

PERSPEKTIVE ISKORIŠTAVANJA DRVNOG I PLASTIČNOG OTPADA U SREDNJOJ BOSNI

Abstrakt: Iskorištavanje drvnog i plastičnog otpada u srednjoj Bosni predstavlja priliku za unapređenje ekonomskog razvoja, energetske učinkovitosti i ekološke održivosti. Zbog bogatstva šumskih resursa ove regije i velikog broja drvoprerađivača, nastali drveni otpad bi se mogao koristiti za proizvodnju bioenergije, peleta te kompozitnih materijala. Na ovaj način bi se, osim smanjenja količine otpada, doprinijelo smanjenju emisija CO₂ i poticalo korištenje obnovljivih izvora energije. Plastični otpad, kao proizvod modernog života, iako izazov zbog svoje dugotrajnosti raspada, može se reciklirati u proizvodnju novih plastičnih materijala, građevinskih proizvoda, pa čak i sintetičkih goriva. Osim pojedinačnog i kombinirano iskorištavanje drvnog i plastičnog otpada može dovesti do inovativnih rješenja, poput drveno-plastičnih kompozita (wood plastic composite - WPC) koji se već široko koriste u građevinskoj i drugim industrijskim granama u svijetu. Za ostvarivanje ovih ciljeva potreban je razvoj infrastrukture za reciklažu kao i primjena zakonodavne podrške. Poticanje ovih aktivnosti može donijeti višestruke koristi kroz nova radna mjesta, ekonomski razvoj, smanjenje negativnog utjecaja otpada na okoliš i povećanje konkurentnosti regije na tržištu.

Ključne riječi: drveni otpad, plastični otpad, drveno-plastični kompoziti - WPC

PERSPECTIVES FOR THE UTILIZATION OF WOOD AND PLASTIC WASTE IN CENTRAL BOSNIA

Abstract: Utilization of wood and plastic waste in central Bosnia represents an opportunity to improve economic development, energy efficiency and ecological sustainability. Due to the wealth of forest resources of this region and the large number of wood processors, the generated wood waste could be used for the production of bioenergy, pellets and composite materials. In this way, in addition to reducing the amount of waste, it would contribute to the reduction of CO₂ emissions and encourage the use of renewable energy sources. Plastic waste, as a product of modern life, although a challenge due to its long-term decomposition, can be recycled into the production of new plastic materials, construction products and even synthetic fuels. In addition to the individual and combined utilization of wood and plastic waste can lead to innovative solutions, such as wood-plastic composites - WPC, which are already widely used in construction and other industrial branches in the world. Achieving these goals requires the development of recycling infrastructure as well as the application of legislative support. Encouraging these activities can bring multiple benefits through new jobs, economic development, reducing the negative impact of waste on the environment and increasing the competitiveness of the region on the market.

Keywords: wood waste, plastic waste, wood-plastic composites - WPC

¹ Faculty of Engineering and Natural Sciences, University of Zenica

² Institute "Kemal Kapetanović", University of Zenica

1. UVOD

Danas prevladava spoznaja kako je otpad najčešće važan izvor visokovrijednih sirovina iz kojih se različitim postupcima recikliranja dobija novi proizvod, jer otpad čine različite vrste materijala kao što su drvo i drvni proizvodi, plastika, metal i dr. U drvnoj industriji tokom prerade drva, ali i tokom obrade u šumi, nastaje drveni otpad „bez tehničke vrijednosti“, koji je pogodan za recikliranje. Slično se može reći i za plastične materijale, odnosno za plastični otpad.

Prema dostupnim podacima privrednih komora, razvojnih agencija i drugih relevantnih organizacija procjenjuje se da je u ovom trenutku u regionu Srednje Bosne (ZDK i SBK) aktivno više od 200 malih, srednjih i velikih poslovnih sistema u oblasti drvoprerade (industrija namještaja, parketa, briketa, peleta, prozora, vrata, montažnih kuća i dr.). Svake godine u ovom sektoru bilježi se najveći rast u smislu otvaranja novih ili širenja postojećih pogona kao i kupovine novih savremenih mašina sa CNC tehnologijama (sušare, obradni centri primarne i završne obrade i dr.). Neki od značajnijih sistema koji se nalaze na oko 100 km od grada Zenice, a koji zapošljavaju 100 ili više radnika su: FIS Ambyenta-Vitez, SECOM-Visoko, Artisan Tešanj, Tamex Busovača, Kesten Vitez, Prevent Interior Visoko, Standard Ilijaš, Tvornica montažnih kuća Zavidovići, Promo Donji Vakuf, MS Wood Fojnica i brojni drugi.

Korištenje drvnog i plastičnog otpada u srednjoj Bosni može biti vrlo obećavajuće, uzimajući u obzir ekološke, ekonomske i energetske prednosti koje takva industrijska rješenja mogu donijeti. Ovaj rad bi trebao potaknuti istraživanje koje bi dalo odgovore na pitanja da li u srednjoj Bosni ima dovoljno drvnog i plastičnog otpada da se isplati ponovno koristiti i koje mogućnosti nudi i kako može uticati na društvo, ekonomiju i okoliš.

2. KOMBINOVANO KORIŠTENJE DRVNOG I PLASTIČNOG OTPADA

Posljednjih petnaestak godina u svijetu je proveden niz istraživanja s područja izrade i primjene drvo-plastičnih kompozita (WOOD - PLASTIC COMPOSITES - WPC). Istraživan je izbor odgovarajućeg tipa osnovnog materijala (čistog ili recikliranog) i definiranje njihova određenog omjera, razvoj proizvodnih postupaka, ispitivanje svojstava dobivenog WPC-a, primjena i dizajn krajnjih proizvoda te njihovo prihvatanje na tržištu. Dakle, razvoj WPC materijala ima velik broj mogućnosti u dobivanju kompozita različitih svojstava, a time i u oblikovanju i svojstvima krajnjih proizvoda. Stoga su današnja istraživanja usmjerena na tačno definiranje svih parametara. Zbog povećanih zahtjeva svojstava primjene proizvoda razvijaju se drvo-plastični kompoziti, unaprijeđenih svojstava zbog nove strukturne građe WPC-a, čija primjena omogućuje inovativniji dizajn proizvoda. Ako bi se smanjio ugljični otisak, kao sirovine za proizvodnju ekološki prihvatljivog WPC koriste se otpadno drvo i reciklirana plastika [1].

2.1. Drvo kao punilo drvo – plastičnih kompozita

Drvni produkti kao što su drvo brašno, piljevina i drvena vlakna osnovne su komponente drvo plastičnih kompozita. Veličina i oblik drvne komponente glavni su uticajni faktori na upotreba svojstva kompozita. Drvo brašno predstavlja drvo svedeno na sitne, razdvojene čestice koje izgledom, veličinom i strukturom podsjećaju

na čestice brašna. To je relativno jeftin materijal i čini proces proizvodnje kompozita jednostavnim. Drvno brašno je otpadni produkt iz pilanskih procesa koji je usitnjen. Ne postoji standardna metoda dobijanja drvnog brašna, već se korištenjem mlinova različitih prečnika oka sita, prosijavanjem dobijaju različite veličine zrna [2]. Za proizvodnju drvno-plastičnih kompozita upotrebljavaju se različite vrste drvnog brašna, a njihov izbor ponajviše zavisi o dostupnosti sirovine karakteristične za geografski položaj. Najčešće korišteni materijali su bor, smreka, javor i hrast, ali se mogu koristiti i druge vrste drveta.

Izrada određenih vrsta vlakana i granulata spada pod najkomercijalnije metode izrade. Drvna se vlakna dobivaju različitim metodama koja najčešće obuhvaćaju neku vrstu mehaničkog ili hemijskog razdvajanja cjelovitog drveta. Tim postupcima mijenjaju se svojstva drveta, a time i svojstva drvno-plastičnih kompozita. Drvna vlakna spadaju među bolja punila za drvno-plastične kompozite zbog velikog odnosa dužine i prečnika što uzrokuje visoku čvrstoću i mogućnost dobrog prenosa naprezanja unutar matrice.

Drvno-plastični kompoziti (WPC) su materijali u kojima je polimerni materijal matrica u kojoj je drveni materijal dispergirao kao punilo. Pritom se pod pojmom drvo najčešće smatraju drveni produkti: drvno brašno, piljevina ili ostaci drvenastih poljoprivrednih biljaka [3].

2.2. Korištenje plastičnog otpada

Proizvodnja plastike u svijetu eksponencijalno je narasla zadnjih desetljeća, od 1,5 miliona tona 1950. na 359 miliona tona 2018. godine, a u skladu s tim narasla je i količina plastičnog otpada. Nakon naglog pada proizvodnje u prvoj polovini 2020. godine, zbog koronavirusa, proizvodnja se u drugoj polovini godine ponovno povećala.

Energetska obrada otpada najčešći je način obrade plastičnog otpada u Evropi, nakon čega slijedi recikliranje. Oko 25 % plastičnog otpada odlaze se pod zemljom. Niska stopa recikliranja plastike u EU znači velike gubitke za privredu i okoliš. Prema procjenama, 95 % vrijednosti plastičnog materijala izgubi se zbog kratkoročnog jednokratnog korištenja.

Prema dostupnim podacima, u Bosni i Hercegovini se na godišnjem nivou proizvodi oko 150 000 tona plastičnog otpada, od toga se **reciklira samo 2 %**, a 98 % završava na deponijama ili, nažalost, negdje u prirodi, gdje će ostati nekoliko stotina godina.

Recikliranje plastičnog otpada se vrši uglavnom izvan BiH, ali važno je napomenuti da u BiH postoji više ovlaštenih operatera koji se bave selekcijom i prikupljanjem ambalažnog otpada.

Nakon sortiranja po sastavu (vrsti) plastike, relativno jednostavnim procesom pripreme i zagrijavanja, ovi materijali se mogu iskoristiti za proizvodnju novih drvno-plastičnih kompozitnih materijala. Za izradu drvno-plastičnih kompozita primjenjuju se sintetički polimerni materijali koji se međusobno razlikuju prema hemijskom sastavu. Dije se na poliolefine, poliestere, poliamide, poliuretane, a prema strukturnoj građi makromolekule dijele se na linearne, razgranate i umrežene. Prema mehaničkim svojstvima dijele se na poliplaste (plastična svojstva) i elastomere (elastična

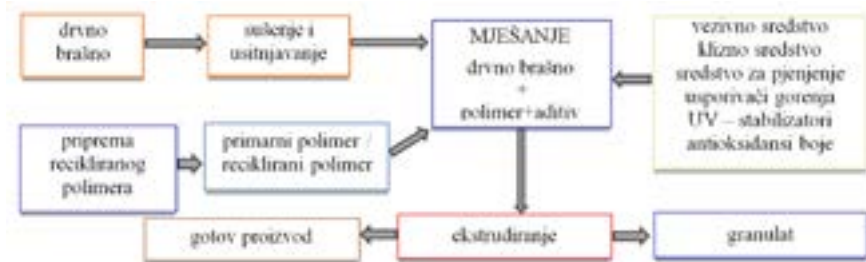
svojstva). Poliplasti se dijele na plastomere (termoplaste) i duromere (termosete). Plastomeri su linearni, razgranati polimeri koji se mogu višestruko prerađivati u taljevini (ekstrudiranjem), dok prerada nema veće posljedice na svojstva. Za razliku od polimera, duromeri se ne mogu preoblikovati i već se izradom dobiju gotovi produkti. Kod proizvodnje drvo-plastičnih kompozita koriste se isključivo polimeri, temperature prerade do 200 °C (zbog termičkih svojstava drveta). U primjeni se najčešće koriste polietilen, polipropilen i u manjim količinama polistiren. Iako je temperatura od 200 °C određena temperatura prerade ona nije apsolutna [2].

Za komercijalnu proizvodnju koriste se polietilen visoke gustoće (PE-HD) i polietilen niske gustoće (PE-LD). Polietilen niske gustoće dobiven lančanom polimerizacijom posjeduje svojstva žilavosti, otpornosti na kidanje, kiseline i alkalije. Nedostatak mu je nepotpuna prozirnost. Polietilen visoke gustoće ima linearnu strukturu makromolekula, veću molekulsku masu, velik udio kristalne faze te visoku gustoću i temperaturu topljenja. To mu daje veliku čvrstoću i tvrdoću i znatno veću krutost od PE-LD. Kako bi se drvo-plastični kompozit bolje obradio materijal treba imati manju kristalnost. Ona zavisi od brzine hlađenja izrađenog profila, što utiče na skupljanje, lomljivost i unutarnja naprezanja [2].

3. PROIZVODNJA I SVOJSTVA DRVNO-PLASTIČNIH KOMPOZITA (WPC)

WPC ploče se mogu proizvesti na nekoliko načina: ekstrudiranjem, injekcijskim presovanjem, toplim oblikovanjem i pultrudiranjem. Najčešći način izrade je ekstruzija gdje se granulat miješanjem i grijanjem kompresuje i istiskuje te oblikuje. Proces proizvodnje drvo-polimernog kompozita ekstrudiranjem sastoji se od faza shematski prikazanih na slici 1. Ekstrudiranjem WPC je moguće dobiti pune ili šuplje profile i taj proces povećava efikasnost i omogućuje fleksibilan dizajn. To su proizvodi koji ne trebaju daljnju obradu, dok su mehanička i druga svojstva finalnih proizvoda zadovoljavajuća.

Slika 1. Shematski prikaz faza proizvodnje drvo-plastičnih kompozita metodom ekstruzije



Injekcijsko presovanje se primjenjuje rjeđe i to za oblikovanje proizvoda složenijih oblika. Sastojci se prvo pomiješaju, griju i tope, a zatim se od smjese oblikuje konačni proizvod. Osim miješanja u miješalici, ono se može provesti ekstrudiranjem nakon čega se pravi granulat. Tako pripravljen granulat injekcijski se presuje. Prednosti ekstrudiranja u odnosu na injekcijsko presovanje su manja osjetljivost na vlažnost materijala i dobijanje gotovog proizvoda u jednom koraku jer se miješanje komponenata može obaviti u istom ekstruderu kojim se oblikuje profil, ali to zahtijeva ekstruder s dva pužna vijka, a njegova cijena je viša od jednopužnog.

Malo je istraživanja bilo posvećeno proizvodnji WPC-a metodom ravnog presovanja. Razlog tome je kompleksno tj. komplicirano dobivanje homogenih smjesa. Klyosov i sur. [4] u svom su radu analizirali koliko i kako drvo punilo, gustoća ploče, temperatura i vrijeme presovanja utiču na svojstva drvo-plastičnih kompozita koji su izrađeni metodom presovanja. Koristili su polietilen i punila raznih vrsta listača i četinjača u obliku brašna, iverja i mješavinu sječke i piljevine (u omjeru 10:90) sa sadržajem vlage od 2 % do 3 %.

Kompoziti se proizvode pri temperaturi oko 200 °C što je i temperatura razgradnje lignina i akcesornih tvari. One mogu uzrokovati nastajanje mikro šupljina što smanjuje gustoću kompozita te njihova fizikalno-mehanička svojstva. Također, postaju podložni biološkom propadanju. Uz to akcesorne tvari su lako topive u vodi, pa se migracijskim i sorpcijskim procesima mogu izlučiti na površinu kompozita i stvoriti tamne mrlje. Tanini u kombinaciji sa solima željeza mogu uzrokovati tamnjenje na površini kompozita, pa kontakti s npr. čavlima mogu uzrokovati tamnjenje površine. Takve mrlje mogu se ukloniti oksidacijom [5].

Drvo-plastični kompoziti ujedinjuju svojstva plastike i drveta. Općenito, ugradnja drveta u plastičnu matricu poboljšava mehanička svojstva u poređenju s plastičnim materijalom. Nasuprot tome, plastika u kombinaciji s drvom smanjuje bubrenje u vodi u usporedbi s čistim drvetom. Fizička svojstva općenito su povezana sa strukturom materijala tako da se mjerenje promjena fizičkih svojstava može koristiti za procjenu strukturnih promjena materijala. Termičko ponašanje i stabilnost vrlo su važni parametri za obradu i upotrebu drvo-plastičnih kompozita. Proizvodnja ovakvih kompozita zahtijeva miješanje drvnih vlakana i polimerne matrice na povišenoj temperaturi tako da može doći do razgradnje celuloznog materijala što može izazvati neželjene efekte na svojstva drvo-plastičnih kompozita. Tehnike koje se najčešće koriste za termičku analizu su termogravimetrijska analiza (TGA) i diferencijalna pretražna kalorimetrija (DSC) [6].

Glavni uticaj drvnog brašna u drvo-plastičnim kompozitima je poboljšanje krutosti u savijanju i napetosti. Dok je poboljšanje snage savijanja većinom uspješno, poboljšanje zatezne čvrstoće nije zagarantovano. Zatezna svojstva većine materijala, dobivenih iz drvo-plastičnih kompozita, ostaju niska u odnosu na drvo ili druge građevinske proizvode te se zato proizvod ne koristi u primjenama gdje je zatezna čvrstoća ograničavajući faktor. Aspekti lakog održavanja proizvoda dobivenih iz drvo-plastičnih kompozita čine ih privlačnima za upotrebu. Primjerice, nedostatak stvaranja iverja i jednostavnost čišćenja dovode do širokog prihvatanja ovih proizvoda [7].

Područje primjene WPC je široko, a najčešće se primjenjuju u građevinarstvu (podovi, palube brodova, ograde, klupe, prozori, vrata, namještaj), autoindustriji i za opštu namjenu (tabela 1).

Tabela 1. Primjena drvno-plastičnih kompozita

INTERIJERI	EKSTERIJERI	JAVNI OBJEKTI	TRANSPORT
namještaj	vanjske vertikale i horizontalne obloge	oprema za dječja igrališta	brodski podovi, dokovi i ograde
stepenice i ručkovi	vrtni namještaj	klupe za parkove	unutrašnje obloge vrata
oplate i profili za podove	vrtna arhitektura	zaštitne ograde	oslonci sjedišta
pregradni zidovi	fasade i zvučne izolacije	pješački mostovi	podovi kamiona i prikolica
radne ploče i kuhinje	ograde	podni profili	poklopci motora
okviri za vrata i prozore	stepeništa	zvučni zidovi na cestama	komandne ploče
			

WPC materijali su našli primjenu kao nenosivi i djelomično opterećeni dijelovi sklopova, podne i zidne obloge, vanjske fasadne obloge, elementi mostova, dijelovi za elemente interijera u avionskoj i automobilskoj industriji [4].

4. ZAKLJUČAK

Životni stil modernog čovjeka u potrošačkom društvu ogleda se u poboljšanju životnog standarda, što rezultira povećanom proizvodnjom proizvoda od drveta i plastike koji nakon korištenja postaju otpad. Prikladno zbrinjavanje sve veće količine otpadnog materijala sve je veći globalni problem, pri čemu se drvno-plastični kompoziti (WPC) nameću kao logično rješenje. WPC pokazuje vrlo dobra svojstva u različitim uslovima upotrebe, na koja dominantno utiču drveni materijali (punila). Organsko porijeklo punila uslovljava njihova svojstva, a u konačnici i svojstva izrađenog WPC-a. Radi smanjenja prirodnih nedostataka, provode se različiti predtretmani i najčešće, hemijske, modifikacije organskih punila. Rezultati modifikacija očituju se u izradi kompozita boljih svojstava primjene.

Drvno-plastični kompozitni materijali imaju dobre performanse obrade, dobru otpornost na kompresiju i na savijanje kao i svojstva otpornosti na vodu i koroziju i dug radni vijek.

Relativno niska cijena izrade, gotovo neograničena sirovinaska baza, mogućnost ponovne reciklaže kompozita i izuzetno velika mogućnost njihove primjene sigurno potvrđuju nužnost daljeg istraživanja i unapređivanja drvno-plastičnih kompozita, s ciljem opšteg povećanja njihove upotrebe u različitim područjima savremenog života.

ZAHVALA

Ovo istraživanje financirano je pod pokroviteljstvom Europskog fonda za regionalni razvoj, Operativni program Knowhow Communities for Accelerating RTI Transfer in the Danube Region / RTIT>> 2024. – 2026.

LITERATURA

1. Liu K, Jayaraman D, Shi Y, Harries K, Yang J, Jin W, Shi Y, Wu J, Jacome P, Trujillo D. Bamboo, 2022.: A Very Sustainable Construction Material-2021 International Online Seminar summary report. Sustainable Structures, 2, (1):15
2. N. Španić, V. Jambreković, A. Antonović, 2010.: Osnovni materijali za proizvodnju drvno plastičnih kompozita, Drvna industrija, 61: 259–269.
3. Klyosov, A. A. 2007.: Wood-Plastic Composites, John Wiley & Sons, Inc., New York.
4. Lyutyy, P., Bekhta, P., Sedliacik, J., Ortynska, G. 2014.: Properties of flatpressed wood-polymer composites made using secondary polyethylene. ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE ZVOLEN, 56(1): 39-50.
5. Bekhta, P.; Lyutyy P., Ortynska G. 2016.: Effects of Different Kinds of Coating Materials on Properties of Flat Pressed WPC Panels. Drvna industrija 67 (2): 113–118
6. S. M. Yadav, M. A. Rahandi Lubis, K. Sihag, 2021.: A Comprehensive Review on Process and Technological Aspects of Wood-Plastic Composites, Jurnal Sylva Lestari, 9: 329–356.
7. M. J. Spear, A. Eder, M. Carus, 2015.: Wood polymer composites, Wood Composites: 195– 249.