

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva



**Termicky modifikované dřevo – reakce na hoření**

Bakalářská práce

Autor: Dalibor Potůček

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

2015

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra základního zpracování dřeva

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Dalibor Potůček

Dřevařství

Název práce

**Termicky modifikované dřevo – reakce na hoření**

Název anglicky

**Thermally modified wood – a response to burning**

---

### Cíle práce

Hlavním cílem práce je analýza současných technologií výroby termicky modifikovaného dřeva ve smyslu před reakcí na oheň.

### Metodika

1. Teoretický rozbor jednotlivých technologií výroby termicky modifikovaného dřeva z pohledu kvality produktu a jeho vztahu k hoření. Definice charakteristik – před reakcí materiálů na oheň a jejich aplikace na termodřevo z hlediska jeho vlastností.

## Doporučený rozsah práce

35-45 stran textu

## Klíčová slova

thermodřevo, technologické parametry, zápalnosť, horľavosť, retardér, degradácia dreva, reakce na požár, šíření plamene

---

## Doporučené zdroje Informací

BUBENÍKOVÁ, T., KAČIKOVÁ, D., KAČIK, F. Charakteristiky ligninů při termické degradaci smrekového dřeva. 1. vydání, Zvolen: Technická univerzita : vedecké štúdie, 2007, 70 s.

DVORÁK, O., CHARVATOVÁ, V., RŮŽIČKA, M. Nebezpečí toxicity zplodin hoření materiálů. 1. vydání, Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, Praha, 87 s.

HORÁČEK, P. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998, 126 s.

KAČIK, F. Tvorba a chemické zloženie hydrolyzátov v systéme drevo – voda – teplo. Zvolen : Technická univerzita / Vedecké štúdie, 75 s.

KAČIKOVÁ, D., KAČIK, F. Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave. 1. vydanie, TU Zvolen, 2011, 71 s.

NOSKIEVIČ, R., PILCH, R. Spalování dřeva v malém ohništi. 1. vydání, Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Ostrava, 2009, 80 s.

ORLIKOVÁ, K., ŠTROCI I, P. Chemie procesů hoření. 1. vydání, SPBÍ Spektrum, 1999, Ostrava, 87 s.

REINPRECHT, L., VIDHOLDOVÁ Z. Termodřevo – príprava, vlastnosti a aplikácie, TU Zvolen, 2008, 89 s.

---

## Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

## Vedoucí práce

Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

---

Elektronicky schváleno dne 4. 11. 2014

**Ing. Milan Gaff, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 10. 3. 2015

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan

V Praze dne 12. 04. 2015

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Termicky modifikované dřevo – reakce na hoření* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miroslava Gašparíka, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V..... dne.....

Podpis autora

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Miroslavu Gašparíkovi, PhD. za vstřícné vedení práce, za cenné rady a připomínky, ochotu a trpělivost. Mé poděkování patří rovněž všem, kteří mě při psaní bakalářské práce podporovali.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá zhodnocením různých metod výroby termicky upraveného dřeva - thermowoodu. Tyto metody jsou porovnávány na základě fyzikálních, mechanických i požárních vlastností tepelně upraveného dřeva v závislosti na porovnání se dřevem rostlým. Na základě specifických vlastností popisuje různé využití tepelně upraveného dřeva. Hlavní důraz je kladen na požární vlastnosti materiálů vyráběných z tepelně upraveného dřeva a jejich srovnání s neupraveným dřevem. Jednou z těchto vlastností je i požární odolnost materiálů. Požární odolnost stavebních výrobků a konstrukcí staveb je posuzována podle současně platných norem. Jednotlivé výrobky se klasifikují a třídí do skupin v závislosti na jejich reakci na oheň. V souvislosti s tím práce uvádí vlivy termického působení na změny chemického složení dřeva. Problematika reakce dřeva na hoření je spojena současně i s ochranou tepelně upraveného dřeva proti ohni pomocí retardérů. Závěr shrnuje poznatky o zkvalitnění rostlého dřeva jeho tepelnou úpravou z hlediska trvanlivosti a požární odolnosti, jako i po stránce užitkové a estetické.

## **Klíčová slova**

thermodřevo, technologické parametry, zápalnost, hořlavost, retardér, degradace dřeva, reakce na požár, šíření plamene

## **Abstract**

Bachelor thesis evaluates different methods of production of thermally treated wood - Thermowood. These methods are compared on the basis of physical, mechanical, as well as fire properties of heat-treated wood in dependence on a comparison with the untreated wood. Based on the theses specific properties the thesis describes the various uses of thermally-treated wood. The main emphasis is on the fire behavior of materials produced from thermally-treated wood and their comparison with untreated wood. One of these properties is the fire resistance of materials and products. Fire resistance of building products and constructions is assessed according to current standards. Individual products are classified and sorted into groups depending on their reaction to fire. In this context, this thesis presents the effects of thermal effects on changes in the chemical composition of wood. Also, the issue of wood reaction to burning is simultaneously associated with thermally-treated wood protection against fire or burning using fire retardants. The conclusion summarizes knowledge on how to improve the properties of solid wood using thermal treatment in terms of durability and fire resistance, as well as in terms of utility and aesthetics.

## **Keywords**

thermowood, technological parameters, inflammability, combustibility, fire retardant, degradation of wood, reaction to fire, flame spread

## OBSAH

1. ÚVOD.....	12
2. CÍL PRÁCE.....	14
3. METODIKA PRÁCE.....	15
4. ROZBOR PROBLEMATIKY.....	16
4.1. Termicky modifikované dřevo.....	16
4.1.1. Pojem.....	16
4.1.2. Vývoj.....	17
4.1.3. Technologie výroby.....	17
4.1.3.1. Příprava termodřeva v prostředí vodní páry PlatoWood.....	18
4.1.3.2. Příprava termodřeva v olejích OHT-Wood.....	18
4.1.3.3. Příprava termodřeva v prostředí inertních plynů.....	18
4.1.3.4. Příprava termodřeva v teplé páře za použití oleje WTT.....	18
4.1.3.5. Příprava termodřeva v atmosféře vzduchu ThermoWood...	19
4.2. Charakteristika tepelně upraveného dřeva thermowood.....	20
4.2.1. Fyzikální vlastnosti.....	20
4.2.1.1. Rozměrová stabilita.....	20
4.2.1.2. Hygroskopicitá.....	21
4.2.1.3. Hustota.....	22
4.2.1.4. Barva a vůně.....	24
4.2.1.5. Tepelně-izolační a akustické vlastnosti.....	25
4.2.2. Mechanické vlastnosti.....	25
4.2.2.1. Rázová houževnatost.....	25
4.2.2.2. Ohybová pevnost.....	26
4.2.2.3. Tlaková, tahová a smyková pevnost.....	27
4.2.2.4. Modul pružnosti.....	28
4.2.2.5. Tvrdost.....	29
4.2.3. Vylepšené užitkové vlastnosti.....	29
4.2.3.1. Biologická odolnost.....	30
4.2.3.2. Povětrnostní odolnost.....	30
4.3. Využití termicky upraveného dřeva.....	31
4.4. Požární vlastnosti thermowood dřeva.....	32



4.4.1.	Historie vývoje požární bezpečnosti .....	32
4.4.2.	Historie ČSN v oblasti požární bezpečnosti.....	33
4.4.3.	Současně platné ČSN .....	34
4.5.	Reakce dřeva thermowood na hoření .....	36
4.5.1.	Zkouška zápalnosti tělesa malým zdrojem plamene .....	37
4.5.2.	Zkouška jednotlivým hořícím předmětem SBI.....	38
4.5.3.	Další metody na určení vlastností souvisejících s požární odolností.....	40
4.5.4.	Chemické reakce vznikající vlivem tepelného působení .....	42
4.5.5.	Chemické změny hlavních složek dřeva při působení tepla .....	43
4.6.	Způsoby ochrany dřeva proti ohni.....	45
4.6.1.	Rozdělení.....	45
4.6.2.	Retardéry hoření.....	46
4.6.3.	Vývoj retardérů hoření .....	46
4.6.4.	Rozdělení retardérů hoření.....	47
4.6.5.	Použití retardérů .....	48
5.	ZÁVĚR .....	49
6.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	50
7.	PŘÍLOHY .....	53

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obr. č. 1</b> Schéma výroby Thermowood .....	20
<b>Obr. č. 2</b> Relativní radiální bobtnání smrkového dřeva v závislosti na relativní vlhkosti a na různých technologiích termické úpravy.....	21
<b>Obr. č. 3</b> Relativní tangenciální bobtnání smrkového dřeva v závislosti na relativní vlhkosti a na různých technologiích termické úpravy .....	21
<b>Obr. č. 4</b> Sorpčně-desorpční hysterézy rostlého dřeva a dřeva termicky modifikovaného v prostředí dusíku při teplotě 250°C po dobu 2 hodin.....	22
<b>Obr. č. 5</b> Změna hustoty borovicového dřeva při tepelné úpravě od 160 °C do 240 °C a době působení 3 hodiny .....	23
<b>Obr. č. 6</b> Charakteristické změny běle borovicového dřeva (borovice lesní) termicky upraveného dřeva v řepkovém oleji.....	24
<b>Obr. č. 7</b> Změna rázové houževnatosti v ohybu dřeva termicky zatíženého při teplotách 20 až 140 °C .....	26
<b>Obr. č. 8</b> Změna ohybové pevnosti borovicového dřeva při teplotním zatížením od 60 °C do 240 °C výrobků Thermo-S a Thermo-D .....	27
<b>Obr. č. 9</b> Pokles pevnosti v tlaku smrkového dřeva v závislosti na teplotě působení .....	28
<b>Obr. č. 10</b> Změna modulu pružnosti borovicového dřeva při teplotním zatížením od 60 °C do 240 °C výrobků Thermo-S a Thermo-D .....	28
<b>Obr. č. 11</b> Závislost tvrdosti na tepelné úpravě termicky upraveného dřeva podle Brinella (při době působení 3 hodiny).....	29
<b>Obr. č. 12</b> Zvýšení trvanlivosti Thermowood dřeva vyrobeného z běle borovice při teplotách 100-240 °C/3h - tj. snížení poměrného úbytku hmotnosti při hnilobě houbou - vzhledem k neupravenému dřevu.....	31
<b>Obr. č. 13</b> Výsledky rychlosti uvolňování tepla masivní borovice (tepelně upravené), masivní borovice dle (ČSN EN 13 823 2010) .....	40

## SEZNAM TABULEK

<b>Tab. 1</b> Příklady využití thermowoodu .....	32
<b>Tab. 2</b> Výsledky masivního smrku borovice (tepelně upravené), masivní borovice a překližky dle (ČSN EN 13 823 2010) .....	39
<b>Tab. 3</b> Výsledky zkoušky při hustotě toku sálavého tepla 50 kW/m <sup>2</sup> .....	41
<b>Tab. 4</b> Výsledky zkoušky při hustotě toku sálavého tepla 25 kW/m <sup>2</sup> .....	41

## SEZNAM ZKRATEK

ČNI	Český normalizační institut
ČSFR	Česká a Slovenská Federativní Republika
ČSN	České státní normy
EN	Evropské normy
OHT	Oil Heat Treatment, úprava teplem a olejem
SBI	single burning item, zkouška jednotlivým hořícím předmětem
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

# 1. ÚVOD

Dřevo provází člověka od nepaměti. Setkáváme se s ním ve všech oborech lidské činnosti.

Ve spojení s ohněm zajišťovalo dřevo základní životní potřeby – teplo, světlo a později tepelnou úpravu pokrmů. S rozvojem lidské společnosti se dřevo začalo používat na stavby obydlí a návazně pak i na vnitřní vybavení příbytků – zařizovacích předmětů a nábytku. Pro tyto účely se nejdříve používalo dřevo rostlé v přírodě – nijak neopracované. Dřevo tvořilo také základní součást zbraní potřebných k lovu zvěře.

Avšak potřeby člověka zvyšovat požadavky na praktičnost, estetičnost a využití dřeva donutily lidi začít dřevo alespoň jednoduše opracovávat. Tak se postupně začaly vyvíjet a zdokonalovat všechny praktiky obrábění dřeva.

Se zvyšující se těžbou dřeva si lidé stále více uvědomovali jeho cenu a snažili se tuto surovinu pokud možno co nejvíce a nejlépe zužít. Od 19. století se začínají využívat i odpady vznikající při obrábění dřeva a dochází k zahájení výroby materiálů na bázi dřeva.

Dřevo je surovina, jejíž velkou výhodou je obnovitelnost, tudíž prozatím nevyčerpatelnost zdrojů. V porovnání se svou hmotností má dřevo vysokou pevnost a pružnost. Mezi přednosti dřeva patří i jeho estetičnost, dobré tepelné, akustické a elektroizolační vlastnosti. Široké pole možností využití pak zvyšuje i schopnost dřeva držet spojovací materiály.

Naopak mezi nevýhody dřeva patří:

- hygroskopicitá - změna rozměrů, pevnosti a pružnosti v souvislosti s obsahem vody,
- anizotropie - rozdílné vlastnosti dřeva ve 3 základních směrech (radiální, tangenciální, transversální),
- nehomogenita,
- hořlavost,
- podléhání degradaci biotickými a abiotickými činiteli.

Člověk usiluje o zlepšení vlastností dřeva zejména tím, že se snaží jeho nevýhody různými metodami potlačovat a dřevo modifikuje – mechanicky, chemicky, enzymaticky a termicky.

Moderní metody termické úpravy dřeva vlastně nepřímo navazují na zkušenosti z dávné minulosti. Poznatky našich předků o zvýšené trvanlivosti dřevěných kůlů, které před zemní vlhkostí chránil ohněm zkarbonizovaný povrch, se předávaly po staletí. Také záhlaví stropních trámů se před uložením do zdiva nejprve ošetřovala plamenem.

## 2. CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je seznámit s problematikou týkající se termicky modifikovaného dřeva. Zhodnotit kvality produktu (výhody a nevýhody) a charakterizovat jeho vztah k hoření. Cíl práce podrobněji vyjadřují následující body:

- analýza současné technologie výroby termicky modifikovaného dřeva,
- charakteristika fyzikálních, mechanických a užitkových vlastností termicky modifikovaného dřeva,
- zaměření se na vlastnosti související s požární odolností a s reakcí na zápalnost a hoření,
- porovnání termicky modifikovaného dřeva s rostlým dřevem – vlastnosti, výhody a nevýhody,
- porovnání termicky modifikovaného dřeva v základní formě se dřevem termicky modifikovaným a navíc dále upraveným za pomoci chemických látek.

### **3. METODIKA PRÁCE**

Na základě studia odborné literatury s využitím informací z internetových zdrojů provést teoretický rozbor jednotlivých technologií výroby termicky modifikovaného dřeva. Vytvořit přehled rozebírané problematiky.

Metodou srovnání vyjádřit kvality produktů daných výrobních procesů. Definovat charakteristiky před reakcí na oheň - charakterizovat termodřevo z hlediska vlastností fyzikálních, mechanických, užitkových, požárních i z hlediska trvanlivosti.

Získané poznatky doložit technickými normami, které jsou přístupné v elektronické podobě v Národní technické knihovně v Praze. Normy vydává Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví a Český normalizační institut.

## **4. ROZBOR PROBLEMATIKY**

### **4.1. Termicky modifikované dřevo**

Tato část vysvětluje pojem termicky modifikovaného dřeva, zabývá se vývojem i současnými technologiemi výroby.

#### **4.1.1. Pojem**

Při termické modifikaci dochází k trvalému zlepšení odolnosti dřeva vůči hnilobě a povětrnostním vlivům, ke zvýšení stálosti rozměrů a snížení vlhkosti dřeva.

Tepelná úprava je vhodná pro všechny druhy dřeva. Jednotlivé úrovně modifikace lze volit podle požadavků konkrétního užití. Termicky modifikované dřevo je nejčastěji aplikováno do vnějších, ovšem pouze nenosných 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. Také 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. Díky tepelné modifikaci se zlepšily tepelně izolační vlastnosti dřeva, tmavší odstín barvy je přímo úměrný teplotě použité při modifikaci. Vzhledem k tomu, že v procesu této úpravy dřeva se nepoužívají žádné impregnační látky, je výsledný materiál snadno odbouratelný, a tudíž šetrný k životnímu prostředí. (Thermowood Handbook 2003)



#### **4.1.2. Vývoj**

Vliv termického působení na vlastnosti dřeva se zkoumá poměrně dlouho. Už na začátku 20. století se zjistilo, že sušení dřeva při vysokých teplotách snižuje rovnovážnou vlhkost dřeva a jeho následné nabobtnávání. Odborníci sledovali pokles rovnovážné vlhkosti, nabobtnávání a sesychání dřeva při ohřevu v různých plynech. Při termickém působení dochází i ke zlepšení rozměrové stability dřeva. Tehdejší výsledky výzkumu však nebyly využity v praxi pravděpodobně kvůli nedostatku kvalitního dřeva (Esteves a Pereira 2009). Výzkum přesto pokračuje a v posledních letech nabírá vysokou intenzitu - začal se aplikovat v průmyslu některých evropských států (Kačíková a Kačík 2011). Průkopníkem výroby termodřeva bylo Finsko s výrobky označenými Thermowood. Neustále se však hledají nové způsoby výroby termicky modifikovaného dřeva (např. Royal proces, Stellac proces a jiné), které by využívaly další výhřevná média, také rostlinné oleje a olejové živice (Reinprecht a Vidholdová 2008).

#### **4.1.3. Technologie výroby**

Termodřevo se vyrábí různými technologiemi. V Evropě se dnes používají hlavně tyto:

- 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)

V souvislosti s používanými technologiemi se v Evropě ujalo i šest obchodních názvů: ve Finsku ThermoWood, v Holandsku PlatoWood, v Německu Oil Heat Treatment Wood, ve Francii Bois Perdure a RetiWood, v Dánsku WTT a nový způsob technologie se rozvíjí v Rakousku - Huber Holz (Kačíková a Kačík 2011).

#### 4.1.3.1. *Příprava termodřeva v prostředí vodní páry PlatoWood*

Tímto způsobem je dřevo postupně upravováno ve čtyřech krocích - v prvním se ve vlhkém prostředí dřevo vystavuje teplotě 160 – 190 °C po dobu 4 až 5 hodin při zvýšeném tlaku - tento krok se nazývá termolýza. Ve druhém kroku se dřevo suší konvekčním způsobem na vlhkost 10%. Ve třetím kroku se dřevo opět zahřívá na 170 - 190 °C po dobu 14 - 16 hodin, ovšem bez přítomnosti vlhkosti. V posledním kroku se dřevo kondicionuje na běžnou vlhkost. Tento způsob výroby využívají firmy v Holandsku. (Reinprecht a Vidholdová 2008)

#### 4.1.3.2. *Příprava termodřeva v olejích OHT-Wood*

Při tomto procesu se používá lněný olej, ve kterém je čerstvé dřevo zahříváno na teplotu 180 – 200 °C po dobu 2 – 4 hodin. Spolu s chladnutím tento proces trvá až 18 hodin. Těto technologie využívají firmy v Německu.

#### 4.1.3.3. *Příprava termodřeva v prostředí inertních plynů*

Ve Francii se používá proces Rectification - dřevo s vlhkostí 12% se zpracovává v dusíkové atmosféře při teplotách 200 - 240 °C. Obchodní název takto upraveného dřeva je Retiwood. Další způsob používaný ve Francii je Bois Perdure, který využívá čerstvé dřevo - to se rychle suší parou a spaliny při teplotách 200 - 240 °C.

#### 4.1.3.4. *Příprava termodřeva v teplé páře za použití oleje WTT*

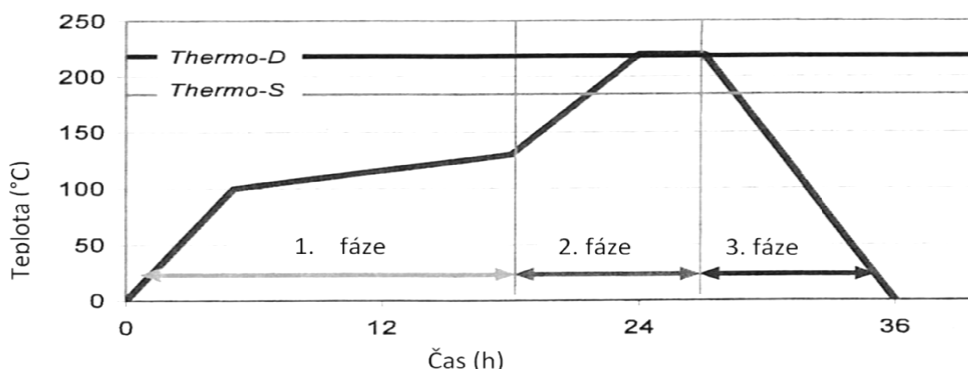
Tato poměrně nová technologie se využívá v Dánsku. Upravuje dřevo relativně krátkou dobu (12 až 24 hodin) při 160 – 180 °C za použití teplé páry. Při této úpravě dřeva se mohou použít oleje. Takto modifikované dřevo lze do jisté míry využít i pro nosné účely, protože je upravováno poměrně nízkými teplotami, které nezpůsobují velkou ztrátu pevnosti (WTT 2015).

#### 4.1.3.5. Příprava termodřeva v atmosféře vzduchu ThermoWood

Výroba Thermowoodu začala ve 20. letech 20. století v městě Manta ve Finsku. V roce 2000 byla ustanovena ve Finsku organizace 'FinnishThermoWoodAsociation'. Její hlavní úlohou je kontrola kvality ThermoWood materiálů vyráběných v různých závodech po světě (Reinprecht a Vidholdová 2008).

Tento výrobní proces patentoval Viitaniemi a je pravděpodobně nejúspěšnější v Evropě. V současnosti je nejrozšířenější a nejprodávanější i v naší republice. Z tohoto důvodu bych se chtěl ve své práci věnovat právě tomuto procesu úpravy dřeva.

Thermowood se vyrábí ve dvou modifikacích: Thermo-S (pro použití v interiéru) a Thermo-D (pro použití v exteriéru). Výroba termicky upraveného dřeva Thermowood probíhá ve třech fázích. Schéma výroby Thermowood je znázorněno na obrázku č. 1. 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 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 až 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).



Obr. č. 1 Schéma výroby Thermowood

Zdroj: (Mayes a Oksanen 2002)

## 4.2. Charakteristika tepelně upraveného dřeva thermowood

### 4.2.1. Fyzikální vlastnosti

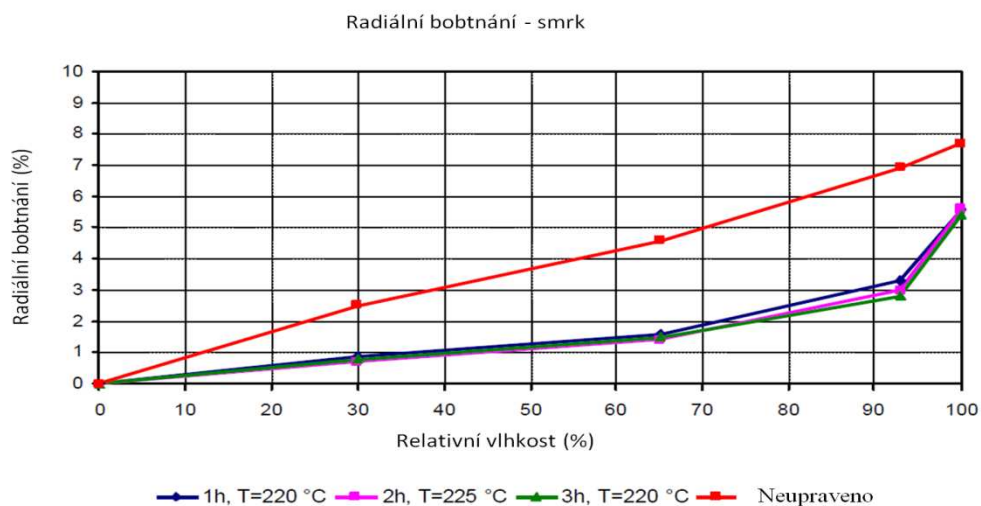
Při výrobě Thermowoodu se sledují hlavně změny těchto fyzikálních vlastností: rozměrové stability, hygroskopicity, hustoty, barvy a vůně a částečně tepelně-izolačních i akustických vlastností.

#### 4.2.1.1. Rozměrová stabilita

Rozměrová stabilita je úzce spjata se změnami vlhkosti, které mají vliv na bobtnání a sesychání dřeva. Sesychání a bobtnání probíhá pouze v intervalu od absolutně suchého dřeva do bodu nasycení vláken. Bod nasycení vláken se v závislosti na dřevině pohybuje okolo vlhkosti 30%. Nad hodnotu bodu nasycení vláken se již rozměry dřeva nemění.

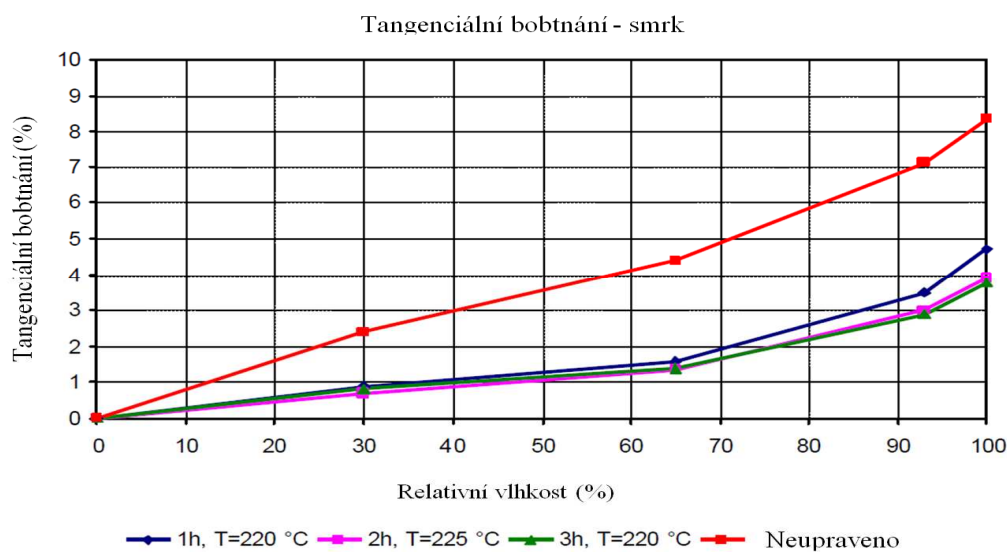
Termicky upravené dřevo v porovnání se dřevem rostlým je rozměrově stabilnější. To vyplývá z chemických změn při působení tepla, kdy část odbouraných – OH skupin zamezuje vázání většího množství vody do buněčných stěn. Tím je zajištěna větší rozměrová stabilita (Thermowood Handbook 2003).

Dřevo se stává rozměrově stabilnější již při sušení dřeva v teplotách okolo 110 °C. Zlepšení rozměrové stability popisuje obrázek č.2 a č.3.



Obr. č. 2 Relativní radiální bobtnání smrkového dřeva v závislosti na relativní vlhkosti a na různých technologiích termické úpravy

Zdroj: (Thermowood Handbook 2003)



Obr. č. 3 Relativní tangenciální bobtnání smrkového dřeva v závislosti na relativní vlhkosti a na různých technologiích termické úpravy

Zdroj: (Thermowood Handbook 2003)

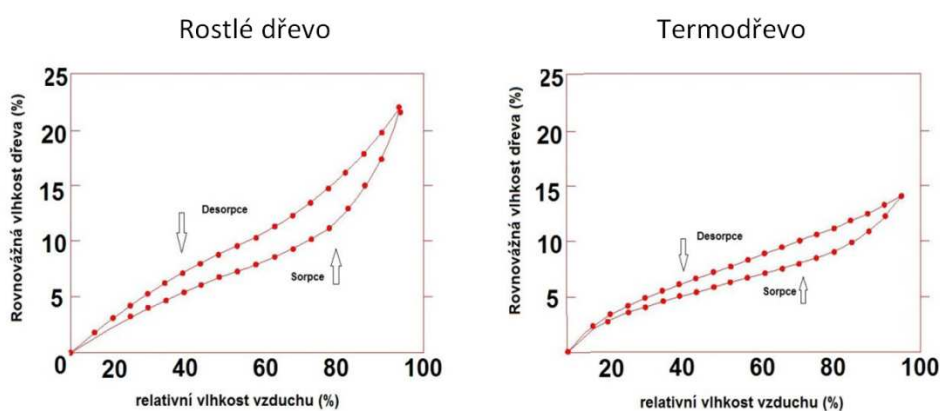
#### 4.2.1.2. Hygroskopicitá

Hygroskopicitá je jedna z nejdůležitějších vlastností dřeva. Ve dřevě se vyskytuje jednak voda volná a jednak voda vázaná, přičemž vlastnosti dřeva významně ovlivňuje především voda vázaná. Hygroskopicitá je schopnost dřeva přijímat vodu z okolního vzduchu a odevzdávat ji zpět. V závislosti na

vlhkosti a teplotě okolního vzduchu se mění i rovnovážná vlhkost dřeva. Hygroskopicitu můžeme snížit též působením vysokých teplot po delší časové období (již při působení teploty vyšší než 100 °C se hygroskopicita sníží asi o 3% oproti rostlému dřevu).

Za poklesem hygroskopicity při působení vyšších teplot stojí především odbourání určitého podílu hemicelulóz, dále také odbourání či prostorová blokáce hydrofilních – OH funkčních skupin. V neposlední řadě též migrace a redistribuce lipidních a jiných hydrofobních látek.

U thermowoodu je snížena hodnota bodu nasycení vláken o 30 až 70%. U termicky upraveného dřeva jsou i plošší sorpčně-desorpční hysterézní křivky než u rostlého dřeva, jak dokládá obrázek č.4. Při klimatických podmínkách o teplotě 20 °C a relativní vlhkosti v rozmezí 60 až 65% se potvrdilo snížení vlhkosti dřeva tepelně upraveného v porovnání s rostlým dřevem až třikrát (Reinprecht a Vidholdová 2011).



Obr. č. 4 Sorpčně-desorpční hysterézy rostlého dřeva a dřeva termicky modifikovaného v prostředí dusíku při teplotě 250°C po dobu 2 hodin

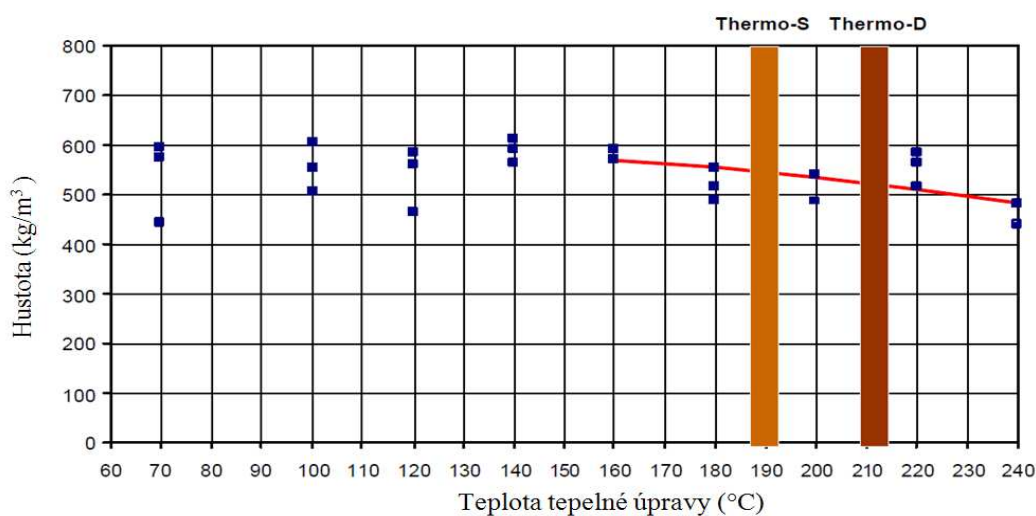
Zdroj: (Reinprecht a Vidholdová 2011).

#### 4.2.1.3. *Hustota*

Jedním ze základních parametrů každé dřeviny je hustota. Podle hustoty jsme většinou schopni si odvodit i některé další vlastnosti dřeviny. Na hustotu mají vliv především chemické složení, stavba a vlhkost dřeva; dále pak poloha ve kmeni, pěstební opatření a stanovištní podmínky. Hustota se počítá na

základě měření objemu a hmotnosti vzorku při nulové vlhkosti (Horáček 2009).

Termicky upravené dřevo thermowood má hustotu nižší než dřevo rostlé. Snížení hustoty je patrné z obrázku č.5. Při termické úpravě dochází k vysušování dřeva, k odbourávání hemicelulóz a některých průvodních látek, čímž dřevo ztrácí svoji hmotnost. Ztrátu hmotnosti při vysušování nejvíce ovlivňuje typ dřeviny (u listnatých dřevin je úbytek hmotnosti větší než u jehličnanů). Objem dřeva se při vysušování též zmenšuje, ovšem ne v takové míře jako hmotnost. Velikost ztráty závisí také na teplotě a na době působení teploty. Při porovnání výsledků a při teoretických výpočtech používáme hustotu v absolutně suchém stavu  $\rho_0$ . Absolutně suchým stavem rozumíme 0% vlhkost dřeva. (Thermowood Handbook 2003).



Obr. č. 5 Změna hustoty borovicového dřeva při tepelné úpravě od 160 °C do 240 °C a době působení 3 hodiny

Zdroj: (Thermowood Handbook 2003)

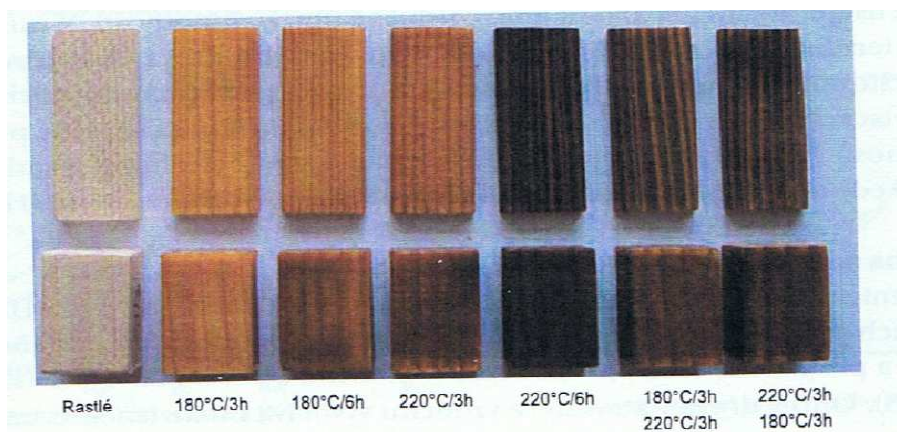
Zajímavostí je, že při vysušování vznikají v tangenciálním a radiálním směru napětí, která mohou někdy způsobovat mírné zvětšení rozměrů v podélném směru.

#### 4.2.1.4. Barva a vůně

Barva dřeva je jedním ze základních diagnostických znaků dřeviny. Barvu určují jeho stavební komponenty, především celulózy, hemicelulózy, lignin a další doprovodné látky. Dřevo se díky působení vysokých teplot zbarvuje do žlutohnědých a postupně až do hnědočerných odstínů, jak můžeme vidět na obrázku č.6. Tyto změny jsou pro termicky modifikované dřevo charakteristické. Se zvyšující se teplotou a s jejím delším časovým působením se dřevo vybarvuje do stále tmavších odstínů hnědočerné. Barva dřeva se mění již při působení teploty okolo 100 °C. Díky tomu má termicky upravené dřevo svoji charakteristickou barvu - často je tato barva podobná exotickým dřevinám, např. merbau nebo teak.

Důležitou vlastností termicky upraveného dřeva je i stálost barvy. Termicky upravené dřevo při vystavení povětrnostním podmínkám a UV záření sice postupnému blednutí barvy podléhá, ovšem tato změna není tak výrazná jako u dřeva rostlého.

Termicky upravené dřevo má též charakteristickou vůni, která může připomínat vůni karamelu. Se vzrůstajícím podílem prchavých látek se výraznost vůně zvětšuje; ta je však zcela zdravotně nezávadná. Přesto termicky modifikované dřevo nebývá doporučováno k použití v interiéru.



Obr. č. 6 Charakteristické změny běle borovicového dřeva (borovice lesní) termicky upraveného dřeva v řepkovém oleji

Zdroj: (Reinprecht a Vidholdová 2011)



#### 4.2.1.5. *Tepelně-izolační a akustické vlastnosti*

Termicky upravené dřevo Thermowood má sníženou tepelnou vodivost o 10 - 30%. Z toho důvodu je výhodné používat Thermowood na vnější obklady budov, dveře, okna a sauny.

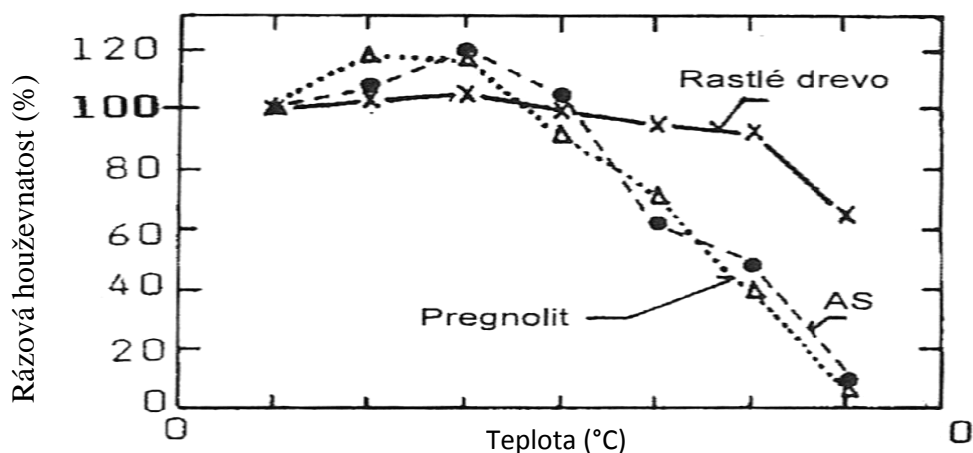
Při mírnějších teplotách lze připravit i termicky upravené dřevo s velmi dobrými akustickými vlastnostmi, které se podobají dřevu vzácných historických hudebních nástrojů. Tohoto lze dobře využít při restaurování. Díky dobré rozměrové stabilitě je termicky upravené dřevo vhodné i na nástroje používané v extrémně měnících se klimatických podmínkách.

#### 4.2.2. **Mechanické vlastnosti**

U termicky upraveného dřeva dochází ke zhoršení většiny mechanických vlastností, což ve velké míře zabraňuje využití thermowoodu pro nosné účely konstrukcí. Nejvýraznější zhoršení pozorujeme u rázové houževnatosti a pevnosti. Naopak některé jiné vlastnosti se tepelnou úpravou zlepšují – např. tvrdost a modul pružnosti (ovšem jen do teploty cca 160 °C).

##### 4.2.2.1. *Rázová houževnatost*

Úbytek rázové houževnatosti u termicky modifikovaného dřeva je velmi výrazný. Což dokládá obrázek č.7. Při úpravách dřeva v teplotách okolo 150 °C dosahuje až 90% úbytku. S klesající teplotou je úbytek rázové houževnatosti menší - při ohřevu dřeva na 100 °C je to zhruba 60%. Pokles rázové houževnatosti způsobuje zjevnou křehkost termodřeva. Snížení rázové houževnatosti ještě více umocňuje přítomnost kyseliny sírové při termické úpravě.



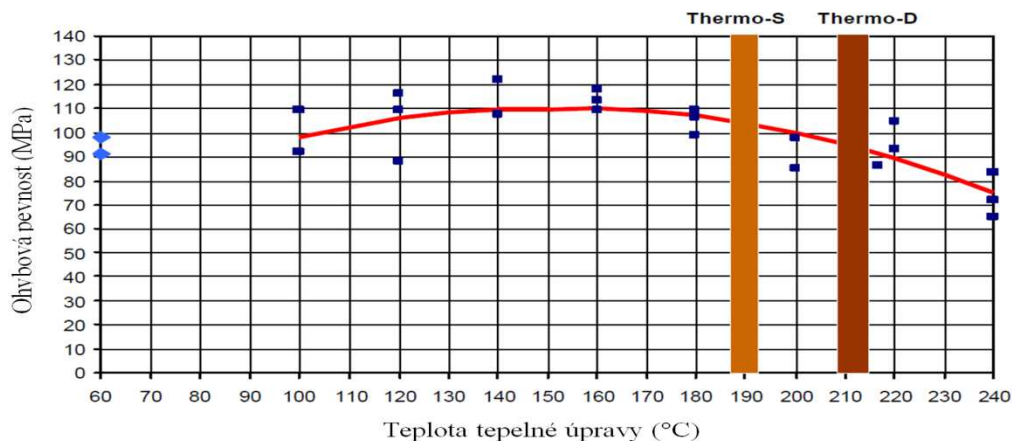
Obr. č. 7 Změna rázové houževnatosti v ohybu dřeva termicky zatíženého při teplotách 20 až 140 °C

Zdroj: (Reinprecht a Vidholdová 2011)

#### 4.2.2.2. Ohybová pevnost

S rostoucí teplotou během termické modifikace klesá i ohybová pevnost dřeva. Při úpravě v teplotách 220 °C po dobu 5 hodin spolu s etapami předohřevu a chlazení se v celkovém čase 4 dnů ohybová pevnost sníží dokonce až o 50% (Bengtsoon et. al. 2002).

Pokles ohybové pevnosti thermowoodu se pohybuje v rozmezí 5 - 30%, někdy však může být tento pokles i vyšší. Pouze u borovicového dřeva je pokles ohybové pevnosti mírnější, dokonce ohřev nižšími teplotami 100 °C až 180 °C vyvolal nárůst této pevnosti. K jejímu znatelnému poklesu (o 30%) došlo až při ohřevu na 240 °C - což je patrné z obrázku č.8.



Obr. č. 8 Změna ohybové pevnosti borovicového dřeva při teplotním zatížením od 60 °C do 240 °C výrobků Thermo-S a Thermo-D

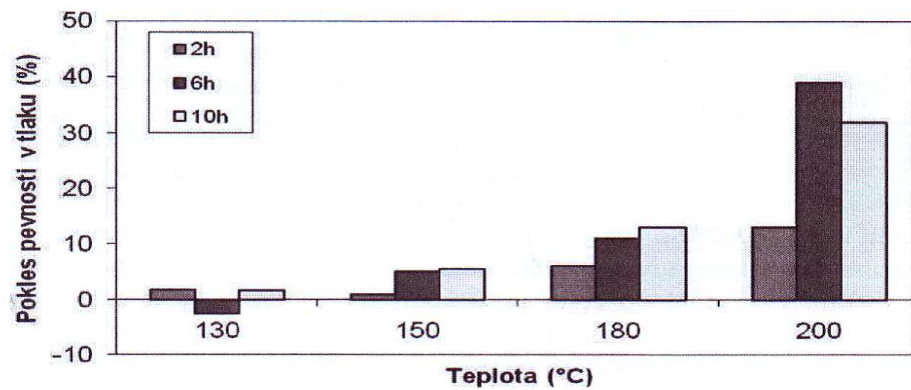
Zdroj: (Thermowood Handbook)

Při tvrdších režimech termické modifikace je výrazné snížení houževnatosti a ohybové pevnosti dřeva (o 30 - 50%) pro většinu dřevařských výrobků už nepřijatelné. Můžeme však použít opatření, která dokážou tyto nepříznivé vlastnosti výrazně snížit. Prvním opatřením je dlouhodobě nepřekračovat teplotu 220 °C a současně omezit přístup vzduchu. Pokud se teplota zvýší dlouhodobě nad 220 °C, ohřev se musí uskutečnit bez přítomnosti kyslíku (Reinprecht a Vidholdová 2011).

#### 4.2.2.3. Tlaková, tahová a smyková pevnost

Na základě termické úpravy se mění i jednotlivé pevnosti dřeva:

- tahová pevnost se snižuje podobně jako pevnost v ohybu,
- tlaková pevnost podél vláken se u thermowoodu výrazně nemění, respektive může i narůstat (doloženo ve výzkumném ústavu VTT ve Finsku, a to na smrkových vzorcích upravovaných teplotou 220 °C po dobu trvání 1 až 3 hodiny),
- smyková pevnost dřeva v tangenciálním a radiálním směru klesá v silné závislosti na druhu dřeviny, jak znázorňuje obrázek č.9 - v případě smrku a borovice upravených teplotami 190 až 230 °C se zjistil pokles v rozmezí 1 - 40% (Reinprecht a Vidholdová 2011).



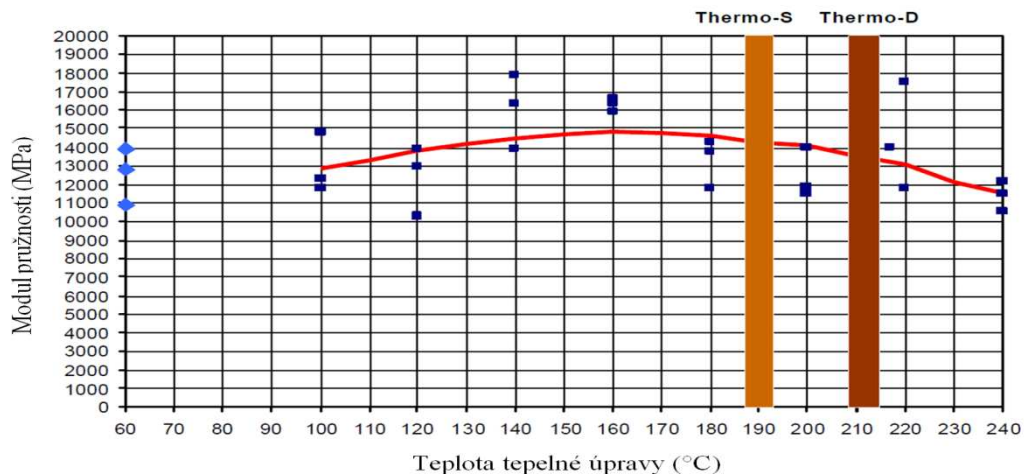
Obr. č. 9 Pokles pevnosti v tlaku smrkového dřeva v závislosti na teplotě působení

Zdroj: (Kačíková a Kačík 2011)

#### 4.2.2.4. Modul pružnosti

Při termické úpravě dřeva nižšími teplotami (zhruba okolo 160 °C) a při kratších časech ohřevu se modul pružnosti zvyšuje. Při působení vyšších teplot se modul pružnosti snižuje, ovšem toto snižování je v porovnání se snížením pevnosti dřeva mírnější.

Zjevně pak modul pružnosti začíná klesat až při teplotách nad 220 °C, kdy dochází k většímu úbytku hmotnosti dřeva (nad 6 - 8%). Což je patrné z obrázku č.10.



Obr. č. 10 Změna modulu pružnosti borovicového dřeva při teplotním zatížením od 60 °C do 240 °C výrobků Thermo-S a Thermo-D

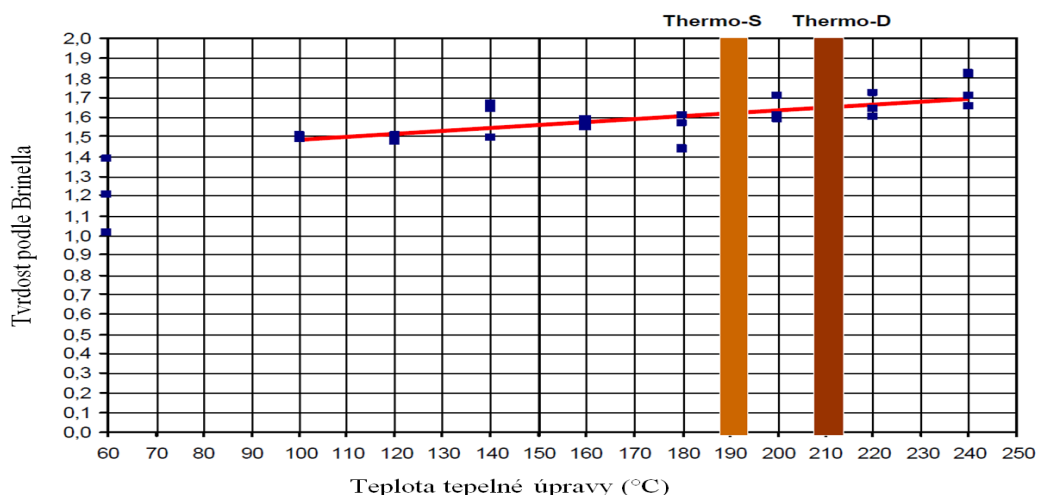
Zdroj: (Thermowood Handbook)

#### 4.2.2.5. Tvrdost

Tvrdost dřeva se s narůstající teplotou ohřevu (v rozsahu 100 – 240 °C) nemění, nebo se dokonce mírně zvyšuje. Z praktického hlediska je však toto zvýšení zanedbatelné.

Pro stanovení tvrdosti termicky upraveného dřeva se používá metoda měření podle Brinella, kdy se do dřeva vtláčuje ocelová kulička o průměru 10 mm. Poté se měří otisk kuličky ve dřevě. Síla vtláčování se určuje podle tvrdosti dřeviny (pro měkké dřeviny se používá síla 100 N, pro středně tvrdé síla 500 N a pro tvrdé dřeviny síla 1000 N).

Pro termicky upravené dřevo platí, že jeho tvrdost se zvyšuje v závislosti na vzrůstající teplotě úpravy, což vyplývá z obrázku č.11.



Obr. č. 11 Závislost tvrdosti na tepelné úpravě termicky upraveného dřeva podle Brinella (při době působení 3 hodiny)

Zdroj: (Thermowood Handbook 2003)

#### 4.2.3. Vylepšené užitkové vlastnosti

Prodloužení trvanlivosti dřeva se dosahuje mimo jiné i zvýšením jeho biologické a povětrnostní odolnosti. Kvalitu termicky upraveného dřeva kladně ovlivňuje též dobrá rozměrová stabilita a nižší rovnovážná vlhkost.

#### 4.2.3.1. *Biologická odolnost*

Tímto pojmem se rozumí schopnost dřeva odolávat dřevokazným houbám, plísním a dřevokaznému hmyzu.

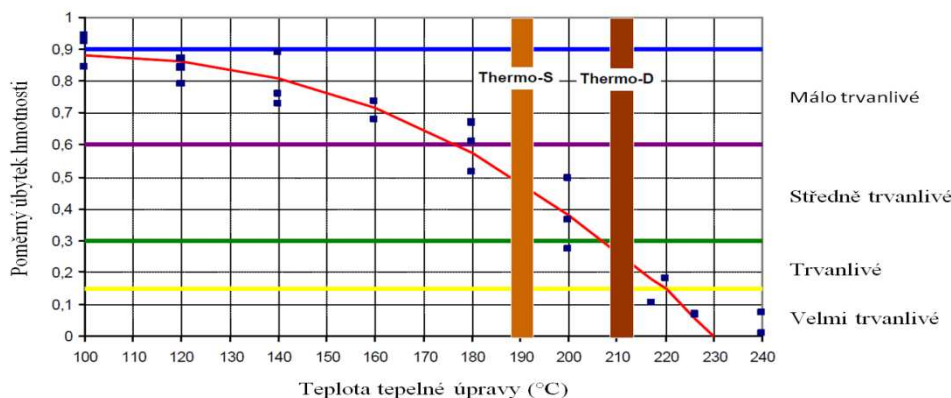
Zvýšená biologická odolnost je jednou z největších výhod termicky upraveného dřeva. K nepatrnému zlepšení biologické odolnosti dochází již při tepelné úpravě kolem 130 °C po dobu 0,5 hodiny, avšak výraznější zlepšení lze pozorovat až při působení teplot kolem 200 °C. Při těchto teplotách se už podstatněji mění chemická struktura dřeva, která má za následek zvýšení biologické odolnosti. Působením takto vysokých teplot se snižuje podíl – OH skupin, které výrazně ovlivňují sorpční schopnost dřeva. Dále pak dochází ke snížení podílu hemicelulóz, které tvoří potravu pro dřevokazný hmyz. Současně se termickou úpravou dřeva vytvářejí látky s biocidním účinkem. Odolnost vůči hnilobě bio-zbarvování a plesnivění je důležitá tehdy, když se dřevo dostává na hranici vlhkosti nad 20%.

V porovnání s rostlým dřevem termodřevo obvykle lépe odolává nejen houbám, ale i hmyzu a škůdcům. Původně netrvanlivé nebo méně trvanlivé dřeviny (třída trvanlivosti 5 nebo 4 vůči dřevokazným houbám - podle EN 350-2) se po termické úpravě stávají středně trvanlivými a někdy dokonce až velmi trvanlivými (třída trvanlivosti 3 až 1). Ohřevem smrkového dřeva (4. třída trvanlivosti) na teplotu 200 °C působící po dobu 4 hodin se získal materiál, který splňoval kritéria trvanlivosti 2. třídy. Podobně tepelnou úpravou bukového dřeva a běle borovice s 5. třídou trvanlivosti opět na teplotu 200 °C působící 4 hodiny se získal materiál splňující 3. třídu trvanlivosti (Reinprecht a Vidholdová 2008).

#### 4.2.3.2. *Povětrnostní odolnost*

Mezi nejdůležitější atmosférické činitele, kteří vyvolávají a ovlivňují degradaci dřeva, patří především UV záření, déšť, vzdušný kyslík a teplota. U thermowoodu je v porovnání s rostlým dřevem odolnost proti těmto činitelům větší, ale i tak s postupem času thermowood ztrácí svoji barvu - bledne a šedne. Obecně lze říci, že i na míru povětrnostní odolnosti má velký vliv teplota, při

kteřé termická úprava dřeva probíhá - se vzrůstající teplotou během úpravy dřeva se odolnost vůči atmosférickým vlivům zvyšuje, jak můžeme pozorovat na obrázku č.12. Zároveň se však zhoršují vlastnosti mechanické.



Obr. č. 12 Zvýšení trvanlivosti Thermowood dřeva vyrobeného z běle borovice při teplotách 100-240 °C/3h - tj. snížení poměrného úbytku hmotnosti při hnilobě houbou - vzhledem k neupravenému dřevu

Zdroj: (Reinprecht a Vidholdová 2008)

Z obrázku č. 12 je patrné, že tepelně upravené dřvo z běle borovice při teplotě 205 °C se dostane na úroveň trvanlivosti tůje nebo tisu; při úpravách teplotami 240 °C dosáhneme úrovně trvanlivosti teakového dřeva.

S působením atmosférických vlivů na dřvo úzce souvisí i tvorba trhlinek. U thermowoodu k tvorbě trhlin nedochází. To je dáno dobrou rozměrovou stabilitou a nižší rovnovážnou vlhkostí. V termicky modifikovaném dřevu se trhliny nevytvářejí prakticky ani v případě, když nejsou povrchově ošetřeny. To může být zajímavé zvláště pro některé typy výrobků, u nichž je obnova nátěrů pracná i cenově náročná. Mezi takové výrobky patří šindel, ploty, protihlukové bariéry, apod. (Reinprecht a Vidholdová 2008).

### 4.3. Využití termicky upraveného dřeva

Možností využití termicky upraveného dřeva existuje celá řada. Hodí se jak do interiéru, tak pro venkovní využití. Konkrétní příklady využití thermowoodu znázorňuje níže uvedená tabulka č. 1.

Díky poměrně dobré trvanlivosti termodřeva je jeho aplikace vhodná zejména tam, kde jsou zvýšené nároky na odolnost proti vodě i biologickým škůdcům. Pro konkrétní potřeby je termodřevo vyráběno ve dvou modifikacích – THERMO-S nebo THERMO-D. Podíly výroby jednotlivých variant thermowoodu můžeme vidět v příloze 1 a příloze 2.

Tab. 1 Příklady využití thermowoodu  
Zdroj: (Reinprecht a Vidholdová 2008)

DŘEVINA	THERMO-S	THERMO-D
Jehličnaté dřeviny (borovice, smrk)	interiérové konstrukční prvky	konstrukce do exteriéru
	nábytek	obklady
	obklady	podlahy
	okna a dveře	zahradní nábytek
	podlahy	protihlukové bariéry
	sauny	dětská hřiště
Listnaté dřeviny (bříza, osika)	interiérové konstrukční prvky	podobné jako THERMO-S
	nábytek	
	podlahy	
	sauny	

#### 4.4. Požární vlastnosti thermowood dřeva

Vzhledem k tomu, že se termodřevo ve velké míře využívá jako konstrukční prvek, a to jak v interiéru, tak i na konstrukce vnější, je nutné znát přesně jeho požární vlastnosti. Od nich se pak odvíjí požární odolnost materiálu (zápalnost, hořlavost) a jeho následné chování při požáru (popřípadě rychlost šíření plamene).

##### 4.4.1. Historie vývoje požární bezpečnosti

Dřevo jako stavební materiál bylo pro své vynikající tepelně izolační vlastnosti a dobrou opracovatelnost využíváno již od pravěku. Velkou nevýhodou dřeva používaného pro stavební účely byla vždy jeho snadná zápalnost a dobrá hořlavost. Brzy se totiž přišlo na to, že větší kumulace dřevěných staveb, která byla předpokladem vzniku vesnic, měla pro její



obyvatele často negativní dopady. Docházelo k tvorbě požárů, přičemž dalším faktorem, který přispíval k jejich vzniku, bylo i zavádění otevřených ohnišť v domech. Proto se později začaly používat komíny - nejdříve se zhotovovaly ze dřeva a uvnitř byly vymazané maznicí. Teprve poté se začaly stavět komíny zděné. Ani toto opatření však nezabránilo propukávání požárů. Vzhledem k tomu, že většina stavebních materiálů byla ze dřeva, se vzniklý požár velmi rychle šířil. Šíření plamene též podporovaly doškové a šindelové střechy. Často se tak stávalo, že v případě vzniku požáru shořela celá vesnice.

Těmto problémům chtěla zabránit Marie Terezie vydáním tzv. ohňového patentu (21. srpna 1751). Ten řešil základní protipožární zásady při výstavbě domů, dále stanovil povinnost vybavit vesnice zvoničkami a v případě vzniku požáru určoval základní zásady pro jejich hašení. Patent následně zdokonalil panovník Josef II. (syn Marie Terezie), a to vydáním řádu k hašení ohně. Nakonec byla vydáním tzv. dvorského dekretu (15. února 1816) výstavba domů ze dřeva kompletně zakázána. Ještě téhož roku (30. března) byl dekret ve smyslu zákazu výstavby vedlejších hospodářských stavení a dokonce i plotů ze dřeva zpřísněn (Noskievič a Pilch 2009, Lidová architektura 2015, Kačíková et. al. 2006).

#### **4.4.2. Historie ČSN v oblasti požární bezpečnosti**

Historie předchůdců nynějších Českých státních norem sahá až do počátku první republiky. V roce 1922 byla založena veřejně prospěšná a nezisková organizace - celostátní společnost pro normalizaci. Členství v ní bylo dobrovolné a členy se stávaly výrobní podniky a výzkumné ústavy, které navrhovaly a posuzovaly normy.

Československé normy byly sice dobrovolné, přesto díky své vysoké úrovni technických řešení a jejich normalizačnímu zpracování měly nepochybnou autoritu. Jejich obsah tvořil základ předpisů profesních svazů. Normy byly využívány též v soutěžích o veřejné zakázky a významně se uplatňovaly i v pojišťovnictví (ÚNMZ, 2015).

V období komunistické vlády se původně dobrovolné normy staly normami závaznými. Změna byla provedena za účelem regulace jakosti výrobků ve znárodněných podnicích.

Z uvedeného historického vývoje požární bezpečnosti je patrné, že zde došlo k velkému posunu. Původně pouhá snaha člověka zabránit dalšímu šíření požáru pokročila v tom směru, že v současnosti je kladen hlavní důraz spíše na hledání nových metod, jak požárům předcházet. V tomto směru se odborníci orientují na důkladnější popis požárních vlastností jednotlivých výrobků. V souladu s tím dochází k následnému zpřísnování parametrů na požární odolnost staveb.

#### **4.4.3. Současně platné ČSN**

Obrat v zaměření technické normalizace po roce 1989 znamenal uzavření asociační dohody nejprve ČSFR a posléze České republiky s EU. Z této dohody vyplynul závazek přebírat do národní soustavy normy evropské, a to za současného rušení konfliktních ustanovení norem národních. Kromě toho jsou do české národní soustavy přejímány i navazující normy mezinárodní, přičemž tvorba národních norem je omezena na nezbytné minimum. Cílem normalizace se stává podpora tržního hospodářství a harmonizace národní legislativy s evropskou a také odstraňování technických překážek obchodu.

Dnes jsou české státní normy opět dobrovolné. O jejich vydávání, aktualizaci a harmonizaci s normami evropskými se již nestará Český normalizační institut (ČNI), nýbrž Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), který tuto povinnost přebíral na základě rozhodnutí Ministerstva průmyslu a obchodu od 1. 1. 2009.

Tématikou požární bezpečnosti se zabývá norma ČSN EN ISO13943 (2001). Tato norma obsahuje vysvětlení všech pojmů týkajících se požární problematiky. Termín hořlavost v tomto slovníku není uveden, resp. není definován ani jako mechanická či fyzikální veličina, ale i přesto 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 při vystavení předmětu stanovenému zdroji vznícení.

Klasifikací jednotlivých stavebních výrobků a konstrukcí staveb se zabývá 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 stavební výrobky v reakci na oheň. Nalezneme zde podrobný postup, jak jednotlivé stavební výrobky roztrdit 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.

U výrobků zařazených do dalších skupin se požární odolnost postupně snižuje, přičemž skupina F obsahuje výrobky, u nichž nebyla zjištěna žádná požární odolnost, nebo nebyly podle této normy vůbec klasifikovány. Podle této normy můžeme každou skupinu klasifikovat ještě doplňkově. Jedná se o doplňkovou klasifikaci podle tvorby kouře (skupiny s1 - s3) nebo podle plamenně hořících kapek neboli částic (skupiny d0 - d2).

Norma ČSN EN 13501-1 (2003) nám určuje 4 zkoušky, které jsou podrobně popsány v konkrétních normách:

**1. Zkouška nehořlavosti (ČSN EN ISO 1182 2010)**

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.

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

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. Za podmínek stanovených v 8.3.2 je využitelná taktéž pro klasifikaci do třídy A1.

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

Zkouškou zápalnosti se stanoví zápalnost výrobku vystaveného působení malého plamene. Zkouška se využívá pro klasifikaci do tříd B, C a D, E.

### 4. **Stanovení spalného tepla (ČSN EN ISO 1716 2010)**

Zde se stanoví maximální množství tepla uvolněného při shoření celého výrobku, a to bez ohledu na způsob jeho konečného použití.

Podle výsledků jednotlivých materiálů v těchto zkouškách pak probíhá samotné zařazení do konkrétních skupin.

## **4.5. Reakce dřeva thermowood na hoření**

Vlivem tepelných úprav při výrobě termicky modifikovaného dřeva dochází k chemickým změnám, které mají za následek nepatrné zhoršení požární odolnosti termodřeva vzhledem ke dřevu rostlému. Podle současných norem bylo dřevo thermowood zařazeno do skupiny D - s1 d0. Norma skupinu D charakterizuje jako:

výrobky vyhovující kritériím pro třídu E a schopné odolávat působení malého plamene po delší časový interval bez významného rozšíření plamene. Kromě toho jsou také schopny odolat působení tepla od jednotlivého hořícího předmětu za podstatného zpoždění a omezení uvolňování tepla (ČSN EN 13501-1 2003).

Doplňková klasifikace s1 splňuje nejpřísnější požadavky ohledně tvorby kouře. Doplnková klasifikace d0 znamená, že se při hoření neobjevují žádné plamenně hořící kapky nebo částice.

Termicky upravené dřevo thermowood je tedy klasifikováno ve skupině D. Proto, aby tento výrobek mohl být zařazen do třídy D, bylo nutné podrobit jej podle normy ČSN-EN-13501-1 (2003) jednak zkoušce zápalnosti malým zdrojem plamene (ČSN EN ISO 11925-2 2011 ) a jednak také zkoušce jednotlivým hořícím předmětem SBI (ČSN EN 13823 2010).

#### **4.5.1. Zkouška zápalnosti tělesa malým zdrojem plamene**

Tato zkouška (ČSN EN 11925-2 2011) probíhá ve zkušební místnosti, jejíž součástí je zkušební komora s držákem zkušebního tělesa. Účelem zkušební komory je umožnit pozorování tělesa během zkoušky. Přesné parametry zkušební komory určuje norma. Zkušební těleso o rozměrech 250 x 90 mm je umístěno v držáku ve zkušební komoře. K tomuto tělesu je přisunut plynový hořák, který má výšku plamene seřízenou na 20 mm. Jako palivo se do hořáku používá čistý propan o minimální čistotě 95%. Hořák je k tělesu přisouván pod úhlem 45° ke své svislé ose - přitom je nutné, aby se plamen přesně dotkl pouze předem určeného místa na zkušebním tělese. Od prvního dotyku plamene se začne počítat doba 30 sekund. Po tuto dobu působí plamen na povrch tělesa a pozoruje se jeho chování a případná tvorba plamenně hořících kapek či částic. Poté se plynový hořák oddálí plynulým pohybem. A dále se po dobu 60 sekund sleduje, zda se na tělese objeví rozšíření plamene.

Úspěšný výsledek výrobků thermowood při zkoušce zápalnosti malým zdrojem plamene znamená, že nedošlo k zapálení tělesa; současně při 30 ti sekundovém působení plamene na povrch a na hranu tělesa nebylo zaznamenáno žádné rozšíření plamene přesahující vzdálenost 150 mm ve svislém směru od místa dotyku zkušebního plamene, a to do 60 s po ukončení působení zkušebního plamene (ČSN EN 13501-1 2003). Rovněž nebyly pozorovány žádné trvale plamenně hořící částice či kapky.

Po úspěšném výsledku této zkoušky se musí materiál podrobit ještě zkoušce jednotlivým hořícím předmětem SBI (ČSN EN 13823 2010). Až výsledky této zkoušky rozhodnou, zda bude materiál zaříděn do třídy B, C nebo D.

#### 4.5.2. Zkouška jednotlivým hořícím předmětem SBI

Také tato zkouška (ČSN EN 13823 2010) se provádí ve zkušební místnosti, která musí být plně vybavena. Podrobný popis místnosti a veškerého zařízení stanoví norma.

##### **Povinné součásti výbavy jsou:**

- vozík, na němž jsou umístěny dvě kolmé části zkušební tělesa spolu s pískovým hořákem na úrovni spodních hran rohu zkušební tělesa,
- pevný rám, který má na sloupku umístěn druhý pískový hořák a drží odsávací zvon,
- hořák, jenž jako palivo používá propan o minimální čistotě 95%,
- odsávací zvon se sběračem, ve kterém se shromažďují plynné zplodiny hoření,
- potrubí a systém pro odvod kouře ze zkušební místnosti,
- souhrnné měřicí zařízení, které zapisuje výsledné hodnoty.

Zkušební těleso umístěné na vozíku se skládá ze dvou křídel, která vytvářejí rohový spoj (rozměry menšího křídla jsou  $495 \times 1500$  mm a rozměry většího křídla jsou  $1000 \times 1500$  mm). Na čelní straně dlouhého křídla musí být nakresleny dvě vodorovné čáry tak, aby bylo možné pozorovat boční šíření plamene. Sestavení probíhá v souladu s nasimulováním co nejvěrnějšího konečného použití.

**Princip zkoušky SBI** - zkušební těleso složené ze dvou svislých křídel (křídla tvoří pravouhlý roh) je vystaveno plamenům hořáku, který je umístěn v základně rohu a nazývá se „hlavní (primární) hořák“. Plameny vytvořené spalováním propanu pronikají přes pískové lože a poskytují tepelný výkon  $30,7 \pm 2,0$  kW. Chování zkušební tělesa se hodnotí po dobu 20 minut. Sledují se následující parametry: tepelný výkon, vývin kouře, boční (horizontální) šíření plamene, odpadávající plamenně hořící kapky a částice. Po krátkou dobu před zapálením hlavního (primárního) hořáku se měří tepelný výkon a vývin kouře ze samotného hořáku za použití totožného hořáku, který však na zkušební těleso nepůsobí. Jedná se o „pomocný (sekundární) hořák“. Některá měření se vykonávají automaticky, jiná vizuálním sledováním. Odsávací potrubí je

vybaveno čidly pro měření teploty a pro útlum světla, dále čidly molárních zlomků O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> a čidly průtoku vyvolaného tlakovým rozdílem v potrubí. Tyto veličiny jsou automaticky zaznamenány a následně použity pro výpočet objemového toku, rychlosti uvolňování tepla (HRR) a rychlosti vývinu kouře (SPR). Vizuálně se sleduje vodorovné rozšíření plamene a odkapávání či odpadávání plamenně hořících kapek a částic. (ČSN EN 13 823 2010)

Před zahájením zkoušky musí být vzorky uloženy v kondiciovaném prostředí. Nejméně půl hodiny před kalibrací musí být zapnuta všechna elektronická zařízení a čerpadla. Teprve pak provádíme samotnou zkoušku. Zažehnou se hořáky, zapnou se čerpadla a elektronická zařízení a sleduje se šíření ohně. Výsledky této zkoušky jsou v tabulce č.2.

Tab. 2 Výsledky masivního smrku borovice (tepelně upravené), masivní borovice a překližky dle (ČSN EN 13 823 2010)

Zdroj: (Thermowood Handbook 2003)

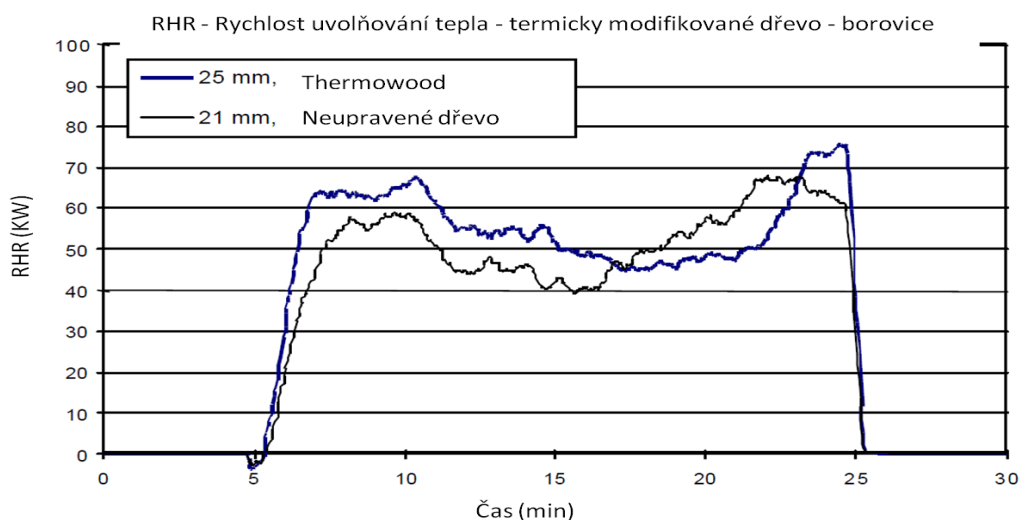
Produkt	Tloušťka (mm)	FIGRA (W/s)	THR <sub>600s</sub> (MJ)	SMOGRA (M <sup>2</sup> /S <sup>2</sup> )	TSP <sub>600s</sub> (m <sup>2</sup> )
Smrk	18	419	18	4	36,3
Borovice (tepelně upravená)	25	581	32,8	6	62,5
Borovice	21	321	22,3	4	35,5
Borovice	15	361	26,6	4	17,5
Borovice	45	587	23,9	12	54,4
Smrk (palubka) horizontálně	15	494	18,4	4	50
Smrk - překližka	12	596	15,8	3	45

Tepelně upravená borovice o tloušťce 25 mm dosahovala rychlosti rozvoje ohně FIGRA 581 W/s. Parametr rychlosti rozvoje ohně byl vypočten jako maximální hodnota podílu rychlosti uvolňování tepla ze zkušebního tělesa a odpovídajícího času. Dalším parametrem, který se během testu zaznamenával, je THR<sub>600s</sub> – celkové uvolněné teplo ze zkušebního tělesa v čase testu od 300 s do 900 s. Během prvních 600 s od zapálení hořáků bylo naměřeno celkové uvolněné teplo 32,8 MJ.

Hodnota parametru rychlosti vývinu kouře SMOGRA byla vypočtena jako maximální hodnota podílu rychlosti vývinu kouře ze zkušebního tělesa a

příslušného času. Hodnota TSP 600 s jako celkový vývin kouře se měří v prvních 600 s od vystavení zkušebnímu tělesu plamenům zkušebnímu hořáku.

V následujícím obrázku č. 13 můžeme vidět závislost rychlosti uvolňování tepla u termicky upraveného dřeva o tloušťce 25 mm a masivního dřeva bez úpravy o tloušťce 21 mm.



Obr. č. 13 Výsledky rychlosti uvolňování tepla masivní borovice (tepelně upravené), masivní borovice dle (ČSN EN 13 823 2010)

Zdroj: (Thermowood Handbook 2003)

#### 4.5.3. Další metody na určení vlastností souvisejících s požární odolností

ISO 5660 test stanovení rychlosti uvolňování tepla a produkce kouře

Využívá metody kónické kalorimetrie a stanovení probíhá v konickém kalorimetru:

test při hustotě toku sálavého tepla toku  $50 \text{ kW/m}^2$  - byl prováděn na 4 vzorcích borovicového dřeva o rozměrech 50 x 150 mm. První vzorek nebyl podroben žádné předchozí tepelné úpravě. Další tři vzorky byly upraveny při 230 °C po dobu 5,8 a 10 hodin. V tabulce č. 3 je zaznamenána rychlost uvolňování tepla RHR, produkce kouře (Smoke), doba zapálení a váhový úbytek.



Tab. 3 Výsledky zkoušky při hustotě toku sálavého tepla 50 kW/m<sup>2</sup>

Zdroj: (Thermowood Handbook 2003)

Rozměr y (mm)	Doba úpravy při 230°C (h)	Váhový úbytek (%)	Doba zapálení (s)	RHR (60 s,ave) (kW/m <sup>2</sup> )	Kouř (m <sup>2</sup> /kg )
50x150	5	7,2	12	137	180
50x150	8	11,8	13	136	47
50x150	10	14,4	16	160	120
50x150	0		19-25	150-200	25-100

test při hustotě toku sálavého tepla 25 kW/m<sup>2</sup> - byl prováděn na 2 vzorcích smrkového dřeva o rozměrech 50 x 150 mm. První vzorek nebyl podroben žádné předchozí tepelné úpravě. Druhý vzorek byl upraven při 230 °C po dobu 8 hodin. V tabulce č. 4 je zaznamenána rychlost uvolňování tepla RHR, produkce kouře (Smoke), doba zapálení a váhový úbytek.

Tab. 4 Výsledky zkoušky při hustotě toku sálavého tepla 25 kW/m<sup>2</sup>

Zdroj: (Thermowood Handbook 2003)

Rozměry (mm)	Doba úpravy při 230°C (h)	Doba zapálení (s)	RHR (60 s,ave) (kW/m <sup>2</sup> )	Kouř (m <sup>2</sup> /kg )
50x150	8	97	112	21
50x150	0	193	113	72

### **NF B 52501 standart**

Testy jsou v tomto případě prováděny pomocí CTBA. Příkladem pro zařazení je třída M3. Výsledky testů naznačují, jaká požární odolnost tepelně ošetřeného dřeva musí být brána v úvahu, aby byla stejná jako požární odolnost neošetřeného dřeva odpovídajícího druhu.

### **Test to British standart BS Part 7**

Podle tohoto testu bylo termicky upravené dřevo zařazeno do 3. třídy odolnosti proti povrchovému šíření plamene.

#### 4.5.4. Chemické reakce vznikající vlivem tepelného působení

Při hoření i při působení tepla na dřevo se mění jeho chemické složení, jehož základ tvoří:

- celulóza (tvoří 40 - 50% dřeva),
- hemicelulóza (25 - 35%),
- lignin s obsahem 22% ve dřevě.

Vedlejší složky dřeva tvoří výtažky (cca 5%). Přesný poměr zastoupených látek je závislý na konkrétní dřevině.

Dehydratace, depolymerizace, statická degradace a termooxidace jsou typy chemických reakcí, které probíhají při termické degradaci dřeva. V jejich důsledku dochází ke změně pevnostních vlastností dřeva, k poklesu relativních molekulových hmotností celulózy, hemicelulózy i ligninu, dále k aktivní degradaci sacharidového podílu a nakonec k bezplamennému i plamennému hoření (Kačíková et al. 2010).

Termicky upravené dřevo thermowood tak můžeme v souvislosti s jeho tepelnou úpravou považovat za již částečně tepelně degradované. Výroba termodřeva probíhá v pásmu tepelného zatěžování do 300 °C.

Rychlost degradace při tepelné úpravě pod 100 °C je nízká (dolní hranici počátku termické degradace není možné udat). Termická degradace dřeva se při těchto nízkých teplotách projevuje úbytkem hmotnosti, změnami komponentů v lignin sacharidové matici a změnami fyzikálních a mechanických vlastností dřeva (Kačíková et al. 2010).

Vzhledem k limitní teplotě 300 °C při výrobě termicky upraveného dřeva thermowood můžeme podle Shazifideha (1984) uvést tyto termolytické reakce hlavních složek dřeva:

- dehydratace,
- štěpení vazeb v makromolekulách polysacharidů,
- štěpení C-C alkyl-alkylových vazeb a C-O-C<sub>4</sub> alkyl aryl-arylových éterových vazeb v ligninu,

- štěpení fenyl-glykozidových vazeb mezi ligninem a hemicelulózami,
- vytvoření oxidů uhlíku (CP a CO<sub>2</sub> a funkčních skupin – karbonylových, karboxylových a hydroperoxidových (zdroj: Kačíková et. al. 2006).

Tyto chemické změny vznikají při výrobě termodřeva. V případě, že dojde k vyššímu teplotnímu zatížení způsobenému například hořením, probíhají ještě další chemické reakce. Se vzrůstající hodnotou tepelného zatížení se mechanické vlastnosti dále zhoršují.

Při teplotách nad 300 °C probíhají tyto další reakce:

- depolymerizace celulózy různými mechanismy za vzniku rozličných monomerních produktů,
- štěpení vazeb C-C, C-O-C a jiných za vzniku různých nízkomolekulových prchavých látek (H<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>OH, CH<sub>2</sub>O, CH<sub>3</sub>COH atd.),
- repolymerizace rozkladných meziproductů celulózy a ligninu za tvorby kondenzovaných látek typu dehet a s vysokým podílem uhlíku - uhlík se koncentruje do kondenzovaných aromatických jader a grafitových struktur (zdroj: Kačíková, et. al. 2010).

#### **4.5.5. Chemické změny hlavních složek dřeva při působení tepla**

Jako první se při termickém působení na dřevo začínají měnit hemicelulózy. Jejich degradace začíná deacetylací a vznikající kyselina octová působí jako katalyzátor depolymerizačních reakcí. Dále pak urychluje rozklad polysacharidů. Kyselá katalyzovaná reakce vedou ke vzniku formaldehydu, 2 furaldehydu a dalších aldehydů (Kačíková a Kačík 2011).

Dalšími produkty vznikajícími při termické degradaci jsou methanol a některé prchavé heterocyklické sloučeniny.

V porovnání s hemicelulózami je celulóza díky své krystalické struktuře odolnější. Určitým změnám, jejichž rozsah je závislý na hodnotě působící teploty, podléhá i celulóza (složka s nejvyšším podílem zastoupení ve dřevu). Ovšem díky své krystalické struktuře je tato (v porovnání s hemicelulózami)

vůči termickému působení odolnější. Při pyrolýze dochází k poklesu molekulové hmotnosti celulózy, která má za následek snížení pevnostní charakteristiky dřeva.

Při zahřívání celulózy v rozsahu teplot 120 až 350 °C probíhají nejméně tři primární reakce: termooxidace, dehydratace a depolymerace spojená s tvorbou glykozanů. Výsledek procesu ve značné míře ovlivní paralelní průběh těchto reakcí. Termooxidace a dehydratace jsou kontrolované difúzními procesy a probíhají především v amorfních podílech polysacharidů. Všeobecně se předpokládá, že termooxidace probíhá staticky radikálovým řetězovým mechanismem. Současně dochází k depolymerizaci celulózy, která se zastaví na hodnotě PPS 170-190 (Kačíková et. al. 2010).

Při teplotách nad 300 °C se makromolekula celulózy dostává do flexibilnějšího stavu. Ten umožňuje, aby se dominantní degradační reakcí celulózy stala její depolymerizace mechanismů transglykozidace za tvorby levoglukózanu. Ten vzniká z krystalické celulózy. Při dalším zvyšování teploty do 500 °C přednostně probíhají buď reakce, při kterých se levoglukózan proměňuje na CO, CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O, anebo reakce vedoucí spíše k tvorbě dehtových látek a zuhelnatěného zbytku. (Shafizadeh 1984, Kačíková, et. al. 2010)

Při teplotách nad 200 °C pak vzniká levoglukózan, 1,2 a 1,4-anhydroglukóza a 1,6-anhydroglukofuranóza, furan a jeho deriváty.

Při termické degradaci celulózy může vznikat i důležitá sloučenina 2 - furaldehyd. Jeho vznik se vysvětluje buď pyrolýzou anebo hydrolyzou glukózy. Pyrolýza glukózy na 2 -furaldehyd vyžaduje ztrátu dvou molekul vody a jedné molekuly formaldehydu (Kačíková et. al. 2010).

Díky své benzenoidní struktuře má největší termickou odolnost lignin. Při termické degradaci dřeva dochází k vysokému výtazku uhlí a k relativně nízkému obsahu prchavých produktů.

Suchý lignin zahříváním vytváří tvrdou živici a vlhký lignin tvoří měkkou plastickou látku. Převážná část ligninu je vůči teplu rezistentní. K mírné degradaci ligninu dochází již při nižší teplotě než u polysacharidů. Potom však

lignin uhelnatí na těžko zapalitelný produkt, takže skutečně hořlavými látkami ve dřevě jsou polysacharidy.

Při termickém působení se do teploty 300 °C štěpí C-C vazby v alifatickém řetězci fenylpropanových C9 jednotek ligninu. Dále se lignin depolymerizuje s možností uvolnění monomerních fenolů. Poté dochází ke štěpení fenylglykozidových vazeb, které spojovaly lignin s hemicelulózami. Nad 300 °C se C-C vazby dále štěpí. Současně se štěpí i vazby mezi benzenovým jádrem a methylovou skupinou. Rozkládá se fenylkumaránový kruh. Pak probíhá uspořádávání atomů uhlíku v zuhelnatěném zbytku do grafitové struktury. (Kačíková et. al. 2010).

## **4.6. Způsoby ochrany dřeva proti ohni**

### **4.6.1. Rozdělení**

Dřevo můžeme proti působení ohně chránit různými způsoby. Známe konstrukční ochranu a chemickou ochranu dřeva.

**Konstrukční ochrana** 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 ochranné vrstvy od 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.

Jako **chemickou ochranu** dřeva můžeme označit ochranu dřeva různými nátěry či postřiky. Tyto nátěry či postřiky pak označujeme jako retardéry hoření.

#### **4.6.2. Retardéry hoření**

Retardéry neboli zpomalovače hoření jsou chemické látky, které mají za úkol svým chemickým a fyzikálním nebo kombinovaným způsobem chránit dřevo proti působení ohně a sálavého tepla. Současně tím oddálit jeho zapálení, snížit jeho hořlavost a výrazně zpomalit rychlost šíření plamene (požáru) po jeho povrchu.

Termicky upravené dřevo je zaříděno stejně jako rostlé dřevo do skupiny materiálů se stupněm hořlavosti D. Na požární ochranu thermowoodu jsou tak doporučovány retardéry hoření dřeva, které se používají na rostlé dřevo.

#### **4.6.3. Vývoj retardérů hoření**

Zpomalovače hoření dřeva byly známy již ve starověkém Řecku. V té době se dřevo namáčelo do vodných roztoků solí. Staří Egypťané chránili dřevo proti ohni jeho máčením ve vodných roztocích kamence. Ve středověku se dokonce dřevěné trámy natíraly volskou krví, která pyrolýzou uvolňuje nehořlavý plyn dusík. Dusík pak brání přístupu kyslíku, čímž dochází ke snížení hořlavosti. V 19. století se na ochranu dřeva proti požáru začaly používat amonné soli kyseliny fosforečné. Po II. světové válce se za tímto účelem rozšířily roztoky na bázi obarveného vodního skla. Úroveň kvality těchto nátěrů byla orientována hlavně na reakci s ohněm. Široké uplatnění retardérů v praxi znemožňovaly některé vlastnosti, hlavně nedostatečná přilnavost k podkladu, praskavost po vysušení a neestetičnost.

Průlom ve výzkumu protipožárních nátěrových hmot by znamenal dosažení takových fyzikálně-mechanických vlastností, které by byly srovnatelné s dekorativními barvami, s přihlédnutím k ekologii a k ekonomice. Velmi důležitou vlastností je i přilnavost nátěru k podkladu. V praxi toto znamená dobrou odolnost nátěrů při vystavení povětrnostním vlivům (mráz, sníh, déšť). Při trvalém zatížení vodou by nemělo docházet k vymývání nátěru. Po vysušení by se měly původní vlastnosti nátěru vrátit (Movychem 2015, Vašátko 2009).

#### 4.6.4. Rozdělení retardérů hoření

Chemické látky, které se používají jako retardéry hoření dřeva, můžeme rozdělit podle toho, jak se chovají za zvýšené teploty dřeva nebo při samotném hoření dřeva. Retardéry tak mají při zvýšené teplotě nebo při hoření dřeva za úkol:

- vytvořit na povrchu dřeva tepelně izolující pěnu. Jedná se o takzvané zpěnitelné nátěrové hmoty neboli intumescentní (zpěňovatelné) protipožární nátěry, kterými lze za vhodných podmínek dosáhnout zařídění konstrukcí až do třídy A. Funkce těchto nátěrů je dána rozkladem vhodné formulované chemické směsi, např. snadno karbonizujících látek solí kyseliny fosforečné a jiné. V současné době jsou již užívány i přípravky na bázi vanadu, složitých organických komplexů, modifikovaných polyuretanů, silikonu. Některé intumescentní hmoty vycházejí z aplikací přírodního grafitu. Nátěr musí mít samozřejmě určitou vydatnost, obvykle 300 až 700 g/m<sup>2</sup> - v některých případech i více a musí být dobře zakotven do povrchu dřeva,
- zředit vznikající hořlavé plyny na takovou koncentraci, že se stanou nezápalnými a zabrání tak přístupu kyslíku ke dřevu při hoření. Takto můžeme dřevo chránit nátěry nebo impregnací. Pro tento účel jsou vhodné amonné soli nebo sloučeniny obsahující krystalickou vodu. Do doby než je spotřebováno teplo na jejich rozklad, brání tyto látky rovněž zahřátí dřeva na jeho rozkladnou teplotu,
- podpořit tvorbu zuhelnatělé izolační vrstvy a zamezit žhnutí vzniklého dřevěného uhlí. Jsou známy chemické sloučeniny, které působí na reakční mechanismus při rozkladu dřeva teplem tím, že podporují rychlost tvorby dřevěného uhlí. Jedná se především o látky, které mají buď kyselou reakci (obsahují volné anorganické kyseliny, kyselé soli), nebo

volné anhydridy kyselin vznikají až při rozkladu těchto látek teplem. Do této skupiny látek patří především opět amonné sloučeniny (fosforečnany, halogenidy, síran), kyselina boritá a boritany. Dodatečnému žhnutí již zuhelnatělé vrstvy dřev zabraňují především fosforečnany, boritany, octany i halogenidy (Movychem 2015, Vašátko 2009).

V praktickém užití se ochranné účinky jednotlivých způsobů ochrany prolínají. Komerční ochranné prostředky mají obvykle mnohostranný účinek dosažený vhodnou kombinací více základních látek.

#### **4.6.5. Použití retardérů**

V rámci D třídy hořlavosti dřeva má thermowood horší požární vlastnosti než rostlé dřevo. Proto je nutné při chemické ochraně dřeva nutné provádět nátěry s větší pečlivostí nebo provádět nánosy ve větších vrstvách.

Ale ani s využitím nejmodernějších retardérů nejsme schopni zvýšit požární odolnost dřeva o více než 15 minut. Za maximální zlepšení požární odolnosti můžeme považovat to, když dřevo splňuje podmínky pro zařazení do třídy A požární odolnosti.



## 5. ZÁVĚR

Termicky upravené dřevo je vyráběno technologiemi, které jsou šetrné k životnímu prostředí. Ekologicky nezávadné jsou rovněž výchozí produkty – stavební výrobky i konstrukční prvky.

Z hlediska trvanlivosti je tepelně upravené dřevo – v porovnání se dřevem rostlým – odolnější jak vůči biologickým škůdcům, tak i vůči atmosférickým vlivům. Další velkou výhodou výrobků z termodřeva je také jejich časová a finanční nenáročnost na údržbu. Tepelnou úpravou se zlepšuje i řada fyzikálních vlastností dřeva – dobrá rozměrová stabilita, odolnost vůči hnilobě, stálost barvy vůči vlivům povětrnostním a UV záření, také snížená tepelná vodivost i akustické vlastnosti. Naopak mechanické vlastnosti dřeva thermowood se termickou úpravou zhoršují – to je nevýhodné pro nosné konstrukční prvky. Klasifikace podle současně platných norem řadí thermowood do třídy D s1 d0, to znamená, že výrobky z tohoto materiálu jsou schopné odolávat působení malého plamene a také odolat působení tepla za dalších blíže určených podmínek. Podle doplňkové klasifikace splňuje nejpřísnější požadavky ohledně tvorby kouře a při jeho hoření se neobjevují žádné plamenně hořící částice. V porovnání se dřevem rostlým je požární odolnost dřeva tepelně upravovaného nepatrně nižší. S pomocí retardérů můžeme požární odolnost výrobků z termodřeva opětovně zvýšit.

V současnosti již existují retardéry hoření s velmi dobrými a s možností jejich zapracování do protipožární hmoty. Do budoucna se odborníci snaží o neustálé zvyšování efektivnosti protipožárních nátěrů. Obecně se vyžaduje komplexnější retardace a dále i úprava zplodin (snížení jejich množství i toxicity) vznikajících při hoření materiálů. Exkluzivní vlastnosti předpokládají snášenlivost retardérů s nátěry obsahujícími rozpouštědla, s nátěry na bázi vody a jejich vhodnost i do transparentních nátěrů či laků. Optimální by bylo, kdyby vlastnosti protipožárních nátěrů byly na takové úrovni, aby byly schopny vytvořit celkovou protipožární bariéru dřevostaveb.

## 6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### Literatura:

Anonymus. 2003. *ThermoWood Handbook*, Finnish Thermowood Association, c/o Wood Focus Oy. Helsinki, Finland, 2003. 66s.

BENGTSSON, C; JERMER, J; CLANG, A; EK-OLAUSSEON, B; *Investigation of some technical properties of heat-treated wood*. IRG/WP 2002. 9s.

ESTEVEZ B, PEREIRA H, *Wood modification by heat treatment: A review: Biorecources*, 2009. 4, 1, 370-404s.

HORÁČEK, P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I.*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998, 126 s.

KAČÍKOVÁ, D; KAČÍK, F. *Chemické a mechanické zmeny dřeva při termickéj 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, 2006. 79s. ISBN 80-86634-78-7

KAČÍKOVÁ, D; NETOPILOVÁ, M; OSVALD, A. *Reakce stavebních výrobků na oheň*, 1.vyd. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2010. 126s. ISBN 9788073850937

MAYES, D.; OKSANEN, O. *ThermoWood Handbook*. By: Thermowood, Finnforest, Stora. 2002.

NOSKIEVIČ, R.; PILCH, R. *Spalování dřeva v malém ohništi*. 1. vyd. Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Ostrava, 2009. 80s.

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

SHAFIZADEH, F. The chemistry of pyrolysis and combustion. In: The chemistry of solid wood (Rowell, R. M. ed.) Adv. Chem. 5er.,207, Am. Chem. Soc., 1984Washington, s.489-529

## Internetové zdroje:

ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Historie národní normalizace* [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.unmz.cz/urad/historie-narodni-normalizace>>

MOVYCHEM. *Protipožární ochrana* [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.movychem.cz/protipozarni-ochrana>>

VAŠÁTKO, E. *Charakteristika protipožárních nátěrů na stavební nosné konstrukce*. J Seidl a spol., s.r.o. [online]. 2009 – 11 -04 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.seidl.cz/cz/pozarni-materialy-kam-se-co-hodi/02-drevene-konstrukce/charakteristika-protipozarnich-nateru-na-stavebni-nosne-konstrukce-80.html>>

LIDOVÁ ARCHITEKTURA *Ohňový patent, požárové řády* [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.lidova-architektura.cz/prehled-seznam/encyklopedie/patent-pozar.htm>>

VANIŠ, P. *Metodika stanovení reakce otvorových výplní na oheň* [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z WWW: <[www.csias.cz/ptl/dokumenty/prednaska\\_10.doc](http://www.csias.cz/ptl/dokumenty/prednaska_10.doc)>

INTERNATIONAL THERMOWOOD ASSOCIATION. *ThermoWood production statistics* [2014] [cit. 2015-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://files.kotisivukone.com/en.thermowood.kotisivukone.com/tiedostot/productionstatistics2014.pdf>>

WTT - WOOD TREATMENT TECHNOLOGY. *Thermo treatment plant 2014* [cit. 2015-03-24]. Dostupné z WWW: <[http://www.wtt-english.com/pictures\\_org/Varmebehandling\\_UK\\_2010.pdf](http://www.wtt-english.com/pictures_org/Varmebehandling_UK_2010.pdf)>

## **Technické normy:**

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

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

ISO 5660-1:2002. *Reaction-to-fire tests -- Heat release, smoke production and mass loss rate -- Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)* 2nd ed. Geneva: ISO, 2002. 39s.

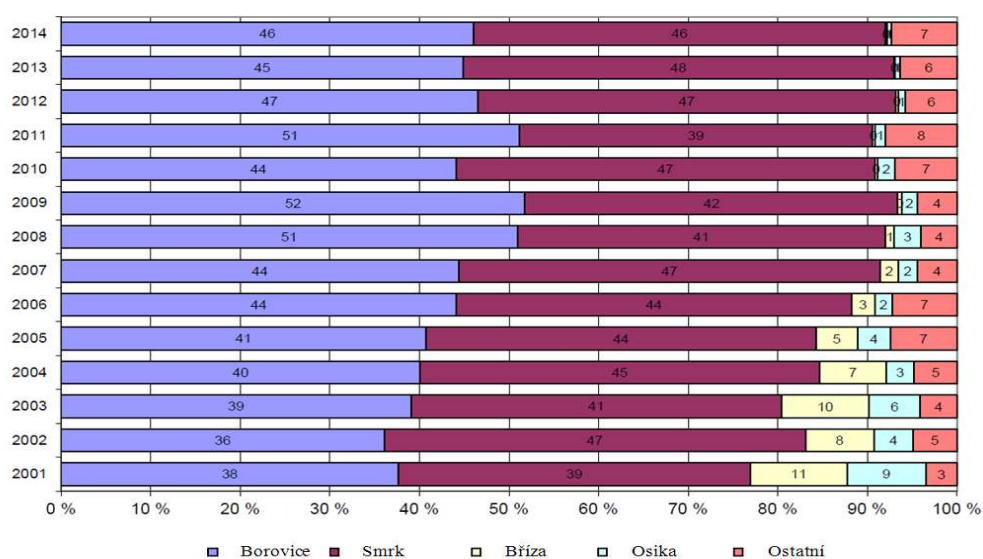
## 7. PŘÍLOHY

### Seznam příloh:

Příloha 1 Rozdělení dřevin na výrobě thermowoodu

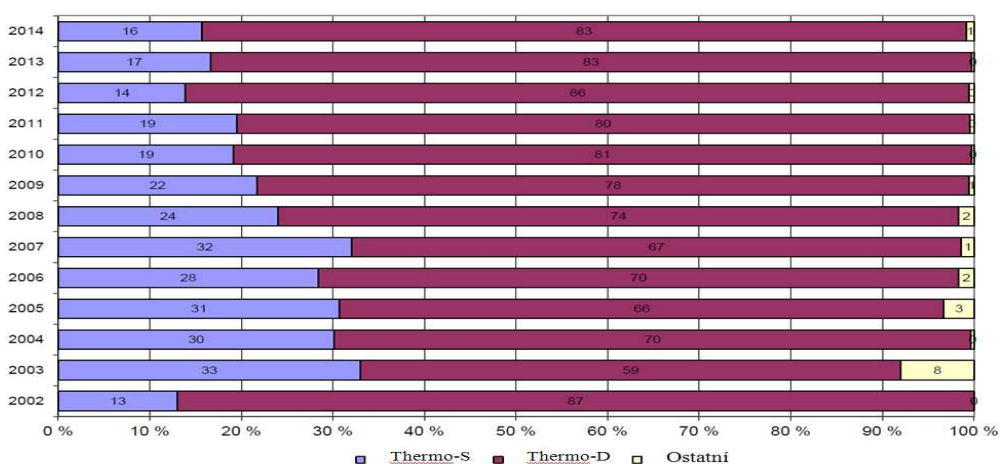
Příloha 2 Podíl výroby Thermo-S, Thermo-D a jiných způsobů

Příloha 1 Rozdělení dřevin na výrobě thermowoodu



Zdroj: (International thermowood asociation 2015)

Příloha 2 Podíl výroby Thermo-S, Thermo-D a jiných způsobů



Zdroj: (International thermowood asociation 2015)