

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva



POŽÁRNÍ ODOLNOST DŘEVA OŠETŘENÉHO ANTIPYRÉNY

Diplomová práce

Autor: Dalibor Potůček

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Dalibor Potůček

Dřevařské inženýrství

Název práce

Požární odolnost dřeva ošetřeného antipyrény

Název anglicky

Fire resistance of wood treated by fire retardants

Cíle práce

Cílem práce je experimentální zkoumání požární odolnosti dřeva, z vybraných dřevin, ošetřeného různými typy antipyrénů a následnými porovnáním s neošetřeným dřevem. Požární odolnost bude stanovena pomocí základních požárních charakteristik.

Metodika

Metodiku práce je možné rozdělit do následujících základních bodů:

1. Zpracování literární rešerše o způsobech modifikace dřeva, jeho následné úpravě antipyrény, jako i požární odolnosti.
2. Příprava, třídění a značení zkušebních těles.
3. Určení základních fyzikálních, resp. mechanických, vlastností dřeva z vybraných dřevin.
4. Experimentální zjišťování vlivu různých typů antipyrénů na požární charakteristiky dřeva z vybraných dřevin. Porovnání požární odolnosti ošetřeného a neošetřeného dřeva.
5. Statistické zpracování výsledků v textové, tabulkové a grafické podobě.
6. Diskuze a závěry.

Doporučený rozsah práce

55-65

Klíčová slova

požární odolnost, antipyrény, teplota zapálení, teplota vznícení

Doporučené zdroje informací

- HRČKA, I., OSVALD, A., DZURENDA, L., MAKOVÍNY, I. Projektovanie drevených stavieb. Zvolen: ZU vo Zvolene, 1994, 342 s. ISBN: 80-228-0332-4
- KAFKA, E., COUFAL, R., DRAHOŠ, V., ČERMÁK, J. Dřevářská Příručka, I. část. Praha: SNTL, 1989, 483 s.
- KOLLMANN, F. F. P., COTE, W. A. Jr. Principles of Wood Science and Technology: I. Solid Wood. Springer Science & Business Media, 2012, 592 s. ISBN: 978-3-64287-928-9
- NETOPILOVÁ, M., KAČÍKOVÁ, D., OSVALD, A. Reakce stavebních výrobků na oheň. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010, 126 s. ISBN: 978-80-7385-093-7
- NICHOLAS, D. D. Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments: Degradation and Protection of Wood. Syracuse University Press, 1982, 380 s. ISBN: 978-0-81562-285-7
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda a. s., 1997, 485 s.
- PTÁČEK, P. Ochrana dřeva. Grada Publishing a.s., 2009, 96 s. ISBN: 80-2476-488-1
- ROWELL, R. M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. 2. vydání, Boca Raton: CRC Press, 2012, 703 s. ISBN: 978-1-43985-380-1
- ŠTUJBEROVÁ, M., OSVALD, A. Navrhovanie nosných konštrukcií stavieb. Bratislava: STU, 2009, 107 s. ISBN: 978-80-227-3068-6
- VISAKH, P. M., ARAO, Y. Flame Retardants: Polymer Blends, Composites and Nanocomposites. Springer, 2015, 314 s. ISBN: 978-3-31903-467-6

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra základního zpracování dřeva

Elektronicky schváleno dne 20. 4. 2016

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2017

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 20. 04. 2017

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Požární odolnost dřeva ošetřeného antipyrény“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miroslava Gašparíka, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze, dne

.....
Dalibor Potůček

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Miroslavu Gašparíkovi, PhD. za jeho odborné, věcné rady, za konzultace a věnovaný čas. Dále bych rád poděkoval panu profesoru Antonu Osvaldovi, který se mi věnoval při výzkumné práci a doporučil mi užitečné zdroje pro mou diplomovou práci.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá požárními vlastnostmi dubového dřeva, které byly reprezentovány ztrátou hmotnosti, rychlostí hoření, maximální rychlostí hoření, jako i časem potřebným na dosažení maximální rychlosti hoření. Vzorky dubového dřeva byly rozděleny do dvou základních skupin. První skupinu tvořily vzorky rostlého dřeva bez termické modifikace. Druhá skupina obsahovala termicky modifikované dřevo při teplotách 160 °C, 180 °C a 210 °C. Každá ze skupin se dělila na dvě podskupiny, kde v jedné podskupině byly vzorky ošetřeny syntetickým antipyrénem, zatímco ve druhé ne. Jako syntetický antipyrén byl použit Flamgard Transparent, který patří k nejpoužívanějším. Na základě výsledků experimentu vyplývá, že úprava dřeva syntetickým antipyrénem snižuje rychlost hoření, maximální rychlost hoření a ztrátu hmotnosti. Čas na dosažení maximální rychlosti hoření se zvyšoval, což všeobecně ukazuje na pozitivní vliv syntetického antipyrénu na termicky modifikované dřevo i na dřevo bez termické modifikace. Z hlediska požární odolnosti se termicky modifikované dřevo ošetřené antipyrénem přiblížilo k úrovni rostlého dřeva.

Klíčová slova:

modifikace dřeva, termodřevo, požární odolnost, antipyrény, dub, hoření

Abstract

Diploma work deals with oak wood fire properties, which were represented by weight loss, burning rate, maximum rate of burning, as well as the time required to reach the maximum burning rate. Oak samples were divided into two basic groups. The first group consisted of samples of solid wood without thermal modification. The second group consisted of thermally modified wood at temperatures of 160 °C, 180 °C and 210 °C. Each group was divided into two subgroups, in which one subgroup contained samples treated by synthetic flame retardant, while the other subgroup had only untreated samples. Synthetic flame retardant was represented by Flamgard Transparent, which belongs to the most widely used. Experiment results indicate that the treatment of wood by synthetic flame retardant reduces burning rate, maximum rate of burning and weight loss. Time to reach the maximum burning rate has increased, which generally shows a positive effect of synthetic flame retardant for thermally modified wood as well as for thermally unmodified wood. From the perspective of fire resistance, thermally modified wood treated by synthetic flame retardant has come near the level of solid wood.

Keywords:

modification of wood, thermowood, fire resistance, flame retardant, oak, burning

OBSAH

1. ÚVOD.....	12
2. CÍL PRÁCE.....	13
3. LITERÁRNÍ PŘEHLED	14
3.1. Dřevo a oheň v historii lidstva	14
3.1.1. Dřevo	14
3.1.2. Oheň	15
3.2. Pojem modifikace dřeva.....	16
3.3. Vývoj modifikace dřeva	17
3.4. Způsoby modifikace dřeva	18
3.4.1. Mechanická modifikace.....	18
3.4.2. Chemická modifikace	21
3.4.3. Mikrovlnná modifikace	26
3.4.4. Termická modifikace	26
3.5. Technologie termické modifikace.....	28
3.6. Ochrana dřeva před hořením.....	31
3.6.1. Požární odolnost dřeva, materiálů na bázi dřeva a stavebních konstrukcí....	31
3.6.2. Historie přípravků na zvýšení požární odolnosti.....	32
3.6.3. Současné přípravky na zvýšení požární odolnosti.....	33
3.6.4. Konstrukční ochrana dřeva proti ohni	33
3.6.5. Chemická ochrana dřeva proti ohni.....	33
3.7. Požární testování	34
3.7.1. Všeobecný přehled požárního testování.....	34
3.7.2. Současné normy v oblasti požárního testování	35
3.8. Obecné vlastnosti dubu letního	43
4. METODIKA DIPLOMOVÉ PRÁCE	46
5. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE	47
5.1. Příprava vzorků	47
5.2. Výpočty	50
6. VÝSLEDKY.....	52
6.1. Porovnání a zhodnocení experimentálně získaných dat.....	52
6.1.1. Ztráta hmotnosti.....	52
6.1.2. Rychlost hoření	55

6.1.3.	Maximální rychlost hoření.....	58
6.1.4.	Čas na dosažení maximální rychlosti hoření	61
6.2.	Zařazení jednotlivých vzorků dřeva do příslušných stupňů hořlavosti.....	64
7.	ZÁVĚR	66
8.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	67
9.	PŘÍLOHY	71

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Graf průběhu teploty v závislosti na délce trvání termické úpravy	48
Obr. 2 - Měřicí sestava	48
Obr. 3 - Závislost ztráty hmotnosti na úpravě dřeva retardéry.....	53
Obr. 4 - Závislost ztráty hmotnosti na tepelné modifikaci	54
Obr. 5 - Závislost ztráty hmotnosti na tepelné modifikaci a úpravě dřeva retardéry	55
Obr. 6 - Závislost rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry.....	56
Obr. 7 - Závislost rychlosti hoření na tepelné modifikaci.....	57
Obr. 8 - Závislost rychlosti hoření na tepelné modifikaci a úpravě dřeva retardéry	58
Obr. 9 - Závislost maximální rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry	59
Obr. 10 - Závislost maximální rychlosti hoření na tepelné modifikaci.....	60
Obr. 11 - Závislost maximální rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry a tepelné modifikaci.....	60
Obr. 12 - Závislost času na dosažení maximální rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry.....	62
Obr. 13 - Závislost času na dosažení maximální rychlosti hoření na tepelné modifikaci.....	62
Obr. 14 - Závislost času na dosažení maximální rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry a tepelné modifikaci.....	63

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Třídy reakce stavebních výrobků na oheň mimo podlahových krytin.....	38
Tab. 2 - Trvanlivost dřeva dubu	44
Tab. 3 - Průběh a teploty termické modifikace dubového dřeva.....	47
Tab. 4 - Rozdělení do stupňů hořlavosti	51
Tab. 5 - Ztráta hmotnosti.....	52
Tab. 6 - Rychlost hoření.....	55
Tab. 7 - Maximální rychlost hoření.....	58
Tab. 8 - Čas na dosažení maximální rychlosti hoření	61
Tab. 9 - Průměrné hodnoty pro jednotlivé veličiny hoření	64

1. ÚVOD

Přírodní charakter dřeva, jeho vůně, lesk, přirozená kresba a příznivé fyzikální vlastnosti - to vše dodává dřevu specifický estetický výraz. Dlouhodobý vývoj zpracování a využívání dřeva je v lidstvu hluboce zakotven. Z důvodu mnohostranného pozitivního působení dřeva na psychiku člověka zůstane tato surovina patrně natrvalo jednou z nejžádanějších složek životního prostředí člověka. Poznatky o dřevě (o jeho vnitřní struktuře, chemickém složení, o mechanických i fyzikálních vlastnostech) se neustále prohlubují a rozšiřují. Intenzivní rozvoj techniky a technologie stále zdokonaluje zpracování dřeva, minimalizuje dřevní odpad a rozšiřuje oblasti využití materiálů a výrobků ze dřeva.

Estetické přednosti dřeva se jistě významně podílely i na uplatnění dřeva v dnešní době, a to i přes to, že panovaly tendence nahrazovat dřevo plastem (hlavně v 70. letech minulého století). Doba dřevěná je jednotícím prvkem pro všechna období lidských dějin, stejně tak jako dřevo provází člověka celým jeho životem.

Přínos dřeva pro člověka je nezpochybnitelný, stejně jako skutečnost, že dřevo v jakékoliv formě je materiálem hořlavým a podléhá působení biologických činitelů a povětrnostním vlivům. Zápalnost a hořlavost dřeva je však v dnešní době možné různým způsobem regulovat a ve vztahu k ohni upravovat parametry dřeva. Úprava parametrů dřeva ve vztahu k ochraně dřeva proti hoření a vzhledem k negativnímu působení biologických činitelů a povětrnostních vlivů se neustále vyvíjí. Tyto úpravy mají stále větší význam, neboť v současné době je dřevo prosazováno jako ekologický a obnovitelný materiál. Kombinace tepelné úpravy, která zlepšuje odolnost proti povětrnostním vlivům a vůči biologickým činitelům, spolu s úpravou dřeva proti hoření potlačuje základní nevýhody dřeva a rozšiřuje jeho využitelnost.

2. CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je seznámit s problematikou týkající se termicky modifikovaného dřeva, s běžně používanými retardéry hoření a v souvislosti s tím i s normami týkajícími se požárního testování. Zhodnotit vlastnosti vzorků dubu letního použitých při testování požární odolnosti. Za účelem zjištění účinnosti antipyrénů vzájemně porovnat výsledky testování vzorků ošetřených antipyrény se vzorky, které takto ošetřeny nebyly. Celkově zhodnotit výsledky vzorků termicky upraveného dřeva i vzorků dřeva bez termické modifikace.

Cíl práce podrobněji vyjadřují následující body:

- analyzovat současné technologie výroby termicky modifikovaného dřeva,
- charakterizovat běžně používané antipyrény,
- seznámit s problematikou norem v oblasti požárního testování,
- určit základní fyzikální a mechanické vlastnosti dubu letního,
- provést testování vzorků termicky upravených a vzorků bez termické úpravy, jejichž část byla současně ošetřena antipyrény,
- porovnat a zhodnotit výsledky provedeného testování

3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1. Dřevo a oheň v historii lidstva

Pravděpodobně jedním z nejdůležitějších produktů rostlinné říše je dřevo (Dejmal 2009). Dřevo vzniká prostřednictvím geneticky zakódovaného systému fotosyntetických a následných biochemických reakcí ve vyčleněných částech stromu. Strom má přibližně 70 - 93 objemových % dřeva. Dřevo je vnitřní zděvnatělou částí kmene, větví a kořenů stromů bez kůry a lýka (Reinprecht 2012). Jedná se o surovinu obnovitelnou, takže při rozumném hospodaření tvoří nevyčerpatelný zdroj (Dejmal 2009).

3.1.1. Dřevo

Nejprve sloužilo dřevo pouze jako palivo. Byla to látka potřebná k udržování a využívání ohně (Dejmal 2009). Další uplatnění našlo dřevo teprve později. Ve snaze využívat kmeny padlých stromů pro konstrukční, případně další účely, narážel člověk na některé potíže. Problém spočíval v opracování kmenů do podoby vhodné pro toto využití. Těžkosti vyřešil vynález pily a sekyry. Pomocí těchto nástrojů lidé dokázali z kmenů vytvářet hranoly, trámy, desky a jiné tvary. Nevýhodou však bylo to, že rozměry všech výrobků byly omezovány velikostí kmenů jednotlivých stromů. Počáteční zpracovatelská technologie byla nedokonalá, protože neustálý pohyb vody ve dřevě způsoboval některé chyby, které se projevovaly ve změně rozměrů, v deformaci (kroucení dřeva) či v případném vytváření trhlin. Z těchto důvodů vznikla potřeba výroby nových materiálů na bázi dřeva (laminované výrobky, dýhy, překližky, aglomerované materiály atd.), (Kačíková a kol. 2006).

Dodnes můžeme obdivovat řadu historických památek vyrobených ze dřeva. Jedná se nejen o drobné pomůcky v domácnosti (formy na máslo, kořenky aj.), vyřezávaný nábytek, rámy obrazů, sochy či oltáře, ale i celé dřevěné stavby - brány, venkovská vrata, roubenky, části hradů a zámků, zvonice, kostelíky. Z uvedeného výčtu vyplývá, že technické vlastnosti dřeva umožňují jeho všeobecné použití. Dokladem je i využití dřeva při výrobě hudebních nástrojů a dalších uměleckých předmětů (Krajčovičová a kol. 2008).

3.1.2. Oheň

Postupné poznávání moci ohně znamenalo pro člověka velký pokrok. Zpočátku se lidé v přírodě setkávali s ohněm zažehnutým bleskem či ohněm vzniklým při samovznícení. Tento úkaz s respektem pozorovali a pak jej začali využívat pro svoje potřeby. Nejstarší důkazy o tom máme z pravěku - z východní Afriky (v Keni), z Jihoafrické republiky anebo z území Číny. Z doby před 1,4 miliony let pocházejí střepy z vypalovaných, hliněných nádob. Před jedním milionem let totéž naznačují ohořelé kameny. Ověřené důkazy o tom, že člověk disponoval s ohněm, jsou datovány 200 až 700 tisíc let před Kristem. Napovídají tomu naleziště vrstvy zuhelnatělého dřeva o výšce 6 metrů. Přibližně 61 tisíc let stará jsou naleziště v Zambii (u Kalambijských vodopádů). Jakmile člověk začal oheň používat, byl v podstatě nucen jej udržovat. Pociťoval totiž v jeho blízkosti světlo, teplo a následně i bezpečí (Krajčovičová a kol. 2008).

Dalšího výrazného posunu dosáhlo lidstvo asi před 15 tisíci lety, kdy se člověku podařilo oheň založit. O tom svědčí nález křesacího kamene, který pochází z té doby. V neolitu (tedy zhruba před 10 tisíci až 7 tisíci lety) funkci jiskrného materiálu plnily pazourky, pomocí nichž lidé dokázali oheň rozdělat kdekoliv. Založit oheň lze i jinými způsoby. Nejznámější je patrně tření či kroucení dřívěk, které při dostatečné frekvenci a síle zapříčiní zvýšení teploty a vznícení nějakého druhu přiloženého troudu. K vynálezu této metody dospěli lidé všude po světě. Ještě začátkem 20. století ji používali lidé v Keni.

Schopnost rozdělat, udržovat a využívat oheň obohatila lidem v mnohém život - umožnila jim regulovat teplotu ve svých obydlích, dala jim světlo a poskytla nové možnosti úpravy pokrmů (vařené pokrmy obohacené o proteiny, lépe stravitelné). Člověk využíval ohně za účelem získávání a zpracování kovů a pro výrobu pokročilých kovových nástrojů. V zemědělství se uplatňoval oheň při získávání orné půdy řízeným žhářstvím. K zakládání ohňů byla vytvořena sada - obsahující pazourek (křemen), ocilku (kovový nástroj) a troudu - kterou lidé používali tisíce let.

V 16. a 17. století se k zažehnutí plamene začíná využívat chemie. Objevují se kapesní křesadla, kde je troudu obohacen dusičnanem sodným. Teprve ve 20. letech 19. století chemici ve Skotsku, ve Francii, v Maďarsku a ve Švédsku přicházejí s vynálezem zápalky. Následovala řada proměn, původní nebezpečné hlavičky z chlorečnanu draselného a síry či jedovaté hlavičky z bílého fosforu byly nahrazeny bezpečnými

zápalkami, které využívaly nejedovatý fosfor červený. Od roku 1823 existovala v Německu Döbereinerova lampa, která se vyráběla až do roku 1880. Jednalo se o nádobu s roztokem kyseliny sírové, do níž je ponořena zinková tyč. Od počátku 20. století se uplatňují benzinové zapalovače (Kasík 2008).

Přesto, že oheň jako zdroj energie (tepla, světla) nahradila z velké části elektřina, zůstává oheň snadno dostupnou technologií získávání energie z hmoty. Hoření je jev představující cílený proces s určitým využitím, který probíhá v žádaném čase i prostoru a hoří materiály k tomu určené (palivo). Podle lidového rčení je takový oheň „dobrý sluha“, ale...zlým pánem se stává oheň v případě, kdy se jedná o nežádoucí hoření v nežádaném prostoru a čase. Oheň přeroste v požár a palivem se stávají všechny materiály, které požár zasáhne. Z tohoto důvodu se začala vyvíjet protipožární ochrana. Určité formy ochrany před požáry vznikaly již ve starém Egyptě, Asýrii, Babylónii, Číně, v Řecku i v Římě. Jednalo se o organizovaná hašení vědry, později vahadlovými čerpadly (4 000 let př. n. l.). V Řecku okolo roku 10 př. n. l. znali i hasičskou stříkačku. První dobrovolné hasičské skupiny začaly vznikat již od 3. stol. př. n. l. Později se přišlo na to, že prvním krokem v ochraně před požáry je prevence. V roce 1788 vydal císař Josef II. první požární pořádek, na který navazovaly další úpravy (např. nařízení o povinnosti zřídit hasičský sbor v každé obci s nejméně 50 domy). Kromě těchto nařízení se v protipožární ochraně uplatňuje i věda (Aristoteles tvrdí, že všechny věci obsahují oheň, vodu, vzduch a zem). Tuto teorii potvrdil roku 1661 Boyley, který spálil kus dřeva a vytvořil oheň, vodu (páru), dým (vzduch) a popel (zem). Kyslík jako prvek nepostradatelný při hoření objevuje Lavoisier ve 2. polovině 18. století (Dejmal 2009).

3.2. Pojem modifikace dřeva

Dřevo, obdobně jako každý přírodní materiál, má své přednosti (trvale obnovitelná surovina s nízkou zátěží životního prostředí, vysoký poměr pevnosti vůči hustotě a nízká tepelná vodivost), výhody (dá se dobře opracovávat a na člověka příjemně působí) i nevýhody (náchylnost na poškození jednak abiotickými činiteli – oheň, slunce, voda, změna teploty, mechanické vlivy, tvarová deformace, hořlavost a jednak biologickými škůdci – dřevokazný hmyz a houby), (Reinprecht 2012).

Jakmile začal člověk využívat dřevo jinak než jako palivo, snažil se zlepšovat jeho vlastnosti – modifikovat dřevo (Dejmal 2009).

Modifikované dřevo je dřevo se záměrně změněnou strukturou a s cíleně zlepšenými vlastnostmi, jako je biologická odolnost, termická odolnost, odolnost vůči agresivním chemikáliím, odpudivost vůči vodě, hydrofobnost, rozměrová stabilita, barevná stabilita, pevnost, tvrdost apod. Modifikace dřeva je jedním ze způsobů ochrany dřeva. Správnou ochranou dřeva dosáhneme prodloužení životnosti výrobků ze dřeva (Reinprecht 2012).

Technologie modifikační ochrany dřeva (stejně tak jako fyzikální, konstrukční i chemické ochrany) významně záleží na struktuře dřeva. Struktura dřeva rozhodujícím způsobem ovlivňuje jeho přirozenou trvanlivost – odolnost vůči abiotickému i biologickému poškození (Reinprecht 2012).

3.3. Vývoj modifikace dřeva

K prvním způsobům modifikace patří jednoduchá termická modifikace v podobě opalování hrotů oštěpů pravěkými lidmi. Později začal člověk opalovat konce kůlů, které byly ve styku se zemí (používaly se např. jako obranné valy). Účelem této primitivní termické modifikace bylo zvýšit trvanlivost těchto kůlů. Mezi další způsoby modifikace se řadí plastifikace dřeva vařením ve vodě, napouštění dřeva horkými oleji nebo máčení dřeva v hnoji (obsahujícím čpavek).

Od 2. pol. 19. stol. přichází na řadu průmyslová modifikace, kdy se k modifikaci dřeva začaly využívat látky s aromatickými uhlovodíky, tedy dehtové oleje a některé produkty suché destilace dřeva nebo uhlí. Během 20. století zájem intenzifikace výroby převyšoval zájem ochrany životního prostředí. Technologie úpravy dřeva, stejně jako látky k tomuto účelu využívané (chlor, měď a arsen), nebyly vůči životnímu prostředí dostatečně šetrné. V této době se dřevo začíná také plastifikovat pářením ve speciálních hermetických nádobách.

Období konce 20. století a současnost jsou charakteristické snahou o citlivý přístup k životnímu prostředí. Zatímco se omezuje import některých dřev (především z oblasti tropických deštných pralesů), domácí zpracovatelé dřeva se využíváním dostupných surovin podporují. Upřednostňují se lehce odstranitelné materiály na bázi nativního dřeva (Dejmal 2009).

3.4. Způsoby modifikace dřeva

S rozvojem techniky a průmyslu se začaly objevovat i další způsoby modifikace. Jedná se především o metody mechanické a chemické modifikace. Výrazně vylepšeny byly též postupy metody termické modifikace. Mezi nejnovější metody úpravy dřeva patří modifikace pomocí silikonů a mikrovlnného záření.

V současné době rozeznáváme již několik způsobů modifikace dřeva:

A/ mechanická metoda modifikace

- lisování
- ohýbání

B/ chemická metoda modifikace

- modifikace acetylací
- modifikace furfurylací
- modifikace DMDHEU
- modifikace silikony
- modifikace čpavkem

C/ mikrovlnná metoda modifikace

D/ termická metoda modifikace

- příprava v prostředí vodní páry (PlatoWood)
- příprava v olejích (OHT-Wood, RoyalWood)
- příprava v prostředí inertních plynů (RetificatedWood)
- příprava za použití teplé páry a oleje (WTT)
- příprava v atmosféře vzduchu (ThermoWood)

(Reinprecht a Vidholdová 2008).

Cílem všech těchto modifikací je zlepšení vlastností dřeva. V současnosti, kdy je dřevo prosazováno jako materiál ekologický a obnovitelný, má modifikace dřeva své opodstatnění a poskytuje další možnosti k již tak široké škále využití dřeva. Rozvoj modifikace dřeva se předpokládá i do budoucna.

3.4.1. Mechanická modifikace

Mechanické vlastnosti dřeva lze zlepšit zvýšením jeho hustoty. Zhutnění struktury dřeva, tedy zvýšení hustoty, dosáhneme procesem lisování. Vlivem působení

mechanických sil na dřevo vzniknou trvalé deformace. Slisované dřevo zvyšuje jeho odolnost vůči mechanickému poškození. Při lisování je důležitá znalost meze pevnosti dřeva. V případě překročení meze pevnosti dojde totiž k porušení buněčné struktury dřeva s následkem snížení mechanických vlastností (NIS 2017).

Mechanické metody modifikace dřeva probíhají ve dvou etapách – plastifikace a lisování. Chceme-li slisovatelnost dřeva zlepšit, je třeba dřevo přechodně plastifikovat (měkčit). Toho dosáhneme zvyšováním vlhkosti a teploty. Přitom se nesmí překročit mez hygroskopicity, neboť zvyšující se obsah vody volné stlačitelnost dřeva zhoršuje. Dřevo se proto zpravidla ohřívá ve vodní páře nebo vaří ve vodě (Dejmal 2009). V radiálním směru se dosahuje nejvyšší stlačitelnosti, přičemž v podélném směru je stlačitelnost nejmenší (Matovič 1993).

Ve střední lamelle i v jiných vrstvách buňkových stěn dřeva je termoplastický lignin. Teplota sklovitého stavu ligninu je 170 °C, přičemž tuto teplotu lze snížit buď v přítomnosti vázané vody (hydrotermická úprava dřeva) nebo v přítomnosti plastifikátorů a změkčovadel (močovina, amoniak apod.), (Rowel 1990).

Ve druhé etapě probíhá lisování plastifikovaného dřeva v kovové formě. Plasticita dřeva trvá po dobu udržování vlhkosti a teploty. Jakmile se dosáhne požadovaného tvaru, je dřevo zafixováno. Po vysušení a ochlazení získá dřevo přirozenou podobu - za současného uchování nového tvaru (NIS 2017).

Mechanicky modifikované dřevo má zvýšenou hustotu, vysokou tvrdost i dobrou rázovou houževnatost v ohybu. Vhodné je víceméně pouze do interiéru. Pokud bychom takto upravené dřevo použili pro venkovní účely, je třeba jej ošetřit nátěry proti povětrnostním podmínkám. Využít ho lze i na speciální výrobky vystavené zvýšené mechanické námaze. Je lépe odolné vůči teplotním změnám i požárům než dřevo neupravené (Reinprecht a kol. 2005, Solár a kol. 2005).

Způsoby lisování podle rovnoměrnosti:

a) rovnoměrné - znamená vytvoření plošného lisovacího tlaku na rovný povrch dřeva. V závislosti na směru působení lisovacího tlaku rozlišujeme:

- lisování kolmo na dřevní vlákna
- lisování rovnoběžně s dřevními vlákny
- lisování izostatické - lisovací tlak působí na dřevo rovnoměrně ze všech stran

b) nerovnoměrné:

- kolmo na dřevní vlákna (NIS 2017).

Způsoby lisování podle směru působící síly:

- Jednoosé: síla působí v jednom směru
- Dvousé: síla působí v radiálním a tangenciálním směru
- Prostorové (izostatické): síla působí ze všech stran

(NIS 2017).

Při rovnoměrném lisování je povrch dřeva i lisovacích desek rovný a zhuštění rovnoměrné. Nejčastější směr lisování je kolmo na dřevní vlákna. Tato metoda se využívá při tvarování povrchu některých dílců (sedací nábytek a spojovací elementy). Zároveň se jedná o postup, který vede ke zvýšení hustoty ovlivňující tvrdost a pevnost dřeva. Materiál se zpravidla slisovává asi o jednu třetinu až jednu polovinu původního rozměru. Za tímto účelem se používají dřeva listnatá, nejčastěji dřeva roztroušeně pórovitá (Dejmal 2009).

Mechanické vlastnosti se mění v závislosti na stupni slisování a polohy dřevových prasků. Všechny mechanické vlastnosti se zlepšují se stupněm slisování. V případě, že je lisované dřevo namáháno v rovině lisování na ohyb, vykazuje zvýšenou pevnost na únavu materiálu. Pokud je namáhání na ohyb podélně ve směru lisování, hranolek je slisován v radiálním směru a dosahuje se neobyčejné pružnosti. Při slisování totiž dojde ke slisování letokruhů, především jarních, a ty při působení síly dokážou nabýt původních rozměrů (NIS 2017).

Lisováním rovnoběžně s vlákny se vyrábí tzv. trvale ohýbatelné dřevo též známé pod názvem ohýbací dřevo. Tento modifikační postup upravuje materiál na bázi rostlého dřeva tak, že i po vysušení zůstává trvale tvarovatelný – vede k trvalému zvýšení ohebnosti dřeva. Ohýbací dřevo se využívá při výrobě dveřních rámců, oken, nábytku, vlysů, madel, loketních opěrek, popř. také pro stavbu leteckých modelů, není však vhodné pro venkovní použití. Pro výrobu trvale ohýbatelného dřeva se využívají listnatá dřeva z dubu, buku, javoru a jasanu. Známé jsou produkty BandyWood (Itálie) a CompWood (Německo), (Dejmal 2009).

Izostatickým lisováním se vyrábí materiál Calignum. Jedná se o modifikaci převážně borového dřeva. Lisované dřevo Calignum vyvinuli švédští vědci (Lennart Castwall a Curt Lindhe), kteří tuto technologii patentovali v roce 1993. Celý proces výroby trvá asi tři minuty a probíhá ve třech fázích (lisování; měkčení - ve vakuu; impregnace - po dobu 2-3 sekund je dřevo pod tlakem 120 MPa napouštěno ricinovým olejem). Calignum je kvalitní materiál, používá se na výrobu golfových holí a rámců

strunných nástrojů, ovšem jeho nevýhodou je vysoká cena (Dejmal 2009).

Nerovnoměrné lisování lze provádět v několika variantách (jednostranné, oboustranné). Jedná se o zhuštění dřeva s různým stupněm slisování, a to buď po délce hranolku, nebo po jeho průřezu (podélné, příčné, složité, plošné lisování). Nerovnoměrným lisováním se nahrazují drahé druhy dřev, vzniká nová textura (zvlnění vláken, změny v barevném odstínu) a získáváme tak hranolky s měnícím se hustotním profilem (Dejmal 2009).

Lisovat nerovnoměrně je možné buď ve formě, nebo lisovat již tloušťkově tvarovaný materiál. Lisování ve formě se vyplatí jen ve velkém množství, neboť cena forem je velmi vysoká. Při lisování tloušťkově tvarovaného materiálu se z méně namáhaných míst odebírá část materiálu a v místech, kde se předpokládá větší mechanické zatížení, je tloušťka materiálu větší (Chuchrjanskij, Lehký 1953).

Při nerovnoměrném lisování se mění mechanické a vzhledové vlastnosti. Mechanické vlastnosti jsou v tomto případě závislé na hustotě, přičemž hustota dřeva je ovlivněna stupněm slisování v daném místě. Hustota i mechanické vlastnosti nerovnoměrně lisovaného dřeva nejsou v celém objemu konstantní. Lepšími mechanickými vlastnostmi se dosáhne odlehčení konstrukcí. Vhodným tvarovým opracováním před lisováním lze dosáhnout esteticky zajímavé kresby. Existuje i opačný postup, kdy po slisování materiálu ve tvarové formě následuje nakrájení na dýhy (NIS 2017).

3.4.2. Chemická modifikace

Za účelem chemické metody modifikace dřeva byly ve 20. století využívány syntetické látky s obsahem toxických škodlivin. To se změnilo začátkem 21. století, kdy došlo k návratu používání přírodních látek (sacharidů, pryskyřic, olejů a vosků) v kombinaci s moderními postupy tlakové impregnace (Indurite, Osmose, Natwood, Ecotan), (Dejmal 2009).

Chemickou modifikací dřeva se rozumí zavedení chemické látky bez ochranného efektu do jeho struktury, přičemž tato látka může, ale nemusí chemicky reagovat s komponenty dřeva, avšak v obou případech zlepšuje jeho vlastnosti a **odolnost vůči poškození:**

- při aktivní chemické modifikaci se mění molekulární modifikace dřeva i jeho vlastnosti
- při pasivní chemické modifikaci se vlivem inertních látek zavedených do lumenů nebo do buněčných stěn mění vlastnosti dřeva, avšak beze změny jeho molekulární struktury (Reinprecht 2012).

Dnes se za chemickou modifikaci dřeva podle některých pohledů považuje jen jeho úprava spojená s chemickými reakcemi v buněčných stěnách nebo na jejich povrchu, tj. aktivní modifikace (Hill 2006).

Při aktivní chemické modifikaci je modifikační látka lokalizována v buněčných stěnách a probíhá chemická reakce se stavebními složkami dřeva, hlavně s jejich OH skupinami za vzniku nových kovalentních vazeb.

Mechanismy účinku modifikačních látek lokalizovaných v lumenech (na zlepšení pevnostních a jiných vlastností dřeva, zvýšení jeho odolnosti vůči biologickým a abiotickým poškozením) **se zakládají:**

- na vytvoření bariéry na povrchu buněčných stěn ze strany lumenů, která brání vstupu degradačního činitele (enzym) do buněčných stěn,
- na úplném vyplnění lumenů, když tato výplň brání vstupu degradačního činitele hlouběji do dřeva, přičemž výztužová výplň z termosetů výrazně zlepšuje i pevnost dřeva.

Modifikační látky lokalizované jen v lumenech buněk však nedokážou zlepšit rozměrovou stabilitu dřeva

V současnosti se průmyslově vyrábějí:

- 1/ acetylované dřevo
- 2/ furfurylované dřevo
- 3/ DMDHEU dřevo (Dejmal 2009).

Ve stavebnictví se také uplatňují silikony (při hydrofobizaci povrchů minerálních stavebních materiálů). S prvotním cílem zvýšit hydrofóbnost, rozměrovou stabilitu, odolnost proti poškození požárem a odolnost proti biodegradentům se v posledních letech začala zkoušet efektivita silikonů i při modifikaci dřeva. Potencionálně perspektivní technologií ochrany dřeva se tedy jeví i:

- 4/ chemická modifikace dřeva silikony (Daňková 2014).

1) Modifikace dřeva acetylací

Jedná se o poměrně nový způsob modifikace. Je založen na acetylaci dřeva s nekatalyzovaným acetanhydridem, kdy dochází k esterifikaci volné hydroxylové skupiny v buněčné stěně. Jedná se o jeden z nejprogresivnějších způsobů modifikace. Tímto procesem dostaneme modifikované dřevo stejně v celém průřezu, od jádra až k povrchu. Po procesu acetylace je dřevo mírně nabobtnalé a ve svém průřezu obsahuje méně vláken.

Vlastnosti acetylovaného dřeva:

- acetylované dřevo (TITAN WOOD) má velmi vysokou odolnost proti napadení hmyzem i vůči povětrnostním vlivům a mimořádnou rozměrovou stálost bez významnější ztráty pevnosti nebo tvrdosti. Zajímavou výhodou je i zlepšení akustických a dielektrických vlastností. Nevýhodou je poměrně vysoká cena takto modifikovaného dřeva. Substituce hydroxylových skupin celulózy skupinami acetylovými má za důsledek výrazně zvýšenou barevnou stálost. Pro jeho vysokou trvanlivost je vhodný k použití na exteriérové prvky (vhodové dveře, okna, obklady, zahradní nábytek, dětská hřiště, ploty apod.), (Reinprecht 2012).

2) Modifikace dřeva furfurylací

Jde o tlakovou impregnaci dřeva furfurylalkoholem, který reaguje s OH skupinami v buněčné stěně dřeva. Zde furfurylalkohol polymerizuje do furanových látek, čímž dojde k zasíťování a zpevnění buněčné stěny. Tato modifikace dřeva byla popsána v roce 1960 v USA, a od roku 1970 se zde komerčně využívá.

Vlastnosti furfurylovaného dřeva:

- furfurylované dřevo (VISOR, KEBONY 30, KEBONY 100) má zvýšenou rozměrovou stabilitu, tuhost, tvrdost, odolnost v mořském prostředí a také proti termitům. Jako záporné se jeví snížení ohybového momentu a snížení rázové houževnatosti. Nevýhodou je také jeho tmavší barva (Dejmal 2009).

3) DMDHEU dřevo

Pod názvem Belmadur jej vyrábí firma Basf. Funkční OH skupiny dřeva jsou v něm provázané s reaktivní 1,3-dimetylol-4,5-dihydroxy-etyl-močovinou. Tato látka se

aplikuje do dřeva ve vodním roztoku v množství 10 až 20%. Se složkami dřeva reaguje v přítomnosti vhodného katalyzátoru ($MgCl_2$, $AlCl_3$ a kyselina citrónová) při teplotě 100 až 150 °C.

Vlastnosti DMDHEU dřeva:

- takto modifikované dřevo má mírně sníženou pevnost, ovšem jeho tvrdost se zvyšuje dvojnásobně vzhledem k původnímu dřevu, rozměrově je dostatečně stabilní a výborně odolává hnilobě. Belmadur dřevo se dá v průběhu výroby též vhodně pigmentovat v celém průřezu (Dejmal 2009).

4) Modifikace dřeva silikony

Dřevo je ošetřeno silikonovými disperzemi. U nás probíhá intenzivní výzkum na VŠB TUO - FAST ve spolupráci i s jinými institucemi. Dřevo se zde ošetřuje přípravkem - vodnou disperzí silikonového ochranného prostředku s obchodním názvem „Lukofob 39” (20% kalium - methylosilantriolát a 19% přísad obsahujících KOH), který je primárně určen pro hydrofobizaci povrchů silikátových stavebních materiálů (Daňková 2014).

Vlastnosti dřeva modifikovaného silikony:

- dřevo modifikované komerčním silikonovým produktem „Lukofob 39” vykazovalo vyšší odolnost vůči působení dřevokazných hub *Coniophora puteana*, *Serpula lacrymans* a *Trametes versicolor* než dřevo neošetřené, přičemž jeho odolnost vzrůstala s vyšší koncentrací aplikovaného silikonu. Zjevnější odolnost dřeva vůči ataku plísněmi *Aspergillus niger* a *Penicillium sp.* byla prokázána až při aplikaci koncentrovaného 100% „Lukofobu 39”. Rovněž velmi dobrá účinnost vůči objemovým změnám dřeva (tzn. vyšší než 70%) byla prokázána také při aplikaci 100% „Lukofobu 39” (při jeho aplikaci v 33% koncentraci ASE hodnota účinnosti klesla na cca 35%). Dále byla prokázána stabilizační protipožární a protikorozní účinnost, vodoodpudivost povrchu. Méně významně bylo ovlivněno sorpční chování (Daňková 2014).

5) Modifikace čpavkem

Takto modifikované dřevo je plastifikované a má změněnou barvu - dřevo ztmavne. K této technologii se používá buď kapalný čpavek (čpavková voda) nebo amoniak (čpavek v plynné formě).

Působení amoniaku vede ke změnám rovnovážné vlhkosti. U většiny dřevin dochází ke zvýšení hodnoty bodu nasycení vláken a hygroskopicity. Též dochází k dočasné plastifikaci. Sesychání a bobtnání se po působení amoniaku při změně vlhkosti silně mění, především v závislosti na dřevině. U některých dřevin se neprojeví žádné změny, u některých je rozměrová stálost snížena a u jiných naopak zvýšená. Nejčastěji amoniak způsobuje zvýšení rozměrové stálosti v radiálním směru a její snížení ve směru tangenciálním. Tyto změny jsou vysvětlovány dočasnou ztrátou funkce rozměrové stabilizace ligninu. Nárůst počtu OH skupin po odpaření vázaného amoniaku vede k rozsáhlejším možnostem vázání vody, a tím i bobtnání.

- Kapalný čpavek působí jako plastifikátor, termodynamicky je aktivnější než voda i ostatní rozpouštědla, je schopen uvolňovat vodíkové můstky mezi makromolekulami dřevní hmoty a proniknout do krystalické mřížky celulózy. Kapalný čpavek za nepřítomnosti vody vytváří velmi málo nevratných změn v chemickém složení dřevní hmoty. Plastifikace působením kapalného čpavku probíhá na úrovni uvolňování vodíkových můstků mezi makromolekulami. Po odstranění čpavku se tyto můstky obnovují. To dokazuje i fakt, že dřevní hmota ve změněném tvaru se chová, jako by takto narostla (Dejmal 2009).

Vlastnosti dřeva modifikovaného čpavkem

- dřevní hmota při čpavkování bez ohledu na to, v jaké formě byl čpavek použit, bobtná více než při máčení ve vodě a též se více sesychá (smršťuje se) po odstranění čpavku. Větší sesychání vzniká prohnutím plastifikované buněčné stěny směrem dovnitř lumenu buňky. U běžných listnatých dřevin (buk, bříza) smrštění činí podle podmínek 18 až 32%, u jehličnatých dřevin je menší, a to 12 až 18%. U velmi lehkých listnatých dřevin, jako např. balsa, smrštění dosahuje až 60%. Tento typ smrštění se nazývá chemické zhuštění
- Pozorované změny hustoty jsou v rozmezí přirozeného kolísání.
- změny chemického složení dřeva neovlivňují celkovou hustotu dřeva. Skutečnost, že hustota není ovlivněna ošetřením dřeva amoniakem, signalizuje,

že mechanické vlastnosti také zůstanou ve svém přirozeném rozsahu (Dejmal 2009).

3.4.3. Mikrovlnná modifikace

Podstatou této metody je proces, kdy je dřevo ohříváno mikrovlnným zářením o kmitočtu 2450 MHz (Dejmal 2009).

Výhodou tohoto ohřevu je prohřívání dřeva mikrovlnami v celém jeho průřezu. Schopnost dřeva vést mikrovlny stoupá s jeho vlhkostí, přičemž pro vedení mikrovln je ideální vlhkost dřeva nad 35%, neboť vlhkost ve dřevě mikrovlnnou energii dobře absorbuje. Metoda se uplatňuje obzvláště u tvrdých dřevin, jejichž propustnost je velmi nízká. Účelem mikrovlnné modifikace je tedy propustnost dřeva zvýšit (např. pro následnou impregnaci), (Novotný, 2014).

Rychle zahříváná voda ve dřevě (díky působení mikrovlnného ohřevu) se mění v páru. Vlivem působení tohoto ohřevu lze do hloubky několika centimetrů změnit strukturu dřeňových paprsků ve dřevě. Velmi rychlý nárůst tlaku v dřevních buňkách a strukturách poruší všechna slabší místa – tečky, dvojtečky a parenchymatické buňky, které jsou součástí dřeňových paprsků. V důsledku toho se zvýší propustnost v příčném směru. Pokud se hodnoty mikrovlnné energie zvýší, vzroste zároveň i tlak par, a to natolik, že se vytvářejí mikro i makroskopické trhlinky (ve směru podélném i radiálním). Tím se zvýší propustnost v podélném směru.

Mikrovlnnou modifikaci lze provádět na třech úrovních (nízká, mírná a vysoká). Při nízké míře úpravy se propustnost dřeva zvýší 1,1 – 1,5 krát, přičemž se vlastnosti dřeva příliš nemění. Úprava na mírném stupni zvýší propustnost asi tisíckrát a mechanické i fyzikální vlastnosti se mění. (NIS 2017).

Milionkrát zvětšíme propustnost při vysokém stupni modifikace. Dřevo se mění na vysoce porézní materiál a jeho vlastnosti mechanické i fyzikální jsou hodně změněné. Tímto způsobem upravené dřevo se nazývá Torgvin (používá se pro výrobu materiálu Vintorg), (Torgovnikov a Vinden 2009).

3.4.4. Termická modifikace

Termická modifikace dřeva je záměrný technologický proces úpravy struktury dřeva. Principem tohoto procesu je pozitivně ovlivnit odolnost dřeva vůči vodě a

biologickým škůdcům a eliminovat rozměrové změny dřeva zvýšením teploty, a to bez použití klasických chemických impregnačních prostředků (Reinprecht 2012).

První technologie pro tepelné zpracování dřeva byla vyvinuta již po roce 1946 (Dejmal 2009). V Madisoně v USA se vypracovala technologie na úpravu tepelně modifikovaného dřeva Staybwood (Reinprecht a Vidholdová 2008). Vědci Stamm a Hansen technologii patentovali, ovšem do praxe nebyla zavedena. Materiál Staybwood se vyznačoval vysokou rozměrovou stabilitou. V dalších letech sledoval výzkum tepelně upraveného dřeva (různých druhů) při odlišných teplotách a časech jednak průběh chemických změn a jednak vliv této úpravy na fyzikální a mechanické vlastnosti i odolnost zkoumaného dřeva. Důležitým hlediskem byla i zdravotní nezávadnost materiálu. Od laboratorního zkoumání různých postupů k jejich realizaci se přešlo na sklonku 20. století, kdy se na trhu objevilo množství materiálů na bázi tepelně upraveného dřeva (Dejmal 2009).

Termicky modifikovat lze všechny druhy dřev, ale na výrobu termodřeva se v praxi spíše používají netrvanlivé a méně trvanlivé druhy dřeva - např. smrk, borovice, buk, bříza, osika a jasan (Reinprecht, 2012).

Chemické složení dřeva (celulóza, hemicelulóza a lignin) předpokládá malou odolnost dřeva vůči působení enzymů dřevokazných hub a hmyzu. Zároveň je dřevo materiál hygroskopický s tendencí přijímat vlhkost. Zvyšováním teploty dřeva přibližně od 180 °C do 260 °C v bezkyslíkaté atmosféře dochází k jeho postupné hydrolýze (Dejmal 2009).

Pokud má dřevo teplotu nižší než 140 °C, je vliv na užité vlastnosti nízký. Při teplotách nad 300 °C dřevo degraduje a užité vlastnosti ztrácí (Hill 2006).

Aby nedošlo ke vznícení dřeva, je třeba tepelnou úpravu dřeva provádět buď ve vakuu, v dusíku nebo v páře či oleji. Důsledkem termické modifikace dřeva je řada pozitiv (nižší rovnovážná vlhkost, snížení hmotnosti – hustoty, snížení deformace, lepší rozměrová stabilita – redukováné sesychání a bobtnání, vyšší odolnost proti plísni, hnilobám a dřevokaznému hmyzu a též vysoká životnost). Tepelná úprava dřeva má i své nevýhody. Sníží se pevnost dřeva (zejména v ohybu), ze struktury vypadávají suky, vypaří se pryskyřice a dřevo změní svou barvu (po úpravě má tmavší odstín), (Dejmal 2009).

Jednotlivé úrovně modifikace lze volit podle požadavků konkrétního užití. Termicky modifikované dřevo je díky své vysoké trvanlivosti nejčastěji aplikováno do vnějších konstrukcí - jako jsou obklady stěn a prefabrikovaných stěnových prvků,

terasové podlahy, zahradní nábytek, okenní rámy, dveře, dětská hřiště, protihlukové stěny a další venkovní konstrukce, které jsou vystaveny působení vody. Vzhledem ke snížené pevnosti termodřeva se nepoužívá do nosných konstrukcí. V interiéru je tepelně modifikované dřevo vysoce účelové – hodí se na parkety, stěnové panely, kuchyňské linky a sauny. Je vhodný pro zhotovení nábytku, účelových doplňků i dekorace (Thermowood Handbook 2003).

3.5. Technologie termické modifikace

Termodřevo se vyrábí různými technologiemi. Podle Reinprechta a Vidholdové 2008 se technologie dělí podle prostředí, ve kterém se tepelná úprava dřeva realizuje:

- v prostředí vodní páry (PlatoWood, Holandsko)
- v olejích (OHT-Wood, RoyalWood, Německo)
- v prostředí inertních plynů (RetificatedWood, Francie)
- za použití teplé páry a oleje (WTT, Dánsko)
- v atmosféře vzduchu (ThermoWood – LunaWood, Finsko)

V souvislosti s používanými technologiemi se v Evropě ujaly i tyto obchodní názvy: ve Finsku ThermoWood - LunaWood, v Holandsku PlatoWood (Providing Lasting Advanced Timber), v Německu OHT - Oil Heat Treatment Wood - Menz Holz, ve Francii Bois Perdure a RetiWood, Procédé de retification (NOW - New Option Wood), v Dánsku WTT, Iwotech, v Rakousku Huber Holz - Thermoholz (THA), ve Švýcarsku Intemporis. (Kačíková a Kačík, 2011).

Na americkém kontinentu se tepelné úpravě dřeva věnují v Kanadě (Québec), odkud pochází obchodní název Technologie Perdure (BCI - MBS).

Termická modifikace v atmosféře vzduchu se zvlhčováním ThermoWood

Tento výrobní proces patentoval Viitaniemi a je pravděpodobně nejúspěšnější v Evropě. V současnosti je nejrozšířenější a nejprodávanější i v naší republice. Thermowood se vyrábí ve dvou úpravách: Thermo-S (pro použití v interiéru) a Thermo-D (pro použití v exteriéru).

Výroba termicky upraveného dřeva Thermowood probíhá ve třech fázích. V současnosti se termicky upravuje dřevo jehličnatých (smrk, borovice) i listnatých (bříza, osika, olše) dřevin.

V první fázi se rychle zvyšuje teplota na 100 °C za pomoci vodní páry, poté se teplota pozvolně zvyšuje až na 130 °C. Dřevo se tímto postupem vysouší až na přibližně nulovou vlhkost. Doba trvání této fáze závisí na rozměrech upravovaného dřeva, druhu vysoušené dřeviny a na hodnotě počáteční vlhkosti. Tato fáze je z celého procesu nejdelší.

Ve druhé fázi dochází k samotné modifikaci, kdy se na 2 až 3 hodiny zvyšuje teplota na 185 °C - 230 °C. Teplota a čas působení jsou rozdílné v závislosti na tom, zda jde o výrobu Thermo-S nebo Thermo-D.

V poslední fázi dochází k postupnému ochlazení. Při teplotě zhruba 80 °C probíhá úprava vlhkosti na konečnou hodnotu 4 - 7% (Reinprecht a Vidholdová 2008).

Termická modifikace v prostředí vodní páry PlatoWood

Dřevo je postupně upravováno v následujících krocích:

- nejprve se ve vlhkém prostředí vystavuje dřevo teplotě 160 °C - 190 °C po dobu 4 - 5 hodin při zvýšeném tlaku - termolýza,
 - dále se dřevo vysouší konvekčním způsobem na vlhkost 10%,
 - pak se dřevo znovu zahřívá na 170 °C - 190 °C po dobu 14 - 16 hodin, bez přítomnosti vlhkosti,
 - nakonec se dřevo kondicionuje na běžnou vlhkost
- (Dejmal 2009).

Termická modifikace v olejích OHT-Wood:

- využívá se prostředí olejové lázně - lněný olej,
 - čerstvé dřevo je zahříváno na teplotu 180 °C -200 °C po dobu 2 - 4 hodin,
 - celkově tento proces trvá až 18 hodin, včetně chladnutí
- (Dejmal 2009).

Termická modifikace v oleji při současném vakuu Royal Process:

- teploty jsou relativně nízké (60 °C - 90 °C),
- na rozdíl od klasické tepelné úpravy v oleji je materiál impregnován i do hloubky,
- dřevo je současně sušeno, impregnováno a tepelně upraveno.

Termická modifikace v prostředí inertních plynů RetiWood, NOW:

- používá se suché dřevo o přibližné vlhkosti 12%,
- dřevo se v atmosféře dusíku zahřívá na 200 °C - 240 °C (méně než 2% kyslíku),
- působením vysokých teplot dochází ke strukturálním změnám dřeva – retifikaci (Dejmal 2009).

Termická modifikace v inertní parní atmosféře Thermoholz:

- tento proces ohřevu je speciálně vyvinutý pro listnatá dřeva,
- ohřev probíhá při mírně zvýšeném tlaku prostředí, uvnitř hermeticky uzavřené komory (Dejmal 2009).

Termická modifikace v teplé páře za použití oleje WTT:

- zušlechťování dřeva probíhá poměrně krátkou dobu (12 až 24 hodin) při 160 °C - 180 °C za použití teplé páry, s případným použitím oleje,
- takto upravené dřevo lze do jisté míry použít i pro nosné účely, protože je upravováno poměrně nízkými teplotami, které nezpůsobují velkou ztrátu pevnosti (Klaas 2017).

Termická modifikace částečnou pyrolýzou v parní atmosféře Perdure:

- používá se surové dřevo,
- následuje rychlý proces sušení a zahřívání parou na 200 °C - 240 °C (Dejmal 2009).

3.6. Ochrana dřeva před hořením

3.6.1. Požární odolnost dřeva, materiálů na bázi dřeva a stavebních konstrukcí

Požární odolnost je schopnost stavební konstrukce odolávat teplotám vznikajícím při požáru, aniž by došlo k porušení její funkce, tj. ztrátě nosnosti, stability, porušení celistvosti nebo překročení mezních teplot (VVÚD Praha 2005). Požární odolnost dřevěné konstrukce se dosud nepodařilo prodloužit o více jak 10-15 minut.

Rozsah použití přírodního dřeva a materiálů na bázi dřeva omezuje jeho snadná zápalnost a hořlavost. Proti působení ohně a sálového tepla lze dřevo dnes již poměrně úspěšně chránit. Zapálení dřeva oddálíme snížením jeho vznětlivosti. Hořlavost dřeva snížíme vhodným ochranným prostředkem, a to až o dva stupně (lze tedy dosáhnout třídy hořlavosti B). Dřevo lze také chránit významným zpomalením rychlosti šíření plamene po povrchu dřeva (VVÚD Praha 2005).

Stupeň hořlavosti dřeva a materiálů na jeho bázi ovlivňují tyto faktory:

- chemická skladba dřeva (50% C, 42% O, 5% H)
- druh dřeva – jeho vnitřní struktura (pórovitost, hustota, podíl jarního a letního dřeva, podíl jednotlivých typů buněk dřeva, tepelná vodivost, apod.)
- geometrie konstrukce dřeva (velikost, tvar, poměr povrchové plochy vůči objemu, drsnost povrchu trhliny)
- požárně technické vlastnosti pomocných látek (lepidel, retardérů hoření, nátěrových hmot, atd.), pokud jsou přítomny
- parametry okolní atmosféry (teplota, rychlost proudění a skladba vzduchu), vlhkost dřeva a relativní vlhkost vzduchu

Snížit vznětlivost a hořlavost dřeva a zpomalit rychlost jeho hoření je možné následujícími způsoby:

- ochranou dřeva před zahřáním na vyšší teplotu:
- ❖ obalem, který vytvoříme z inertních tepelně izolujících hmot (obložením nehořlavými hmotami s nízkou tepelnou vodivostí - pískem, škvárou, popelem, štěrkem; omítnutím vápennou maltou nebo obalením minerální plstí – skelnou vatou)

- ❖ pomocí zpěnitelných nátěrových hmot (jejich princip spočívá ve vytvoření vrstvy nehořlavé tepelně izolující pěny na povrchu hořlavého předmětu v případě zvýšené teploty); z konstrukčního či estetického hlediska však není tento způsob použitelný ve všech případech a jeho nevýhodou je riziko odpadnutí ochranné vrstvy od podkladu (buď poškozením, nebo časem)
 - zředěním vznikajících hořlavých plynů (do míry jejich nezápalnosti) a při hoření zabránit přístupu kyslíku ke dřevu – zředění lze docílit nátěry dřeva chemickými látkami (amonné soli – fosforečnany, síran, halogenidy, boritany; a pak sloučeniny obsahující krystalickou vodu – např.: soda, borax, chlorid vápenatý). Tyto látky se za zvýšené teploty rozkládají na několik jednodušších plynných sloučenin. Jsou nehořlavé, unikají na povrch dřeva spolu s pyrolyzními plyny a zředují je natolik, že nemohou vznikat zápalné a hořlavé směsi.
 - podpořením tvorby zuhelnatělé izolační vrstvy a zamezením žnutí vzniklého dřevěného uhlí. Zuhelnatělá povrchová vrstva dřeva zpomaluje postup hoření. Rychlost tvorby dřevěného uhlí podporují látky, které mají kyselou reakci a obsahují volné anorganické kyseliny nebo kyselé soli. Volné anhydridy kyselin vznikají až při rozkladu těchto látek teplem (VVÚD Praha 2005).

3.6.2. Historie přípravků na zvýšení požární odolnosti

Již ve starověku se lidé snažili využívat tehdy dostupné prostředky za účelem ochrany svých staveb proti ohni. Jednoduché přípravky na zvýšení požární odolnosti dřevěných konstrukcí používali již staří Řekové - dřevo namáčeli v roztocích soli, vodním skle či jej impregnovali vápennými vodnými roztoky.

Ve středověku se začala používat povrchová úprava dřevěných konstrukcí pomocí nátěrů na bázi organických látek (impregnace dřeva volskou krví). Princip opatření spočíval v tom, že pyrolýzou uvedených nátěrů docházelo k uvolňování dusíku. Tyto úpravy se prováděly hlavně na krovech významných staveb (kostely, zámky, atd.). Bohužel tyto úpravy neměly žádný podstatný vliv ani dostatečnou účinnost (Kafková 2017).

V 19. století se na ochranu dřeva proti požáru začaly používat amonné soli kyseliny fosforečné (Movychem 2017). Během II. světové války se krovy povinně natíraly přípravkem na bázi obarveného vodního skla - Betogenem D55, jehož

funkčnost spočívala v ochraně před nálety. Tyto protipožární nátěrové hmoty však neměly potřebnou kvalitu – hlavně co se týče nedostatečné přilnavosti k podkladu, praskavosti po vysušení a nevyhovovaly ani po stránce estetické (Kupilík 2007).

3.6.3. Současné přípravky na zvýšení požární odolnosti

Dřevo je organická hmota složená převážně z uhlíku (50%), kyslíku (42%) a vodíku (5%). Pokud hodnotíme požární riziko, jsou v případě dřevěných materiálů splněny vždy první dvě ze tří základních podmínek pro vznik hoření a požáru (přítomnost hořlaviny, přítomnost kyslíku a dostatečná zápalná hodnota).

Dnešní moderní technologie nám umožňují chránit dřevo proti působení ohně různými způsoby. Základní rozdělení přípravků na zvýšení požární odolnosti dřeva závisí na jednotlivých způsobech jeho ochrany – konstrukční, chemické a přírodní (Potůček 2015).

3.6.4. Konstrukční ochrana dřeva proti ohni

Dřeva proti ohni spočívá v obložení nebo zasypání dřeva nehořlavými hmotami. Dřevo můžeme obalit čedičovou nebo skelnou vatou. Konstrukční ochranou může být i omítnutí vápennou maltou. Tento způsob ochrany je poměrně účinný, ovšem jeho nevýhodou je ztráta estetičnosti dřeva, zvětšení rozměrů dřevěného prvku a hlavně možnost odpadnutí od ochranné vrstvy podkladu. K odpadnutí může dojít mechanickým poškozením, stárnutím materiálu nebo až při vlastním požáru. U dřevěných nosných prvků můžeme však zlepšit jejich požární odolnost pouhým navržením většího průřezu (Potůček 2015).

3.6.5. Chemická ochrana dřeva proti ohni

Dřevo můžeme ochránit různými nátěry či postřiky. Tyto nátěry či postřiky pak označujeme jako retardéry hoření (Potůček 2015).

Retardéry jsou chemické látky, které mají za úkol svým chemickým a fyzikálním nebo kombinovaným způsobem zpomalovat hoření, chránit dřevo proti působení ohně a sálavého tepla. Nejdůležitější funkcí retardérů hoření je snížit hořlavost, oddálit jeho zapálení, a výrazně zpomalit rychlost šíření plamene (požáru) po jeho povrchu (Potůček 2015).

3.7. Požární testování

3.7.1. Všeobecný přehled požárního testování

Požární testování je úzce spjata se zkoumáním hoření, s rozvojem materiálů a jejich následujícími protipožárními úpravami (Krajčovičová a kol. 2008). Výsledkem požárního testování je roztřídění materiálů do jednotlivých skupin a hodnocení stupně požární odolnosti při použití protipožárních úprav. Hlavním kritériem při hodnocení protipožárních úprav je zvýšení požární odolnosti. Výsledky zkoušek jsou základem srovnávání účinnosti a kvality jednotlivých provedených protipožárních úprav (Osvald 2017).

Z hlediska hořlavosti dělíme materiály na hořlavé a nehořlavé. Jedná se o základní test materiálu, jehož podmínky jsou určeny národními normami (Osvald 2017). Základy vědeckého testování požární odolnosti spadají do začátku 19. století.

K prvním metodám testování požární odolnosti patří metoda Genal-Kopytkovského. Lze ji deklarovat jako metodu zápalnosti a hořlavosti a byla určena pro materiály do tloušťky 5 mm. Zkoušely se na ní vzorky o rozměrech 100x200 mm. Podstata metody spočívá v umístění zkušební tělesa pod úhlem 45°. Pod zkušební těleso se doprostřed umístí nádobka s 2 ml etanolu, a to ve vzdálenosti 25 mm. Poté dojde k zapálení etanolu. Hodnotícími kritérii jsou úbytek hmotnosti, čas potřebný ke vzplanutí vzorku a čas samovolného hoření po vyhoření etanolu.

Mezi další metody, které v minulosti našly uplatnění při testování požární odolnosti, patří metoda zkoušení laťkovým komínem, švédská metoda dle Schlittera a metoda Truax- Harrisonova. Metoda Truax - Harrisonova se stala základem i v normě ČSN 49 0608 (1963), (Krajčovičová a kol. 2008). Při praktickém používání testů se zjistilo, že důležitým předpokladem pro širší uznání a zavedení zkušební metody je často její jednoduchost, reprodukovatelnost, objektivnost a také nenáročnost zkušební aparatury (Kačíková 2010).

Spolu s rozvojem všech oborů lidské činnosti si některé rezorty (nábytkáři, stavaři, apod.) vytvářely vlastní testovací metody platné pouze v rámci jejich oboru. Vznikalo tak mnoho metod a ještě větší množství výsledků testování, ve kterých bylo velmi těžké se zorientovat (Osvald 2017). V tuzemsku byly uceleně popsány testy požární odolnosti až v ČSN. V roce 1963 vznikla jedna z prvních norem věnujících se požární odolnosti, již výše zmíněná, ČSN 49 0608 (1963), jež měla základ v Truax-

Harrisonově metodě. Následovala norma ČSN 73 0853 (1970), která se zabývala stanovením hořlavosti pevných materiálů. Tuto zkušební metodu poté nahradily zkušební testy uvedené:

- v ČSN 73 0861 (1979), která již sama o sobě není platná; byla revidována a od roku 2010 je zahrnuta v **ČSN EN 1182** (2010)

- v ČSN ISO 73 0862 z roku 1981 vznikla za účelem konkrétního zatřídění pevných materiálů (stavebních hmot) do jednotlivých stupňů hořlavosti (A, B, C1, C2, C3). Názvosloví těchto stupňů bylo převzato z dříve platné ČSN 73 0853 z roku 1970 - stupeň A (materiály nehořlavé), stupeň B (materiály těžce hořlavé) a stupně C1, C2 a C3 (materiály hořlavé těžce, lehce a středně). K ukončení použitelnosti výsledků zkoušek stupně hořlavosti podle ČSN 73 0862 (2010) a hodnot stupňů hořlavosti stavebních hmot uvedených v ČSN 73 0823 (1983) došlo 31.12.2007 (Kačíková a kol. 2010).

V oblasti požárního testování v naší republice byla další normou norma na stanovení parametrů vznětlivosti materiálu, ČSN 64 0149 z roku 1978. Tato metoda vychází z tzv. Setchkinova testu - stanovuje vznětlivost a určuje minimální teploty vzplanutí. Norma je dosud platná (Kačíková a kol. 2010).

Účinnost protipožárních nátěrů sledovala ČSN 49 0682 z roku 1987. Tato metoda vycházela z mezinárodního doporučení ST SEV 4686-84, ale v současnosti je již neplatná (Kačíková a kol. 2010).

3.7.2. Současné normy v oblasti požárního testování

Normy uvedené v předchozí kapitole se používaly pouze v Československu a následně v České republice. Stejně tak měl svoje normy a metody v oblasti požárního zkušebnictví každý jiný stát. Vzhledem k rozdílnosti těchto metod nebylo možné porovnávat výsledky mezi jednotlivými normami (Krajčovičová a kol. 2008).

Uzavřením asociační dohody se ČR zavázala přebírat do národní soustavy normy evropské a rušit konfliktní ustanovení norem národních. Současně se ČR zavázala přijímat navazující normy mezinárodní a tvorbu národních norem omezit na nezbytné minimum (Potůček 2015).

S hodnocením požární odolnosti stavebních výrobků souvisí i Směrnice Rady ES č.89/106 EEC. V souladu s ní je vydán i současný stavební zákon, který mimo jiné

mezi základní požadavky na stavby uvádí i jejich požární bezpečnost. Vyhodnocení požární bezpečnosti staveb totiž zohledňuje i požární odolnost výrobků použitých pro stavbu. Výrobky, jež mají rozhodující význam pro výslednou kvalitu stavby, musí být ověřeny z hlediska požární bezpečnosti podle zákona 22/1997Sb., (Noori 2006).

Vysvětlením všech pojmů, týkajících se požární problematiky se zabývá norma ČSN-EN-ISO-13943 (2011). Obsahem této normy je vlastně slovník. Termín hořlavost v něm ovšem není uveden, resp. není definován ani jako mechanická či fyzikální veličina, a to i přesto, že se jedná o důležitý pojem. Je zde definován pouze termín hoření ve smyslu exotermické reakce látky s oxidovadlem. Tento slovník nám pouze vysvětluje chování látek při hoření - při fyzikálních nebo chemických změnách, k nimž došlo vystavením předmětu stanovenému zdroji vznícení.

Norma ČSN-EN-13501-1 (2003) Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň

Jejím cílem je klasifikovat jednotlivé stavební výrobky v reakci na oheň. Norma obsahuje podrobný postup roztřídění stavebních výrobků do skupin v závislosti na jejich reakci na oheň. K dispozici je 7 skupin A1, A2, B, C, D, E, F. Do skupiny A1 patří výrobky, které nepřispívají k šíření požárů v žádné jeho fázi.

Do dalších skupin se postupně zařazují výrobky s nižší požární odolností, přičemž skupina F obsahuje výrobky, u nichž nebyla zjištěna žádná požární odolnost, nebo nebyly podle této normy vůbec klasifikovány.

Uvedená norma umožňuje každou skupinu klasifikovat ještě doplňkově. Jedná se o doplňkovou klasifikaci, která hodnotí buď tvorbu kouře (skupiny s1-s3) nebo vznik plamenně hořících kapek neboli částic (skupiny d0-d2).

Norma ČSN EN 13501-1 z roku 2003 určuje 4 zkoušky, které jsou konkrétně popsány v uvedených normách:

- **ČSN EN ISO 1182 (2010) - Zkouška nehořlavosti**

Pomocí této zkoušky jsou určovány výrobky, které k požáru nebudou přispívat nebo k němu budou přispívat pouze nevýznamně, a to bez ohledu na způsob jejich konečného použití. Zkouška se využívá pro klasifikaci stavebních výrobků do tříd A1, A2 (ČSN EN ISO 1182, 2010).

- **ČSN EN 13823 (2010) - Zkouška jednotlivým hořícím předmětem SBI**

Touto zkouškou se hodnotí příspěvek výrobku k rozvoji požáru, pokud je tento vystaven tepelnému účinku odpovídajícímu jednotlivému hořícímu předmětu umístěnému v rohu místnosti v blízkosti zkoušeného výrobku. Zkouška se využívá pro klasifikaci do tříd A2, B, C a D (ČSN EN 13823 2010)

- **ČSN EN ISO 11925-2 (2011)- Zkouška zápalnosti**

Zkouškou zápalnosti se stanoví zápalnost výrobku vystaveného působení malého plamene. Zkouška se využívá pro klasifikaci do tříd B, C a D, E (ČSN EN ISO 11925-2, 2011).

- **ČSN EN ISO 1716 (2010)- Stanovení spalného tepla**

Zde se stanoví maximální množství tepla uvolněného při úplném shoření výrobku, a to bez ohledu na způsob jeho konečného použití (ČSN EN ISO 1716, 2010).

Podle výsledků zkoušek jednotlivých materiálů pak probíhá samotné zatřídění do konkrétních skupin (Potůček 2015).

Tab. 1 - Třídy reakce stavebních výrobků na oheň mimo podlahových krytin

Třída	Zkušební metoda	Klasifikační kritéria	Doplňková klasifikace
A1	ČSN EN ISO 1182 ⁽¹⁾	$\Delta T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$	-
		$\Delta m \leq 50 \text{ } \%$	
		$t_f = 0$	
	ČSN EN ISO 1716	$PSC \leq 2,0 \text{ MJ.kg}^{-1} \text{ }^{(1)}$	-
$PSC \leq 2,0 \text{ MJ.kg}^{-1} \text{ }^{(2) (2a)}$			
$PSC \leq 2,0 \text{ MJ.kg}^{-1} \text{ }^{(3)}$			
$PSC \leq 2,0 \text{ MJ.kg}^{-1} \text{ }^{(4)}$			
A2	ČSN EN ISO 1182 ⁽¹⁾	$\Delta T \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$	-
		$\Delta m \leq 50 \text{ } \%$	
		$t_f = 20$	
	ČSN EN ISO 1716	$PSC \leq 3,0 \text{ MJ.kg}^{-1} \text{ }^{(1)}$	-
		$PSC \leq 4,0 \text{ MJ.kg}^{-1} \text{ }^{(2)}$	
		$PSC \leq 4,0 \text{ MJ.kg}^{-1} \text{ }^{(3)}$	
		$PSC \leq 3,0 \text{ MJ.kg}^{-1} \text{ }^{(4)}$	
	ČSN EN 13823	$FIGRA \leq 120 \text{ W.s}^{-1}$	tvorba dýmu ⁽⁵⁾ hořící kapky/částice ⁽⁶⁾
LFS < okraj vzorku			
$THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$			
B	ČSN EN 13823	$FIGRA \leq 120 \text{ W.s}^{-1}$	tvorba dýmu ⁽⁵⁾ hořící kapky/částice ⁽⁶⁾
		LFS < okraj vzorku	
		$THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$	
	ČSN EN ISO 11925-2 ⁽⁷⁾ expozice = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm za } 60 \text{ s}$	
C	ČSN EN 13823	$FIGRA \leq 250 \text{ W.s}^{-1}$	tvorba dýmu ⁽⁵⁾ hořící kapky/částice ⁽⁶⁾
		LFS < okraj vzorku	
		$THR_{600s} \leq 15 \text{ MJ}$	
	ČSN EN ISO 11925-2 ⁽⁷⁾ expozice = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm za } 60 \text{ s}$	
D	ČSN EN 13823	$FIGRA \leq 750 \text{ W.s}^{-1}$	tvorba dýmu ⁽⁵⁾ hořící kapky/částice ⁽⁶⁾
	ČSN EN ISO 11925-2 ⁽⁷⁾ expozice = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm za } 60 \text{ s}$	
E	ČSN EN ISO 11925-2 ⁽⁷⁾ expozice = 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm za } 20 \text{ s}$	hořící kapky/částice ⁽⁶⁾
F	nedefinováno		

Vysvětlivky k tabulce 1

⁽¹⁾ Pro homogenní - stejnorodé výrobky a významné prvky nehomogenních – nestejnorodých výrobků.

⁽²⁾ Pro každý vnější nevýznamný prvek nestejnorodých výrobků.

(^{2a}) Alternativně, každý vnější nevýznamný prvek mající PCS $2,0 \text{ MJm}^{-2}$, za předpokladu, že výrobek splňuje následující kritéria EN 13823: FIGRA $20 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$ a LFS okraj zkušební vzorku a $\text{THR}_{600\text{s}} \leq 4,0 \text{ MJ}$ a s_1 a d_0 .

(³) Pro každý vnitřní nevýznamný prvek nesterodných výrobků.

(⁴) Pro výrobek jako celek.

(⁵) V poslední fázi vývoje zkušební metody se zavedly změny systému měření dýmu, jejichž účinek si vyžaduje další zkoumání. To může vést ke změnám hraničních hodnot nebo parametrů na zjišťování tvorby dýmu. $s_1 = \text{SMOGRA } 30 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ a $\text{TSP}_{600\text{s}} \leq 50 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ = $\text{SMOGRA } 180 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ a $\text{TSP}_{600\text{s}} 200 \text{ m}^2$. $s_3 =$ nesplňuje s_1 nebo s_2 .

(⁶) $d_0 =$ žádné hořící kapky/částice při zkoušce podle EN 13823 po dobu 600s

$d_1 =$ žádné hořící kapky/částice přetrvávající déle než 10 s při EN 13823 po dobu 600 s

$d_2 =$ nesplňuje d_0 nebo d_1 .

(⁷) V podmínkách vystavení povrchu vzorku plamene, a pokud je to vhodné, z hlediska konečného používání i vystavení hrany vzorku plameni.

(Krajčovičová a kol. 2008)

Klasifikační kritéria pro stavební výrobky mimo podlahových krytin

Třída A1

- Homogenní výrobky, výrobek musí splňovat všechna následující kritéria:

a) ČSN EN ISO 1716 - PCS $\leq 2,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

b) ČSN EN ISO 1182 - DT $\leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$, Dm $\leq 50 \%$, $t_f \leq 0 \text{ s}$

- Pro nehomogenní výrobky - každý významný prvek musí splňovat následující kritéria:

a) ČSN EN ISO 1716 - PCS $\leq 2,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

b) ČSN EN ISO 1182 - DT $\leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$, Dm $\leq 50 \%$, $t_f \leq 0 \text{ s}$

Každý vnější nevýznamný prvek musí splňovat následující kritéria:

ČSN EN ISO 1716 PCS $\leq 2,0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, anebo PCS $\leq 2,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,

FIGRA (=FIGRA_{0,2MJ}) $\leq 20 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$, $\text{THR}_{600\text{s}} \leq 4,0 \text{ MJ}$, LFS < po okraj

Každý vnitřní nevýznamný prvek musí splňovat následující kritéria:

$$\text{ČSN EN ISO 1716 PCS} \leq 1,4 \text{ MJ.m}^{-2}$$

Výrobek jako celek musí splňovat následující kritéria:

$$\text{ČSN EN ISO 1716 PCS} \leq 2,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$$

Doplňkové klasifikace *s1*, *s2*, *s3* pro tvorbu dýmu

- výrobky klasifikované jako A2, B, C, D získávají doplňující klasifikaci *s1*, *s2* nebo *s3* s ohledem na tvorbu dýmu

s1 - výrobek musí splňovat všechna následující kritéria:

$$\text{SMOGRA} \leq 30 \text{ m}^2.\text{s}^{-2}$$

$$\text{TSP}_{600\text{s}} \leq 50,0 \text{ m}^2$$

s2 - výrobek musí splňovat všechna následující kritéria:

$$\text{SMOGRA} \leq 180 \text{ m}^2.\text{s}^{-2}$$

$$\text{TSP}_{600\text{s}} \leq 200,0 \text{ m}^2$$

s3 - výrobky, pro něž nejsou určeny požadavky na reakci, nebo výrobky, které nesplňují požadavky pro *s1* a *s2*

Doplňkové klasifikace *d0*, *d1*, *d2* pro hořící kapky nebo částice

výrobky klasifikované jako A2, B, C, D získávají doplňující klasifikaci *d0*, *d1* nebo *d2* s ohledem na tvorbu hořících kapek nebo částic takto:

d0 – když se při zkoušce podle ČSN EN 13823 po dobu 600 s neobjeví žádné hořící kapky/částice

d1 - když se při zkoušce podle ČSN EN 13823 po dobu 600 s neobjeví žádné hořící kapky/částice, jejichž hoření přetrvává déle než 10 s

d2 - když nejsou určeny žádné požadavky na reakci nebo když výrobek buď nevyhovuje určeným klasifikačním požadavkům pro *d0* a *d1* nebo když zapálí papír při zkoušce zápalnosti (ČSN EN ISO 11925-2).

Třída A2

Každý výrobek pro třídu A2 zkoušený podle ČSN EN 13823 musí splňovat stejná kritéria pro homogenní výrobky:

a) ČSN EN ISO 1716 - $\text{PCS} \leq 3,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$

b) ČSN EN ISO 1182 - $\text{DT} \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{Dm} \leq 50 \text{ \%}$, $t_f \leq 20 \text{ s}$

Pro nehomogenní výrobky - každý významný prvek musí splňovat následující kritéria:

- a) ČSN EN ISO 1716 - PCS $\leq 3,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$
- b) ČSN EN ISO 1182 - DT $\leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$, Dm $\leq 50 \%$, $t_f \leq 20 \text{ s}$

Každý vnější nevýznamný prvek musí splňovat následující kritéria:

$$\text{ČSN EN ISO 1716 PCS} \leq 4,0 \text{ MJ.m}^{-2}$$

Každý vnitřní nevýznamný prvek musí splňovat následující kritéria:

$$\text{ČSN EN ISO 1716 PCS} \leq 4,0 \text{ MJ.m}^{-2}$$

Výrobek jako celek musí splňovat následující kritéria:

$$\text{ČSN EN ISO 1716 PCS} \leq 3,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$$

Třída B

Výrobek musí splňovat všechna následující kritéria:

- a) ČSN EN ISO 11925-2

Za podmínky vystavení povrchu vzorku plameni, a když se to požaduje, i vystavení hrany vzorku plameni, s expozičním časem 30 s, nesmí se po dobu 60 s od vystavení plameni rozšířit plamen o více než 150 mm ve svislém směru od bodu aplikace zkušebního plamene.

- b) ČSN EN 13823

Bez rozšíření plamene ve vodorovném směru (LFS) po okraj vzorku.

$$\text{FIGRA} (= \text{FIGRA}_{0,2\text{MJ}}) \leq 120 \text{ W.s}^{-1}, \text{THR}_{600\text{s}} \leq 7,5 \text{ MJ}$$

Třída C

Výrobek musí splňovat všechna následující kritéria:

- a) ČSN EN ISO 11925-2 Za podmínky vystavení povrchu vzorku plameni, a když se to požaduje, i vystavení hrany vzorku plameni, s expozičním časem 30 s, nesmí se po dobu 60 s od vystavení plameni rozšířit plamen o více než 150 mm ve svislém směru od bodu aplikace zkušebního plamene.

- b) EN 13823 Bez rozšíření plamene ve vodorovném směru (LFS) po okraj vzorku.

$$\text{FIGRA} (= \text{FIGRA}_{0,4\text{MJ}}) \leq 250 \text{ W.s}^{-1}, \text{THR}_{600\text{s}} \leq \text{MJ}$$

Třída D

Výrobek musí splňovat všechna následující kritéria:

- a) ČSN EN ISO 11925-2 Za podmínky vystavení povrchu vzorku plameni, a když se to požaduje, i vystavení hrany vzorku plameni, s expozičním časem 30 s, nesmí se po dobu 60 s od vystavení plameni rozšířit plamen o více než 150 mm ve svislém směru od bodu aplikace zkušebního plamene.
- b) ČSN EN 13823 FIGRA (=FIGRA_{0AMJ}) ≤ 750 W.s⁻¹

Třída E

Výrobek musí splňovat všechna následující kritéria:

ČSN EN ISO 11925-2. Za podmínky vystavení povrchu vzorku plameni, a když se to požaduje, i vystavení hrany vzorku plameni, s expozičním časem 15 s nesmí se po dobu 20 s od vystavení plameni rozšířit plamen o více než 150 mm ve svislém směru od bodu aplikace zkušebního plamene.

Třída F

Žádná kritéria reakce. Třída F se použije, pokud výrobek nesplní kritéria pro třídu E při zkoušce podle ČSN EN ISO 11925-2.

(ČSN EN 13501-1 2003)

3.8. Obecné vlastnosti dubu letního

Dub patří k dominantním listnatým dřevinám našich lesů. Na světě je známo asi 600 druhů dubu, přičemž u nás roste devět druhů. Duby mohou vytvářet dubové lesy – doubravy, ale často rostou také osaměle např. na vesnických návších (Hecker, 2009).

Dub letní (*Quercus robur*) je opadavý, pomalu rostoucí strom se širokou korunou, dosahující výšky 30 – 40 metrů. Kvést začíná v 15 – 20 letech, plodit pak ve věku 60 – 80 let. Dožívá se 500 – 800 let – stáří stromu lze přesně zjistit podle počtu letokruhů. Na stáří dubu ukazují také rozložitost koruny. Jak široká je koruna dubu, tak hluboko do země sahají jeho kořeny.

Vzhledem k tomu, že kořenový systém dubu proniká velmi hluboko a zasahuje vodonosné vrstvy, jsou duby mnohem častěji než jiné stromy zasahovány bleskem. Na druhou stranu však tento mohutný systém kořenů je předpokladem toho, že dub netrpí nedostatkem vláhy a je považován za strom, který nejlépe odolává větru (Čeman 2001). Dubové dřevo má mohutné, žlutohnědé až tmavohnědé jádro. Běl je úzká, světlehnědá. Stavba dřeva je typicky kruhovitě pórovitá. Hranice mezi letokruhy i hranice mezi jarním a letním dřevem jsou zřetelné (Holčák 2007).

K základním vlastnostem dřeva patří hustota. Různé druhy dřevin mají rozdílnou hustotu. Hustotu dřeva dále ovlivňují:

- anatomická stavba dřeva – střídání dřeva jarního a letního; letní dřevo má vyšší hustotu než jarní
- šířka letokruhů – dřevo se širšími letokruhy má vyšší hustotu (šířka jarního dřeva je konstantní, mění se pouze šířka dřeva letního)
- vlhkost dřeva – voda vázaná se ukládá do buněčných stěn a voda volná do lumenů anatomických elementů, čímž se hustota dřeva zvyšuje
- stanoviště dřeviny – v závislosti na vodním režimu stanoviště se mění poměr zastoupení jarních a letních cév; spolu s výše položenou hladinou podzemní vody se poměrné zastoupení jarních cév v rámci letokruhu snižuje a naopak průměrná šířka letokruhu se zvyšuje; tento fakt vede ke zvýšení hustoty dřeva dubu letního za současně vyšší objemové produkce (Holčák 2007).
- Hustotu dřeva můžeme považovat za významné kritérium pro posuzování fyzikálních a mechanických vlastností dřeva (Gandelová, a kol. 1996). Vyšší hustota dřeva je předpokladem vyšší pevnosti i pružnosti dřeva, tedy na hustotě dřeva je závislá jeho kvalita. (Holčák 2007).

Dřevo dubu je středně těžké, je dobře opracovatelné a povrchově jej lze snadno upravovat. Trvanlivost dřeva dubu je znázorněna v následující tabulce 2:

Tab. 2 - Trvanlivost dřeva dubu

na vzduchu	velmi trvanlivé
v kontaktu se zemí	Trvanlivé
nechráněné a neimpregnované	40 – 120 let
pod střechou	100 – 200 let
pod vodou	300 – 800 let
vždy suché	600 – 1000 let

Zdroj: (Tuzvo, 2017)

Dubové dřevo, které desítky let leželo pod vodou, je známé jako „mořený dub“ (můžeme ho vyrobit i z obyčejných kmenů při teplotě 200°C pod tlakem 20MPa). Tisíciletí ležely pod zemí dubové kmeny, které jsou známé jako „černý dub“ a objevují se při těžbě hnědého uhlí (Čeman 2001).

Základní fyzikální vlastnosti dubového dřeva:

Hustota dubového dřeva v absolutně suchém stavu ρ_0 :

- minimální $\rho_0 = 390 \text{ kg/m}^3$
- maximální $\rho_0 = 930 \text{ kg/m}^3$
- průměrná $\rho_0 = 650 \text{ kg/m}^3$

Vlhkost čerstvě vytěženého dřeva:

- běl $w = 70-90\%$
- zralé dřevo $w = 60-90\%$

Sesychání:

podélné (0,4%), radiální (4%), tangenciální (7,8%), objemové (12,2%)

Mechanické vlastnosti dubového dřeva při vlhkosti $w=12\%$:

Ve směru rovnoběžném s vlákny –

- pevnost v tahu – 90 MPa
- pevnost v tlaku – 65 MPa
- pevnost ve smyku – 11 MPa

- pevnost v ohybu – 110 MPa
- modul pružnosti v tahu – 14000 MPa
- modul pružnosti v tlaku – 11778 MPa
- modul pružnosti ve smyku – 1320 MPa
- modul pružnosti v ohybu – 13000 MPa
- tvrdost podle Brinella – 66 MPa
- tvrdost podle Janka – 69 MPa, (Tuzvo 2017)

Dřevo dubu je pevné, pružné, tvrdé a trvanlivé. Dub letní poskytuje nejlepší užitkové dřevo. Řezivo a lepené dřevo z něj se využívá v nábytkářském průmyslu – výroba sedacího a stolového nábytku, skříňového nábytku i drahých interiérových výrobků (schody, zábradlí, okna, dveře, podlahy atd.). Nejvyšší kvalitní části kmene se uplatní pro výrobu dekoračních dřív.

Odolnost a trvanlivost dubového dřeva předurčuje jeho použití na stavbu lodí, vodních staveb, mostních konstrukcí, výrobu sudů a kádí. Je vhodný také pro řezbářské a soustružnické účely (Tuzvo 2017).

4. METODIKA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Na základě studia odborné literatury a s využitím informací z odborných časopisů a z internetových zdrojů provést teoretický rozbor jednotlivých technologií výroby termicky modifikovaného dřeva. Vytvořit přehled o používaných antipyrénech a normách v oblasti požárního testování.

Dále pak provést testování vzorků podle předem dané metodiky, která ve stručnosti spočívala v těchto krocích:

- příprava vzorků
- vysušení vzorků dubu letního
- termická modifikace části vzorků
- ošetření části vzorků antipyrénem
- testování na zjištění účinnosti použitého antipyrénu

Závěrem pak metodou srovnání zhodnotit vliv termické úpravy a účinky retardéru na úbytek hmotnosti vzorků a jejich hořlavost vzorků dřeva.

5. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE

5.1. Příprava vzorků

Celé měření probíhalo v rámci projektu CIGA: 2016 – 4309, Termická úprava tropických a domácích dřevin s experimentálním ověřením jejich protipožární odolnosti a obrobitelnosti. Dřevina dub zde byla vybrána jako zástupce domácích listnatých dřevin. Příprava a výroba vzorků probíhala na České zemědělské univerzitě v Praze, termická úprava vzorků v termokomoře v Kostelci nad Černými lesy a samotný experiment probíhal na Žilinské univerzitě v Žilině, pod vedením významného odborníka v oblasti požární odolnosti dřeva prof., Ing., Antona Osvalda, Csc.

Na formátovací pile a tloušťkovací fréze byly připraveny dubové vzorky o rozměrech 20mm × 100mm × 200mm, u nichž byla následně změřena délka, šířka a tloušťka s přesností na dvě desetinná místa a byl vypočten objem v cm³. Vzorky byly zváženy a hmotnost byla určena s přesností na dvě desetinná místa.

Podle vzorce $\rho = m / V$ byla vypočtena hustota v g/cm³ viz příloha 1, 2, 3, 4, 5 a 6.

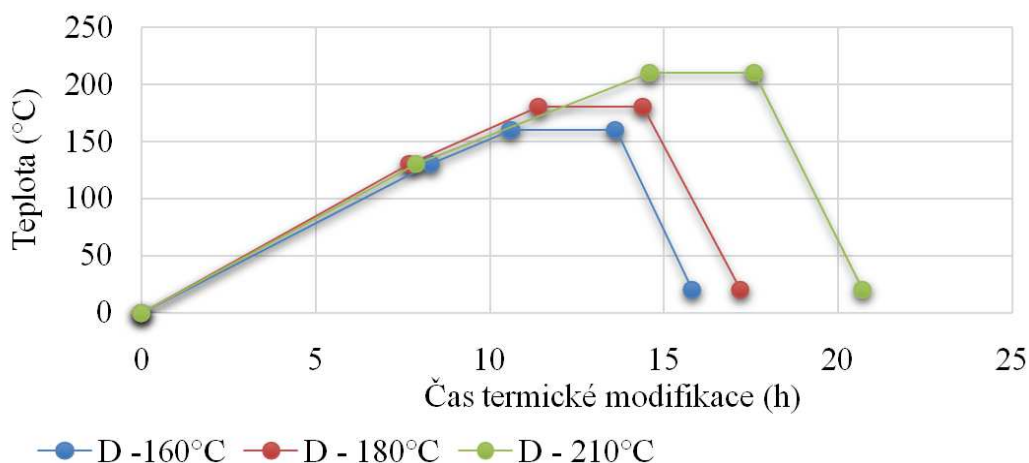
Příloha 1, 2 znázorňuje měření těles před vysušením, měření těles po vysušení znázorňuje příloha 3 a 4 a měření těles po termické modifikaci znázorňuje příloha 5 a 6.

Tyto vzorky byly zváženy, změřeny a následně vysušeny na 0% vlhkost. Po vysušení byly vzorky opětovně změřeny a zváženy. V termokomoře byla část vzorků termicky upravena na teploty 160°C, 180°C a 210°C. Termická úprava teplotou 180°C a 210°C probíhala v režimu Thermowood. Časy zahřívání, terminace a zchlazování udávají následující tabulka 3 a obrázek 1.

Tab. 3 - Průběh a teploty termické modifikace dubového dřeva

	0	0	0	0	0	0
Zahřívání	8,3	130	7,7	130	7,9	130
	10,6	160	11,4	180	14,6	210
Termizace	13,6	160	14,4	180	17,6	210
Zchlazování	15,8	20	17,2	20	20,7	20
Celkový čas modifikace	34,7		36,3		43,2	

(Čekovská a kol. 2017)

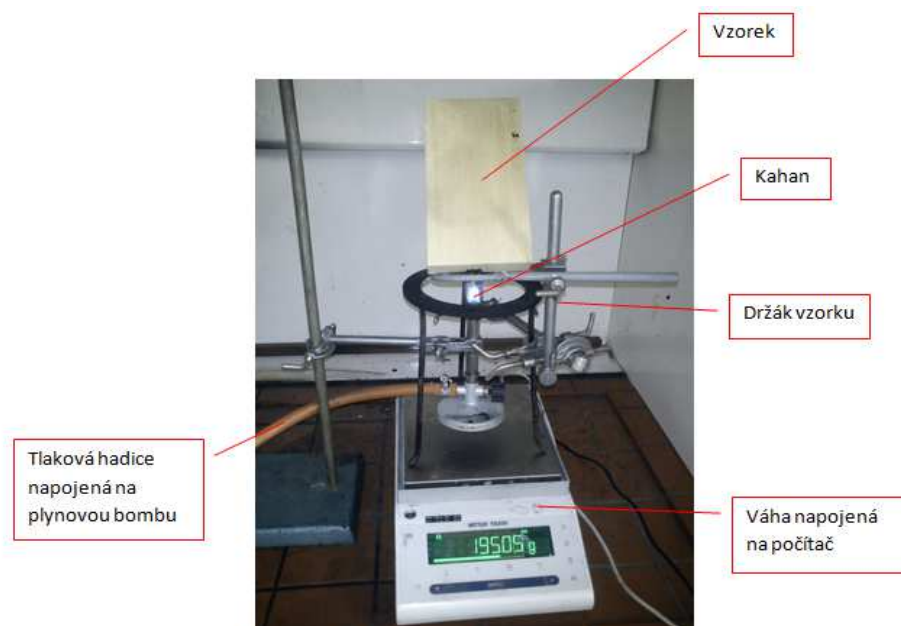


Obr. 1 - Graf průběhu teploty v závislosti na délce trvání termické úpravy

Zdroj: (Čekovská a kol., 2017)

Zbytek vzorků byl vystaven působení pokojové teploty 20°C, poté byly vzorky opět změřeny a zváženy. Následně byl na část vzorků z každé skupiny aplikován antipyrén Flamgard Transparent. Aplikace byla provedena dle pokynů výrobce viz technický list a aplikační návod výrobce v příloze č. 7.

Pro zjišťování vlastností termicky upraveného dřeva ve vztahu k hoření byla použita hodnotící metoda ČSN 73 0862/B. Tato metoda vychází z přímého působení plynového hořáku na zkušební těleso za určitou dobu - 10 minut. Schéma zařízení je znázorněno na obrázku 2.



Obr. 2 - Měřicí sestava

Zkušební těleso bylo umístěno pod úhlem 45° vůči vodorovné rovině. Velikost plamene byla 10 cm od ústí hořáku a zespodu byl hořák umístěn do středu zkušebního tělesa. Základní měření trvá 10 minut. Metoda simulovala přirozený proces hoření dřeva plamenným zdrojem za trvalého přístupu vzduchu a volného proudění spalin. Zařízení pro měření bylo sestaveno z běžného standardního laboratorního vybavení - stojanů, držáků, svorek a drátů. Pro hoření byl použit kahan typu USBEC 1011/1 propan, DIN - DVGW - Reg. Nr. NG - 2211AN0133, blastung 1, 7 kW. Hadicí byl kahan napojen na propanovou bombu. Hmotnostní úbytky byly váženy na elektrické váze Mettler Toledo typ NEW CLASSIC MF, model MS 1602S/MO1 (Mettler Toledo, Swisse). K zápisu průběhu vážení byl využit software BalanceLink (Mettler Toledo, Swisse).

Po dobu testu hořlavosti byl průběžným vážením zaznamenáván s pomocí softwaru BalanceLink úbytek hmotnosti v intervalu 10 vteřin. Z naměřených hodnot se zjišťoval úbytek hmotnosti a průměrné rychlosti odhořívání. Výsledky rychlosti hoření jsou zpracované v grafech na obrázku č. 6,7,8. Průběh odhořívání popisuje rychlost hoření v průběhu 10 minut u dubu letního. Podle procentuálního úbytku hmotnosti vzorků byl určen stupeň hořlavosti stavebních hmot v souladu s normou ČSN 73 0862. U materiálů zatříděných do třídy A - nehořlavé, B - nelehce hořlavé a C1 - těžce hořlavé nesmí dojít k celkovému vzplanutí a plamen se na nich nesmí šířit nebo pouze omezeně. Při zařazování do tříd C2 - středně hořlavé a C3 - lehce hořlavé je velmi důležitá otázka rychlosti vývoje požáru a také šíření plamene z malého hořáku po dobu 15 nebo 30 vteřin (Reinprecht 2012).

5.2. Výpočty

Ke stanovení vlivu na ohybové vlastnosti dřeva byl použit program Statistica 12 (Statsoft Inc., USA) software. Pro výpočet hodnot se využila analýza rozptylu (ANOVA) a Fischerův F-test. Hustota dřeva byla stanovena před a po testování podle ISO 13061-2 (2014) viz následující vzorec 1:

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w * b_w * l_w} = \frac{m_w}{V_w} \quad (1)$$

kde:

ρ_w je hustota zkoumaného vzorku při určité vlhkosti w (kg/m^3),

m_w je hmotnost zkoumaného vzorku při určité vlhkosti w (kg),

a_w , b_w a l_w jsou rozměry vzorku při určité vlhkosti w (m),

V_w je objem při určité vlhkosti w (m^3).

Vlhkost vzorků byla stanovena a ověřena před testováním a po testování. Tyto výpočty byly provedeny podle ISO 13061-1 (2014) viz následující vzorec 2:

$$w = \frac{m_w - m_0}{m_0} * 100 \quad (2)$$

kde:

w je vlhkost vzorku (%)

m_w je hmotnost zkoumaného vzorku při určité vlhkosti w (kg)

m_0 je hmotnost vzorku při 0% vlhkosti (kg)

Vysušování bylo provedeno podle normy ISO 13061-1 (2014)

Hlavním hodnotícím kritériem je úbytek hmotnosti zkušebních vzorků, který se vypočítá podle vzorce 3

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (3)$$

kde:

Δm je úbytek hmotnosti (%)

m_1 je hmotnost před testováním (g)

m_2 je hmotnost vzorku po zkoušce (g)

Na základě procentuální hodnoty podle vypočítaného vzorce 3 se materiály zařazovaly do tříd hořlavosti tak, jak naznačuje následující tabulka 4.

Tab. 4 - Rozdělení do stupňů hořlavosti

Úbytek hmotnosti (%)	Stupeň hořlavosti stavebních hmot podle ČSN 73 0862 dodatek b	
do 2,00	A	nehořlavé
2,1 – 5,0	B	velmi těžko hořlavé
5,1 – 10,0	C1	těžko hořlavé
10,1 – 50,0	C2	středně hořlavé
nad 50,0	C3	lehce hořlavé

Zdroj: ČSN 73 0862

Rychlost hoření se vypočítá podle vzorce 4

$$v = \frac{m_t - m_{t+10}}{m_{t0} \times 10} \times 100 \quad (4)$$

kde:

v je rychlost hoření ($\% \cdot s^{-1} \times 10^{-5}$)

m_t je hmotnost (g v čase t) m_{t+10} je hmotnost v g vzorku po 10 sekundách

m_{t0} je hmotnost v g vzorku v čase 0

6. VÝSLEDKY

Pro vyhodnocení naměřených hodnot byla použita dvoufaktorová analýza rozptylu, kde jsou hodnoceny jak účinky jednotlivě sledovaných faktorů (úprava dřeva retardéry a tepelná modifikace), tak i účinky dvoufaktorové interakce (úprava dřeva retardéry*tepelná modifikace). Byla stanovena hladina významnosti $p = 0,05$, podle níž se určují statisticky významné a statisticky nevýznamné faktory. Pokud je hodnota hladiny významnosti $p < 0,05$, jedná se o faktory statisticky významné (v následujících tabulkách jsou barevně odlišeny). V opačném případě, kdy je hladina významnosti $\alpha > 0,05$, jde o faktory statisticky nevýznamné.

Hodnota závislé proměnné, pokud jsou všechny ostatní vysvětlující proměnné hypoteticky nulové, je v tabulkách označena jako „Intercept“.

6.1. Porovnání a zhodnocení experimentálně získaných dat

Následující podkapitoly se zabývají vyhodnocením účinku sledovaných faktorů na jednotlivé veličiny – ztrátu hmotnosti, rychlost hoření, maximální rychlost hoření a čas na dosažení maximální rychlosti hoření.

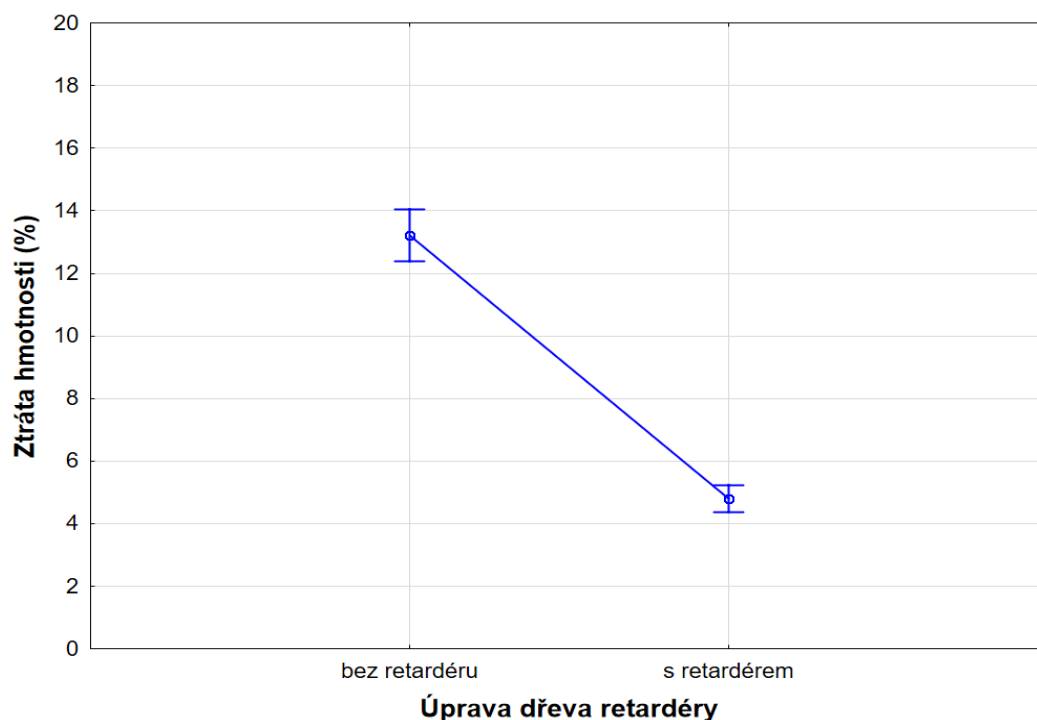
6.1.1. Ztráta hmotnosti

Vzhledem k hodnotám hladiny významnosti jsou všechny sledované faktory (Úprava dřeva retardéry, Tepelná modifikace a Úprava dřeva retardéry*Tepelná modifikace) statisticky významné viz tabulka 5.

Tab. 5 - Ztráta hmotnosti

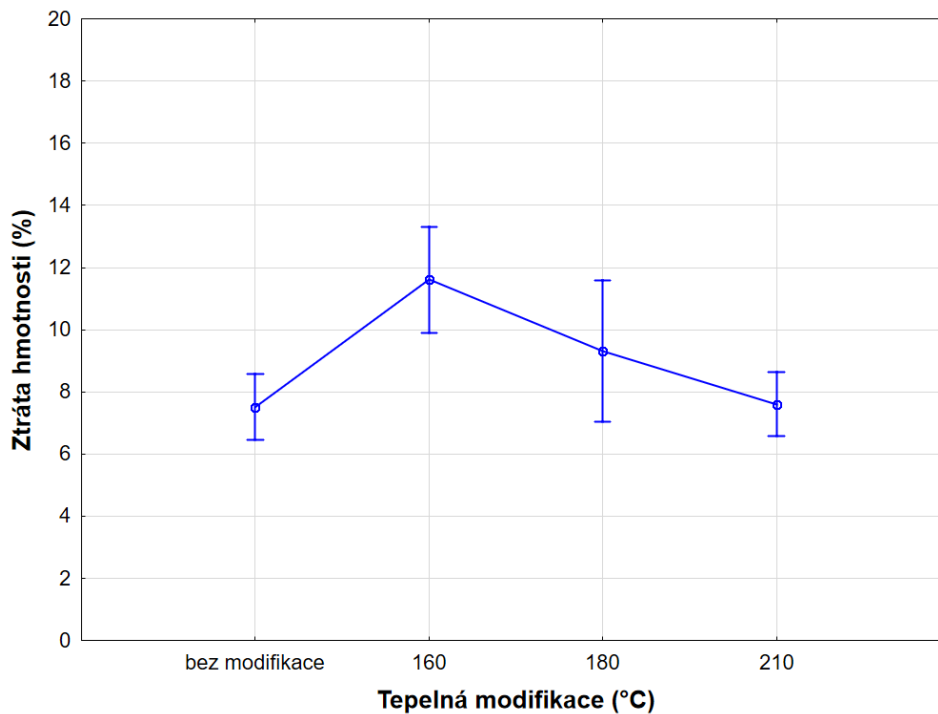
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův F - Test	Hladina významnosti
Intercept	3246,213	1	3246,213	1045,588	0,000000
Úprava dřeva retardéry	707,575	1	707,575	227,906	0,000000
Tepelná modifikace	110,173	3	36,724	11,829	0,000022
Úprava dřeva retardéry*Tepelná modifikace	114,298	3	38,099	12,272	0,000017
Chyba	99,350	32	3,105		

Obrázek 3 ukazuje průměrnou ztrátu hmotnosti vzorků dřeva při hoření v závislosti na úpravě dřeva retardéry. Z hodnot uvedených v grafu je účinnost retardéru jasně patrná. Hodnota průměrné ztráty hmotnosti dřeva bez retardéru (při hoření) je o 160% větší než průměrná hodnota ztráty hmotnosti dřeva ošetřeného retardérem (při hoření).



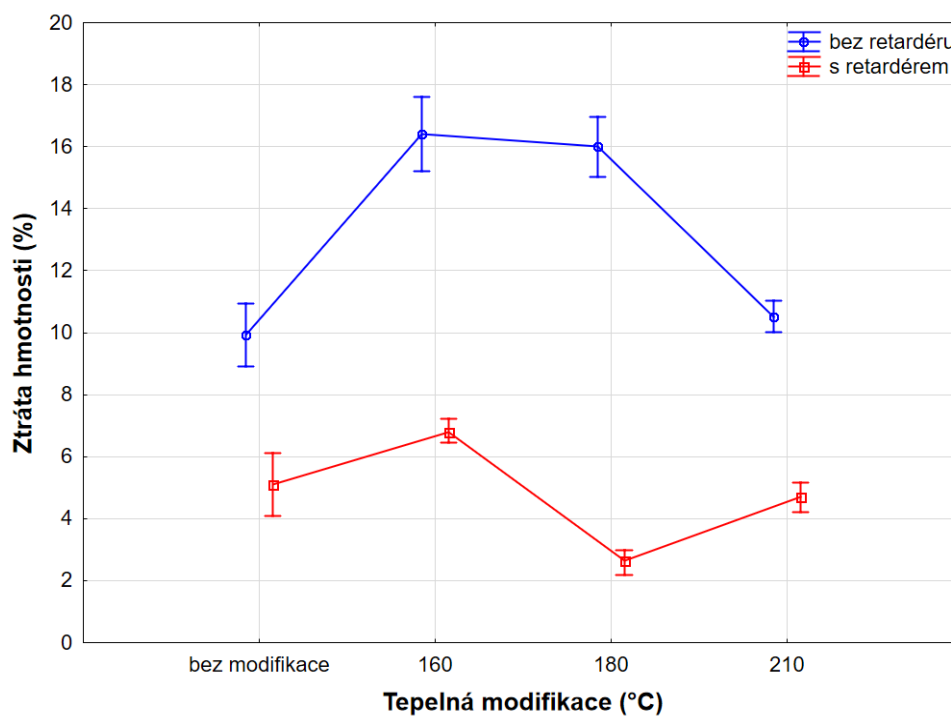
Obr. 3 - Závislost ztráty hmotnosti na úpravě dřeva retardéry

Obrázek 4 ukazuje průměrnou ztrátu hmotnosti vzorků dřeva při hoření v závislosti na tepelné modifikaci. Z křivky grafu vyplývá, že nejnižší průměrná ztráta hmotnosti (při hoření) byla u vzorků dřeva tepelně neupraveného. Naopak nejvyšších hodnot úbytků hmotnosti dřeva (při hoření) se dosahuje u vzorků dřeva tepelně upravených na 160 °C. Křivka dále naznačuje, že se zvyšující se teplotou modifikace postupně hodnoty ztráty hmotnosti vzorků dřeva při hoření klesají. U vzorků dřeva tepelně modifikovaných na 210 °C jsou podle údajů v grafu jejich průměrné hodnoty ztráty hmotnosti při hoření téměř srovnatelné s průměrnými hodnotami ztráty hmotnosti u vzorků dřeva bez tepelné modifikace (při hoření).



Obr. 4 - Závislost ztráty hmotnosti na tepelné modifikaci

Obrázek 5 ukazuje dvě křivky. Modrá křivka sleduje závislost ztráty hmotnosti vzorků dřeva bez retardéru na tepelné modifikaci. Červená křivka sleduje závislost ztráty hmotnosti vzorků dřeva ošetřených retardéry na tepelné modifikaci. Porovnáním průběhu obou křivek je účinek retardéru na první pohled patrný. Opět se zde projevují i zhoršené požární vlastnosti dřeva termicky modifikovaného, které nebylo ošetřeno antipyrénem. Průměrné hodnoty ztráty hmotnosti vzorků dřeva neošetřených antipyrénem jsou nejvyšší u vzorků upravených nižší tepelnou modifikací - na 160 °C a 180 °C. Nejlepších výsledků – co se týče požárních vlastností – podle údajů v grafu dosahují vzorky dřeva, které byly tepelně upraveny na teplotu 180 °C a zároveň ošetřeny antipyrénem. Červená křivka v grafu dále naznačuje stoupající průměrnou ztrátu hmotnosti vzorků dřeva ošetřených retardéry (při hoření) spolu se zvyšující se teplotou termické modifikace vzorků.



Obr. 5 - Závislost ztráty hmotnosti na tepelné modifikaci a úpravě dřeva retardéry

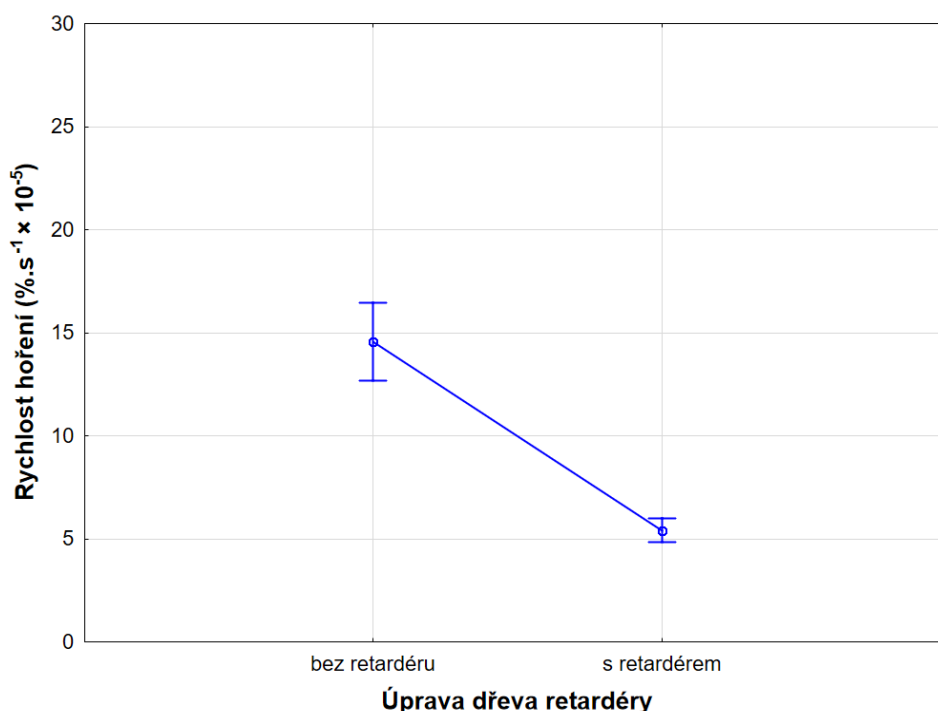
6.1.2. Rychlost hoření

Co se týče rychlosti hoření, projevil se jako statisticky nevýznamný sledovaný faktor tepelná modifikace. Statisticky významné jsou zbývající dva sledované faktory - viz tabulka 6.

Tab. 6 - Rychlost hoření

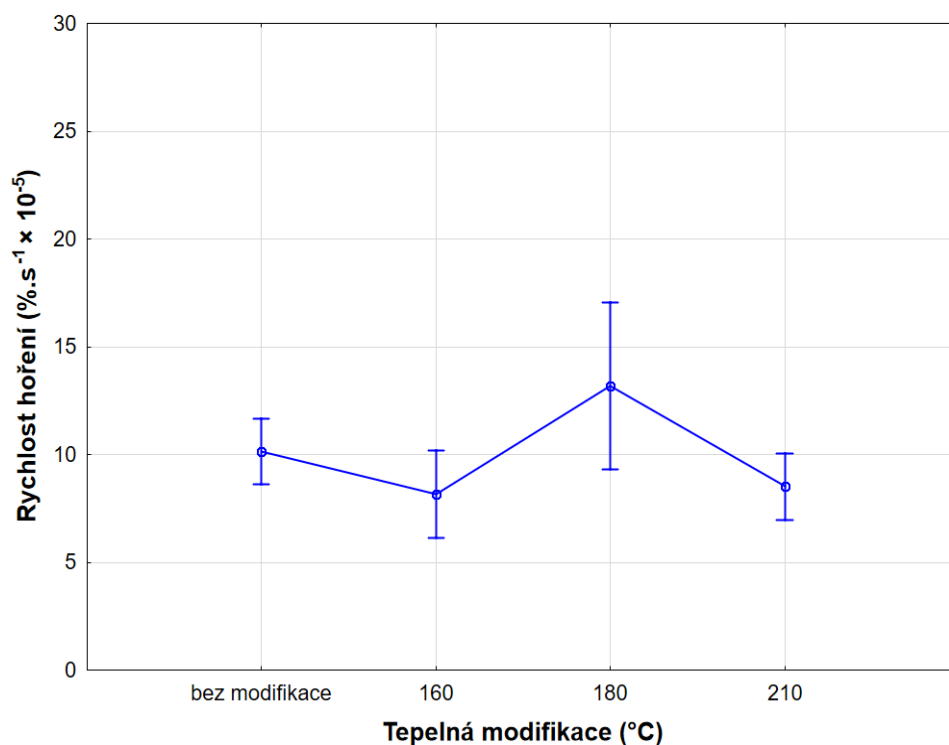
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův F - Test	Hladina významnosti
Intercept	3995,002	1	3995,002	129,1936	0,000000
Úprava dřeva retardéry	837,683	1	837,683	27,0896	0,000011
Tepelná modifikace	157,731	3	52,577	1,7003	0,186646
Úprava dřeva retardéry *Tepelná modifikace	318,824	3	106,275	3,4368	0,028347
Chyba	989,523	32	30,923	-	-

Obrázek 6 porovnává průměrné hodnoty rychlosti hoření vzorků dřeva v závislosti na jejich úpravě retardéry. Snížení průměrné rychlosti hoření u vzorků dřeva ošetřených retardéry z grafu na první pohled jasně vyplývá. Průměrná hodnota rychlosti hoření vzorků dřeva bez retardéru je o 163 % větší než průměrná rychlost hoření vzorků dřeva ošetřených retardérem. Při porovnání průměrné procentuální hodnoty rychlosti hoření vzorků dřeva retardérem ošetřených a neošetřených se opět potvrzuje účinnost antipyrénu. Průměrná rychlost hoření vzorků dřeva ošetřených retardérem se v porovnání s průměrnou rychlostí hoření vzorků dřeva bez retardéru snížila o 67%.



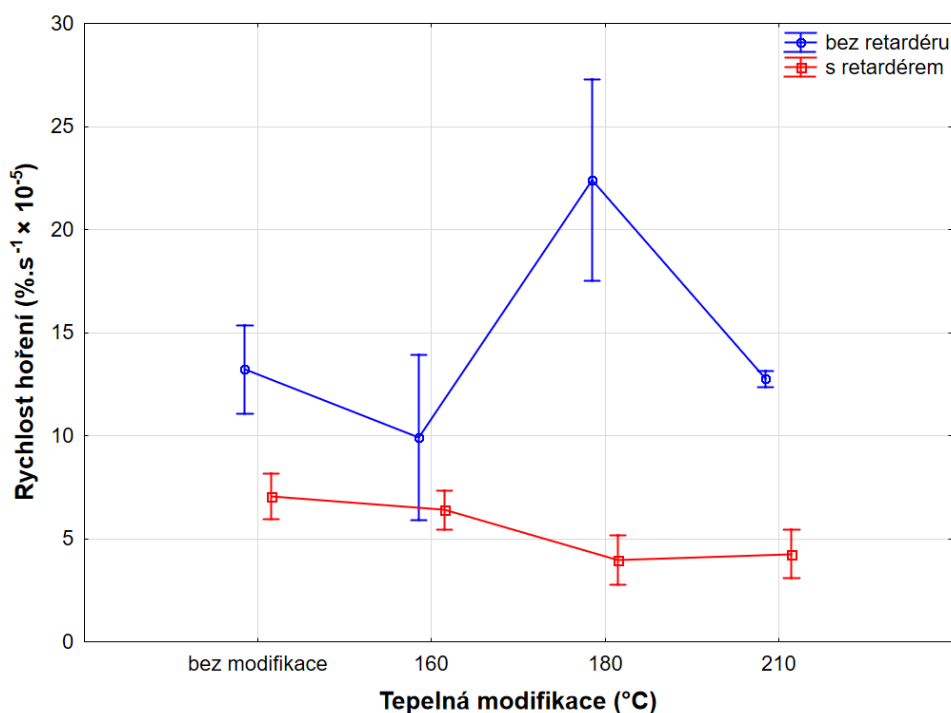
Obr. 6 - Závislost rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry

Křivka na obrázku 7 znázorňuje průběh průměrných hodnot rychlosti hoření zkoumaných vzorků dřeva v závislosti na jejich tepelné modifikaci. Podle tabulky číslo 6 se tento faktor jeví jako staticky nevýznamný, což je patrné i při prvním pohledu na graf. Jednotlivé průměrné procentuální hodnoty hoření vzorků dřeva v závislosti na tepelné modifikaci jsou kolísavé. Podle údajů v grafu vychází nejnižší průměrná rychlost hoření u vzorků tepelně upravených na 160°C a naopak v průměru nejrychleji odhořívaly vzorky s tepelnou modifikací 180°C. Dále pak – se vzrůstající teplotou modifikace na 210 °C – křivka grafu opět klesá.



Obr. 7 - Závislost rychlosti hoření na tepelné modifikaci

Na obrázku 8 vidíme 2 křivky grafu, které znázorňují porovnání průměrných rychlostí hoření vzorků dřeva bez retardéru (modrá křivka) s průměrnými hodnotami rychlostí hoření vzorků dřeva ošetřených retardérem (červená křivka), a to v závislosti na tepelné modifikaci. Vliv retardéru na zpomalení rychlosti hoření zkoumaných vzorků dřeva lze z grafu vyčíst na první pohled. Nejlepších výsledků účinnosti antipyrénu bylo dosaženo u vzorků s tepelnou modifikací 180°C. Křivka průměrných hodnot rychlostí hoření vzorků dřeva ošetřených retardérem je víceméně stabilní, nevykazuje žádné výrazné výkyvy. To však nelze říci o hodnotách průměrných rychlostí hoření zkoumaných vzorků neošetřených retardérem – v tomto případě vykazuje modrá křivka značné výkyvy – nejrychleji odhořívaly vzorky dřeva modifikované na 180°C, naopak nejpomaleji vzorky s modifikací na 160°C. Celkově všechny průměrné rychlosti hoření vzorků dřeva bez retardéru byly vyšší než průměrné rychlosti hoření vzorků ošetřených antipyrenem.



Obr. 8 - Závislost rychlosti hoření na tepelné modifikaci a úpravě dřeva retardéry

6.1.3. Maximální rychlost hoření

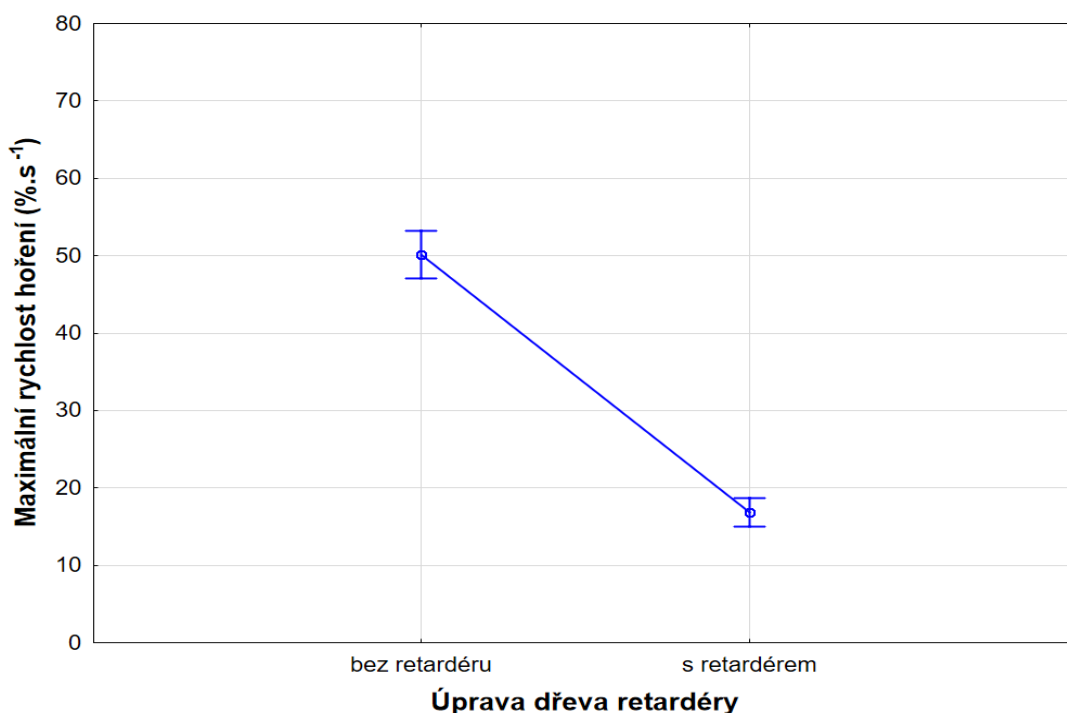
Jako statisticky nevýznamný faktor ovlivňující maximální rychlost hoření se jeví faktor Úprava dřeva retardéry *Tepelná modifikace viz tabulka 7.

Tab. 7 - Maximální rychlost hoření

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův F - Test	Hladina významnosti
Intercept	44906,75	1	44906,75	518,4761	0,000000
Úprava dřeva retardéry	11060,61	1	11060,61	127,7016	0,000000
Tepelná modifikace	1604,85	3	534,95	6,1763	0,001963
Úprava dřeva retardéry *Tepelná modifikace	467,08	3	155,69	1,7976	0,167491
Chyba	2771,62	32	86,61		

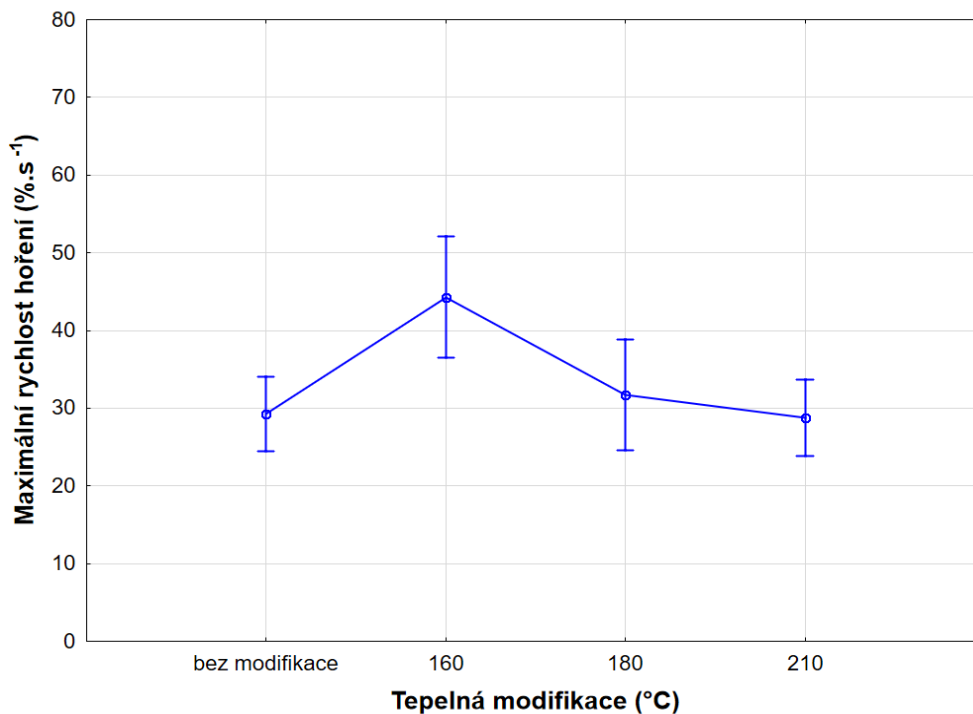
Obrázek 9 znázorňuje závislost maximální rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry. Snížení maximální rychlosti hoření vzorků dřeva ošetřených antipyrémem je z grafu jasně patrné. Pozitivní vliv antipyrénu potvrzuje porovnání procentuálně vyjádřené průměrné hodnoty maximálních rychlostí hoření zkoumaných vzorků ošetřených retardérem s průměrnou hodnotou maximální rychlosti hoření vzorků bez

retardéru. Hodnota průměrné maximální rychlosti hoření vzorků bez retardéru je o 194% vyšší než průměrná maximální rychlost hoření vzorků dřeva ošetřených retardérem použitím antipyrénu na zkoumaných vzorcích dřeva se jejich maximální rychlost hoření snížila o 66% vzhledem k průměrné maximální rychlosti hoření vzorků bez retardéru.



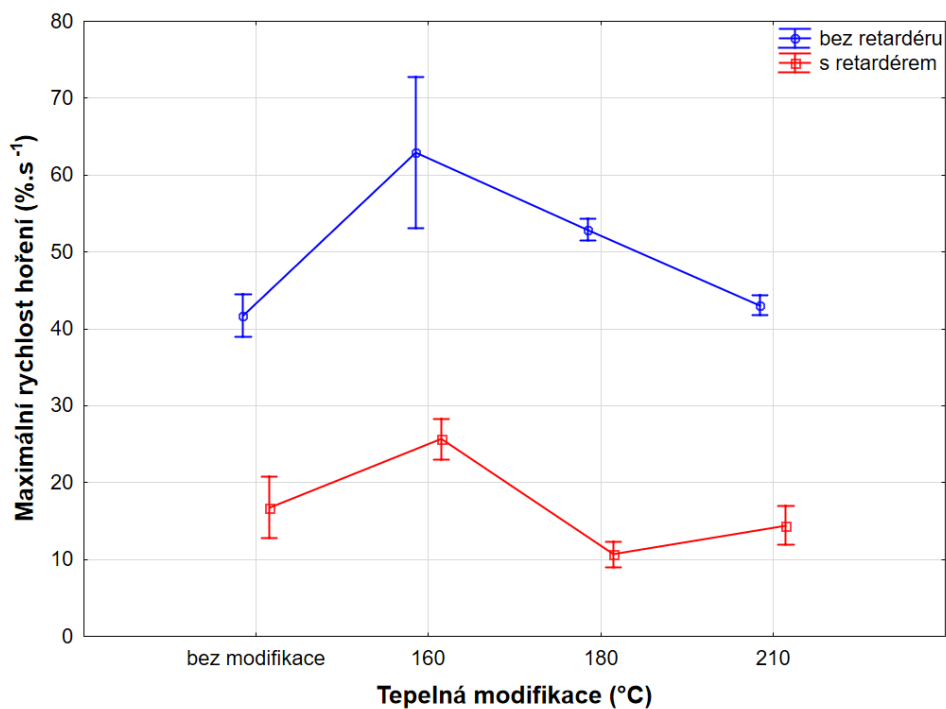
Obr. 9 - Závislost maximální rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry

Křivka na obrázku 10 ukazuje průběh průměrných hodnot maximální rychlostí hoření zkoumaných vzorků dřeva v závislosti na jejich tepelné modifikaci. Celkově srovnatelné se jeví průměrné hodnoty maximálních rychlostí hoření u vzorků dřeva bez tepelné modifikace a u vzorků modifikovaných na $180^{\circ}C$ a na $210^{\circ}C$. Jediný znatelný výkyv – nejvyšší průměrné hodnoty maximálních rychlostí hoření – vykazují vzorky tepelně modifikované na $160^{\circ}C$. Z toho je zřejmé, že při hoření vzorků dřeva tepelně upravených na nižší teploty lze očekávat zvýšenou maximální rychlost hoření.



Obr. 10 - Závislost maximální rychlosti hoření na tepelné modifikaci

Na obrázku 11 můžeme pozorovat dvě křivky grafu. Modrá křivka sleduje průběh průměrných maximálních rychlostí hoření vzorků dřeva bez retardéru v závislosti na jejich tepelné modifikaci.



Obr. 11 - Závislost maximální rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry a tepelné modifikaci

Červená křivka pak značí tutéž závislost, ovšem u vzorků dřeva ošetřených retardérem. I přesto, že jde o faktor statisticky nevýznamný, porovnáním obou křivek zjišťujeme opět pozitivní účinek retardéru. Průběh obou křivek vykazuje nejvyšší průměrné hodnoty maximálních rychlostí hoření u vzorků dřeva modifikovaných na teplotu 160°C. Celkově nejlepší výsledky, tedy nejnižší průměrnou maximální rychlost hoření dosáhly zkoumané vzorky dřeva modifikované na 180°C a současně ošetřené antipyrémem.

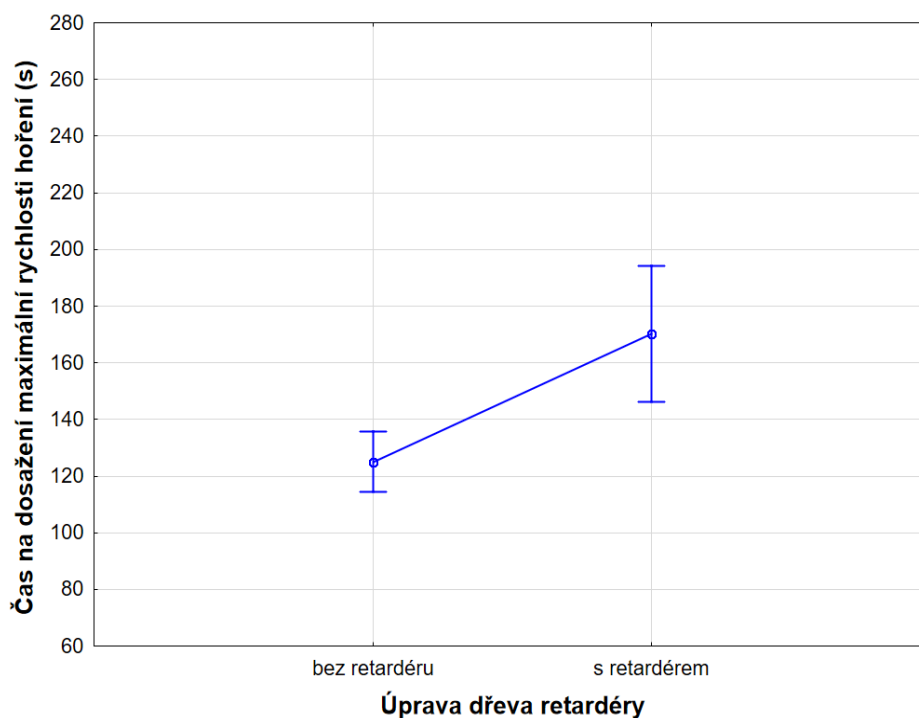
6.1.4. Čas na dosažení maximální rychlosti hoření

U času potřebného k dosažení maximální rychlosti hoření se jako statisticky nevýznamné faktory jeví všechny sledované faktory, jak je znázorněno v tabulce 8.

Tab. 8 - Čas na dosažení maximální rychlosti hoření

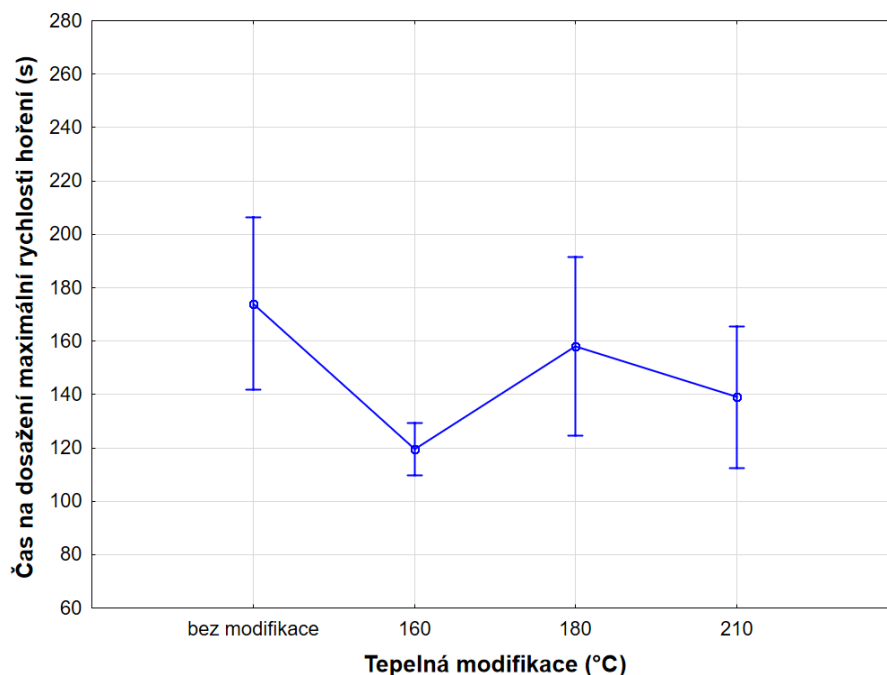
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův F - Test	Hladina významnosti
Intercept	871725,6	1	871725,6	130,5345	0,000000
Úprava dřeva retardéry	20475,6	1	20475,6	3,0661	0,089524
Tepelná modifikace	16686,9	3	5562,3	0,8329	0,485707
Úprava dřeva retardéry *Tepelná modifikace	31036,9	3	10345,6	1,5492	0,220857
Chyba	213700,0	32	6678,1		

Obrázek 12 představuje závislost času na dosažení maximální rychlosti hoření zkoumaných vzorků na úpravě dřeva retardéry. Podle údajů v tabulce 8 jde o faktor statisticky nevýznamný. Hodnoty uvedené v grafu porovnávají průměrný čas na dosažení maximální rychlosti hoření zkoumaných vzorků bez retardéru s průměrným časem na dosažení maximální rychlosti hoření vzorků s retardérem. V procentuelním vyjádření se čas na dosažení maximální rychlosti hoření zkoumaných vzorků s retardérem prodloužil o 35% vzhledem ke vzorkům retardérem neošetřeným. Pozitivní účinek antipyrénu je v tomto případě mírně patrný.



Obr. 12 - Závislost času na dosažení maximální rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry

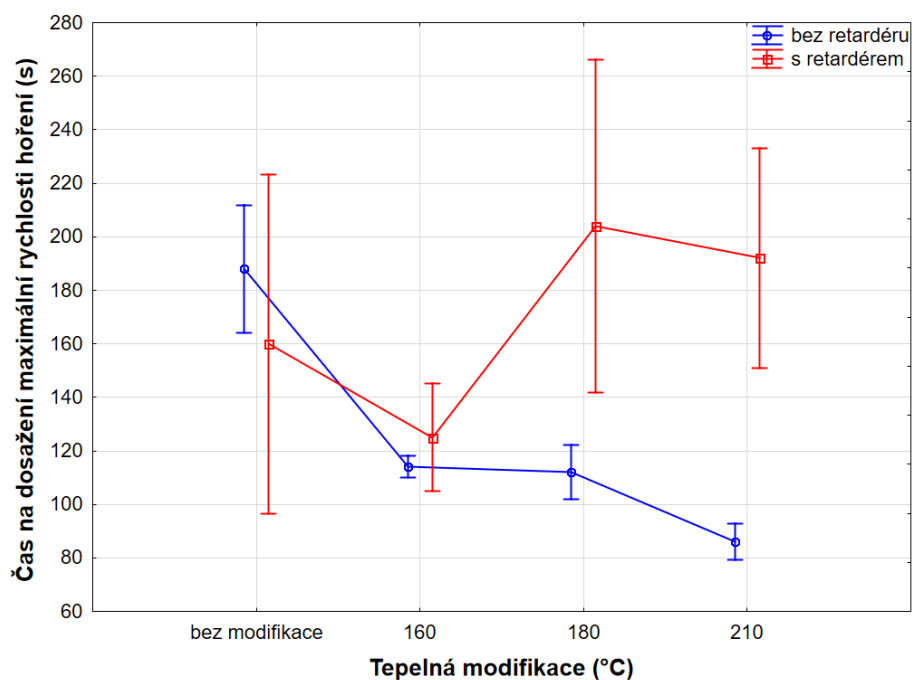
Obrázek číslo 13 znázorňuje průběh závislosti průměrných hodnot času na dosažení maximální rychlosti hoření zkoumaných vzorků na tepelné modifikaci. Tento faktor byl vyhodnocen jako statisticky nevýznamný (viz. tabulka 8), čemuž odpovídá i nepravidelná kolísavost křivky.



Obr. 13 - Závislost času na dosažení maximální rychlosti hoření na tepelné modifikaci

Zvlášť výrazné nejsou ani průměrné hodnoty nejkratšího a nejdelšího času na dosažení maximální rychlosti hoření. Nejkratší průměrná hodnota času na dosažení maximální rychlosti hoření zkoumaných vzorků a tedy zároveň nejhorší výsledek byl zaznamenán u dřeva tepelně modifikovaného na 160°C. Naopak nejlepší výsledek (tedy nejdelší průměrnou hodnotu času na dosažení maximální rychlosti hoření zkoumaných vzorků) vykazuje dřevo bez tepelné modifikace.

Na obrázku 14 jsou 2 křivky grafu. Modrá křivka sleduje průběh závislosti průměrných hodnot časů na dosažení maximální rychlosti hoření vzorků dřeva bez retardérů na jejich tepelné modifikaci. Červená křivka zachycuje průběh téže závislosti, ovšem při hoření vzorků ošetřených retardérem. Podle údajů v tabulce 8 je i tento dvoufaktor statisticky nevýznamný, o čemž svědčí i velmi kolísavé hodnoty obou křivek. Pozitivní vliv retardéru na prodloužení času na dosažení maximální rychlosti hoření je výraznější pouze u vzorků tepelně upravených na 180°C a 210°C; u vzorků modifikovaných na teplotu 160°C je vliv retardéru nepatrný. U dřeva bez tepelné modifikace byly průměrné hodnoty časů na dosažení maximální rychlosti hoření vzorků bez retardéru dokonce delší (a dosáhly tak i lepších výsledků) než průměrné hodnoty časů na dosažení maximální rychlosti hoření vzorků ošetřených retardérem.



Obr. 14 - Závislost času na dosažení maximální rychlosti hoření na úpravě dřeva retardéry a tepelné modifikaci

6.2. Zařazení jednotlivých vzorků dřeva do příslušných stupňů hořlavosti

Průměrné hodnoty jednotlivých veličin hoření a jejich závislost na daných faktorech, které byly získány z grafů na obrázcích 3-14, shrnuje tabulka 9.

Tab. 9 - Průměrné hodnoty pro jednotlivé veličiny hoření

Faktory		Veličiny hoření			
Úprava dřeva retardéry	Tepelná modifikace (°C)	Ztráta hmotnosti (%)	Rychlost hoření (%·s ⁻¹ × 10 ⁻⁵)	Maximální rychlost hoření (%·s ⁻¹)	Čas na dosažení maximální rychlosti hoření (s)
Bez retardéru	bez modifikace	9,92	13,22	41,72	188
	160	16,42	9,90	62,92	114
	180	16,00	22,40	52,86	112
	210	10,51	12,76	43,04	86
S retardérem	bez modifikace	5,10	7,05	16,78	160
	160	6,78	6,40	25,68	125
	180	2,63	3,96	10,64	204
	210	4,70	4,26	14,42	192

Základním kritériem pro rozřídění jednotlivých vzorků k odpovídajícím stupňům hořlavosti je ztráta hmotnosti. Sledované vzorky dubového dřeva bez modifikace a bez ošetření retardérem byly podle jejich průměrných hodnot ztráty hmotnosti při hoření zatříděny do stupně C1 – těžce hořlavé. Pokud by hodnotícím kritériem byly maximální hodnoty ztráty hmotnosti, které jsou patrné z grafu na obrázku č. 5, musely by být některé ze vzorků zatříděny do stupně hořlavosti C2, středně hořlavé. Všechny vzorky tepelně modifikovány bez ošetření antipyrénem byly zatříděny též do stupně hořlavosti C2 středně hořlavé, což potvrzuje zhoršené požární vlastnosti termicky modifikovaného dřeva. U vzorků, které byly ošetřeny antipyrénem Flamgard Transparent, by mělo dle VVÚD Praha, (2005), dojít k zatřídění vzorků až do stupně hořlavosti B, nesnadno hořlavé, což se ovšem v našem experimentu potvrdilo pouze částečně. Část vzorků by do tohoto stupně sice zatříděna být mohla avšak průměrná

hodnota se do kritéria stupně hořlavosti B, poměrně těsně nevešla (požadavek max. 5%, průměr 5,1%). U vzorků, které byly ošetřeny antipyrénem a upraveny teplotou 160°C, došlo ještě k navýšení ztráty hmotnosti. Žádný ze vzorků tak nemohl být zařazen do stupně hořlavosti B nesnadno hořlavé. I přesto zkoumané vzorky ošetřené antipyrénem dosahovaly lepších hodnot než vzorky bez použitého antipyrénu a výrazně lepších hodnot než vzorky tepelně upravené a antipyrénem neošetřené.

Důvodem toho, že zařazení vzorků nevyšlo úplně průkazně, může být i to, že VVÚD Praha, (2005), uvádí hodnoty pro antipyrén Flamgard, zatímco v našem případě byl použit antipyrén Flamgard Transparent. Přípravek Flamgard Transparent by měl být v podstatě shodný s přípravkem Flamgard, pouze s tím rozdílem, že obsahuje látky umožňující jeho použití v interiéru.

Nejmenšího úbytku hmotnosti tedy i nejlepších výsledků, dosáhly vzorky tepelně upravené na 180°C s použitím antipyrénu. Uvedené vzorky pak bylo možno zařadit do stupně hořlavosti B, nesnadno hořlavé. U vzorků upravených teplotou 210°C došlo opět ke zvýšení úbytku hmotnosti; vzorky tak dosáhly téměř stejné hodnoty jako vzorky bez tepelné úpravy ošetřené antipyrénem. Část těchto vzorků by bylo možno klasifikovat do stupně hořlavosti B nesnadno hořlavé a část do stupně C1 těžce hořlavé. Průměr vzorků upravených teplotou 210°C a ošetřených antipyrénem by splňoval maximální hodnotu pro zařazení do stupně hořlavosti B, nesnadno hořlavé, a to na rozdíl od průměru vzorků dřeva bez tepelné úpravy a ošetřených antipyrénem, který tuto hodnotu nespĺňoval.

7. ZÁVĚR

Z výsledků provedené analýzy průměrných hodnot jednotlivých veličin hoření je patrné, že dřevo tepelně upravené má obecně horší požární vlastnosti než dřevo bez modifikace. Pokud hodnotíme zkoumaný vliv retardéru na zlepšení požárních vlastností dřeva, experiment potvrdil účinky antipyrénu Flamgard Transparent. Konkrétním podkladem pro toto tvrzení je porovnání průměrných hodnot u veličin ztráta hmotnosti při hoření a maximální rychlost hoření u vzorků dřeva s použitím retardéru a vzorků bez retardéru, v závislosti na jejich tepelné modifikaci.

V případě veličin ztráta hmotnosti při hoření a maximální rychlost hoření jsou hodnoty vzorků dřeva termicky upravených s použitím antipyrénu Flamgard Transparent lepší než hodnoty vzorků dřeva bez termické úpravy a bez použití antipyrénu. Pouze u veličiny čas na dosažení maximální rychlosti hoření se průměrné hodnoty vzorků dřeva bez tepelné úpravy a vzorků dřeva upravených na teplotu 160°C nedostaly nad průměrnou hodnotu vzorků dřeva bez tepelné modifikace a bez úpravy retardérem. U vzorků dřeva tepelně upravených na 160°C je nutno zohlednit veličinu maximální rychlost hoření, která byla v tomto případě zhruba o třetinu nižší než maximální rychlost hoření vzorků dřeva bez tepelné úpravy. Vzorky dřeva tepelně upravené na 160°C sice dosáhly maximální rychlosti hoření dřívě, ale maximální rychlost jejich hoření byla výrazně nižší.

Výsledky této experimentální práce obecně platné tvrzení o tom, že tepelně modifikované dřevo má horší požární vlastnosti než dřevo rostlé, potvrdily. Tuto negativní vlastnost tepelně modifikovaného dřeva lze poměrně dobře eliminovat. Tepelně modifikované dřevo upravené antipyrénem pak plně nahradí dřevo bez tepelné úpravy a bez ošetření antipyrinem. Touto cestou by bylo možné rozšíření využití tepelně modifikovaného dřeva, kdy by vedle jeho prodloužené trvanlivosti bylo dosaženo lepších požárních vlastností. Přetrvávající nevýhodou tohoto řešení by pak zůstala vysoká cena tepelně upraveného dřeva navíc ještě zvýšená o cenu antipyrénu a o nutnost obnovování nátěru antipyrénem.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- ANONYMUS.** 2003. *ThermoWood Handbook*, Finnish Thermowood Association, c/o WoodFocus Oy. Helsinki, Finland, 2003. 66s.
- ČEMAN R.,** *Živý svět – Rostliny*. Bratislava : Mapa Slovakia, 1. vydání. 2001. 335 s. ISBN 80-8067-046-3.
- DEJMAL A.,** *Sušení a modifikace dřeva*. Učební text. MZLU, Brno, 2009.
- GANDELOVÁ L., ŠLEZINGEROVÁ J., HORÁČEK P.,** *Nauka o dřevě*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1996. 176 s. ISBN 80-7157-347-7.
- HECKER, U.,** *Stromy a keře*. Grasp CZ, a.s., Zlín. 2. vydání. 2009. 238 s. ISBN 978-80-255-0291-4.
- HILL, CALLUM A. S.,** *Wood Modification: Chemical Thermal and Other Processes*. Willey, Wales, Bangor 2006: ISBN-10 0-70-02172-1 (H/B).
- HOLČÁK M.,** *Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva dubu*. Brno (bakalářská práce), Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. 57 s.
- CHUCHRJANSKIJ P. N., LEHKÝ M.,** *Zušlachtenie dreva I*. Bratislava: Práce, 1953.
- KAČÍKOVÁ D., KAČÍK F.,** *Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej uprave*. 1. vyd. Technická univerzita vo Zvolene, 2011. 71s. ISBN 978-80-228-2249-7.
- KAČÍKOVÁ D., NETOPILOVÁ M.; OSVALD, A.** *Drevo a jeho termická degradácia*. 1.vyd. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava 2006. 79s. ISBN 80-86634-78-7.
- KAČÍKOVÁ D., NETOPILOVÁ M., OSVALD A.,** *Reakce stavebních výrobků a oheň*. 1. vyd. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava 2010. 126s. ISBN 978-80-7385-093-7.
- KRAJČOVIČOVÁ J., MITTEROVÁ I., ORÉMUSOVÁ E., OSVALD A.,** *Hodnotenie materiálov a konštrukcií pre potreby protipožiarnej ochrany*. Zvolen: TU vo Zvolene, 2009. 355 s. ISBN 978-80-228-2039-4.
- MATOVIČ A.,** *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. ES VŠZ v Brně 1993.
- POTŮČEK D.,** *Termicky modifikované dřevo reakce na hoření*. Praha (bakalářská práce), Česká zemědělská univerzita, 2015. 5 s.

REINPRECHT L., VIDHOLDOVÁ, Z. *Termodrevo – příprava, vlastnosti a aplikace*. 1. vyd. Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 89s. ISBN 978-80-228-1920-6.

REINPRECHT L., *Ochrana dreva*. 2. vydanie. Technická univerzita vo Zvolene, 2012. 453 s. ISBN 978-80-228-2351-7.

ROWELL R. M. *Chemical modification of cell wall polymers as potential treatments of archaeological wood*. 1990. Washington DC.

SOLÁR R., *Zmeny lignínu v procesoch hydrotermickej úpravy dreva*. Zvolen: Technická univerzita ve Zvoleně, 1997. ISBN 80-228-0599-8.

VVÚD Praha, Výzkumný a vývojový ústav dřevařský Praha. *Ochrana dřeva, Sborník přednášek*. Březnice 2005. Výrobová zkušební laboratoř Březnice.

Internetové zdroje:

ČEKOVSKÁ H., GAFF M., OSVALD A., KAČÍK F., KUBŠ J., KAPLAN L.

Thermally modified spruce. BioResources Vol 12. No 1. [online]. 2017 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z WWW:

<http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_12_1_947_Cekovska_Fire_Resistance_Thermally_Modified_Spruce_Wood/4993>

DAŇKOVÁ J., MURÍNOVÁ T., REINPRECHT L., MAMOŇOVÁ M. *Modifikace dřeva silikony jako potenciálně perspektivní technologie ochrany dřevěných stavebních konstrukcí proti korozi*. Ostrava, Koroze a ochrana materiálu 58(4) 107-112 [online].

2014. [cit. 2017-01-18]. Dostupné z WWW:

<<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/kom.2014.58.issue-4/kom-2015-0003/kom-2015-0003.xml>>

KAFKOVÁ I. *Protipožární nátěry na ochranu dřevěných konstrukcí*. [online].

Ostrava: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2006, číslo 3/2006, ISSN 1803-8433 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/protipozarni-natery-na-ochranu-drevenych-konstrukci/>>

KASÍK P. *Oheň přinesl lidem svobodu, počátky ale byly únavné i výbušné*. In

Technet.cz [online]. Praha: MAFRA a.s., 2008 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z WWW:

<http://technet.idnes.cz/ohen-prinesl-lidem-svobodu-pocatky-ale-byly-unavne-i-vybusne-p5m-/tec_technika.aspx?c=A080208_002642_tec_technika_pka>

- KLAAS P.** *Wood Treatment Technology A/S* [online]. PDF. [cit. 2017-03-20].
Dostupné z WWW:
<http://www.wtt.dk/app/webroot/uploads/Documents/ThermoTreat%202.0_Product%20Presentation.pdf>
- KUPILÍK V.** *Protipožární nátěry*. PDF. [online]. ČVUT, Praha. 2007. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z WWW: <http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/technici/3/3-4_Protipozarni_natery.pdf>
- MOVYCHEM.** *Požár – nositel zkázy, protipožární ochrana*. [online]. © 2017 Movychem. [cit. 2017-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.movychem.cz/36-protipozarni-ochrana>>
- NIS.** *Modifikované dřevo*. In *Nábytkářský informační systém* [online]. ©2013 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.n-i-s.cz/cz/modifikovane-drevo/page/217/>>
- NOORI, M.** *Požární legislativa*. [online]. PDF. 2006. [cit. 2017-3-15] Dostupné z WWW: <http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/2/2-4_Horlavost_stavebnich_hmot.pdf>
- NOVOTNÝ M. a kol.** *Mikrovlňná sterilizace dřevěných prvků napadených biotickými škůdci*. VUT FAST Brno. [online]. 2014. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z WWW: <<http://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/11774-mikrovlenna-sterilizace-drevenych-prvku-napadenych-biotickymi-skudci>>
- OSVALD A.** *Dřevo – požiarne spoľahlivý materiál*. Sympozium červený kohout. [online]. [cit. 2017-3-20] Dostupné z WWW: <<http://www.cervenykohout.eu/cs/content/sendFile/name/95e4a0361f7e01e342d038d4b2669278>>
- TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE (Tuzvo).** *Dub letný (Quercus robur L.)*. In *Technická univerzita vo Zvolene* [online]. ©2013 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z WWW: <https://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struktura/lesnicka_fakulta/organizacne-clenenie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/servis_studentom/hlavna-dreviny/dub-letny.html>
- TORGONIKOV G., VINDEN P.** *High-intensity microwave wood modification for increasing permeability*. *Forest product journal*. PDF. [online]. 2009 [cit. 2017-2-28] Dostupné z WWW: <<http://www.microwavewoodprocessing.com/Files/Hight%20intensity%20MW%20wood%20modification.pdf>>

Technické normy:

ČSN EN ISO 13943 *Požární bezpečnost – Slovník* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2011. 84s.

ČSN EN 13501-1 *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň* Praha: Český normalizační institut 2003. 44s.

ČSN EN ISO 1182 *Zkoušení reakce výrobků na oheň – zkouška nehořlavosti* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2010. 36s.

ČSN EN 13823 *Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň - Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2010. 44s.

ČSN EN ISO 11925-2 *Zkoušení reakce na oheň - Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene - Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2011. 32s.

ČSN EN ISO 1716 *Zkoušení reakce výrobků na oheň - Stanovení spalného tepla (kalorické hodnoty)* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2010. 28s.

ČSN 64 0149 *Stanovení vznětlivosti materiálů* Praha: Úřad pro normalizaci a měření 1978. 8s.

ČSN 73 0862 *Stanovení stupně hořlavosti stavebních hmot* Praha: Úřad pro normalizaci a měření 1980. 12s.

ČSN 73 0853 *Stanovení vznětlivosti materiálů* Praha: Úřad pro normalizaci a měření 1978. 8s.

9. PŘÍLOHY

Seznam příloh:

Příloha 1 - Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva před vysušením (při tepelné úpravě 20°C a 160°C)

Příloha 2 - Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva před vysušením (při tepelné úpravě 180°C a 210°C)

Příloha 3 - Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva po vysušení (při tepelné úpravě 20°C a 160°C)

Příloha 4 - Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva po vysušení (při tepelné úpravě 180°C a 210°C)

Příloha 5 - Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva po termické modifikaci (při tepelné úpravě 160°C a 180°C)

Příloha 6 - Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva po termické modifikaci (při tepelné úpravě 210°C)

Příloha 7 - Technický list a aplikační návod výrobce

Příloha 1

Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva před vysušením (při tepelné úpravě 20°C a 160°C)

Informace, zařazení	Veličiny - před vysušením					Hustota
	rozměry [mm]			objem - V[cm ³]	hmotnost celého tělesa - m _w [g]	hustota $\rho_w = m_w / V_w$ [g*cm ⁻³]
teplota úpravy °C	tl. - h	l - délka	šířka			
20,00	20,33	200,43	99,93	407,20	305,21	0,75
20,00	20,14	200,13	99,99	403,00	339,01	0,84
20,00	20,17	200,12	99,69	402,30	305,98	0,76
20,00	20,27	200,71	99,86	406,34	307,27	0,76
20,00	20,24	200,43	99,89	405,24	298,20	0,74
20,00	20,18	200,39	99,45	402,21	308,34	0,77
20,00	19,97	200,38	99,17	396,89	322,63	0,81
20,00	20,19	200,44	99,68	403,44	310,52	0,77
20,00	20,25	200,31	99,84	404,91	307,40	0,76
20,00	19,76	200,21	100,02	395,75	336,29	0,85
20,00	19,88	200,59	100,00	398,79	281,33	0,71
20,00	20,15	200,72	99,48	402,29	307,44	0,76
20,00	20,10	200,47	100,12	403,40	314,07	0,78
20,00	19,92	200,40	99,95	398,93	314,12	0,79
20,00	20,17	200,35	99,93	403,81	319,77	0,79
20,00	19,75	200,44	99,93	395,57	304,11	0,77
20,00	19,91	200,28	99,94	398,44	317,55	0,80
20,00	20,15	200,05	99,94	402,93	299,13	0,74
160,00	20,21	199,90	100,24	404,97	290,71	0,72
160,00	20,18	200,58	99,86	404,14	309,24	0,77
160,00	19,87	200,56	99,94	398,25	280,28	0,70
160,00	20,10	200,49	100,04	403,20	312,14	0,77
160,00	20,25	200,46	99,97	405,76	317,95	0,78
160,00	19,86	200,56	99,93	398,05	323,85	0,81
160,00	20,04	200,21	99,90	400,74	339,33	0,85
160,00	20,21	200,29	99,83	404,14	311,02	0,77
160,00	20,15	200,60	99,84	403,58	332,14	0,82
160,00	20,13	200,29	98,16	395,70	281,13	0,71
160,00	20,08	200,49	100,09	402,89	304,79	0,76
160,00	20,23	200,68	98,81	401,21	307,53	0,77
160,00	19,94	200,59	100,02	399,98	292,35	0,73
160,00	20,06	200,31	99,51	399,87	324,70	0,81
160,00	20,21	200,43	99,73	403,96	304,50	0,75
160,00	20,19	200,13	100,03	404,24	292,15	0,72
160,00	20,20	200,42	99,74	403,79	316,55	0,78
160,00	19,99	200,20	100,18	400,91	326,22	0,81

Příloha 2

Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva před vysušením (při tepelné úpravě 180°C a 210°C)

Informace, zařazení	Veličiny - před vysušením					Hustota
	rozměry [mm]			objem - V[cm ³]	hmotnost celého tělesa - m _w [g]	hustota $\rho_w = m_w / V^w$ [g*cm ⁻³]
Teploota úpravy °C	tl. - h	l - délka	šířka			
180,00	20,24	199,77	99,42	402,06	314,48	0,78
180,00	20,25	200,25	99,98	405,37	324,50	0,80
180,00	20,32	200,38	99,95	407,03	287,40	0,71
180,00	20,16	200,07	99,98	403,27	325,53	0,81
180,00	20,24	199,95	99,54	402,84	296,76	0,74
180,00	19,92	199,84	99,63	396,56	314,58	0,79
180,00	20,20	199,80	99,58	401,98	300,33	0,75
180,00	20,10	200,14	99,15	398,84	314,92	0,79
180,00	20,24	200,25	100,05	405,58	309,64	0,76
180,00	20,12	200,30	100,66	405,65	318,02	0,78
180,00	20,16	199,93	99,82	402,33	293,80	0,73
180,00	20,01	200,44	99,92	400,84	319,78	0,80
180,00	20,24	199,88	99,64	403,10	313,11	0,78
180,00	20,34	200,19	99,78	406,28	286,88	0,71
180,00	20,25	199,50	100,20	404,72	306,87	0,76
180,00	20,25	200,08	99,14	401,61	297,78	0,74
180,00	20,26	200,07	98,88	400,78	322,89	0,81
180,00	20,25	200,26	99,82	404,72	311,25	0,77
210,00	20,24	200,04	100,29	406,12	319,87	0,79
210,00	20,32	199,94	100,42	407,92	326,10	0,80
210,00	20,20	200,22	99,71	403,26	306,83	0,76
210,00	20,25	200,12	99,46	403,04	299,99	0,74
210,00	20,31	200,21	99,02	402,68	314,25	0,78
210,00	20,24	200,59	100,60	408,50	324,43	0,79
210,00	20,30	200,59	100,01	407,28	309,84	0,76
210,00	19,90	200,62	100,06	399,48	317,51	0,79
210,00	20,25	200,68	99,20	403,13	302,66	0,75
210,00	20,21	200,58	99,30	402,48	294,14	0,73
210,00	20,23	200,61	99,85	405,20	319,70	0,79
210,00	20,22	200,64	100,34	407,00	321,99	0,79
210,00	20,03	200,72	99,71	400,95	301,98	0,75
210,00	20,06	200,47	99,74	401,15	318,04	0,79
210,00	20,31	200,72	99,72	406,50	318,91	0,78
210,00	20,32	200,63	99,13	404,21	280,81	0,69
210,00	20,14	200,02	99,81	402,01	345,55	0,86
210,00	20,10	199,98	99,72	400,85	310,44	0,77

Příloha 3

Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva po vysušení (při tepelné úpravě 20°C a 160°C)

Informace, zařazení	Veličiny - po vysušení					Hustota
	rozměry [mm]			objem - V[cm ³]	hmotnost celého tělesa - m _w [g]	hustota
Teplo úpravy °C	tl. - h	l - délka	šířka			$\rho_w = \frac{m_w}{V}$ [g*cm ⁻³]
20,00	20,02	200,33	98,22	393,93	282,28	0,72
20,00	19,97	199,96	98,36	392,76	313,59	0,80
20,00	19,82	199,84	98,03	388,19	283,73	0,73
20,00	20,00	200,42	98,49	394,79	287,49	0,73
20,00	19,78	200,06	98,13	388,30	277,19	0,71
20,00	19,87	200,18	97,86	389,32	286,73	0,74
20,00	19,70	200,16	97,35	383,88	299,62	0,78
20,00	19,83	200,28	97,91	388,80	287,51	0,74
20,00	20,09	200,12	98,42	395,69	283,54	0,72
20,00	19,55	200,03	98,97	386,96	310,47	0,80
20,00	19,75	200,24	98,52	389,70	260,90	0,67
20,00	19,92	200,43	98,17	392,00	288,58	0,74
20,00	19,84	200,28	98,36	390,85	291,51	0,75
20,00	19,70	200,12	98,39	387,81	291,66	0,75
20,00	19,85	200,18	98,13	389,93	296,98	0,76
20,00	19,66	200,26	98,90	389,33	281,00	0,72
20,00	19,66	200,14	98,34	387,00	295,92	0,76
20,00	19,82	199,74	98,46	389,78	278,28	0,71
160,00	19,92	199,80	98,94	393,72	273,30	0,69
160,00	19,83	200,43	98,48	391,41	287,90	0,74
160,00	19,74	200,42	98,37	389,16	260,77	0,67
160,00	19,89	200,31	98,39	391,91	291,88	0,74
160,00	19,94	200,39	98,62	394,13	296,75	0,75
160,00	19,66	200,41	98,65	388,63	303,17	0,78
160,00	19,94	199,92	98,12	391,16	309,55	0,79
160,00	20,05	200,16	98,40	394,97	285,83	0,72
160,00	19,90	200,44	98,51	392,94	307,76	0,78
160,00	20,04	200,07	96,91	388,53	258,18	0,66
160,00	19,98	200,27	98,52	394,15	281,88	0,72
160,00	19,77	200,17	97,26	384,81	283,70	0,74
160,00	19,70	199,99	98,04	386,27	269,15	0,70
160,00	19,90	200,06	97,64	388,74	280,56	0,72
160,00	19,86	200,19	97,81	388,92	280,56	0,72
160,00	19,73	199,88	98,63	389,03	268,85	0,69
160,00	19,94	200,20	98,48	393,07	292,42	0,74
160,00	19,72	199,98	98,38	387,91	305,26	0,79

Příloha 4

Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva po vysušení (při tepelné úpravě 180°C a 210°C)

Informace, zařazení	Veličiny - po vysušení					Hustota
	Teplota úpravy °C	rozměry [mm]			objem - V[cm ³]	hmotnost celého tělesa - m _w [g]
tl. - h		l - délka	šířka	$\rho_w = m_w / V$ [g*cm ⁻³]		
180	20,00	200,16	98,29	393,53	302,17	0,77
180	19,89	200,24	97,62	388,71	264,49	0,68
180	20,01	199,89	98,71	394,76	301,34	0,76
180	19,99	199,87	98,20	392,35	276,65	0,71
180	19,68	199,77	98,07	385,55	294,00	0,76
180	19,96	199,87	97,60	389,44	286,56	0,74
180	19,63	200,12	97,41	382,65	286,56	0,75
180	19,92	199,93	98,75	393,34	285,44	0,73
180	19,84	199,71	98,75	391,22	294,81	0,75
180	19,79	199,75	98,05	387,52	268,43	0,69
180	19,72	200,33	98,47	389,01	289,81	0,75
180	19,91	199,81	98,13	390,40	285,28	0,73
180	19,85	199,70	98,11	388,91	262,97	0,68
180	19,84	199,38	98,38	389,10	280,86	0,72
180	19,90	199,99	97,28	387,21	273,76	0,71
180	19,95	199,74	97,31	387,75	293,13	0,76
180	19,57	200,00	97,81	382,82	285,65	0,75
210	19,75	199,74	98,09	386,88	293,27	0,76
210	19,75	199,54	98,81	389,48	298,71	0,77
210	19,92	199,98	97,82	389,62	280,68	0,72
210	19,96	199,81	97,79	390,07	278,75	0,71
210	19,96	200,08	96,65	385,98	289,99	0,75
210	19,87	200,40	99,01	394,18	299,10	0,76
210	19,89	200,48	98,31	392,08	284,97	0,73
210	19,66	200,42	97,81	385,41	287,52	0,75
210	20,17	200,27	98,14	396,34	275,46	0,70
210	19,77	200,48	97,30	385,69	267,69	0,69
210	19,93	200,44	97,30	388,77	290,83	0,75
210	19,73	200,29	98,55	389,51	292,20	0,75
210	19,87	200,45	98,22	391,28	272,71	0,70
210	19,82	200,17	97,97	388,60	288,37	0,74
210	19,91	200,47	97,71	389,98	289,63	0,74
210	19,87	200,38	97,51	388,22	255,59	0,66
210	19,84	199,60	97,87	387,65	311,66	0,80
210	19,51	200,12	97,61	381,02	285,95	0,75

Příloha 5

Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva po termické modifikaci (při tepelné úpravě 160°C a 180°C)

Informace, zařazení	Veličiny - po termické modifikaci					Hustota
	rozměry [mm]			objem - V [cm ³]	hmotnost celého tělesa - mw [g]	hustota $\rho_w = m_w / V_w$ [g*cm ⁻³]
Tepelná úprava °C	tL - h	l - délka	šířka			
160,00	19,54	200,27	97,98	383,36	262,95	0,69
160,00	19,51	200,28	97,31	380,21	273,10	0,72
160,00	19,40	200,13	97,42	378,28	249,90	0,66
160,00	19,49	200,40	97,62	381,33	276,82	0,73
160,00	19,54	200,26	97,52	381,53	283,70	0,74
160,00	19,30	200,24	71,39	275,88	289,91	1,05
160,00	19,51	199,92	97,01	378,45	294,82	0,78
160,00	19,71	200,06	97,68	385,10	273,91	0,71
160,00	19,70	199,99	97,20	382,94	293,02	0,77
160,00	19,58	200,01	96,18	376,57	249,20	0,66
160,00	19,67	200,42	97,62	384,76	270,03	0,70
160,00	19,50	200,24	96,33	376,12	274,15	0,73
160,00	19,60	199,93	97,18	380,83	262,34	0,69
160,00	19,83	200,02	96,33	382,15	286,02	0,75
160,00	19,61	200,06	96,92	380,29	273,19	0,72
160,00	19,76	199,81	97,58	385,34	257,45	0,67
160,00	19,86	200,13	97,58	387,83	279,62	0,72
160,00	19,45	200,01	97,07	377,62	290,58	0,77
180,00	19,38	199,67	96,43	373,06	272,18	0,73
180,00	19,45	200,07	97,09	377,81	285,68	0,76
180,00	19,82	200,39	97,65	387,82	255,66	0,66
180,00	19,60	199,75	97,58	382,10	283,61	0,74
180,00	19,62	199,90	97,09	380,77	260,71	0,68
180,00	19,43	199,89	96,82	376,02	279,66	0,74
180,00	19,86	199,92	96,76	384,23	265,26	0,69
180,00	19,16	199,72	96,11	367,70	270,71	0,74
180,00	19,69	200,16	97,76	385,21	270,77	0,70
180,00	19,46	199,81	97,07	377,52	280,91	0,74
180,00	19,68	199,69	97,14	381,75	255,79	0,67
180,00	19,48	200,12	97,09	378,49	272,10	0,72
180,00	19,68	199,82	96,85	380,81	267,23	0,70
180,00	19,54	199,92	97,08	379,29	250,89	0,66
180,00	19,60	199,40	97,18	379,73	264,69	0,70
180,00	19,75	199,98	96,13	379,68	259,61	0,68
180,00	19,71	9699,89	19,59	3746,58	276,22	0,07
180,00	19,55	199,88	96,21	375,88	270,12	0,72

Příloha 6

Rozměry, hmotnost, objem vzorků dřeva po termické modifikaci (při tepelné úpravě 210°C)

Informace, zařazení	Rozměry, hmotnost, objem - po termické modifikaci					Hustota
Teplota úpravy °C	rozměry [mm]			objem - V[cm ³]	hmotnost celého tělesa - mw [g]	hustota $\rho_w = m_w / V_w$ [g*cm ⁻³]
	tl. - h	l - délka	šířka			
210.00	19.03	199.80	95.06	361.39	254.20	0.70
210.00	19.27	199.43	96.19	369.61	254.08	0.69
210.00	19.23	199.82	94.50	363.20	241.30	0.66
210.00	19.24	199.82	95.04	365.37	238.98	0.65
210.00	18.99	199.95	93.27	354.20	248.03	0.70
210.00	18.98	200.16	96.40	366.23	258.88	0.71
210.00	19.09	200.66	95.82	366.97	245.00	0.67
210.00	18.38	200.58	94.97	350.19	244.95	0.70
210.00	19.59	200.16	95.56	374.64	235.46	0.63
210.00	18.82	200.18	94.98	357.89	239.00	0.67
210.00	19.15	200.49	94.97	364.57	253.55	0.70
210.00	18.97	200.08	96.41	365.86	262.82	0.72
210.00	18.92	200.41	95.80	363.29	239.40	0.66
210.00	19.04	199.82	96.01	365.23	254.62	0.70
210.00	19.19	200.48	95.00	365.55	252.32	0.69
210.00	19.22	200.38	96.01	369.69	224.28	0.61
210.00	19.22	198.92	94.83	362.49	268.91	0.74
210.00	18.79	199.91	94.84	356.29	254.36	0.71

Příloha 7
Technický list a aplikační návod výrobce

Technický list

FLAMGARD TRANSPARENT

Protipožární zpěnitelná nátěrová hmota k ochraně dřevěných konstrukcí



FLAMGARD TRANSPARENT je viskózní nátěr, který je po zaschnutí průhledný, se světle žlutým odstínem a zachovává původní kresbu dřeva. V procesu hoření vytváří protipožární nátěrová hmota svým tepelným rozkladem na povrchu chráněného materiálu tlustou, nehořlavou, tepelně izolující pěnovou vrstvu, která způsobí určitou časovou prodlevu spolehlivě chránící materiál proti působení ohně a sálavého tepla.

Rozsah použití: Protipožární nátěrová hmota na vodné bázi určená do interiérů k ochraně dřevěných konstrukcí proti ohni a účinkům sálavého tepla vhodná na staré a vyzrálé dřevo o vlhkosti max. 10 %.

Pro zvýšení celkové odolnosti a životnosti nátěru se překrývá Krycím lakem - specifikace: LAK akrylátový S 1818 (složka B), který je nedílnou součástí dodávky.

Přípravek Flamgard Transparent je certifikovaný jako systém (protipožární nátěr a uzavírací lak).
Aplikace bez předepsaného Krycího laku není schválena!

Aplikace: Dřevo musí být před aplikací čisté, zbavené kůry, lýka, mechanických nečistot a veškerých nátěrů. Maximální povolená vlhkost dřeva před aplikací je 10 %. Aplikace se provádí nátěrem nefeděného přípravku Flamgard Transparent min. ve 3 vrstvách - výsledný nános 500 g/m². Interval mezi jednotlivými vrstvami nátěru je 12 hodin, po nanesení všech vrstev musí být dodržena minimální doba proschnutí celkového nánosu přípravku 24 hodin při 20 °C. Na dobrém proschnutí vlastního funkčního nátěru Flamgard Transparent závisí výsledná transparentnost a estetický vzhled nátěru! Aplikace Krycího laku (složka B) se provádí v 1 vrstvě (nános 80 g/m²). Podrobné technické informace viz platný Aplikační návod.

Technická data: Předepsaný nános funkčního nátěru 500 g/m². Příspěvek k požární odolnosti dle dimenzačních tabulek (viz Aplikační návod).

Podmínky pro aplikační firmu: Aplikaci nátěru může provádět pouze firma, která je zaškolená výrobcem.

Skladování: v původních dokonale uzavřených obalech, odděleně od potravin, nápojů a krmiv v suchých, dobře větraných skladech při teplotě od 20 °C do 35 °C. Chraňte před mrazem!

Záruční doba: 6 měsíců od data výroby (viz číslo šarže) při dodržení skladovacích podmínek.

Údržba a čištění ošetřené konstrukce: Konstrukce chráněná protipožárním nátěrem Flamgard Transparent nesmí přijít do kontaktu s vodou ani jinými čistícími prostředky. Povoleno je pouze suché čištění.

R-věty: Zdraví škodlivý při styku s kůží a při požití. Dráždí oči a kůži. Škodlivý pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí.

S-věty, první pomoc: Uchovávejte mimo dosah dětí. Nevdechujte páry. Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc. Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít. Při požití vypláchnout ústa vodou, vypít asi 0,5 litru vody, nevyvolávat zvracení. Při požití okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc a ukažte tento obal nebo označení. Používejte pouze v dobře větraných prostorech. Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Viz speciální pokyny nebo bezpečnostní listy. Při nadýchání přerušit expozici, odvést postiženého na čerstvý vzduch. Při zasažení kůže důkladně omýt vodou.

Likvidace obalů: Prázdný obal i zbytky přípravku likvidujte jako nebezpečný odpad.

Datum revize: 12.11.2013

Aplikační návod protipožární transparentní zpěnitelné nátěrové hmoty na dřevo

Flamgard Transparent

Popis

Protipožární nátěr Flamgard Transparent se skládá ze dvou složek. První složka je zpěnitelná nátěrová hmota obsahující koksotvornou látku, dále látku, která je zdrojem minerální kyseliny (kys. fosforečná), napěňující látku, pojiva, plniva, aditiva a pomocné látky upravující užité vlastnosti přípravku. Nátěrová hmota neobsahuje azbest, toxické pigmenty ani chlorované přísady. Druhou složkou je Krycí lak, který je nedílnou součástí dodávky. Vrchní Krycí lak je na etiketě specifikován jako LAK akrylátový S 1818 a nelze jej nahradit jiným výrobkem (povrchová úprava jiným lakem není certifikovaná).

Nátěr je po zaschnutí transparentní se světle žlutým odstínem a zachovává původní kresbu dřeva. Před aplikací protipožárního nátěru Flamgard Transparent lze dřevo upravit do libovolného odstínu lihovými moidly.

Je třeba upozornit, že se jedná o průmyslový funkční nátěr, který nelze vzhledově porovnávat s běžnými přípravky pro estetickou úpravu.

Použití

Přípravek je určen k ochraně dřeva a lignocelulózových materiálů proti působení ohně a sálavého tepla. **Užívá se výhradně do interiéru a suchého prostředí** (do maximální relativní vlhkosti vzduchu 80 %). Je vhodný na zabudované dřevo o relativní vlhkosti max. 10 %. Nesmí být použit např. na ochranu krovu, který je před položením střešní krytiny vystaven několik dní nepříznivým povětrnostním podmínkám (sluneční paprsky, déšť). V tomto případě může dojít k znehodnocení nátěru (k jeho vymytí resp. roztavení) a tím ke ztrátě jeho funkčnosti. Krycí lak nesmí být vystaven teplotě vyšší než 50 °C, z čehož plyne, že přípravek není vhodný k ochraně dřeva tam, kde je možný vliv vyšší teploty např. působením slunečních paprsků přes střešní okno (může dojít k roztavení krycího laku a k počátečním projevům funkčnosti přípravku - náznaky napětí, lepidlosti). Dále přípravek nesmí být aplikován na dřevo upravené jakýmkoliv nátěrem nebo tmelem z důvodu nutnosti dokonalého zakotvení protipožárního nátěru na povrchu dřeva!

Pro zvýšení celkové odolnosti a životnosti se nátěr překrývá polomatným Krycím lakem, který je podmínkou aplikace.

Nátěr nesmí být vystaven působení silně kyselého či alkalického prostředí a silných oxidačních činidel. Připustnost jiného než běžného prostředí je nutno konzultovat s výrobcem.

Funkční vlastnosti

V procesu hoření vytváří protipožární nátěrová hmota svým tepelným rozkladem na povrchu chráněného materiálu silnou nehořlavou tepelně izolující vrstvu, která způsobí určitou časovou prodlevu spolehlivě chránící materiál proti působení ohně a sálavého tepla.

Technické vlastnosti

Přípravek byl testován dle ČSN P ENV 13381-7:2003.

Vlastnosti nátěrové hmoty

Obsah netěkavých složek 4 h/105 °C ± 2 °C dle ISO 1515 (67 3031)	min. 62 % hm.
Měrná hmotnost při 23 °C dle ČSN EN ISO 2811-1	1,21 g/cm ³
Barevný odstín	žlutý
Hodnota pH	2 - 3

Údaje pro aplikaci

Aplikace se provádí štětcem nebo válečkem.

Ředidlo a čisticí prostředek: a) pro krycí lak C 6000

b) pro protipožární nátěr - horká voda

Celková vydatnost

Spotřeba v mokřem stavu (složka A) 500 g/m²

Spotřeba Krycího laku (složka B) 80 g/m²

Doba zasychání

Stupeň	Doba zasychání přípravku
2 (zaschlý na dotyk)	3 hodiny

Nátěrový film přípravku	Doba zasychání při 20 °C
přetíratelný - mezi 2 vrstvami	12 hodin
vytvrzený	24 hodin
Krycí lak	4 hodiny

Poznámka: Uvedené hodnoty je nutno považovat pouze za informativní. Skutečnou dobu schnutí lze stanovit pouze na místě v závislosti na stádiu a vlhkosti dřeva, počtu nanesených vrstev, teplotě, vlhkosti a cirkulaci vzduchu.

Příspěvek k požární odolnosti při nánosu 500 g/m² Flamgardu Transparent a 80 g/m² Krycího laku (klasifikace dle ČSN EN 13501-2:2003):

a) pro stropy:

Požární odolnost R (min) nechráněné konstrukce	Příspěvek k požární odolnosti (min) chráněné konstrukce
9 až 16	7
17 až 24	8
25 až 32	9
33 až 40	10
41 až 45	11

b) pro nosníky:

Požární odolnost R (min) nechráněné konstrukce	Příspěvek k požární odolnosti (min) chráněné konstrukce
8 až 10	7
11 až 16	8
17 až 23	9
24 až 31	10
32 až 38	11
39 až 45	12

Nános 500 g/m² musí být dodržen, požární odolnost nelze zvyšovat přidáním dalších vrstev nátěru.

Technická data

Třída reakce na oheň (klasifikace dle ČSN EN 13501 - 1 +A1)	B - s1, d0
Index šíření plamene po povrchu stavebních hmot (ČSN 73 0863)	$i_f = 0,00$ mm/min
Rychlost šíření plamene po povrchu stavebních hmot (ČSN 73 0863)	$v_f = 0,00$ mm/min

Životnost nátěru

Životnost nátěru je 10 let. Obnova nátěru před uplynutím této lhůty se doporučuje např. při mechanickém poškození. Doporučená kontrola: 1 ročně.

Podmínky pro aplikaci

Doporučená okolní teplota při aplikaci je +10 °C až +35 °C a max. relativní vlhkost vzduchu 80 %. Teplota se měří v blízkosti podkladu a zaznamenává se do pracovního deníku. Dále je nutno změřit a zaznamenat relativní vlhkost dřeva. Maximální povolená relativní vlhkost dřeva je 10 %. Při nucené výměně vzduchu nepřísoušet teplým vzduchem, který může být příčinou povrchového zaschnutí nátěru a uzavření rozpouštědel v nátěru. Před aplikací je nutno přípravek důkladně rozmíchat.

Aplikace nátěrového systému

Provedení přípravy podkladu

Dřevo musí být připraveno podle ČSN 49 0615 a ČSN 49 0630. Povrch musí být vždy čistý, suchý, zbavený mastnoty, prachu, lýka, kůry a případného starého nátěru nebo tmelu, aby nic nebránilo přípravku v dokonalém styku a zakotvení na povrchu chráněného dřeva! Pro očištění povrchu se doporučuje používat škrabky, kartáče a v případě potřeby též roztoky saponátu.

Všechny nečistoty, nátěry a tmely, které mohou mít vliv na přilnavost jednotlivých vrstev nátěrového systému, musí být pečlivě odstraněny! Maximální povolená relativní vlhkost dřeva před aplikací je 10 %.

Před použitím protipožárního nátěru je možno ošetřit dřevo přípravky: Lignofix OH nebo Lignofix TOP-OH, které chrání proti dřevokaznému hmyzu, dřevokazným houbám a plísním. V případě dřeva napadeného dřevokazným hmyzem lze provést ošetření přípravkem Lignofix I-Profi -OH s likvidačním a preventivním účinkem na dřevokazný hmyz.

Po aplikaci impregnačního přípravku je třeba dodržet technologickou přestávku minimálně tři dny, následně lze nanést přípravek Flamgard Transparent.

Funkční nátěr Flamgard Transparent

Přípravek se nanáší min. ve 3 a více vrstvách nátěrem neředěného přípravku tak, aby byla dodržena předepsaná spotřeba 500 g/m². Jednotlivé vrstvy se nanášejí postupně po proschnutí předchozí vrstvy minimálně po 12 hodinách při 20 °C v suchém prostředí (do max. relativní vlhkosti vzduchu 80 %). Poslední vrstvu je třeba nechat zaschnout minimálně 24 hodin.

Vrchní krycí nátěr

Pro zvýšení celkové odolnosti a životnosti nátěru je nutno aplikovat vrchní Krycí lak v 1 vrstvě nátěrem v množství 80 g/m², který zasychá po 4 hodinách (dle pokynů výrobce laku).

Přípravek Flamgard Transparent je odzkoušený a certifikovaný jako systém (protipožární nátěr a uzavírací lak).

Aplikace bez vrchního Krycího laku není schválena!

Podmínky pro aplikační firmu

Aplikaci nátěru může provádět pouze firma, která je zaškolená výrobcem a která je schopna zaručit dodržení technologického postupu a technologické kázně v souladu s technickými daty. Veškeré kroky aplikačního postupu, včetně podmínek prostředí podléhají evidenci a následné kontrole.

Číslo vydaného osvědčení je aplikační firma povinna uvádět v každé objednávce společně s uvedením akce a předpokládaného data skončení stavby. Ke každé realizované stavbě je vydáván společností STACHEMA tzv. „Protokol o výrobku“ (formulář viz str. 26), kde je uvedena velikost ošetřované plochy a s tím související odebrané množství přípravku a název realizované stavby.

Doprava a skladování

Přípravek se skladuje v původních dokonale uzavřených obalech na suchém a krytém místě, odděleně od potravin, nápojů a krmiv při teplotách od +20 °C do +35 °C. Chraňte před mrazem!

Při teplotě nižší než skladovací dochází ke krystalizaci účinných složek, v případě aplikace tohoto nátěru nemůže výrobce nést odpovědnost za případné estetické a funkční závady nátěru.

Záruční doba

Záruční doba je 6 měsíců od data výroby při dodržení skladovacích podmínek.

Balení

PE obaly po 1 kg, 5 kg, 10 kg, 50 kg zakázková výroba (na objednávku)

Údržba a čištění

Konstrukce chráněná protipožárním nátěrem Flamgard Transparent nesmí přijít do kontaktu s vodou ani jinými čistícími prostředky. Povoleno je pouze suché čištění (prachovka, vysavač).

Bezpečnost práce a nakládání s obaly

Přípravek je klasifikován jako látka dráždivá, zdraví škodlivá a nebezpečná pro životní prostředí, symbol nebezpečnosti Xn.

R-věty: Dráždí oči a kůži

Zdraví škodlivý při styku s kůží a při požití

Škodlivý pro vodní organismy, může způsobit dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí

S-věty: Uchovávejte mimo dosah dětí

Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc

Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít

Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Viz speciální pokyny nebo bezpečnostní listy

Při práci není dovoleno jíst, pít a kouřit a je nutno zajistit dostatečné větrání pracoviště.

Prázdný obal, zbytky přípravku i oplachové vody z vymývání obalů a čištění aplikačních zařízení likvidujte jako nebezpečný odpad v souladu s platnou legislativou (zák. o obalech, zák. o odpadech).

Podrobné informace o zdravotních a bezpečnostních rizicích a opatřeních při používání tohoto výrobku naleznete v bezpečnostním listu, který Vám na požádání dodá výrobce.

První pomoc

Při nadýchání přerušit expozici a odvést postiženého na čerstvý vzduch. Při zasažení očí ihned vyplachovat proudem vody min.10 minut.

Při zasažení kůže důkladně omýt vodou. Při požití vypláchnout ústa vodou, vypít asi 0,5 litru vody, nevyvolávat zvracení. Při zdravotních potížích po manipulaci s přípravkem a vždy při zasažení očí a při požití vyhledat lékařskou pomoc a ukázat obal přípravku.

Upozornění výrobce

Výrobce neodpovídá za škody způsobené nesprávným použitím přípravku. Aplikací protipožárních nátěrů nelze zvýšit požární odolnost požárních uzávěrů, neaplikujte na dveře!