

## THERMAL MODIFIED WOOD: A CRITICAL REVIEW TERMIČKA MODIFIKACIJA DRVETA: KRITIČKI PREGLED

Redžo Hasanagić

Tehnički fakultet Bihać, Ulica dr. Irfana Ljubijankića bb, 77000 Bihać, Bosna i Hercegovina,  
redzo.hasanagic@unbi.ba

**Keywords:** thermally modified wood, physical-mechanical properties, chemical changes

### **ABSTRACT:**

*This paper presents the basic principles in the production of thermally modified wood (TMT) to achieve increased its durability and physical-mechanical properties. The reasons for the growing interest in thermal modification techniques are being considered, and the physical-mechanical and chemical changes that occur in wood during the processing according to the latest research are also presented. Finally, the role of thermal wood processing in the sustainability of resource utilization is discussed, along with future need in TMT research and development.*

**Ključne riječi:** termička modifikacija drveta, fizičko mehaničke osobine, hemijske promjene

### **SAŽETAK:**

*Ovaj rad predstavlja osnovne principe u proizvodnji termički modificiranog drveta (TMD) kako bi se poboljšala njegova trajnost i fizičko-mehaničke osobine. Razmatraju se razlozi za rastuće interesovanje metoda termičke modifikacije, a bit će prezentirane fizičko-mehaničke i hemijske promjene koje se događaju u drvetu tijekom obrade prema najnovijim istraživanjima. Na kraju, razmatra se uloga termičke obrade drveta u održivosti konteksta korištenja resursa, kao i buduća potreba za istraživanjem i razvojem TMD-a.*

### **1. UVOD**

U proteklih nekoliko godina došlo je do značajnih pomaka u tehnologijama za preradu drveta, posebno u komercijalnom sektoru navodi Hill u svom radu [1].

Prema Boonstaru [2] ovaj obnovljeni interes je posljedica opadanja proizvodnje trajnog drveta, sve veće potražnje za održivim građevinskim materijalima, posebno zbog sječe šuma, te do povećanog uvođenja restriktivnih propisa kojima se smanjuje upotreba otrovnih hemikalija. Pojavilo se uglavnom pet različitih komercijalnih tretmana, jedan u Finskoj (Thermowood), jedan u Holandiji (Plato Wood), jedan u Nemačkoj (OHT-Oil Heat Treatment) i dva u Francuskoj (Bois Perdue i Rectification). Novi procesi termičke obrade se također pojavljuju u drugim zemljama, kao što su Danska (WTT) i Austrija (Huber Holz). Neki od ovih procesa su u implementaciji, a drugi su već u punoj proizvodnji. Svi procesi koriste rezanu građu i temperaturu obrade između 160°C i 260°C ali se razlikuju u uvjetima samog

procesa, kao što je prisutnost zaštitnog plina dušika ili pare, vlažni ili suhi procesi, upotreba ulja, itd. [3].

Tržište novih trajnih proizvoda od modifikovanog drveta značajno je poraslo u posljednjih nekoliko godina, posebno u Europi. Ovaj povećani interes dijelom zavisi od ograničene upotrebe toksičnih konzervansa zbog povećane brige za okoliš, kao i potrebe za smanjenim održavanjem proizvoda od drveta koji su uglavnom za vanjsku upotrebu [4].

Promjena osobina nakon termičke obrade ovisi o vrstama drva i uvjetima procesa, u kojima prevladava temperatura, vrijeme i odsutnost kisika [3]. Modul elastičnosti i čvrstoća na savijanje smanjuju se sa povećanjem temperature i vremenom termičke obrade.

Na primjer, za vrijeme termičke obrade na temperaturama između 170°C i 200°C i za različita vremena obrade, utvrđeno je da je smanjenje modula elastičnosti bora manje od 5% dok se ne postigne gubitak mase od 4%, a zatim brzo raste i dostiže čak do 16% pri gubitku mase od 6% [5].

Smanjenje mehaničkih osobina usljed termičke modifikacije može se ublažiti zgušnjavanjem navedeno je u nekoliko istraživačkih radova. Kompresija drveta je proces koji se koristi za povećanje gustoće drveta i poboljšanje njegovih mehaničkih osobina bez hemijskih aditiva navode Laine i drugi u svom istraživanju [6], čime se dobivaju novi materijali i funkcionalnost [7].

## 2. TERMIČKA MODIFIKACIJA DRVETA

Struktura ćelijskog zida drveta uglavnom se sastoji od celuloze, hemiceluloze i lignina. Sve ove navedene komponente sadrže slobodne hidroksilne grupe. Ove hidroksilne grupe igraju ključnu ulogu u interakciji između vode i drveta. U isto vrijeme ove grupe su najreaktivnija mjesta. Ako je drvo izloženo u vlažnim uslovima, molekule vode se nakupljaju između drvnih polimera i formiraju vodikove veze između hidroksilnih grupa i pojedinačnih vodenih molekula. Ova voda treba prostor između komponenti ćelijskog zida, što dovodi do bubrenja drveta.

Procesi modifikacije drveta (Slika 1) utiču na prethodno opisane uslove eksploatacije drveta poželjno ili nepoželjno. Na primjer, punjenje lumena drveta, hemijskim supstancama, bez mijenjanja zidova ćelija drveta. Punjenje ćelijskog zida, gdje se šupljine u ćelijskom zidu pune i time se blokiraju putevi za vodu. Primjer punjenja je tretman sa smolama, koje teško reaguju sa drvetom. Budući da se ne postiže gotovo nikakva molekularna promjena drveta, punjenje se ne smatra modifikacijom drva.

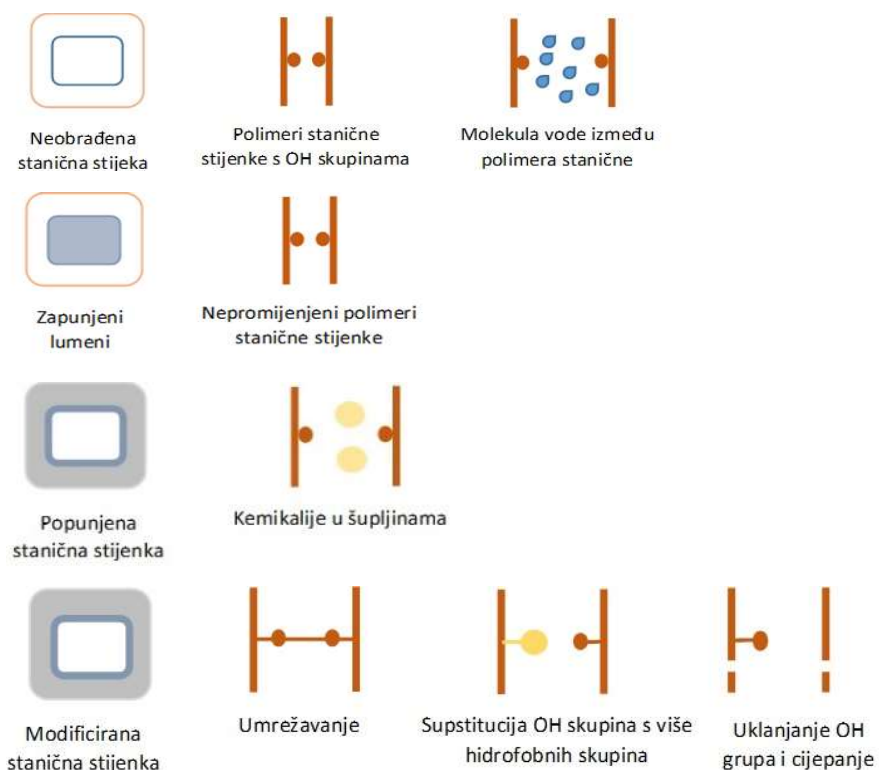
Modifikacija drveta je obrada drveta, gdje se mijenjaju polimeri stanične stijenke molekularne strukture ćelijskih zidnih polimera (celuloza, hemiceluloza i lignin). Kada je u pitanju termička modifikacija drveta polimeri ćelijskog zida su izmjenjeni. Ovo može dovesti do umrežavanja, redukcije OH-grupa i (neželjenog) cijepanja lanaca. Redukcija dostupnih OH-grupa dovodi do ograničene interakcije sa vodom u odnosu na neobrađeno drvo.

Drvena-industrija kontinuirano razvija napredne procese, materijale i rješenja kako bi zadovoljili zahtjeve i povećali konkurentnost na tržištu. Jedan od takvih tretmana koji se pojavljuje je termička modifikacija drveta. Termička modifikacija drveta izvodi se u kontroliranim uvjetima pri visokim temperaturama. U procesu modifikacije se upotrebljavaju samo toplota, vodena para i svježa voda bez upotrebe bilo kakvih hemijskih preparata ili aditiva, što ga čini potpuno ekološki prihvatljivim i neškodljivim za okolinu. Izvodi se na temperaturama između 160°C i 260°C, u posebno konstruisanim komorama opremljenim potpuno automatiziranim sistemom vođenja cjelokupnog procesa. Korištenjem visoke temperature, pritiska i vodene pare značajno se povećava kvalitet drveta i njegove fizičko-mehaničke osobine.

U procesu termičke modifikacije vlaga u drvetu se snižava do 1 %, a često se i ravnomjerno mijenja boja drveta u tamnije tonove. Termički modificirano drvo je na tržištu lošije zastupljeno, tu se pretežno javlja nekoliko vrsta drveta, kao npr. bukva i jasen postaju privlačniji kupcima na otvorenom tržištu. Termička modifikacija drveta smanjuje apsorpciju vlage i mijenja njene dimenzije (dilataciju), te povećava njegovu biološku otpornost i izolacijska svojstva. Postiže se i ravnomerna promjena boja u tamnije tonove kroz cijeli presjek. Time se dobiva znatno kvalitetnije i podobnije drvo koje se pokazalo vrlo dobrim i pri završnoj obradi lakiranjem.

Za vrijeme modifikacije drveta istovremeno se postižu i neki drugi pozitivni ciljevi: povećava se nepropusnost za vodu, otpornost na kiseline ili baze, UV-otpornost, biološka otpornost, termička otpornost, te se poboljšavaju mehaničke osobine.

Djelovanjem visokog pritiska na masivno drvo dolazi do njegovog zgušnjavanja i smanjenja poroznosti. Mehaničke osobine zgnusnutoga drveta se poboljšavaju, tako da odnos između težine i tvrdoće još uvijek ostaje vrlo dobar. Ove postupke kompresije na masivnom drvetu uvode se sve više kod obrade furnira ili manjih drvenih lamela, kojima radi boljeg prijanjanja se dodaju različiti smolasti dodaci.



Slika 1: Različiti procesi modifikacije masivnog drveta

Najvažniji parametri o kojima ovise osobine termičke modifikacije drveta:

- vrsta grijućeg medija,
- vrijeme trajanja procesa,
- završna temperatura,
- vlaga drveta prije temperature,
- vrsta drveta.

Tabela 1: Patentirani i u praksi uspješno primjenjeni procesi

Proces	Godina	Početni sadržaj MC (%)	Temperatura (°C)	Trajanje procesa (h)	Pritisak (MPa)	Sredstva za prijenos topline/atmosfere
Plato Wood	1980	14-18	150-180/170-190	4-5	0.6-0.8	Vodena para
Thermo wood	1990	10	130/185-230/80-90	2-3	0.1	Vodena para
Le Bois procedure	1990	Svježe	200-230	12-36	0.1	Vodena para
Ratifikacion	1997	12	160-240	8-24	-	Atmosfera dušika
Menz Holz	2000	10	180-220	18	-	Biljno ulje

### 3. MEHANIČKO FIZIČKE PROMJENE U TERMIČKI TRETIRANOM DRVETU

Termička obrada značajno utiče na osobine drveta, npr. higroskopnost i dimenzionalnu stabilnost, otpornost na biotičke uzročnike, mehaničke osobine, osobine kao što su boja, miris, ljepljivost i performanse premaza (Tabela 2). Gubitak mase drveta tokom termičke obrade je tipičan efekat procesa. Može doći do smanjenja mase do 20% u zavisnosti od tipa procesa. Većina svojstava TMD-a su pored osobina sirovine, pod uticajem intenziteta procesa termičke obrade, tj. temperature i trajanja procesa.

U istraživanju toplotne obrade drveta gdje se istraživao uticaj brzine izmjene vazduha i početnog sadržaja vlage na fizičke i mehaničke osobine drveta topole [8], navodi se u analizi koja je jasno pokazala kako toplinska obrada na niskoj i visokoj brzini izmjene vazduha ima različitu kinetiku degradacije, čak i ako su nađene slične vrijednosti energijske aktivacije. Također su prezentirane i neke fizičke i mehaničke osobine drveta nakon obrade do gubitka mase od 7 i 10 %, počevši od stanja sušenja u komori ili od standardnih uvjeta okoline. Svi tretirani uzorci pokazali su statistički značajne razlike u odnosu na netretirane.

Budući da su mnoge mehaničke osobine drveta, kao što su tvrdoća, model elastičnosti ili otpornost na abraziju, u korelaciji sa gustoćom, povećanje gustoće može dovesti do poboljšanja ovih osobina. Zbog toga je učinjeno mnogo pokušaja da se razvije pogodan proces za zgušnjavanje drveta gdje se spominje u istraživanjima [9].

U radu [10] se bave procjenom utjecaja temperature termičke obrade i gubitka mase na čvrstoću smicanja ljepljenih smrekovih uzoraka fenol-formaldehid (FF) i urea-formaldehid (UF) ljeplima, koji su predhodno termički modificirani. Rezultat ovog istraživanja je pokazao da toplinska obrada uzrokuje gubitak mase tretiranog drva, ali s druge strane, posmična čvrstoća FF i UF adhezivnih veza nije značajno smanjena u odnosu na netretirano drvo. Potapanje uzoraka u vodi dovelo je do smanjenja čvrstoće na smicanje za oko 40-50%. Značajno smanjenje čvrstoće na smicanje uočeno je i kod kuhanih uzoraka. Čak i tako smanjenje čvrstoće na smicanje uzoraka ljepljenih sa FF bila je puno veća nakon ključanja vode, dok se većina uzoraka vezanih s UF ljeplimom raspala.

Da bi se proučio efekat termičke obrade na adheziju drveta, drvene ploče od smreke (*Picea abies* Karst.) su termički obrađene i vezane polietilenom. Mehaničkim testovima na nemodificiranim i termički modificiranim uzorcima utvrđeno je snažno poboljšanje adhezije između modificirane površine drveta i polietilena [11].

Tabela 2: Glavne promjene osobina termički obrađenog drveta u usporedbi s neobrađenim drvjetom

Poželjna promjena	Nepoželjna promjena
Povećana dimenzijska stabilnost	Smanjena udarna čvrstoća
Povećanja otpornost prema propadanju	Povećanja krutost
Niža toplotna provodnost	Smanjena tvrdoća
Niža gustoća	Duže vrijeme obrade za lijepljenje
Tamno smeđe boje	-
Karakterističan miris	-

Toplotna obrada drveta značajno se povećala u posljednjih nekoliko godina i još uvijek raste kao industrijski proces za poboljšanje nekih osobina drveta. Kako je navedeno, prve studije o toplotnom tretmanu drveta bazirale su se na istraživanju ravnotežne vlažnosti, dimenzijske stabilnosti, trajnosti i mehaničkih osobina. Gubitak mase, vlažnost, boja drveta i hemijske transformacije su također detaljno proučavane, dok se određen dio radova fokusira na kontrolu kvaliteta, modeliranje i proučavaju razloga za poboljšanja. Sve navedeno znači da postoji veliki interes za toplinsku obradu drveta, poboljšanje osobina drveta, hemijskim promjenama i kontrolu kvaliteta.

#### 4. UTICAJ TERMO MODIFICIRANOG DRVETA NA OKOLINU

Drvo, kao obnovljivi materijal, biogenog porijekla, ekološki prihvatljiv i energetski povoljan materijal ima velike ekonomske i tehničke prednosti u odnosu na ostale materijale. U neposrednoj eksploataciji drveta postoje određeni nedostaci koji se odnose na nedovoljnu trajnost drveta. Prije svega, drvo je podložno razgradnji usljed djelovanja abiotskih i biotskih uzročnika, to je zapaljiv materijal i mijenja dimenzije s promjenama sadržaja vlage. Poseban problem se susreće kada se koriste manje kvalitetne vrste drveta koje se moraju zaštititi ekološki prihvatljivim metodama zaštite. S tim u vezi rade se obimna istraživanja postupaka kojim se nastoje nadomjestiti ili potpuno eliminirati nepoželjne prirodne osobine drveta, odnosno poboljšati njegova trajnost i fizičko-mehaničke osobine. U posljednjih nekoliko desetaka godina kao moderno rješenje se nameće modifikacija drveta. Modifikacija drveta je generički pojam koji opisuje primjenu hemijskih, fizičkih ili bioloških metoda za izmjenu svojstava materijala.

Cilj je postići bolji učinak od drveta, što rezultira poboljšanjem dimenzijske stabilnosti, otpornosti na propadanje, otpornosti na vremenske utjecaje, itd. Bitno je da modificirano drvo nije toksično kod upotrebe i da odlaganje na kraju životnog vijeka ne rezultira u stvaranju bilo kakvih toksičnih ostataka. Analizom dosadašnjih istraživanja vezanih za termičku modifikaciju drveta otvorena je mogućnost modificiranja konstrukcijskih spojeva kao rezultat sve izraženijih zahtjeva za poboljšanje mehaničkih i fizičkih osobina masivnog drveta. Očekivati je da će utjecaj termičke modifikacije na masivno drvo produženo različitim konstrukcijskim spojevima poboljšano djelovati na njegove fizičko-mehaničke osobine u odnosu na nemodificirano drvo.

#### 5. ZAKLJUČAK

Primjena ovakvog procesa obrade drveta daje nam dva veoma bitna faktora a to su da produžuje vijek trajanja, a drugi da je sa ekološke strane veoma prihvatljiv proizvod. Termička obrada drveta je inovativan proces koji se primjenjuje u industriji. Zbog toga danas u svijetu se termički modificirano drvo koristi za parkete, izradu drvenih podnih obloga, vanjsku upotrebu (polaganje na terase, oko bazena ali i na mostove).

Termičkom obradom, drvo postaje stabilnije i smanjuje se mogućnost dimenzijskih deformacija, povećavaju mu se izolaciona svojstva, otpornost na truljenje i napade raznih insekata se u velikoj mjeri povećava čime mu proporcionalno raste i dužina trajanja.

Sve ovo navodi na zaključak da osim što je sam proces termičke obrade drveta ekološki prihvatljiv, jer se ne koriste štetne supstance, termički modificirano drvo svojom dužinom trajanja omogućava obnavljanje šumskog bogatstva.

Ono što je bitno naglasiti da cijeli svijet prihvatio trend termičke obrade drveta kojim se nastoje unaprijediti njegova svojstva, na osnovu čega možemo zaključiti da bi naši proizvođači u Bosni i Hercegovini, obzirom na bogatstvo šumama koje nam je priroda dala, trebali početi primjenjivati proces termičke modifikacije drveta, čime bi mogli konkurisati na svjetskom tržištu, a sa druge strane smanjili bi neograničenu sječu šuma i uništenje prirode.

Mogućnost daljih istraživanja je u pronalazaženju uticaja termičke modifikacije na konstrukcijsko lijepljeno drvo, na njegove fizičko-mehaničke osobine (čvrstoće na istezanja, savijanje, smicanje) u odnosu na nemodificirano drvo i optimizacija bitnih parametara termičke modifikacije s ciljem poboljšanja fizičko-mehaničkih faktora.

## 6. LITERATURA

- [1] C. A. Hill, »Wood modification: An update,« *BioResources*, svez. 6, br. 2, pp. 91-919, 2011.
- [2] M. Boonstra, *A two-stage thermal modification of wood*, Universitet Henri Poincare-Nancy, 2008.
- [3] H. Militz, »Thermal treatment of wood: European processes and their background,« *IRG/WP*, 2002.
- [4] D. Sandberg, A. Kutnar i G. Mantanis, »Wood modification technologies-a review,« *iForest-Biogeosciences and Forestry*, svez. 10, br. 6, p. 895, 2017.
- [5] B. Esteves, »Pine wood modification by heat treatment in air,« *BioResources*, pp. 142-154, 2008.
- [6] K. Laine, L. Rautkari, M. Hughes i A. Kutnar, »Reducing the set-recovery of surface densified solid Scots pine wood by hydrothermal post-treatment,« *European Journal of Wood and Wood Products*, svez. 71, br. 1, pp. 17-23, 2013.
- [7] L. Rautkari, K. Laine, A. Kutnar, S. Medved i M. Hughes, »Hardness and density profile of surface densified and thermally modified Scots pine in relation to degree of densification,« *Journal of materials science*, svez. 48, br. 6, pp. 2370--2375, 2013.
- [8] G. Goli, B. Marcon i M. Fioravanti, »Poplar wood heat treatment: effect of air ventilation rate and initial moisture content on reaction kinetics, physical and mechanical properties,« *Wood science and technology*, svez. 48, br. 6, pp. 1303-1316, 2014.
- [9] P. Navi i F. Girardet, »Effects of thermo-hydro-mechanical treatment on the structure and properties of wood,« *Holzforschung*, svez. 54, br. 3, pp. 287-293, 2000.
- [10] M. Šernek, M. Humar, M. Kumer i F. Pohleven, »Bonding of thermally modified spruce with PF and UF adhesives,« u *Proceedings of the 5th COST Action E34 International Workshop, Bonding of Modified Wood*, 2007.
- [11] F. Follrich, U. Müller i W. Gindl, »Effects of thermal modification on the adhesion between spruce wood (*Picea abies* Karst.) and a thermoplastic polymer,« *Holz als Roh-und Werkstoff*, svez. 64, br. 5, pp. 373-376, 2006.
- [12] D. Sandberg i A. Kutnar, »Thermally modified timber: recent developments in Europe and North America,« *Wood and Fiber Science*, svez. 48, br. 1, pp. 28-39, 2016.