. Retardér hoření na bázi anorganických solí vakuově impregnovaný. Zdroj: Lotus Timber, 2018

Účinky látek na bázi anorganických solí jsou:

- ředění hořlavých plynů,
- podporování tvorby zuhelnatělé izolační vrstvy,
- spotřeba tepla na jejich rozklad.

6.1.2 ZPĚNITELNÉ NÁTĚROVÉ HMOTY

Tento typ ochrany proti ohni zvaný též intumescentní přípravky jsou vodou říditelné nátěrové hmoty, skládající se ze tří hlavních složek. Bázi přípravků tvoří disperzní polymery (MF – pryskyřice, PVAc, KMC apod.) dále pěnotvorné složky (polysacharidy, pentol, močovina apod.) a ostatní účinné látky (melamin, fosfáty amonné apod.). Tyto prostředky fungují na principu vytvoření až několika centimetrů silné tepelně-izolační pěny (obr. 10), pokud jsou vystaveny teplotě nad přibližně 150° C. Tato pěna je nehořlavá a díky své mikro poréznosti spolehlivě chrání povrch od plamene a sálavého tepla až po dobu 30 minut. Výhodami této ochrany je vyšší účinnost oproti prostředkům na bázi anorganických solí a jejich velice dlouhá životnost. Nevýhodami jsou neestetičnost, jelikož je potřeba na dřevo nanést souvislou vrstvu nátěru, která překrývá jeho přirozený vzhled. U těchto přípravků rovněž nelze provádět hloubkovou impregnaci a nevýhodou je také jejich vyšší cena. (Petrová, Soudek, Vaněk. 2015)



Obrázek 10. Dřevo ošetřené intumescentním nátěrem (vlevo) a neošetřené dřevo (vpravo) při působení tepla.
Zdroj: Envirograf, 2016

Účinky zpěnitelných nátěrových hmot jsou:

- omezení přenosu tepla,
- omezení přenosu hmoty.

7 TYPY A CHARAKTERISTIKY DŘEVOSTAVEB

Jako dřevostavbu označujeme stavbu, která má nosnou konstrukci tvořenou z rostlého dřeva či případně z materiálů na bázi dřeva. Tato nosná konstrukce je prutová nebo desková a podle nosné konstrukce rozeznáváme několik základních typů dřevostaveb:

- dřevostavby z lehkého skeletu,
- dřevostavby z těžkého skeletu,
- dřevostavby z masivních panelů,
- dřevostavby ze sendvičových panelů,
- roubenky,
- sruby.

Kromě těchto základních konstrukcí se můžeme setkat také s hrázděnými konstrukcemi, jedná se však spíše o historickou záležitost. (Bohuslávek, 2020)

V České republice se dřevostavby obvykle realizují jako rodinné domy případně jako nízkopodlažní občanské budovy. Širšímu uplatnění v podobě staveb s více podlažími brání v ČR požární předpisy. Z požárního hlediska můžeme dřevostavby rozdělit následovně:

- dřevěné masivní konstrukce (těžký skelet, masivní panely, roubenky, sruby),
- dřevěné lehké konstrukce (lehký skelet, sendvičové panely).

Dřevěné masivní konstrukce mají zpravidla vysokou požární odolnost, neboť je dána rychlostí zuhelnatění masivních a velkorozměrných dřevěných prvků.

U lehkých dřevěných konstrukcí je požární odolnost dána požární odolností jednotlivých částí skladby konstrukce – tedy pláště, vnitřního nosného rámu, případně desek malých rozměrů. (Kuthan, 2019)

Dřevostavby z lehkého skeletu

U tohoto typu konstrukce je svislá nosná konstrukce tvořena drobnými obdélníkovými prvky tyčového průřezu, které jsou zakončeny vodorovnými prvky, což tvoří kostru dispozice domu (obr. 11). Tato kostra je poté vyplněna tepelnou izolací vyplňující prostor mezi sloupky a doplněna nejčastěji konstrukčními OSB deskami čímž se celý objekt vyztuží. Po dokončení stavby není dřevěná konstrukce viditelná.

Výhodou tohoto řešení je montování z jednotlivých prvků přímo na stavbě a tím pádem není zapotřebí m technika k manipulaci s těžkými dílci. Konstrukci lze také dobře kombinovat s těžkým dřevěným skeletem nebo zděnými či betonovými konstrukcemi. (Bohuslávek, 2020)



Obrázek 11. Dřevostavba z lehkého skeletu. Zdroj: Lev, 2019

Dřevostavby z těžkého skeletu

Nosnou konstrukci zde tvoří masivní sloupy a průvlaky z rostlého dřeva (obr. 12) případně lze použít složené průřezy jako například lepené lamelové dřevo (LLD) nebo vrstvené dýhované dřevo (LVL). Konstrukce se doplňuje nenosným obvodovým pláštěm, dělicími příčky a stropem, který je důležitý pro celkovou tuhost celé stavby. V interiéru je u tohoto řešení obvykle přiznaná nosná konstrukce.

Těžký skelet se pro své výhody jako snadné upravování vnitřní dispozice či možnost velkoprostorového zasklení často využívá pro stavby většího rozsahu jako například administrativní budovy, školy, sklady a podobně. (Bohuslávek, 2020)



Obrázek 12. Dřevostavba z těžkého skeletu. Zdroj: Delbert, 2018

Dřevostavby z masivních panelů

Tento konstrukční systém je složen z masivních panelů, které jsou označovány pod zkratkou CLT (cross laminated timber) případně X-lam nebo křížem vrstvené dřevo. Tyto panely jsou složeny minimálně ze tří k sobě slepených vrstev a jsou vůči sobě pootočený o 90°. Jednotlivé vrstvy se skládají z vedle sebe složených prken (obr. 13). Existuje velké množství konstrukčního provedení panelů, které se liší podle konkrétního provedení výrobce. Výroba panelů probíhá ve výrobních halách, kde se panely nařezají podle konkrétního projektu a poté se na stavbě mohou ihned smontovat. Z panelů je možné zhotovit kromě nosné konstrukce a příček i konstrukci střechy. Zatímco vnitřní strana panelů může zůstat pohledová, čímž se dosáhne atraktivního vzhledu masivního dřeva, na vnější stranu se aplikuje tepelně izolační vrstva.

Přednosti tohoto konstrukčního systému jsou rychlost výstavby, vysoká stabilita a tuhost celé stavby a zamezení ortotropního chování dřevěných prvků. (Kuthan, 2019)



Obrázek 13. Dřevostavba z CLT panelů. Zdroj: NOVATOP, 2014

Dřevostavby ze sendvičových panelů

Tento typ dřevostaveb má obdobnou skladbu jako lehký dřevěný skelet ovšem rozdíl spočívá především ve způsobu výroby a montáže. Sendvičové panely vznikají ve výrobních halách a na stavbu se poté usadí za pomoci těžké techniky (obr. 14). Samotný sendvičový panel může být ve dvou konstrukčních variantách:

- sendvičový panel s dřevěným rámem,
- sendvičové izolované panely bez rámu.

V prvním případě je ze smrkového řeziva či z KVH hranolů zhotoven rám, který je oboustranně opláštěn deskovým materiálem (nejčastěji konstrukční OSB desky) a vyplněn tepelnou izolací. Z panelů se zhotovují jak nosné stěny, tak i stropy a střecha. Tato konstrukční varianta panelu je nejpoužívanější kvůli své jednoduchosti, variabilitě a rychlosti prefabrikované výroby.

Sendvičové izolované panely bez rámu se vyrábí za pomoci celoplošného vlepění tuhé tepelné izolace (obvykle polystyrenu) mezi dvě desky na bázi dřeva. Panel je tedy homogenní a jeho celková pevnost se odvíjí od tuhosti izolačního materiálu.

Jak již bylo řečeno, výhody dřevostaveb ze sendvičových panelů jsou především ve vysoké rychlosti výstavby a dále také v kvalitě prefabrikované výroby. (Kuthan, 2019)



Obrázek 14. Sendvičový panel. Zdroj: Jiříček, 2012

Roubenky

Jedná se o masivní konstrukci, kdy jsou jednotlivé dřevěné prvky (obvykle trámy) kladeny vodorovně na sebe a rohy staveb jsou spojeny rybinovým spojem (obr. 15). V minulosti se roubené stavby příliš nezateplovali, neboť dřevo samo o sobě je dobrý izolant, avšak u moderních roubených staveb se mezi jednotlivé trámy vkládá izolace do drážek v trámech, případně tmely, aby se stěny utěsnily. Další možností je vrstvená konstrukce, která spočívá ve vložení tepelné izolace mezi dvě vrstvy masivního dřeva. Životnost roubené stavby se odvíjí především od vhodného ošetření a údržby obvodových stěn. Proto je vhodné zajistit dostatečný přesah střechy, aby se co nejvíce zamezilo kontaktu vody s obvodovou stěnou.

Tyto dřevostavby mají svou přednost zejména v estetické stránce, kdy vynikne krása dřeva. (Daňková, 2019)



Obrázek 15. Roubená stavba. Zdroj: Sruby Bernart, s.r.o., 2013

Sruby

Konstrukce srubů se příliš neliší od konstrukce roubených staveb, hlavní rozdíl spočívá v podobě nosné konstrukce, kdy je u srubu tvořena předem opracovanou kulatinou (obr. 16). Tak jako u současných roubenek se v nosné konstrukci srubů utěšňují spáry mezi jednotlivými kmeny kulatiny, aby se dosáhlo spojitého obvodového pláště. Případně lze rovněž doplnit izolace do předem připravených drážek v kulatině. Pro sruby jsou charakteristické jejich rohové spoje, které mají výrazné přesahy někdy i více než 500 mm. Opět je třeba dbát na vhodně řešenou konstrukční ochranu dřeva proti povětrnostním podmínkám a brát v potaz pravidelnou údržbu dřeva.

Srubové stavby mají své pevné místo zejména v horském prostředí pro svou estetickou krásu a přírodní materiál. (Bohuslávka, 2020)



Obrázek 16. Srubová stavba. Zdroj: Depositphotos, 2015

8 POŽÁRNÍ BEZPEČNOST DŘEVOSTAVEB

Na stavby je kladeno několik základních požadavků jako například mechanická odolnost a stabilita, bezpečnost při užívání, ochrana proti hluku a mezi tyto základní požadavky patří také požární bezpečnost stavby, se kterou se musí počítat jak při navrhování, tak při výstavbě a následném užívání stavby.

Požární bezpečnost má za cíle:

- Omezení rozvoje a šíření ohně a zplodin v objektu
- Zamezení šíření požáru na okolní objekty
- Zajištění evakuace osob a zvířat při nebezpečí požáru nebo při požáru stavby
- Umožnění efektivního a bezpečného zásahu jednotek požární ochrany.

Tyto výše určené požadavky mohou být splněny, pouze pokud bude po určitý čas zaručena únosnost a stabilita nosných konstrukcí a současně celistvost s izolačními vlastnostmi požárně dělících konstrukcí. (Polák, 2019)

Aby bylo možné splnit základní požadavky na požární bezpečnost, je nutné zajistit následující opatření:

- pro omezení rozvoje požáru uvnitř objektu se objekt dělí na menší požárně oddělené celky nazývané se požární úseky. Další zvýšení požární ochrany dosáhneme vybavením požárně bezpečnostními zařízeními,
- zamezení šíření požáru na okolní objekty dosáhneme dodržením dostatečných odstupů a vymezením požárně nebezpečných prostorů,
- zajištění bezpečné evakuace osob, popřípadě také zvířat a majetku lze dosáhnout vhodným dispozičním řešením, zvláště vhodně řešeným návrhem únikových cest v objektu,
- aby bylo dosaženo rychlého a bezpečného zásahu jednotek požární ochrany je nutné pro tyto účely vhodně navrhnout přístupové komunikace a nástupní plochy, vnitřní a vnější zásahové cesty, zajistit dostatek požární vody a zabezpečení objektu jednotkou požární ochrany.

Většina z těchto opatření je zajištěna pasivní požární ochranou. Zajištění požární bezpečnosti se však také řeší prostředky aktivní požární ochrany, což jsou například

požární hlásiče, hasicí zařízení a zařízení k odvodu zplodin a tepla. (Bukovský a kol., 2002), (Ronešová, 2008)

8.1 TŘÍDY REAKCE NA OHEŇ, KONSTRUKČNÍ ČÁSTI A KONSTRUKČNÍ SYSTÉM

Pro stanovení hořlavosti stejnorodých stavebních materiálů se využívají zkoušky, jak již bylo zmíněno v kapitole 5, které materiály dělí do jednotlivých tříd reakce na oheň (tab. 3) podle normy ČSN EN 13501. Avšak, u nestejnorodých materiálů není možné vyjádřit jednou zkouškou různé stupně hořlavosti v dané konstrukci, například v sendvičové konstrukci. Z tohoto důvodu se nestejnorodé prvky dělí do konstrukčních částí a dílců DP1, DP2, DP3. V případě dřevostaveb se vždy jedná o konstrukce druhu DP2, DP3. Tyto konstrukční části zohledňují vliv dřeva v konstrukci jako hořlavého materiálu ve vztahu k stabilitě konstrukce a jeho přispívání k intenzitě požáru. (Polák, 2019)

Tabulka 3. Třídy reakce na oheň. Zdroj: Dědič, 2021

Třída reakce na oheň	Charakteristika
A1	Výrobky nepřispívající k rozvoji požáru v žádném jeho stadiu
A2	Výrobky splňující stejná kritéria jako výrobky třídy B a nebudou významně přispívat k plně rozvinutému požáru
B	Výrobky splňující stejná kritéria jako výrobky třídy C, ale s přísnějšími požadavky
C	Výrobky splňující stejná kritéria jako výrobky třídy D, ale s přísnějšími požadavky, omezeně přispívají k rozvoji požáru
D	Výrobky splňující stejná kritéria jako výrobky třídy E, ale jsou schopné odolávat lépe působení tepla a plamene, podstatně přispívají k rozvoji požáru
E	Výrobky lehce hořlavé, značně přispívají k rozvoji požáru
F	Výrobky nezařaditelné do žádné z předchozích tříd

Podle druhu dřeviny, dřevo a dřevěné konstrukce bez jakýchkoliv uprav, řadíme do třídy reakce na oheň D, E, F.

U třídění do konstrukčních částí podle ČSN 73 0810 se bere v úvahu teplo uvolněné z konstrukční části při požáru, dále působení na stabilitu a únosnost konstrukční části. Jak již bylo zmíněno, konstrukční části se dělí na tři druhy:

- **konstrukce druhu DP1** se v požadované době nepodílí na zvyšování intenzity požáru. Tyto konstrukce musí být složeny výhradně z výrobků se třídou reakce na oheň A1 případně A2. Výrobky třídy reakce na oheň B až F mohou být v konstrukci použity za předpokladu, že budou umístěny uvnitř konstrukce, nebudou mít nosnou funkci a v požadovaném časovém intervalu nedojde k jejich vzplanutí,
- **konstrukce druhu DP2** se v požadované době nepodílí na zvyšování intenzity požáru. Plášť těchto konstrukcí tvoří výrobky třídy reakce na oheň A1, A2 a ve vnitřních vrstvách jsou výrobky třídy reakce na oheň B, až D na niž je závislá stabilita konstrukce. Pokud na vnitřních vrstvách není závislá stabilita konstrukce, mohou být z výrobků třídy reakce na oheň B, až F,
- **konstrukce druhu DP3** se v požadované době podílí na zvyšování intenzity požáru. Do těchto konstrukcí řadíme prvky, které není možno zařadit do předchozí konstrukce druhu DP1 ani DP2. Na výrobky tvořící tuto konstrukci nejsou kladeny žádné požadavky v rámci třídění reakce na oheň.

V případě dřevostaveb se vždy jedná o konstrukce druhu DP2 či DP3.

Konstrukční systém stavby případně její části závisí od druhu konstrukční části, ze kterého je zhotovena nosná a požárně dělící konstrukce zodpovědná za stabilitu stavby či její části. Existují tři typy konstrukčních systémů:

- **nehořlavý** systém má nosné konstrukce (svislé i vodorovné) z konstrukční části druhu DP1 z něhož jsou zhotoveny i požárně dělící konstrukce,
- **smíšený** systém má z konstrukční části druhu DP1 zhotoveny svislé nosné a požárně dělící konstrukce, ale vodorovné nosné a požárně dělící konstrukce jsou z konstrukční části druhu DP2. Pokud se jedná o jednopodlažní objekty, střešní nosná konstrukce může být zhotovena z konstrukční části druhu DP3,
- **hořlavý** systém se skládá z konstrukčních částí druhu DP2 nebo DP3, případně nespĺňuje podmínky zařazení do systému smíšeného či nehořlavého.

V případě dřevostaveb se jedná vždy o hořlavý konstrukční systém. Maximální povolená výška objektů z hořlavého konstrukčního systému je 12 metrů, avšak pokud má objekt výšku od 9 do 12 metrů, musí být k objektu připojena úniková cesta z konstrukce druhu DP1a to staticky nezávisle na konstrukcích druhu DP2 a DP3. (Polák, 2019), (Bukovský a kol., 2002)

8.2 POŽÁRNÍ ODOLNOST

Pokud je stavební konstrukce vystavena účinkům požáru, určitou dobu je schopna požáru odolat. Tato doba se nazývá požární odolnost stavební konstrukce a je určena mezními stavy. Základně hodnocené mezní stavy jsou:

- R – nosnost a stabilita konstrukce
- E – celistvost konstrukce
- I – tepelně-izolační schopnosti konstrukce
- W – hustota tepelného toku či radiace z povrchu konstrukce
- M – mechanická odolnost konstrukce
- S – kouřotěsnost konstrukce
- C – samouzavírací zařízení

Stavební konstrukce se na základě požární odolnosti řadí podle ČSN 73 0802 do stupnice požární odolnosti o hodnotách 15, 30, 45, 60, 90, 120 a 180 minut. Výsledná hodnota požární odolnosti se poté zapisuje ve tvaru například (REI 60 DP3, EW 30 DP1, R 15 DP1). Kdy se jako první zapisuje jeden nebo více mezních stavů, poté doba odpovídající zařazení konstrukce do stupnice požární odolnosti, a nakonec druh konstrukční části.

Pro určení požární odolnosti dřevěných konstrukcí se využívají tři metody:

- pomocí zkoušek,
- podle tabulkových hodnot,
- pomocí výpočtu.

Klasifikace pomocí výsledků zkoušek je nejpřesnější metodou, ovšem je nákladná a musí se provádět v akreditovaných zkušebnách, podle normami stanovených postupů.

Určení požární odolnosti podle tabulkových hodnot je nejrychlejší a nejjednodušší, avšak není tak přesné jako v případě výpočtu, neboť hodnoty jsou spíše na straně bezpečnosti.

V případě výpočetní metody pro určení požární odolnosti konstrukce jsou výsledky přesné ale poměrně složité. Je také možné kombinovat výpočetní a zkušební metodu. (Polák, 2019), (Bukovský a kol., 2002)

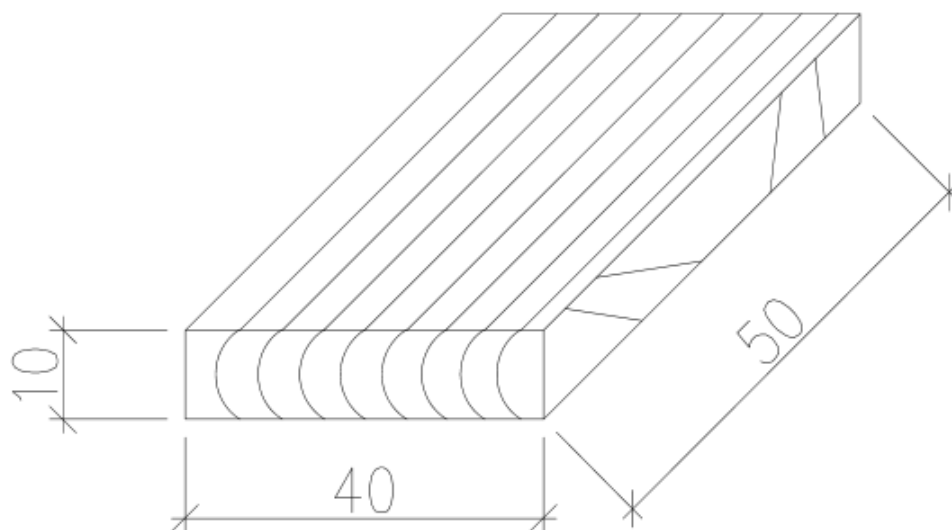
9 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠENÍ RETARDÉRU HOŘENÍ DŘEVA Z NANOČÁSTIC

9.1 METODIKA MĚŘENÍ

V této části práce je popsáno experimentální zkoušení retardéru hoření z nanomateriálu oxidu titaničitého. Nejprve jsou popsána zkušební tělesa a jejich příprava na zkoušku, dále je popsán použitý retardér hoření a samotný průběh zkoušky. Na závěr jsou přiloženy výsledky a vyhodnocení zkoušky.

9.2 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Byla připravena zkušební tělíska ze dřeva smrku, která byla rozměrově upravena na formát 10x40x50 mm. Tyto testované vzorky byly umístěny do klimatizační komory a po dobu 7 dní klimatizovány při podmínkách 22 ± 2 °C a 65 ± 5 % do ustáleného stavu.



Obrázek 17. Zkušební tělísko. Zdroj: Dědič 2021

Na zkušební tělíska byl aplikován retardér TiO_2 , a to vakuově tlakovou technologií. Nejdříve byla aplikované vakuum 5500 pascalu po dobu 60 minut a poté tlak 500000 pascalu po dobu 60 minut.

9.3 POUŽITÝ RETARDÉR HOŘENÍ

Na zkušební tělíska byl aplikován experimentální retardér hoření z nanočástic oxidu titaničitého od firmy ALDRICH. Této látky ve formě bílého prášku s velikostí částic 21 nm se již využívá pro účely fotokatalýzy, konzervace či jako ochranné vrstvy. Ovšem využití jako retardéru hoření dřeva je prozatím ve formě výzkumu jeho účinnosti pro tento účel použití.

9.4 PRŮBĚH ZKOUŠKY

Pro testování efektivnosti retardérů hoření byla zvolena metoda hmotnostního úbytku. Principem zkoušky je umístění testovaného vzorku na upínací zařízení (obr. 17), které je umístěno na elektronické váze typu Radwag PS 3500, od firmy RADWAG Váhy s.r.o., ČR. Testovací vzorek je poté po dobu 600 sekund vystaven zdroji sálavého tepla, přičemž se každých 10 sekund měří hmotnost vzorku a zaznamená se doba, po které dojde k zapálení vzorku. Naměřené hodnoty hmotnostního úbytku jsou převáděny do počítačového programu RLAB (RADWAG Váhy s.r.o., ČR.).



Obrázek 18. Průběh zkoušky hmotnostního úbytku. Zdroj: Dědič, 2019

9.5 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ

Na základě realizovaných testů byly stanoveny úbytky hmotnosti testovaných vzorů v průběhu času 0 až 600 s při jejich termické rozpadu (Obr. 18). Data byla zaznamenána do tab. 4 a pomocí nich byl vypočítán procentuální úbytek hmotnosti podle vzorce:

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

kde Δm je ztracená hmotnost (%), m_1 je hmotnost vzorku před zkouškou (g), m_2 je hmotnost vzorku po zkoušce (g). Výsledky byly zpracovány do tabulky 5.

Dále byla vypočítána rychlost hoření podle vzorce:

$$v = \frac{m_t + m_{t+10}}{m_{t0} \times 10} \times 100$$

kde v je rychlost hoření (%/s), m_t je hmotnost (g) v čase t , m_{t+10} je hmotnost (g) v čase o 10 sekund později, m_{t0} je hmotnost (g) v čase 0. Výsledky byly zpracovány do grafu 1.



Obrázek 19. Termický rozpad testovaných zkušebních těles. Zdroj: Dědič, 2019

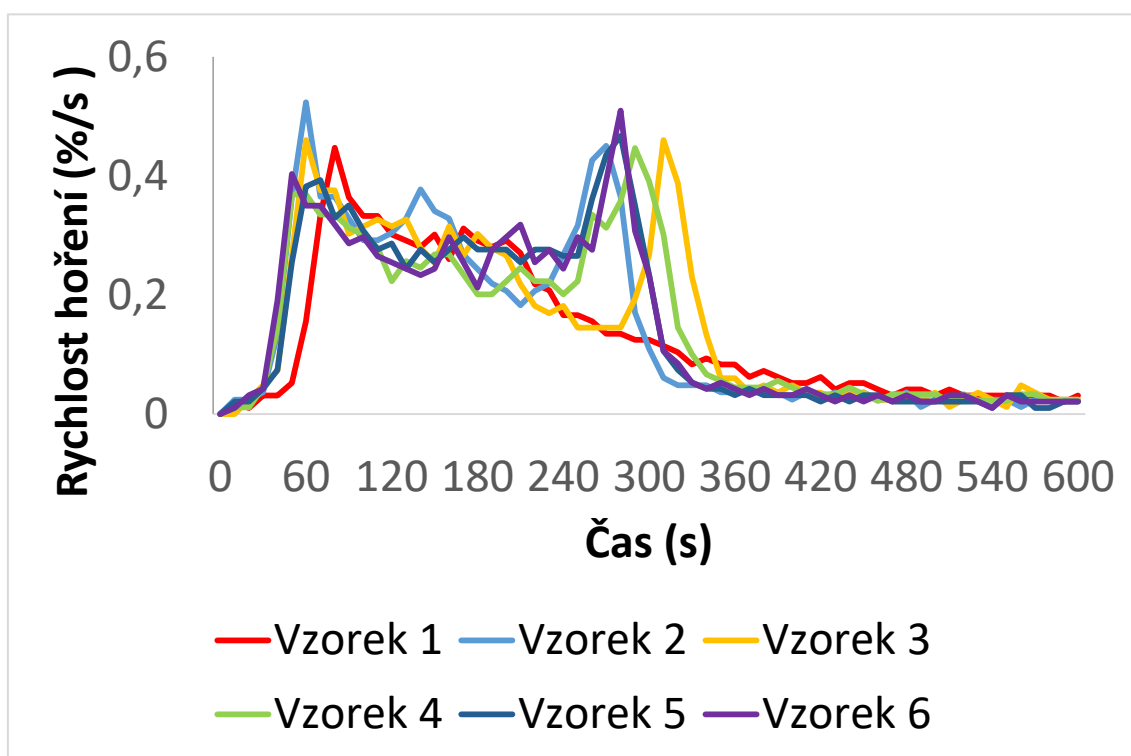
Tabulka 4. Ztráta hmotnosti analyzovaných vzorků v časovém rozpětí 0 až 600 sekund. Zdroj: Dědič, 2021

Vzorek 1		Vzorek 2		Vzorek 3		Vzorek 4		Vzorek 5		Vzorek 6	
HOR	49	HOR	32	HOR	37	HOR	30	HOR	34	HOR	28
ZHAS	6,55	ZHAS	4,46	ZHAS	5,40	ZHAS	5,30	ZHAS	5,05	ZHAS	5,15
t.(s)	m.(g)	t.(s)	m.(g)	t.(s)	m.(g)	t.(s)	m.(g)	t.(s)	m.(g)	t.(s)	m.(g)
0	9,61	0	8,21	0	8,25	0	8,95	0	9,41	0	9,42
10	9,59	10	8,19	10	8,25	10	8,94	10	9,39	10	9,41
20	9,58	20	8,17	20	8,23	20	8,93	20	9,37	20	9,38
30	9,55	30	8,14	30	8,19	30	8,89	30	9,33	30	9,34
40	9,52	40	8,03	40	8,13	40	8,76	40	9,26	40	9,16
50	9,47	50	7,73	50	7,91	50	8,43	50	9,02	50	8,78
60	9,32	60	7,30	60	7,53	60	8,10	60	8,66	60	8,45
70	9,00	70	7,00	70	7,22	70	7,80	70	8,29	70	8,12
80	8,57	80	6,70	80	6,91	80	7,50	80	7,98	80	7,82
90	8,22	90	6,43	90	6,66	90	7,22	90	7,65	90	7,55
100	7,90	100	6,19	100	6,40	100	6,95	100	7,36	100	7,27
110	7,58	110	5,95	110	6,13	110	6,70	110	7,10	110	7,02
120	7,29	120	5,70	120	5,87	120	6,50	120	6,83	120	6,78
130	7,01	130	5,43	130	5,60	130	6,27	130	6,60	130	6,55
140	6,74	140	5,12	140	5,37	140	6,05	140	6,34	140	6,33
150	6,45	150	4,84	150	5,16	150	5,81	150	6,10	150	6,10
160	6,20	160	4,57	160	4,90	160	5,57	160	5,84	160	5,82
170	5,90	170	4,35	170	4,68	170	5,36	170	5,56	170	5,58
180	5,62	180	4,15	180	4,43	180	5,18	180	5,30	180	5,38
190	5,35	190	3,97	190	4,20	190	5,00	190	5,04	190	5,12
200	5,07	200	3,80	200	3,98	200	4,80	200	4,78	200	4,84
210	4,81	210	3,65	210	3,80	210	4,58	210	4,54	210	4,54
220	4,60	220	3,48	220	3,65	220	4,38	220	4,28	220	4,30
230	4,40	230	3,30	230	3,51	230	4,18	230	4,02	230	4,04
240	4,24	240	3,08	240	3,36	240	4,00	240	3,77	240	3,81
250	4,08	250	2,82	250	3,24	250	3,80	250	3,52	250	3,53
260	3,93	260	2,47	260	3,12	260	3,50	260	3,18	260	3,27
270	3,80	270	2,10	270	3,00	270	3,22	270	2,77	270	2,90
280	3,67	280	1,80	280	2,88	280	2,90	280	2,33	280	2,42
290	3,55	290	1,66	290	2,72	290	2,50	290	2,00	290	2,13
300	3,43	300	1,57	300	2,50	300	2,15	300	1,78	300	1,91
310	3,32	310	1,52	310	2,12	310	1,88	310	1,68	310	1,81
320	3,22	320	1,48	320	1,80	320	1,75	320	1,61	320	1,73
330	3,14	330	1,44	330	1,61	330	1,66	330	1,56	330	1,68
340	3,05	340	1,40	340	1,50	340	1,60	340	1,52	340	1,64

350	2,97	350	1,37	350	1,45	350	1,55	350	1,48	350	1,59
360	2,89	360	1,34	360	1,40	360	1,51	360	1,45	360	1,55
370	2,83	370	1,31	370	1,37	370	1,47	370	1,41	370	1,52
380	2,76	380	1,28	380	1,33	380	1,43	380	1,38	380	1,48
390	2,70	390	1,25	390	1,30	390	1,38	390	1,35	390	1,45
400	2,65	400	1,23	400	1,26	400	1,34	400	1,32	400	1,42
410	2,60	410	1,20	410	1,23	410	1,31	410	1,29	410	1,38
420	2,54	420	1,18	420	1,20	420	1,28	420	1,27	420	1,35
430	2,50	430	1,15	430	1,18	430	1,25	430	1,24	430	1,33
440	2,45	440	1,13	440	1,15	440	1,21	440	1,22	440	1,30
450	2,40	450	1,10	450	1,12	450	1,18	450	1,19	450	1,28
460	2,36	460	1,08	460	1,10	460	1,16	460	1,16	460	1,25
470	2,33	470	1,06	470	1,08	470	1,13	470	1,14	470	1,23
480	2,29	480	1,03	480	1,06	480	1,10	480	1,12	480	1,20
490	2,25	490	1,02	490	1,04	490	1,07	490	1,10	490	1,18
500	2,22	500	1,00	500	1,01	500	1,04	500	1,08	500	1,16
510	2,18	510	0,98	510	1,00	510	1,02	510	1,06	510	1,13
520	2,15	520	0,96	520	0,98	520	0,99	520	1,04	520	1,10
530	2,12	530	0,94	530	0,95	530	0,97	530	1,02	530	1,08
540	2,09	540	0,92	540	0,93	540	0,95	540	1,00	540	1,07
550	2,06	550	0,90	550	0,92	550	0,93	550	0,98	550	1,04
560	2,03	560	0,89	560	0,88	560	0,90	560	0,95	560	1,02
570	2,00	570	0,87	570	0,85	570	0,87	570	0,94	570	1,00
580	1,97	580	0,85	580	0,83	580	0,85	580	0,93	580	0,98
590	1,95	590	0,83	590	0,81	590	0,83	590	0,91	590	0,96
600	1,92	600	0,81	600	0,79	600	0,81	600	0,89	600	0,94

Tabulka 5. Procentuální úbytek hmotnosti v časovém rozpětí 0 až 600 sekund. Zdroj: Dědič, 2021

čas	vz.1	vz.2	vz.3	vz.4	vz.5	vz.6	čas	vz.1	vz.2	vz.3	vz.4	vz.5	vz.6
(s)	Δm (%)	Δm (%)	Δm (%)	Δm (%)	Δm (%)	Δm (%)	(s)	Δm (%)	Δm (%)	Δm (%)	Δm (%)	Δm (%)	Δm (%)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	300	3,38	5,42	8,09	14,00	11,00	10,33
10	0,21	0,24	0,00	0,11	0,21	0,11	310	3,21	3,18	15,20	12,56	5,62	5,24
20	0,10	0,24	0,24	0,11	0,21	0,32	320	3,01	2,63	15,09	6,91	4,17	4,42
30	0,31	0,37	0,49	0,45	0,43	0,43	330	2,48	2,70	10,56	5,14	3,11	2,89
40	0,31	1,35	0,73	1,46	0,75	1,93	340	2,87	2,78	6,83	3,61	2,56	2,38
50	0,53	3,74	2,71	3,77	2,59	4,15	350	2,62	2,14	3,33	3,13	2,63	3,05
60	1,58	5,56	4,80	3,91	3,99	3,76	360	2,69	2,19	3,45	2,58	2,03	2,52
70	3,43	4,11	4,12	3,70	4,27	3,91	370	2,08	2,24	2,14	2,65	2,76	1,94
80	4,78	4,29	4,29	3,85	3,74	3,69	380	2,47	2,29	2,92	2,72	2,13	2,63
90	4,08	4,03	3,62	3,73	4,14	3,45	390	2,17	2,34	2,26	3,50	2,17	2,03
100	3,89	3,73	3,90	3,74	3,79	3,71	400	1,85	1,60	3,08	2,90	2,22	2,07
110	4,05	3,88	4,22	3,60	3,53	3,44	410	1,89	2,44	2,38	2,24	2,27	2,82
120	3,83	4,20	4,24	2,99	3,80	3,42	420	2,31	1,67	2,44	2,29	1,55	2,17
130	3,84	4,74	4,60	3,54	3,37	3,39	430	1,57	2,54	1,67	2,34	2,36	1,48
140	3,85	5,71	4,11	3,51	3,94	3,36	440	2,00	1,74	2,54	3,20	1,61	2,26
150	4,30	5,47	3,91	3,97	3,79	3,63	450	2,04	2,65	2,61	2,48	2,46	1,54
160	3,88	5,58	5,04	4,13	4,26	4,59	460	1,67	1,82	1,79	1,69	2,52	2,34
170	4,84	4,81	4,49	3,77	4,79	4,12	470	1,27	1,85	1,82	2,59	1,72	1,60
180	4,75	4,60	5,34	3,36	4,68	3,58	480	1,72	2,83	1,85	2,65	1,75	2,44
190	4,80	4,34	5,19	3,47	4,91	4,83	490	1,75	0,97	1,89	2,73	1,79	1,67
200	5,23	4,28	5,24	4,00	5,16	5,47	500	1,33	1,96	2,88	2,80	1,82	1,69
210	5,13	3,95	4,52	4,58	5,02	6,20	510	1,80	2,00	0,99	1,92	1,85	2,59
220	4,37	4,66	3,95	4,37	5,73	5,29	520	1,38	2,04	2,00	2,94	1,89	2,65
230	4,35	5,17	3,84	4,57	6,07	6,05	530	1,40	2,08	3,06	2,02	1,92	1,82
240	3,64	6,67	4,27	4,31	6,22	5,69	540	1,42	2,13	2,11	2,06	0,98	0,93
250	3,77	8,44	3,57	5,00	6,63	7,35	550	1,44	2,17	1,08	2,11	2,97	2,80
260	3,68	12,41	3,70	7,89	9,66	7,37	560	1,46	1,11	4,35	3,23	3,06	1,92
270	3,31	14,98	3,85	8,00	12,89	11,31	570	1,48	2,25	3,41	3,33	1,05	1,96
280	3,42	14,29	4,00	9,94	15,88	16,55	580	1,50	2,30	2,35	2,30	1,06	2,00
290	3,27	7,78	5,56	13,79	14,16	11,98	590	1,02	2,35	2,41	2,35	2,15	2,04
300	3,38	5,42	8,09	14,00	11,00	10,33	600	1,54	2,41	2,47	2,41	2,20	2,08



Graf 1: Intenzita hoření od 0 do 600 s. Zdroj: Dědič 2021

Z grafu 1 je jasně patrný čas začátku a konce hoření zkušebních vzorků, přičemž v tomto časovém intervalu přicházeli o největší procento své hmotnosti. Jak je patrné z výsledků, vzorek číslo 1 se od zbylých vzorků liší jak pozdějším časem začátku hoření, tak svým lineárnějším průběhem ztráty hmotnosti v závislosti na čase. Tento výsledek je dán pravděpodobně větší hustotou vzorku číslo 1 oproti zbylým vzorkům. Naměřené výsledky budou sloužit při výzkumu použití nanočástic jako retardéru hoření pro porovnání s ostatními nanočásticemi a určení nejúčinnějšího složení retardéru.

10 DISKUZE

Pro komerční využití nanočástic oxidu titaničitého jako retardéru hoření je třeba ještě dlouhého výzkumu. Tato zkouška měla pouze určit hodnoty hmotnostního úbytku pro budoucí porovnání s jinými typy nanočástic a jejich kombinací, pro co nejlepší výsledky. Pokud budoucí výzkum ukáže nanočástice oxidu titaničitého jako nejvhodnější typ či bude zastoupen v kombinaci s jinými látkami, takto ošetřené dřevo bude mít oproti běžným dnes používaným retardérům výhodu v šetrnosti k životnímu prostředí a dále se dá předpokládat dlouhodobá životnost, po kterou bude retardér schopen zlepšení protipožárních vlastností dřeva. Pro výše popsané vlastnosti by v budoucnu neměl být problém takto ošetřené dřevo použít kdekoliv, kde bude třeba zvýšit jeho protipožární vlastnosti.

11 ZÁVĚR

V rámci literární rešerše byla věnována pozornost makroskopické struktuře dřeva, jeho chemickému složení a fyzikálním vlastnostem. Byly analyzovány požárně-technické vlastnosti dřeva, jeho termické degradace, hořlavost a chování při zvýšených teplotách způsobených požárem. Dále byly popsány zkušební metody stanovení reakce na oheň a možnosti požární ochrany dřeva. Pro pochopení problematiky byly ke konci literární rešerše analyzovány typy konstrukcí dřevostaveb a základní systémy požární bezpečnosti staveb.

V rámci experimentální části práce došlo k ověření účinnosti retardéru hoření na bázi nanočástic oxidu titaničitého. Byly zaznamenány výsledky a z nich zpracován procentuální hmotností úbytek a do grafu byla zaznamenána rychlost hoření zkušebních vzorků. Retardéry hoření na bázi nanočástic jsou v současné době předmětem výzkumu a v budoucnu by mohli tvořit alternativu k současným produktům na trhu. Vedle analyzovaného retardéru z oxidu titaničitého se výzkum rovněž zaměřuje na retardéry na bázi nanočástic oxidu křemičitého či oxidu železitého. Zároveň je možno tyto retardéry kombinovat jak mezi sebou tak s jinými látkami pro dosažení co nejlepších výsledků. Pokud budoucí výzkum ukáže nanočástice oxidu titaničitého jako nejvhodnější typ, či bude zastoupen v kombinaci s jinými látkami, takto ošetřené dřevo bude mít oproti dnes používaným retardérům výhodu v šetrnosti k životnímu prostředí a dále se dá předpokládat dlouhodobá životnost, po kterou bude retardér schopen zlepšení protipožárních vlastností dřeva.

12 SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

Alexander Požgaj, A kolektiv. 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2 vydání. Bratislava: PRÍRODA, a.s. 1997 str.32. ISBN 80-07-00960-4

Wood Handbook, Regis B. Miller. 1999. Structure of Wood. Washington, DC: Forest Products Laboratory 1999 str. 2 ISBN 0898750822

Handbook of wood chemistry and wood composites Roger M. Rowell. 2005. Cell Wall Chemistry. Florida: 2000 N. W. Corporate Blvd. 2005 str. 2 ISBN 0-8493-1588-3

Wood Quality and its Biological Basis John barnett, George Jeronimidis. 2003. Blackwell publishing Ltd, 9600 Garsington Road, Oxford, UK. 2003 str. 87 ISBN 1-84127-319-8

Jiří Zejda, Jan Tippner, Václav Sebera, Eva Koňasová, Vladimír Dániel. 2007. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. [online]. Dostupné z https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9182

Reinprecht, Ladislav. Procesy degradácie dreva. 2. Vydanie, Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1998, ISBN 80-228-0661-5

Pecl, Jan. Základy požární taktiky- rozdělení hořlavých látek a jejich požárně technické charakteristiky. 13 s. MV- Ředitelství hasičského záchranného sboru, odborná příprava jednotek požární ochrany. [online]. Dostupné z: http://metodika.cahd.cz/konspekty/1_1_02.pdf

Hana Najmanová, Petr Hejtmánek, Libor Ševčík. Rychlost uvolňování tepla jako parametr pro hodnocení chování materiálu při požáru. [online]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/rychlost-uvolnovani-tepla-jako-parametr-prohodnoceni-chovani-materialu-pri-pozaru_42776.html

Reichel, V.: Požární odolnost stavebních konstrukcí. VUPS 1968

Sychta laboratorium ignitability of materials research laboratory. [online]. Dostupné z: <http://www.sychta.eu/en/index.html>

Šárka Petrová, Petr soudek, Tomáš Vaněk. Retardanty hoření, jejich použití a vliv na životní prostředí. 2015. Laboratoř rostlinných biotechnologií, Praha. [online]. Dostupné z: http://chemicke-listy.cz/docs/full/2015_09_679-686.pdf

Ladislav Reinprecht. Ochrana dřeva. 1. Vydání. Technická univerzita ve Zvoleně. 2008. ISBN 978-80-228-1863-6

Petr Bohuslávka. Stavba.tzb-info.cz. 2020. Druhy dřevostaveb. [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/355-druhy-drevostaveb#roubenky>

Jiří Kuthan. 2019. Dřevoastavby.cz. 2021. Konstrukce dřevostaveb. [online]. Dostupné z: https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5790-zaciname-stavet-jak-se-vyznat-v-konstrukcich-drevostaveb?utm_source=www.seznam.cz&utm_medium=sekce-z-internetu

Dana Daňková. 2019. Dřevoastavby.cz. Sruby, roubenky. [online]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/sruby-roubenky/5608-srub-nebo-roubenka-v-cem-se-lisi-a-jak-se-stavi>

Stanislav Polák. Studie zaměřená na zhodnocení stávajícího stavu požadavků na požární bezpečnost dřevostaveb v ČR a v zahraničí. Lesy České republiky, s.p., Hradec Králové. Praha, leden 2019

Ladislav Bukovský a kol. Technické řešení energeticky úsporných dřevostaveb. Praha 2002.

Jana Ronešová. Základy požární bezpečnosti staveb. GŘ HZS ČR MV