

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva



**Termicky modifikované dřevo a jeho aplikace v interiéru a
exteriéru**

Bakalářská práce

Autor: Veronika Vondrová

Vedoucí práce: Ing. Monika Kvietková, Ph.D.

2015

"Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma «**Termicky modifikované dřevo a jeho aplikace v interiéru a exteriéru**» vypracovala samostatně pod vedením Ing. Moniky Kvietkové, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, 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.....

.....

Veronika Vondrová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Ing. Monice Kvietkové, Ph.D. za vedení, vstřícný a milý přístup, poskytnutí studijních materiálů, důležitých rád a odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce a za čas, který mi po celou dobu řešení práce věnovala.

Dále mé poděkování patří všem, kteří jakkoliv přispěli k vypracování mé bakalářské práce. Velké díky patří také mým rodičům a rodině, kteří mě během celého studia aktivně podporují.

Abstrakt

Předmětem této práce je ucelené shrnutí dostupných informací o termicky modifikovaném dřevu, jeho druzích, technologických procesech výroby a následném využití v interiéru a exteriéru. V první části se práce stručně věnuje modifikacím dřeva, kterými se dá zvýšit jeho trvanlivost a další užité vlastnosti. Práce dále obsahuje teoretický rozbor změn v chemické a anatomické struktuře tepelně modifikovaného dřeva, které se poté projevují ve změnách jeho fyzikálních, biologických, mechanických a technických vlastností. Další část pojednává o základních principech výroby tepelně modifikovaných typu ThermoWood, PlatoWood, RetificatedWood, Le Bois Perdure a OHT-Wood. V závěrečné pasáži jsou podrobněji uvedeny principy aplikace tepelně modifikovaných dřev v interiéru a exteriéru.

Klíčová slova:

modifikace dřeva, vlastnosti termodřeva, přirozená trvanlivost, interiér, exteriér

Abstract

The point of this thesis is to offer comprehensive overview of available information about thermally modified wood, its kinds, technological processes of production and subsequent interior and exterior use. The first part of this thesis deals briefly with wood modifications which can improve its durability and other practical properties. The thesis also contains theoretical analysis of changes in chemical and anatomical structure of thermally modified wood, which are then reflected in physical, biological, mechanical and technical changes of its properties. The next section discusses the basic principles for producing the following thermally modified wood types ThermoWood, PlatoWood, RetificatedWood, LeBoisPerdure and OHT-Wood. The final segment expands on application principles of thermally modified wood in interiors and exteriors.

Keywords

Wood modification, properties of thermally modified wood, natural durability, interior, exterior

Obsah

Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek.....	11
Úvod.....	10
Cíl práce.....	11
1. Současný stav ochrany dřeva.....	12
1.2 Modifikační ochrana dřeva.....	15
1.2.1 Modifikované dřevo.....	15
1.2.2 Vývoj termicky modifikovaného dřeva.....	16
1.2.3 Definice, podstata a cíle termické modifikace dřeva.....	16
1.3 Změny struktury dřeva při termické modifikaci.....	18
1.3.1 Chemické změny dřeva při termických úpravách.....	20
1.3.1.1. Změny hemicelulóz při termickém působení.....	21
1.3.1.2. Změny celulózy při termickém působení.....	21
1.3.1.3. Změny ligninu při termickém působení.....	22
1.3.1.4. Změny extraktivních látek při termickém působení.....	22
1.3.2 Anatomické změny dřeva při termických úpravách.....	22
1.3.2.1. Trhliny.....	23
1.4 Vliv termických úprav na vlastnosti dřeva.....	23
1.4.1 Fyzikální vlastnosti termicky upraveného dřeva.....	24
1.4.1.1 Hygroskopicitá.....	25
1.4.1.2. Rozměrová stabilita.....	26
1.4.1.3. Hustota.....	26
1.4.1.4. Barva a vůně.....	27
1.4.1.5. Tepelně-izolační vlastnosti.....	29
1.4.1.6. Akustické vlastnosti.....	29
1.4.2 Mechanické vlastnosti termicky upraveného dřeva.....	30

1.4.2.1. Rázová houževnatost	31
1.4.2.2. Ohybová pevnost dřeva	31
1.4.2.3. Tvrdost	32
1.4.2.4. Tahová, tlaková a smyková pevnost dřeva	33
1.4.2.5. Modul pružnosti	34
1.4.2.6. Štípatelnost.....	35
1.4.3 Trvanlivost termicky upraveného dřeva	36
1.4.3.1 Biologická odolnost	36
1.4.3.2. Povětrnostní odolnost	39
1.4.4 Technické vlastnosti termicky upraveného dřeva.....	42
1.4.4.1 Obrábění.....	42
1.4.4.2 Mechanické spojování	43
1.4.4.3 Lepení termodřeva	44
1.4.4.4 Konečná povrchová úprava	45
1.4.5 Toxicita termodřeva	45
2. Technologie výroby termicky modifikovaného dřeva.....	46
2.1 Principy výrobních technologií termicky modifikovaného dřeva	47
2.1.1 Materiál pro výrobu termicky modifikovaného dřeva	48
2.2 ThermoWood®	49
2.2.1 Výroba ThermoWood dřeva	51
2.2.2 Klasifikace tepelných úprav ThermoWood	53
2.2.3 Aplikace ThermoWood dřeva.....	55
2.2.3.1 Aplikace ThermoWood dřeva v interiérech.....	56
2.2.3.2 Aplikace ThermoWood dřeva v exteriéru	60
2.3 Plato®Wood	67
2.3.1 Výroba PlatoWood dřeva.....	68
2.3.2 Vlastnosti PlatoWood dřeva	70
2.3.3 Aplikace PlatoWood dřeva	70

2.4 RetificatedWood	71
2.5 Le Bois Perdure.....	72
2.6 OHT-Wood	73
2.6.1 Výroba OHT dřeva	73
2.7 Royal Process/Royale Process	75
Závěr	76
Seznam použité literatury a zdrojů	77

Seznam obrázků

- Obr. 1 Ukázka termicky modifikovaného dřeva
- Obr. 2 Chemické změny hlavních složek dřeva při termické úpravě
- Obr. 3 Mikroskopická struktura přírodního dřeva borovice (2003)
- Obr. 4 Mikroskopická struktura tepelně upraveného dřeva borovice
- Obr. 5 Změny v chemické struktuře dřeva při teplotách 120-230°C a jejich vliv na vlastnosti
- Obr. 6 Vliv relativní vlhkosti na obsah vlhkosti termicky upraveného smrkového dřeva
- Obr. 7 Změna hustoty borovicového dřeva tepelně upravovaného při teplotách od 160 do 240 °C po dobu 3
- Obr. 8 Barevné změny termicky upraveného borovicového dřeva (*Pinus sylvestris* L.) v řepkovém oleji
- Obr. 9 Barva tepelně upraveného borovicového dřeva. Teplota upravování začíná na 70°C a dále se pohybuje od 100°C do 240°C po 20°C intervalech. Čas tepelného upravování je 3 hodiny.
- Obr. 10 Pokles pevnosti v tlaku smrkového dřeva v závislosti od teploty působení
- Obr. 11 Změna ohybové pevnosti borového dřeva v závislosti na teplotě úpravy
- Obr. 12 Závislost tvrdosti borového dřeva na teplotě ošetření podle Brinella, délka ošetření 3 hodiny
- Obr. 13 Pevnost v tlaku tepelně upraveného smrkového dřeva při teplotách 220°C a 225°C po dobu 1 až 3 hodiny
- Obr. 14 Změna modulu pružnosti borovicového dřeva při tepelné úpravě od 60 do 240°C
- Obr. 15 Odolnost různých druhů dřeva proti rozštípnutí v radiální a tangenciální rovině
- Obr. 16 Zvýšení trvanlivosti ThermoWood dřeva vyrobeného z běle borovice při teplotách 100 – 240°C po 3 hodiny
- Obr. 17 Vliv tepelné úpravy běle borovicového dřeva, trvající 4 hodiny, na jeho odolnost vůči hniloběvlivem hub *Coniophora puteana* a *Poria placenta*, testy byly vykonány ve Finsku ve středisku VTT
- Obr. 18 Změna barvy tepelně upravené borovice vystavené venkovní expozici po dobu 6 měsíců. Čas úpravy 3 hodiny
- Obr. 19 Barevné změny ve fázi začínajícího procesu šednutí – viditelné přirozené mapky připomínající vznikající plíseň

- Obr. 20 Barevné změny v průběhu procesu stárnutí – viditelné nestejněměrné přirozené barevné změny
- Obr. 21 Barevná změna fasádního obkladu
- Obr. 22 Mění se hodnoty vlhkosti tepelně upravené borovice při teplotě 225 °C vystavené venkovní expozici po dobu 6 hodin
- Obr. 23 Ukázka vhodných typů hřebíků s doporučenou malou oválnou hlavou
- Obr. 24 Samořezný šroub vhodný pro spojování termicky upraveného dřeva
- Obr. 25 Ukázka použití termodřeva na obklady venkovních fasád
- Obr. 26 Zastoupení jednotlivých druhů dřeva při výrobě ThermoWood od roku 2001 až po rok 2014
- Obr. 27 Prodej ThermoWood dřeva podle území v letech 2001–2014
- Obr. 28 Nárůst prodeje ThermoWood dřeva v letech 2001-2014
- Obr. 29 Tunelové výrobní zařízení pro přípravu ThermoWoodu
- Obr. 30 Schéma výrobní technologie ThermoWood
- Obr. 31 Ukázka klasifikační třídy Thermo-D
- Obr. 32 Ukázka klasifikační třídy Thermo-S
- Obr. 33 Statistika výroby Thermo-S a Thermo-D ThermoWoodu mezi lety 2002 -2014
- Obr. 34 Příklady interiérových podlahových profilů
- Obr. 35 Použití ThermoWood dřeva pro interiérové podlahy
- Obr. 36 Profily pro saunové a interiérové obklady
- Obr. 37 Ukázka využití ThermoWood dřeva na sauny
- Obr. 38 Podložka pod mýdlo z thermowoodu
- Obr. 39 Ukázka ThermoWood profilů pro vnější obklady
- Obr. 40 Fasádní obložení FŽP ČZU
- Obr. 41 Exteriérové obložení budovy
- Obr. 42 Ukázka Thermowood profilů využívaných na terasy a bazénové obklady, atd.
- Obr. 43 Využití ThermoWood dřeva terasové podlahy a pro obklady bazénů
- Obr. 44 Profily prken, hranolů a konstrukčních prvků
- Obr. 45 Využití konstrukčních hranolů a prken
- Obr. 46 Využití ThermoWood dřeva na výrobu zahradního nábytku
- Obr. 47 Ukázka koupacího sudu
- Obr. 48 Řez oknem s termicky upraveným dřevěným jádrem
- Obr. 49 Průmyslové zařízení pro hydrotermolytické úpravy v první fázi
- Obr. 50 Průmyslová sušárna pro sušení a kondenzování dřeva během tepelné úpravy

- Obr. 51 Průmyslová sušárna používána pro vytvrzování
- Obr. 52 Využití PlatoWood dřeva pro venkovní obklad budov
- Obr. 53 Ukázka využití PlatoWood dřeva v praxi – protihluková stěna
- Obr. 54 Výroba retifikačního dřeva
- Obr. 55 Výroba Le Bois Perdur dřeva
- Obr. 56 Výroba OHT-Wood

Seznam tabulek

- Tab. 1 Základní způsoby modifikace rostlého dřeva
- Tab. 2 Hodnoty tepelné vodivosti borovice a smrku při tepelném zpracování po dobu 3 a 5 hodiny při teplotě 230°C
- Tab. 3 Pevnost v ohybu a modul pružnosti smrkového dřeva ošetřeného při teplotě 230°C po dobu 5 hodin
- Tab. 4 Přirozená trvanlivost dřeva a dřevěných materiálů
- Tab. 5 Základní změny vlastností a příklady použití dřeva ThermoWood – typy Thermo-S a Thermo-D u jehličnatých dřevin
- Tab. 6 Základní změny vlastností a příklady použití dřeva ThermoWood – typy Thermo-S a Thermo-D u listnatých dřevin

Úvod

Dřevo zaujímal v životě lidí vždy významné místo. Jeho význam spočíval především v užitku, který poskytovalo, jednalo se zejména o zásoby dřeva na oheň, o výrobu nástrojů, částí zbraní, či ke stavbě obydlí. S postupným vývojem se použití dřeva rozšířilo i do dalších odvětví jako je například výroba nábytku, lodí, povozů, sportovních potřeb a hraček. Má všestranné využití, které se i po objevu nových materiálů nepodařilo z některých odvětví vytlačit. Na rozdíl od jiných materiálů patří dřevo mezi obnovitelné materiály a má širokou oblast použití, jak v náročnějších interiérových, tak i v různých exteriérových expozicích. Dřevo je z ekologického hlediska mnohem hodnotnější než jiné materiály. Jeho životní cyklus je ekologicky příznivý a je považováno za materiál s pozitivním vlivem na životní prostředí. Na těžbu a zpracování se spotřebuje mnohem méně energie a na konci jeho života nepředstavuje zátěž pro životní prostředí, jelikož může být zcela zrecyklováno.

Výrobky ze dřeva jsou stále častěji vystavovány náročným expozicím, kde na ně působí různé vlivy a znehodnocují ho. Tento problém byl v minulosti řešen dvěma způsoby a to buď ve formě ošetření konzervační látkou, nebo výrobou z tropických dřevin. Konzervační látky zvýšily odolnost dřevin, ale většina z nich byla toxická, a proto bylo jejich použití postupem času omezeno. Výroba z tropických dřevin, které díky svým vlastnostem odolávají náročným zatížením, by vedla k tomu, že v 21. století by byl těchto dřevin akutní nedostatek. V posledních letech zájem o dřevo výrazně roste, je tedy potřeba vyvíjet technologie, které by zvýšily trvanlivost a odstranily nepříznivé vlastnosti dřeva. Jednou z možností jak zlepšit vlastnosti dřeva, jako je tvarová stálost, odolnost proti škůdcům a prodloužení životnosti, je tepelná modifikace dřeva.

Poptávka po termicky modifikovaném dřevu neboli ThermoWoodu během posledního období výrazně vzrostla. Tento zájem je zejména kvůli jeho vlastnostem, které získává výrobním procesem, jenž je ekologický a probíhá pouze za použití tepla a páry. Během tohoto výrobního procesu nejsou používány žádné chemické přísady. Vzhledem k tomu, že i po této výrobě je dřevo zcela ekologické, lze ho odstranit stejným způsobem jako dřevo běžné (ThermoWood HandBook, 2003; Reinprecht, 2008; Kačíková, Kačík, 2011).

Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je charakteristika a využití tepelně modifikovaného dřeva jako nového druhu materiálu s inovovanou vnitřní strukturou dosaženou tepelnou, vlhkostní úpravou a jeho aplikaci v interiéru a exteriéru. Práce má za úkol sumarizovat dostupné informace z oblasti technologie výroby tepelně modifikovaného dřeva a následného konečného použití v interiéru a exteriéru.

K dosažení hlavních cílů předcházelo několik dílčích cílů:

- Sjednocení a popsání poznatků o tepelně modifikovaném dřevu, jeho vývoj, podstata a důvod tepelného ošetření.
- Vliv tepelné úpravy na fyzikální a mechanické vlastnosti.
- Sledování vývoje na trhu, kterým tepelně modifikované dřevo prochází.
- Popsání výrobních technologií různých druhů tepelně modifikované dřeva.
- Následné využití tepelně modifikovaných dřev v interiéru a exteriéru.

1. Současný stav ochrany dřeva

Úlohou ochrany dřeva je potlačení procesů, které způsobují degradaci dřeva, a prodloužení životnosti výrobků ze dřeva. Životnost dřeva je ve skutečnosti srovnatelná s jinými materiály, pokud je ovšem v příznivých podmínkách. Činitelé, kteří mohou způsobit úplný zánik dřeva, je kromě požáru také napadení houbami. Ochranou se tedy rozumí trvale se starat o dřevo tak, aby nevznikly příznivé podmínky pro napadení. Cílem ochrany dřeva je omezit negativní působení okolního prostředí na dřevo na minimum. Z vlastností dřeva jako je hustota, trvanlivost, rozměrová stabilita, pevnost, tvrdost atd., vyplývá, že jeho životnost je závislá na celé řadě faktorů. Z hlediska technického spočívá ochrana dřeva především v ochraně před vlhkostí, požárem a napadením biotickými škůdci.

Každý druh dřeva má určité vlastnosti, což ovlivňuje možnosti jeho využití. Důležitou vlastností dřeva je jeho přirozená trvanlivost v interiérových a exteriérových expozicích. Trvanlivost dřeva je dostatečná nebo nedostatečná. Zvýšení se dosáhne pomocí chemické ochrany dřeva a dnes také metodami jeho modifikační ochrany. Použité druhy dřeva ale musí mít dostatečnou pevnost, tvrdost, barevnou stálost, rozměrovou stabilitu, opracovatelnost, atd.

Vysokou přirozenou trvanlivostí a současně také vhodnými užitnými vlastnostmi se vyznačují některé druhy exotického dřeva, například teak, merbau, padouk, walaba. Z evropských dřevin využívaných pro průmyslové zpracování má dostatečnou odolnost akát bílý, dub zimní, dub letní a smrk. Trvanlivost těchto dřevin zvyšujeme z důvodu dosažení stejných ne-li lepších vlastností, které vykazují exotické dřeviny (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

Pojem přirozená trvanlivost dřeva se nedá v praxi zcela přesně definovat, jelikož je ovlivněna různými faktory. Nejvíce je ovlivněna strukturou dřeva a jejími odlišnostmi, které jsou dané zpravidla druhem dřeva, ale také často půdními, klimatickými a jinými podmínkami růstu stromu. Dále také záleží na použití dřeva a jeho zatížení, a to především jestli je aplikováno v interiéru nebo exteriéru, ale též na části světa a konkrétním podnebí, ve kterém se zrovna nachází. Přirozená trvanlivost dřeva se pro jednotlivé dřeviny zkouší metodami popsány v příslušných evropských normách a výsledky se porovnávají s výsledky referenčních dřevin. Na základě zkušebních výsledků se přirozená trvanlivost konkrétní dřeviny proti napadení biotickými škůdci klasifikuje:

- pěti třídami u napadení houbami,
- třemi třídami u napadení dřevokazným hmyzem,
- třemi třídami u napadení termity a mořskými škůdci (v tuzemsku se nevyskytují), (Novotný, 2009).

Dřevo má proti ostatním materiálům (jako jsou kámen, beton, různé plasty, atd.) nesporné přednosti:

- je trvale obnovitelným surovinovým zdrojem s nízkým zatížením pro životní prostředí a celkově nízkými energetickými nároky,
- vyznačuje se vysokým poměrem pevnosti k hustotě,
- dá se dobře opracovávat,
- má nízkou tepelnou vodivost,
- na člověka působí příjemně.

Neměli bychom však zapomenout ani na určité záporné vlastnosti dřeva, které jsou spojené s jeho nižší přirozenou trvanlivostí:

- biodegradovatelnost (tj. náchylnost na poškození dřevokaznými houbami, dřevokazným hmyzem a jinými biologickými škůdci),
- hořlavost,
- korodovatelnost – (tj. náchylnost na erozi povrchu UV zářením, vodou a jinými povětrnostními činiteli, jako na poškození do větší hloubky agresivními chemikáliemi,
- deformovatelnost (tj. náchylnost na změny tvaru při změnách podnebí) (Reinprecht, 2008).

Abychom dosáhli prodloužené životnosti výrobků ze dřeva, je zapotřebí zvolit správnou ochranu. Trvanlivost dřeva je možné zvýšit několika druhy:

- *Fyzikální ochrana dřeva* – soubor opatření, jejichž cílem je:
 - a) vytvořit takové podmínky ve dřevě a jeho okolí, aby byl maximálně omezen nebo znemožněn vznik a rozvoj jeho napadení biotickými anebo abiotickými škůdci,
 - b) již vzniklá ohniska destrukce dřeva likvidovat biotickými škůdci a následně

realizovat preventivní ochranná opatření proti novému napadení,

- *Konstrukční ochrana dřeva* – podstatou je zamezení dlouhodobé vysoké vlhkosti dřevěných konstrukcí. To znamená, že by dřevo mělo být uloženo v takové expozici, kde je působení biotických činitelů omezené nebo vyloučené. V praxi to znamená omezit nebo vyloučit zdroje vlhkosti,
- *Chemická ochrana dřeva* – podstatou je použití chemických prostředků na ochranu dřeva. Ty se zavádějí na povrch dřeva nebo do určité hloubky dřeva nátěrem, postřikem, máčením a jinými beztlakovými technologiemi, chceme-li dosáhnout jejich většího průniku a příjmu do dřeva, tak i podtlakovo-přetlakovými technologiemi v impregnačních kotlech,
- *Modifikační ochrana dřeva* – úlohou modifikace dřeva je zlepšit trvanlivost a vybrané vlastnosti. Záměrně se mění struktura dřeva s cílem zlepšit technicky - funkční vlastnosti. Do modifikační ochrany dřeva zahrnujeme úpravu chemickou, enzymatickou a termickou.

Fyzikální a konstrukční metody ochrany dřeva stále nezabraňují aktivitě dřevokazných činitelů. Z tohoto důvodu je nutné řešit ochranu dřeva komplexně a zvolit vhodnou chemickou nebo modifikační ochranu dřeva.

Chemická ochrana dřeva zvyšuje přirozenou trvanlivost dřeva, to znamená, že se zvyšuje jeho odolnost vůči napadení abiotickým a biologickým činitelům. Spočívá v ošetření dřeva chemickými látkami s biocidními, hydrofobizačními, ohnivzdornými, UV-absorpčními a jinými účinky. Hlavním faktorem při použití chemických ochranných prostředků v praxi je jeho ekologická a zdravotní nezávadnost a to při ošetření dřeva, jeho expozici a následné likvidaci. Pokud se snažíme zvýšit trvanlivost dřeva, měli bychom brát v úvahu, aby prováděné postupy byly co nejekologičtější. Technologie, kterými se dosahuje zvýšené trvanlivosti dřeva, by neměly zatěžovat životní prostředí a upravené dřevo by mělo zůstat zdravotně nezávadné. Je známo, že chemická ochrana má mnoho odpůrců, právě kvůli svému vlivu na životní prostředí. Všechny tyto důvody znamenají, že je třeba hledat nové technologie, kde se použití toxických prostředků sníží na minimum, nebo zcela vyloučí. Tyto podmínky splňují modifikační ochrany dřeva (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1.2 Modifikační ochrana dřeva

Platí, že hlavní úlohou všech modifikačních metod je cílená změna struktury dřeva, a to tak, aby se zlepšily jeho vybrané vlastnosti. Dřevo je možné modifikovat mechanickými, chemickými, termickými a biologickými metodami (Reinprecht, 2008). V tabulce 1 jsou uvedeny modifikační metody a jejich následné změny struktury dřeva po aplikaci.

Tab. 1 Základní způsoby modifikace rostlého dřeva (Reinprecht, 2008)

MODIFIKAČNÍ METODA	ZMĚNA STRUKTURY DŘEVA		
	Geometrická a morfologická	Anatomická	Molekulární
Mechanická	+	+	-
Chemická			
- vyplnění lumenů	-	+	-
- blokace OH skupin	-	(+)	+
Termická	-	(+)	+
Biologická	-	-	+

Poznámka: + → výrazná změna, (+) → nevýrazná změna, - → bez změny

1.2.1 Modifikované dřevo

Modifikované dřevo má záměrně změněnou strukturu s vylepšenými vlastnostmi, jako je biologická odolnost, odolnost vůči agresivním chemikáliím, termická odolnost, rozměrová stabilita, odpudivost vůči vodě, pevnost, tvrdost, barevná stálost, apod. (Reinprecht, 2008).

Donedávna bylo modifikované dřevo používáno jen pro speciální výrobky například v průmyslu a dopravě. Postupem času byl vyvíjen tlak, aby výroba a poté užívané modifikované dřevo bylo ekologické a zároveň byla jeho trvanlivost co největší. V posledních letech se začaly vyvíjet nové technologie, případně se propracovaly důkladněji některé z dosud známých metod. I přes komplikované výrobní technologické procesy nebo výrazněji vyšší náklady se modifikované dřevo (obr. 1) prosadilo na trhu. Na výběr máme dnes několik druhů modifikovaného dřeva, které dosahuje stejných nebo lepších vlastností než dřeviny exotické. Z toho důvodu je také modifikované dřevo na úrovni nejdražších exotických dřevin (Hill 2006; Reinprecht 2008).



Obr. 1 Ukázka termicky modifikovaného dřeva (www.nowawood.com)

1.2.2 Vývoj termicky modifikovaného dřeva

Již naši předkové věděli, že opalováním povrchu dřeva v otevřeném ohni se dřevo stane odolnějším a životnost materiálu se prodlouží až trojnásobně. Například Vikingové tuto metodu používali pro venkovní stavby, například ploty. Zkoumání tepelného zpracování dřeva na vědecké úrovni začalo v průběhu třicátých let 20. století v Německu vědci Stammem a Hansenem. Ve čtyřicátých letech se studie přesunula do USA a poté zpět do Německa, kde zkoumání pokračovalo. V šedesátých letech publikovali své objevy Kollman a Schneider. V devadesátých letech byly výzkumné práce prováděny ve Francii a Holandsku, ale většina intenzivního a komplexního výzkumu probíhala ve středisku VTT ve Finsku (ThermoWood Handbook, 2003).

Termicky modifikované dřevo „termodřevo“ je poměrně nový typ materiálu. Průmyslově se vyrábí více než 15 let ve Finsku, Holandsku, Francii, Německu a dalších státech EU, ale i jiných státech světa. Přibližná produkce je 240 000 m³/rok (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1.2.3 Definice, podstata a cíle termické modifikace dřeva

Termická modifikace dřeva je technologický proces, který záměrně upravuje strukturu dřeva při působení zvýšené teploty. Cílem této úpravy je zvýšení jeho odolnosti vůči vodě, biologickým činitelům, a zlepšení rozměrové stability dřeva. Při tomto tepelném procesu dochází k částečnému odbourání a rozložení složek dřeva, které jsou termicky odolné. Při hydrotermické modifikaci současně působí na dřevo i voda.

Platí poznatek, že výraznější změny v chemické struktuře dřeva se uskutečňují až při působení teplot nad 150-170°C za běžných časových, tlakových a jiných expozičních podmínek. Změny významnějšího charakteru ve struktuře dřeva nastávají při působení teploty v intervalu 180 až 280 °. Tepelně namáhané dřevo tmavne, ztrácí svou původní pevnost, stává se hydrofobnější a odolnější vůči biologickým škůdcům. Při nárůstu teploty nad 300°C se materiál většinou zapálí a dochází k požáru, kdy se dřevo přemění na hořlavé plyny a na zuhelnatěnou vrstvu až popel, dochází tedy k degradaci materiálu (Reinprecht, Vidholdová, 2008; Reinprecht 2008).

Podstata při výrobě „termodřeva“ termickou modifikací spočívá v zásadách do chemické struktury dřeva, která se odehrává v jedné nebo ve více rovinách:

- blokace hydroxylových – OH funkčních skupin dřeva → dochází k poklesu hygroskopicity a zlepšení rozměrové stability dřeva,
- síťovací polykondenzační reakce v ligninosacharidové matrici dřeva → dochází k poklesu hygroskopicity dřeva, vznikají také látky odpuzující biologické škůdce,
- změny ve struktuře hemicelulóz i některých extraktivních látek → vznikají látky odpuzující biologické škůdce,
- tvorba stabilních neprchavých degradačních zplodin z ligninosacharidové matrice dřeva i z extraktivních látek, které dokáží blokovat aktivitu hub, hmyzu a jiných organismů → vznikají látky s biocidním efektem.

Důležité je dbát na to, aby při těchto zásadách nedocházelo k větším změnám v polymerech dřeva, zejména v polymerizačním stupni celulózy, který je nezbytný pro pevnost dřeva.

Hlavním cílem termické modifikace dřeva, je připravit takový materiál, který bude splňovat následující kritéria:

- nižší hygroskopicita,
- vyšší rozměrová stabilita,
- vyšší odolnost vůči dřevokazným houbám, dřevozbarvujícím

- houbám a plísním,
- vyšší odolnost vůči dřevokaznému hmyzu a mořským škůdcům,
- zachování, popřípadě zlepšení mechanických vlastností – pevnost, tuhost, tvrdost,
- zachování nebo zlepšení estetické stránky – barva, textura, lesk, minimální podíl trhlín,
- použitelnost pro výrobu různých dřevařských výrobků do náročných exteriérových a interiérových expozic,
- nahrazení některých velmi trvanlivých a rozměrově stabilních exotických druhů dřeva.

Většina technologických postupů výroby „termodřeva“ vede k poklesu rázové houževnatosti, pevnosti v ohybu a tahu a také ke zbarvení do žlutých až tmavohnědých odstínů. Je ovšem zajímavé, že modul pružnosti se mění pouze minimálně a někdy i narůstá do vyšších hodnot. Platí, že stupeň změny vlastností termicky upraveného dřeva je závislý na podmínkách jeho úpravy (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1.3 Změny struktury dřeva při termické modifikaci

Při termické modifikaci prochází dřevo změnami, které rozšiřují oblast jeho použití, například na parkety, okna, nábytek, dveře, obklady, hudební nástroje apod. Dochází ovšem k poklesu pevnostních vlastností při termické degradaci jednotlivých složek dřeva, toto dřevo poté není vhodné k použití jako konstrukční a stavební materiál (Gunduz, 2009). Z tohoto důvodu se zkoumají změny vlastností chemických, mechanických, fyzikálních a biologických termicky modifikované dřeva a jejich vzájemné souvislosti, které jsou potřebné k rozhodování a optimálnímu použití upraveného dřeva (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

Na změny, které vznikají ve dřevě díky působení zvýšené teploty, má vliv více faktorů a to:

- *druh dřeva, jeho tvar a počáteční vlhkost*
 - platí, že listnaté dřeviny, které mají menší podíl ligninu, se modifikují termickými reakcemi intenzivněji a to již při nižších teplotách. Tyto poznatky se odráží i v technologických procesech výroby „termodřeva“.

Na průběh termických reakcí má také svůj význam tvar dřeva, rozměry v podélném a příčném směru a také jeho tepelné a teplotní vodivosti. V suchém dřevě je vedení tepla podstatně nižší než ve dřevě mokrém. Transport tepla do vnitřních zón dřeva se urychluje pařením nebo vařením dřeva ve vodě za normálního a zvýšeného tlaku.

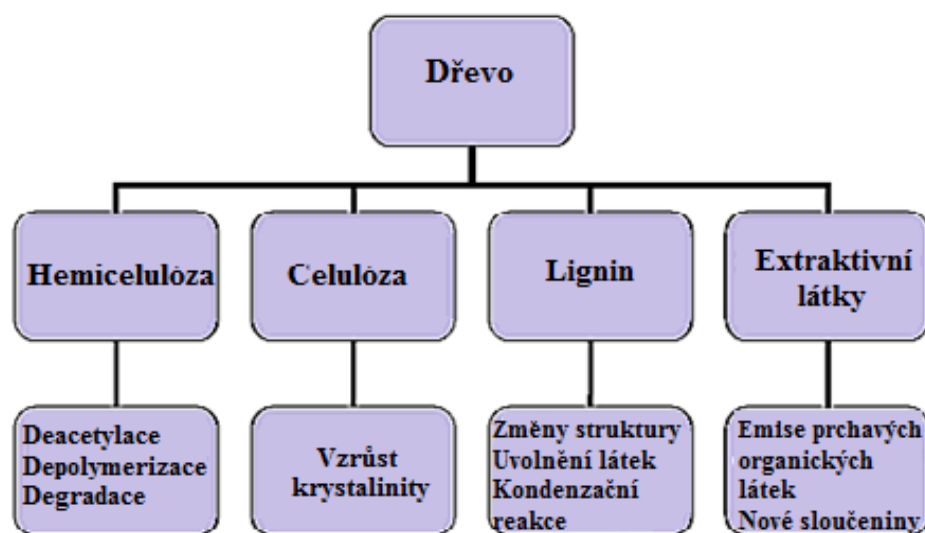
- *intenzita přivedeného tepla, způsob ohřívání, délka působení*
 - intenzita přivedeného tepla je dominantní faktor při termických úpravách dřeva. Čím je vyšší teplota působení a doba působení, tím je změna ve struktuře dřeva intenzivnější.
- *prostředí (vzduch, inertní plyn)*
 - důležitou roli při termickém rozkladu dřeva má kyslík. Reaguje s termicky aktivovanými složkami dřeva formou termooxidačních reakcí. Stupeň termického narušení a rozkladu všech složek dřeva se v přítomnosti kyslíku znásobuje. Pokud se ohřev provádí v inertní atmosféře, ve vakuu nebo ve vhodné kapalině jako například rostlinný olej, ale i voda, kyslíku je ve dřevě méně a zároveň se potlačuje průběh termooxidačních reakcí. Při určitém teplotním zatížení se chemická struktura dřeva i jeho vlastnosti mění mírněji.
- *tlak prostředí*
 - závisí na použitém technologickém procesu. V uzavřených reaktorech je možné vytvořit vakuum, aby se zmenšil počet molekul kyslíku, čímž se potlačí termooxidační reakce a současně se omezí pokles polymerizačního stupně polysacharidů dřeva. V uzavřených reaktorech je možno naopak i zvýšit tlak prostředí, například při paření dřeva v prostředí vodní páry.

S chemickými změnami se mění mechanické i fyzikální vlastnosti, které jsou s nimi úzce spjaty. Technologický proces výroby termicky modifikovaného dřeva, je třeba vykonávat tak, aby bylo dosaženo viditelných změn a současně byly potlačeny nežádoucí efekty ohřevu dřeva, při minimálních ekonomických nákladech (Kačíková, Kačík, 2011).

1.3.1 Chemické změny dřeva při termických úpravách

Změny v chemické struktuře dřeva nevýznamného nebo méně významného charakteru nastávají už při teplotě okolo 100°C ve spojení s méně intenzivními dehydratačními procesy. Při teplotách nad 150-170°C vznikají významnější termolytické a termooxidační reakce, spojené s hlubším zásahem do polymerové struktury stavebních složek dřeva. Částečné odbourávání hemicelulóz i ligninu za vzniku vody, kyseliny mravenčí a octové, oxidu uhličitého, 2-furaldehydu a jiných látek, které se mohou zapojit do následujících kondenzačních reakcí, způsobují teploty vyšší v rozmezí 150-260°C (Chow, Mukai, 1972). Termické reakce principiálně spočívají v přechodu elektronů v kovalentních vazbách polysacharidů a ligninů ze stavu základního do excitovaného, to znamená na vyšší energetickou hladinu. Většinou se jedná o homolytické reakce, někdy i heterolytické, ke kterým dochází zejména při teplotách nad 200°C. Látky s aktivovanými vazbami se následně štěpí za vzniku vysokoreaktivních volných radikálů, nebo přímo vstupují do exotermických reakcí s jinými reaktivními látkami za uvolnění energie (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

Přehled změn probíhající ve dřevě při tepelném působení je zobrazen na následujícím obrázku č. 2 (Kačíková, Kačík, 2011).



Obr. 2 Chemické změny hlavních složek dřeva při termické úpravě (Kačíková, Kačík, 2011)

Dřevo je složitý komplex různých látek, jehož základ tvoří přírodní polymery celulóza, hemicelulóza a lignin. Celulóza a hemicelulóza tvoří polysacharidický podíl dřeva, lignin má polyfenolický charakter (Blažej, a kol. 1975). Tyto složky tvoří hlavní složky dřeva, procentuálně je zastoupeno v dřevním komplexu cca 90-97%, přičemž

sacharidická část je tvořena asi 70% a lignin zbytek. V menším procentuálním zastoupení jsou ve dřevě obsaženy další organické a anorganické látky, které se označují jako doprovodné látky (akcesorické) složky dřeva, ty tvoří 3-10% z komplexu. Tato průměrná procentuální zastoupení jednotlivých složek se mohou měnit podle druhu dřeva a části stromu, ze kterého dřevo pochází (Gandelová, Horáček, 2012).

1.3.1.1. Změny hemicelulóz při termickém působení

Při termickém působení se jako první z hlavních složek dřeva začínají měnit hemicelulózy a to již při relativně nízkých teplotách. Rozklad probíhá v širším rozpětí teplot, intenzivněji zejména od 170 do 280°C. Degradace hemicelulóz začíná deacetylací, vzniká při ní kyselina octová, která působí jako katalyzátor depolymerizačních reakcí a dále urychluje rozklad polysacharidů. Při deacetylační reakci vznikají monomery, ty vstupují do kondenzačních reakcí při vysokých teplotách za vzniku hydrofobnějších substancí. Vzhledem k původní hemicelulóze, to má za následek zlepšení rozměrové stability a nárůst hydrofobnosti dřeva. Částečným odbouráváním hemicelulóz a jiných změn ve struktuře dřeva, dochází ke zvyšování úbytku hmotnosti termicky modifikovaného dřeva. Tento úbytek narůstá se zvyšováním teploty a prodlouženou dobou ohřevu (Kačíková, Kačík, 2011; Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1.3.1.2. Změny celulózy při termickém působení

Celulóza je nosnou kostrou buněčných stěn dřeva. V porovnání s hemicelulózami je vůči termickému působení odolnější v důsledku její krystalické struktury. Záměrná termická degradace celulózy při teplotách v rozmezí 170 +/- 60°C se pojí s reakcí dehydratační a depolymerizační. Depolymerizační procesy v lineárních řetězcích amorfni celulózy vedou k poklesu ohybové a tahové pevnosti dřeva a k poklesu i jiných mechanických vlastností. Při výrobě „Termodřeva“ je nutné potlačit všechny reakce depolymerizačního charakteru v celulózových řetězcích, to se zajistí například ohřevem dřeva v inertní atmosféře dusíku, ve vakuu, nebo pod hladinou rostlinných olejů. Ohřevem dřeva se mění i vzájemný podíl amorfni a krystalické celulózy. Zkoumáním bylo zjištěno, že pokud se dřevo ohřívalo na teploty v oblasti 120-160 °C, pozoroval se nárůst krystalického podílu a při delším ohřevu a vyšších teplotách následuje pokles krystalického podílu. V přítomnosti molekul vody krystalický podíl výrazněji narůstal. Změny v krystalickém množství celulózy jsou

důležité i z pohledu změn modulu pružnosti termicky modifikovaného dřeva, tudíž se modul pružnosti „termodřeva“ dá při některých technologiích výroby i zvýšit (Kačíková, Kačík, 2011; Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1.3.1.3. Změny ligninu při termickém působení

Lignin je nejstabilnější složkou dřeva, zabezpečuje zdřevnatění buněčných stěn. Umístěn je převážně ve střední lamelle, ale prostupuje i do ostatních vrstev. Dodává dřevu pevnost, je termoplastický a amorfní (Blažej a kol. 1975). Zároveň je nejodolnější složkou dřeva vůči tepelnému působení. Není to z hlediska fyzikálního, ale z hlediska chemického, jelikož kovalentní vazby nejlépe odolávají termolýze a termooxidaci. V molekulách ligninu se začínají chemické reakce uskutečňovat až při vyšších teplotách okolo 180-260°C (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1.3.1.4. Změny extraktivních látek při termickém působení

Vlivem zvýšených teplot i tyto látky podléhají různým fyzikálním, chemickým a fyzikálně-chemickým změnám. Při ohřevu dřeva se většina tukových, voskových a pryskyřičných látek dostává do kapalného i plynného stavu a pohybují se k jeho vnějšímu povrchu. Za použití vysokých teplot se některé extraktivní látky přeměňují na prchavé organické komponenty a ze dřeva se vypaří. Termicky upravené dřevo obsahuje méně prchavých terpenů, najdeme v něm ale pravidelně více kyseliny octové (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1.3.2 Anatomické změny dřeva při termických úpravách

Zvýšené teploty působící na dřevo mají za následek výrazné změny v anatomické struktuře. Teploty pohybující se v oblasti 100-260°C způsobují vlhkostní a jiné napětí, které se ve větší či menší míře projeví také v anatomické struktuře. Jedná se hlavně o vznik trhlin v buněčných stěnách a ztenčeníích. Při mechanickém zatížení se zkřehlé buňky dřeva obvykle snadněji lámou, přičemž lomová plocha bývá hladší a méně vláknitá. Současně se mění také tloušťka buněčných stěn a pravidelně i jejich pórovitost. Největší je intenzita změn v povrchových zónách dřeva vystavených sálavému nebo kontaktnímu zdroji tepla. Vnitřní zóny dřeva se poškozují rychleji při ohřevu mikrovlnným zářením (Reinprecht, Vidholdová, 2008). Zkoumáním borovicového dřeva, které se ohřívalo při teplotě 275°C po dobu 15 minut, bylo zjištěno významné vzrůstání počtu a velikosti pórů a změna struktury dřeva. Na obrázcích 3 a 4

je zřetelně zachycen mikroskopický rozdíl borovicového dřeva přírodního a tepelně ošetřeného (ThermoWood Handbook, 2003).



Obr. 3 Mikroskopická struktura přírodního dřeva borovice (ThermoWood Handbook, 2003)



Obr. 4 Mikroskopická struktura tepelně upraveného dřeva borovice (ThermoWood Handbook, 2003)

1.3.2.1. Trhliny

Buněčné stěny dřeva s depolymerizovanými polysacharidy jsou křehčí a z toho důvodu se v nich častěji tvoří nanotrhlínky, mikrotrhlínky a okem viditelné makrotrhlínky. Často se tvoří trhliny různých velikostí ve dvojtečkách a jiných typech ztenčenin, čímž se narušují a propustnost pro tekutiny narůstá. Dle sledování, které bylo prováděno na smrkovém dřevu vystaveného teplotám 100-180°C, se drobné trhliny objevovaly pouze ojediněle na okrajích dvojteček. Při 180-220°C se trhliny zjevně zvětšovaly a zvyšoval se i jejich počet. Výraznější porušení díky vznikajícím větším trhlínám způsobovaly teploty v rozmezí 200-300°C (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

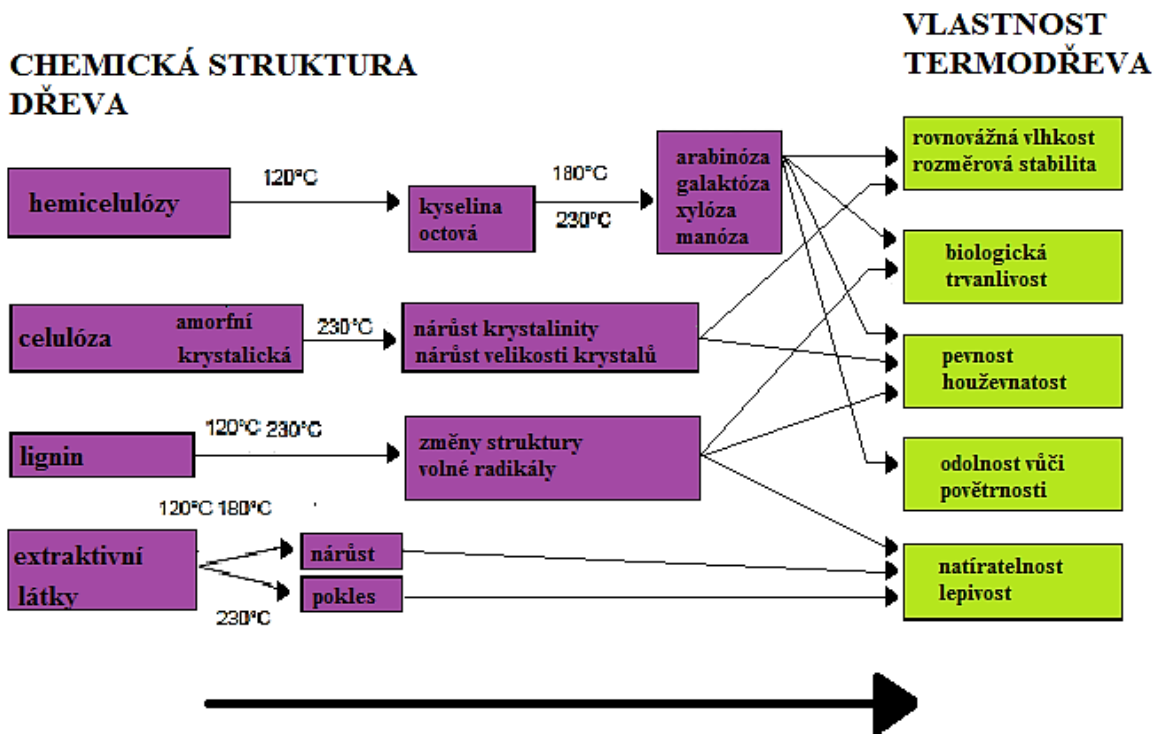
1.4 Vliv termických úprav na vlastnosti dřeva

Cílené termické úpravy dřeva, které se realizují obvykle v prostředí omezeného přístupu vzduchu, v přítomnosti vodní páry, v dusíku, v olejích nebo jiných kapalinách, nám umožňují přípravu materiálů typu:

- ThermoWood,
- PlatoWood,

- RetificatWood a Le Bois Perdure,
- OHT-Wood a jiné.

Tyto materiály se vyznačují zvýšenou biologickou odolností vůči dřevokazným houbám, dřevokaznému hmyzu a jiným škůdcům. Současně se také zlepšuje rozměrová stabilita, snižuje se navlhavost, vylepšují se tepelně-izolační vlastnosti a upravené dřevo má zajímavou barvou. Avšak také mírně klesá pevnost. Téměř všechny změny, které se v termicky upraveném dřevu dějí, jsou výsledkem změn v jeho chemické struktuře (obr. 5) (Reinprecht, Vidholdová, 2008).



Obr. 5 Změny v chemické struktuře dřeva při teplotách 120-230°C a jejich vliv na vlastnosti „Thermodřeva“ (Reinprecht, Vidholdová, 2008)

1.4.1 Fyzikální vlastnosti termicky upraveného dřeva

Při výrobě „Thermodřeva“ je důležité, jak se změní jeho hygroscopicita, rozměrová stabilita, hustota a barva. Důležité jsou také změny vlastností tepelně-izolačních a akustických (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

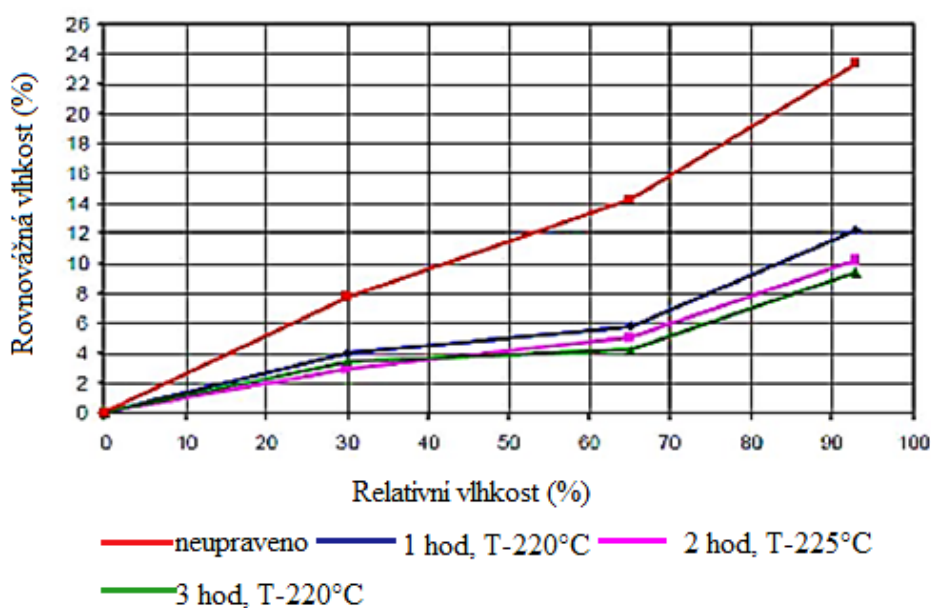
1.4.1.1 Hygroskopicita

Hygroskopicita je velmi důležitá vlastnost dřeva, představuje schopnost přijímat a odevzdávat vodu do okolního prostředí při definované rovnovážné vlhkosti a teplotě vzduchu. Vlivem termických působení se hygroskopicita dřeva snižuje. Ovlivňuje hlavně rozměrovou stabilitu, odolnost vůči biologickým škůdcům a také další vlastnosti dřeva. Hygroskopicita je reprezentována rovnovážnou vlhkostí dřeva. Dřevo, které je upravené vysokými teplotami, má menší hygroskopicitu v porovnání s dřevem rostlým. S rostoucí teplotou rovnovážná vlhkost klesá (Reinprecht, 2008).

Pokles hygroskopicity termicky upraveného dřeva je možno odůvodnit několika jevy:

- odbourání určitého podílu hemicelulóz,
- odbourání nebo prostorová blokáce hydrofilních – OH funkčních skupin,
- migrace a redistribuce lipidových a jiných hydrofobních látek.

Obsah rovnovážné vlhkosti dřeva redukuje tepelné působení, při vysokých teplotách 220°C hodnota nasákavosti klesá přibližně na polovinu oproti neupravenému dřevu. Pokud jsou hodnoty relativní vlhkosti vyšší, je rozdíl mezi hodnotami vlhkosti dřeva větší. Na obrázku 6 jsou zaznamenány změny obsahu rovnovážné vlhkosti při působení teplot 220-225 °C v časovém intervalu 1-3 hodiny při různých vlhkostech (Reinprecht, Vidholdová, 2008; Kačíková, Kačík, 2011).



Obr. 6 Vliv relativní vlhkosti na obsah vlhkosti termicky upraveného smrkového dřeva (Kačíková, Kačík, 2011)

1.4.1.2. Rozměrová stabilita

Termicky modifikované dřevo má lepší rozměrovou stabilitu, to znamená, že při změnách relativní vlhkosti vzduchu se jeho rozměry mění méně než v dřevu rostlém. Zlepšení rozměrové stability dřeva je charakterizováno parametrem UVN – účinnost proti bobtnání (ASE – Anti-swelling efficiency):

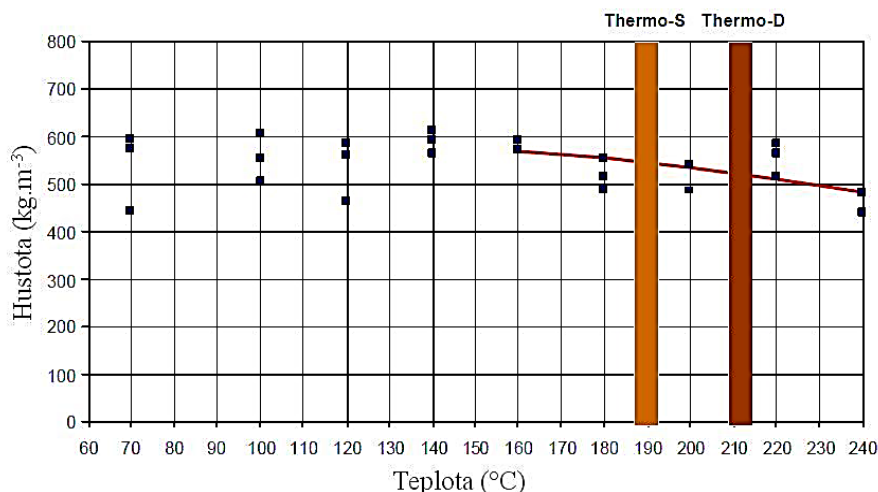
$$UVN = ASE = (\beta_{rost} - \beta_{mod}) / \beta_{rost} \cdot 100 \quad (\%) \quad (1)$$

kde: β_{rost} - koeficient objemového bobtnání rostlého dřeva, β_{mod} - koeficient objemového bobtnání modifikovaného dřeva

Jak uvádí Edvardsen a Sensland (1999) už při sušení teplotou 110°C se dřevo stává rozměrově stabilnějším. Podle několika provedených starších i novějších experimentů ohřevu dřeva na teploty 150-300°C v atmosféře vzduchu nebo v dusíku je možno konstatovat, že maximální hodnoty jeho rozměrové stability se dosáhnou při 15-20 % úbytcích hmotnosti. Příkladem může být termicky modifikované dřevo typu ThermoWood, kde se bobtnání a zpětné sesychání pohybuje v rozmezí 50–90% z hodnot původního dřeva, tj. ASE = 10-50% (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1.4.1.3. Hustota

Hustota dřeva je charakterizována podílem hmotnosti dřeva a jeho objemu. Tepelně ošetřené dřevo má mírně nižší hustotu než dřevo neošetřené, jelikož tepelnými úpravami dochází ke ztrátě hmotnosti. Při termických úpravách se určité složky dřeva odbourávají, patří mezi ně hlavně hemicelulózy a některé doprovodné látky. Objem dřeva se zmenšuje také, ale méně než jsou jeho příslušné úbytky hmotnosti. Odráží se to zejména v mírném poklesu hustoty termicky upraveného dřeva (Reinprecht, Vidholdová, 2008). Procesem smršťování termicky modifikovaného dřeva v příčném směru se zabývalo v několika vědeckých a odborných pracích. Současně se přitom poukázalo na skutečnost, že vzniknutými napětími v tangenciálním a radiálním směru je výsledkem někdy i mírné zvětšení jeho rozměrů v podélném směru (Hill 2006). Pokles hustoty s rostoucí teplotou úpravy můžeme sledovat na obrázku 7, kde je tento pokles znázorněn u vzorků borovicového dřeva upraveného technologií Thermowood. Z obrázku 7 lze vyčíst, že průměrná hustota v rozsahu teplot $T < 160^\circ\text{C}$ u borovicového dřeva je $560 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (ThermoWood Handbook, 2003).



Obr. 7 Změna hustoty borovicového dřeva tepelně upravované při teplotách od 160 do 240 °C po dobu 3 hodin (ThermoWood Handbook, 2003)

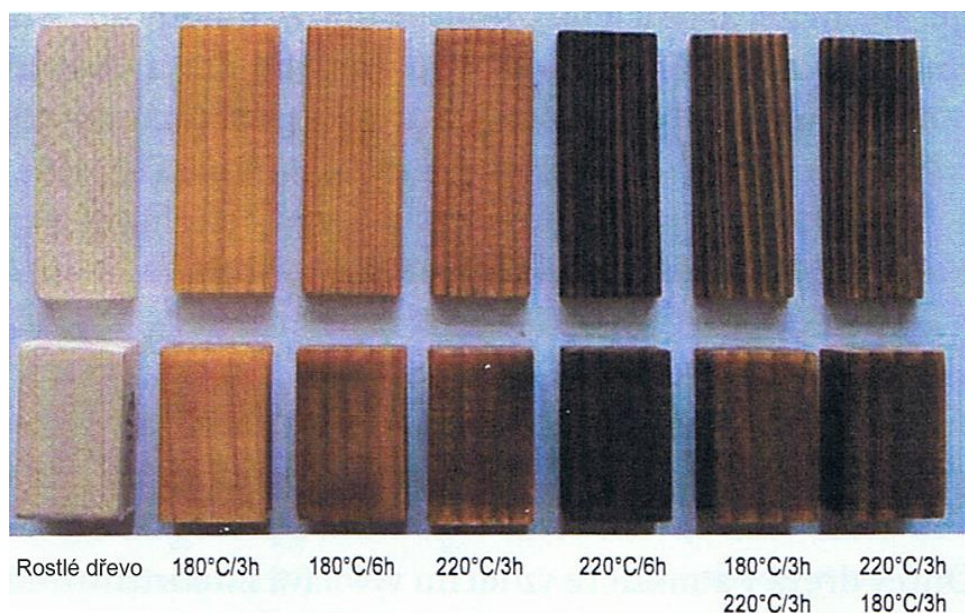
1.4.1.4. Barva a vůně

Barvou se rozumí zrakový vjem, který závisí na spektrálním složení odražených světelných paprsků. Zbarvení dřeva způsobují látky uložené v buněčných dutinách nebo buněčných stěnách. Barva je charakteristická pro jednotlivé dřeviny. Zbarvení dřeva je významné při výrobě nábytku, hudebních nástrojů, sportovních potřeb a uměleckých děl (Gandelová, Horáček, 2012). Termodřevo má charakteristickou barvu a vůni. Vyššími teplotami se dřevo zbarvuje do žlutohnědých až hnědočerných odstínů (obr. 8). Zvýšená teplota a prodloužený čas ohřevu vede k tmavšímu zbarvení dřeva (Reinprecht, Vidholdová, 2008). Při termické úpravě získává dřevo i typickou kouřovou vůni. Příčinou jsou těkavé organické produkty (VOC), které vznikají rozkladem hemicelulóz. Pokud termodřevo obsahuje vyšší podíl těkavých látek, může v určitém smyslu zapáchat, což může být překážkou pro širší použití v interiéru (Reinprecht, 2008). Tepelně upravované dřevo více tmavne i v přítomnosti agresivních chemikálií. Netradiční změny barvy a lesku nastávají též při ohřevu dřeva v rostlinných olejích. Tuto barevnou změnu můžeme pozorovat na obrázku 9. Termodřevo dosahuje v celém svém průřezu pravidelného hnědého zbarvení a při mechanickém opracování jako je např. (řezání, frézování, hoblování nebo broušení) si zachovává původní kávový, kakaový nebo jiný odstín. Termicky upravené dřevo se svou barvou často podobá některým druhům tropického dřeva jako je eben, merbau, teak a ipe. Dlouhodobé testování zaměřené na přirozené stárnutí termodřeva v povětrnostních podmínkách

ukázalo, že barevnost není stálá a časem vybledne a zšedne (Reinprecht, Vidholdová, 2008).



Obr. 8 Barva tepelně upraveného borovicového dřeva. Teplota upravování začíná na 70°C a dále se pohybuje od 100°C do 240°C po 20°C intervalech. Čas tepelného upravování je 3 hodiny. (ThermoWood Handbook, 2003)



Obr. 9 Barevné změny termicky upraveného borovicového dřeva (*Pinus sylvestris* L.) v řepkovém oleji (Reinprecht, Vidholdová, 2008)

1.4.1.5. Tepelně-izolační vlastnosti

U termicky modifikovaného dřeva se tepelná vodivost snižuje o 10 – 30%. Výhodné je to zejména při použití termodřeva pro obklady budov, sauny a také okna a venkovní dveře (Reinprecht, Vidholdová, 2008). Hodnoty tepelné vodivosti u borovice a smrku při tepelném zpracování po dobu třech až pěti hodin při teplotě 230°C ukazuje tabulka 2.

Tab. 2 Hodnoty tepelné vodivosti borovice a smrku při tepelném zpracování po dobu 3 a 5 hodin při teplotě 230°C (ThermoWood Handbook, 2003)

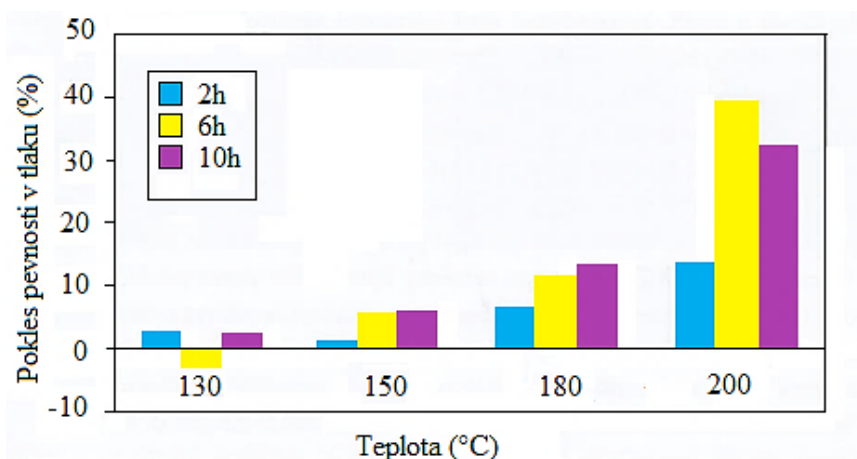
Rozměry (mm)	Doba zpracování při 230 °C	Hustota (kg/m³)	Vlhkost (%)	Tepelná vodivost (W/m.K)
<i>Borovice</i>				
25 x 125	3	525	4,5	0,107
25 x 125	5	474	3,6	0,101
	0	505		1,130
<i>Smrk</i>				
22 x 100	3	445	5,5	0,097
22 x 100	5	405	4,4	0,082
	0	432		0,110

1.4.1.6. Akustické vlastnosti

Termicky upravované dřevo má mimo jiné i zajímavé akustické vlastnosti. Při mírnějších teplotních podmínkách lze připravit speciální druhy „termodřev“ pro hudební nástroje. Jejich struktura a vlastnosti se shodují s dlouhodobě přirozeně skladovaným dřevem, to znamená, že se vyznačují mírným nárůstem Yangova modulu pružnosti, a to obvykle ve spojení i s mírným poklesem hmotnosti následkem odbourávání hemicelulóz. Akustické vlastnosti „termodřev“ se často podobají dřevu vzácných historických hudebních nástrojů, což se využívá při restaurování. Důležitým faktorem je i dobrá rozměrová stabilita termicky upraveného dřeva, hlavně u těch hudebních nástrojů, které se používají v měnících se extrémních klimatických podmínkách (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1.4.2 Mechanické vlastnosti termicky upraveného dřeva

Mechanické vlastnosti dřeva charakterizují schopnost dřeva odolávat účinku vnějších sil. Vzájemná interakce mezi mechanickým a vlhkostním namáháním v závislosti na čase významně ovlivňuje deformovatelnost dřeva při různých druzích namáhání. Při mechanickém namáhání reaguje dřevo na základě vazeb mezi chemickými složkami dřeva, anatomické stavby a geometrie tělesa (Gandelová, Horáček, 2012). Změny závisí na druhu dřeviny a podmínkách úpravy, přičemž mechanické vlastnosti se u termicky modifikovaného dřeva ve většině případů zhoršují (rázová houževnatost, pevnost, tvrdost), některé se můžou i zlepšit (modul pružnosti, tvrdost). Modul pružnosti se zlepšuje při mírnějších podmínkách termického působení, při podmínkách tvrdších se zhoršuje. Zhoršené vlastnosti omezují použití takto modifikovaného dřeva v některých aplikacích zejména pro konstrukční a stavební materiál. Podle Estevese (2007) došlo při termických úpravách borovicového dřeva k mírnému vzrůstu modulu pružnosti při 4% úbytku hmotnosti, u vyššího úbytku jeho hodnota klesala. Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím změny mechanických vlastností termicky upraveného dřeva je pravděpodobně degradace hemicelulóz. Nejen pevnost v ohybu a v tahu, ale také změny amorfního a krystalického podílu celulózy mohou mít velký vliv na mechanické vlastnosti takto modifikovaného dřeva. Pokles pevnosti je hlavně ovlivněn podmínkami výrobního procesu a je zobrazen na obrázku 10 (Kačíková, Kačík, 2011).



Obr. 10 Pokles pevnosti v tlaku smrkového dřeva v závislosti od teploty působení (Kačíková, Kačík, 2011)

1.4.2.1. Rázová houževnatost

Rázová houževnatost někdy nazývaná přerážecí práce charakterizuje schopnost dřeva odolávat rázovým zatížením (Gandelová, Horáček, 2012). Po termické úpravě rázová houževnatost klesá, proto je termodřevo zjevně křehčí. Seborga a kol. (1953) už dříve svými výzkumy stanovili při ohřevu dřeva na teplotu 300°C velmi výrazný 90% pokles houževnatosti při 30% úbytku hmotnosti. Později Reinprecht (1992) zjistil 61% pokles rázové houževnatosti v ohybu při ohřevu topolového dřeva na teplotu 210°C po dobu 3 hodin. Úbytek hmotnosti byl vyčíslen na 11,3% (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

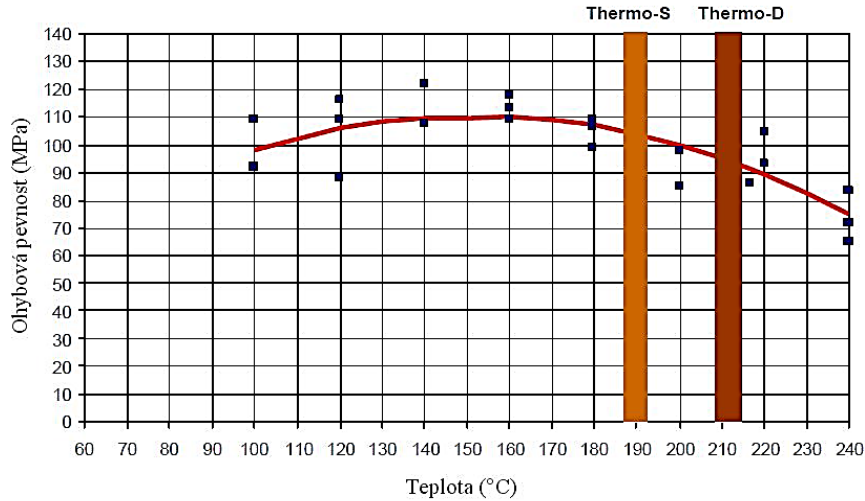
1.4.2.2. Ohybová pevnost dřeva

Ohybová pevnost dřeva klesne při teplotě 155°C za dobu 3 dnů o 20%, při teplotě 135°C asi za 2 týdny, respektive při teplotě 115°C asi za 15 týdnů. Pevnost dřeva v ohybu upraveného při teplotě 220°C po dobu 5 hodin, s etapami předohřevu a chlazení v celkovém čase 4 dní, se sníží dokonce až o 50%. Bekhta a Niemz (2003) zjistili též výrazný pokles ohybové pevnosti u smrkového dřeva ohřátého na 200°C, stejně jako Kamdem a kol. (1999) při ohřevu bukového dřeva na 200-260°C. Anonymus (2003) uvádí o něco mírnější pokles ohybové pevnosti termicky upravené borovice, kde dokonce ohřev nižšími teplotami 100-180°C vyvolal nárůst ohybové pevnosti a ke znatelnému poklesu o 30% došlo až při ohřevu na 240°C (obr. 11). Rozsah poklesu ohybové pevnosti u průmyslově vyráběného termodřeva je obvykle udáván od 5 do 30%, což platí pro PlatoWood, ale také pro ThermoWood, někdy však může tento pokles být i vyšší (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

Hodnoty ohybové pevnosti smrku tepelně ošetřeného při 230°C po dobu 5 hodin a poté stabilizovaného při relativní vlhkosti 45% a 65% jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Pevnost v ohybu a modul pružnosti smrkového dřeva ošetřeného při teplotě 230°C po dobu 5 hodin (ThermoWood Handbook, 2003)

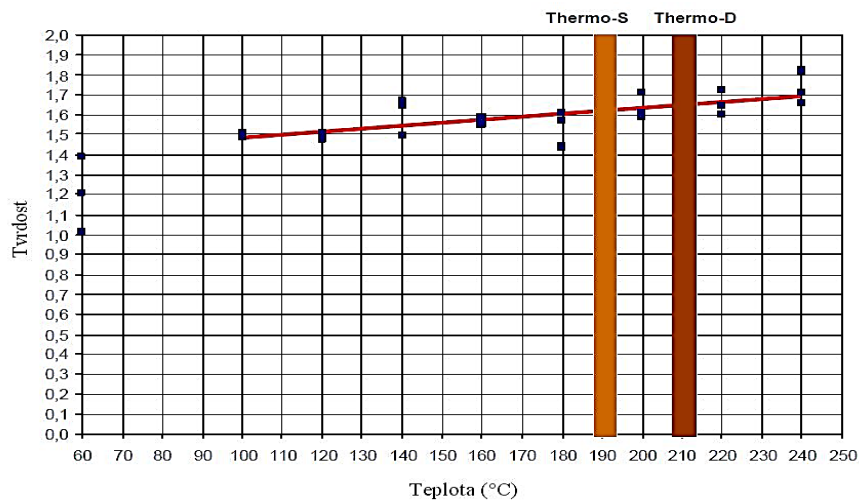
série	šířka (mm)	výška (mm)	délka (mm)	relativní vlhkost vzduchu (%)	hustota (kg.m ⁻³)	pevnost v ohybu (MPa)	modul pružnosti (MPa)
1	38	100	1800	45	425	23	11015
2	38	100	1800	65	392	22,5	12326
3	100	38	1800	45	392	19	10486
4	100	38	1800	65	397	27,9	11913



Obr. 11 Změna ohybové pevnosti borového dřeva v závislosti na teplotě úpravy (ThermoWood Handbook, 2003)

1.4.2.3. Tvrdost

Tvrdostí charakterizujeme schopnost dřeva klást odpor proti vnikání jiného tělesa do jeho struktury. Tvrdost dřeva má význam při opracování řeznými nástroji (řezání, loupaní, hoblování, frézování) a v případě, kdy se dřevo odírá (Gandelová, Horáček, 2012). S narůstající teplotou ohřevu v rozsahu 100 – 240 °C se tvrdost dřeva dokonce se i mírně zvyšuje (obr. 12). Z praktického hlediska je to však zanedbatelná změna (Reinprecht, Vidholdová, 2008).



Obr. 12 Závislost tvrdosti borového dřeva na teplotě ošetření podle Brinella, délka ošetření 3 hodiny (ThermoWood Handbook, 2003)

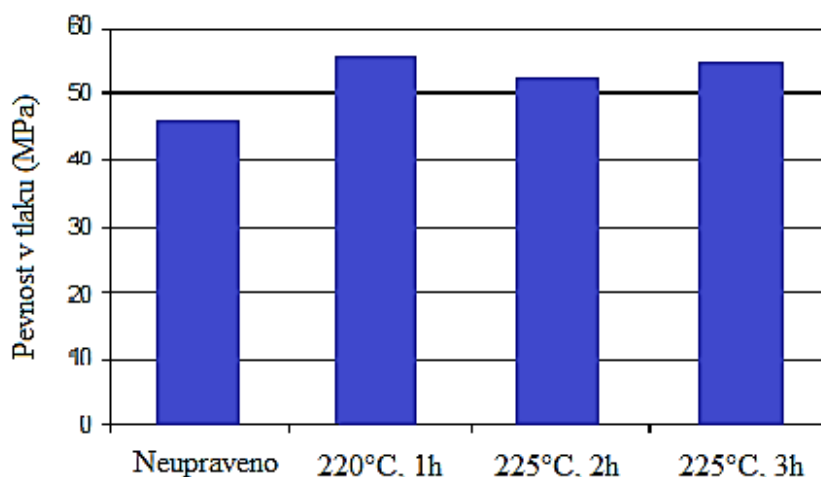
1.4.2.4. Tahová, tlaková a smyková pevnost dřeva

Vlivem vysokých teplot se tyto vlastnosti též nemění. Tahová pevnost klesá podobně jako pevnost v ohybu. Tlaková pevnost podél vláken se naopak u termodřeva více méně nemění, může se i zvýšit, což bylo zdokumentováno ve výzkumném ústavu VTT ve Finsku na smrkových vzorcích vystavených teplotě 220°C po dobu 1 až 3 hodin (Anonymus, 2003). K podobným výsledkům dospěli i Reinprecht a Vidholdová (2011) při termické úpravě buku a běle borovice v řepkovém oleji při teplotách 180-220°C. Samotný průběh deformací termodřeva během tlakového zatížení se ovšem lišil od dřeva sušeného v sušárnách. Při maximální zátěži se termodřevo rozpadlo na více kusů, což poukazuje na jeho zvýšenou křehkost. Na podmínkách termických úprav i na druhu dřeva závisí pokles smykové pevnosti dřeva v radiálním a tangenciálním směru. Například v případě smrkového a borovicového dřeva upraveného teplotami 190 – 230 °C po dobu 4 hodin se zjistil pokles 1 – 40% (Anonymus 2003).

Na technologický proces výroby termodřeva je vliv poklesu houževnatosti a pevnosti velmi důležitý, ať pro výrobce nebo samotného uživatele. Jednoznačně platí, že snížení houževnatosti a ohybové pevnosti dřeva při tvrdších režimech termických úprav o 30-50% je pro většinu dřevařských výrobků již nepřijatelné. Proto je třeba zajistit ve výrobních technologiích jednotlivých typů termodřeva následující operace:

- dlouhodobě nepřekročit teplotu 220°C a současně omezit přístup vzduchu
- pokud se teplota 220°C překročí dlouhodoběji, ohřev se musí uskutečnit v nepřítomnosti kyslíku. Příkladem prvního opatření je aplikování Plato procesu, u kterého se používá maximální teplota 190°, dále i ThermoWood a OHT procesu, kde se používá maximální teplota 185-215°C. Jako příklad druhého opatření můžeme uvést aplikaci Retifikačního procesu, kde se ohřev dřeva provádí v dusíku při vyšší teplotě v rozmezí 210-260°C. Pevnost termodřeva a jeho houževnatost však v určité míře klesá i u těchto průmyslových technologií výroby. Platí zásada, že dnes vyráběné termicky upravené dřevěné materiály typu termodřeva se nesmí navrhovat pro nosné konstrukce. Pokles pevnosti termodřevů připravených ze smrku nebo borovice je možné také vysvětlit unikem pryskyřice během fáze ohřevu, jelikož se oslabují spojení mezi suký a okolním dřevem (Anonymus, 2003). Pevnost v tlaku tepelně upraveného smrkového dřeva při teplotách 220°C a 225°C po dobu 1 až 3 hodiny vidíme na obrázku 13.

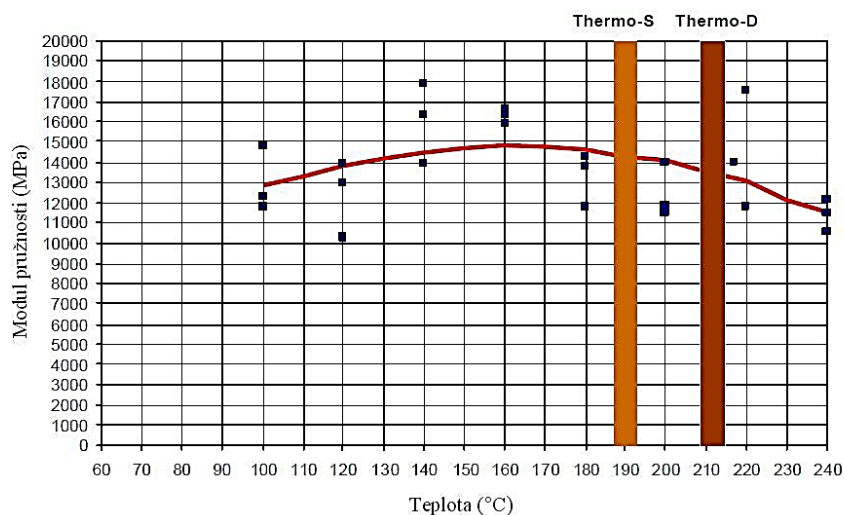
Proto se na výrobu termodřeva nedoporučuje používat dřevní materiál s větším počtem suků (Reinprecht, Vidholdová, 2008).



Obr. 13 Pevnost v tlaku tepelně upraveného smrkového dřeva při teplotách 220°C a 225°C po dobu 1 až 3 hodiny (ThermoWood Handbook, 2003)

1.4.2.5. Modul pružnosti

Vlivem ohřevu při nižších teplotách do 160°C a při kratších časech ohřevu se modul pružnosti dřeva obvykle zvýší. Začíná klesat až tehdy, když dochází ke zjevnému úbytku hmotnosti dřeva nad hodnotu 6 – 8% (obr. 14). Kubojima a kol. (2000) dokumentoval změny modulu pružnosti dřeva při ohřevu na 160°C v běžné atmosféře v přítomnosti kyslíku a stanovili, že modul pružnosti postupně klesá s časem ohřevu. Avšak v atmosféře čistého dusíku se nejprve hodnoty modulu pružnosti mírně zvýšily a poté se již víceméně neměnily. Při ohřevu nad 160-190°C se modul pružnosti obvykle snižuje už i při kratších ohřívacích časech, ale zřejmě mírněji než pevnost dřeva (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

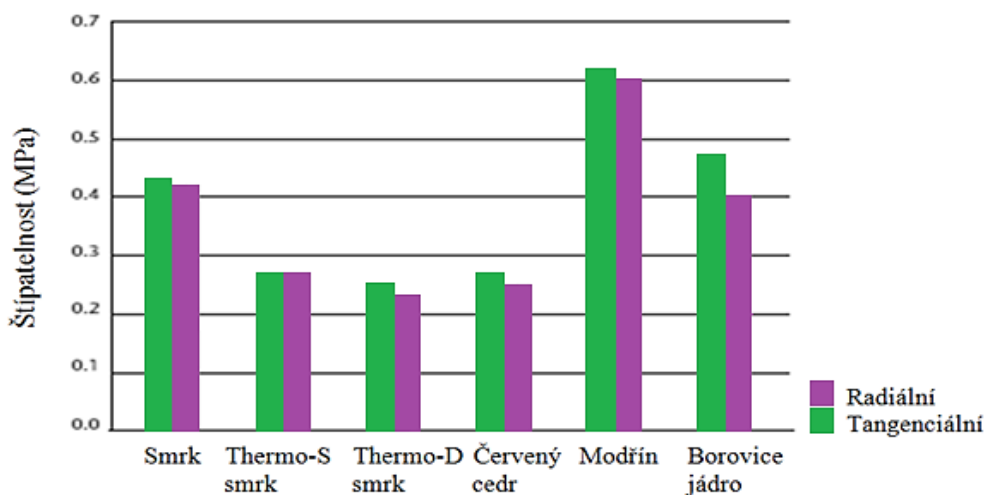


Obr. 14 Změna modulu pružnosti borovicového dřeva při tepelné úpravě od 60 od 240°C (ThermoWood Handbook, 2003)

1.4.2.6. Štípatelnost

Pod pojmem štípatelnost se rozumí rozdělení dřeva ve směru podél vláken. U tepelně upraveného dřeva je štípatelnost v porovnání se dřevem neupraveným nižší. Dle testů, které byly prováděny na dřevě smrk, borovice a břízy se hodnota štípatelnosti snížila o 30-40% v závislosti na teplotě, kterou úprava probíhala. Hodnota štípatelnosti se ještě zvýšila, pokud se na zpracování použily vyšší teploty (ThermoWood HandBook, 2003).

Na obrázku 15 vidíme srovnání štípatelnosti výše jmenovaných druhů dřeva s tepelně upraveným smrkem v atmosféře vzduchu Thermo- S a Thermo-D.



Obr. 15 Odolnost různých druhů dřeva proti rozštípnutí v radiální a tangenciální rovině (Thermowood handbook, 2003)

1.4.3 Trvanlivost termicky upraveného dřeva

Tepelná úprava dřeva prochází skrze celý materiál a je trvalá. Pojem trvanlivost ukazuje odolnost proti povětrnostním podmínkám, plísním, dřevokazným houbám a hmyzu, ale i jiným biologickým škůdcům, dále do této skupiny také řadíme odolnost vůči mechanickému opotřebení a požáru. Jde především o omezení přístupu vody do dřeva a s tím související zmírnění či zamezení případného napadení a poškození. Tepelně upravené dřevo se vyznačuje dlouhou životností, což je považováno za jednu z jeho nesporných výhod (Reinprecht, 2008; ThermoWood Handbook, 2003).

1.4.3.1 Biologická odolnost

Změny chemické struktury jsou podstatou zvýšení biologické odolnosti termodřeva. Použití teplot 150-260°C se pojí s výrazným zlepšením biologické odolnosti termicky upraveného dřeva, kdy se již zjevně mění i jeho chemická struktura. Význam biologické odolnosti v praxi se těsně pojí s expozicí, ve které je termodřevo umístěno.

Na zlepšení biologické odolnosti termicky upraveného dřeva mají vliv tyto změny v chemické struktuře:

- snížení podílu – OH funkčních skupin a zvýšení hydrofobnosti dřeva kondenzačními a jinými reakcemi. Při těchto reakcích se snižuje sorpční kapacita dřeva a tím i jeho vlhkost nutná pro biologické škůdce.
- odbourání určitého podílu hemicelulóz, které jsou nejpřístupnější pro hmyz a houby
- vytvoření látek s biocidním účinkem, z termicky degradovaných složek dřeva nebo z původních extraktivních látek (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

Jednotlivé změny a jejich význam v chemické struktuře dřeva nejsou do dnešní doby přesně určené a stále se pracuje na jejich výzkumu. Souvisí to s velkou různorodostí chemických změn v termicky upravovaném dřevě během jeho výroby, ty jsou dané výškou teploty, časem ohřevu, množstvím kyslíku, druhem dřeva, atd., a množstvím faktorů ovlivňujících biologickou odolnost dřeva.

Pokud se vlhkost dostane nad hranici 20%, je důležitá odolnost vůči hnilobě, zbarvení a plísním. V porovnání s neupraveným dřevem termodřevo obvykle lépe

odolává houbám, ale také hmyzu a mořským škůdcům. Dřeviny, které byly původně netrvanlivé nebo málo trvanlivé, zařazeny do 5. nebo 4. třídy trvanlivosti vůči dřevokazným houbám, se po termické úpravě staly středně trvanlivými, a někdy dokonce až velmi trvanlivými se zařazením do 3. nebo až 1. třídy trvanlivosti. Jämsä a Viitaniemi uvádějí jako příklad ThermoWood dřevo připravené z běle borovice, kde je trvanlivost po úpravě teplotou 205°C porovnatelná s trvanlivostí thuje nebo tisu. Při použití ještě vyšších teplot nad 220°C se stává velmi trvanlivým materiálem, jako je například teakové dřevo. Zvýšení trvanlivosti ThermoWood dřeva vyrobeného z běle borovice při teplotách 100 – 240°C po dobu třech hodin je zobrazen na obrázku 16.

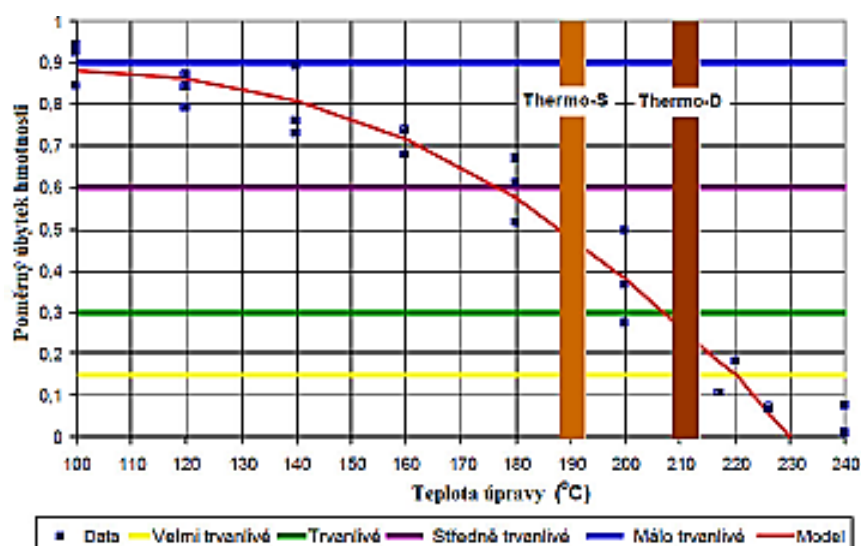
Také PlatoWood dřevo, které je vyrobené v prostředí horké vodní páry lépe odolává hnilobě v porovnání s různými druhy neupraveného jehličnatého a listnatého dřeva. U odolnosti tepelně upravených dřev proti hnilobě hraje velmi důležitou roli druh použité dřevokazné houby a podmínky, které jsou při testu.

Trvanlivost dřeva narůstá se zvyšující se teplotou rostlinných olejů také u OHT výrobního procesu.

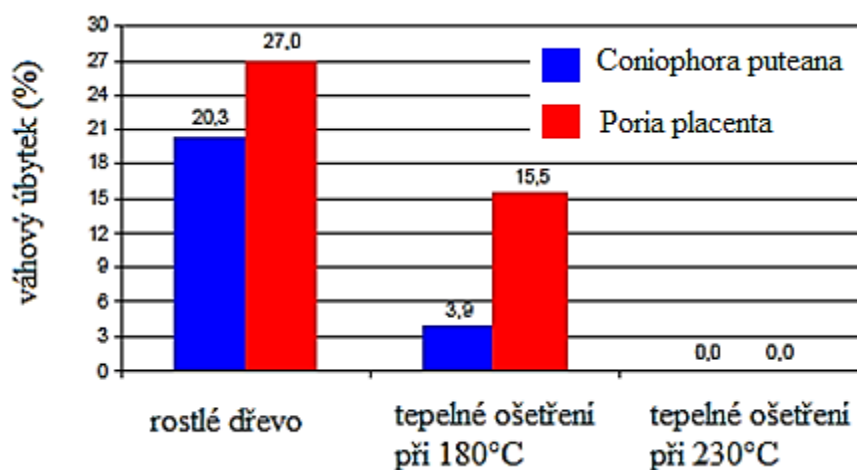
Dle výzkumu, který provedlo středisko VTT ve Finsku a je zobrazeno na obr. 17, se biologická odolnost tepelně upraveného dřeva výrazněji zvyšuje hlavně vůči celulozovorným houbám jako jsou *Coniophora puteana*, *Poria placenta*, apod a též ligninovorným houbám, jejichž zástupce je například *Trametes versicolor* (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

Tab. 4 Přirozená trvanlivost dřeva a dřevěných materiálů (autor)

Třídy trvanlivosti dřeva				
Třída 1	Třída 2	Třída 3	Třída 4	Třída 5
velmi trvanlivé	trvanlivé	středně trvanlivé	méně trvanlivé	netrvanlivé
> 25 let	15-25 let	10-15 let	5-10 let	< 5 let
ThermoWood jasan ThermoWood buk	ThermoWood borovice	Douglaska neošetřená, modřín	Smrk neošetřený Borovice neošetřená	Buk neošetřený Javor



Obr. 16 Zvýšení trvanlivosti ThermoWood dřeva vyrobeného z běle borovice při teplotách 100 – 240°C po 3 hodiny (ThermoWood Handbook, 2003)



Obr. 17 Vliv tepelné úpravy běle borovicového dřeva, trvající 4 hodiny, na jeho odolnost vůči hnilobě vlivem hub *Coniophora puteana* a *Poria placenta*, testy byly vykonány ve Finsku ve středisko VTT (ThermoWood Handbook, 2003)

Při poměrně nižších vlhkostech dřeva nad 10% je také důležitá odolnost proti dřevokaznému hmyzu. Tepelně upravená dřeva mají dostatečnou odolnost zejména vůči dřevokazným chrobákům, ostatní druhy dřevokazného hmyzu nekladou vajíčka do tepelně upravených dřev, ve kterých se již nenacházejí prchavé atraktanty – terpenoidy. Důležité je ovšem zmínit, že odolnost termodřev proti termitům může dosahovat nižších hodnot než u rostlého dřeva.

Obecně je možno konstatovat, že všechny procesy tepelného zpracování výrazně zlepšily trvanlivost dřeva. Záleží však na druhu dřeva, teplotě zpracování a době trvání procesu (Mayes a Oksanen, 2000; 2003).

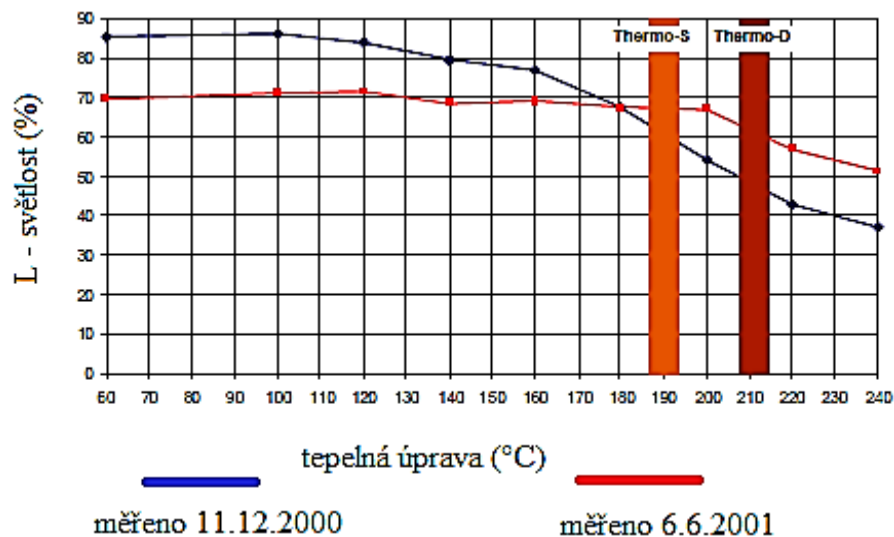
1.4.3.2. Povětrnostní odolnost

Termicky modifikované dřevo musí odolávat stejně jako dřevo neupravené povětrnostním vlivům jako je například sluneční záření, kyslík, voda, emise, vítr, apod. Obecně platí, že termodřevo je vůči těmto vlivům odolnější, závisí však na konkrétních technologických podmínkách úpravy a to zejména na teplotě a času. Čím vyšší je teplota úpravy, tím větší je odolnost termicky upraveného dřeva.

Termicky upravené dřevo má díky hygroscopicitě nižší vlhkost než dřevo rostlé za stejných expozičních podmínek (Reinprecht, 2008; Tiralová 2004).

Vzhledem k tomu, že tepelná úprava probíhá zcela bez použití chemických prostředků, tepelně upravené dřevo není tedy nijak chráněno proti UV záření. To má za následek přirozenou ztrátu původního odstínu, stejně jako u dřevin domácích či tropických. UV sluneční záření mění barvu tepelně upraveného dřeva poměrně rychle. Viditelné změny mohou být zřetelné již během několika týdnů. Změna barvy tepelně upravené borovice vystavené venkovní expozici po dobu 6 měsíců je zobrazena na obrázku 18. Tyto změny barevného odstínu se projevují především šednutím povrchu termicky upraveného dřeva (obr. 19 a 20), nemají však vliv na odolnost materiálu proti hnilobě, pronikání vlhkosti, dřevokazným škůdcům a houbám, a ani na celkovou životnost. Celkový proces šednutí probíhá přibližně 3-5 let a konečnou fází je jednolitá šedá barva (obr. 21). Záleží samozřejmě na intenzitě UV záření a povětrnostních vlivů, kterým je termodřevo vystaveno. Barevné změny se odehrávají pouze na povrchu termodřeva, kde zvětrává mikroskopická povrchová vrstva dřeva, na kterou působí především již zmíněné UV záření, pokud není povrch vhodně ošetřen. Aby se zmírnily barevné změny povrchu, doporučuje se zejména pro použití termodřeva v exteriéru ošetření speciálními oleji nebo i barvami s podílem pigmentů nebo UV-sorbentů. Výrobky z tepelně upraveného dřeva lze použít ve venkovním prostředí i bez jakékoliv povrchové úpravy, což nemá vliv na rozměrovou stálost a nesníží to nijak zásadně jeho životnost, mohou ovšem vznikat trhlinky a také nestejněměrná barevná změna materiálu. Procesu stárnutí dřeva jako je praskání a zešednutí se dá zabránit tím, že se

omezí působení UV záření a povětrnostních vlivů provedením povrchové úpravy (ThermoWood Handbook,2003; Reinprecht, Vidholdová, 2008; www.prokom.cz).



Obr. 18 Změna barvy tepelně upravené borovice vystavené venkovní expozici po dobu 6 měsíců. Čas úpravy 3 hodiny (ThermoWood HandBook, 2003)



Obr. 19 Barevné změny ve fázi začínajícího procesu šednutí – viditelné přirozené mapky připomínající vznikající plíseň (www.prokom.cz)

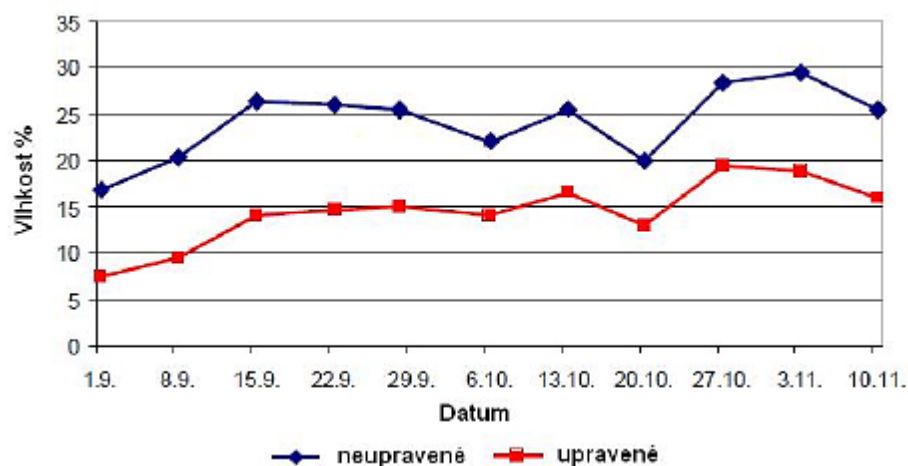


Obr. 20 Barevné změny v průběhu procesu stárnutí – viditelné nestejněmné přirozené barevné změny (www.prokom.cz)



Obr. 21 Barevná změna fasádního obkladu (www.prokom.cz)

S trvale nižší rovnovážnou vlhkostí (Obr. 22) a lepší rozměrovou stabilitou souvisí také to, že v povrchu termodřev se tvoří trhliny méně než ve dřevě tepelně neupraveném. Trhliny se téměř nevyskytují u dřeva termicky modifikovaného ani tehdy, pokud se povrch neošetří, což je výhodou pro některé typy dřevěných výrobků např. ploty, protihlukové bariéry, šindel, apod., kde je obnova nátěru pracná i cenově náročná (Reinprecht, Vidholdová, 2008).



Obr. 22 Mění se hodnoty vlhkosti tepelně upravené borovice při teplotě 225 °C vystavené venkovní expozici po dobu 6 hodin (ThermoWood Handbook, 2003)

1.4.3.1 Protipožární odolnost

Poměrně málo vědeckých prací bylo zaměřených na výzkum toho, jaký vliv má termické modifikace dřeva na změnu požárních charakteristik. Tvorba dýmu u termicky modifikovaného dřeva je přitom nižší než u dřeva rostlého. Wang a Cooper (2007)

tvrdí, že termicky modifikované dřevo vyrobené OHT procesem má nižší odolnost vůči šíření plamene, a to kvůli rostlinným olejům a voskům, které se zachytávají v lumenech buněk v blízkosti povrchu dřeva (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1.4.4 Technické vlastnosti termicky upraveného dřeva

Pod pojmem technické vlastnosti dřeva se rozumí podmínky obrábění, mechanického spojování, povrchových úprav, lepení, a také použitelnost pro výrobu dřevěných kompozitů. Technické vlastnosti termicky modifikovaných dřev jsou obvykle dobré, ale je potřeba počítat i se zhoršením některých z výše uvedených vlastností kvůli poklesu hustoty, narušení hemicelulóz a zvýšení hydrofóbnosti. V zásadě se při manipulaci s termodřevem vyžaduje o něco více opatrnosti, jelikož povrchy termicky modifikovaných dřev jsou náchylné k mechanickému poškození při jejich dalším zpracování (Reinprecht, Vidholdová, 2008; ThermoWood HandBook, 2003).

1.4.4.1 Obrábění

Obrábění je technologický postup, kterým vytváříme požadovaný tvar obrobku ve stanovených rozměrech a v požadované kvalitě obrobených ploch. U termicky upraveného dřeva je důležité, aby nástroje na obrábění byly dobře naostřené a opracované plochy po jejich úpravě co nejhladší. Díky tepelné úpravě je i vnikání nástroje do obrobku méně náročné. Problém může nastat při tvorbě dřevního odpadu, jako jsou jemný prach, piliny nebo třísky. Tento odpad je nebezpečný zejména z hlediska vznícení. Aby nedocházelo ke znečištění pracovního prostředí a ke zdravotním problémům obslužného personálu, je nutno dřevní odpad zachytávat do speciálních odsávacích zařízení. Během řezání a frézování je cítit také silný zápach, jelikož se z tepelně upraveného dřeva uvolňují prchavé látky.

Řezání - vzhledem k tomu, že termodřevo již neobsahuje pryskyřici, snižuje se energie potřebná pro řezání, stroje dobře fungují a po zpracování jsou čistší. Snižuje se opotřebení nástroje a tím se prodlužuje jeho životnost. Řezání termodřeva se neliší od řezání dřeva přírodního. Je doporučeno, aby nástroje byly ostré k dosažení co nejlepších výsledků řezání. Jediným problémem, se kterým se při řezání termodřeva setkáváme, je

dřevěný prach. Jelikož je termicky upravené dřevo velmi suché, dřevěný prach je velice jemný a snadno se šíří do svého okolí. Proto je nutné věnovat zvláštní pozornost odsávání prachu.

Hoblování – pro hoblování termicky upraveného dřeva může být použito standartní zařízení, které se používá na opracování dřeva neupraveného. Válce by ovšem měly být seřizeny k nižšímu tlaku, aby nedocházelo k popraskání materiálu. Tím se dosáhne kvalitně opracovaného povrchu.

Frézování – stejně jako u předchozích obráběcích technologií je nutné k získání kvalitně opracovaného povrchu, aby i u frézování byly řezné hrany nástroje kvalitně naostřeny. Při frézování mohou vznikat trhliny, které se nejčastěji tvoří při frézování dřeva příčně k vláknům. Trhliny se nejčastěji tvoří na začátku a na konci frézování, kdy ostří frézy vystupuje z obrobku.

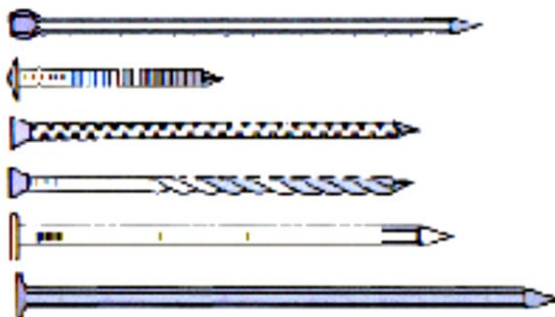
Broušení – probíhá stejným technologickým principem jako u dřeva tepelně neošetřeného. Ovšem v mnoha případech není potřeba povrch termodřeva brousit, kvalita povrchu bývá dobrá již po hoblování nebo frézování. Pokud budeme provádět broušení, je nutné vzít v úvahu případnou tvorbu prachu a tím pádem i jeho odsávání, aby se zmírnilo riziko vzniku požáru (ThermoWood Handbook, 2003).

1.4.4.2 Mechanické spojování

Šrouby pro běžné spojování dřevěných materiálů drží v termicky upraveném dřevě hůře a jednodušeji se vytahují, je tedy vhodné používat méně závitové šrouby. Termicky upravené dřevo je možné montovat s použitím vrutů a hřebíků vhodné velikosti. Otvory pro umístění šroubů je nutné předvrtat tak, aby se hlava šroubu zapustila do úrovně povrchu, to znamená, aby nevyčnívala. Předvrtání je nutné, aby se zabránilo praskání materiálu. Samořezné šrouby mohou být použity bez předvrtání (obr. 24). Při použití hřebíkových spojů se doporučuje použití pneumatických zařízení. Jelikož je termodřevo křehké, při použití ručního kladiva je vhodné udělat předvrtání, aby se materiál nerozštípl. Doporučuje se používat malé oválné hlavy hřebíků, které snižují riziko nežádoucího rozdělení materiálu (obr. 23). Je-li hřebík nebo šroub umístěn v blízkosti konce nebo okraje prken, je nutné, aby se dodržela minimální

stanovená vzdálenost od krajů a je vhodné otvory předem předvrtat, aby nedošlo k popraskání.

Pro mechanické spojování ve venkovních a vlhkých prostorách je doporučeno používat vruty, hřebíky a další kovové spojovací prostředky s antikorozní úpravou nebo z nerezové oceli. Kovový materiál koroduje zřejmě v důsledku přítomnosti kyseliny mravenčí a octové, jejichž zvýšený podíl se vytvořil ve dřevě během termických úprav (Reinprecht, Vidholdová, 2008; www.thermotreatedwood.com; www.prokom.cz).



Obr. 23 Ukázka vhodných typů hřebíků s doporučenou malou oválnou hlavou (ThermoWood Handbook, 2003)



Obr. 24 Samořezný šroub vhodný pro spojování termicky upraveného dřeva (ThermoWood Handbook, 2003)

1.4.4.3 Lepení termodřeva

Na lepení termicky upraveného dřeva se používají lepidla polyuretanová, fenol-formaldehydová nebo fenol-rezorcinol-formaldehydová, kde je zaručena poměrně dobrá kvalita lepeného spoje. S těmito druhy lepidla může být takto upravené dřevo lepeno stejným způsobem jako dřevo neupravené. S výše vypsány druhy lepidel se běžně lepí dřevěné kompozity pro dřevěné konstrukce typu parallam, intrallam, microllam nebo vrstvené dřevo. Naopak při použití PVaC je důležité vzít v potaz, že tepelně upravené dřevo absorbuje vodu pomaleji než rostlé dřevo. Proto je nutné ponechat delší lisovací čas k zaschnutí lepidla než obvykle. Musí se však zvážit, k jakému účelu má

slepený výrobek z termicky upraveného dřeva sloužit. Vzhledem k tomu, že termodřevo se využívá převážně ve vlhkém prostředí, je použití PVaC lepidla nevhodné (Reinprecht, Vidholdová, 2008; www.thermotreatedwood.com).

1.4.4.4 Konečná povrchová úprava

Snížena rovnovážná vlhkost termicky upraveného dřeva zlepšuje jeho stabilitu, což redukuje praskání a odlupování nátěrů v měnících se povětrnostních podmínkách. Z vynikající rozměrové stability vyplývá, že protipovětrnostní a jiné typy nátěrů se obvykle na termodřevo aplikují dobře. Pokud chceme minimalizovat poškození UV zářením, povětrnostními vlivy a zabránit barevným změnám povrchu materiálu, všechny plochy je nutné povrchově ošetřit ochranným nátěrem a zvláštní pozornost věnovat koncovým plochám – čelům.

Technologie povrchové úpravy termicky upravených dřev jsou podobné jako při aplikaci na dřevo rostlé. Pro termodřevo použité v exteriérových expozicích jsou vhodné nátěry povětrnostní, nejlépe na olejové bázi s podílem UV-sorbentů nebo pigmentů, a také s fungicidním přídatkem. Většinou je tato úprava prováděna polotransparentními nátěry, ve kterých jsou obsaženy pigmenty hnědých odstínů, aby se zachoval co nejvíce originální barevný vzhled termodřeva. Je možné použít i plně pigmentové krycí nátěry, tím se ovšem zcela zakryje původní odstín i struktura termicky upraveného dřeva. Termodřevo, které se bude využívat v exteriéru, se obvykle upravuje 3 až 4 vrstvami nátěrů, které mohou být kombinovány s různými oleji a vosky. Různé povrchové úpravy mají různě dlouhé intervaly, kdy je potřeba znovu provést úpravu povrchu (Reinprecht, Vidholdová, 2008; www.thermotreatedwood.com; www.prokom.cz).

1.4.5 Toxicita termodřeva

Proces výroby termicky upraveného dřeva je založen na využití energie páry a tepla, do materiálu nejsou aplikovány žádné chemické látky nebo činidla. Testy, které se během výroby prováděly, prokázaly, že nevznikají žádné škodlivé emise. Celý proces výroby je tedy zcela ekologický. Jakékoliv zbytky termicky upraveného dřeva mohou být tedy spáleny nebo likvidovány jako odpad běžný. Oproti rostlému dřevu tedy

termicky upravené dřevo nevykazuje zvýšenou toxicitu, což znamená, že s ním člověk může být v přímém kontaktu.

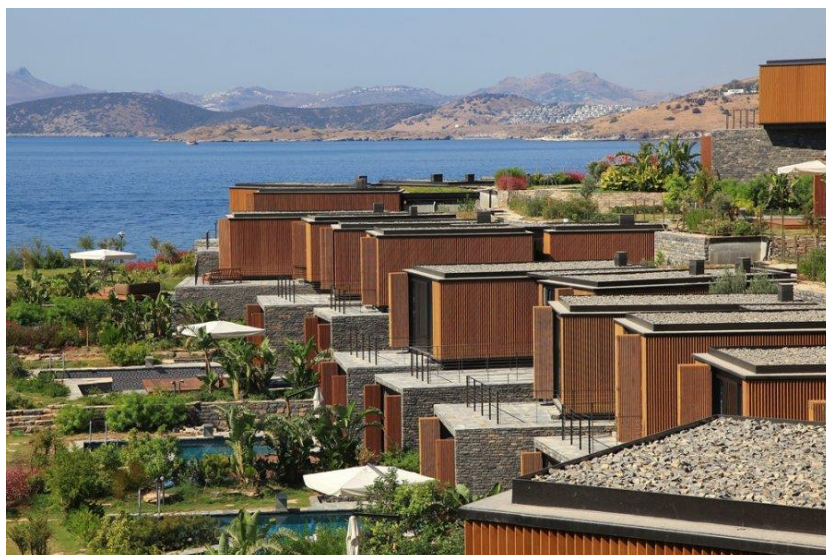
Určitými negativními faktory termicky upraveného dřeva je zápach po karamelu, který se z něj uvolňuje neustále a také jemný prach, který vzniká při opracování (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

2. Technologie výroby termicky modifikovaného dřeva

V posledních letech zájem o termicky upravené dřevo výrazně vzrostl. To je způsobeno zejména sníženou produkcí dřevní suroviny, která by byla trvanlivá, dále zvýšenou poptávkou po trvanlivém stavebním materiálu, a legislativními změnami, které omezují použití toxických látek. Výroba termodřeva byla zavedena ve více oblastech západní Evropy, průkopníkem výroby však bylo Finsko. V současnosti má největší komerční význam nejméně pět různých modifikačních metod, ve Finsku (ThermoWood), v Holandsku (Plato Wood), v Německu (OHT – Oil Heat Treatment Wood), dalšími dvěma způsoby ve Francii (Bois Perdure a Rectification).

Pro výrobu tepelně upraveného dřeva se využívají různé druhy dřeva při různých technologických podmínkách. Tyto podmínky závisí na dřevině, která je použita a konečném způsobu využití. Teploty úprav se pohybují v intervalu od 160°C do 260°C, rozdíly jsou však mezi jednotlivými modifikacemi při použití plynného prostředí (dusík, pára,...), použití olejů, vlhkost prostředí, atd.

Výroba je zcela ekologická, nepoužívají se žádné chemikálie, a termodřevo, jenž se vyznačuje zvýšenou trvanlivostí, je výhodné z i pohledu aplikace tohoto materiálu jak v interiérových, tak v exteriérových expozicích. V interiéru se termodřevo používá nejčastěji jako obklady, podlahy, kuchyňský nábytek, sauny, apod. V exteriéru je vhodné zejména pro obklady venkovních fasád (obr. 25), oplocení nad úrovní terénu, zahradní nábytek izolovaný od terénu například plastovými podložkami, dále na terasy, protihlukové bariéry, apod. (Reinprecht, Vidholdová, 2008; Kačíková, Kačík, 2011).



Obr. 25 Ukázka použití termodřeva na obklady venkovních fasád (www.nowawood.com)

2.1 Principy výrobních technologií termicky modifikovaného dřeva

Za termickou modifikaci dřeva považujeme záměrný technologický proces, kdy upravujeme strukturu dřeva vlivem zvýšené teploty. Cílem je zlepšení odolnosti dřeva vůči vodě a biologickým škůdcům. Pod pojmem tepelná úprava se rozumí regulované působení vysokých teplot. Nesmí však dojít ke zhoršení mechanických vlastností dřeva. Pokud budeme dřevo upravovat hydrotermicky, působí na dřevo i voda. Tepelně upravovat se mohou jak dřeva sušená vzduchem, tak i mokrá.

Významnější změny ve struktuře dřeva vlivem zvýšené teploty nastávají v intervalu teplot 180-280°C, v čase 15 minut až 24 hodin. Již při teplotě 110°C je dřevo rozměrově stabilnější. Rozsah a typ změn ve struktuře a ve vlastnostech termodřeva je mimo působící teploty také ovlivněn i celkovými podmínkami prostředí, kde se tepelná úprava uskutečňuje a také od druhu použité dřeviny a vstupní vlhkosti dřeva.

Při výrobě termicky modifikovaných dřev se tepelná energie dodává z elektrických vyhřevných těles nebo tepelných olejových zásobníků (Reinprecht, Vidholdová, 2008; www.prokom.cz).

Termodřevo se vyrábí několika technologiemi, v Evropě jsou rozšířeny zejména:

- ThermoWood - příprava v atmosféře vzduchu
- PlatoWood - příprava v prostředí vodní páry
- RetificatedWood – příprava v prostředí inertních plynů

- Le Bois Perdure - příprava v prostředí vodní páry
- OHT-Wood, RoyalWood – příprava v olejích

2.1.1 Materiál pro výrobu termicky modifikovaného dřeva

Nejběžnějšími druhy dřeva používanými pro tepelné zpracování jsou zejména jehličnany - borovice (*Pinus Silvestris*) a smrk (*Picea Abies*), v menší míře i listnáče - bříza (*Betula Verrucosa/Pubescens*) a osika (*Populus Tremula*), a jiné, jejichž podíl ale postupně klesá. Zastoupení druhů dřevin pro výrobu je vyobrazeno na následujícím obrázku číslo 26. Tepelné zpracování se liší podle druhu použité dřeviny a konečný výsledek úpravy je jiný díky různému chemickému složení a buněčné struktuře.

Platí, že kvalita dřeva, které bude použito k tepelnému ošetření, musí být dobrá. Problémem jsou suky, které mohou vypadnout, pokud jsou suché. Také shnilé dřevo po tepelné úpravě může způsobit rozdíly v barevnosti. Dřeva měkká jsou ošetřována silnější tepelnou úpravou a používána například ve venkovních konstrukcích. Tvrdá dřeva jsou ošetřována mírněji a obvykle je u nich nejdůležitější vlastností barva nebo dobrá kvalita povrchu. Používají se zejména na kuchyňský nábytek, obklady, parkety a jiné (Syrjänen, 2001).

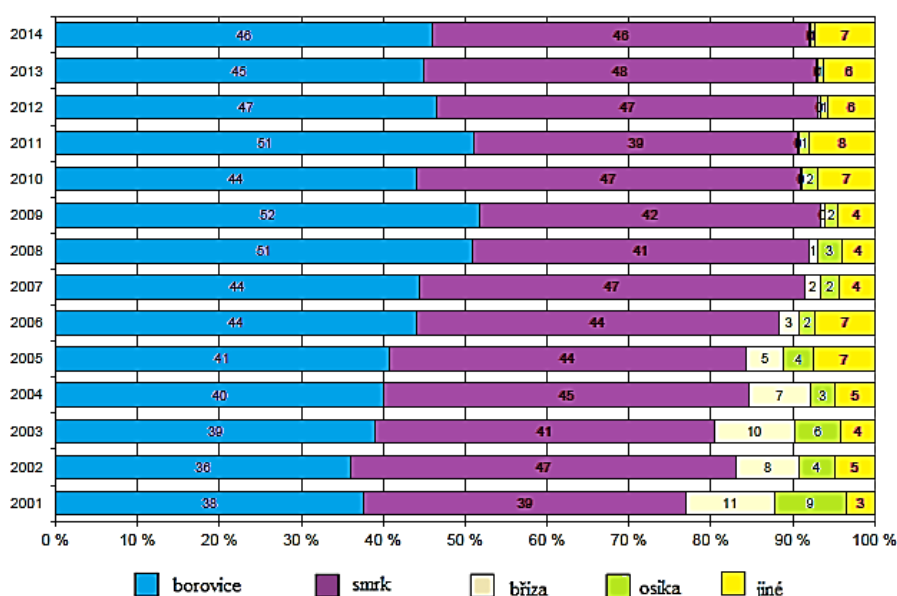
Borovice – je materiál vhodný pro tepelné ošetření. Obvykle se využívá v exteriérových konstrukcích. Mohou zde nastat určité problémy, které jsou spojené s výtokem pryskyřice a uvolněním suků.

Smrk – je používán zejména pro exteriérové konstrukce. Není tak vhodný pro tepelné ošetření jako borovice a to proto, že velmi snadno uvolňuje suky. Již při nízkých teplotách mohou suky popraskat a vypadat.

Bříza – pro finský dřevařský průmysl měla bříza vždy důležitou roli. Obvykle se zpracovává lehčí tepelnou úpravou kvůli chemické stavbě, která vyžaduje nižší teploty než jehličnany. Bříza je využívána zejména pro svou barvu a dobrou kvalitu povrchu po tepelné ošetření. Problémem může být kroucení, které může nastat při tepelném ošetření.

Používá se v interiéru, například na kuchyňský nábytek a parkety a sauny, kde se nevyžaduje zvýšená odolnost vůči hnilobě.

Osika – tepelně upravená osika se používá především v interiéru pro vybavení saun. Problémem může být, že barva není vždy stejnoměrná a může docházet k barevným odlišnostem. Pokud je však tepelné ošetření provedeno dobře, získáme krásný barevný povrch. Problémem může být častější výskyt rozštípnutí, hlavně pokud je přítomné dřevo jádrové i bělové (Syrjänen 2001; Reinprecht, Vidholdová, 2008).



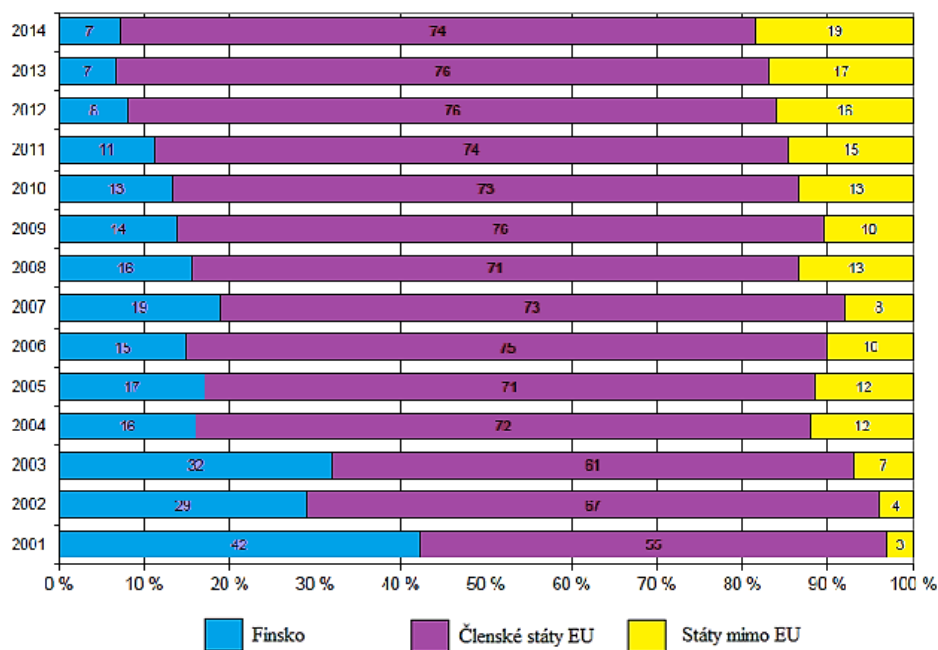
Obr. 26 Zastoupení jednotlivých druhů dřeva při výrobě ThermoWood od roku 2001 až po rok 2014 (www.thermowood.fi)

2.2 ThermoWood®

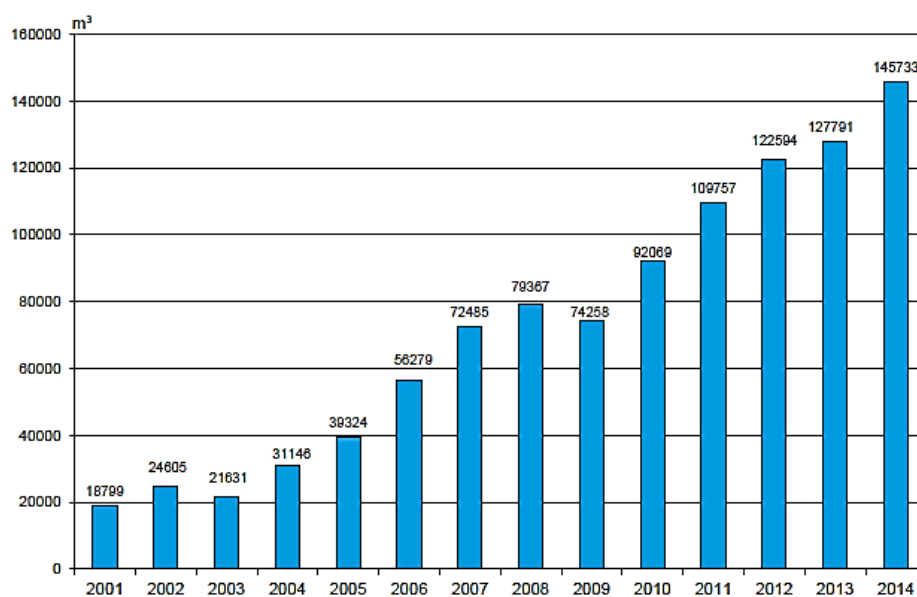
Thermowood je termicky upravené dřevo připravované v atmosféře vzduchu. Výroba byla zahájena na počátku 90. let 20. století. Výrobní proces byl na základě výzkumu vyvinut ve výzkumném centru VTT ve Finsku.

Název ThermoWood® je registrovaná ochranná známka, a mohou ji používat pouze členové Finnish ThermoWood Association. Tato organizace má za úkol hlavně kontrolu kvality ThermoWood materiálů, jenž se vyrábí v různých koutech světa, a to zejména ve Finsku, Rakousku, Estonsku, Kanadě a jinde. Prodejní statistiky dle území můžeme vidět na obrázku 27.

Zájem o termicky modifikované dřevo v posledním období stále roste, od roku 2001 rapidně stoupá prodej ve Francii, Německu a zemích Beneluxu. To je způsobeno zejména sníženou produkcí trvanlivé dřevní hmoty, zvýšeným zájmem o trvanlivý stavební materiál a legislativními změnami, které omezují používání toxických látek. Nárůst prodeje ThermoWood dřeva v letech 2001-2014 je zobrazen na obrázku 28 (Hill, 2006; www.thermowood.fi).



Obr. 27 Prodej ThermoWood dřeva podle území v letech 2001–2014 (www.thermowood.fi)



Obr. 28 Nárůst prodeje ThermoWood dřeva v letech 2001-2014 (www.thermowood.fi)

2.2.1 Výroba ThermoWood dřeva

Celý proces úpravy dřeva, ze kterého vzejde konečný produkt – ThermoWood tvoří jeden souvislý řetězec událostí, a to od sušení až po konečné zvlhčování. Vyrábí se tepelnou úpravou s teplotami v rozmezí 160-240°C. Výrobní proces zahrnuje šest kroků, kterými dřevo musí projít. Celé tepelné zpracování od sušení až po zvlhčení tvoří jeden souvislý řetězec událostí. Výrobní zařízení tvoří dlouhý tunel se šesti oddělenými komorami (obr. 29). Do komor se dopravuje po kolejišti předem vybrané a proložené řezivo (Dornyak, 2003). Řezivo postupuje tunelem a v každé komoře probíhá různá fáze tepelného zpracování, které vede k finálnímu výrobku ThermoWood. Výrobní proces ThermoWood dřeva lze rozdělit do následujících třech hlavních fází.

1. fáze: zvýšení teploty a sušení:

V prvních třech komorách se uskutečňuje vysokoteplotní sušení, kdy se teplota v sušárně prudce zvýší na 100°C za působení vodní páry. Poté se teplota postupně zvýší až na 130°C. Během této fáze klesá vlhkost dřeva téměř na nulové hodnoty. Tento proces zabírá nejvíce času z celého procesu tepelné úpravy. To, jak dlouho bude fáze sušení probíhat, záleží zejména na počáteční vlhkosti dřeva, druhu dřeviny a tloušťce upravovaného materiálu.

2. fáze: tepelná úprava:

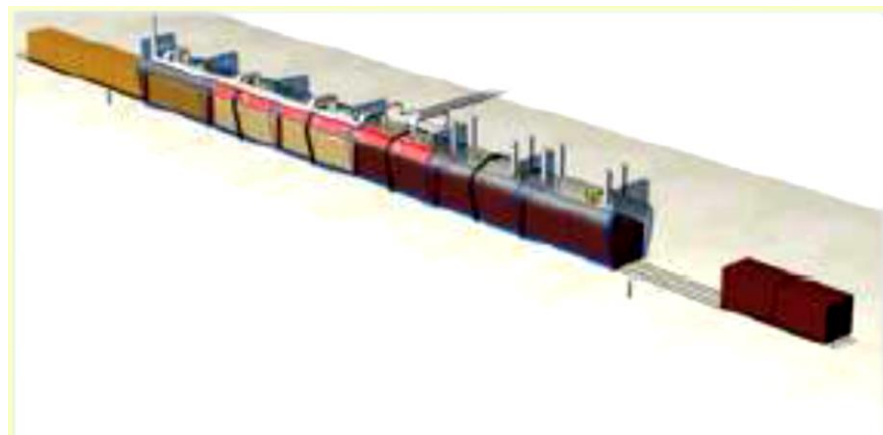
V druhé fázi dochází k samotnému tepelnému zpracování. Teplota uvnitř uzavřené čtvrté komory se zvýší na teplotu 185°C až 215-230°C v závislosti na požadavcích na klasifikační třídu materiálu ThermoWood, který se rozděluje do dvou tříd, a to Thermo-S nebo Thermo-D. Po dosažení požadované teploty zůstává udržována tato teplota po dobu 2-3 hodin.

3. fáze: chlazení a úprava vlhkosti:

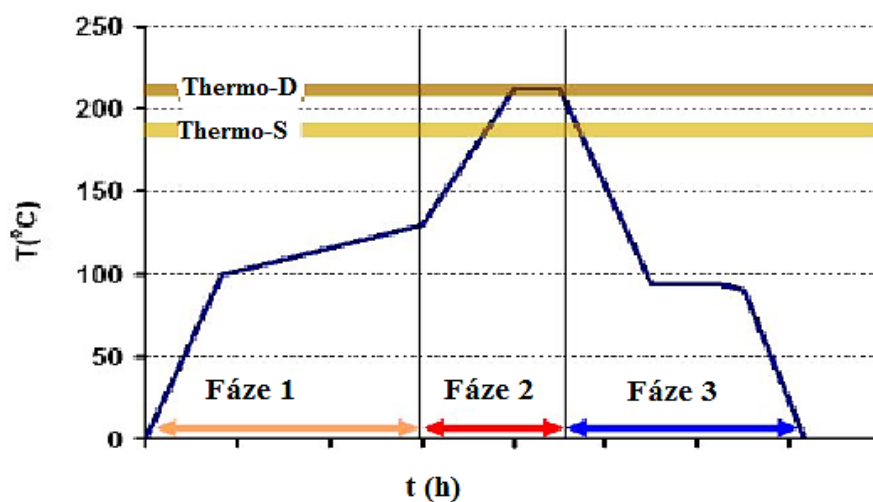
Během celého sušení i tepelného zpracování je používána pára jako ochrana. Parní mlhovina ovlivňuje chemické změny, ke kterým dochází ve dřevě a chrání dřevo před vznícením. Poslední dvě komory v tunelovém komplexu slouží ke konečné normalizaci. Dřevo se po tepelné úpravě kontrolovaně ochlazuje na teplotu 80-90°C. Zvláštní pozornost se musí věnovat vysokému teplotnímu rozdílu mezi dřevem a venkovním vzduchem, který by mohl způsobit trhliny.

Dřevo musí být na závěr znovu vlhčeno, aby se dosáhlo vhodné vlhkosti před jeho konečným použitím. Finální vlhkost dřeva po úpravě by měla být v rozmezí 4-7%. Fáze konečné normalizace trvá 5-15 hodin v závislosti na stupni tepelného ošetření a řezivu.

Po tepelném zpracování přichází na řadu stabilizace, která probíhá v teplých zastřešených prostorech 24 až 48 hodin. Proces výroby ThermoWoodu je zobrazen na obrázku 30 (ThermoWood Handbook, 2003; Reinprecht, Vidholdová, 2008, www.prokom.cz).



Obr. 29 Tunelové výrobní zařízení pro přípravu ThermoWoodu (www.prokom.cz)



Obr. 30 Schéma výrobní technologie ThermoWood (ThermoWood Handbook, 2003)

2.2.2 Klasifikace tepelných úprav ThermoWood

Pro členské firmy vyrábějící ThermoWood sdružené ve Finnish ThermoWood Association se uplatňuje společná klasifikace, která zahrnuje dvě hlavní třídy rozdělení, které jsou nazvané Thermo-S a Thermo-D samostatně pro jehličnaté a listnaté dřeviny. Tyto dvě třídy se liší v technologických parametrech jejich výroby – v časových, teplotních a jiných podmínkách. Podle druhu třídy se určuje, k jakému účelu se tepelně modifikované dřevo doporučuje použít. Účely využití jsou zaznamenány v tabulce 5 a 6, prodejní statistiky na obrázku 33.

Thermo – D

Písmeno D v názvu Thermo-D pochází z anglického slova „durability“ čili trvanlivost. Z jehličnatých dřevin je vyráběno při teplotě 212°C +/- 3°C, z listnatých dřevin při teplotě 200°C +/- 3°C. Třída termodřeva Thermo-D (obr. 31) se využívá zejména pro aplikaci v exteriéru, kde je důležitá vysoká odolnost a stabilita, například na zahradní nábytek, obklady fasád, obklady bazénů a protihlukové bariéry.



Obr. 31 Ukázka klasifikační třídy Thermo-D (www.swm-wood.com)

Thermo – S

Písmeno S v názvu Thermo-S (obr. 32) pochází z anglického slova „stability“ čili stabilita. Z jehličnatých dřevin je vyráběno při teplotě 190 +/- 3°C, z listnatých dřevin při teplotě 185 +/- 3°C. Využívá se v interiérech, kde se požaduje stabilita materiálu a vzhled, zejména na interiérové konstrukční prvky, nábytek, okna a dveře, podlahy a sauny (ThermoWood Handbook, 2003).



Obr. 32 Ukázka klasifikační třídy Thermo-S (www.swm-wood.com)

Tab. 5 Základní změny vlastností a příklady použití dřeva ThermoWood – typy Thermo-S a Thermo-D u jehličnatých dřevin (autor)

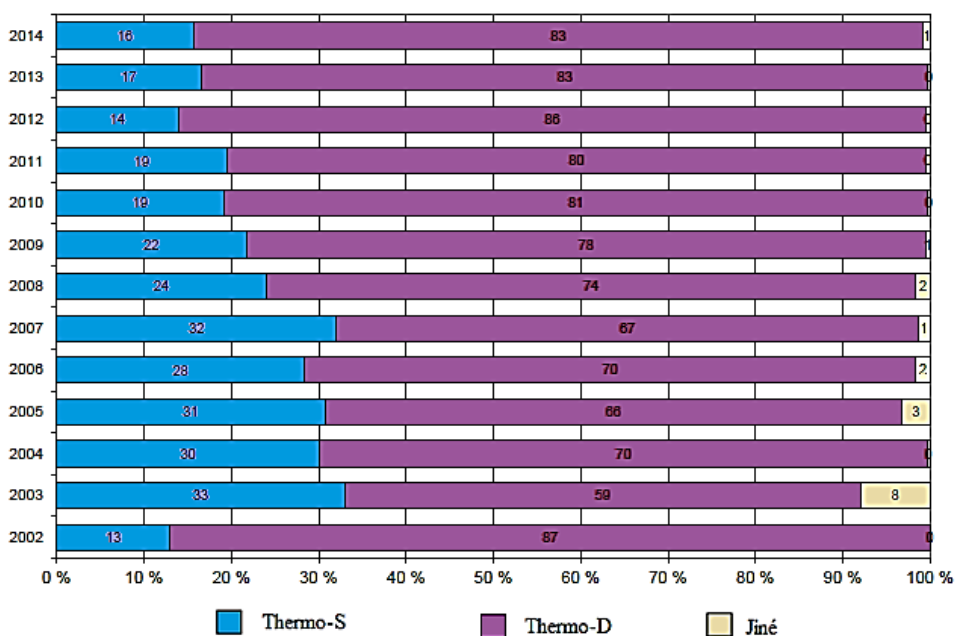
Jehličnany (borovice a smrk)	Thermo - S	Thermo - D
Teplota zpracování	190°C (+/- 3°C)	212 °C (+/- 3°C)
Odolnost vůči povětrnostním vlivům	+	++
Rozměrová stálost	+	++
Pevnost v ohybu	Beze změny	-
Tmavost barvy	+	++
Doporučené účely použití	<ul style="list-style-type: none"> - Interiérové konstrukce - Interiéry - Interiérové podlahy - Vnitřní obklady stěn a stropů - Interiérový nábytek - Saunový nábytek a lavice - Okenní a dveřní konstrukce 	<ul style="list-style-type: none"> - Exteriérové konstrukce - Vnější obklady budov - Terasové a bazénové obklady - Lávky a zahradní chodníky - Zahradní nábytek - Příslušenství saun a koupelen - Venkovní okna a dveře

Poznámky: „+“ – zlepšení vlastností, „-“ zhoršení vlastností

Tab. 6 Základní změny vlastností a příklady použití dřeva ThermoWood – typy Thermo-S a Thermo-D u listnatých dřevin (autor)

Listnaté dřeviny (topol a břıza)	Thermo - S	Thermo - D
Teplota zpracování	185 °C (+/- 3°C)	200 °C (+/- 3 °C)
Odolnost vůči povětrnostním vlivům	+	+
Rozměrová stálost	+	+
Pevnost v ohybu	Beze změny	-
Tmavost barvy	+	++
Doporučené účely použití	- Interiéry - Pevná zařízení - Nábytek - Podlahy - Vybavení sauny - Zahradní nábytek - Dekorační předměty	- Je-li požadováno tmavé zabarvení, používají se výrobky kategorie Thermo-D, účely použití jsou stejné jako u výrobků Thermo-S

Poznámky: „+“ – zlepšení vlastností, „-“ zhoršení vlastností



Obr. 33 Statistika výroby Thermo-S a Thermo-D ThermoWoodu mezi lety 2002 -2014 (www.thermowood.fi)

2.2.3 Aplikace ThermoWood dřeva

Vzhledem k vlastnostem a atraktivnímu vzhledu, které ThermoWood dřevo získává během termického ošetření, může být použito jak v exteriéru, tak i v interiéru téměř k veškerému použití. Dle výsledků zkoušek (EN 252) se doporučuje

ThermoWood dřevo nepoužívat v základových podzemních aplikacích, kde je nutná konstrukční pevnost, též tam, kde by bylo v neustálém přímém styku s vlhkou půdou. Pokud by bylo v exteriérové expozici ponořeno neustále do vody nebo uloženo v půdě, ztrácí své pevnostní vlastnosti v důsledku určitých chemických reakcí. Jak již bylo uvedeno, tepelné zpracování dřeva výrazně vylepšuje biologickou odolnost evropského dřeva, zejména proti povětrnostním vlivům a škůdcům. Pozitivní dopady má i na objemovou hmotnost. Všechny tyto vylepšené vlastnosti prodlužují životnost dřeva a staví ThermoWood na úroveň tropických dřevin. Tepelnou úpravou se ovšem nezvyšuje hustota dřeva a nevylepšuje jeho tvrdost, proto je termodřevo měkčí, křehčí a lehčí než dřevo exotické, které je přirozeně tvrdší a má vyšší hustotu. Z tohoto důvodu je ThermoWood vhodný na aplikace, kde je kladen důraz zejména na stabilitu a dlouhou životnost než na tvrdost a odolnost vůči mechanickému poškození. Ztrátou původní barvy ovšem dle zkušeností trpí jak dřeviny tropické, tak dřevo termicky upravené. Proto pokud chceme zachovat barvu co nejvíce podobnou původnímu odstínu, je nutné dřevo tropické i ThermoWood dřevo ošetřovat speciálními přípravky pro povrchovou úpravu (Viikari, Mayes, 2009).

2.2.3.1 Aplikace ThermoWood dřeva v interiérech

V interiérech se termicky upravené dřevo uplatňuje zejména na obklady, parkety, vnitřní panely, stěnové panely, koupelnový a kuchyňský nábytek. Speciálně ho lze využít i na výrobu hudebních nástrojů. ThermoWood dřevo lze použít i v extrémně vlhkém interiérovém prostředí jako je například sauna, kde se uplatňuje pro obklady vnitřních stěn, na výrobu saunového nábytku a lavic. Vzhledem k tomu, že je ThermoWood přírodní produkt, je vhodný pro alergiky. Během výrobního procesu jsou ze dřeva odstraněny organické sloučeniny a emise, které snižují kvalitu vzduchu uvnitř interiéru. Takto upravené dřevo je také vhodné pro vybavení staveb, které jsou část roku nevytápěné (Reinprecht, Vidholdová, 2008, www.thermowoodtreated.com).

Podlahy v interiérech – materiál pro účely interiérových podlah je tepelně upraven na třídu Thermo-S. Tyto profily tvoří specifickou skupinu kvalitních a esteticky hodnotných materiálu pro svou univerzálnost použití ve všech druzích interiéru. Jak je možno vidět na obrázku 34, podlahové profily jsou vyráběny ve dvojím provedení napojení a to pero-drážka dvoustranné a čtyřstranné, kde můžeme materiál napojovat ve

všech směrech. Mezi použitým materiálem na výrobu podlahových profilů se nenachází pouze klasická borovice, ale také bříza. Borovice je výraznější jednak lehce tmavším odstínem a především kresbou dřeva se zřetelnými suký. Naopak bříza je světlejší s méně výraznou kresbou a téměř bez suků. ThermoWood dřevo je vhodné pro podlahové profily zejména díky vylepšené rozměrové a tvarové stálosti. Profily se nekrotí a mají snížený průhyb až o 90%. Dřevěné interiérové podlahy (obr. 35) jsou příjemné jak svým vzhledem, tak teplým dojmem. ThermoWood podlahy je možné a také doporučované instalovat na podlahové vytápění, kde je dosahováno poměrně dobrých provozních výsledků hospodárnosti.



Obr. 34 Příklady interiérových podlahových profilů (www.truhlarstvi-svatos.cz)



Obr. 35 Použití ThermoWood dřeva pro interiérové podlahy (www.prokom.cz)

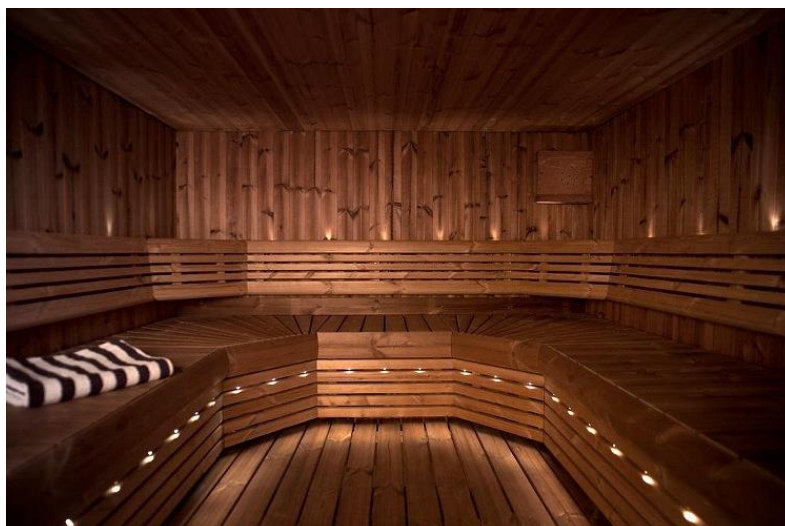
Interiérové a saunové obkladové profily – tyto profily (obr. 36) mohou být použity pro jakékoliv druhy obkladů jak stěn i tak stropů všech interiérových ploch. Vyráběny jsou převážně v tepelné úpravě se zařazením do klasifikační třídy Thermo-S ve dvou odstínech, světlý a tmavý. Povrch interiérových profilů je buď hladce hoblovaný, nebo

kartáčovaný, který zvýrazňuje strukturu dřeva. Vnitřní obkladové profily jsou vyráběny na pero a drážku. Jak již bylo zmíněno, použití v interiéru je všestranné, doporučené jsou ThermoWood profily především pro saunové obklady vzhledem k vlastnostem, které získaly tepelným ošetřením (www.lunawood.fi, Reinprecht, Vidhodlová, 2008).

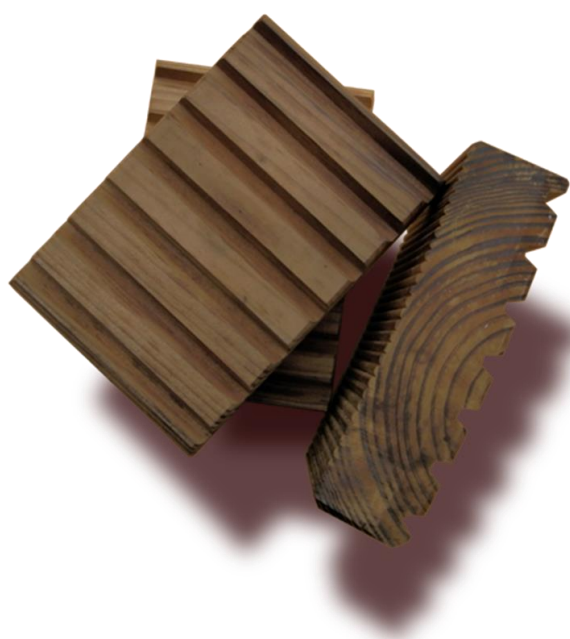


Obr. 36 Profily pro saunové a interiérové obklady

Saunový a koupelnový nábytek, příslušenství pro sauny - ThermoWood dřevo může být využito nejen jako nábytek pro sauny a koupelny, ale také jako obklady stěn. Saunový i koupelnový nábytek je vyráběn z hranolů, prken a konstrukčních prvků, které jsou zobrazeny a popsány v následující podkapitole. Tyto konstrukční prvky jsou určeny zejména pro výrobu saunových lavic a také saunového příslušenství. Vzhledem ke snížené tepelné vodivosti o 20-25% oproti dřevu neupravenému je ideální právě pro teplé a vlhké interiéry jako je sauna (obr. 37). Oblíbenost ThermoWood materiálu pro výrobu saunového nábytku a příslušenství roste také kvůli tomu, že výrobky jsou hygienické a neposkytují díky tepelnému ošetření živnou půdu pro bakterie. Sníženou tepelnou vodivostí materiál nepřejímá teplo z okolí, tudíž se nepřehřívá a nepůsobí při kontaktu nepříjemné pocity například pálení. Saunové lavičky mohou snadno absorbovat vlhkost přes čela profilů. Rychlé cykly smáčení a sušení při vysokých teplotách prostředí sauny může způsobit trhliny. Konce profilů by tudíž měly být ošetřeny olejem, voskem nebo lakem. ThermoWood dřevo můžeme používat též jako doplňky v koupelnách, například pro odkládání mýdla vzhledem k extrémní odolnosti vůči vodě a plísním. Tyto podložky (obr. 38) se vyrábí například ve slovenském Hrochote a pořizovací cena se pohybuje kolem 3 euro (www.imge-ltd.com.tr; www.mydlozhrochote.sk).



Obr. 37 Ukázka využití ThermoWood dřeva na sauny (www.lunawood.fi)



Obr. 38 Podložka pod mýdlo z thermowoodu (mydlozhrochote.sk)

2.2.3.2 Aplikace ThermoWood dřeva v exteriéru

Dřeviny, které pocházejí z evropských lesů, nejsou bez úpravy příliš vhodné pro dlouhodobé použití ve venkovním prostředí, avšak díky tepelné úpravě získává dřevo nejlepší vlastnosti pro využití v exteriéru.

Pro exteriérové využití se zpracovává tepelná třída Thermo-D. ThermoWood dřevo se aplikuje především na obklady venkovních fasád, okna, venkovní dveře, oplocení nad úroveň terénu, zahradní nábytek zajištěný vůči kontaktu dřevěných noh s terénem, altány apod. Všechny tyto způsoby využití ThermoWood dřeva spadají do 3. třídy ohrožení bez trvalého kontaktu s terénem. Do 4. třídy ohrožení můžeme zahrnout terasy u bazénů, zahradní nábytek v trvalém kontaktu s terénem, dětská hřiště, protihlukové bariéry, apod. (www.jafholz.cz; Reinprecht, Vidholdová, 2008).

Vnější obklady – pro obklady exteriérových expozic se využívá třída dřeva Thermo-D, kde došlo delším a hlubším ošetřením k větším změnám ve struktuře dřeva a jeho vlastnostem. Díky těmto změnám je materiál více odolný a stabilní.

ThermoWood obklady stěn a fasádní profily jsou velice oblíbené v severní Evropě, kde téměř 10 měsíců v roce panuje zima a dřevo je i bez ošetření velice trvanlivé a téměř bezúdržbové. Životnost materiálu ThermoWood je dána certifikačním dokumentem KOMO, který prohlašuje, že tento výrobek zahrnuje biologickou odolnost třídy 2 pro celou sílu materiálu. To znamená, že dřevo biologické odolnosti třídy 2 musí být schopno 30leté životnosti pro aplikace, jakou je vnější opláštění stavebních konstrukcí.

Pro materiál použitelný v exteriéru k opláštění budov se můžeme setkat s názvem ThermoClad. Fasády z termicky modifikovaného dřeva jsou tvarově stabilní, šednou rovnoměrněji než dřevo tepelně neošetřené a díky redukovanému obsahu vody a to až o 70% jsou mnohem odolnější vůči houbám a tvorbě trhlin. Dále se zabrání vysmolování a vylučování tříslovin. Vysoká úroveň odolnosti a rozměrové stability zajišťuje, že rozměrové změny po připevnění na nosnou konstrukci v tomto materiálu probíhají jen minimálně. Vzhledem k redukci těchto pohybů získává případná povrchová úprava mnohem delší životnost. Na trhu jsou k vidění různé varianty opláštění, kdy je možné kombinovat termicky upravené dřevo například i s jinými materiály jako je beton, tuto kombinaci můžeme vidět například na budově Fakulty životního prostředí ČZU (obr. 40). Dále je možné opláštění všech obvodových zdí

pouze s termicky upraveným dřevem (obr. 41). Oblíbenost těchto vnějších obkladů stoupá zejména díky vysoké kvalitě, estetické stránce, a dlouhé životnosti bez nutnosti další údržby v průběhu užívání. Zásadní vliv na vzhled fasády má zvolený profil a formát. Volba profilu záleží na způsobu uložení. Jiné profily se používají pro obklad orientovaný vertikálně a jiné pro obklad horizontální. Fasádní prkna bývají profilově tvarována tak, aby byl umožněn rychlý odtok vody (Hrapková, a kol. 2012). Vnější obkladové profily jsou díky své univerzálnosti určeny k použití pro všechny druhy staveb od rodinných domů až po výškové stavby. Nejvyužívanější profily pro vnější obklady nalezneme na obrázku 39. V posledních letech získávají na popularitě vnější, rovnoběžníkové obkladové profily, které byly vyvinuty pro zastiňovací (žaluziové) systémy. Oproti ostatním druhům mají všestrannější použití a výhodu v oboustranné pohledovosti.

Termicky upravené dřevo využívané v exteriéru je doporučeno chránit vhodnými povrchovými úpravami, jelikož se zvýší odolnost vůči působení UV záření na změnu barvy a vznik drobných trhlin. Rozdílné typy povrchové úpravy vyžadují různé intervaly obnovy materiálu, pokud použijeme povrchovou úpravu s vyšším obsahem pigmentu, trvanlivost vzrůstá, ale zakryje se původní originální kresba termicky upraveného dřeva. Povrchovými úpravami je vhodné ošetřovat všechny výrobky z ThermoWoodu využívané v exteriéru, nejen vnější obklady, pokud chceme dosáhnout co nejdelší životnosti a zároveň estetického dojmu (ThermoWood Handbook, 2003; Král, Hrázský, 2008; www.prokom.cz, www.lunawood.fi)



Obr. 39 Ukázka ThermoWood profilů pro vnější obklady (www.truhlarstvi-svatos.cz)



Obr. 40 Fasádní obložení FŽP ČZU (www.sapagroup.com)



Obr. 41 Exteriérové obložení budovy (www.thermowoodmaster.sk)

Terasoé a bazénové profily –ThermoWood dřevo se v současné době těší velké oblibě také pro použití na podlahy balkonů, teras, zahradních chodníků a také obložení podél bazénů (obr. 43). Oblíbenost tohoto dřeva je hlavně pro rozměrovou stabilitu a trvanlivost, kterou dřevo získává díky tepelné úpravě, také pro estetiku terasových prken, a atmosféru, kterou dovede navodit jen dřevo. Přírodní hmota harmonicky zapadá do prostředí, a je jedno, jestli se nachází v zahradě, v okolí bazénu nebo na střeše.

Díky tepelnému procesu dochází k vytěsnění veškeré pryskyřice, rozkladu celulózy, hemicelulózy a ligninu a dochází ke snížení tepelné vodivosti zhruba o 20-25%. V porovnání s jinými materiály jako například betonová nebo kamenná dlažba je terasové dřevo příjemné na dotek a nestudí při chůzi (www.jafholz.cz;

www.lunawood.fi). Další nespornou výhodou při využití ThermoWood dřeva na plochy, po kterých například chodíme bosýma nohama nebo na nich sedíme, je ta, že pokud na plochu dlouhodobě svítí slunce, tyto plochy nepálí, jak je běžné u jiných materiálů.

Vzhledem ke snížené absorpci vlhkosti až o 50%, která je výsledkem termické úpravy, je ThermoWood rozměrově a tvarově stabilní v podmínkách s proměnlivou vlhkostí, je vhodné také pro obklady kolem bazénů. Lepších hodnot dosáhly i hodnoty vnitřních napětí trvalých i dočasných změn jako je praskání, zkroucení nebo prohnutí. Dle výzkumů, prováděných na University of Technology v Helsinkách je prohnutí sníženo až o 90% oproti totožnému tepelně neošetřenému dřevu. Pro tuto výrobu se využívá trvanlivějších termicky upravených dřev, ty můžeme najít pod názvem ThermoDeck. Jak je patrné z obrázku 42, kde je ukázka ThermoWood obkladů, vrchní strana má pravidelné drážky rovnoběžně s delší stranou materiálu. Tyto drážky se dělají zejména kvůli bezpečnosti, pokud na terasu či obložení kolem bazénu naprší, voda drážkami odtéká pryč a materiál není kluzký (Reinprecht, Vidholdová, 2008; www.prokom.cz; www.truhlarstvi-svatos.cz).



Obr. 42 Ukázka Thermowood profilů využívaných na terasy a bazénové obklady, atd.
(www.lunawood.fi)



Obr. 43 Využití ThermoWood dřeva terasové podlahy a pro obklady bazénů
(www.thermowoodmaster.sk)

Hranoly, prkna a konstrukční prvky – tyto prvky jsou hladce hoblované ze všech čtyř stran a jsou tepelně upravené na třídu Thermo-D. Použití všech profilů má univerzální využití (obr. 45) a lze je použít například na olemování terasových a fasádních obkladů, také k výrobě nábytku do interiéru sauny a zahradního nábytku nebo jako samostatné exteriérové obklady. Tyto profily se vyznačují dobrou konstrukční tuhostí, avšak pro náročnější aplikace je vhodné vypracování statického výpočtu pro danou konstrukci. Pro nosné konstrukce jsou však termicky upravené konstrukční prvky nevhodné. V případě potřeby je určité typy hranolů možno i dále upravovat například lepením (obr. 44).



Obr. 44 Profily prken, hranolů a konstrukčních prvků (www.truhlartstvi-svatos.cz)



Obr. 45 Využití konstrukčních hranolů a prken

Zahradní nábytek – díky tepelné úpravě získává materiál pro výrobu zahradního nábytku nové vlastnosti – delší trvanlivost, odolnost vůči hnilobě, vyšší tvrdost, rozměrovou stálost a dochází také ke snížení absorpce vlhkosti, a to až o 50% oproti dřevinám, které tepelnou úpravou neprošly. V důsledku odstranění veškeré pryskyřice a dalších biologických látek během úpravy je materiál pro výrobu zahradního nábytku schopen odolávat dřevokazným škůdcům. Díky změnám vlastností a vnitřní struktury by dřevo mělo získat životnost až 30 let. Vzhledem k tomu, že ThermoWood dřevo neobsahuje žádné chemické látky, může bezpečně přijít do kontaktu jak s pokožkou, tak i s potravinami. Zahradní nábytek (obr. 46) můžeme využívat nejen na terasách, do altánů, k bazénům, ale také do extrémně vlhkého interiérového prostředí, jako jsou wellness centra, vnitřní bazény a parní lázně.



Obr. 46 Využití ThermoWood dřeva na výrobu zahradního nábytku (www.prokom.cz)

Koupací sudy - vzhledem k tepelné úpravě není materiál ThermoWood citlivý na střídání suchého a vlhkého prostředí z toho důvodu, že již před montáží je dokonale vysušen. U sudů, které jsou vyrobeny z tepelně neupraveného dřeva, se často objevují praskliny. Při použití tepelně upraveného dřeva získáváme jednodušší údržbu sudů a také lepší hygienické podmínky. Jelikož se ve dřevě ThermoWood nevyskytuje pryskyřice, je izolační účinek lepší až o 30% než u dřeva neupraveného a také hmotnost koupacího sudu je mnohem menší. Koupací sudy (obr. 47) musí být vždy umístěny na pevném a stabilním podkladu mimo kontakt s terénem (www.srubyservis.cz).



Obr. 47 Ukázka koupacího sudu

Okna – jsou velmi vhodná především do místností s vyšší vlhkostí, jako jsou kuchyně či koupelny. Dřevo se při tepelné úpravě zahřívá na 175°C a tím je vlhkost nahrazena vzduchem, který je mnohem efektivnějším izolantem. Sníží se tím tepelné ztráty a upravené dřevo je mnohem méně náchylné proti houbovým chorobám. Tepelně upraveným dřevem je tvořeno jádro okna (obr. 48).



Obr. 48 Řez oknem s termicky upraveným dřevěným jádrem (www.velux.cz)

2.3 Plato®Wood

Název Plato pochází z anglického názvu Providing Lasting Advanced Timber Option. Proces Plato byl vyvinut společností Shell v osmdesátých letech. Poté se výroba

přesunula a první výrobní závod byl vybudován v Holandsku ve městě Arnhem v létě roku 2000. Ve stejném roce začala také produkce PlatoWood. PlatoWood se skládá ze dvou divizí a to Plato Wood products, kde je hlavním úkolem zodpovědnost za výrobu produktů a Plato International Technology, který zodpovídá za výzkum, vývoj a licencování technologií. V roce 2006 se vyprodukovalo 12000 m³ a do vývoje se investovalo 10-15 milionů eur (Hill, 2006; Reinprecht, 2008).

2.3.1 Výroba PlatoWood dřeva

Materiál PlatoWood se vyrábí v prostředí vodní páry za nižších teplot při zvýšeném tlaku, podle licenčního Plato procesu.

Plato proces se většinou skládá ze dvou stupňů s meziproductovou sušicí operací. V prvním kroku tohoto procesu je čerstvé nebo vzduchem sušené dřevo upravováno teplotami mezi 150-190°C za zvýšeného tlaku. Aby se obsah vlhkosti ve dřevě snížil cca na 10%, k sušení upravovaného dřeva jsou použity obvyklé sušicí procesy. V druhém kroku sušení je meziproduct zahříván znovu, obvykle na teploty mezi 170-190°C. Čas potřebný pro tento proces je závislý na druhu použité dřeviny, tloušťce materiálu a tvaru dřeva (Militz, Tjeerdsma, 2001; Rapp, 2001). PlatoWood dřevo se vyrábí obvykle ze smrku, ale také z borovice, douglasky, topolu a břízy.

Technologie výroby PlatoWood se skládá ze čtyř následujících termických fází, které jsou realizované za normálního i zvýšeného tlaku (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

1. fáze: hydrotermolýza:

První fáze, kterou materiál projde, je hydrotermická úprava čerstvého nebo vzduchem sušeného dřeva. Tato fáze probíhá při teplotě 150-190°C za zvýšeného tlaku, který je v rozmezí hodnot 0,6 – 1 MPa a trvá 4 až 5 hodin. Pokud se upravuje dřevo vzduchem sušené, používá se vodní pára, pokud se upravuje dřevo čerstvé, využívá se horký vzduch. Tento proces se odehrává v tlakové nádobě (obr. 49). Vlhkost vzduchem sušeného dřeva zůstává v oblasti 14-20% a výrazně se již nemění.



Obr. 49 Průmyslové zařízení pro hydrotermolytické úpravy v první fázi (www.platowood.nl)

2. fáze: sušení:

Tepelně aktivované dřevo se suší v klasické sušárně (obr. 50) po dobu 3 až 5 dnů, případně i déle až 3 týdny, na přibližnou 8 až 10% vlhkost.



Obr. 50 Průmyslová sušárna pro sušení a kondenzování dřeva během tepelné úpravy (www.platowood.nl)

3. fáze: vytvrzování:

Ve třetí fázi se dřevo stabilizuje, to znamená, že se vytvrzuje po dobu 12 až 16 hodin při teplotě 150 – 190°C a atmosférickém tlaku 0,1MPa, přístup vzduchu je v tomto případě omezený. Vlhkost při této fázi klesá pod 1%. Pro vytvrzování je využívána průmyslová sušárna (obr. 51).



Obr. 51 Průmyslová sušárna používána pro vytvrzování (www.platowood.nl)

4. fáze: kondenzování:

V konečné fázi se dřevo opět zvlhčí v sušárně na hodnotu 4-6%. Trvání této etapy je kolem třech dnů (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

2.3.2 Vlastnosti PlatoWood dřeva

PlatoWood dřevo je tmavě hnědé barvy, zbarvuje se ovšem, pokud je vystaveno povětrnostním podmínkám. Změna vlastností dřeva závisí na použitém druhu dřeviny a podmínkách, které byly při procesu ošetření použity. Modul pružnosti PlatoWood je vyšší o 0-10% než u neošetřeného dřeva, ale hodnoty pevnosti v ohybu se snížily mezi 5% až 20%. Ztráty pevnosti jsou u dřeva ošetřeného plato procesem nižší, což je důsledkem použitých mírnějších podmínek ve srovnání s ostatními tepelnými úpravami. Rovnovážná vlhkost dřeva Plato se snížila o 30-40% (Hill, 2006; Nuopponen, a kol. 2004). Výroba v prostředí horké vodní páry dodává také lepší odolnost hnilobám v porovnání s dřevem neupraveným.

2.3.3 Aplikace PlatoWood dřeva

Prostřednictvím kombinace rozměrové stálosti a odolnosti je PlatoWood dřevo vynikající materiál vhodný pro širokou škálu použití. Uplatňuje se hlavně na výrobu zahradního nábytku, obkladů (obr. 52), oplocení, protihlukových bariér (obr. 53) a venkovních dveří. Velký zájem je také o využití pro konstrukční využití. Všechny tyto

aplikace vyžadují materiál s vysokými požadavky zejména na pevnost a tuhost (Raggers, 2007).



Obr. 52 Využití PlatoWood dřeva pro venkovní obklad budov (www.platowood.nl)



Obr. 53 Ukázka využití PlatoWood dřeva v praxi – protihluková stěna (www.ecochoise.co.uk)

2.4 RetificatEdWood

Retifikace je proces vyvinutý ve Francii. Výroba probíhá zahříváním dřeva v atmosféře dusíku (obsahující méně než 2% kyslíku) na teploty mezi 180-260°C. Tento výrobní proces (obr. 54) probíhá podle licenčního retifikačního procesu. Ve dřevě probíhají méně termooxidační reakce a díky tomu se zachovává jeho původní pevnost.

Před retifikačním procesem je nutné předsušit dřevo na 12% vlhkost. Průmyslové zpracování začala společnost s názvem New Option Wood (NOW) v roce 1995 (Hill, 2006; Reinprecht, Vidholdová, 2008; Vernois, 2001).



Obr. 54 Výroba retifikačního dřeva (www.thermotreatedwood.com)

2.5 Le Bois Perdure

Technologie výroby zahrnuje zpracování dřeva v nasycené atmosféře vodní páry při vysoké teplotě. Tento proces zahrnuje sušení a pak následné ohřátí dřeva při teplotách v rozmezí 200-230°C v prostředí vodní páry. Při výrobě nejsou použity žádné chemikálie. Tato metoda zvyšuje molekulární vazby ve dřevě a tím zlepšuje přirozené fyzikálně-mechanické vlastnosti. Výrobní proces se skládá ze třech fází. V první fázi se odstraňuje voda volná, v druhé se odstraňuje voda vázaná, což je obtížnější a třetí fáze se skládá z makromolekulární modifikace dřeva, tato změna je výsledkem pouze teploty, která je aplikovaná na dřevo. Dřevo zpracováno touto technologií má stejné vlastnosti jako dřevo zpracované metodou retifikační (Hill, 2006; Navi, Sandberg, 2012).



Obr. 55 Výroba Le Bois Perdur dřeva (www.perdure.com)

2.6 OHT-Wood

Výrobní proces OHT-Wood probíhá v horkých rostlinných olejích, podle licenčního OHT procesu (OHT = Oil Heat Treatment). V současné době se jeden výrobní závod nachází v Německu. Provozuje se od srpna roku 2000 firmou Menz Holz.

Tepelné zpracování se obvykle provádí v atmosféře inertního plynu při teplotách mezi 180-260°C. Body varu mnoha přírodních olejů a pryskyřice jsou vyšší, než je požadovaná teplota pro tepelné zpracování dřeva. Z těchto důvodů se nabízí možnost tepelného zpracování dřeva v horké olejové lázni. V důsledku spojení olejů s působením tepla lze očekávat vylepšení různých vlastností dřeva v porovnání s tepelným zpracováním v plynné atmosféře (Rapp, Sailer, 2000).

2.6.1 Výroba OHT dřeva

Proces zpracování se provádí v uzavřených nádobách (obr. 56). Oleje se načerpají do nádob, kde probíhá zpracování dřeva a tam se udržují při vysokých teplotách v oběhu kolem dřeva. Horký olej vniká do dřeva a postupně ho ohřívá. Ve středu ohřívávaného materiálu je nutné udržovat teplotu v oblasti 180 až 200 °C po dobu 2 - 4 hodiny. Před ukončením procesu a vyndáním dřeva z nádob se horký olej přečerpá zpět do zásobní nádoby.

Při procesu ošetření se využívají různě vysoké teploty. Pro získání maximální životnosti a minimální spotřeby oleje se teplota pohybuje okolo 220°C. Chceme-li získat maximální živnost a maximální pevnost, hodnoty teploty jsou v rozmezí 180°C – 200°C, v tomto procesu se navíc používají řízené absorpce oleje.

Jako topné medium je využíván rostlinný olej – řepkový, lněný nebo slunečnicový. Olej slouží pro rychlý přenos tepla do dřeva. Oleje přispívají ke zlepšení fyzikálních a chemických vlastností a jsou šetrné k životnímu prostředí. Nevýhodou například u lněného oleje může být vůně, který se vyvíjí v průběhu tepelného zpracování. Podmínkou pro použité oleje je schopnost, aby vydržely ohřev na minimální teplotu 230°C.

Stejně jako u ostatních tepelně ošetřených dřev i dřevo tepelně ošetřené oleji má zpočátku typickou kouřovou vůni. To by mohlo vést k omezení použití v interiérech, i když po určité době intenzita této vůně klesne na minimum. V exteriéru by to ovšem nemělo představovat problémy.

Po konci ošetřujícího procesu se zbývající olej na povrchu dřeva absorbuje velmi rychle v průběhu ochlazování. Po ukončení procesu se do několika minut povrch stane suchým. Při nižších teplotách je barva ošetřeného dřeva světle hnědá, při teplotách vyšších je dřevo zbarveno do tmavě hnědých odstínů.

Kombinace rostlinných olejů a tepla při zpracování vede ke zlepšení odolnosti dřeva proti dřevokazným houbám než tepelné zpracování vzduchem. Absorpce oleje při vysokých teplotách navíc přispívá k prodloužení životnosti ošetřeného dřeva.

Dřevo ošetřené OHT procesem se využívá zejména na obložení, zahradní nábytek, pergoly, paluby lodí, oplocení a protihlukové bariéry. (Hill, 2006; Reinprecht, Vidholdová, 2008; Rapp, Sailer, 2000; Sidorová).



Obr. 56 Výroba OHT-Wood (Rapp, Sailer, 2000)

2.7 Royal Process/Royale Process

Royal Process byl původně vyvinut jako metoda pro sušení dřeva, ve které se dřevo zahřívá v prostředí olejů za sníženého tlaku. Použité teploty jsou nízké, v rozmezí 60-90°C. Olej použitý při úpravě neproniká buněčnou stěnou dřeva a po ukončení procesu se z impregnačního kotle odsává za pomoci vákua. Royal Process se v dnešní době využívá jen minimálně, jelikož existují nové dokonalejší technologie výroby termicky upravených dřev (Hill, 2006; Reinprecht, Vidholdová, 2008).

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo prohloubení teoretických znalostí o tepelně modifikovaném dřevu a jeho následné aplikaci v interiéru a exteriéru. Díky dostupným informacím z oblasti technologie výroby tepelně modifikovaných dřev byly popsány nejpoužívanější metody tepelných modifikací, jejich vlastnosti, výhody, nevýhody a následné použití. Tato práce ukazuje, že tepelně modifikované dřevo má velký rozsah možného využití, ať pro interiér, tak exteriér.

Tepelně modifikované dřevo má obdobné vlastnosti jako dřeviny exotické, v oblasti vlastností mechanických se ovšem rovnat nemohou. I přes to se na trhu tepelně modifikované dřevo prosazuje rok od roku stále častěji a je upřednostňováno před dřevinami exotickými, jelikož při výrobě, používání a následné likvidaci je šetrné k životnímu prostředí. Tepelnou modifikací se zlepšují vlastnosti, jako je odolnost vůči houbám a biologickým škůdcům, tvarová a rozměrová stálost, dřevo získává zajímavý vzhled a zbarvení. Oblíbenost tohoto materiálu se zvyšuje zejména díky tomu, že tyto vlastnosti u přírodního dřeva rostoucího v Evropě běžně nenajdeme. Tento materiál má téměř neomezené využití jak v interiéru, tak v exteriéru. Je též vhodný na aplikace, kde je kladen důraz především na stabilitu a dlouhou životnost než na tvrdost a odolnost vůči mechanickému poškození. Problémem není ani použití v náročných podmínkách, kde se často střídá vlhkost. Těmto podmínkám by dřevo přírodní odolávat nedokázalo. Jedinou nevýhodou může být ztráta původní barvy, kterou však trpí i dřeviny tropické. Tento nedostatek se dá ovšem odstranit použitím vhodných nátěrových hmot, kterými se zvýší i životnost tepelně modifikovaného dřeva.

Rozvoj trhu je dle mého názoru způsoben ekologickým tlakem a investicemi do vývoje technologií tepelných modifikací. Dá se očekávat, že nynější vysoká cena termicky modifikovaného dřeva, která se pohybuje na úrovni drahých exotických dřevin, bude s dalším rozvojem výrobní technologie klesat, a produkce výroby a s tím i použití tepelně modifikovaného dřeva v interiérech a exteriérech poroste.

Seznam použité literatury a zdrojů

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

BLAŽEJ, Anton; ŠUTÝ, Ladislav; KOŠÍK, Martin; KRKOŠKA, Pavel; GOLIS, Emil; *Chémia dreva*. 1.vyd. Bratislava: Alfa, 1975. 224 s.

DORNYAK, Olga Roaldovna; *Modeling of the rheological behavior of wood in compression processes. Journal of Engineering Physics and Thermophysics* [online]. 2003. 76(3): 648–654. Dostupné na internetu: <http://www.itmo.by/jepter/762003e/conte76.html>.

GABRIEL, Ingo. *Dřevěné fasády: materiály, návrhy, realizace*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing s.r.o., 2011. 136s. ISBN 978-80-247-3819-2.

GANDELOVÁ, Libuše; HORÁČEK, Petr; ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila. *Nauka o dřevě*. 3. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. 175s. ISBN 978-80-7375-312-2.

GUNDUZ, Gokhan; *The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (Pyrus elaeagnifolia Pall) wood and changes in physical properties*. Turkey: Bartin University, 2009. Dostupné na internetu: <http://www.sciencedirect.com/>.

HILL, Callum. *Wood Modification Chemical, Thermal, and Other Processes*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, UK. 2006. 260 s. ISBN 978-0-470-02172-9.

HRAPKOVÁ, Lenka; RYCHTÁŘ, Jaroslav; VESELÝ Vojtěch. *Fasádní obklady dřevěné a z materiálů na bázi dřeva*. 1. vyd. Mendelova univerzita v Brně, 2012.

CHOW, S. Z.; MUKAI, H. N. *Effect of thermal degradation of cellulose on wood-polymer bonding*. Wood Science, 4, 4, 1972.

KAČÍKOVÁ, Danica; KAČÍK, František. *Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave*. 1.vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. 71s. ISBN 978-80-228-2249-7.

MAYES, Duncan; OKSANEN, Olli. *Thermowood® Handbook*. 2000. Stora Enso Timber, Finnforest. 52 s.

MAYES, Duncan; OKSANEN, Olli. *Thermowood® Handbook*. Finsko. 2003. Dostupné na: http://www.thermowood.fi/data.php/200312/795460200312311156_tw_handbook.pdf. (25. 12. 2014).

MILITZ, Holger; TJEERDSMA Bôke. Heat treatment of wood in Germany – state of the art. *Thermotreatedwood* [online]. 2001 [cit. 2015-02-02]. Dostupné z WWW: <www.thermotreatedwood.com/Worldwide/Germany.pdf>.

NAVI, Parviz; SANDBERG, Dick. *Thermo-Hydro-Mechanical processing of wood*. 1.vyd. Lausanne: EPFL Press, 2012. 357s. ISBN 978-2-940222-41-1.

NUOPPONENN, Mari; VUORINEN, Tapani; JÄMSÄ, Saila; VIITANIEMI, Pertti.. *Thermal modification in softwood studied by FT-IR and UV resonance Raman spectroscopies*. 2004. Journal of Wood Chemistry and Technology

NOVOTNÝ, Miroslav; *Ochrana dřeva, sborník přednášek*. 2009. 12s.

RAGGERS, John; *Process/Durability*. 2007. [online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z WWW: <http://www.thermotreatedwood.com/Researches/Durability%20article.pdf>

RAPP, Andreas O.; SAILER, Michael. *Heat treatment of wood in Germany – state of the art*. *Thermotreatedwood* [online]. 2001 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z WWW: <www.thermotreatedwood.com/Worldwide/Germany.pdf>.

REINPRECHT, Ladislav; VIDHOLDOVÁ, Zuzana. *Termodrevo – príprava, vlastnosti a aplikácie*. 1.vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 89s. ISBN 978-80-228-1920-6.

REINPRECHT, Ladislav. *Ochrana dreva*. 1.vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.

SIDOROVA, Katerina. *Oil heat treatment of wood*. [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z WWW: http://www.ltu.se/cms_fs/1.44305!/oil%20heat%20treatment%20of%20wood.pdf>.

SYRJÄNEN, Tuula; OY, Kestopuu; *Heat treatment of wood in Finland – state of the art. Thermotreatedwood* [online]. 2001 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z WWW: <www.thermotreatedwood.com/Worldwide/Finland.pdf>.

TIRALOVÁ, Zuzana. *Zvýšenie trvanlivosti dreva jeho modifikáciou*. (Kand. diz. práce), DF TU Zvolen, 2004.115 s.

VERNOIS, Michel. *Heat treatment of wood in France – state of the art. Thermotreatedwood* [online]. 2001 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z WWW: <www.thermotreatedwood.com/Worldwide/France.pdf>.

VIKARI, Jukka Ala; MAYES, Duncan; *New generation ThermoWood – How to take Thermowood to the next level*. 2009. European Conference of Wood Modification. 2009.

Elektronické zdroje:

<http://www.thermowood.fi> (International ThermoWood Association, ThermoWood Handbook, 2003) [cit. 15. 3. 2015]

<http://www.thermotreatedwood.com>

<http://www.lunawood.fi> [cit. 13. 2. 2015]

<http://www.platowood.nl> [cit. 3. 3. 2015]

<http://www.prokom.cz> [cit. 15. 2. 2015]

<http://www.ecochoise.co.uk> [cit. 25. 3. 2015]

<http://www.perdure.com> [cit. 26. 3. 2015]

<http://www.imge-ltd.com.tr> [cit. 15. 3. 2015]

<http://www.jafholz.cz> [cit. 5. 2. 2015]

<http://www.sapagroup.com> [cit. 19. 3. 2015]

<http://www.truhlarstvi-svatos.cz> [cit. 1. 3. 2015]

<http://www.thermowoodmaster.cz> [cit. 1. 2. 2015]

<http://www.srubyservis.cz> [cit. 18. 3. 2015]

<http://www.swm-wood.com> [cit. 29. 3. 2015]

<http://www.velux.cz> [cit. 2. 4. 2015]