

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Vlastnosti termicky modifikovaného dřeva impregnovaného
pryskyřicí**

Diplomová práce

Autor: Bc. Adam Slobodzian

Vedoucí práce: doc. Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Adam Slobodzian

Dřevařské inženýrství

Název práce

Vlastnosti termicky modifikovaného dřeva impregnovaného pryskyřicí

Název anglicky

Properties of thermally modified wood impregnated with resin

Cíle práce

Cílem práce je zjistit vlastnosti termicky modifikovaného dřeva, které je modifikováno při určité teplotě, následně upraveného pomocí impregnace pryskyřicí. Na termicky modifikované dřevo bude aplikována pryskyřice pomocí impregnace a následně budou testovány jeho fyzikální nebo technologické vlastnosti. Tyto vlastnosti budou vzájemně srovnány s nemodifikovaným dřevem jako i termicky modifikovaným dřevem bez impregnace pryskyřicí.

Metodika

Metodiku práce je možné rozdělit do následujících bodů dle časového harmonogramu:

- červenec – září 2022: Zpracování literární rešerše o metodách modifikace dřeva s důrazem na termickou modifikaci a impregnaci pomocí polymerů.
- říjen – listopad 2022: Příprava materiálu a výroba termicky modifikovaného dřeva. Příprava, třídění a značení zkušebních těles z nemodifikovaného a termicky modifikovaného dřeva. Impregnace určitých zkušebních těles pomocí pryskyřice.
- prosinec 2022 – únor 2023: Experimentální zjišťování vlivu impregnace pryskyřicí na různé vlastnosti termicky modifikovaného dřeva. V rámci fyzikálních vlastností bude ověřován vliv impregnace na hustotu, vlhkost, bobtnání a sesychání nemodifikovaného dřeva jako i termicky modifikovaného dřeva po jejich impregnaci pryskyřicí. Dále budou ověřovány barva a tvrdost termicky nemodifikovaného dřeva jako i modifikovaného dřeva po jeho impregnaci pryskyřicí.
- březen 2023: Zpracování výsledků v textové, tabulkové a grafické podobě. Diskuze a závěry.
- duben 2023: Odevzdání diplomové práce.

Doporučený rozsah práce

60 – 80

Klíčová slova

termicky modifikované dřevo, impregnace, pryskyřice, fyzikální vlastnosti, technologické vlastnosti

Doporučené zdroje informací

- BODIG, J., JAYNE, B. A. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Company New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne, 1982, 712 s.
- HILL, C. A. S. Wood modification: Chemical, thermal and other processes. Chichester: John Wiley & Sons, 2006, 249 s. ISBN 0-470-02172-1.
- KOLLMANN, F. F. P., COTE, W. A. Jr. Principles of wood science and technology: I. Solid wood. Springer Science & Business Media, 2012, 592 s. ISBN: 978-3-642-87928-
- NICHOLAS, D. D. Wood deterioration and its prevention by preservative treatments: Degradation and protection of wood. Syracuse University Press, 1982, 380 s. ISBN: 978-0-81562-285-7
- RAHMAN, M. D. Wood polymer nanocomposites: Chemical modifications, properties and sustainable applications. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2017, 314 s. ISBN: 978-3-319-65734-9
- REINPRECHT, L. Wood deterioration, protection, and maintenance. Chichester: John Wiley & Sons Inc., 2016, 340 s. ISBN 978-1-119-10653-1.
- ROWELL, R. M. Handbook of wood chemistry and wood composites. 2. vydání, Boca Raton: CRC Press, 2012, 703 s. ISBN: 978-1-43985-380-1
- SANDBERG, D., KUTNAR, A., KARLSSON, O., JONES, D. Wood modification technologies: Principles, sustainability, and the need for innovation. Boca Raton, USA: CRC Press, 2021, 442 s. ISBN: 978-1-138-49177-9
- SMITH, R. Biodegradable polymers for industrial applications. Boca Raton: CRC Press, 2005, 532 s. ISBN 0-8493-3466-7.
- THAKUR, V. K. Lignocellulosic polymer composites: Processing, characterization, and properties. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014, 584 s. ISBN: 978-1-118-77357-4.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Gašparík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Kateřina Hájková, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2022

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 13. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vlastnosti termicky modifikovaného dřeva impregnovaného pryskyřicí vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne.....

.....

Podpis autora

Poděkování

Chtěl bych upřímně poděkovat každému, kdo mi poskytl radu, pomoc nebo podporu při psaní této práce. Největší vděk patří vedoucímu práce, panu doc. Ing. Miroslavu Gašparíkovi, PhD. za neocenitelné a odborné připomínky k práci. Rovněž děkuji paní Ing. Kateřině Hájkové, PhD. za poskytnutí cenných podkladů a panu Ing. Tomáši Holečkovi za technickou podporu.

Abstrakt

Podstatou práce je analýza fyzikálních a technologických vlastností na nemodifikovaném, termicky modifikovaném a termicky i chemicky modifikovaném dřevu buku, dubu a břízy. Termická modifikace dřeva byla provedena v souladu s technologií ThermoWood® za teploty 180 °C. Chemická modifikace impregnací proběhla pomocí melamin-formaldehydové pryskyřice vakuovo-tlakovou metodou. Vlivem termické modifikace došlo k redukci bobtnání, sesychání a absorpce vlhkosti. Největší redukce objemového bobtnání byla zaznamenána u dřeva buku 19 %, následovaná dubem 17 % a břízou 6 %. Pro objemové sesychání největší redukce činila opět pro buk 16 %, u dubu 15 % a u břízy 6 %. K největšímu snížení došlo u obou vlastností v tangenciálním směru, poté v radiálním a k nejmenším v podélném směru. Nejmenší schopnost absorpce vlhkosti dosáhl dub, zatímco největší byla zpozorována u buku. Termická modifikace způsobuje tmavnutí dřeva v rámci měření v systému CIELAB, kdy největší barevná změna dřeva byla zjištěna téměř shodně u buku a dubu, zatímco u břízy nebyla tak výrazná. Termická modifikace dokázala zvýšit tvrdost všech tří dřevin; u dřeva břízy a dubu se hodnoty po termické modifikaci příliš neliší, u dubu jsou zhruba o 3 % vyšší; hodnoty buku jsou zde větší o 15 % než u dubu. Při měření tvrdosti Brinellovou metodou byla zpozorována nejvyšší hodnota tvrdosti u dřeva buku při všech měřených způsobech modifikace. Vlivem chemické modifikace pomocí impregnace dřeva pryskyřicí došlo k dalšímu prohloubení všech testovaných vlastností oproti čistě termické modifikaci.

Klíčová slova: termicky modifikované dřevo, impregnace, chemická modifikace, pryskyřice, fyzikální vlastnosti, technologické vlastnosti

Abstract

The essence of the work is the analysis of physical and technological properties on unmodified, thermally modified and thermally and chemically modified beech, oak and birch wood. Thermal modification of the wood was carried out in accordance with ThermoWood® technology at a temperature of 180 °C. Chemical modification by impregnation took place with the help of melamine-formaldehyde resin using the vacuum-pressure method. As a result of the thermal modification, swelling, drying and moisture absorption were reduced. The greatest reduction in volume swelling was recorded for beech wood at 19 %, followed by oak at 17 % and birch at 6 %. For volumetric drying, the largest reduction was again 16 % for beech, 15 % for oak and 6 % for birch. The greatest reduction occurred for both properties in the tangential direction, then in the radial direction, and the smallest in the longitudinal direction. The smallest moisture absorption capacity was achieved by oak, while the largest was observed in beech. Thermal modification causes the wood to darken as part of the measurements in the CIELAB system, when the biggest color change in the wood was found almost identically for beech and oak, while it was not so pronounced for birch. Thermal modification was able to increase the hardness of all three woods; for birch and oak wood, the values after thermal modification do not differ much, for oak they are roughly 3 % higher; beech values are 15 % higher here than oak values. When measuring the hardness using the Brinell method, the highest hardness value was observed for beech wood in all measured methods of modification. As a result of the chemical modification by impregnation of wood with resin, all tested properties were further deepened compared to purely thermal modification.

Keywords: thermally modified wood, impregnation, chemical modification, resin, physical properties, technological properties

Obsah

1	ÚVOD.....	12
2	CÍLE PRÁCE.....	14
3	TEORETICKÝ ROZBOR.....	15
3.1	Nežádoucí vlastnosti dřeva	15
3.2	Modifikace dřeva	19
3.2.1	Mechanická modifikace	19
3.2.2	Termická modifikace.....	21
3.2.2.1	Změny na chemické úrovni	23
3.2.2.1.1	Celulóza	23
3.2.2.1.2	Hemicelulózy.....	24
3.2.2.1.3	Lignin.....	25
3.2.2.1.4	Extraktiva.....	25
3.2.2.2	Fyzikální vlastnosti.....	25
3.2.2.2.1	Hygroskopicita.....	25
3.2.2.2.2	Barva.....	27
3.2.2.3	Biologická odolnost.....	28
3.2.2.4	Tvrдость.....	28
3.2.2.5	Mechanické vlastnosti	29
3.2.2.6	Průmyslové metody termické modifikace	30
3.2.2.6.1	Plato	31
3.2.2.6.2	OHT	32
3.2.2.6.3	Rétification, Le Bois Perdure	32
3.2.2.6.4	ThermoWood.....	33
3.2.2.7	Porovnání průmyslových metod termické modifikace	36
3.2.3	Chemická modifikace.....	36
3.2.3.1	Neformaldehydová modifikace	40
3.2.3.1.1	Acetylace	40
3.2.3.1.2	Furfurylace.....	42
3.2.3.1.3	DMDHEU.....	44
3.2.3.1.4	Glyoxal	45
3.2.3.2	Fenol-formaldehydová modifikace.....	45

3.2.3.2.1	Impreg.....	46
3.2.3.2.2	Compreg	47
3.2.3.2.3	Močovino-formaldehydová modifikace (UF).....	49
3.2.3.2.4	Melamin-formaldehydová modifikace (MF).....	49
4	METODIKA.....	52
4.1	Příprava materiálu	52
4.1.1	Termická modifikace.....	53
4.1.2	Chemická modifikace.....	54
4.2	Fyzikální vlastnosti	57
4.3	Barva	60
4.4	Tvrдость	62
5	VÝSLEDKY A DISKUSE.....	64
5.2	Technologické vlastnosti.....	68
5.2.1	Barevná změna	68
5.2.2	Tvrдость	72
6	ZÁVĚR	76
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	77
8	PŘÍLOHY.....	87

Seznam obrázků

Obrázek 1: Napadení dřeva hnědou hnilobou	18
Obrázek 2: Deformace buněk dřeva	20
Obrázek 3: Autokláv používaný k termické modifikaci	22
Obrázek 4: Obsah rovnovážné vlhkosti dřeva během zvyšování teploty ohřevu, smrk	26
Obrázek 5: Závislost změny barvy na teplotě	27
Obrázek 6: Vliv termické modifikace na rázovou houževnatost v ohybu	30
Obrázek 7: Platowood jako fasádový obklad, Hollandsche Rading, fraké	31
Obrázek 8: Kombinace použití Thermo-S a Thermo-D	35
Obrázek 9: Terasa z Thermo-D	36
Obrázek 10: Exteriérové použití Accoya® Wood, Cambridge University	42
Obrázek 11: Rekreační molo, Kebony Character®, Washington D.C.	44
Obrázek 12: Izolátor elektrického vedení	47
Obrázek 13: Rukojeť nože z compregu	48
Obrázek 14: Vytvrzení MF pryskyřice ve dřevě	50
Obrázek 15: Zkušební tělesa	52
Obrázek 16: Umístění zkušebních míst	53
Obrázek 17: Termokomora LAC S400/03	54
Obrázek 18: Tlaková impregnační komora VTIZ 0,5 x 2	55
Obrázek 19: Zatížená tělesa v tlakové impregnační komoře	56
Obrázek 20: Impregnovaná tělesa v sušárně s proklady	56
Obrázek 21: Sušení těles pro absolutně suchý stav	57
Obrázek 22: Digitální posuvné měřítko ICONIC Labo 150 mm	58
Obrázek 23: Nabobtnalá tělesa ponořená v destilované vodě	58
Obrázek 24: Klimatizační komora Climacell 707	60
Obrázek 25: Digitální přenosný spektrofotometr CM-700D	61
Obrázek 26: Tvrdoměr DuraVision-30	62
Obrázek 27: Zkušební těleso po měření tvrdosti	62
Obrázek 28: Změna parametru světlosti L^*	68
Obrázek 29: Změna parametru světlosti a^*	69
Obrázek 30: Změna parametru světlosti b^*	70

Obrázek 31: Celková změna parametru světlosti ΔE^*_{ab}	71
Obrázek 32: Statistická závislost tvrdosti na dřevině	73
Obrázek 33: Statistická závislost tvrdosti na modifikace	73
Obrázek 34: Statistická závislost tvrdosti na modifikaci a druhu dřeviny.....	74

Seznam tabulek

Tabulka 1: Třídy ohrožení dřeva.....	16
Tabulka 2: Klasifikace trvanlivosti vůči dřevokazným houbám.....	17
Tabulka 3: Primární změny vlastností termicky modifikovaného dřeva v porovnání s nemodifikovaným dřevem.....	23
Tabulka 4: MOE a MOR během termické modifikace, <i>A. auriculiformis</i>	29
Tabulka 5: Použití Thermo-S	34
Tabulka 6: Použití Thermo-D	35
Tabulka 7: Srovnání podmínek komerčně používaných termických modifikací .	36
Tabulka 8: Technické parametry termokomory Katres LAC S400/03	54
Tabulka 9: Technické parametry tlakové impregnační komory VTIZ 0,5 x 2	55
Tabulka 10: Průměrné hodnoty bobtnání dřeva	64
Tabulka 11: Průměrné hodnoty sesychání dřeva	65
Tabulka 12: Procentuální změna vlhkosti dřeva v absolutně suchém stavu a v maximálně nabobtnalém	67
Tabulka 13: Průměrné hodnoty souřadnic barevného spektra L^* , a^* , b^* a barevné změny ΔE^*	71
Tabulka 14: Statistické vyhodnocení tvrdosti H_B	72
Tabulka 15: Průměrné hodnoty tvrdosti pro bukové, dubové a březové dřevo	75

1 ÚVOD

Termická modifikace dřeva se v posledních letech stala klíčovou inovací použití dřeva. Tato technologie, získávající stále větší popularitu, otevírá nové perspektivy pro využití dřeva díky zlepšeným vlastnostem, které s sebou přináší. Ve spojení s použitím chemické modifikace pomocí impregnace pryskyřicí představuje nezastupitelný faktor v ochraně a prodloužení životnosti dřevěných výrobků.

Dřevo, jako jeden z nejtradičnějších a nejrozšířenějších stavebních materiálů, má mnoho výhod, které mu dodávají jedinečné postavení. Jeho přirozená struktura a složení mu propůjčují vynikající pevnostní charakteristiky a relativně nízkou hmotnost, což otevírá široké spektrum konstrukčních možností. Avšak, dřevo je organický materiál, který může podléhat různým faktorům ovlivňujícím jeho trvanlivost a stabilitu.

V kontextu širokého spektra využití dřeva, je klíčové hledat metody, které ještě zvýší jeho životnost a odolnost vůči vnějším vlivům. Právě zde se otevírá prostor pro termickou modifikaci potažmo ostatní modifikace dřeva.

Samotný proces termické modifikace spočívá ve vystavení dřeva zvýšeným teplotám, s cílem změnit jeho chemické a fyzikální vlastnosti. Tato metoda má několik významných vlivů na dřevo. Především dochází k omezení schopnosti absorbovat vlhkost, což výrazně snižuje riziko napadení biologickými činiteli a zároveň zlepšuje rozměrovou stabilitu dřeva.

Přestože termická modifikace přináší řadu výhod, není bez nedostatků. Nejvýznamnějším z nich je možná ztráta pevnosti dřeva v důsledku vysokých teplot. Takto termicky modifikované dřevo tedy není možné používat pro nosné dřevěné konstrukce.

Prvkem, který lze kombinovat s termickou modifikací, je chemická modifikace dřeva pryskyřicí. Tato technologie spočívá v způsobu impregnace pryskyřice do dřeva, s cílem ještě zvýšit jeho odolnost vůči vlhkosti a mechanickým poškozením.

Lze tedy konstatovat, že kombinace termické modifikace s chemickou modifikací pryskyřicí představuje inovativní přístup k vylepšení vlastností dřeva v kontextu neustálého vývoje technologií v dřevařském průmyslu. Modifikace dřeva

umožňují využít jeho přirozené charakteristiky a zároveň mu poskytují větší odolnost vůči vnějším vlivům. Výsledkem je materiál, který je ekologický, odolný a esteticky přitažlivý, což jej činí atraktivní pro širokou škálu aplikací.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je zjistit a srovnat fyzikální a technologické vlastnosti termicky modifikovaného dřeva, které je modifikováno při určité teplotě, následně upraveného pomocí impregnace melamin-formaldehydovou pryskyřicí na třech domácích dřevinách: buku, dubu a bříze.

Pro splnění hlavního cíle práce bylo potřeba splnění dílčích cílů:

- zjištění bobtnání, sesychání a vlhkosti nemodifikovaného, termicky modifikovaného, termicky a chemicky modifikovaného dřeva
- zjištění barevné změny nemodifikovaného, termicky modifikovaného, termicky a chemicky modifikovaného dřeva
- zjištění tvrdosti Brinellovou metodou nemodifikovaného, termicky modifikovaného, termicky a chemicky modifikovaného dřeva

3 TEORETICKÝ ROZBOR

3.1 Nežádoucí vlastnosti dřeva

Přestože se dřevo používá pro mnoho aplikací díky svým vynikajícím vlastnostem (např. dobrý poměr pevnosti a hmotnosti, estetický vzhled), stále také trpí řadou nevýhod. Rozměrové změny v reakci na změnu atmosférických podmínek (hygroskopicitu), náchylnost k biologickému napadení a změny vzhledu při působení povětrnostních vlivů omezují možnosti konečného využití dřeva. Konečná aplikace dřeva v typu vlhkostního prostředí lze určit pomocí tříd ohrožení dle ČSN EN 335 (2013) (Tab. 1).

Dřevo, stejně jako mnoho jiných přírodních materiálů, je hygroskopické – přijímá vlhkost z okolního prostředí. Vlhkost dřeva závisí na relativní vlhkosti vzduchu, teplotě vzduchu a na aktuálním množství vlhkosti v místnosti. Vztah dřeva s vlhkostí má důležitý vliv na vlastnosti a konečného použití dřeva. Mnoho problémů spojených s používáním dřeva jako konstrukčního materiálu vyplývají ze změn obsahu vlhkosti nebo z nadbytku vlhkosti uvnitř dřeva.

Obsah vlhkosti dřeva čerstvě pokáceného stromu se může pohybovat v rozmezí od přibližně 30 až do 200 %. U čerstvého dřeva jehličnanů je obsah vlhkosti v bělí obvykle vyšší než v jádře. U dřeva listnáčů, rozdíl obsahu vlhkosti mezi jádrem a bělí je spíše závislý na konkrétním druhu dřeviny. Variabilita obsahu vlhkosti čerstvě pokáceného dřeva existuje i v rámci jednotlivých desek řezaných ze stejného stromu (Glass a kol., 2010).

Voda se může ve dřevě vyskytovat jako volná, která vyplňuje lumény a mezibuněčné prostory, je zpravidla v kapalném skupenství. Dále existuje voda vázaná, vyskytující se v buněčných stěnách a chemicky vázaná voda, která je součástí chemických sloučenin ve dřevě a nelze je odstranit sušením. Stav, kdy je dřevo plně nasyceno vodou a již nemění své fyzikální nebo mechanické vlastnosti se nazývá mez hygroskopicity. Její hodnota je v závislosti na druhu dřeviny rozdílná, avšak pohybuje se zpravidla v průměru kolem 30 %. Dřevo může být vystaveno dlouhodobým i krátkodobým změnám hodnot vlhkosti vzduchu, což má za následek rovněž změny rovnovážné vlhkosti dřeva, tedy stavu kdy, je se ve dřevě vlhkost ustálí na základě vnějšího prostředí. Takové vlivy lze zpomalit aplikací

ochranných nátěrů na dřevo. Dřevo prochází sušením, jehož cílem je dosažení obdobného obsahu jeho vlhkosti, jakou by měl mít i vytvořený hotový výrobek. Takové ustálení se označuje jako stav vlhkostní rovnováhy. Dřevo je rozměrově stabilní, pokud je vlhkost vzduchu vyšší než mez hygroskopicity. Pod ní dřevo mění rozměry, protože vlhkost získává (bobtná) či ztrácí (sesychá), protože objem buněčné stěny závisí na množství vázané vody. Bobtnání a sesychání může mít za následek deformaci, kroucení a tvorbu prasklin, což vede k snížení užitných vlastností dřeva jakožto konečného výrobku. Dřevo je anizotropní materiál; má napříč různými směry rozdílné vlastnosti. Nejvíce se bobtnání a sesychání projevuje v tangenciálním směru, přibližně o polovinu méně v radiálním a nejméně v podélném (Glass a kol., 2010).

Tabulka 1: Třídy ohrožení dřeva (ČSN EN 335, 2013)

Třída	Vlhkost dřeva [%]	Prostředí
0	10 %	klimatizované obytné místnosti, relativní maximální vlhkost 60 %
1	10–20 %	neklimatizované suché interiéry
2	>20 %	neklimatizované interiéry, relativní maximální vlhkost 80 %
3	>20 % + působení povětrnosti	exteriéry bez kontaktu se zemí
4	>20 % + působení povětrnosti a kontakt se zemí	dřevo ve vodě či zemi (i částečně)
5	>20 % + působení mořské vody	dřevo v mořské vodě (i částečně)

Za správných podmínek dokáže dřevo sloužit po desítky let až staletí. Avšak v podmínkách, které umožňují rozvoj dřevokazných organismů, je však potřeba zajistit ochranu dřeva, aby se tato hrozba co nejvíce eliminovala. Organismy rozkládající dřevo jsou především houby, hmyz a bakterie. Plísně a hniloba jsou způsobeny houbami, což jsou mikroskopické, vláknité mikroorganismy, které ke

svému životu potřebují organický materiál. Jejich růst je závislý na vhodných teplotách, vlhkosti a vzduchu. Dřevokazný hmyz je považován spolu s houbami za jeden z nejnebezpečnějších činitelů ohrožení dřeva. Velkým škůdcem dřeva jsou rovněž termity, nicméně ti se v našich střeoevropských podmínkách vyskytují. Bakterie ve dřevě obvykle nemají velké následky, ale některé mohou způsobit nadměrnou nasákavost dřeva pro například lepidla či konzervační prostředky. Kromě toho mohou některé z nich způsobovat ztráty pevnosti po dlouhou dobu působení. Rovněž mořské organismy mohou rychle napadat dřevo ve slané vodě, kde jsou hlavní příčinou poškození pilířů mol, lodí a jiných dřevěných námořních konstrukcí (Clausen, 2010).

Dřevokazné houby (Tab. 2) vyvolávající hnilobu napadají buď jádro nebo běl dřevin. Houba ve formě mikroskopických vláken zvané hyfy, prostupuje dřevem a využívá chemické dřevní komponenty jako potravu. Ideální teplota pro život takových hub se pohybuje v rozmezí 10–35 °C a nad mezí hygroskopicity 30 %. Rozkládání v podstatě ustane při teplotách nižších než 2 °C a vyšších než 38 °C. Dřevo může být nicméně pro rozklad příliš vlhké anebo také příliš suché. Vzduchem plně vysušené dřevo má obvykle obsah vlhkosti příliš malý pro možnost nakažení houbami, zatímco když je plně ponořeno ve vodě anebo chráněno postřikem, dřevokazné organismy nemají přístup ke kyslíku (Clausen, 2010).

Tabulka 2: Klasifikace trvanlivosti vůči dřevokazným houbám (ČSN EN 350, 2019; Swedish Wood, 2024)

Třída trvanlivosti	Popis	Příklad dřeviny
1	Velmi trvanlivé	Teak, Iroko, Cumaru
2	Trvanlivé	Dub, Zerav (Túje)
3	Středně trvanlivé	Douglaska, Modřín
4	Slabě trvanlivé	Smrk, Borovice
5	Netrvanlivé	Olše, Buk, Javor

Rozeznáváme především dva druhy hnilob a sice hnědou a bílou hnilobu. Hnědá hniloba (Obr. 1) napadá především celulózu, dřevo více hnědne, tvoří v něm trhliny, smršťuje se a postupně se rozmělnuje na dřevní prach. Bílá hniloba napadá kromě celulózy i lignin, dřevo postupně měkne, ztrácí barvu a stává se světlejším. Napříč strukturou dřeva se se netvoří trhliny a dřevo si až do své degradace

zachovává vnější rozměry. Houby tvořící hnědou hnilobou obvykle kolonizují jehličnany a houby s bílou hnilobou se běžně vyskytují na listnáčích, avšak nemusí to být vždy pravidlem. Hniloba zpočátku ovlivňuje rázovou houževnatost dřeva v ohybu. To je obecně následováno snížením hodnot ohybové pevnosti. V konečném důsledku jsou všechny pevnostní vlastnosti vážně sníženy. Ztráty pevnosti během raných fází rozkladu mohou být značné, nicméně v značné míře závisí na konkrétních houbách a v menší míře na typu dřeva, které se rozkládá (Clausen, 2010).



Obrázek 1: Napadení dřeva hnědou hnilobou (Property Care Association, 2024)

Dřevokazný hmyz, například kůrovec, napadá povrchové vrstvy dřeva, kde tvoří tunely, ve kterých pokládá své vejce. Při vytváření tunelů kůrovec vytváří hnědobílé částice podobné pilinám. Pokud je například na rostoucím stromu přítomno více brouků, díky rozsáhlému tunelování uvolní kůru a ta poté ze stromu odpadá. Brouci napadají jak listnáče, tak i jehličnany a rovněž čerstvé řezivo. Dřevo lze chránit například chemickou modifikací i tepelnou sterilizací. Podmínky sterilizace se liší dle vlhkosti, objemu a průřezu dřeva. Nicméně jakmile je dřevo napadeno brouky, jejich larvy se budou dále vyvíjet, i když je povrch následně opatřen dodatečnými povrchovými úpravami (oleji, vosky anebo laky) (Clausen, 2010).

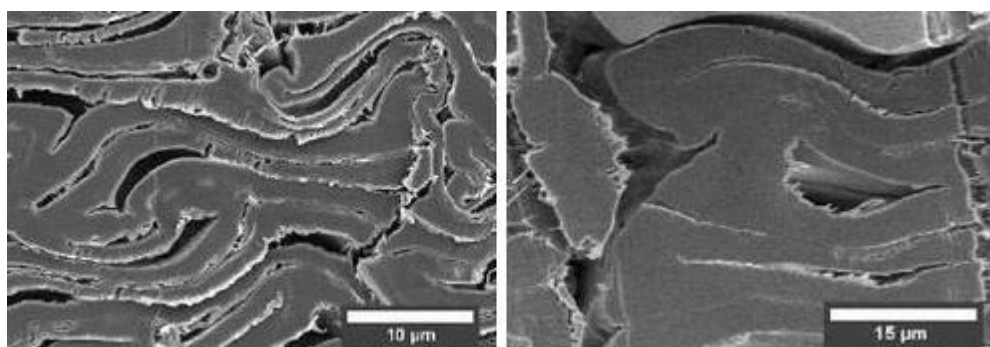
3.2 Modifikace dřeva

Dřevo je přírodní, heterogenní materiál a jako takový vykazuje velkou proměnlivost svých vlastností, a to nejenom v závislosti na konkrétní dřevině. Protože mnoho vlastností dřeva je v konečném důsledku určeno jeho chemickými složkami, modifikace dřeva se často snaží provést změny právě na této úrovni, aby se dosáhlo je zlepšených vlastností. Modifikace (úpravy) dřeva slouží k mnoha účelům, z nichž každá je zaměřena na vylepšení vlastností dřeva, aby vyhovovalo specifickým potřebám v různých aplikacích. Tyto úpravy odrážejí všestrannost a přizpůsobivost dřeva v různých kontextech. Jedním z hlavních motivů pro úpravu dřeva je zlepšení jeho trvanlivosti. Zvýšením odolnosti vůči hnilobě, hmyzu a houbám se dřevo stává vhodnější pro venkovní použití nebo prostředí, kde je problémem vystavení vlhkosti. Dalším zásadním aspektem je rozměrová stabilita dřeva. Přírozenou tendenci dřeva bobtnat nebo smršťovat v reakci na změny vlhkosti a teploty lze zmírnit právě modifikacemi. Toto snížení náchylnosti k deformaci, kroucení nebo praskání zvyšuje spolehlivost materiálu, zejména při konstrukci a výrobě (Hill, 2006).

3.2.1 Mechanická modifikace

Mnoho dnešních technických aplikací si vyžaduje vysoké pevnostní požadavky a spoléhají se na syntetické materiály jako beton, ocel anebo vzácnější druhy dřeva s vysokou pevností. S dlouhodobou spotřebou takového vysoce kvalitního a vysokopevnostního dřeva, spolu s politikou omezení a zákazu těžby, se jeho zdroje stávají stále vzácnějšími. Proto se stále větší pozornost věnuje dřevinám s nižší nebo střední pevností, rychlým růstem a krátkou dobou přírůstku. Tendence uměle zvýšit jejich pevnost, a tedy nahrazení vysokopevnostních dřevin s takto modifikovaným dřevem je namístě. Bylo vyzkoušeno a vyvinuto mnoho postupů pro zvýšení hustoty dřeva (zhuštění) s cílem zlepšit jeho pevnostní vlastnosti. Proces zhuštění dřeva se nazývá rovněž densifikace (Obr. 2). Již ve 30. letech 20. století se jako součást vojenské techniky používalo zhuštěné dřevo jako náhrada kovových materiálů, aby se zabránilo detekci radarem. V současné době lze zhuštění dřeva dosáhnout mechanickou metodou stlačením anebo kombinací mechanických a chemických metod. Mechanické zhušťování spočívá ve změně

vnitřní struktury dřeva a snížení objemu dutin působícím zatížením (Luan a kol., 2022).



Obrázek 2: Deformace buněk dřeva (Frey a kol. 2018)

Bez ohledu na metody lisování je před mechanickým lisováním nutné změkčení dřevěného materiálu. Před procesem změkčení (plastifikace) se nejprve dřevo klimatizuje na ustálenou vlhkost a teplotu, aby celý proces probíhal rovnoměrně za účelem lepšího konečného výsledku modifikace. Změkčovací postupy jsou před vlastním lisováním kriticky důležité, protože dokáží zabránit praskání buněčných stěn během lisování. V dnešní době existuje několik způsobů, jak jej lze provést, například termomechanickou a termo-hydromechanickou metodou, dále úpravy pomocí páry, vysokofrekvenčního mikrovlnného ohřevu nebo vysokého tlaku. V současnosti se nejvíce setkáváme s termo-hydromechanickou metodou. Buněčné stěny dřeva nejprve nabobtnají působením vody; dopředu upravené dřevo tak umožňuje působení tlaku, aniž by se při lisování porušily buněčné stěny dřeva. Po stlačení se u dřeva vyskytuje pružná, vratná deformace, zejména u zón jarního dřeva. Po procesu lisování, resp. bezprostředně po uvolnění tlaku se modifikované dřevo mírně zvětší, což je způsobeno termoplastickou povahou ligninu. Zároveň však probíhá opět fáze klimatizování, kdy se teplota snižuje a ustálí. Problémem i nadále je tedy tendence dřeva se po zhuštění vracet do původního tvaru. V současnosti se nejvíce k mechanické modifikaci používají jehličnaté dřeviny, především jedle, borovice a smrk. Ve srovnání s dřevem listnáčů jsou jehličnany více homogenní, což má za následek některé požadované vlastnosti, jako je jednoduchá, celistvá struktura dřeva, bílé zbarvení a nižší hustota. Avšak lze použít i dřevo listnáčů (Shi a kol., 2020).

Dřevo lze zhušťovat v tangenciálním, podélném i radiálním směru. Nicméně se nejčastěji setkáváme se zhušťováním dřeva v radiálním směru, čímž se při stlačování zabraňuje vzniku nechtěných zlomů (Luan a kol., 2022).

Takto modifikované dřevo disponuje vyšší hustotou, zlepšenou rozměrovou stabilitou a zlepšenými mechanickými a pevnostními vlastnostmi dřeva. Jedná se o modul pružnosti v ohybu (MOE), ohybovou pevnost (MOR), tuhost a tvrdost. Hodnoty MOE a MOR zde mohou dosáhnout hodnot o 200 až 300 % vyšších, než jak je tomu u nemodifikovaného dřeva (Cabral a kol., 2022).

Třebaže mnoho aspektů týkající se výroby a vlastností mechanicky zhušťovaného dřeva je známých, prostor pro větší komercializaci, optimalizaci a standardizaci je zde poměrně stále rozsáhlý.

3.2.2 Termická modifikace

Při termické modifikaci dochází k vystavení dřeva teplotám mezi 180–280 °C za přesně ustanovených podmínek. Velikost teplot zde hraje primární roli; teploty vystavení dřeva menší než 140 °C mají pouze nepatrné změny ve struktuře, zatímco u teplot vyšších než 300 °C se dřevo stává nepoužitelným, tzn. přespříliš degraduje. Moderní procesy tepelné modifikace jsou tedy zpravidla omezeny na teploty nepřesahující 260 °C (Hill, 2006).

Existuje více metod termické modifikace, každá se od sebe vždy liší v několika proměnlivých faktorech. Podle nich se odvíjí konečné vlastnosti modifikovaného materiálu. Jedná se o teplotu, čas, dřevinu, atmosféru, tlak nebo vstupní vlhkost dřeva. Metody termické modifikace mohou být použity na širokou škálu dřevin, ale musí být pro každý druh správně optimalizovány (Hill, 2006).

Jak se dřevo zahřívá, dochází zpočátku k jeho hmotnostnímu úbytku v důsledku ztráty vázané vody a těkavých extraktivních látek, které mají tendenci směřovat na povrch dřeva. Při dalším zvyšování teploty dochází k změnám na makromolekulární úrovni v buněčných stěnách doprovázené dalším úbytkem hmotnosti a barevnými změnami. Termická modifikace může být provedena v prostředí vzduchu, ve vakuu nebo pod inertní atmosférou. Děje se tak zpravidla v autoklávech (Obr. 3) (Hill, 2006).

V prostředí s kyslíkem může docházet k oxidačním procesům, které se také můžou projevit na vlastnostech materiálu. Oxidační procesy lze umírnit prezencí vody, která může také působit jako tlumící a redukční prvek pro tyto procesy. Přítomnost vody nebo vodní páry rovněž ovlivňuje chemii termické modifikace a přenos tepla ve dřevě. Je rozhodující zajistit, aby rychlost přenosu tepla napříč celým průřezem dřeva byla v celém průřezu konstantní po celou dobu modifikace. Existuje možnost urychlení chemických procesů degradací polysacharidových složek při modifikaci přidáním katalyzátorů. Ty generují kyseliny, které tyto reakce urychlují, nicméně v praxi se komerčně nepoužívají (Hill, 2006).



Obrázek 3: Autokláv používaný k termické modifikaci (Brimstone, 2024)

V důsledku tepelně vyvolaných chemických změn termickou modifikací na makromolekulární úrovni se fyzikální a biologické vlastnosti dřeva se mění (Tab. 3). Tyto změny zahrnují zlepšení rozměrové stability, snížení hygroskopicity, zlepšení odolnosti proti napadení biologickými činiteli, barevnou změnu, ale také větší křehkostí, hmotnostním úbytkem (u jehličnanů vyšším než u listnáčů) nebo sklonem k tvorbě trhlin. I přes odolnosti vůči napadení biologickými činiteli, vlastnosti termicky modifikovaného dřeva nejsou dostatečné pro jeho použití v aplikacích kontaktu se zemí v exteriéru dle ČSN EN 335 (2013) jak je uvedeno v Tab. 1. Obecně se však termicky modifikované dřevo vyznačuje poklesem mechanických vlastností oproti nemodifikovanému dřevu. Platí to nejvíce pro rázovou houževnatost v ohybu a MOR. MOE v závislosti na teplotě modifikace zpočátku roste, poté však klesá (Hill, 2006).

Z tohoto důvodu se termicky modifikované dřevo zpravidla nepoužívá jako prvek v konstrukčně nosných dřevěných konstrukcích (Ibach, 2010).

Tabulka 3: Primární změny vlastností termicky modifikovaného dřeva v porovnání s nemodifikovaným dřevem (Sandberg a kol., 2017)

Žádoucí vlastnosti	Nežádoucí vlastnosti
Snížení rovnovážné vlhkosti	Zhoršení ohybové pevnosti (MOR)
Lepší rozměrová stabilita	Zhoršení rázové houževnatosti
Lepší odolnosti biologická odolnost	Větší křehkost
Obecné vlastnosti	
Nižší hustota	
Ztmavnutí barvy	
Charakteristická vůně	
Delší lisovací čas pro lepení	

Termicky modifikované dřevo v současnosti nachází využití v celé řadě aplikací ať venkovních či vnitřních. Jedná se například o obklady, okna, sauny, podlahy, zahradní nábytek nebo terasy (Reinprecht, 2008).

3.2.2.1 Změny na chemické úrovni

Konečné fyzikální a mechanické vlastnosti termicky modifikovaného dřeva se odvíjí od změn základních chemických komponentů dřeva. Jedná se o celulózu, hemicelulózy, lignin a extraktivní látky. Všechny reagují za tepla rozdílným způsobem. Jejich reakce se odvíjí vždy od způsobu modifikace (International Thermowood Association, 2003).

3.2.2.1.1 Celulóza

Obsah celulózy jako stavebního polysacharidu se ve dřevu pohybuje mezi 40–50 % v závislosti na druhu dřeviny. V dřevní hmotě vytváří dlouhé řetězce spojené hydroxylovými skupinami glykosidickou vazbou (International Thermowood Association, 2003).

Oproti hemicelulózám je znatelně stabilnějším prvkem. Degraduje znatelně později, při vyšších teplotách, než jak je tomu u reaktivnějších hemicelulóz, kolem

210–220 °C a dosahuje vrcholu při 270 °C. V důsledku termické modifikace dochází u celulózy k degradaci její amorfni části, dochází zde také k snížení dostupnosti hydroxylových skupin pro molekuly vody, což přispívá k snížení rovnovážné vlhkosti; její krystalická část se zároveň zvětšuje.

Amorfni část je k degradaci právě náchylnější, vykazuje podobné tepelné vlastnosti jako určité složky hemicelulóz. Rychlost degradace celulózy může být rovněž snížena vlivem působení vody, což je způsobeno zvýšenou schopností amorfni oblastí měnit strukturu za účelem vytvoření tepelně stabilnějších krystalických oblastí.

Teploty nižší než 300 °C mají za následek rovněž tvorbu karboxylových a karboxylových skupin, zahřívání dřeva po delší dobu vede však k zvýšení karboxylových na úkor karboxylových. Tvorba těchto skupin poté souvisí se žloutnutím celulóзовého materiálu. Už při zahřívání celulózy na 170 °C také vzniká CO₂ s CO (Hill, 2006).

3.2.2.1.2 Hemicelulózy

Spolu s celulózou hemicelulózy patří mezi sacharidy, dřevo se sestává z hemicelulózy zhruba z 25–35 % (International Thermowood Association, 2003).

Mají obecně složitější strukturu než celulóza. Hemicelulózy jsou první chemické dřevní komponenty, které jsou tepelně ovlivněny i při nízkých teplotách kolem 150 °C. Jejich degradace začíná deacetylací a následně uvolněním metanolu a kyseliny octové C₂H₄O₂. Ta poté působí jako depolymerizační katalyzátor, který dále zvyšuje rozklad polysacharidů. Tato degradace vede k tvorbě formaldehydu, furfuralových polymerů (které jsou méně hygroskopické než hemicelulózy) a dalších aldehydů. Současně podstupují hemicelulózy dehydratační reakce s redukcí hydroxylových skupin (Hill, 2006).

Teplota rozkladu hemicelulóz je asi 200–260 °C. Množství hemicelulóz je u listnáčů větší než u jehličnanů; u listnáčů hemicelulózy degradují podstatně snáze. Nicméně, zprerhání hemicelulózových řetězců nesnižuje tolik pevnost dřeva, jak zprerhání celulózových řetězců. Namísto toho přerhání hemicelulózového řetězce snižuje tvorbu napětí a pružnost dřeva (International Thermowood Association, 2003).

3.2.2.1.3 Lignin

Lignin je důležitou stavební dřevní složkou, kdy zabezpečuje dřevnatění buněk dřeva, drží je pohromadě a spojuje vlákna do pevné struktury. Jedná se o amorfni hmotu tmavé barvy. Obecně obsah ligninu u jehličnanů tvoří 25–30 % resp. 20–25 % u listnáčů. Ze všech chemických složek dřeva je lignin nejstabilnější složkou při termické modifikaci.

Ztráta polysacharidických složek, celulózy a hemicelulóz, při termické modifikaci, vede k zvýšení jeho obsahu ve dřevě. K jeho pozvolnému růstu začne obvykle až při překročení teploty 200 °C, kdy beta-aryletherové vazby začnou lámat. Při takových v teplotách se některé ligninové nekondenzované jednotky transformují na jednotky difenylmethanu. Tato reakce má následný vliv na pro barvu a reaktivitu (International Thermowood Association, 2003).

Nicméně lze obecně konstatovat, že vliv termické modifikace na lignin je mnohem menší, než jak je tomu u celulózy a hemicelulóz (Hill, 2006).

3.2.2.1.4 Extraktiva

Extraktivní látky jsou různorodou skupinou organických sloučenin nacházejících se v dřevě a dalších rostlinných materiálech. Jako takové nespádají mezi hlavní konstrukční složky dřeva, avšak mohou přispívat k jeho různým vlastnostem dřeva, jako je například barva a vůně. Jejich obsah ve dřevě činí méně než 5 %.

Většina z nich se během termické modifikace poměrně snadno vypaří nebo degraduje, nicméně tato skutečnost může přispět k vytvoření nových sloučenin ve dřevě. Pod extraktivní látky spadají vosky, oleje, fenolické sloučeniny, barviva, terpeny a trísloviny (International Thermowood Association, 2003; Esteves a kol., 2009).

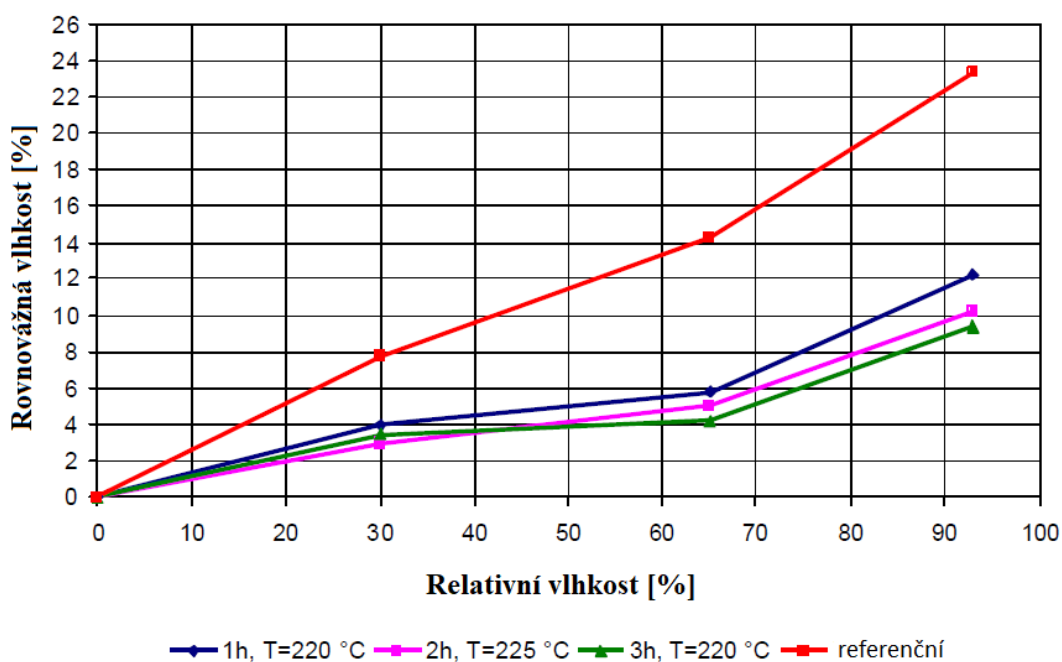
3.2.2.2 Fyzikální vlastnosti

3.2.2.2.1 Hygroskopicitá

Dřevo je hygroskopický materiál tzn. dokáže přijímat vlhkost z okolního prostředí. Schopnost hygroskopicity dřeva je výrazně snížena v důsledku termické

modifikace. Její snížení je provázáno s celkovými podmínkami procesu modifikace jako celková doba procesu, teplota a použitá dřevina. Vyjadřuje ji rovnovážná vlhkost (Obr. 4).

Primárně je však její snížení připisováno snížením počtu hydrofilních hydroxylových skupin v buněčných stěnách v důsledku degradace nebo úplného odstranění hemicelulóz a zvýšení krystalické části celulózy. Do procesu také promlouvají chemické strukturální změny ligninu (Hill, 2006).



Obrázek 4: Obsah rovnovážné vlhkosti dřeva během zvyšování teploty ohřevu, smrk
(International Thermowood Association, 2003)

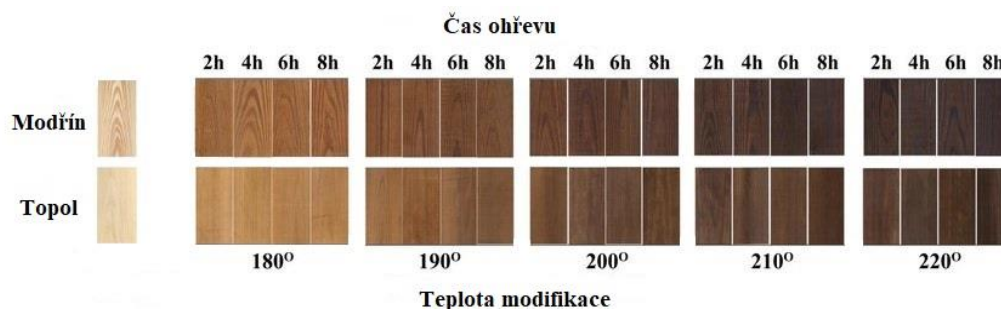
S hygroskopicitou se souvisí i ostatní vlastnosti dřeva, ať se jedná o rozměrovou stabilitu nebo odolnost vůči biologickým činitelům. Rovněž s ní souvisí i schopnost dřeva bobtnat a sesychat v důsledku absorpce či adsorpce vody. Termická modifikace může snížit relativní vlhkost dřeva až na 3–5 % při běžné pokojové teplotě 20 °C a vlhkosti 60–65 %; nemodifikované dřevo v takových podmínkách dosahuje zpravidla kolem 12 % (Reinprecht, 2008).

Termická modifikace obecně zřetelně snižuje rovnovážnou vlhkost dřeva až při vysokých teplotách od 220 °C, rovnovážná vlhkost je poté zhruba poloviční (International Thermowood Association, 2003).

3.2.2.2 Barva

Vizuálně největší znakem termicky modifikovaného dřeva oproti nemodifikovanému je změna barvy. Dřevo během procesu termické modifikace, především s přibývajícím teplotou a časem, postupně tmavne (Obr. 5) a získává jiný odstín. Pomocí barevné změny lze s modifikovaným dřevem napodobit některé vzácné, tropické dřeviny.

Ta je dána chemickými reakcemi, resp. tvorbou nových chromoforových skupin, chinonů, degradací hemicelulózy, extraktivních látek, kondenzačních a oxidačních reakcí. Dalším faktorem podporujícím větší barevnou změnu je přítomnost kyslíku místo inertní atmosféry během procesu modifikace. Obzvláště pro interiérové aplikace je důležitá stabilita estetického vzhledu a jeho případné zbarvení může být vážným problémem z hlediska komerční hodnoty materiálu (Bi a kol., 2021; Vidholdová, 2021).



Obrázek 5: Závislost změny barvy na teplotě (Nguyen a kol., 2018)

Když je dřevo používáno v exteriérových aplikacích jako součást staveb, nábytku nebo plotů, ztrácí postupem času svou barvu a prochází i dalšími změnami vzhledu způsobenými přirozeným stárnutím a expozicí životnímu prostředí. Je to dané především slunečním UV zářením a atmosférickými podmínkami. Stejně podmínky platí i pro termicky modifikované dřevo. Právě lignin je považován za klíčovou strukturu podílející se na světelné degradaci dřeva. Lignin obsahuje mnoho chromoforových struktur a je jedinou hlavní chemickou složkou dřeva, která relativně silně absorbuje UV záření a oblast kratších vlnových délek viditelného světla (Vidholdová, 2021).

Barevnou degradaci modifikovaného dřeva lze zpomalit použitím ochranných nátěrů. Nátěry mohou dodávat dřevěným materiálům požadované estetické vlastnosti, jako je barva a lesk, ale jsou také obecně nezbytné pro ochranu

dřeva před vlivy prostředí, jako je vlhkost, UV záření, biologické poškození nebo poškození mechanického či chemického původu. Z pohledu zákazníků je hlavním nákupním faktorem estetický vzhled nátěru na dřevo (Cirule a kol., 2021).

Termicky modifikované dřevo se rovněž může vyznačovat charakteristickým zápachem podobným karamelu (Reinprecht, 2008).

3.2.2.3 Biologická odolnost

Termická modifikace zlepšuje odolnost proti degradaci v důsledku napadení biologickými činiteli. Může se tedy jednat o dřevokazné houby, hmyz či jiné mikroorganismy. Stejně jako u jiných vlastností, i tato odolnost se odvíjí od metody modifikace a jejích proměnných. Mechanismus tkví se ztrátou obsahu polysacharidů a se sníženou rovnovážnou vlhkostí buněčné stěny. Rovněž ztráta OH skupin z buněčných stěn také ovlivňuje schopnost enzymů metabolizovat substrát mikroorganismů. Je také důležité si připomenout, že termicky modifikované dřevo má bod nasycení vláken vodou nižší než nemodifikované dřevo v důsledku snížení rovnovážné vlhkosti, což samo o sobě vede k lepší odolnosti proti biologické degradaci. S tímto faktem je spojena přeměna hemicelulózy, které se mění z hydrofilních a lehce stravitelných na hydrofobní molekuly (Hill, 2006).

Výrobky z termicky modifikovaného dřeva mohou dosáhnout až prvních dvou tříd odolnosti dle ČSN EN 350 (2019) jak je uvedeno v Tab. 2 (Reinprecht, 2008).

3.2.2.4 Tvrdost

Tvrdost je technologickou vlastností dřeva, odvíjí se od hustoty a obsahu vlhkosti. Brinellova metoda (H_B) je jednou z nejpoužívanějších metod pro stanovení tvrdosti dřeva. Pro měření Brinellovou metodou se do měřicího tělesa vtlačí ocelová nebo karbidová kulička, následně se kulička vyjme a pomocí mikroskopu se změří průměr výsledného trvalého vtisku. K největšímu promáčknutí kuličky dochází při měření (pod měřicí silou), přičemž po odstranění síly se toto promáčknutí automaticky zmenšuje (částečné elastické zotavení).

Vzhledem k tomu, že se různé druhy dřevin značně liší svými pevnostními vlastnostmi, je třeba počítat s různým procentem trvalé plastické deformace na celkové deformaci způsobené měřicí koulí (Sydor a kol., 2020). Tvrdost termicky modifikovaného dřeva se oproti nemodifikovanému dřevu lehce zvyšuje. Tvrdost je přímo závislá na konkrétní použité dřevině, její hustotě a teplotě modifikace (International Thermowood Association, 2003).

Při měření tvrdosti dle Brinella hodnoty tvrdosti dřeva při vyšších teplotách modifikace, kolem 210 °C, klesají až o 40 % (Reinprecht a kol., 2022).

3.2.2.5 Mechanické vlastnosti

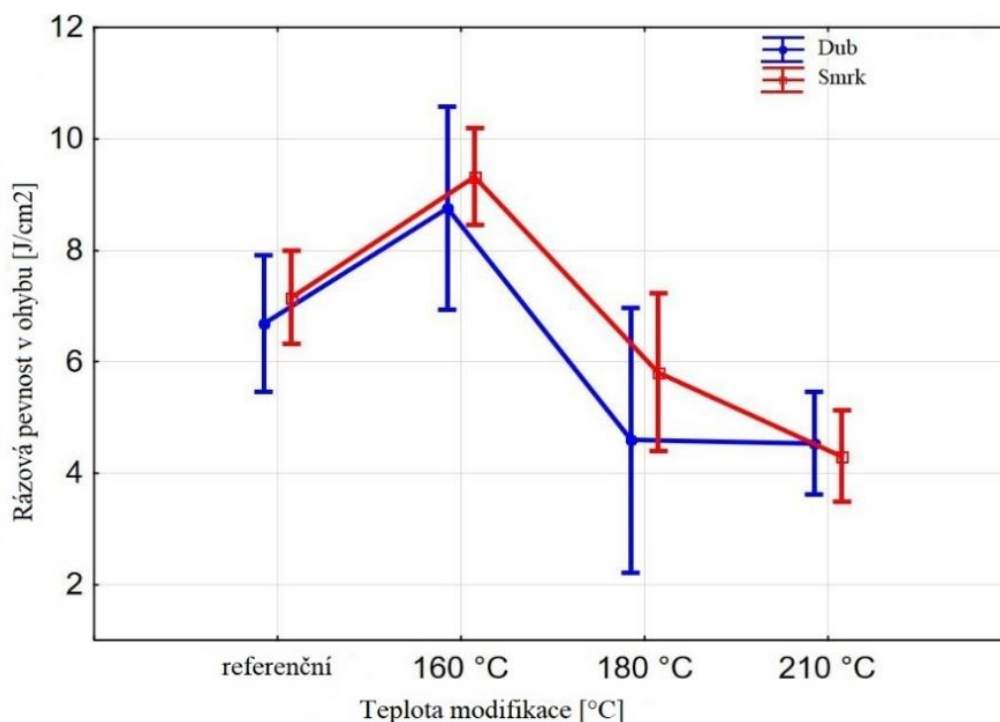
Pravděpodobně jednou z největších slabostí termicky modifikovaného dřeva je zhoršení jeho mechanických vlastností, což činí takové dřevo nevhodným pro konstrukční aplikace. Při termické modifikaci dochází pouze k menší změně v MOE, avšak k celkovému poklesu MOR (Tab. 4) a rázové houževnatosti v ohybu (Obr. 6).

Tabulka 4: MOE a MOR během termické modifikace, *A. auriculiformis* (Shukla, 2019)

Vlastnost	Referenční	Teplota modifikace			
		150 °C	180 °C	210 °C	240 °C
MOR [MPa]	111,6±10,7	116,8±13,9	100,9±13,1	97,7±7,8	44,3±6,5
MOE [GPa]	10,65±1,08	11,21±1,7	11,15±0,84	12,11±1,39	9,14±1,36

Tyto vlastnosti dřeva se během modifikace mění v závislosti na teplotě a době trvání, tj. čím vyšší je teplota během zpracování, tím vyšší je ztráta pevnosti. Jako příčina zhoršení mechanických vlastností termicky modifikovaného dřeva je považována degradace hemicelulóz spolu se zvýšenou krystalické části celulózy (Esteves, 2009).

Během modifikace dochází k mírnému zvýšení MOE, nicméně po zvýšení teploty dochází k jeho strmějšímu poklesu. MOR může obecně klesnout o více než 50 % (Nakagawa a kol., 2023).



Obrázek 6: Vliv termické modifikace na rázovou houževnatost v ohybu (Gaff a kol., 2019)

Rázová houževnatost v ohybu je schopnost dřeva absorbovat energii nárazovým ohybem, což často představuje houževnatost materiálu. Ze všech mechanických vlastností je rázová houževnatost v ohybu nejvíce ovlivněna vysokými teplotami tepelné modifikace, zejména pokud překročí 200 °C. Její pokles se dokáže přiblížit až k 40 % (Gaff a kol., 2019).

3.2.2.6 Průmyslové metody termické modifikace

Lze konstatovat, že všechny současné komerčně využívané technologie při výrobě nepoužívají žádné vysoko toxické nebo jinak ohrožující látky pro zdraví. Hlavním médiem v těchto procesech je teplo, které se vyskytuje v různých formách.

Rovněž výsledné charakteristiky produktů podstupujících termickou modifikaci se liší podle použité metody. Změna nebo výběr konkrétní technologie představuje prostředek k dosažení požadovaných vlastností, ať už jde o mechanické, fyzikální nebo estetické parametry.

V níže popsaných podkapitolách jsou rozebrány jednotlivé průmyslové metody termické modifikace.

3.2.2.6.1 Plato

Technologie Plato (z ang. Proving Lasting Advanced Timber Option) je odvozena z technologie nizozemské firmy Royal Dutch Shell, kdy vznikla jako vedlejší produkt při hledání nových možností využití přeměny biomasy na kapalné palivo. Vlastní proces výroby zahrnuje 4 fáze. První fáze zahrnuje hydrotermální ohřev v páře za teplot 150 °C–180 °C a tlaku 0,6–0,8 MPa po dobu 4–5 hodin. Dřevo do této fáze vstupuje s obsahem vlhkosti 14–20 %. Děje se tak v autoklávu. V druhé fázi se dřevo suší v sušárně na vlhkostní obsah 8–10 % pro následné vytvrzování. Doba sušení se pohybuje v rozmezí 5 dní až 3 týdnů. Během třetí fáze je dřevo vystaveno teplotě mezi 150 °C–190 °C za sucha po 12–16 hodin. Dřevo v této fázi opouští s vlhkostním obsahem menším než 1 %. V poslední, čtvrté fázi je dřevo klimatizováno na požadovanou úroveň vlhkosti 4–6 %. Dřevo technologie Plato se vyznačuje zpočátku světle až tmavě hnědou barvou (Obr. 7); při vystavení venkovním povětrnostním podmínkám však barvu ztrácí (Hill, 2006).



Obrázek 7: Platowood jako fasádový obklad, Hollandsche Rading, fraké (Platowood, 2024)

MOE dřeva Plato je až o 10 % vyšší než u nemodifikovaného dřeva, avšak MOR je snížena o 5–20 %. Tyto nižší ztráty pevnosti jsou důsledkem použitím relativně mírnějších podmínek procesu ve srovnání s technologiemi termické

modifikace dřeva. Rovnovážná vlhkosti je zde redukována o 30–40 % v závislosti konkrétní dřevině a přesných podmínkách procesu (Hill, 2006).

Mezi hlavní používané dřeviny patří smrk, topol a fraké. Využití nachází především jako fasádové obklady, zahradní nábytek, okenní rámy a dveře. Prodává se pod komerčním názvem PlatoWood® (Platowood B. V, 2024).

3.2.2.6.2 OHT

OHT je metoda vyvinutou německou firmou Menz Holz GmbH v roce 2000. Název metody znamená v překladu termická modifikace olejem (z ang. oil heat treatment). Princip metody, jak je již z názvu patrné, spočívá v termické modifikaci v prostředí oleje v autoklávu.

Používají se výhradně rostlinné oleje, a to řepkový, palmový, slunečnicový nebo lněný. Jejich pozitiva jsou relativně nízká cena a netoxičita. Olej u této metody slouží jako teplonosné médium, zároveň je také zaručena absence kyslíku. Teplota vlastního ohřevu se pohybuje mezi 180 °C–220 °C. S následujícími procedurami chlazení se celková doba procesu může zvýšit na 18 h (Hill, 2006).

Použití oleje slouží k rychlému a rovnoměrnému přenosu tepla. Výrobky metody OHT dosahují snížené meze hygroskopicity až o 14 % oproti nemodifikovanému dřevu. MOE termicky modifikovaného dřeva v prostředí oleje je přibližně o 10 % vyšší než při termické modifikaci v prostředí vzduchu za stejné teploty (Mania a kol., 2020 a).

3.2.2.6.3 Rétification, Le Bois Perdure

Rétification a Le Bois Perdure jsou metody termické modifikace vyvinuté ve Francii. Proces Rétification byl vyvinut v osmdesátých letech 20. století. Do procesu vstupuje vysušené dřevo na potřebou vstupní vlhkost 12 %. Samotný ohřev zde probíhá pozvolně v inertní atmosféře a dusíku za teplot 210 °C–240 °C (Vernois, 2000). Kyslík je přítomen v minimálním množství do 2 %. Modifikace zde probíhá v jedné fázi trvající mezi 18–24 hodinami (Sandberg a kol., 2017).

Do procesu Le Bois Perdure vstupuje dřevo v surovém, neupraveném vlhkostním stavu. Ohřev probíhá v nasycené vodní páře za teplot 200 °C–230 °C.

Páru produkuje dřevo během sušení (Vernois, 2000; Hill, 2006). Délka procesu činí 12–28 hodin (Sandberg a kol., 2017).

Dřevo vyrobené oběma procesy dosahuje snížené MOR až o 40 % oproti nemodifikovanému dřevu. Má rovněž sníženou mez hygroskopcity, při stabilizaci dosahuje za určitých podmínek kolem 4–5 % namísto 12 % u nemodifikovaného dřeva (Vernois, 2000).

3.2.2.6.4 ThermoWood

ThermoWood je patrně nejpoužívanější současná technologie termické modifikace. Byla vynalezena finskou společností VTT; v současnosti vlastněná sdružením Finnish Thermowood Association sdružujícím všechny výrobce pod patentovanou ochranou. Princip této modifikace spočívá v ohřevu hydrotermálnímu ohřevu dřeva v prostředí páry. Pára zde rovněž omezuje oxidační reakce, v důsledku její přítomnosti je obsah vzduchu během modifikace omezen na 3–5 %. Celý proces termické modifikace probíhá ve třech fázích. Zařízení pro celý proces termické modifikace je vyrobeno z nerezové oceli. V první fázi dřevo prochází vysokoteplotním sušením, kdy se pomocí tepla a páry se teplota v zařízení rychle zvýší na úroveň přibližně 100 °C. Dřevo do této fáze vstupuje buď v surovém vlhkostním stavu nebo již suché. Poté se teplota plynule zvyšuje na 130 °C, čímž se sníží obsah vlhkosti dřeva na přibližně 0 %, než začne fáze tepelného zpracování. Doba schnutí závisí na počáteční vlhkosti dřeva, druhu dřeva a tloušťce dřeva. Sušení je časově nejnáročnější fáze procesu tepelného zpracování (Hill, 2006).

V druhé fázi dřevo prochází vlastním ohřevem. Fáze tepelného zpracování začíná bezprostředně po fázi sušení při vysoké teplotě. Po dokončení sušení se teplota pece zvýší na 185–230 °C a udržuje se na cílové teplotě po dobu 2–3 hodin. Teplota a čas použité v tomto kroku závisí na požadované třídě termické modifikace (viz. Thermo-S a Thermo-D). Jak již bylo zmíněno, pára zde má funkci omezující oxidační reakce a snížení ostatních nežádoucích chemických reakcí. Technologie je vhodná jak pro listnáče, tak i jehličnany, s nutnou optimalizací pro každou dřevinu individuálně (Hill, 2006).

V poslední, třetí fázi dochází k ochlazení a klimatizování na konečnou požadovanou vlhkost. K ochlazení se používá systém postřiku vodou; když teplota

klesne na 80–90 °C. Poté dojde k opětovnému zvýšení vlhkosti a klimatizování dřeva na použitelnou úroveň mezi 4–7 %. V této fázi je nutno dbát zvýšené opatrnosti, aby byl teplotní pokles pozvolný. V závislosti na teplotě procesu a dřevině, fáze klimatizování trvá 5–15 hodin. Z dřevin se pro ThermoWood používá borovice, smrk, bříza a osika. Barva se při aplikacích dřeva v exteriéru typicky postupně mění, resp. šedne. Celý proces rovněž nepoužívá žádné chemicky toxické látky (Hill, 2006).

Produkce ThermoWoodu standartně tvoří dva výrobky a to Thermo-S a Thermo-D. U výrobku Thermo-S písmeno "S" znamená v překladu stabilita. Vyrábí poměrně mírným termickým zpracováním, má světle hnědou barvu a výbornou rozměrovou stabilitu. Bobtnání a sesychání v tangenciálním směru je redukováno na 6–8 % oproti nemodifikovanému dřevu. Většina jeho produkce pochází z jehličnatého dřeva. Teplota modifikace u Thermo-S činí 190 °C pro jehličnany resp. 185 °C pro listnáče (International Thermowood Association, 2003). Thermo-S je vhodný především pro interiérové aplikace (Tab. 5) (Obr. 8) a pro další výrobky 1. a 2. třídy ohroženosti dle ČSN EN 335 (2013) jak je uvedeno v Tab. 1 (Hill, 2006).

Tabulka 5: Použití Thermo-S (International Thermowood Association, 2003)

Thermo-S jehličnany	Thermo-S listnáče
nábytek	bytové zařízení
zahradní nábytek	nábytek
sauny	podlahy
dveře	konstrukce saun
okna	zahradní nábytek

U výrobku Thermo-D písmeno "D" znamená trvanlivost (Tab. 6). Jedná se o produkt intenzivnějšího termického zpracování. Je rozměrově stabilnější než Thermo-S, tmavší a vykazuje i vyšší stupeň odolnosti proti biologickému napadení (Obr. 9). Bobtnání a sesychání je v tangenciálním směru redukováno na 5–6 % oproti nemodifikovanému dřevu (International Thermowood Association, 2003;

Hill, 2006). Thermo-D má také vyšší biologickou odolnost, než jak je tomu u Thermo-S. Teplota modifikace u Thermo-D činí 212 °C pro jehličnany resp. 200 °C pro listnáče (International Thermowood Association, 2003; Hill, 2006).



Obrázek 8: Kombinace použití Thermo-S a Thermo-D (Lunawood, 2024)

Výrobky technologie ThermoWood vykazují značně sníženou MOR; u MOE dochází jen k malým změnám. Rovnovážná vlhkost je oproti nemodifikovanému dřevu redukována o 40–50 %. Tepelná vodivost je rovněž snížena o 20–25 % (International Thermowood Association, 2003; Hill, 2006). Je vhodný pro použití ve 1. až 3. třídě ohroženosti dle ČSN EN 335 (2013) jak je uvedeno v Tab. 1 (Hill, 2006).

Tabulka 6: Použití Thermo-D (International Thermowood Association, 2003)

Thermo-S jehličnany	Thermo-S listnáče
nábytek	bytové zařízení
zahradní nábytek	nábytek
sauny	podlahy
dveře	konstrukce saun
okna	zahradní nábytek



Obrázek 9: Terasa z Thermo-D (Lunawood, 2024)

3.2.2.7 Porovnání průmyslových metod termické modifikace

Jednotlivé průmyslové metody termické modifikace dřeva byly srovnány z hlediska jednotlivých podmínek. Pro přehlednost byly klíčové parametry uceleny do tabulky (Tab. 7).

Tabulka 7: Srovnání podmínek komerčně používaných termických modifikací (Sandberg a kol., 2017)

Technologie	Vstupní vlhkost [%]	Teplota [°C]	Doba trvání [h]	Tlak	Prostředí
PLATO	14–18	150–180	cca 150	atmosf.	pára
OHT	původní, 10	180–220	18	–	rostlinný olej
Rétification	12	210–240	18–24	–	dusík
Le Bois Perdure	původní	200–230	12–18	atmosf.	pára
ThermoWood	původní, 10	130/185–230/80–90	24–48/2–3/5-15	atmosf.	horký vzduch, pára

3.2.3 Chemická modifikace

Chemická modifikace dřeva probíhá tak, že dochází k chemické reakci činidla s polymerními složkami dřeva (ligninem, hemicelulózami nebo celulórou), což

vede k vytvoření stabilní kovalentní vazby mezi činidlem a buněčnou stěnou (Hill, 2006).

Chemická modifikace dřeva se provádí za účelem snížení hygroskopicity a s tím spojeném bobtnání a sesychání, rozměrové stability a snížení rovnovážné vlhkosti ve dřevě, čímž se dřevo stává méně přístupným pro napadení hnilobou a dřevokaznými houbami. Chemicky modifikované dřevo má podobné mechanické vlastnosti jako nemodifikované dřevo. Chemické látky ve složkách dřeva mohou působit a reagovat za vzniku nových chemických vazeb. Chemické látky se mohou dostat do dřevních lumenů nebo do buněčných stěn. Při vnikání chemických látek do buněčných stěn hovoříme o aktivní chemické modifikaci; zde se vlivem takových látek mění struktura dřeva. Pokud chemické látky pronikají do dřevních lumenů nebo buněčných stěn, avšak bez změny struktury dřeva, hovoříme o pasivní chemické modifikaci. U aktivní chemické modifikace se nejčastěji setkáváme s anhydridem kyseliny octové. U pasivní modifikace můžeme hovořit o furfuryl-alkoholových pryskyřicích, aminoplastech nebo izokyanátech (Hill, 2006).

Je důležité také brát v potaz ekologický aspekt procesu. Ačkoliv aplikované činidlo ve dřevu zabraňuje vstupu biologických činitelů, stále může být zátěží pro životní prostředí nebo zdraví člověka. Jako příklad může sloužit CCA modifikace založená způsobu impregnaci dřeva sloučenin chromu, mědi a arsenu v různém poměru. Z tohoto důvodu je modifikace CCA v mnoha státech zakázána a je určena pouze pro vnější aplikace (Morais a kol., 2021).

Během užívání výrobků z takto modifikovaného dřeva může vypadat nebezpečí jako malé, o to více se dokáže projevit na konci uživatelského cyklu při likvidaci nebo recyklaci. To lze samozřejmě řešit výběrem látky, která se v životním prostředí rychle rozkládá po uvolnění ze dřeva (Morais a kol., 2021).

Při impregnaci dřeva pryskyřicí je toho dosaženo omezením nebo uzavřením průtokových cest pro omezení pohybu vody v celé dřevní struktuře; dále "obalením" rozhraní buněčné stěny s lumenem pro omezení přístupu vody k místům, které, jí vážou v buněčné stěně; obsazení pórů v buněčné stěně, kde se nacházejí tato vazebná místa, pryskyřicí, které by jinak zaujala voda. Po vytvrzení pryskyřice ve dřevě dojde k jejímu zesíťování a zpevnění struktury dřeva. (Stefanowski a kol., 2018)

Principem impregnace dřeva se rozumí impregnace buněčný stěn dřeva chemickou látkou nebo kombinací takových látek, které poté reagují tak, že vytvoří materiál, který je následně pevně usazen do buněčné stěny. Aby k tomu došlo, je nutné, aby během impregnační fáze byla zajištěna přítomnost buněčné stěny pro impregnační látku. Rovněž molekulární složky impregnační látky by měly být dostatečně malé, aby mohly získat přístup do vnitřku buněčné stěny. K fixaci impregnační látky může dojít pomocí dvou hlavních mechanismů: impregnace dřeva monomerem či oligomerem s následnou polymerizací v buněčné stěně anebo difúzí rozpustného materiálu do buněčné stěny s následným ustálením tak, aby se materiál stal dále nerozpustným a zůstal v buněčné stěně. Impregnace je typem pasivního procesu modifikace dřeva, což znamená, že ačkoli jsou ovlivněny vlastnosti dřeva, nedochází k žádné změně v chemii materiálu jako takového (Hill, 2006).

Aby byla impregnační látka účinná, je nezbytné, aby v provozních podmínkách neunikala z buněčných stěn dřeva. Je rovněž nezbytné, aby impregnační látka byla netoxické povahy; tj. při likvidaci spalováním nebo kompostováním nebo v důsledku jakéhokoli recyklačního procesu neunikaly ze dřeva toxické látky ohrožující životní prostředí. Maximální průměr mikropórů buněčné stěny jsou řádově 2–4 nm, tyto rozměry se tedy dají považovat za horní hranici pro průnik impregnačních látek. Molekuly s větší tendencí tvořit–přerušovat vodíkové vazby jsou schopny nabobtnat buněčnou stěnu a vykazují rovněž větší penetrační schopnost. Kromě toho mohou být molekuly zavedeny do nosných kapalin, které nabobtnají buněčnou stěnu ve větší míře, než je schopna penetrační molekula samostatně. Velmi důležitým faktorem pro zajištění úplného pronikání buněčnou stěnou je poskytnout impregnačním molekulám dostatek času, aby se mohly rozptýlit v buněčných prostorech. Mnoho impregnací tedy trvá v rádech dnů až týdnů. Spolu s přístupností dřeva pro impregnační látku a času, kdy dochází k difúzi, hraje velkou roli i koncentrace impregnační látky (Hill, 2006).

Aby proniknutí s distribucí pryskyřice do struktury dřeva bylo rovnoměrné, musí se vzít do úvahy anatomie konkrétní dřeviny, oblasti jejího růstu, viskozita pryskyřice, způsob její aplikace, rozměr impregnovaného dřeva a vlhkost dřeva. Buněčnou stěnu tvoří střední lamela, tenká primární stěna a složená sekundární

stěna. Pryskyřice pronikající do buněčné stěny musí nejprve projít primární stěnou, která je například u listnáčů tlustá přibližně 0,1–0,2 μm , do sekundární stěny. Sekundární stěna se skládá z vrstvy S1 (0,1–0,3 μm), S2 (1–5 μm) a S3 (0,1 μm). Buněčné stěny jsou schopny přenášet plyny a polární kapaliny díky své mikroporézní struktuře s póry 1–80 nm. Velikost těchto pórů vzhledem k molekulám pryskyřice ovlivňuje penetraci. Póry buněčné stěny lze rozdělit na makropóry (>50 nm), mezopóry (2–50 nm) a mikropóry (<2 nm). Impregnační látka–pryskyřice musí být schopna získat přístup a proniknout až do sítě mikropórů. Tyto póry hrají klíčovou roli v chování dřeva včetně mechanických vlastností, stejně jako poréznosti a rozměrové stability (Stefanowski a kol., 2018).

Objem mezopórů a mikropórů se liší u bělového a jádrového dřeva i u jarního dřeva a letního dřeva. Zpočátku kapaliny vstupují do makropórů a poté dochází k difuzi do buněčné stěny přes mezopóry a mikropóry. U jádrového dřeva dochází k poklesu objemu mezopórů ve srovnání s bělovým dřevem, což lze přičíst akumulaci extraktivních látek při tvorbě jádrového dřeva. U jarního dřeva se rovněž vyskytuje více mezopórů než u letního, zatímco v letním dřevě je větší objem mikropórů. Při zvažování impregnace dřeva a penetrace buněčnou stěnou je tedy důležité zvážit, zda je dřevo celé bělové a jaký je podíl raného a pozdního dřeva. Stav buněčné stěny, ať nabobtnalý či smrštěný, má také vliv na strukturu buněčné stěny a následně pronikání impregnační látky. V plně nabobtnalém stavu je přijatelný maximální průměr mikropórů buněčné stěny 2–4 nm. Pro získání přístupu impregnační látky však musí být dřevo nejprve v nabobtnalém stavu, protože v suchém stavu se mikropóry zhroutí a nejsou přístupné pryskyřici (Stefanowski a kol., 2018).

Pro impregnaci dřeva pryskyřicí je doporučený obsah vlhkosti nižší než 30 %. Volná voda v lumenech nad bodem nasycení vláken má potenciál pryskyřici ředit a zabírá místo, čímž brání pryskyřici získat přístup do některých oblastí. Vlhkost v buněčné stěně otevírá póry a usnadňuje difúzi pryskyřice z lumenů do stěn. Pokud jsou samotné molekuly impregnační látky–pryskyřice moc velké, aby pronikly těmito mikropóry, stupeň penetrace a rozměrová stabilita zůstanou dřeva budou na nedostatečné úrovni (Stefanowski a kol., 2018).

3.2.3.1 Neformaldehydová modifikace

3.2.3.1.1 Acetylace

Proces acetylace spočívá v chemické modifikaci dřeva, které poté disponuje zlepšenými vlastnostmi, nebo zachovanými fyzikálními, mechanickými a biologickými vlastnostmi oproti nemodifikovanému dřevu. Při acetylaci dochází k reakci dřeva s anhydridem kyseliny octové při zvýšené teplotě 100–120 °C. Dochází zde k nahrazení hydroxylových skupin (–OH) v hemicelulózách; jedná se konkrétněji o esterifikaci těchto přístupných skupin v buněčné stěně za vzniku nových acetylových skupin kyseliny octové. Acetylace dřeva snižuje počet hydroxylových skupin (–OH), které mohou absorbovat vlhkost vodíkovou vazbou, čímž se do značné míry snižuje rovnovážný obsah vlhkosti a snížení meze hygroskopicity. Proto se s rostoucím přírůstkem hmotnosti zlepšuje rozměrová stabilita dřeva v důsledku reakce anhydridu kyseliny octové se dřevem. Stejně jako nemodifikované dřevo se acetylované dřevo skládá pouze z uhlíku, vodíku a kyslíku a neobsahuje žádné toxické složky. Lignin je zde nejreaktivnější složkou buněčné stěny během reakce acetylace (Mantanis, 2017).

Pokud jde o biologickou odolnost, existuje více faktorů vysvětlujících vysokou odolnost acetylovaného dřeva vůči napadení houbami. Například je zabráněno pronikání enzymů hnilob fyzickým zablokováním mikropórů buněčné stěny, kdy nejmenší enzym hnědé hniloby je příliš velký na to, aby pronikl buněčnou stěnou dřeva. Dále mechanismus odolnosti acetylovaného dřeva proti hnědé a bílé hnilobě je založen na omezení schopnosti dřeva absorbovat vlhkost, rovnovážná vlhkost modifikovaného dřeva je příliš nízká na to, aby podporovala napadení houbami; v místě glykosidické vazby není dostatek molekul vody, které enzymy hub potřebují k hydrolýze. Acetylované dřevo dosahuje snížení meze hygroskopicity na méně než 15 %, buněčná stěna se tak stává vysoce hydrofobní. V důsledku toho dochází ke snížení vlastností bobtnání a sesychání vlastností o 70 až 75 % při srovnání s nemodifikovaným dřevem. Buněčná stěna je vyplněna chemicky vázanými acetylovými skupinami, které zabírají místo v buněčné stěně a voda se nemá kde vázat. Acetylované dřevo je také velmi odolné vůči termitům.

Bylo prokázáno, že acetylované borovicové dřevo s vysokým obsahem anhydridu (s větším než 20 % přírůstkem hmotnosti WPG) poskytuje vynikající

odolnost proti napadení dřevokazným hmyzem i po 11 letech vystavení v terénu. Při tomto srovnání překonává borové dřevo impregnované pomocí metody CCA (Mantanis, 2017). Acetylované dřevo v současné době komerčně využívá společnost Accsys Technologies PLC v nizozemském Arnhemu. Prodává se pod komerčním názvem Accoya®Wood.

Nejvíce využívanými dřevinami jsou především druhy borovice. Biologická trvanlivost acetylovaného dřeva dosahuje nejvyšší třídy trvanlivosti vůči dřevokazným houbám dle normy ČSN EN 350 (2019) jak je uvedeno v Tab. 2, která odpovídá trvanlivým tropickým druhům teak, ipé nebo merbau (Mantanis, 2017). Acetylované dřevo se může z tohoto důvodu využít jako jejich substitute (Accsys Technologies PLC, 2020). Zároveň také Accoya®Wood spadá do prvních čtyř tříd použití ohrožení dřeva při používání dle normy ČSN EN 335 (2013) jak je uvedeno v Tab. 1 (Accsys Technologies PLC, 2020). Acetylace nemá žádný negativní vliv na pevnostní vlastnosti dřeva nemodifikovaného dřeva, ba dokonce zvyšuje tvrdost dřeva o 15 až 30 %. Dochází zde k hmotnostnímu příbytku dřeva WPG (z ang. weight percentage gain) mezi 16 až 19 % (Mantanis, 2017).

Za nevýhodu acetylovaného dřeva můžeme ovšem bezpochyby označit pořizovací cenu, která je na tuzemském trhu pro 1 m² terasového obkladu o více než 650 % vyšší oproti nemodifikovanému dřevu a o zhruba 500 % vyšší oproti termicky modifikovanému dřevu. U nemodifikovaného dřeva cena činí 649,- Kč (Hornbach Baumarkt cs s r.o., 2024) resp. pro Accoya®Wood 4899,- Kč (Asko, a.s., 2024) a termicky modifikovaný ThermoWood® 798,- Kč (Dřevoonline.cz a.s.; 2024).

Acetylované dřevo je dnes uváděno na trh jako "zelený" výrobek čili výrobek, který byl navržen tak, aby skýtal minimální dopad na životní prostředí. Dokáže mít dokonce výrazně nižší uhlíkovou stopu než výroba oceli nebo betonu. Accoya®Wood a obecně acetylované dřevo vykazuje negativní výsledky analýzy posuzování životního cyklu LCA (zkratka z ang. life cycle assessment) z hlediska emisí CO₂ v průběhu celého životního cyklu výrobku. Acetylované dřevo je dnes dostupné v mnoha zemích a jeho hlavní využití je pro venkovní okna a dveře, palubky, obklady a výstavbu především ve venkovním prostředí, ve styku nebo bez styku se zemí (Obr. 10) (Mantanis, 2017).



Obrázek 10: Exteriérové použití Accoya®Wood, Cambridge University (Chivers, 2023)

3.2.3.1.2 Furfurylace

Principem technologie furfurylace je impregnace dřeva furfurylalkoholovými pryskyřicemi. Furfurylalkohol ($C_5H_6O_2$) je organická sloučenina obsahující furan substituovaný hydroxymethylovou skupinou. Je nejčastěji vyráběn ze zemědělských odpadů biomasy, jako je cukrová třtina a kukuřičné klasy. Furfurylace dřeva se provádí za účelem zlepšení některých jeho fyzikálních, mechanických a biologických vlastností dřeva jako například odolnost vůči biologické degradaci, rozměrovou stabilizaci, odolnost vůči povětrnostním vlivům a tvrdosti (Mantanis, 2017).

Samotný proces modifikace probíhá v několika krocích. Po prvotní přípravě roztoku furfurylalkoholových pryskyřic spolu s katalyzátory dochází k impregnaci dřeva. Při impregnaci se dřevo napouští připraveným roztokem v prostředí vakua. Po dokončení impregnace se kapalná směs uzavře v lumenech a buněčných stěnách dřeva. Během tohoto kroku dochází k polymeraci chemických látek a reakcím roubování s polymerními složkami dřeva. Děj polymerizace furfurylalkoholu ve dřevě probíhá převážně dřevních lumenech a v buněčných stěnách. Vzniklý polymer, který je nyní trvale navázán ve dřevě, dále je stabilní, nerozpadá se a ani se nevyplavuje ze dřeva. Po impregnaci se dřevo zahřívá v důsledku procesu vytvrzování. Vytvrzovací komora je vyhřívána přímým vstřikováním páry, přičemž dosažená teplota závisí na zamýšlené aplikaci výrobku. Komora se během

vytvrzování chová jako uzavřený systém s výjimkou odvětrání plynů po ukončení cyklu. Konečné sušení dřeva v sušárně je nezbytné pro minimalizaci emisí a dosažení konečné, žádané vlhkosti (Mantanis, 2017).

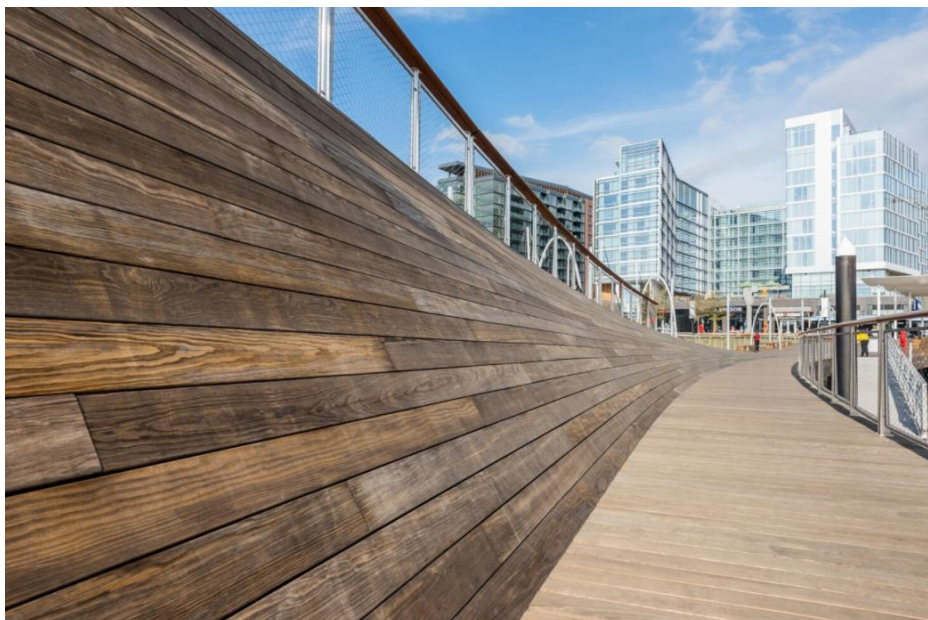
Jedna z největších firem zabývajících se průmyslovou výrobou furfurylovaného dřeva je norská společnost Kebony AS. Páteř její produkce tvoří dva typy furfurylovaného dřeva, a sice Kebony Clear[®] a Kebony Character[®]. Kebony Clear[®] vzhledem dokáže napodobit i tropické dřeviny. Impregnace zde probíhá v celém průřezu dřeva. Používá se nejčastěji dřevo borovice montereyské, borovice ježaté nebo javoru. Hmotnostní přírůstek (WPG) se oproti nemodifikovanému dřevu zde pohybuje v průměru kolem 35 % (Mantanis, 2017). Produkt Kebony Clear[®] je dobře rozeznatelný podle jemné kresby bez suků (Kebony AS, 2020).

Kebony Character[®] prochází nižším stupněm modifikace než Kebony Clear[®]. Obsahují viditelné suky a nemodifikované jádro. Vyrábí se nejčastěji ze dřeva borovice lesní; hmotnostní přírůstek (WPG) se zde pohybuje v průměru kolem 20 % (Mantanis, 2017). Kebony Character[®] by neměly být dále opracovávány, ani štípány, protože by se mohlo obnažit vnitřní nemodifikované, jádrové dřevo. Při řezání dřeva je doporučeno mít obnažené konce ošetřeny ochranným prostředkem na dřevo, pro zajištění následné ochrany (Kebony AS, 2020).

Všechna dřeva Kebony mají tmavě hnědou barvu, která se časem změní na stříbrošedou patinu. Rychlost tohoto procesu šednutí závisí na intenzitě vystavení dřeva vlivům prostředí, jako je slunce a déšť, v kombinaci s intenzitou způsobem použití. Je však možné zachovat původní, hnědou barvu výrobků, pravidelným používáním olejů proti UV záření. Proces furfurylace poskytuje dřevu znatelně vylepšenou stabilitu, maximální tvrdost a dlouhou životnost (Kebony AS, 2020). Furfurylované dřevo spadá do první třídy trvanlivosti vůči dřevokazným houbám dle normy ČSN EN 350 (2019), jak je uvedeno v Tab. 2. Mechanické vlastnosti dřeva, s výjimkou rázové houževnatosti v ohybu, jsou vylepšeny či při nejmenším zachovány. Furfurylované dřevo vyznačuje větší tvrdostí, MOE a MOR ve srovnání s nemodifikovaným dřevem, nicméně je také křehčí (Mantanis, 2017). Furfurylované dřevo vykazuje také velmi dobrou rozměrovou stabilitu a odolnost vůči abiotickým činitelům včetně slané mořské vody (Obr. 11) (Kebony US, 2024). Vede také k redukovanému bobtnání a sesychání až o 50 % (Sanberg a kol., 2017).

Furfurylované dřevo neobsahuje žádné zdraví nebezpečné toxiny ani chemikálie; je šetrné k životnímu prostředí, jde s ním tedy po konci svého životního cyklu nakládat jako s nemodifikovaným dřevem či materiály na bázi dřeva. Při jeho spalování se neuvolňovaly žádné těkavé organické sloučeniny ani polyaromatické uhlovodíky nad běžnou úroveň při spalování dřeva (Mantanis, 2017). Dřevo pro produkci Kebony AS se těží udržitelným způsobem z lesů s certifikátem FSC® (Kebony AS, 2020).

Furfurylované dřevo se používá na podlahy, zahradní nábytek, paluby lodní, palubky, střešní krytiny, obklady nebo dekorativní truhlářské výrobky (Kebony AS, 2020).



Obrázek 11: Rekreační molo, Kebony Character®, Washington D.C. (Forth, 2018)

3.2.3.1.3 DMDHEU

Perspektivní možnosti využití nabízí využití N-methylolových sloučeniny, jako je 1,3-dimethylol-4,5-dihydroxyethylenmočovina (DMDHEU), pro chemickou modifikaci dřeva. Tato sloučenina se používá primárně v textilním průmyslu jako povrchová úprava odolná proti mačkání látek. Očekává se od ní zvýšená odolnost dřeva vůči abiotickým činitelům. Díky schopnosti vyztužit buněčné stěny dřeva může rovněž zlepšit jeho rozměrovou stabilitu. Při chemické modifikaci impregnací DMDHEU zmenšuje sorpční vlastnost dřeva tím, že zabírá

prázdný prostor přítomný v buněčné stěně. Dřevo modifikované DMDHEU se vyznačuje zlepšenou hygroskopicitou ve srovnání s nemodifikovaným dřevem kvůli nárůstu hydroxylových skupin ligninu. MOE takového modifikovaného dřeva není ovlivněn, tvrdost dle Brinella je vyšší než u nemodifikovaného dřeva. Rázová houževnatost v ohybu je snížena. Dřevo impregnované DMDHEU je také odolné vůči termitům a mořským organismům (Gérardin, 2016).

3.2.3.1.4 Glyoxal

Díky své nízké toxicitě je glyoxal, nejjednodušší alifatická dikarboxylová sloučenina, potenciálně velmi dobrou náhradou za formaldehyd. Glyoxal může tak být součástí melamin-glyoxal-glutaraldehydových, melamin-glyoxalových a močovino-glyoxalových pryskyřic. Podobně jako DMDHEU, je jeho chemická impregnace dřeva průmyslově málo rozšířena (Chrobak a kol. 2022).

3.2.3.2 Fenol-formaldehydová modifikace

Pryskyřice na bázi formaldehydu CH_2O , známým také jako methanal nebo methylaldehyd, se vyrábí v celosvětovém měřítku pro řadu průmyslových použití. Téměř 70 % produkce formaldehydu se používá na syntézu pryskyřic na jeho bázi (Stefanowski a kol., 2018).

Fenol-formaldehydové (PF) pryskyřice se tvoří postupnými polymeračními reakcemi, které mohou být kyselé nebo zásadité. PF pryskyřice jsou tvořeny katalyzovanou kombinací fenolů z vyrobených z ropy a formaldehydu. Existují dvě její hlavní formy, a to rezoly a novolaky. Rezoly mají vysoký poměr formaldehydu k fenolu, 1,8:1 až 2:1. Novolaky vznikají kyselou katalickou reakcí. Přidáním tvrdidla se uvolňuje formaldehyd, který napomáhá tvorbě methylenových vazeb mezi molekulami. Mají relativně nízkou molekulovou hmotnost a interagují s hydroxylovými skupinami ve dřevě za vzniku nových vodíkových vazeb. V buněčné stěně plastifikují, zlepšují rozměrovou stabilitu, odolnost proti rozkladu způsobeným biologickými činiteli a mechanické vlastnosti. Rovněž disponují rychlým vytvrzením, tmavší barvou, odolností vůči hydrolýze, ale i relativně vysokou cenou (Stefanowski a kol., 2018).

Fenol-formaldehydové pryskyřice mají při spojení se dřevem vynikající a perspektivní zlepšující vlastnosti jako je odolnost proti vlhkosti, rozměrová stabilita nebo odolnost vůči biotickým činitelům včetně termitů. Fenol-formaldehydové pryskyřice zvyšují rozměrovou stabilitu tím, že pronikají při impregnaci až do buněčné stěny. Právě účinnost pryskyřice na celém procesu závisí. Pryskyřice disponuje změkčujícím účinkem, podobně jako pára nebo teplo, který plastifikuje buněčnou stěnu dřeva. V tomto změkčeném stavu umožňuje zhuštění dřeva (masivu či souboru dýh) za přítomnosti tepla nejen deformaci buněčných stěn bez porušení, ale také vytvrzení pryskyřice, zatímco je dřevo ve stlačené a zhutněné formě (Hill, 2006). Pryskyřice na bázi formaldehydu jsou primárně aminopryskyřice, které zahrnují pryskyřice, vytvořené, polymerizací aminu s aldehydy. Nejběžnějšími aminopryskyřicemi jsou: močovino-formaldehydové (UF), melamin-močovino-formaldehydové (MUF), fenol-formaldehydové (PF), fenol-močovino-formaldehydové (PUF) a melamin-formaldehydové (MF). Je důležité zdůraznit, že přesné chemické složení těchto pryskyřic se liší dle výrobce, nicméně obecné chemické složení zůstává konstantní. PF pryskyřice mají tendenci i barvit dřevo do červenohněda díky změně pH. Modifikované dřevo se také vyznačuje redukováním bobtnáním a sesycháním. Například dřevo impregnované PF pryskyřicí vykazuje zlepšenou odolnost proti rozkladu vůči houbám a podzemním termitům díky fyzickému blokování OH skupin v buněčné stěně (Stefanowski a kol., 2018). Formaldehyd má ovšem také široká zdravotní rizika, která jsou jeho hlavním problémem z hlediska širokého použití. Lidé mohou být vystaveni formaldehydu vdechováním jeho výparů nebo jeho mohou absorbovat kůží skrz kapalné produkty. Když se formaldehyd dostane do lidského těla, naváže se na enzymy obsahující železo ve formě kyseliny mravenčí a způsobuje buněčnou hypoxii. Vede také k tvorbě volných radikálů, které přispívají k rozvoji rakoviny. Jeho expozice je spojována s alergiemi, leukémií, rakovinou plic a rakovinou nosohltanu (Chrobak a kol., 2022).

3.2.3.2.1 Impreg

Impreg je kompozitní materiál na bázi dřeva připomínající překližku. Dýhy jsou nejprve máčeny ve vodném roztoku fenol-formaldehydové pryskyřice, poté

projdou procesy sušení a vytvrzování. Nejčastěji se zde tloušťka dých pohybuje kolem 8 mm. V poslední fázi se dýhy lisují do celku za následného lisování do jednoho dílu. Dřeviny pro výrobu Impregu se mohou použít takřka jakékoliv, kromě těch s vysokým obsahem pryskyřice. Impreg oproti nemodifikovanému dřevu disponuje zlepšenou odolností vůči vlhkosti a vzniku prasklin, dále vyšší tvrdostí, rozměrovou stabilitou, odolností vůči abiotickým činitelům, kyselinám a nižší elektrickou vodivostí. Impreg také dosahuje pouze čtvrtinových hodnot rovnovážné vlhkosti oproti nemodifikovanému dřevu. MOE je oproti nemodifikovanému dřevu zvýšen, MOR je snížena (Ibach, 2010). Impreg se používá pro různé dekorativní produkty, modely nebo formy (Anupoju, 2024).

3.2.3.2.2 Compreg

Compreg je materiál podobný Impregu. Soubor dých je zde ovšem po impregnaci fenol-formaldehydovou pryskyřicí lisován pod zvlášť vysokým tlakem. Soubor dých je takto lisováním zhuštěn (Obr. 12).



Obrázek 12: Izolátor elektrického vedení (Focus Technology Co., 2024)

Metoda spočívá v předlisování suchých, nevytvrzených dých impregovaných pryskyřicí v lisu při teplotě 90–120 °C. Takto stlačené desky se nařezou na a sestava dých se poté vloží do lisu ve formách o požadovaných rozměrech. Po zahřátí formy se dřevo zplastifikuje a pomalu zformuje. Materiál má ovšem tendenci se vracet to

původního stavu. Při pokračování zahřívání se pryskyřice vytvrzuje. Lisování probíhá pod zvlášť vysokým tlakem 10–25 MPa a teplotou 100–150 °C. V poslední fázi proběhne ochlazení, kdy je možné výrobek vyjmout z formy v ustálené podobě bez tendence se vracet do svého původního tvaru (Passauer, 2021).

Do souboru dých mohou být lisovány i kovové prvky, které poté zůstanou ve výrobku jako jeho součást. Mechanické vlastnosti zde dosahují zhruba dvakrát vyšších hodnot než u Impregu, schopnost bobtnání a sesychání je poté obdobná. Odolnost vůči kyselinám a elektrická vodivost je rovněž vyšší než u Impregu. Hodnoty tvrdosti značně přesahují hodnoty nemodifikovaného dřeva (až dvacetinásobně). Aby se dosáhlo téměř stejných vlastností ve všech směrech, dýhy jsou při výrobě k sobě lepeny křížem podobně jako překližky (Obr. 13) (Ibach, 2010).

Compreg byl vyvinut a zaveden do komerční výroby ve 40. letech 20. století. A v současnosti vyrábí po celém světě včetně USA, Velké Británie, Pákistánu a Indie pod různými komerčními značkami. K výrobě lze použít takřka jakoukoli dřevinu bez obsahu pryskyřice, podobně jako u výroby Impregu. Avšak často se zde setkáváme s dýhami z buku, javoru a břízy. Většina vlastností konečného produktu závisí především na vstupní tloušťce dých, obsahu pryskyřice, tlaku a teplotě než na konkrétní použité dřevině (Passauer, 2021).



Obrázek 13: Rukojeť nože z compregu (Knife Warehouse UK, 2024)

Dřívější použití compregu se však týkalo převážně v leteckém průmyslu, kde sloužil jako náhrada kovových prvků. Je dále vhodným materiálem tam, kde je třeba zajistit pevnost šroubů, jako například u spojovacích desek. Jeho použití pro vnější expozice je možné díky jeho odolnosti vůči abiotickým činitelům.

Compreg je také velmi užitečný pro tvářecí hliníkové formy, vrtací přípravky a přípravky pro upevnění dílů při svařování; využívá se v ozubených kolech, řemenicích, ložiskách, lopatek ventilátorů, trubek, cívek a sběračů. Také pro rozvodné skříně elektrického vedení, izolátorů, rukojetí náradí a nožů, základny a skříně přístrojů, hudebních nástrojů, elektrických izolátorů nebo rukojetí náradí a nožů (Ibach, 2010).

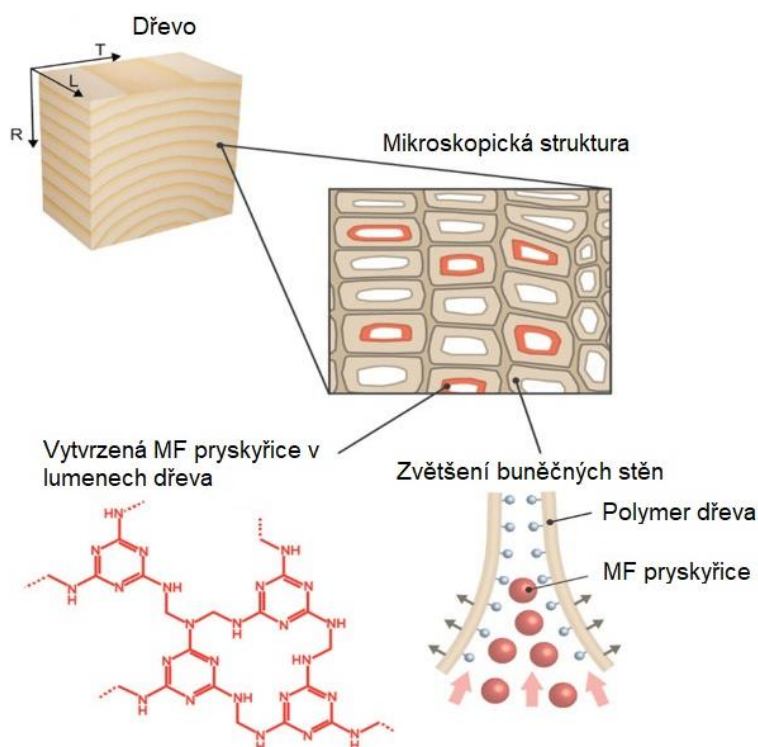
3.2.3.2.3 Močovino-formaldehydová modifikace (UF)

Jednou z nevýhod použití klasické PF pryskyřice je to, že se uvolňuje velké množství formaldehydu. Takové pryskyřice obsahují velká množství methylových skupin, které se často uvolňují, když je konečný produkt aplikován a vystaven vysoké teplotě a vlhkosti. Formaldehyd je polární a snadno reaguje s vodou, proto při vystavení vysoké vlhkosti produkt uvolňuje svůj volný, nenavázaný formaldehyd. Z tohoto důvodu se používá zachytávajícího aditiva pro volný formaldehyd. Močovina přidaná do PF pryskyřice (UF) je navržena tak, aby se chemicky vážala na přebytečný formaldehyd, který zbyl při vytvrzování. Močovino-formaldehydová pryskyřice (UF) se vyrábí kombinací močoviny $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ a formaldehydu, kdy tvoří rozvětvené a lineární polymery s trojrozměrným strukturou ve vytvrzené pryskyřici. Lze použít i další přísady, jako je amoniak, ale močovina je výhodná z hlediska ceny. Za její výhody lze kromě ceny považovat mikrobiální odolnost, odolnost vůči oděru a bezbarvost (Stefanowski a kol., 2018).

3.2.3.2.4 Melamin-formaldehydová modifikace (MF)

Melamin-formaldehydové pryskyřice (MF) jsou podobné složením jako UF pryskyřice, nýbrž močovina je zde nahrazena melaminem $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$. Vyznačují se dobrou odolností proti hydrolýze, ale také vyšší cenou, ale i pomalejší dobou

vytvrzení (Obr. 14). Používají především pro dekorativní lamináty, úpravu a potahování papíru. Přes jejich vyšší cenu je lze tyto použít v konvenčních kompozitech na bázi dřeva, často v kombinaci s UF, kdy jejich přítomnost přispívá ke snížení emisí formaldehydu (Chrobak a kol., 2022).



Obrázek 14: Vytvrzení MF pryskyřice ve dřevě (Dorieh a kol. 2022)

Impregnace dřeva MF pryskyřicemi dokáže také posloužit jako alternativa k toxické, chemické modifikaci CCA (Příloha 1).

Dřevo impregnované MF pryskyřicemi vykazuje redukováným bobtnáním a sesycháním, zlepšenou odolností vůči abiotickým činitelům, napadením termity, změnou barvy a napadením dřevokaznými houbami. Hmotnostní přírůstek WPG zde činí kolem 30 %, dochází také k zvýšení MOR až o 20 %, rázová houževnatost v ohybu je však značně snížena (Xie a kol., 2016). Dřevo impregnované MF pryskyřicemi dokáže také zvýšit tvrdost dřeva (Gindl a kol., 2004; Hansmann a kol., 2006). Takto impregnované dřevo lze použít při stavbě veřejných prostor, jako jsou stadiony, stanice metra, letiště a hotely (Xie a kol., 2016).

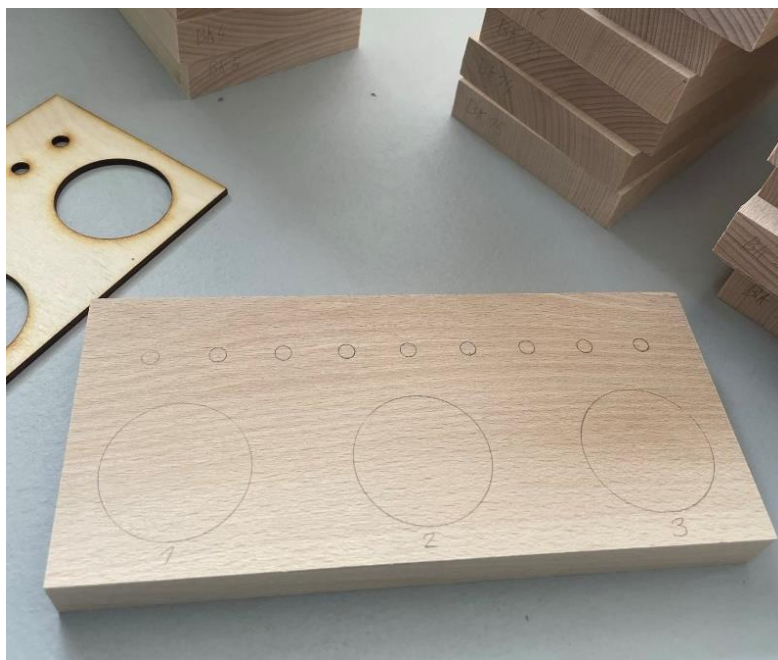
U melamin-močovino-formaldehydové pryskyřice (MUF) dochází ke kopolymerizaci močoviny a melaminu během výroby dávající pryskyřici výborné vlastnosti. Jedná se o kompromis mezi UF a MF z hlediska pevnosti a požizovacích

nákladů. Také disponuje dobrou odolností proti hydrolýze a nižšími náklady než MF pryskyřice. Dřevo impregnovaného PF, MF a UF pryskyřicemi vykazuje zvýšení MOR o 12–20 %, MOE je o 5–12% vyšší (Stefanowski a kol., 2018).

4 METODIKA

4.1 Příprava materiálu

Praktická část práce byla zrealizována na Fakultě lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity v Praze. Z dřevin byl použit buk lesní (*Fagus sylvatica*), dub letní (*Quercus robur*) a bříza bělokorá (*Betula pendula*). Z fošen bylo v truhlárně připraveno celkem 108 těles dřeva o rozměrech 30 × 90 × 200 mm (Obr. 15).

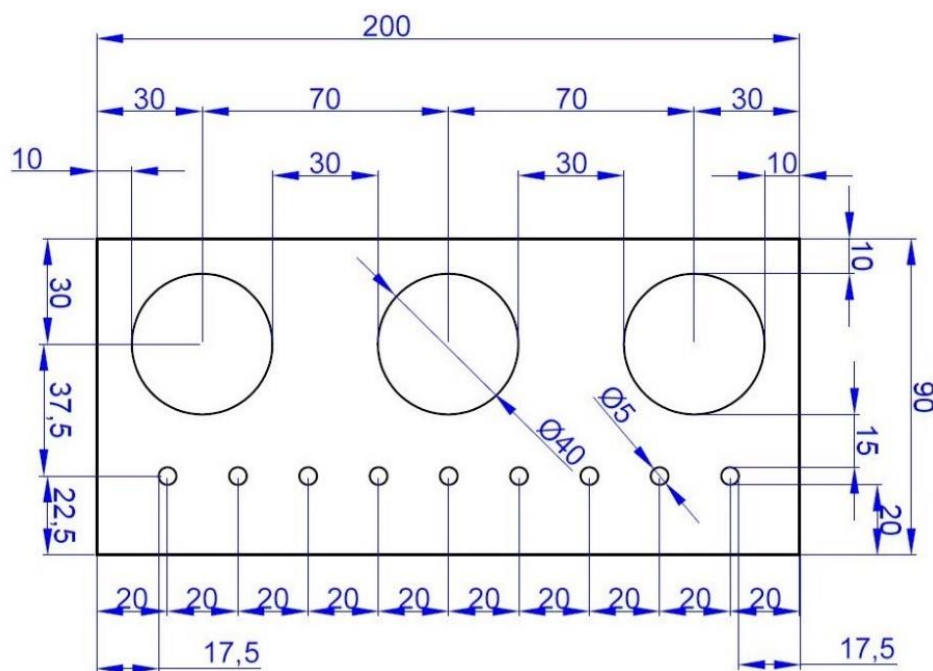


Obrázek 15: Zkušební tělesa (autor)

Tělesa byla připravena bez jakýchkoliv vad dřeva jako jsou suky nebo trhlíny. U 30 těles od každé dřeviny byla zjišťována tvrdost s barevnou změnou; 10 těles posloužilo jako dále nemodifikované, dalších 10 bylo termicky modifikováno a posledních 10 bylo mimo termické modifikace také chemicky modifikováno pomocí impregnace pryskyřicí.

Protože barevná změna s tvrdostí se měří na více místech tělesa, která jsou od sebe dostatečně vzdálena; je nutné tato místa předem stanovit a označit. Udělalo se tak tužkou podle vyrobené šablony. Pro měření tvrdosti byla vzdálenost jednotlivých míst definována normou ČSN EN 1534 (2020); na každý z tří způsobů úprav těles (nemodifikovaná, termicky modifikovaná, termicky modifikovaná a chemicky modifikovaná) bylo dle normy použito tři míst pro měření.

Pro měření barevné změny vzdálenost měřících míst není definována normou, nicméně pro každý způsob úpravy těles, musí měření být realizována na stejném místě. Měření tvrdosti tedy probíhalo celkově na devíti místech, měření barevné změny na třech. Všechna tělesa byla rovněž očíslována (Obr. 16).



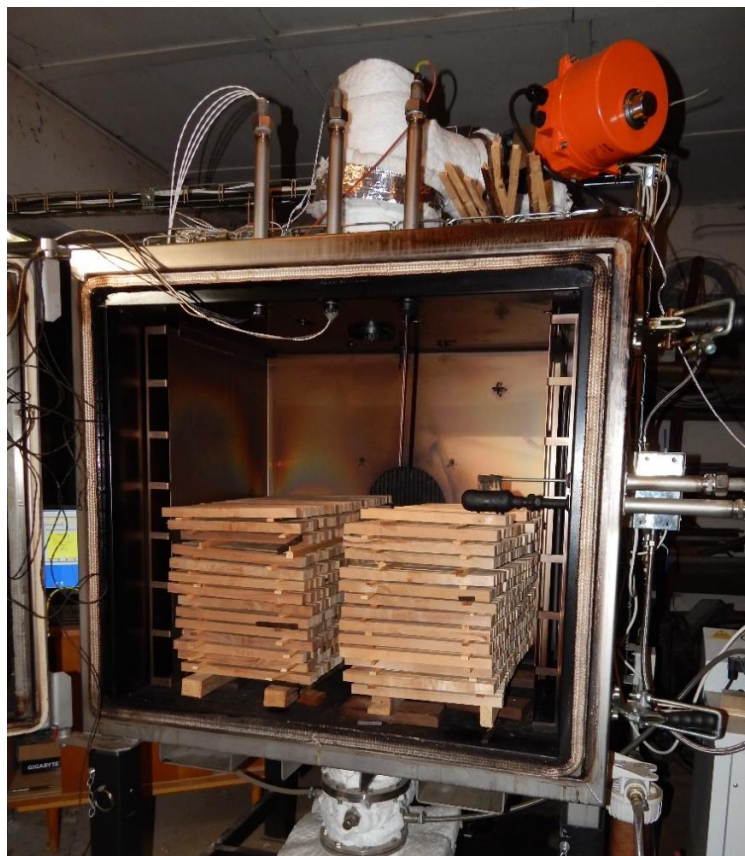
Obrázek 16: Umístění zkušebních míst (autor)

Ze zbývajících 18 těles bylo použito 6 od každé dřeviny pro zjišťování obsahu vlhkosti, bobtnání a sesychání. 2 tělesa od každé dřeviny nebyla modifikována, další 2 tělesa byly termicky modifikována a poslední 2 byla termicky a chemicky modifikována pryskyřicí.

4.1.1 Termická modifikace

Pro termickou modifikaci těles bylo zde využito detašovaného pracoviště fakulty v Kostelci nad Černými lesy, kde je umístěna termokomora LAC S400/03 (KATRES s.r.o.) (Obr. 17) pro termickou modifikaci. Termokomora není sériově vyráběným modelem, byla vyrobena přesně na zakázku pro potřeby fakulty.

Zkušební dřevěná tělesa použité v rámci této práce byla v termokomoře modifikována způsobem technologie ThermoWood za teploty 180 °C. Technické parametry o termokomoře jsou uvedeny v tabulce (Tab. 8).



Obrázek 17: Termokomora LAC S400/03 (autor)

Tabulka 8: Technické parametry termokomory Katres LAC S400/03

Technické parametry	
Vlhkost dřeva	12 %
Objem komory	380 l/ 0,38 m ³
Výkon	6 kW
Maximální teplota komory	300 °C
Vnitřní rozměry	800 × 800 × 600 mm

4.1.2 Chemická modifikace

Termicky modifikovaná tělesa byla chemicky modifikována pomocí impregnace melamin-formaldehydovou pryskyřicí MADURIT MW 840/75WA (Prefere Melamines GmbH) při 100 % koncentraci v tlakové impregnační komoře VTIZ 0,5 x 2 (VYVOS s.r.o.) (Obr. 18) pomocí vakuovo-tlakové metody. Technické parametry o impregnační komoře jsou uvedeny v Tab. 9. Bezpečnostní list pryskyřice je spolu s technickým listem pryskyřice uveden v příloze práce.



Obrázek 18: Tlaková impregnační komora VTIZ 0,5 x 2 (autor)

Tabulka 9: Technické parametry tlakové impregnační komory VTIZ 0,5 x 2

Technické parametry	
Rok výroby	2019
Maximální dovolený tlak	8 bar
Nejvyšší dovolená teplota	20 °C
Nejnižší dovolená teplota	5 °C
Vnitřní objem	400 l

Proces impregnace probíhal ve více krocích. Tělesa byla nejprve umístěna v nádobách z umělé hmoty určených k impregnaci; následně došlo k aplikaci melamin-formaldehydové pryskyřice na tělesa a celý soubor byl poté zatížen závažím. Tělesa v nádobách byla vložena do komory (Obr. 19), kde došlo k vytvoření podtlaku po dobu 10 minut, aby se pryskyřice dostala do pórů. Při tomto procesu hladina pryskyřice klesala, z důvodu vtažení pryskyřice podtlakem do pórů. Následně byla impregnační komora otevřena a do nádob s tělesy byla doplněna pryskyřice v takovém množství tak, aby všechna tělesa zůstala pod hladinou kapalně pryskyřice. Následovala hlavní impregnace po dobu 1 hodiny o tlaku 3 MPa. Po hlavní impregnaci se tlak snížil na atmosférický a tělesa byla vyjmuta z impregnační komory.



Obrázek 19: Zatížená tělesa v tlakové impregnační komoře (autor)

Tělesa se nechala okapat od pryskyřice a byla vložena do sušárny na 24 hodin při 50 °C. Dále následovalo vytvrzení při teplotě 100 °C po dobu 3 hodin. Vytvrzení proběhlo v sušárně SF110 (Mettert GmbH + Co. KG) (Obr. 20). Mezi jednotlivá tělesa byly vloženy proklady, aby vytvrzení proběhlo, co nejvíce rovnoměrně.



Obrázek 20: Impregnovaná tělesa v sušárně s proklady (autor)

4.2 Fyzikální vlastnosti

Na fyzikální vlastnosti dřeva bylo použito 18 těles o rozměrech $200 \times 90 \times 30$ mm. Pro účely zjišťování vlastností spjatých s absorpcí vody, byla tělesa nařezána na menší s rozměry $30 \times 20 \times 20$ mm. Poté byla tělesa tužkou očíslována a vložena do sušárny. Teplota v sušárně byla postupně zvyšována, aby nedošlo k popraskání těles, než dosáhla $103 \text{ }^\circ\text{C}$ (Obr. 21).



Obrázek 21: Sušení těles pro absolutně suchý stav (autor)

Délka sušícího procesu činila 30 hodin. V absolutně suchém stavu byla tělesa zvážena na laboratorní váze PCB 350-3 (KERN & SOHN GmbH). Následovalo změření tangenciální, radiální a podélné plochy spolu s přesným vyznačením místa měření. Pro měření bylo využito digitálního posuvného měřítka ICONIC Labo 150 mm, DIN 862, IP 67 (K-MET a. s.) (Obr. 22).

Po měření v absolutně suchém stavu byla tělesa vložena do nádoby z umělé hmoty a ponořena do destilované vody. Pro jistotu, aby nevyplavala a zůstala tak plně pod vodou, byla pečlivě zatížena gumovou rohoží (Obr. 23). Doba ponoření těles v destilované vodě činila 24 hodin.

V poslední řadě došlo k opětovnému zvážení a změření maximálně nabobtnalých těles na stejných, označených místech, kde byla změřena i v absolutně suchém stavu.



Obrázek 22: Digitální posuvné měřítko ICONIC Labo 150 mm (autor)



Obrázek 23: Nabobtnalá tělesa ponořená v destilované vodě (autor)

Pro stanovení hodnot bobtnání (α) a sesychání (β) byly použity vzorce 1–8 dle normy ČSN 49 0126 (1989):

Bobtnání v radiálním směru

$$\alpha_{r \max} = \frac{l_{r \max} - l_{r \min}}{l_{r \min}} * 100 [\%] \quad (1)$$

Bobtnání v tangenciálním směru

$$\alpha_{t \max} = \frac{l_{t \max} - l_{t \min}}{l_{t \min}} * 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

Bobtnání v podélném směru

$$\alpha_{a \max} = \frac{l_{a \max} - l_{a \min}}{l_{a \min}} * 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

Objemové bobtnání

$$\alpha_{v \max} = \frac{(l_{r \max} * l_{t \max} * l_{a \max}) - (l_{r \min} * l_{t \min} * l_{a \min})}{l_{r \min} * l_{t \min} * l_{a \min}} * 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

Sesychání v radiálním směru

$$\beta_{r \max} = \frac{l_{r \max} - l_{r \min}}{l_{r \max}} * 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

Sesychání v tangenciálním směru

$$\beta_{t \max} = \frac{l_{t \max} - l_{t \min}}{l_{t \max}} * 100 \text{ [%]} \quad (6)$$

Sesychání v podélném směru

$$\beta_{a \max} = \frac{l_{a \max} - l_{a \min}}{l_{a \max}} * 100 \text{ [%]} \quad (7)$$

Objemové sesychání

$$\beta_{v \max} = \frac{(l_{r \max} * l_{t \max} * l_{a \max}) - (l_{r \min} * l_{t \min} * l_{a \min})}{l_{r \max} * l_{t \max} * l_{a \max}} * 100 \text{ [%]} \quad (8)$$

l_{\min} - rozměr vysušeného tělesa [mm], l_{\max} - rozměr nabobtnalého tělesa [mm], l_r - rozměr radiální plochy [mm], l_t - rozměr tangenciální plochy [mm], l_a - podélný rozměr [mm].

Pro stanovení vlhkosti byl použit upravený vzorec 9, který vychází z normy ČSN 49 0104 (1988):

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100 \text{ [%]} \quad (9)$$

m_0 - hmotnost zkušebního tělesa po vysušení [g], m_1 - hmotnost zkušebního tělesa při vlhkostním ustálení v prostředí [g].

4.3 Barva

Před zjišťování barevné změny a tvrdosti byla všechna tělesa udržována v klimatizační komoře Climacell 707 (BMT Medical Technology s.r.o.) (Obr. 24). V klimatizační komoře bylo nastaveno prostředí, o teplotě 20 °C a vlhkosti vzduchu 65 %, které ustálilo rovnovážnou vlhkost dřeva na 12 %.



Obrázek 24: Klimatizační komora Climacell 707 (autor)

Měření barevné změny bylo realizováno v systému CIELAB, kde je barevný prostor tvořen třemi osami.

Osa L^* vyjadřuje světlost s hodnotami od 0 do 100. Osu a^* tvoří červeno-zelená osa, kdy záporné hodnoty směřují k zelené a kladné k červené. Osu b^* tvoří žluto-modrá osa, kde kladné hodnoty směřují ke žluté a záporné k modré (Bao a kol., 2020).

U všech těles včetně těch, která byla určena na pozdější modifikaci, byla změřena barevná změna na třech kruhových místech každého tělesa, vzdálených

mezi sebou od středů 70 mm. Pro měření bylo použito digitálního přenosného spektrofotometru CM-700D (Konica Minolta, Inc.) (Obr. 25).

Nejprve tak proběhlo u nemodifikovaných těles, poté na termicky modifikovaných i na termicky a chemicky modifikovaných pryskyřici. Bylo nutné měřit barevnou změnu ve stejných bodech z důvodu přesnosti srovnání před a po modifikaci. Místo pro měření barvy mělo průměr 40 mm, tedy stejný jako má měřicí hlavice s čočkou spektrofotometru. Naměřené hodnoty byly dále zpracovány pomocí softwaru Microsoft Excel.

Stanovení barevné změny ΔE^*_{ab} je definováno normou ČSN EN ISO/CIE 11664-4 (2020) dle vzorce 10:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}} [-] \quad (10)$$

ΔL^* - rozdíl hodnot světlosti na ose L^* [-], Δa^* - rozdíl hodnot na ose a^* [-], Δb^* - rozdíl hodnot na ose b^* [-].



Obrázek 25: Digitální přenosný spektrofotometr CM-700D (autor)

4.4 Tvrdost

Měření tvrdosti bylo realizováno Brinellovou metodou s použitím tvrdoměru DuraVision-30 (Struers) (Obr. 26). Tvrdost dřeva byla zjišťována nejprve na nemodifikovaných tělesech, dále na termicky modifikovaných a termicky a chemicky modifikovaných pryskyřicí. Tvrdost byla měřena na tangenciální rovině těles. Postup byl proveden v rámci normy ČSN EN 1534 (2020). Na každém měřeném tělese bylo vyznačeno devět kruhových míst o průměru 5 mm, středy kruhů byly od sebe zhotoveny ve vzdálenosti 20 mm.



Obrázek 26: Tvrdoměr DuraVision-30 (autor)

V případě měření tvrdosti u dubu (Obr. 27) byl tvrdoměr nastaven na počáteční vlačovací sílu 500 N, zatímco u buku a břízy síla činila 250 N. Vlačovací síla byla nastavená podle hustoty testovaného dřeva, aby byly výsledky tvrdosti co nejvíce přesné.



Obrázek 27: Zkušební těleso po měření tvrdosti (autor)

Naměřené hodnoty tvrdosti byly dále zpracovány vícefaktorovou analýzou rozptylu (ANOVA) s využitím Fisherova F – testu a 95 % hladinou spolehlivosti pomocí softwaru Statistica 13 (TIBCO Software Inc).

5 VÝSLEDKY A DISKUSE

Kapitola srovnává a popisuje naměřené výsledky formou grafů a tabulek. Naměřené výsledky jsou porovnávány s daty jiných autorů dostupnými v odborné literatuře.

5.1 Fyzikální vlastnosti

Z fyzikálních vlastností dřeva bylo zkoumáno jeho bobtnání, sesychání a vlhkost. Souhrn průměrných hodnot pro bobtnání je ucelen v Tabulce 10, pro sesychání je tak provedeno v Tabulce 11.

Tabulka 10: Průměrné hodnoty bobtnání dřeva

Dřevina	Způsob modifikace							
	Nemodifikované [%]		Termicky modifikované 180 °C [%]			Termicky modifikované + impregnované [%]		
Buk	$\alpha_{l \max}$	0,64	Buk	$\alpha_{l \max}$	0,51	Buk	$\alpha_{l \max}$	0,69
	$\alpha_{r \max}$	9,39		$\alpha_{r \max}$	8,98		$\alpha_{r \max}$	7,80
	$\alpha_{t \max}$	13,08		$\alpha_{t \max}$	9,32		$\alpha_{t \max}$	7,19
	$\alpha_{v \max}$	24,47		$\alpha_{v \max}$	19,72		$\alpha_{v \max}$	16,35
Dub	$\alpha_{l \max}$	0,95	Dub	$\alpha_{l \max}$	1,07	Dub	$\alpha_{l \max}$	0,81
	$\alpha_{r \max}$	6,56		$\alpha_{r \max}$	5,89		$\alpha_{r \max}$	4,54
	$\alpha_{t \max}$	6,81		$\alpha_{t \max}$	4,94		$\alpha_{t \max}$	4,42
	$\alpha_{v \max}$	14,90		$\alpha_{v \max}$	12,29		$\alpha_{v \max}$	10,05
Bříza	$\alpha_{l \max}$	0,93	Bříza	$\alpha_{l \max}$	0,87	Bříza	$\alpha_{l \max}$	0,51
	$\alpha_{r \max}$	8,71		$\alpha_{r \max}$	9,15		$\alpha_{r \max}$	6,79
	$\alpha_{t \max}$	8,92		$\alpha_{t \max}$	7,43		$\alpha_{t \max}$	6,80
	$\alpha_{v \max}$	19,50		$\alpha_{v \max}$	18,30		$\alpha_{v \max}$	14,63

Z tabulky lze vyvodit největší redukci objemového bobtnání u termicky modifikovaného dřeva buku oproti nemodifikovanému, a to o 19 %, následovaného dubem s 17 % a břízou s 6 %. Kombinace termické a chemické modifikace vedla k největší redukci u buku o 38 %, u dubu došlo k poklesu o 29 %, u břízy o 25 %.

Při kombinaci termické modifikace a chemické modifikace se jejich účinky na redukci bobtnání a sesychání doplňují. Termická modifikace mění chemickou strukturu dřeva, které je následně méně náchylné k absorpci vlhkosti, zatímco impregnace pryskyřicí dále zapouzdří buněčné stěny tak, že tím pomůže k omezení vnikání vody. Tento synergický efekt obou modifikací vede k výrazně zlepšené rozměrové stabilitě dřeva.

Chemickou modifikaci pomocí impregnace pryskyřicí nemodifikovaného dřeva břízy popisují Grinins a kol. (2018), kteří použili fenol-formaldehydovou pryskyřici namísto melamin-formaldehydové. Jejich výsledky korespondují s výsledky této práce a sice pozoruje redukci bobtnání díky impregnaci dřeva pryskyřicí. Stejnou skutečnost popisují u nemodifikovaného dřeva buku a břízy i Kupfernagel a kol. (2021), kteří modifikovali dřevo fenol-formaldehydovou pryskyřicí.

Tabulka 11: Průměrné hodnoty sesychání dřeva

Dřevina	Způsob modifikace							
	Nemodifikované [%]		Termicky modifikované 180 °C [%]			Termicky modifikované + impregnované [%]		
Buk	$\beta_{l \max}$	0,64	Buk	$\beta_{l \max}$	0,51	Buk	$\beta_{l \max}$	0,69
	$\beta_{r \max}$	8,56		$\beta_{r \max}$	8,18		$\beta_{r \max}$	7,17
	$\beta_{t \max}$	11,47		$\beta_{t \max}$	8,48		$\beta_{t \max}$	6,68
	$\beta_{v \max}$	19,59		$\beta_{v \max}$	16,42		$\beta_{v \max}$	13,97
Dub	$\beta_{l \max}$	0,94	Dub	$\beta_{l \max}$	1,04	Dub	$\beta_{l \max}$	0,80
	$\beta_{r \max}$	6,13		$\beta_{r \max}$	5,53		$\beta_{r \max}$	4,33
	$\beta_{t \max}$	6,36		$\beta_{t \max}$	4,68		$\beta_{t \max}$	4,22
	$\beta_{v \max}$	12,93		$\beta_{v \max}$	10,89		$\beta_{v \max}$	9,10
Bříza	$\beta_{l \max}$	0,92	Bříza	$\beta_{l \max}$	0,86	Bříza	$\beta_{l \max}$	0,50
	$\beta_{r \max}$	7,98		$\beta_{r \max}$	8,28		$\beta_{r \max}$	6,34
	$\beta_{t \max}$	8,17		$\beta_{t \max}$	6,89		$\beta_{t \max}$	6,35
	$\beta_{v \max}$	16,29		$\beta_{v \max}$	15,31		$\beta_{v \max}$	12,72

Z tabulky lze vyvodit největší redukci objemového sesychání u termicky modifikovaného dřeva buku oproti nemodifikovanému, a to o 16 %, následovaného

dubem s 15 % a břízou s 6 %. Kombinace termické a chemické modifikace vedla k největší redukci sesychání u dubu o 38 %, u buku se tak stalo o 28 % a u břízy o 22 %.

Voda v porézni dutinové struktuře dřeva interaguje prostřednictvím povrchových sil mezi buněčnými stěnami a dutinami-póry. Kapilárním působením se voda pohybuje v porézni struktuře dřeva, kterému napomáhají adhezni síly mezi kapalinou a pevným povrchem. Průtok kapalin kapilárním působením ovlivňuje velikost pórů a mezibuněčných prostor a jejich geometrie. Množství vody absorbované v dutinové struktuře úzce souvisí s hustotou dřeva, protože nižší hustota odpovídá většímu dutinovému objemu dostupnému pro kapalnou vodu (Thybring a kol., 2022).

Bobtnání rozlišujeme dle směru na radiální, tangenciální, podélné a objemové. Objemové bobtnání je dáno součtem tří předchozích. Hodnoty podélné bobtnání tuzemských dřevin zpravidla nepřesahují 1 %. Děje se tak z důvodu nemožnosti proniknutí molekul vody do fibril dřeva v jejich podélném spojení. Jejich odklon je v podélné ose buňky velmi malý, což neumožňuje změnu jejich polohy jako u radiálního a tangenciálního směru. Rozdíl v bobtnání mezi radiálním a tangenciálním směrem lze vysvětlit vlivem dřeňových paprsků, které bobtnají více do šířky, což je v tangenciálním směru.

Podobná mechanika platí i pro sesychání dřeva, která udává směr tuzemských dřevin podle jednotlivých anatomických směrů následovně: radiální směr $\beta_r = 3-6$ %; tangenciální směr $\beta_t = 6-12$ %; podélný směr $\beta_l = 0,1-0,6$ % (Požgaj a kol., 1997). Velikost sesychání dřeva závisí na faktorech, jako jsou: druh dřeviny, hustota, obsah extraktiv, délka tracheid, obsah ligninu, šířce letokruhů, nebo obsahu jarního a letního dřeva (Todorova a kol. 2023).

Skutečnost redukce bobtnání termicky modifikovaného dřeva břízy oproti nemodifikovanému uvádějí i Borůvka a kol. (2019) za teplot termické modifikace 170 °C a 190 °C. Při bobtnání v tangenciálním směru redukce oproti nemodifikovanému dřevu činila 12 % za teploty 170 °C a 31 % při 190 °C. Pokles bobtnání v radiálním směru poté činila 9 % resp. 26,6 %. Objemové bobtnání bylo sníženo při 170 °C sníženo o 13 % a za 190 °C o 31 %.

Z tabulky (Tab. 12) procentuální změny vlhkosti z absolutně suchého dřeva na maximálně nabobtnalé je patrná schopnost termicky modifikovaného dřeva, při plně nabobtnalém stavu, absorbovat menší množství vody. U termicky modifikovaného dřeva je tento jev jednou ze základních, požadovaných změn. Tento efekt je však ještě více umocněn u termicky a chemicky modifikovaného dřeva pryskyřicí. Právě kombinace obou modifikací dokáže omezit schopnost absorpce vlhkosti téměř o polovinu.

Z tabulky lze vyvodit největší redukci absorpce vlhkosti u termicky modifikovaného dřeva dubu oproti nemodifikovanému, a to o 27 %, následovaného břízou s 10 % a bukem s 9 %. Kombinace termické a chemické modifikace vedla k největší redukci absorpce vlhkosti u dubu o 47 %, u buku se tak stalo o 39 % a u břízy o 36 %.

Tabulka 12: Procentuální změna vlhkosti dřeva v absolutně suchém stavu a v maximálně nabobtnalém

Dřevina	Způsob modifikace		
	Nemodifikované [%]	Termicky modifikované 180 °C [%]	Termicky modifikované + impregnované [%]
	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>
Buk	64,95	59,17	39,55
Dub	58,44	42,61	30,82
Bříza	59,98	53,90	37,80

Tendence zhoršení schopnosti dřeva absorbovat vlhkost při termické modifikaci se zvyšující teplotou během procesu potvrzují u dřeva buku a břízy i Navickas a kol. (2013), kdy tento pokles pozorovali od teplot 130 °C do 220 °C.

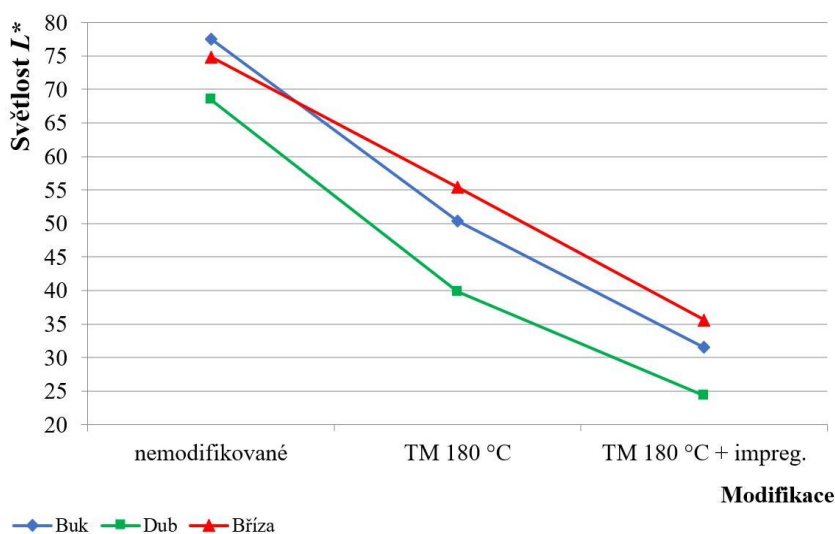
Snížení schopnosti absorbovat vlhkost lze odvodit od polymerované melamin-formaldehydové pryskyřice uvnitř buněčných stěn dřeva vyplňující volné mezibuněčné prostory, aby udržela buněčnou stěnu v trvale nabobtnalém, zesíleném stavu. Takto modifikované stěna poté snižuje možnost absorpce vody a snižuje obsah vlhkosti. Rovněž tvorba kovalentních vazeb s přístupnými hydroxylovými skupinami ve dřevě snižuje počet absorpčních míst pro vodu (Altgen a kol. 2020).

5.2 Technologické vlastnosti

5.2.1 Barevná změna

V rámci posuzování barevné změny v rámci byly srovnávány 3 parametry L^* , a^* , b^* . Jejich rozdílem v rámci druhů modifikace a následným součtem se stanoví barevná změna ΔE^*_{ab} . Podle osy světlosti L^* (Obr. 28) je dobře patrný její pokles, resp. ztmavnutí pro všechny 3 dřeviny. Termická modifikace spolu s chemickou modifikací způsobily oproti nemodifikovanému dřevu největší ztmavnutí u dubu o 64 % zatímco nejmenší nastalo u břízy 52 %. U buku tak činilo 60 %. V průměru u všech dřevin lze konstatovat o celkovém ztmavnutí 59 %. Pokles světlosti termicky modifikovaného dřeva břízy oproti nemodifikovanému dřevu činí 26 %. Hodnota světlosti u termicky modifikovaného dřeva buku klesla o 35 % oproti nemodifikovanému dřevu; termicky modifikované dřevo dubu dosáhlo poklesu světlosti o 42 %.

Borůvka a kol. (2019), kteří termicky modifikovali dřevo břízy při 180 °C, popisují pokles světlosti oproti nemodifikovanému dřevu o 27 %. Barčík a kol. (2015) při termické modifikaci březového dřeva při stejné teplotě dospěli k 12 % poklesu světlosti. Ulker (2023) při stejné teplotě termicky modifikoval dřevo jiného poddruhu buku, jenž je použit v této práci, buku východního (*Fagus orientalis*), shledal u termicky modifikovaného dřeva pokles světlosti o 20 %. Termicky modifikované dřevo dubu dosáhlo podle Barčíka a kol. (2015) snížení světlosti o 28 %.

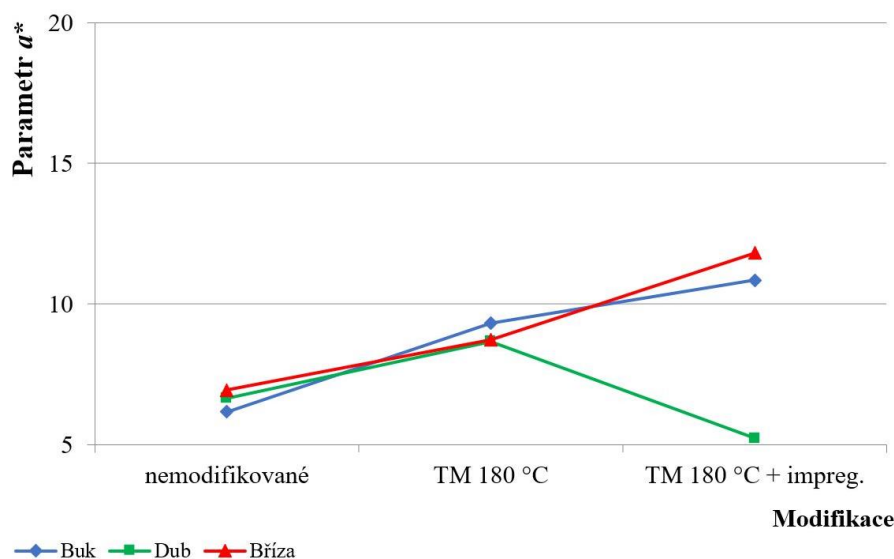


Obrázek 28: Změna parametru světlosti L^*

Na ose a^* (Obr. 29) směřují záporné hodnoty k zelené barvě, zatímco kladné k červené. U buku a břízy lze pozorovat stejný trend růstu jak při termické modifikaci, tak při chemické modifikaci impregnací.

Obě hodnoty vzrostly průměrně o 73 %. Výjimku tvoří dub, který dosáhl při termické modifikaci stejných hodnot jako buk a bříza, nicméně po chemické impregnaci pryskyřicí u něj parametr a^* klesl o 21 % oproti své nemodifikované formě. U buku a břízy se dá tedy hovořit u příbytku červené spektrální složky barvy, kdežto u dubu o příbytku zelené složky. Termická modifikace způsobila nárůst parametru a^* u dřeva břízy o 26 % oproti nemodifikovanému dřevu. U dřeva dubu způsobila termická modifikace nárůst parametru a^* o 30 %. Termická modifikace u dřeva buku dokázala zvýšit parametr a^* o 51 %.

Borůvka a kol. (2019) popisují u termicky modifikovaného dřeva břízy nárůst parametru a^* o 42 % na rozdíl od nemodifikovaného dřeva. Barcík a kol. (2015) při termické modifikaci dřeva dubu dospěli k 5 % poklesu parametru a^* .



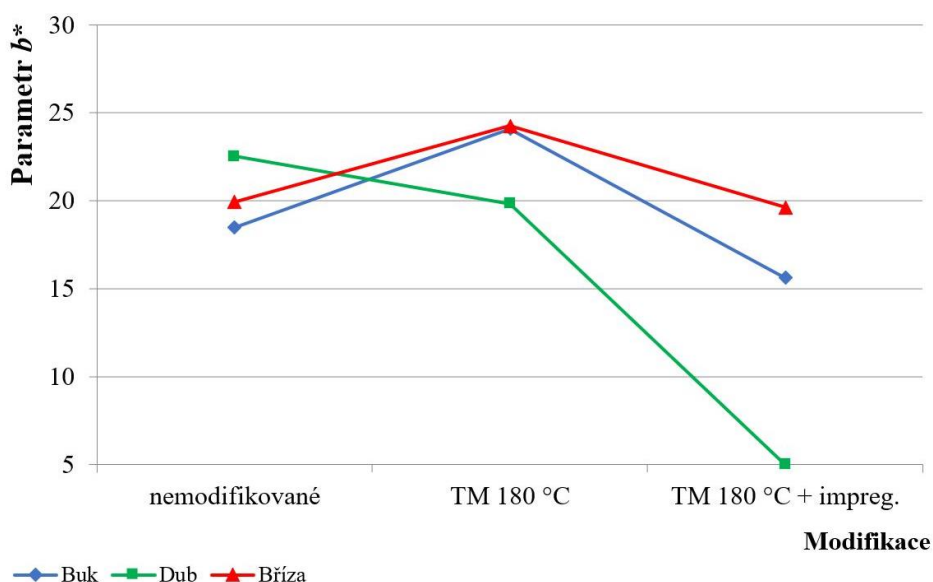
Obrázek 29: Změna parametru světlosti a^*

Na ose b^* (Obr. 30) směřují záporné hodnoty k modré barvě, zatímco kladné ke žluté. I zde je trend podobný jako u předchozího parametru a^* .

Při termické modifikaci zde buk s břízou dosáhnou takřka totožných hodnot. Ty se poté kombinací termické a chemické modifikace impregnací ustálí pro buk na 15,62 resp. na 19,62 u břízy. Dub dosáhne při termické modifikaci o 18 % nižších hodnot než buk s břízou, avšak v kombinaci s chemickou modifikací impregnací i

zde dochází k znatelnému poklesu na hodnotu 5. Z grafu je tedy patrné velmi malá celková změna u břízy po obou modifikacích. Hodnoty buku jdou lehce k zelené spektrální složce barvy a u dubu již k zelené výrazně. Termická modifikace způsobila nárůst parametru b^* u dřeva břízy o 22 % na rozdíl od nemodifikovaného dřeva. U dřeva buku lze konstatovat takový nárůst parametru b^* o 30 %. Při termické modifikaci dřeva dubu došlo k poklesu parametru b^* o 12 %.

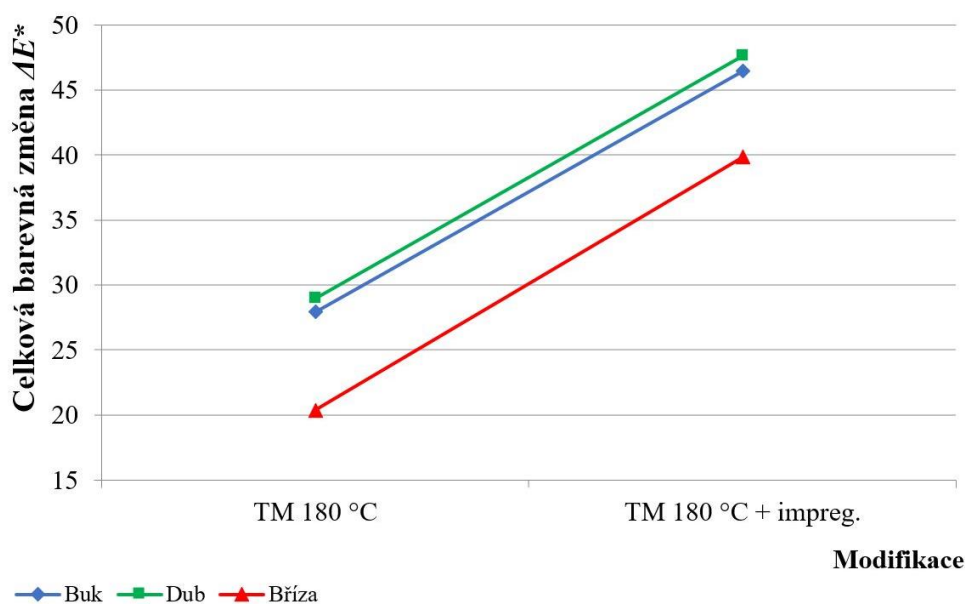
Borůvka a kol. (2019) dospěli u termicky modifikovaného dřeva břízy k nárůstu parametru b^* o 12 % proti nemodifikovanému dřevu; Barcík a kol. (2015) poté pojednávají o nárůstu 6 %. Ulker (2023) uvádí nárůst parametru b^* u termicky modifikovaného dřeva buku o 37 %. Barcík a kol. (2015) popisují pokles parametru b^* o 28 % u termicky modifikovaného dřeva dubu.



Obrázek 30: Změna parametru světlosti b^*

Podle celkové barevné změny (Obr. 31) lze konstatovat její výrazný růst v důsledku termické modifikace. Barevná změna byla rovněž ovlivněna důsledkem modifikované dřeviny. K větší barevné změně došlo u buku a dubu, které docílili podobných výsledků. Výrazně menší barevná změna byla poté zaznamenána u dřeva břízy. Naměřené hodnoty jsou uceleny do tabulky (Tab. 13). Trend celkové barevné změny termicky modifikovaného dřeva oproti nemodifikovanému potvrzují kromě Borůvky a kol. (2019), Barcíka a kol. (2015) a Ulkera (2023) i Sikora a kol. (2018), kteří termicky modifikovali dřevo dubu v rozmezí teplot 160–210 °C. Celková barevná změna po termické modifikaci dřeva břízy činila

20,37. Pro buk lze konstatovat celkovou barevnou změnu po termické modifikaci 27,91. U termicky modifikovaného dřeva dubu byla zaznamenána hodnota 28,98.



Obrázek 31: Celková změna parametru světlosti ΔE^*_{ab}

Tabulka 13: Průměrné hodnoty souřadnic barevného spektra L^* , a^* , b^* a barevné změny ΔE^*

Dřevina	Barevná změna										
	Nemodifikované			Termicky modifikované na 180 °C				Termicky modifikované + Impregnované			
	L^*	a^*	b^*	L^*_{TM}	a^*_{TM}	b^*_{TM}	ΔE^*_{TM}	L^*_{TM+I}	a^*_{TM+I}	b^*_{TM+I}	ΔE^*_{TM+I}
Buk	77,5	6,17	18,5	50,4	9,32	24,1	27,91	31,52	10,85	15,62	46,44
Dub	68,5	6,65	22,5	39,8	8,67	19,8	28,98	24,35	5,23	5	47,62
Bříza	74,8	6,94	19,9	55,4	8,74	24,3	20,37	35,62	11,82	19,62	39,82

Borůvka a kol. (2019) zjistili u termicky modifikovaného dřeva břízy barevnou změnu o 17 % vyšší, než jak je tomu uvedeno v této práci. Ulker (2023) uvádí hodnotu barevné změny termicky modifikovaného dřeva buku 16,48. Mírné odlišnosti mezi hodnotami mohou být způsobeny modifikací jiným poddruhem buku. Barčík a kol. (2015) popisují hodnotu barevné změny termicky modifikovaného dřeva dubu o 66 % menší, než jak je tomu uvedeno v této práci.

Chemická modifikace dřeva pryskyřicemi ještě více umocňuje jeho barevnou změnu způsobenou termickou modifikací. Použitý typ melamin-formaldehydové pryskyřice v této práci disponuje výrazně zásaditými hodnotami pH (10–11) (Příloha 2). Chemická modifikace dřeva v zásaditém prostředí vede k barevné změně dřeva na červeno-hnědou (Furuno a kol., 2004).

5.2.2 Tvrдост

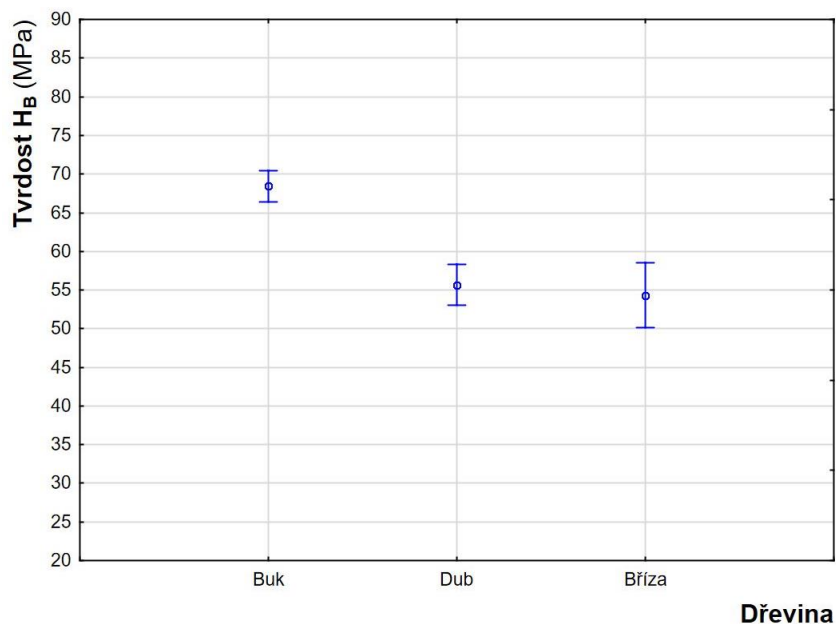
V Tabulce 14 je uvedeno statické vyhodnocení tvrdosti měřeného Brinellovou metodou (H_B).

Vyhodnocení bylo provedeno vícefaktorovou analýzou rozptylu. Všechny zkoumané faktory jsou individuálně statisticky významné na hladině významnosti 0,05. Údaje menší než 0,05 jsou tedy statisticky významné a jsou označeny červenou barvou. Na základě analýzy rozptylu lze tedy konstatovat, že statisticky významnými parametry ovlivňující tvrdost dřeva jsou: dřevina, modifikace a jejich vzájemná synergie.

Tabulka 14: Statistické vyhodnocení tvrdosti H_B

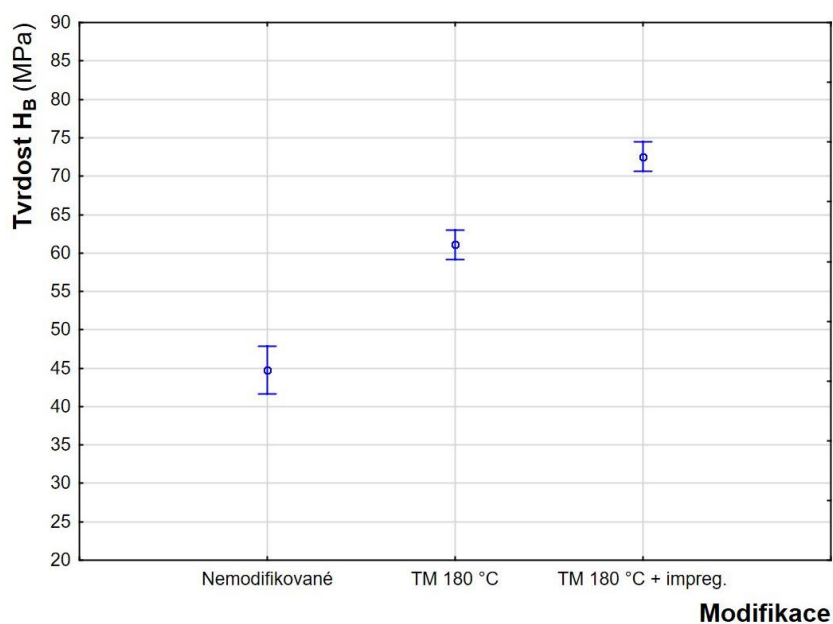
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův F – test	Hladina významnosti
Intercept	955114,0	1	955114,0	14452,14	0,000000
Dřevina	10979,4	2	5489,7	83,07	0,000000
Modifikace	35011,2	2	17505,6	264,88	0,000000
Dřevina * Modifikace	6199,1	4	1549,8	23,45	0,000000
Chyba	17249,0	261	66,1		

Hodnoty tvrdosti pouze pro jednotlivé druhy zjišťovaných dřevin popisuje následující graf (Obr. 32). Průměrná hodnota tvrdosti pro buk je nejvyšší z dřevin, činí přibližně 68 MPa. Hodnoty pro dub a břízu jsou podobné: pro dub 55 MPa resp. 54 MPa pro břízu. Obecná hodnota tvrdosti je tedy pro buk o 26 % vyšší než pro břízu.



Obrázek 32: Statistická závislost tvrdosti na dřevině

Oproti tomu zohlednění hodnot tvrdosti pouze pro jednotlivé modifikace dřeva včetně popisuje graf (Obr. 33). Faktor dřeviny zde není zohledněn. Nejnižší průměrnou hodnotu tvrdosti dosáhlo nemodifikované dřevo a to 44 MPa, termická modifikace tvrdost zvýšila na 61 MPa a kombinace termické modifikace a chemické modifikace impregnací tvrdost ještě zvýšila na přibližně 72 MPa. Lze konstatovat, že termická modifikace zvýšila tvrdost dřeva o 36 %. Kombinace obou modifikací tvrdost nemodifikovaného dřeva zvýší takřka o 62 %.

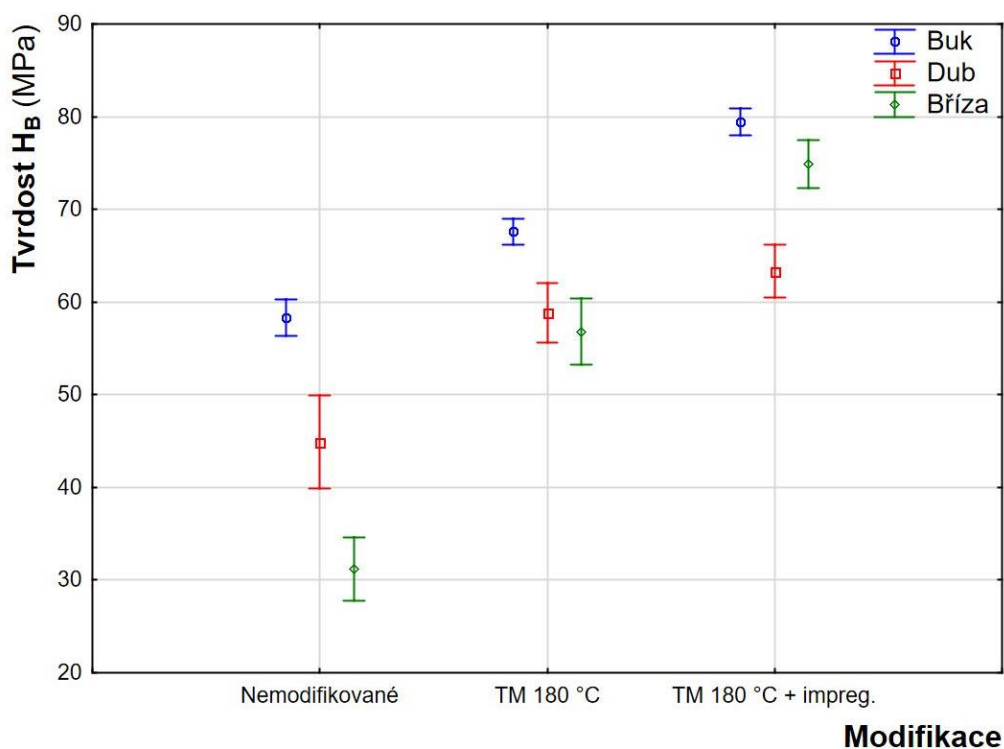


Obrázek 33: Statistická závislost tvrdosti na modifikace

Zjištěné hodnoty tvrdosti jak pro všechny dřeviny, tak i pro modifikace, jsou uvedeny v grafu (Obr. 34). Data z grafu jsou ucelena do tabulky (Tab. 15). Největší rozdíly hodnot tvrdosti mezi jednotlivými dřevinami lze pozorovat u nemodifikovaného dřeva. Zde největší rozdíl činí mezi dřevem břízy a buku, hodnoty buku jsou o 87 % vyšší než břízy a o 30 % oproti dubu.

U termicky modifikovaného dřeva se hodnoty tvrdosti u břízy a dubu příliš neliší, u dubu jsou zhruba o 3 % vyšší; hodnoty buku jsou zde větší o 15 % než u dubu. Nejvyšších hodnot dosazuje termicky a chemicky modifikované dřevo. Při kombinaci obou modifikací lze výjimečně pozorovat vyšší hodnoty tvrdosti u dřeva břízy než u dubu, při předchozích variantách úprav dřeva tomu tak bylo naopak: hodnoty břízy jsou v průměru o 18 % vyšší než u dubu. Hodnoty tvrdosti buku jsou zde zhruba o 25 % vyšší než u dubu.

Hodnoty tvrdosti dřeva závisí kromě použité metody také na dané dřevině, její anizotropii, heterogenitě a hygroskopicitě (Kocovic a kol., 2022). Jsou také závislé na hustotě dřeva (Mania a kol., 2020 b). Sydor a kol. (2022) také zjistili větší tvrdost nemodifikovaného dřeva buku než břízy Brinellovou metodou. Také Hauptmann a kol. (2015) pojednává vyšší tvrdosti dubu v porovnání s břízou.



Obrázek 34: Statistická závislost tvrdosti na modifikaci a druhu dřeviny

Tabulka 15: Průměrné hodnoty tvrdosti pro bukové, dubové a březové dřevo

Dřevina	Tvrdość dle Brinella H _B					
	Nemodifikované		Termicky modifikované na 180 °C		Termicky modifikované na 180 °C + impregnované	
	průměr (MPa)	variační koeficient (%)	průměr (MPa)	variační koeficient (%)	průměr (MPa)	variační koeficient (%)
Buk	58,32	8,98	67,60	5,49	79,46	4,75
Dub	44,90	29,97	58,81	14,59	63,32	12,00
Bříza	31,18	29,70	56,81	16,97	74,89	9,27

Že termicky modifikované dřevo může dosáhnout větší tvrdosti uvádí i vlastník metody ThermoWood®, Finnish Thermowood Association (2003). Zvýšení tvrdosti termicky modifikovaného dřeva na tangenciální ploše buku a břízy oproti nemodifikovanému dřevu popisují i Borůvka a kol. (2018) s nižší teplotou procesu termické modifikace 165 °C.

Nárůst tvrdosti termicky modifikovaného dřeva břízy oproti nemodifikovanému dřevu popisují i Poncsák a kol. (2006). Při výzkumu použili jiný poddruh břízy, břízu papírovitou (*Betula papyrifera*). Termicky modifikované dřevo zde vykazovalo nárůst tvrdosti do teplot vyšších než 220 °C. Vtlačovací síla tvrdoměru zde činila 400 N.

Vyšší hodnoty tvrdosti u dřeva buku a dubu lze vysvětlit v jejich větší hustotě v porovnání s břízou. Právě od hustoty se odvíjí i mechanické vlastnosti dřeva. Dřevo je heterogenní a komplexní přírodní materiál. Jeho změny mechanických a odvozených technologických vlastností jsou obecně spojeny s rozdíly v hustotě dřeva vázanými na podíl letního dřeva, vlákny nebo tloušťku stěn tracheid. U dřeva listnáčů jsou tyto vlastnosti vázány na počet a velikosti cév (Purba a kol., 2021).

Výsledky nárůstu tvrdosti impregnovaného dřeva potvrzuje rovněž i výrobce použité MF pryskyřice (Příloha 1). V technickém listu konkrétního typu pryskyřice uvádí nárůst tvrdosti dřeva spolu se zlepšenou protipožární odolností v případě aplikace většího množství pryskyřice.

6 ZÁVĚR

Diplomová práce se věnovala zjištění vlivu termické modifikace (metoda ThermoWood®) a chemické modifikace (pomocí impregnace) melamin-formaldehydovou pryskyřicí na dřevo buku, dubu a břízy s následným zjištěním jeho fyzikálních a technologických vlastností.

Na základě měření byl zjištěn vliv termické modifikace na fyzikální vlastnosti dřeva, kdy modifikované dřevo vykazovalo redukované hodnoty u všech fyzikálních vlastností. Tento vliv je však ještě více umocněn následnou chemickou modifikací pomocí impregnace. Termická modifikace dokáže také zvýšit tvrdost dřeva v závislosti na použitých podmínkách modifikace. Termicky modifikované dřevo se oproti nemodifikovanému vyznačuje změněnou tmavší barvou. Chemická modifikace dřeva pryskyřicí dokáže ještě více přispět k větší tvrdosti dřeva v porovnání s termicky modifikovaným dřevem. Termicky modifikované dřevo také dokáže více ztmavnout s v kombinaci s chemickou modifikací pryskyřicí.

Výsledky měření fyzikálních a technologických vlastností jsou důležité při aplikací materiálů ve vnějším prostředí (obklady, terasy, ploty, zahradní nábytek) i ve vnitřním prostředí (sauny, koupenny, bazény). Výsledky diplomové práce mohou posloužit jako zdroj poznatků při návrhu takových materiálů, které mohou kombinovat výhody termické a chemické modifikace. Výsledky práce také mohou přispět k stále probíhajícímu výzkumu v oblasti vlastností chemické modifikace dřeva melamin-formaldehydovou pryskyřicí.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- ACCSYS TECHNOLOGIES PLC. Accoya® Wood Information Guide [online]. 2020, [2024–1–29]. Dostupné z: https://www.accoya.com/app/uploads/2020/04/Accoya_WoodInfoGuide-1.pdf
- ALTGEN, M.; ALTGEN, D.; KLÜPPEL, A.; RAUTKARI, L. Effect of curing conditions on the water vapor sorption behavior of melamine formaldehyde resin and resin-modified wood [online]. *Journal of Materials Science* 55, 2020, s. 11253–11266. [cit. 2024–3–22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04814-0>
- ANUPOJU, S. Different Types of Industrial Timber – Uses and Properties [online]. *The Constructor* [2024–1–30]. Dostupné z: <https://theconstructor.org/building/types-industrial-timber-uses-properties/17346/>
- ASKO, a.s. [2024–1–29]. Dostupné z: <https://www.drevar.cz/>
- BARCÍK, Š.; GAŠPARÍK, M.; RAZUMOV, E. Effect of temperature on the color changes of wood during thermal modification [online]. *Cellulose Chemistry and Technology* 49(9–10), 2015, s. 789–798. [cit. 2024–3–22]. Dostupné z: <https://tinyurl.com/283y26wz>
- BI, Z.; YUAN, J.; MORRELL, J. J.; YAN, L. Effects of extracts on the colour of thermally modified *Populus tomentosa* Carr [online]. *Wood Science and Technology* 55, 2021, s. 1075–1090. [cit. 2024–2–29]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00226-021-01304-7>
- BORŮVKA, V.; DUDÍK, R.; ZEIDLER, A.; HOLEČEK, T. Influence of Site Conditions and Quality of Birch Wood on Its Properties and Utilization after Heat Treatment. Part I—Elastic and Strength Properties, Relationship to Water and Dimensional Stability [online]. *Forests* 10(2), 2019, s. 189. [cit. 2024–3–22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f10020189>

BORŮVKA, V.; ZEIDLER, A.; HOLEČEK, T.; DUDÍK, R. Elastic and Strength Properties of Heat-Treated Beech and Birch Wood [online]. *Forests* 9(4), 2018, s. 197. [cit. 2024-3-22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f9040197>

BRIMSTONE Ltd. [2024-3-7]. Dostupné z: <https://brimstonewood.co.uk/>

CABRAL, J. P.; KAFLE, B., SUBHANI, M.; REINER, J.; ASHRAF, M. Densification of timber: a review on the process, material properties, and application [online]. *Journal of Wood Science* 68(20), 2022, s. 24, [2024-1-31]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s10086-022-02028-3>

CIRULE, D.; SANSONETTI, E.; ANDERSONE, I.; KUKA, E.; ANDERSONS, B. (a). Enhancing Thermally Modified Wood Stability against Discoloration [online]. *Coatings* 11(1), 2021. [cit. 2024-2-29]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/coatings11010081>

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of Wood. In *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Madison: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 2010, s. 508. ISBN 1484859707

ČSN 49 0104 (1988). *Skúšky vlastností rasteného dreva. Metóda zisťovania nasiakavosti a navlhavosti*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1988, 8 s.

ČSN 49 0126 (1989). *Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania napúčavosti*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1989, 20 s.

ČSN EN 335 (2013). *Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva—Třídy použití: definice, aplikace na rostlé dřevo a na výrobky na bázi dřeva*. Praha: Český normalizační institut, 2013, 20 s.

ČSN EN 350 (2019). *Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Zkoušení a klasifikace odolnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva proti biologickým činitelům*. Praha: Český normalizační institut, 2019, 60 s.

ČSN EN 1534 (2020). *Dřevěné podlahoviny-Stanovení odolnosti proti vtisku-Metoda zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, 2020, 16 s.

ČSN EN ISO/CIE 11664-4 (2020). *Kolorimetrie-Část 4: Kolorimetrický prostor CIE 1976 L*a*b**. Praha: Český normalizační institut, 2020, 24 s.

DORIEH, A.; POUR M. F.; MOVAHED, S. G.; PIZZI, A.; SELAKJANI, P. P.; KIAMAHALLEH, M. V.; HATEFNIA, H.; SHAHAVI, M. H.; AGHAEI, R. A review of recent progress in melamine-formaldehyde resin based nanocomposites as coating materials [online]. *Progress in Organic Coatings* 165, 2022. [cit. 2024–3–26]. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106768>>

DŘEVOONLINE.CZ a.s. [2024–1–29]. Dostupné z: <<https://www.drevoonline.cz>>

ESTEVEES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: A review [online]. *BioResources* 4(1), 2009, s. 370-404. [cit. 2024–2–29]. Dostupné z: <doi.org/10.15376/biores.4.1.370-404>

FOCUS TECHNOLOGY Co., Ltd. [2024–1–31]. Dostupné z: <<https://www.made-in-china.com/>>

FORTH, K. D. Largest Kebony installation in Washington waterfront project [online]. Woodworking Network CCI Media LLC, 2018 [2024–1–29]. Dostupné z: <<https://www.woodworkingnetwork.com/news/woodworking-industry-news/largest-kebony-installation-washington-waterfront-project>>

FREY, M.; WINDER, D.; SEGMEHL, J. S.; CASDORFF, K.; KEPLINGER, T.; BURGERT, I. Delignified and Densified Cellulose Bulk Materials with Excellent Tensile Properties for Sustainable Engineering [online]. *ACS Applied Materials & Interfaces* 10(5), 2018, s. 5030–5037, [2024–1–31]. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1021/acsami.7b18646>>

FURUNO, T.; IMAMURA, Y.; KAJITA, H. The modification of wood by treatment with low molecular weight phenol-formaldehyde resin: a properties enhancement with neutralized phenolic-resin and resin penetration into wood cell walls [online]. *Wood Science and Technology* 37, 2004, s. 349-361. [cit. 2024–3–18]. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1007/s00226-003-0176-6>>

GAFF, M.; KAČÍK, F.; GAŠPARÍK, M. Impact of thermal modification on the chemical changes and impact bending strength of European oak and Norway spruce wood [online]. *Composite Structures* 216, 2019, s. 80-88. [cit. 2024–2–29].

Dostupné z: <<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.091>>

GÉRARDIN, P. New alternatives for wood preservation based on thermal and chemical modification of wood— a review [online]. *Annals of Forest Science* 73,

2016, s. 559–570. [cit. 2024–3–4]. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1007/s13595-015-0531-4>>

GINDL, W.; HANSMANN, C.; GIERLINGER, N.; SCHWANNINGER, M.; HINTERSTOISSER, B.; JERONIMIDIS, G. Using a Water-Soluble Melamine-Formaldehyde Resin to Improve the Hardness of Norway Spruce Wood

[online]. *Journal of Applied Polymer Science* 93(4), 2004, s. 1900-19007. [cit. 2024–3–29]. Dostupné z: <[10.1002/app.20653](https://doi.org/10.1002/app.20653)>

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. V. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. In *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Madison: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 2010, s. 508. ISBN 1484859707

GRININS, J.; IRBE, I.; BIZIKS, V.; RIZIKOVŠ, J.; BICKE, S.; MILITZ, H. Investigation of Birch Wood Impregnation with Phenol-Formaldehyde (PF) Resins. 9th European Conference on Wood Modification, Arnhem 17. - 18. září 2018 [cit. 2024–3–25]. Dostupné z: <<https://tinyurl.com/ynkfp9rd>>

HANSMANN, C.; DEKA, M.; WIMMER, R.; GINDL, W. Artificial weathering of wood surfaces modified by melamine formaldehyde resins [online]. *European Journal of Wood and Wood Products* 64, 2006, s. 198-203. [cit. 2024–3–29].

Dostupné z: <<https://doi.org/10.1007/s00107-005-0047-y>>

HAUPTMANN, M.; ALTMUTTER W. G.; HANSMANN C.; BACHER, M.; ROSENAU, T.; LIEBNER, F.; AMICO D. A.; SCHWANNINGER, M. Wood modification with tricine [online]. *Holzforschung* 69(8), 2015, s. 985-991. [cit. 2024–3–25]. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1515/hf-2014-0122>>

HILL, C. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. 1. vyd. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd, 2006. 239 s. ISBN 978-0-470-02172-9

HORNBACH BAUMARKT CS s r.o. [2024-1-29]. Dostupné z:

<https://www.hornbach.cz>

CHIVERS, R. Gripsture Accoya® product guide [online]. Gripsture, 2023 [2024-1-29]. Dostupné z:

https://www.barbourproductsearch.info/Gripsture_Accoya_Brochure-file134825.pdf

CHROBAK, J.; IŁOWSKA J.; CHROBOK, A. Formaldehyde-Free Resins for the Wood-Based Panel Industry: Alternatives to Formaldehyde and Novel Hardeners [online]. *Molecules* 27(15), 2022, s. 4862. [cit. 2024-3-8]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.3390/molecules27154862>

IBACH, R. E. Speciality Treatmens. In *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Madison: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 2010, s. 508. ISBN 1484859707

INTERNATIONAL THERMOWOOD ASSOCIATION. ThermoWood® Handbook [online]. Helsinki, 2003 [cit. 2024-2-28]. Dostupné z:

https://asiakas.kotisivukone.com/files/en.thermowood.palvelee.fi/downloads/tw_handbook_080813.pdf

KEBONY AS. Kebony Product Guide [online]. 2020 [2024-1-29]. Dostupné z:

<https://archiroots.blob.core.windows.net/storage/35be11f1-548b-497c-b093-31f8278841c8.pdf>

KEBONY US. [online]. 2024 [2024-1-29]. Dostupné z: <https://us.kebony.com>

KNIFE WAREHOUSE UK Ltd. [2024-1-31]. Dostupné z:

<https://www.knifewarehouse.co.uk/>

KOCOVIC, V.; DZUNIC, D.; KOSTIC, S.; BRZAKOVIC, L.; TADIC, B.; PRICA, M.; VUKELIC, D. Investigation into the Effects of Roller Pressing on Hardness, Roughness and Elastic Modulus of Wooden Workpieces [online].

Applied Sciences 12(11), 2022, s. 5575. [cit. 2024–3–25]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.3390/app12115575>

KUPFERNAGEL, C.; SPEAR, M.; PITMAN, A.; ORMONDROYD, G. Wood Modification with Phenol-Formaldehyde-Resin and its Influence on the Dimensional Stability of Homegrown and Imported Hardwoods. The 17th Annual Meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering, *Kaunas 14. - 158. října 2021* [cit. 2024–3–25]. Dostupné z:

<https://tinyurl.com/4fdthknv>

LUAN, Y., FANG, C. H.; MA, Y. F.; FEI, B. H. Wood mechanical densification: a review o processing [online]. *Materials and Manufacturing Processes* 37(4), 2022, s. 359–371, [2024–1–31]. Dostupné z:

[10.1080/10426914.2021.2016816](https://doi.org/10.1080/10426914.2021.2016816)

LUNAWOOD Ltd. [2024–3–7]. Dostupné z: <https://lunawood.com/>

MANIA, P.; GAŚIOREK M (a). Acoustic Properties of Resonant Spruce Wood Modified Using Oil-Heat Treatment (OHT) [online]. *Materials* 13(8), 2020, s. 1962. [cit. 2024–3–1]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma13081962>

MANIA, P.; WRÓBLEWSKI, M.; WÓJCIAK, A.; ROSZYK, E.; MOLIŃSKI, W (b). Hardness of Densified Wood in Relation to Changed Chemical Composition. *Forests* [online]. *Forests* 11(5), 2020, s. 506. [cit. 2024–3–25]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.3390/f11050506>

MANTANIS, G. I. Chemical Modification by Acetylation or Furfurylation: A Review of the Present Scaled–up Technologies [online]. *BioResources* 12(2), 2017, s. 4478–4489. [2024–1–28]. Dostupné z:

doi.org/10.15376/biores.12.2.Mantanis

MORAIS, S.; FONSECA, H. M. A. C.; OLIVIERA, S. M. R, OLIVIERA, H.; GUPTA, V. K.; SHARMA, B.; PERAIRA, M. D. L. Environmental and Health Hazards of Chromated Copper Arsenate–Treated Wood: A Review [online]. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(11).

2021, s. 5518 [2024–1–28]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.3390/ijerph18115518>

NAKAGAWA, T., POULIN, E., RUEPPEL, T.; CHEN, Z.; SWINEA, J.; O'BRIEN, M.; HOUSER, G.; WOOD, G.; WEINHEIMER, M.; BAHMANI, P.; STYNOSKI, P.; SALVIATO, M. Effects of thermal modification on the flexure properties, fracture energy, and hardness of western hemlock [online]. *Wood Science and Technology* 58, 2023, s. 109–133. [cit. 2024–2–29]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.1007/s00226-023-01511-4>

NAVICKAS, P.; ALBREKTAS, A. Effect of Heat Treatment on Sorption Properties and Dimensional Stability of Wood [online]. *Materials Science – Medžiagotyra journal* 19(3), 2013, [cit. 2024–3–22]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.5755/j01.ms.19.3.5239>

NGUYEN, T. H.; NGUYEN, T. T.; JI, X.; GUO, M. Predicting color change in wood during heat treatment using an artificial neural network model [online]. *Bioresources* 13(3), 2018, s. 6250–6264. [cit. 2024–3–1]. Dostupné z:

<https://10.15376/biores.13.3.6250-6264>

PASSAUER, L.; SCHUBERT, J.; SCHULZ, T.; FADE, P.; WEISS, B.; BUKHARDT, H. Artificial weathering of surfaces from laminated phenol–formaldehyde resin impregnated compressed wood: impact of top veneer type and overlay application [online]. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2021 [2024–1–31]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01648-0>

PLATOWOOD B. V. [2024-3-6]. Dostupné z: <http://www.platowood.com>

PONCSÁK, S.; KOCAEFE, D.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*) [online]. *Wood Science Technology* 40, 2006, s. 647–663. [cit. 2024–3–23].

Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00226-006-0082-9>

POŽGAJ, A; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva* 2. vyd. Bratislava: PRÍRODA, a.s., 1997. 488 s. ISBN 80–07–00960–4

PROPERTY CARE ASSOCIATION CLG. [2024–2–27]. Dostupné z:

<https://www.property-care.org/homeowners/advice/wet-rot>

PURBA, C. Y. C.; DLOUHA, J.; RUELLE, J.; FOURNIER, M. Mechanical properties of secondary quality beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) obtained from thinning, and their relationship to structural parameters [online]. *Annals of Forest Science* 78(81), 2021. [cit. 2024–3–26].

Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01103-x>

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

REINPRECHT, L.; REPÁK, M. Beech wood thermally modified in the melt of polyethylene glycol [online]. *BioResources* 17(1), 2022, s. 652–672. [cit. 2024–3–25]. Dostupné z: [10.15376/biores.17.1.652-672](https://doi.org/10.15376/biores.17.1.652-672)

SANDBERG, D.; KUTNAR, A.; MANTANIS, G. Wood modification technologies – a review [online]. *iForest–Biogeosciences and Forestry* 10(6), 2017, s. 895–908. [2024–1–28]. Dostupné z: doi.org/10.3832/ifer2380-010

SHI, J.; PENG, J.; HUANG, Q.; CAI, L.; SHI, S. Q. Fabrication of densified wood via synergy of chemical pretreatment, hot–pressing and post mechanical fixation [online]. *Journal of Wood Science* 66(5), 2020, s. 9. [2024–1–31].

Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s10086-020-1853-x>

SHUKLA, S. R. Evaluation of dimensional stability, surface roughness, colour, flexural properties and decay resistance of thermally modified *Acacia auriculiformis* [online]. *Maderas. Ciencia y tecnología* 21(4), 2019. [cit. 2024–3–1]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000401>

SIKORA, A.; KAČÍK, F.; GAFF, M.; VONDROVÁ, V.; BUBENÍKOVÁ, T.; KUBOVSKÝ, I. Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood [online]. *Journal od Wood Science* 64, 2018, s. 406–416. [cit. 2024–3–22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10086-018-1721-0>

STEFANOWSKI, B.; SPEAR, M.; PITMAN, A. Review of the use of PF and related resins for modification of solid wood [online]. *Timber*, 2018, s. 165-179. [cit. 2024–3–8]. Dostupné z: <https://tinyurl.com/fypk4vyr>

SWEDISH FOREST INDUSTRIES FEDERATION, Swedish Wood [2024–1–31]. Dostupné z: <https://www.swedishwood.com>

SYDOR, M.; PINKOWSKI, G.; JASIŃSKA A. The Brinell Method for Determining Hardness of Wood Flooring Materials [online]. *Forests* 11(8), 2020, s. 878. [cit. 2024–3–22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f11080878>

SYDOR, M.; PINKOWSKI, G.; KUČERKA, M.; KMINIAK, R.; ANTOV, P.; ROGOZIŃSKI, T. Indentation Hardness and Elastic Recovery of Some Hardwood Species [online]. *Applied Sciences* 12(10), 2022, s. 5049. [cit. 2024–3–22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app12105049>

THYBRING, E. E; FREDRIKSSON, M.; ZELINKA S. L.; GLASS S. V. Water in Wood: A Review of Current Understanding and Knowledge Gaps [online]. *Forests* 13(12), 2022, s. 2051. [cit. 2024–3–22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f13122051>

TODOROVA, O.; BARDAROV, N. Dependence on Shrinkage and Swelling in Chemical Composition and Anatomical Structure – An Overview [online]. *Inovation in Woodworking Industry and Engineering Design* (3), 2023, s. 25-30. [cit. 2024–3–22]. Dostupné z: <https://tinyurl.com/2htw683v>

ULKER, O. Properties of thermally modified Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Kazdağı fir (*Abies equi-trojani* Asch. et Sint.), and Eastern beech (*Fagus orientalis* Lipsky) [online]. *BioResources* 18(3), 2023, s. 5351-5367. [cit. 2024–3–22]. Dostupné z: [10.15376/biores.18.3.5351-5367](https://doi.org/10.15376/biores.18.3.5351-5367)

VERNOIS, M. Heat treatment of wood in France –state of the art [online]. *SP Swedish National Testing and Research Institute*, 2000, s 6. [cit. 2024-3-4]. Dostupné z: <https://tinyurl.com/2asva953>

VIDHOLDOVÁ, Z.; SLABEJOVÁ, G. Colour Stabilisation of Surface of Four Thermally Modified Woods with Saturated Water Vapour by Finishes

[online]. *Polymers* 13(19), 2021, s. 3373. [cit. 2024–2–29]. Dostupné z:
<<https://doi.org/10.3390/polym13193373>>

XIE, Y.; XU, J.; MILITZ, H.; WANG, F.; WANG, Q.; MAI, C.; XIAO, Z.
Thermo-oxidative decomposition and combustion behavior of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sapwood modified with phenol-and melamine-formaldehyde resins
[online]. *Wood Science and Technology* 50, 2016, s.1125–1143. [cit. 2024–3–18].
Dostupné z: <<https://doi.org/10.1007/s00226-016-0857-6>>

8 PŘÍLOHY

Seznam příloh

Příloha 1: Technický list pryskyřice (Prefere Melamines GmbH, 2019).....	2
Příloha 2: Bezpečnostní list pryskyřice (Prefere Melamines GmbH, 2021).....	5



Technical Data Sheet

® Madurit MW 840/75WA

Characteristics

Aqueous solution of a modified Melamine-Formaldehyde resin

Application

Solid wood impregnation

Supply form

Approx. 75% solution in water, colorless to slightly yellow

Specification

(referring to the day of delivery by the manufacturer)

	Unit	Value
<i>These technical data are determined by our Quality Control Laboratory for each production batch (lot) before release:</i>		
Non-volatile content (2g, 1h., 120°C, glass dish – flat type - acc. to DIN 12605, 3.5 cm diameter)	%	74 - 76
Dynamic viscosity DIN EN ISO 3219-B (23 °C)	mPa*s	350 - 750
pH value DIN 19260-64 (20 °C)		9.0 – 11.0
Specific gravity DIN 12791 part 1+3 (20 °C)	g/ml	1.245 – 1.260
Technical information <i>(not regularly determined)</i>		
Water tolerance DIN EN ISO 8989 (20 °C, deionized water)	ml/g	>25
Reactivity at 100°C +0.1% phosphoric acid 75%/solid resin	min.	18 – 35
Free Formaldehyde content DIN EN ISO 11402	%	< 0.2
Storage stability At 20 – 25 °C		approx. 2 months

Properties and application

Madurit MW 840/75WA is a modified melamine type resin with high reactivity that is used for impregnating natural wood products. The melamine resin penetrates the wood cell structures in the matrix and then crosslinks by acid catalysis with the cellulose in the wood. Through this reaction with the cellulose or by the formation of corresponding networks through self-condensation of the resin molecules, the hardened resin protects the wood from degradation and improves

dimensional stability and moisture resistance.

The impregnation provided improves resistance to degradation as tested according to EN standard 113 and 252. Thus, impregnation with Madurit MW 840 can provide a viable alternative to wood treatment with the toxic heavy metal salt solution(s) of Cr, Cu and As. Compared with other wood modification processes, treatment with melamine formaldehyde resin is less expensive, and minimizes color contribution of

the resin to the wood without damaging mechanical properties. Further, dimensional stability (swell and shrinkage) of the wood is improved by reduced moisture uptake.

By introducing larger amounts of resin, the hardness as well as the fire resistance of the wood is increased. The natural character of the wood, the influence of heart and sapwood and the conditions during wood storage should be considered before application.

Processing

Madurit MW 840 is processed from aqueous dilutions with a solids content of 10 to 40%. The impregnation is carried out in vacuum-pressure plants. Addition of acid catalyst is usually not necessary, since acidic groups promoting resin condensation are usually present in the wood. Because the wood partly gives off acids to the impregnation solution, a pH monitoring and a

possible correction must be performed after the impregnation process to improve the solution stability.

The drying of wood should be controlled in stages to minimize cracking of the wood and to avoid resin boiling. During the first 24 h, a temperature of 50 °C should not be exceeded; during the second drying phase, sufficient

condensation reaction of the resin in the wood must be ensured. If for technical reasons or to minimize discoloration of wood, a temperature of 100 °C is not reached, a check on whether the condensation reactions have sufficiently completed should be made, so that exceeding the limit of formaldehyde in the wood is avoided.

Storage

Madurit MW 840/75WA should be stored in closed containers made of polyester, PE, PP or stainless steel, if possible at 20-25 °C. Under these conditions, storage stability amounts to at least 2 months. During this time period, shifts in technical characteristics may occur caused by ageing effects.

If exposed to higher temperatures, the resin may become unusable even before reaching the storage life indicated above. Careful monitoring of stocks is therefore necessary especially during the summer months. The product is sensitive to low temperatures. At temperatures below 0 °C it becomes highly

viscous but reverts to its original viscosity on being heated to room temperature. Storage tanks must be designed in such a way that they can be emptied completely. Tanks should be cleaned carefully with warm water before being refilled

Work safety and environmental protection

Information about working safety and environmental protection are available in the safety data sheet.

This information is based on our present state of knowledge and is intended to provide general guideline for our products and their uses. It should not therefore be construed as guaranteeing specific properties of the products described or their suitability for a specific application. No legal liability shall be derived from it. Any existing industrial property rights must be observed. The quality of our products is guaranteed under our General Conditions of Sale.

In case of technical questions please contact: Prefere Melamines GmbH, Alt Fechenheim 34,
D-60386 Frankfurt am Main, Tel.: +49 69 4109 2040

In case of commercial questions please contact: Prefere Melamines GmbH, Alt Fechenheim 34,
D-60386 Frankfurt am Main, Tel.: +49 69 4109 2319

® registered trade mark
Issue: July 2019, replaces June 2011

BEZPEČNOSTNÍ LIST
podle nařízení (ES) č. 1907/2006



MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3	Datum revize: 06.10.2021	Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023	Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014
--------------	-----------------------------	--	---

ODDÍL 1: Identifikace látky/směsi a společnosti/podniku

1.1 Identifikátor výrobku

Obchodní název : MADURIT MW 840 75% WA
Kód výrobku : FG513

1.2 Příslušná určená použití látky nebo směsi a nedoporučená použití

Použití látky nebo směsi : Pojivo, Vytvzovací činidlo, Impregnační prostředek, Průmyslové použití, Ošetření textilu

1.3 Podrobné údaje o dodavateli bezpečnostního listu

Firma : Prefere Melamines GmbH
Alt Fechenheim 34
60386 Frankfurt am Main, Germany
Telefon : +49 69 4109 2319
Email osoby odpovědné za bezpečnostní list : reach-melamines@prefere.com

1.4 Telefonní číslo pro naléhavé situace

Emergency telephone number
(24 h / 365 d):
Europe: +49 6132 84463
(GBK ID 92706)
Rest of World: +1 352 323 3500
(GBK/Infotrac ID 92706)

ODDÍL 2: Identifikace nebezpečnosti

2.1 Klasifikace látky nebo směsi

Klasifikace (NAŘÍZENÍ (ES) č. 1272/2008)
Karcinogenita, Kategorie 1B H350: Může vyvolat rakovinu.

2.2 Prvky označení

Označení (NAŘÍZENÍ (ES) č. 1272/2008)

Výstražné symboly nebezpečnosti :



Signálním slovem : Nebezpečí
Standardní věty o nebezpečnosti : H350 Může vyvolat rakovinu.

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

pečnosti

Pokyny pro bezpečné zacházení : **Prevence:**
P201 Před použitím si obzarejte speciální instrukce.
P280 Používejte ochranné rukavice/ochranný oděv/ ochranné brýle/obličejový štít.
Opatření:
P308 + P313 PŘI expozici nebo podezření na ni: Vyhledejte lékařskou pomoc/ ošetření.
Skladování:
P405 Skladujte uzamčené.

Nebezpečné složky které musí být uvedeny na štítku:

Formaldehyd

Dodatečné označení

EUH208 Obsahuje Formaldehyd. Může vyvolat alergickou reakci.

Pouze pro profesionální uživatele.

2.3 Další nebezpečnost

Látka/směs neobsahuje složky považované buď za perzistentní, bioakumulativní a toxické (PBT), nebo za vysoce perzistentní a vysoce bioakumulativní (vPvB) v koncentraci 0,1 % či vyšší.

Ekologické informace: Látka/směs neobsahuje složky, o nichž se má za to, že mají vlastnosti vyvolávající narušení endokrinní činnosti podle REACH článku 57(f) nebo nařízení Komise (EU) s delegovanou pravomocí 2017/2100 nebo nařízení Komise (EU) 2018/605 při hladinách 0,1 % nebo vyšších.

Toxikologické informace: Látka/směs neobsahuje složky, o nichž se má za to, že mají vlastnosti vyvolávající narušení endokrinní činnosti podle REACH článku 57(f) nebo nařízení Komise (EU) s delegovanou pravomocí 2017/2100 nebo nařízení Komise (EU) 2018/605 při hladinách 0,1 % nebo vyšších.

ODDÍL 3: Složení/informace o složkách

3.2 Směsi

Chemická podstata : Melaminformaldehydová pryskyřice, alkylovaná

Speciální příměsi : Informace o obsahu volného formaldehydu: <= 0,19 %

Složky

Chemický název	Č. CAS Č. ES Č. indexu Registrační číslo	Klasifikace	Koncentrace (% w/w)
Melamin	108-78-1 203-615-4	Repr. 2; H361f	>= 1 - < 3

BEZPEČNOSTNÍ LIST
podle nařízení (ES) č. 1907/2006



MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

Methanol	67-56-1 200-659-6 603-001-00-X 01-2119433307-44	Flam. Liq. 2; H225 Acute Tox. 3; H301 Acute Tox. 3; H331 Acute Tox. 3; H311 STOT SE 1; H370 (Oči, Centrální nervový systém) specifický limit koncentrace STOT SE 1; H370 >= 10 % STOT SE 2; H371 3 - < 10 % Odhad akutní toxicity Akutní orální toxicitu: 300 mg/kg Akutní inhalační toxicitu (pára): 3 mg/l Akutní dermální toxicitu: 300 mg/kg	>= 1 - < 3
Formaldehyd	50-00-0 200-001-8 605-001-00-5 01-2119488953-20	Acute Tox. 3; H301 Acute Tox. 2; H330 Acute Tox. 3; H311 Skin Corr. 1B; H314 Eye Dam. 1; H318 Skin Sens. 1A; H317 Muta. 2; H341 Carc. 1B; H350 STOT SE 3; H335 specifický limit koncentrace Skin Corr. 1B; H314 >= 25 % Skin Irrit. 2; H315 5 - < 25 % Eye Irrit. 2; H319 5 - < 25 % STOT SE 3; H335 >= 5 % Skin Sens. 1A; H317 >= 0,2 % Odhad akutní toxicity Akutní orální toxicitu:	>= 0,1 - < 0,2

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

		100 mg/kg Akutní inhalační toxicitu (plyn): 100 ppm Akutní dermální toxicitu: 270 mg/kg	
--	--	---	--

Vysvětlení zkratk viz oddíl 16.

ODDÍL 4: Pokyny pro první pomoc

4.1 Popis první pomoci

- Všeobecné pokyny : Při úrazu nebo nevolnosti ihned přivolejte lékaře. Přežívají-li symptomy nebo existují jakékoli pochybnosti je nutno vyžádat si radu lékaře.
- Ochrana osoby poskytující první pomoc : Pokud může dojít k expozici, osoby poskytující první pomoc musí dbát na vlastní bezpečnost a používat doporučené prostředky osobní ochrany (viz bod 8).
- Při vdechnutí : Při nadýchání dopravte postiženého na čerstvý vzduch. Vyhledejte lékařskou pomoc.
- Při styku s kůží : V případě kontaktu okamžitě oplachujte kůži velkým množstvím vody a mýdlem. Odložte kontaminované oblečení a obuv. Vyhledejte lékařskou pomoc. Potřísněný oděv před novým použitím vyperte. Před novým použitím obuv pečlivě očistěte.
- Při styku s očima : Oči preventivně vypláchněte vodou. Pokud se vyvine a přetrvává podráždění, zajistěte lékařské ošetření.
- Při požití : Při požití: **NEVYVOLÁVEJTE** zvracení. Vyhledejte lékařskou pomoc. Vypláchněte ústa důkladně vodou.

4.2 Nejdůležitější akutní a opožděné symptomy a účinky

- Rizika : Může vyvolat rakovinu.
Může vyvolat alergickou reakci.

4.3 Pokyn týkající se okamžité lékařské pomoci a zvláštního ošetření

- Ošetření : Nasadte symptomatickou a podpůrnou léčbu.

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3	Datum revize: 06.10.2021	Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023	Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014
--------------	-----------------------------	--	---

ODDÍL 5: Opatření pro hašení požáru

5.1 Hasiva

Vhodná hasiva : vodní sprcha
Alkoholu odolná pěna
Oxid uhličitý (CO₂)
Hasicí prášek

Nevhodná hasiva : Není známo.

5.2 Zvláštní nebezpečnost vyplývající z látky nebo směsi

Specifická nebezpečí při hašení požáru : Produkty hoření mohou představovat zdravotní riziko.

Nebezpečné produkty spalování : Oxidy uhlíku
Oxidy dusíku (NO_x)
Formaldehyd

5.3 Pokyny pro hasiče

Zvláštní ochranné prostředky pro hasiče : Při požáru použijte izolační dýchací přístroj. Používejte vhodné ochranné prostředky.

Specifické způsoby hašení : Opatření při požáru mají odpovídat okolním podmínkám. Uzavřené nádoby ochlazujte rozprašováním vody. Pokud je to bezpečné, nepoškozené nádoby odstraňte z okolí požáru. Vyklidte prostor.

ODDÍL 6: Opatření v případě náhodného úniku

6.1 Opatření na ochranu osob, ochranné prostředky a nouzové postupy

Opatření na ochranu osob : Používejte vhodné ochranné prostředky. Dodržujte pokyny bezpečného nakládání (viz bod 7) a použijte doporučené prostředky osobní ochrany (viz bod 8).

6.2 Opatření na ochranu životního prostředí

Opatření na ochranu životního prostředí : Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Zabraňte dalšímu unikání nebo rozlití, není-li to spojeno s rizikem. Zamezte plošnému šíření (např. zahrazením nebo olejovou bariérou). Zachyťte a zneškodněte znečištěnou prací vodu. Při úniku značného množství látky, kterou nelze zachytit, by měly být informovány místní úřady.

6.3 Metody a materiál pro omezení úniku a pro čištění

Čistící metody : Nechejte vsáknout do inertního materiálu.

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3	Datum revize: 06.10.2021	Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023	Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014
--------------	-----------------------------	--	---

Jestliže dojde k rozlití velkého množství materiálu, vhodným způsobem ho zahradte, aby se nemohl šířit dále. Pokud lze materiál odčerpát, uchovejte jej ve vhodné nádobě. Zbytky rozlitého materiálu zachyťte vhodným absorbentem. Pro úniky a likvidaci tohoto materiálu, případně i materiálů a předmětů použitých při odstraňování úniků, mohou platit místní nebo celostátní předpisy. Je na vás, abyste si zjistili, které předpisy se na tento případ vztahují. Informace o některých místních nebo celostátních předpisech naleznete v částech 13 a 15 tohoto bezpečnostního listu.

6.4 Odkaz na jiné oddíly

Viz odstavce: 7, 8, 11, 12 a 13.

ODDÍL 7: Zacházení a skladování

7.1 Opatření pro bezpečné zacházení

- | | |
|-------------------------------|--|
| Technická opatření | : Viz bod Technická opatření v části OMEZOVÁNÍ EXPOZICE / OSOBNÍ OCHRANNÉ PROSTŘEDKY. |
| Místní/celkové větrání | : Pokud není k dispozici dostatečné větrání, použijte lokální ventilaci odváděných plynů. |
| Pokyny pro bezpečné zacházení | : Zabraňte styku s kůží nebo oděvem.
Nevdechujte páry nebo rozprášenou mlhu.
Nepožijte.
Zabraňte kontaktu s očima.
Manipulujte v souladu se správnými průmyslovými, hygienickými a bezpečnostními postupy a výsledky analýzy expozice na pracovišti.
Uchovávejte obal těsně uzavřený.
Zabraňte úniku materiálu, vzniku odpadu a minimalizujte vypouštění do životního prostředí. |
| Hygienická opatření | : Je-li při běžném používání pravděpodobná expozice chemickým mívům, zajistěte v blízkosti pracoviště systém k oplachování očí a bezpečnostní sprchy. Nejezte, nepijte a nekuřte při používání. Potřísněný oděv před novým použitím vyperte. |

7.2 Podmínky pro bezpečné skladování látek a směsí včetně neslučitelných látek a směsí

- | | |
|---|--|
| Požadavky na skladovací prostory a kontejnery | : Uchovávejte v řádně označených obalech. Skladujte uzamčené. Ponechávejte dobře uzavřené. Skladujte v souladu s příslušnými národními předpisy. |
| Pokyny pro skladování | : Neskladujte v blízkosti následujících produktů:
Silná oxidační činidla
Organické peroxidy
výbušniny
Plyny |

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

7.3 Specifické konečné / specifická konečná použití

Specifické (specifická) použití : Údaje nejsou k dispozici

ODDÍL 8: Omezování expozice / osobní ochranné prostředky

8.1 Kontrolní parametry

Mezní expoziční hodnoty pro pracoviště

Složky	Č. CAS	Typ hodnoty (Forma expozice)	Kontrolní parametry	Základ
Methanol	67-56-1	TWA	200 ppm 260 mg/m ³	2006/15/EC
		Další informace: Orientační, Poznámka 'pokožka' připojená k limitním hodnotám expozice na pracovišti označuje možnost závažného proniknutí pokožkou		
		PEL	250 mg/m ³	CZ OEL
		Další informace: Při expozici se významně uplatňuje pronikání faktoru kůží		
		NPK-P	1.000 mg/m ³	CZ OEL
		Další informace: Při expozici se významně uplatňuje pronikání faktoru kůží		
Formaldehyd	50-00-0	TWA	0,3 ppm 0,37 mg/m ³	2004/37/EC
		Další informace: Senzibilizace kůže, Karcinogenům nebo mutagenům		
		STEL	0,6 ppm 0,74 mg/m ³	2004/37/EC
		Další informace: Senzibilizace kůže, Karcinogenům nebo mutagenům		
		PEL	0,5 mg/m ³	CZ OEL
		Další informace: dráždí sliznice (oči, dýchací cesty), respektive kůži, karcinogen kategorie 1A a 1B (s větou H350, H350i), Látka má senzibilizující účinek (s větou H317, H334).		
		NPK-P	1 mg/m ³	CZ OEL
		Další informace: dráždí sliznice (oči, dýchací cesty), respektive kůži, karcinogen kategorie 1A a 1B (s větou H350, H350i), Látka má senzibilizující účinek (s větou H317, H334).		

Mezní expoziční hodnoty produktů rozkladu pro pracoviště

Složky	Č. CAS	Typ hodnoty (Forma expozice)	Kontrolní parametry	Základ
Formaldehyd	50-00-0	TWA	0,3 ppm 0,37 mg/m ³	2004/37/EC
		Další informace: Senzibilizace kůže, Karcinogenům nebo mutagenům		
		STEL	0,6 ppm 0,74 mg/m ³	2004/37/EC
		Další informace: Senzibilizace kůže, Karcinogenům nebo mutagenům		
		PEL	0,5 mg/m ³	CZ OEL
		Další informace: dráždí sliznice (oči, dýchací cesty), respektive kůži, karcinogen kategorie 1A a 1B (s větou H350, H350i), Látka má senzibilizující účinek (s větou H317, H334).		
		NPK-P	1 mg/m ³	CZ OEL
		Další informace: dráždí sliznice (oči, dýchací cesty), respektive kůži, karcino-		

BEZPEČNOSTNÍ LIST
podle nařízení (ES) č. 1907/2006



MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

	gen kategorie 1A a 1B (s větou H350, H350i), Látka má senzibilizující účinek (s větou H317, H334).			
Methanol	67-56-1	TWA	200 ppm 260 mg/m ³	2006/15/EC
	Další informace: Orientační, Poznámka 'pokožka' připojená k limitním hodnotám expozice na pracovišti označuje možnost závažného proniknutí pokožkou			
		PEL	250 mg/m ³	CZ OEL
	Další informace: Při expozici se významně uplatňuje pronikání faktoru kůží			
		NPK-P	1.000 mg/m ³	CZ OEL
	Další informace: Při expozici se významně uplatňuje pronikání faktoru kůží			

Biologické limity expozice na pracovišti

Název látky	Č. CAS	Kontrolní parametry	Doba odběru vzorku	Základ
Methanol	67-56-1	Methanol: 15 mg/l (moč)	Konec směny	CZ BEI
		Methanol: 0.47 mmol/l (moč)	Konec směny	CZ BEI

Odvozená hladina bez účinku (DNEL) podle Nařízení (ES) č. 1907/2006:

Název látky	Oblast použití	Cesty expozice	Možné ovlivnění zdraví	Hodnota
Melamin	Pracovníci	Vdechnutí	Dlouhodobé - systémové účinky	8,3 mg/m ³
	Pracovníci	Vdechnutí	Akutní - systémové účinky	82,3 mg/m ³
	Pracovníci	Styk s kůží	Dlouhodobé - systémové účinky	11,8 mg/kg těl.hmot./den
	Pracovníci	Styk s kůží	Akutní - systémové účinky	117 mg/kg těl.hmot./den
	Spotřebitelé	Vdechnutí	Dlouhodobé - systémové účinky	1,5 mg/m ³
	Spotřebitelé	Styk s kůží	Dlouhodobé - systémové účinky	4,2 mg/kg těl.hmot./den
Methanol	Spotřebitelé	Požítí	Dlouhodobé - systémové účinky	0,42 mg/kg těl.hmot./den
	Pracovníci	Vdechnutí	Dlouhodobé - systémové účinky	260 mg/m ³
	Pracovníci	Vdechnutí	Akutní - systémové účinky	260 mg/m ³
	Pracovníci	Vdechnutí	Dlouhodobé - lokální účinky	260 mg/m ³
	Pracovníci	Vdechnutí	Akutní - lokální účinky	260 mg/m ³
	Pracovníci	Styk s kůží	Dlouhodobé - systémové účinky	40 mg/kg těl.hmot./den
	Pracovníci	Styk s kůží	Akutní - systémové účinky	40 mg/kg těl.hmot./den
	Spotřebitelé	Vdechnutí	Dlouhodobé - systémové účinky	50 mg/m ³
	Spotřebitelé	Vdechnutí	Akutní - systémové účinky	50 mg/m ³

BEZPEČNOSTNÍ LIST
podle nařízení (ES) č. 1907/2006



MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

			účinky	
	Spotřebitelé	Vdechnutí	Dlouhodobé - lokální účinky	50 mg/m ³
	Spotřebitelé	Vdechnutí	Akutní - lokální účinky	50 mg/m ³
	Spotřebitelé	Styk s kůží	Dlouhodobé - systémové účinky	8 mg/kg těl.hmot./den
	Spotřebitelé	Styk s kůží	Akutní - systémové účinky	8 mg/kg těl.hmot./den
	Spotřebitelé	Požítí	Dlouhodobé - systémové účinky	8 mg/kg těl.hmot./den
	Spotřebitelé	Požítí	Akutní - systémové účinky	8 mg/kg těl.hmot./den
Formaldehyd	Pracovníci	Vdechnutí	Dlouhodobé - systémové účinky	9 mg/m ³
	Pracovníci	Vdechnutí	Dlouhodobé - lokální účinky	0,375 mg/m ³
	Pracovníci	Styk s kůží	Dlouhodobé - systémové účinky	240 mg/kg těl.hmot./den
	Pracovníci	Vdechnutí	Akutní - lokální účinky	0,75 mg/m ³
	Spotřebitelé	Vdechnutí	Dlouhodobé - systémové účinky	3,2 mg/m ³
	Spotřebitelé	Styk s kůží	Dlouhodobé - systémové účinky	102 mg/kg těl.hmot./den
	Spotřebitelé	Požítí	Dlouhodobé - systémové účinky	4,1 mg/kg těl.hmot./den
	Pracovníci	Styk s kůží	Dlouhodobé - lokální účinky	0,037 mg/cm ²
	Spotřebitelé	Vdechnutí	Dlouhodobé - lokální účinky	0,1 mg/m ³
Spotřebitelé	Styk s kůží	Dlouhodobé - lokální účinky	0,012 mg/cm ²	

Odhad koncentrace, při které nedochází k nepříznivým účinkům (PNEC) podle Nařízení (ES) č. 1907/2006:

Název látky	Životní prostředí	Hodnota
Melamin	Sladká voda	0,51 mg/l
	Sladká voda – přerušovaný	2 mg/l
	Mořská voda	0,051 mg/l
	Čistírna odpadních vod	200 mg/l
	Sladkovodní sediment	2,524 mg/kg hmotnosti sušiny
	Mořský sediment	0,252 mg/kg hmotnosti sušiny
Methanol	Půda	0,206 mg/kg hmotnosti sušiny
	Sladká voda	20,8 mg/l
Methanol	Mořská voda	2,08 mg/l
	Přerušované používání/uvolňování	1540 mg/l
	Čistírna odpadních vod	100 mg/l
	Sladkovodní sediment	77 mg/kg

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

	Mořský sediment	7,7 mg/kg
	Půda	100 mg/kg
Formaldehyd	Sladká voda	0,44 mg/l
	Mořská voda	0,44 mg/l
	Přerušované používání/uvolňován	4,44 mg/l
	Čistina odpadních vod	0,19 mg/l
	Sladkovodní sediment	2,3 mg/kg
	Mořský sediment	2,3 mg/kg
	Půda	0,2 mg/kg

8.2 Omezování expozice

Technická opatření

Při zpracování může vytvářet nebezpečné sloučeniny (viz bod 10).

Minimalizujte expoziční koncentrace na pracovišti.

Pokud není k dispozici dostatečné větrání, použijte lokální ventilaci odváděných plynů.

Osobní ochranné prostředky

Ochrana očí : Použijte tento prostředek osobní ochrany:
Ochranné brýle
Zařízení musí splňovat požadavky ČSN EN166

Ochrana rukou

Materiál : Nitrilový kaučuk
Doba průniku : 240 - < 480 min
Tloušťka rukavic : 0,12 mm
Směrnice : Zařízení musí splňovat požadavky ČSN EN374
Index ochrany : Třída 5

Materiál : Nitrilový kaučuk
Doba průniku : > 480 min
Tloušťka rukavic : 0,38 mm
Směrnice : Zařízení musí splňovat požadavky ČSN EN374
Index ochrany : Třída 6

Materiál : butylkaučuk
Doba průniku : > 480 min
Tloušťka rukavic : 0,3 mm
Směrnice : Zařízení musí splňovat požadavky ČSN EN374
Index ochrany : Třída 6

Materiál : Fluorovaný kaučuk
Doba průniku : > 480 min
Tloušťka rukavic : 0,7 mm
Směrnice : Zařízení musí splňovat požadavky ČSN EN374
Index ochrany : Třída 6

Poznámky : Druh rukavic pro ochranu před chemikáliemi je nutné zvolit v závislosti na koncentraci a množství nebezpečných látek, dále pak s ohledem na pracoviště. Pro případy speciálního použití se doporučuje, aby jste si s výrobcem rukavic ujasnili odolnost výše uvedených ochranných rukavic vůči chemikáli-

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3	Datum revize: 06.10.2021	Číslo BL (bezpeč- nostního listu): 3994-00023	Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014
--------------	-----------------------------	---	---

-
- | | |
|------------------------|--|
| | ím. Před pracovní přestávkou a po skončení práce si umyjte ruce. |
| Ochrana kůže a těla | : Zvolte vhodný ochranný oděv na základě údajů o chemické odolnosti a na základě hodnocení místního rizika expozice. Je třeba zabránit styku s kůží používáním nepropustného ochranného oblečení (rukavice, zástěry, vysoké boty apod.). |
| Ochrana dýchacích cest | : Pokud není k dispozici dostatečná lokální ventilace odváděných plynů nebo posouzení zjistí expozici mimo doporučené hodnoty, použijte ochranu dýchacích cest. Zařízení musí splňovat požadavky ČSN EN137 |
| Filtr typu | : Nezávislý dýchací přístroj |

ODDÍL 9: Fyzikální a chemické vlastnosti

9.1 Informace o základních fyzikálních a chemických vlastnostech

- | | |
|---|---|
| Fyzický stav | : kapalný |
| Barva | : bezbarvý |
| Zápach | : lehký, jako alkohol |
| Prahová hodnota zápachu | : Údaje nejsou k dispozici |
| Bod tání / bod tuhnutí | : Údaje nejsou k dispozici |
| Teplota tuhnutí | < -10 °C |
| Počáteční bod varu a rozmezí bodu varu | : cca. 100 °C |
| Hořlavost (pevné látky, plyny) | : Nevztahuje se |
| Hořlavost (kapaliny) | : Zápalné (viz bod vzplanutí) |
| Horní mez výbušnosti / Horní mez hořlavosti | : Údaje nejsou k dispozici |
| Dolní mez výbušnosti / Dolní mez hořlavosti | : Údaje nejsou k dispozici |
| Bod vzplanutí | : > 100 °C
Metoda: ISO 2719 |
| Teplota samovznícení | : 470 °C
Metoda: DIN 51794 |
| Teplota rozkladu | : >= 150 °C
Rychlost ohřevu: 3 K/min |

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

pH	:	10 - 11 (20 °C)
Viskozita	:	
Kinematická viskozita	:	Údaje nejsou k dispozici
Rozpustnost	:	
Rozpustnost ve vodě	:	(20 °C) rozpustná látka
Rozdělovací koeficient: n-oktanol/voda	:	Nevztahuje se
Tlak páry	:	29 hPa (20 °C)
Hustota	:	1,24 - 1,26 g/cm ³ (23 °C) Metoda: DIN 12791
Relativní hustota par	:	Údaje nejsou k dispozici
Velikost částic	:	
Velikost částic	:	Nevztahuje se

9.2 Další informace

Výbušniny	:	Nevýbušný
Oxidační vlastnosti	:	Látka nebo směs nejsou klasifikovány jako oxidující.
Rychlost odpařování	:	Údaje nejsou k dispozici

ODDÍL 10: Stálost a reaktivita

10.1 Reaktivita

Není klasifikováno jako látka s nebezpečím chemické reakce.

10.2 Chemická stabilita

Za normálních podmínek stabilní.

10.3 Možnost nebezpečných reakcí

Nebezpečné reakce : Může reagovat se silnými oxidačními činidly.
Při zvýšených teplotách se tvoří nebezpečné produkty rozkladu.

10.4 Podmínky, kterým je třeba zabránit

Podmínky, kterým je třeba zabránit : Není známo.

10.5 Neslučitelné materiály

Materiály, kterých je třeba se vyvarovat : Oxidační činidla
Kyseliny

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

10.6 Nebezpečné produkty rozkladu

Termický rozklad : Formaldehyd
Methanol

ODDÍL 11: Toxikologické informace

11.1 Informace o třídách nebezpečnosti vymezených v nařízení (ES) č. 1272/2008

Informace o pravděpodobných cestách expozice : Vdechnutí
Styk s kůží
Požití
Vniknutí do očí

Akutní toxicita

Na základě dostupných informací neklasifikováno.

Výrobek:

Akutní orální toxicitu : Odhad akutní toxicity: > 2.000 mg/kg
Metoda: Výpočetní metoda

Akutní inhalační toxicitu : Odhad akutní toxicity: > 20 mg/l
Doba expozice: 4 h
Zkušební atmosféra: pára
Metoda: Výpočetní metoda

Akutní dermální toxicitu : Odhad akutní toxicity: > 2.000 mg/kg
Metoda: Výpočetní metoda

Složky:

Melamin:

Akutní orální toxicitu : LD50 (Potkan, samčí (mužský)): 3.161 mg/kg

Akutní inhalační toxicitu : LC50 (Potkan): > 5,190 mg/l
Doba expozice: 4 h
Zkušební atmosféra: prach/mlha
Metoda: Směrnice OECD 403 pro testování

Methanol:

Akutní orální toxicitu : Odhad akutní toxicity (Lidé): 300 mg/kg
Metoda: Odborný posudek

Akutní inhalační toxicitu : Odhad akutní toxicity: 3 mg/l
Doba expozice: 4 h
Zkušební atmosféra: pára
Metoda: Odborný posudek
Poznámky: Sestaveno na bázi harmonizované klasifikace v nařízení EU 1272/2008, příloha VI

Akutní dermální toxicitu : Odhad akutní toxicity (Lidé): 300 mg/kg

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

Metoda: Odborný posudek

Formaldehyd:

Akutní orální toxicitu : Odhad akutní toxicity: 100 mg/kg
Metoda: Odborný posudek

Akutní inhalační toxicitu : Odhad akutní toxicity: 100 ppm
Doba expozice: 4 h
Zkušební atmosféra: plyn
Metoda: Odborný posudek

Akutní dermální toxicitu : LD50 (Králík): 270 mg/kg
Odhad akutní toxicity: 270 mg/kg
Metoda: Výpočetní metoda

Žiravost/dráždivost pro kůži

Na základě dostupných informací neklasifikováno.

Složky:

Melamin:

Druh : Králík
Metoda : Směrnice OECD 404 pro testování
Výsledek : Nedráždí pokožku

Methanol:

Druh : Králík
Výsledek : Nedráždí pokožku

Formaldehyd:

Druh : Králík
Metoda : Směrnice OECD 404 pro testování
Výsledek : Korozivní po expozici trvající 3 minuty až 1 hodinu

Vážné poškození očí / podráždění očí

Na základě dostupných informací neklasifikováno.

Složky:

Melamin:

Druh : Králík
Výsledek : Nedochází k dráždění očí

Methanol:

Druh : Králík
Výsledek : Nedochází k dráždění očí

Formaldehyd:

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

Druh : Králík
Výsledek : Nevratné účinky na zrak

Senzibilizace dýchacích cest / senzibilizace kůže

Senzibilizace kůže

Na základě dostupných informací neklasifikováno.

Dechová senzibilizace

Na základě dostupných informací neklasifikováno.

Složky:

Melamin:

Typ testu : Maximalizační test
Cesty expozice : Styk s kůží
Druh : Morče
Metoda : Směnice OECD 406 pro testování
Výsledek : negativní

Methanol:

Typ testu : Maximalizační test
Cesty expozice : Styk s kůží
Druh : Morče
Výsledek : negativní

Formaldehyd:

Typ testu : Analýza vzorku lymfatické uzliny (LLNA)
Cesty expozice : Styk s kůží
Druh : Myš
Metoda : Směnice OECD 429 pro testování
Výsledek : pozitivní

Hodnocení : Pravděpodobnost nebo důkaz vysoké míry senzibilizace kůže u lidí

Mutagenita v zárodečných buňkách

Na základě dostupných informací neklasifikováno.

Složky:

Melamin:

Genotoxicitě in vitro : Typ testu: Test bakteriální reverzní mutace (AMES)
Výsledek: negativní

Typ testu: Test genové mutace savčích buněk in vitro
Výsledek: negativní

Typ testu: Test na chromozomální aberaci in vitro
Výsledek: negativní

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3	Datum revize: 06.10.2021	Číslo BL (bezpeč- nostního listu): 3994-00023	Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014
--------------	-----------------------------	---	---

Genotoxicitě in vivo : Typ testu: Mutagenita (cytogenetický in vivo test na kostní dření savců, chromozomová analýza)
Druh: Myš
Způsob provedení: Intraperitoneální injekce
Výsledek: negativní

Methanol:

Genotoxicitě in vitro : Typ testu: Test bakteriální reverzní mutace (AMES)
Metoda: Směrnice OECD 471 pro testování
Výsledek: negativní

Typ testu: Test genové mutace savčích buněk in vitro
Výsledek: negativní

Genotoxicitě in vivo : Typ testu: Mikrojaderný test na savčích erythrocytech (cytogenetické stanovení in vivo)
Druh: Myš
Způsob provedení: Intraperitoneální injekce
Výsledek: negativní

Formaldehyd:

Genotoxicitě in vitro : Typ testu: Test bakteriální reverzní mutace (AMES)
Výsledek: pozitivní

Typ testu: Test na chromozomální aberaci in vitro
Výsledek: pozitivní

Genotoxicitě in vivo : Typ testu: Mikrojaderný test na savčích erythrocytech (cytogenetické stanovení in vivo)
Druh: Potkan
Způsob provedení: Vdechnutí
Výsledek: pozitivní

Mutagenita v zárodečných buňkách- Hodnocení : Pozitivní výsledek(y) z in vivo testů mutagenity savčí somatické buňky.

Karcinogenita

Může vyvolat rakovinu.

Složky:

Melamin:

Druh : Potkan
Způsob provedení : Požití
Doba expozice : 103 týdny
Výsledek : pozitivní

Methanol:

Druh : Myš
Způsob provedení : vdechování (páry)

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

Doba expozice : 18 Měsíce
Výsledek : negativní

Formaldehyd:

Druh : Potkan
Způsob provedení : vdechování (plyn)
Doba expozice : 28 Měsíce
Výsledek : pozitivní

Karcinogenita - Hodnocení : Dostatečný důkaz karcinogenity v pokusech na zvířatech

Toxicita pro reprodukci

Na základě dostupných informací neklasifikováno.

Složky:

Melamin:

Účinky na plodnost : Typ testu: Jednogeneční studie reprodukční toxicity
Druh: Potkan, samčí (mužský)
Způsob provedení: Požití
Metoda: Směrnice OECD 443 pro testování
Výsledek: pozitivní

Účinky na vývoj plodu : Typ testu: Embryofetální vývoj
Druh: Potkan
Způsob provedení: Požití
Metoda: Směrnice OECD 414 pro testování
Výsledek: negativní

Toxicita pro reprodukci - Hodnocení : Určitý důkaz nepříznivých účinků na sexuální funkci a plodnost, založený na pokusech na zvířatech.

Methanol:

Účinky na plodnost : Typ testu: Plodnost / časný zárodečný vývoj
Druh: Myš
Způsob provedení: Požití
Výsledek: negativní

Účinky na vývoj plodu : Typ testu: Embryofetální vývoj
Druh: Myš
Způsob provedení: Požití
Výsledek: pozitivní
Poznámky: Účinky byly pozorovány pouze v dávkách toxic-
kých pro matku.

Formaldehyd:

Účinky na vývoj plodu : Typ testu: Embryofetální vývoj
Druh: Potkan
Způsob provedení: vdechování (plyn)
Výsledek: negativní

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

Toxicita pro specifické cílové orgány – jednorázová expozice

Na základě dostupných informací neklasifikováno.

Složky:

Methanol:

Cílové orgány : Oči, Centrální nervový systém
Hodnocení : Způsobuje poškození orgánů.

Formaldehyd:

Hodnocení : Může způsobit podráždění dýchacích cest.

Toxicita pro specifické cílové orgány – opakovaná expozice

Na základě dostupných informací neklasifikováno.

Složky:

Formaldehyd:

Hodnocení : Nebyly pozorovány žádné významné účinky na zdraví zvířat při koncentracích 250 ppmV/6 h/d nebo méně.

Toxicita po opakovaných dávkách

Složky:

Melamin:

Druh : Potkan, samčí (mužský)
NOAEL : 72 mg/kg
LOAEL : 144 mg/kg
Způsob provedení : Požití
Doba expozice : 13 Týdny

Methanol:

Druh : Potkan
NOAEL : 1,06 mg/l
Způsob provedení : vdechování (páry)
Doba expozice : 90 Dny

Formaldehyd:

Druh : Potkan
NOAEL : 6 ppm
LOAEL : 10 ppm
Způsob provedení : vdechování (plyn)
Doba expozice : 28 Dny

Aspirační toxicita

Na základě dostupných informací neklasifikováno.

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

11.2 Informace o další nebezpečnosti

Vlastnosti vyvolávající narušení činnosti endokrinního systému

Výrobek:

Hodnocení : Látka/směs neobsahuje složky, o nichž se má za to, že mají vlastnosti vyvolávající narušení endokrinní činnosti podle REACH článek 57(f) nebo nařízení Komise (EU) s delegovanou pravomocí 2017/2100 nebo nařízení Komise (EU) 2018/605 při hladinách 0,1 % nebo vyšších.

ODDÍL 12: Ekologické informace

12.1 Toxicita

Složky:

Melamin:

Toxicita pro ryby : LC50 (Oncorhynchus mykiss (pstruh duhový)): > 3.000 mg/l
Doba expozice: 96 h

Toxicita pro dafnie a jiné vodní bezobratlé : EC50 (Daphnia magna (perloočka velká)): 200 mg/l
Doba expozice: 48 h

Toxicita pro řasy/vodní rostliny : EC50 (Pseudokirchneriella subcapitata): 325 mg/l
Doba expozice: 96 h

NOEC (Pseudokirchneriella subcapitata (zelené řasy)): 98 mg/l
Doba expozice: 96 h

Toxicita pro mikroorganismy : EC10 (Pseudomonas putida (Bakterie)): > 10.000 mg/l
Doba expozice: 30 min

Toxicita pro ryby (Chronická toxicita) : NOEC: >= 5,1 mg/l
Doba expozice: 36 d
Druh: Pimephales promelas (střevle)
Metoda: Směrnice OECD 210 pro testování

Toxicita pro dafnie a jiné vodní bezobratlé (Chronická toxicita) : NOEC: >= 11 mg/l
Doba expozice: 21 d
Druh: Daphnia magna (perloočka velká)
Metoda: Směrnice OECD 211 pro testování

Methanol:

Toxicita pro ryby : LC50 (Lepomis macrochirus (Ryba slunečnice pestrá)): 15.400 mg/l
Doba expozice: 96 h

Toxicita pro dafnie a jiné vodní bezobratlé : EC50 (Daphnia magna (perloočka velká)): > 10.000 mg/l
Doba expozice: 48 h

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

- Toxicita pro řasy/vodní rostliny : EC50 (Pseudokirchneriella subcapitata (zelené řasy)): 22.000 mg/l
Doba expozice: 96 h
Metoda: Směrnice OECD 201 pro testování
- Toxicita pro mikroorganismy : IC50 : > 1.000 mg/l
Doba expozice: 3 h
- Toxicita pro ryby (Chronická toxicita) : NOEC: 15.800 mg/l
Doba expozice: 200 h
Druh: Oryzias latipes (Ryba (Oryzias latipes))

Formaldehyd:

- Toxicita pro ryby : LC50 : 6,7 mg/l
Doba expozice: 96 h
Poznámky: Na základě údajů z podobných materiálů
- Toxicita pro dafnie a jiné vodní bezobratlé : EC50 (Daphnia pulex (hrotnatka obecná)): 5,8 mg/l
Doba expozice: 48 h
Metoda: Směrnice OECD 202 pro testování
- Toxicita pro řasy/vodní rostliny : EC50 (Desmodesmus subspicatus (zelené řasy)): 4,89 mg/l
Doba expozice: 72 h
Metoda: Směrnice OECD 201 pro testování
- Toxicita pro mikroorganismy : EC50 : 34,1 mg/l
Doba expozice: 120 h
- Toxicita pro ryby (Chronická toxicita) : NOEC: >= 48 mg/l
Doba expozice: 28 d
Druh: Oryzias latipes (Ryba (Oryzias latipes))
- Toxicita pro dafnie a jiné vodní bezobratlé (Chronická toxicita) : NOEC: >= 6,4 mg/l
Doba expozice: 21 d
Druh: Daphnia magna (perloočka velká)
Metoda: Směrnice OECD 211 pro testování

12.2 Perzistence a rozložitelnost

Složky:

Melamin:

- Biologická odbouratelnost : Výsledek: Látka nesnadno biologicky odbouratelná.
Biologické odbourávání: 0 %
Doba expozice: 28 d
Metoda: Směrnice OECD 302B pro testování

Methanol:

- Biologická odbouratelnost : Výsledek: Látka snadno biologicky odbouratelná.
Biologické odbourávání: 95 %

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3	Datum revize: 06.10.2021	Číslo BL (bezpeč- nostního listu): 3994-00023	Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014
--------------	-----------------------------	---	---

Doba expozice: 20 d

Formaldehyd:

Biologická odbouratelnost : Výsledek: Látka snadno biologicky odbouratelná.
Biologické odbourávání: 91 %
Doba expozice: 14 d
Metoda: Směrnice OECD 301C pro testování
Poznámky: Na základě údajů z podobných materiálů

12.3 Bioakumulační potenciál

Složky:

Melamin:

Bioakumulace : Druh: Cyprinus carpio (kapr)
Biokoncentrační faktor (BCF): < 3,8

Rozdělovací koeficient: n- : log Pow: -1,22
oktanol/voda Metoda: Směrnice OECD 107 pro testování

Methanol:

Bioakumulace : Druh: Leuciscus idus (Jesen zlatý)
Biokoncentrační faktor (BCF): < 10

Rozdělovací koeficient: n- : log Pow: -0,77
oktanol/voda

Formaldehyd:

Rozdělovací koeficient: n- : log Pow: 0,35
oktanol/voda

12.4 Mobilita v půdě

Údaje nejsou k dispozici

12.5 Výsledky posouzení PBT a vPvB

Výrobek:

Hodnocení : Látka/směs neobsahuje složky považované buď za perzis-
tentní, bioakumulativní a toxické (PBT), nebo za vysoce per-
zistentní a vysoce bioakumulativní (vPvB) v koncentraci 0,1 %
či vyšší.

12.6 Vlastnosti vyvolávající narušení činnosti endokrinního systému

Výrobek:

Hodnocení : Látka/směs neobsahuje složky, o nichž se má za to, že mají
vlastnosti vyvolávající narušení endokrinní činnosti podle
REACH článek 57(f) nebo nařízení Komise (EU) s delegova-
nou pravomocí 2017/2100 nebo nařízení Komise (EU)
2018/605 při hladinách 0,1 % nebo vyšších.

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3	Datum revize: 06.10.2021	Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023	Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014
--------------	-----------------------------	--	---

12.7 Jiné nepříznivé účinky

Údaje nejsou k dispozici

ODDÍL 13: Pokyny pro odstraňování

13.1 Metody nakládání s odpady

- Výrobek : Zlikvidujte v souladu s místními předpisy.
Podle Evropského katalogu odpadů nejsou kódy odpadů charakteristické pro produkt, nýbrž pro jeho použití.
Kódy odpadů by měl přidělit uživatel a to nejlépe po projednání s úřady odpovědnými za zneškodňování odpadů.
- Znečištěné obaly : Prázdné obaly by měly být předány firmě s oprávněním k manipulaci s odpady k recyklaci nebo zneškodnění.
Není-li uvedeno jinak, zlikvidujte jako nevyužitý výrobek.

ODDÍL 14: Informace pro přepravu

14.1 UN číslo nebo ID číslo

Nepodléhá předpisům jako nebezpečné zboží

14.2 Oficiální (OSN) pojmenování pro přepravu

Nepodléhá předpisům jako nebezpečné zboží

14.3 Třída/ třídy nebezpečnosti pro přepravu

Nepodléhá předpisům jako nebezpečné zboží

14.4 Obalová skupina

Nepodléhá předpisům jako nebezpečné zboží

14.5 Nebezpečnost pro životní prostředí

Nepodléhá předpisům jako nebezpečné zboží

14.6 Zvláštní bezpečnostní opatření pro uživatele

Nevztahuje se

14.7 Námořní hromadná přeprava podle nástrojů IMO

Poznámky : Nevztahuje se na tento produkt, pokud je v dodávaném stavu.

ODDÍL 15: Informace o předpisech

15.1 Předpisy týkající se bezpečnosti, zdraví a životního prostředí/ specifické právní předpisy týkající se látky nebo směsi

- REACH - Omezení výroby, uvádění na trh a používání některých nebezpečných látek, přípravků a předmětů (Příloha XVII) : Je třeba zvážit omezující podmínky pro následující položky:
Číslo na seznamu 3
Methanol (Číslo na seznamu 69)
Formaldehyd (Číslo na seznamu 72, 28)

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3	Datum revize: 06.10.2021	Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023	Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014
--------------	-----------------------------	--	---

- REACH - Seznam látek vzbuzujících mimořádné obavy podléhajících povolení (článek 59). : Nevztahuje se
- Rady (ES) č. 1005/2009 o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu : Nevztahuje se
- Nařízení (EU) 2019/1021 o perzistentních organických znečišťujících látkách (přepřacované znění) : Nevztahuje se
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 649/2012 o vývozu a dovozu nebezpečných chemických látek : Nevztahuje se
- REACH - Seznam látek podléhajících povolení (Příloha XIV) : Nevztahuje se
- Seveso III: Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek.
Nevztahuje se

Jiné předpisy:

Dodržujte směrnici 92/85/ES o zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci zaměstnankyň těhotných či po porodu nebo případnou vnitrostátní legislativu, pokud je přísnější.

Dodržujte směrnici 94/33/ES o ochraně mladistvých pracovníků nebo případnou vnitrostátní legislativu, pokud je přísnější.

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH)

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (CLP)

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 286/2011, kterým se pro účely přizpůsobení technickému pokroku mění nařízení Evropského parlamentu a rady (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (CLP)

Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích, v platném znění

Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví, v platném znění

Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce, v platném znění

Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, v platném znění

Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách, v platném znění

Nařízení vlády ČR č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, v platném znění

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, v platném znění

Složky tohoto produktu jsou uvedeny v těchto katalozích:

- REACH : Všechny složky byly předběžně nebo definitivně registrovány nebo mají výjimku.
- TSCA : Na seznamu aktivních látek TSCA nebo splňuje podmínky tohoto seznamu
- DSL : Všechny chemické látky obsažené v tomto přípravku jsou v

MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3 Datum revize: 06.10.2021 Číslo BL (bezpečnostního listu): 3994-00023 Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014

souladu se zákonem CEPA 1999 a NSNR a jsou uvedené na kanadském státním seznamu chemických látek (DSL) nebo jsou z této povinnosti vyňaty z.

AIIC	:	Všechny složky jsou uvedené na seznamu nebo mají výjimku.
ENCS	:	Na seznamu nebo podle seznamu
ISHL	:	Na seznamu nebo podle seznamu
KECI	:	Všechny příměsi jsou uvedené na seznamu, mají výjimku nebo byly ohlášeny.
PICCS	:	Všechny složky jsou uvedené na seznamu nebo mají výjimku.
IECSC	:	Všechny složky jsou uvedené na seznamu nebo mají výjimku.
TECI	:	Na seznamu nebo podle seznamu

15.2 Posouzení chemické bezpečnosti

Nebylo provedeno hodnocení chemické bezpečnosti.

ODDÍL 16: Další informace

Další informace : Body/témata předchozí verze, která byla pozměněna, jsou v hlavním dokumentu zvýrazněna dvěma zvislými čarami.

Plný text H-prohlášení

H225	:	Vysoce hořlavá kapalina a páry.
H301	:	Toxický při požití.
H311	:	Toxický při styku s kůží.
H314	:	Způsobuje těžké poleptání kůže a poškození očí.
H317	:	Může vyvolat alergickou kožní reakci.
H318	:	Způsobuje vážné poškození očí.
H330	:	Při vdechování může způsobit smrt.
H331	:	Toxický při vdechování.
H335	:	Může způsobit podráždění dýchacích cest.
H341	:	Podezření na genetické poškození.
H350	:	Může vyvolat rakovinu.
H361f	:	Podezření na poškození reprodukční schopnosti.
H370	:	Způsobuje poškození orgánů.

Plný text jiných zkratk

Acute Tox.	:	Akutní toxicita
Carc.	:	Karcinogenita
Eye Dam.	:	Vážné poškození očí
Flam. Liq.	:	Hořlavé kapaliny
Muta.	:	Mutagenita v zárodečných buňkách
Repr.	:	Toxicita pro reprodukci
Skin Corr.	:	Žíravost pro kůži
Skin Sens.	:	Senzibilizace kůže

MADURIT MW 840 75% WA

Verze	Datum revize:	Číslo BL (bezpečnostního listu):	Datum posledního vydání: 02.09.2021
7.3	06.10.2021	3994-00023	Datum prvního vydání: 23.07.2014

STOT SE 2004/37/EC	:	Toxicita pro specifické cílové orgány - jednorázová expozice
	:	Směrnice 2004/37/ES o ochraně zaměstnanců před riziky spojenými s expozicí karcinogenům nebo mutagenům při práci
2006/15/EC	:	Limitních hodnot expozice na pracovišti
CZ BEI	:	Česká Republika. Limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů.
CZ OEL	:	Kterým při práci - Příloha č. 2: Přípustné expoziční limity
2004/37/EC / STEL	:	Mezní hodnota krátkodobé expozice
2004/37/EC / TWA	:	časově vážený průměr
2006/15/EC / TWA	:	Limitní hodnota - osmi hodin
CZ OEL / PEL	:	Přípustné expoziční limity
CZ OEL / NPK-P	:	Nejvyšší přípustné koncentrace

ADN - Evropská dohoda o mezinárodní říční přepravě nebezpečných věcí; ADR - Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí; AIIIC - Australský seznam průmyslových chemických látek; ASTM - Americká společnost pro testování materiálů; bw - Tělesná hmotnost; CLP - Nařízení o klasifikaci v označování balení; Nařízení (ES) č. 1272/2008; CMR - Karcinogen, mutagen či reprodukčně toxická látka; DIN - Norma z německého institutu pro normalizaci; DSL - Národní seznam látek (Kanada); ECHA - Evropská agentura pro chemické látky; EC-Number - Číslo Evropského společenství; ECx - Koncentrace při odpovědi x %; ELx - Intenzita zatížení při odpovědi x %; EmS - Havarijní plán; ENCS - Seznam stávajících a nových chemických látek (Japonsko); ErCx - Koncentrace při odpovědi ve formě růstu x %; GHS - Globálně harmonizovaný systém; GLP - Správná laboratorní praxe; IARC - Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny; IATA - Mezinárodní asociace leteckých dopravců; IBC - Mezinárodní předpis pro stavbu a vybavení lodí hromadně přepravujících nebezpečné chemikálie; IC50 - Polovina maximální inhibiční koncentrace; ICAO - Mezinárodní organizace civilního letectví; IECSC - Seznam stávajících chemických látek v Číně; IMDG - Mezinárodní námořní doprava nebezpečného zboží; IMO - Mezinárodní organizace pro námořní přepravu; ISHL - Zákon o bezpečnosti a ochraně zdraví v průmyslu (Japonsko); ISO - Mezinárodní organizace pro normalizaci; KECI - Seznam existujících chemických látek - Korea; LC50 - Smrtelná koncentrace pro 50 % populace v testu; LD50 - Smrtelná dávka pro 50 % populace v testu (medián smrtelné dávky); MARPOL - Mezinárodní úmluva o zabránění znečišťování z lodí; n.o.s. - Jinak nespecifikováno; NO(A)EC - Koncentrace bez pozorovaného nepříznivého účinku; NO(A)EL - Dávka bez pozorovaného nepříznivého účinku; NOELR - Intenzita zatížení bez pozorovaného nepříznivého účinku; NZIoC - Novozélandský seznam chemických látek; OECD - Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj; OPPTS - Úřad pro chemickou bezpečnost a prevenci znečištění; PBT - Perzistentní, bioakumulativní a toxická látka; PICCS - Filipínský seznam chemikálií a chemických látek; (Q)SAR - (Kvantitativní) vztah mezi strukturou a aktivitou; REACH - Nařízení Evropského parlamentu a Rady o registraci, hodnocení, povolování a omezení chemických látek (ES) č. 1907/2006; RID - Předpisy o mezinárodní železniční přepravě nebezpečného zboží; SADT - Teplota samourychlujícího se rozkladu; SDS - Bezpečnostní list; SVHC - látka vzbuzující mimořádné obavy; TCSI - Tchajwanský seznam chemických látek; TECL - Seznam existujících chemických látek - Thajsko; TRGS - Technická pravidla pro nebezpečné látky; TSCA - Zákon o kontrole toxických látek (Spojené státy); UN - Organizace spojených národů; vPvB - Vysoce perzistentní a vysoce bioakumulativní

Další informace

Zdroje nejdůležitějších údajů : Interní technické údaje, údaje z BL surovin, výsledky hledání použitých při sestavování bezpečnostního listu na portálu OECD (eChem) a a Evropská agentura pro chemické látky, <http://echa.europa.eu/>

Klasifikace směsi:

Proces klasifikace:

BEZPEČNOSTNÍ LIST
podle nařízení (ES) č. 1907/2006



MADURIT MW 840 75% WA

Verze 7.3	Datum revize: 06.10.2021	Číslo BL (bezpeč- nostního listu): 3994-00023	Datum posledního vydání: 02.09.2021 Datum prvního vydání: 23.07.2014
--------------	-----------------------------	---	---

Carc. 1B

H350

Výpočetní metoda

Informace v tomto bezpečnostním listu (SDS) jsou správné podle našich znalostí, informací a přesvědčení, a to ke dni jeho zveřejnění. Tyto informace slouží pouze jako vodítko pro bezpečnou manipulaci s látkou, její použití, zpracování, skladování, přepravu, likvidaci a případné uvolnění do životního prostředí. Nelze je považovat za záruku konkrétních parametrů. Poskytnuté informace platí pouze pro konkrétní materiál uvedený v tomto bezpečnostním listu (SDS) a nemusí být platné, pokud je materiál použit v kombinaci s jinými látkami či k jinému zpracování, pokud tyto nejsou v tomto textu uvedeny. Před použitím materiálu si prostudujte uvedené informace a doporučení v souvislosti se zamýšleným způsobem manipulace, použití, zpracování a skladování, a také informace o vhodnosti jeho použití v případném konečném produktu uživatele.

CZ / CS