

ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI ZA PROIZVODNJU WPC KOMPOZITA NA BAZI OTPADNIH SIROVINA

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY FOR PRODUCTION OF WPC COMPOSITE BASED ON WASTE RAW MATERIALS

Raza Sunulahpašić, prof. dr. sc., Marina Jovanović, prof. dr. sc.
Univerzitet u Zenici, Fakultet inženjerstva i prirodnih nauka
Travnička cesta 1, Zenica

Džafer Dautbegović, prof. dr. sc., Darko Petković, prof. dr. sc.
Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet
Fakultetska 1, Zenica

REZIME

Savremene industrijske prakse u svijetu sve više prepoznaju otpad kao vrijednu sirovinu, posebno u sektorima proizvodnje namještaja i prerade plastike. U Srednjoj Bosni, gdje postoji razvijena industrija pločastog namještaja, svakodnevno nastaju značajne količine drvene prašine i sitnog ostatka od rezanja i obrade ploča (iverice, MDF-a i dr.). Istovremeno, otpadna plastika, kao rezultat potrošačkih i industrijskih tokova, predstavlja izazov, ali i potencijal u kontekstu cirkularne ekonomije. Potrebno je istražiti mogućnosti kombiniranja ove dvije vrste otpada za proizvodnju kompozita drvo-polimer (WPC – wood-polymer composite) – savremeni materijal široke primjene u građevinarstvu, uređenju enterijera i eksterijera i drugim industrijama. Za domaće proizvođače, ovakvi materijali predstavljaju priliku za proširenje asortimana, unapređenje održivosti poslovanja i ulazak na nova tržišta. Kako bi se ovaj potencijal realizirao, potrebna su ulaganja u tehnologije za obradu i spajanje sirovina, kao i poticajni regulatorni okviri koji podržavaju inovativnu upotrebu industrijskog otpada.

Ključne riječi: drvena prašina, otpadna plastika, WPC kompoziti, savremeni materijali, održivo poslovanje

SUMMARY

Modern industrial practices in the world increasingly recognize waste as a valuable raw material, especially in the sectors of furniture production and plastic processing. In Central Bosnia, where there is a developed panel furniture industry, significant amounts of wood dust and small residue from cutting and processing panels (chipboard, MDF, etc.) are produced daily. At the same time, waste plastic, as a result of consumer and industrial flows, represents a challenge, but also potential in the context of a circular economy. It is necessary to explore the possibilities of combining these two types of waste for the production of wood-polymer composites (WPC – wood-polymer composite) – a modern material widely used in construction, interior and exterior decoration and other industries. For domestic producers, such materials represent an opportunity to expand the assortment, improve business sustainability and enter new markets. In order to realize this potential, investments are needed in technologies for processing and combining raw materials, as well as incentive regulatory frameworks that support the innovative use of industrial waste.

Keywords: wood dust, waste plastic, WPC composites, modern materials, sustainable business

1. UVOD

Savremeni koncept cirkularne ekonomije usmjeren je na smanjenje otpada i efikasnije korištenje resursa kroz ponovnu upotrebu, reciklažu i produženje životnog ciklusa materijala [1-3]. Industrija prerade drveta i plastike generiše značajne količine otpada koji često ostaje neiskorišten, iako predstavlja potencijalnu sirovinu za sekundarnu upotrebu. U Bosni i Hercegovini, naročito u regijama s razvijenom industrijom pločastog namještaja, svakodnevno nastaju velike količine drvene prašine, piljevine i ostataka od rezanja i obrade ploča, kao i otpadne plastike, što otvara mogućnost razvoja drvno-polimernih kompozita (WPC – Wood Plastic Composites), za koje se u industrijskoj praksi često koristi naziv „drvno-plastični kompoziti“, kao proizvoda visoke dodane vrijednosti. Drvno-plastični kompoziti spajaju prednosti drveta – čvrstoću, krutost i estetsku privlačnost – i plastike – otpornost na vlagu, mikroorganizme i koroziju. Zbog tih svojstava, WPC materijali nalaze primjenu u građevinarstvu, vanjskim i unutrašnjim oblogama, podovima, ogradama, fasadnim panelima, elementima namještaja i specijaliziranim industrijskim dijelovima.

Njihov razvoj je globalno motiviran trendovima održivosti i potrebom za efikasnijim korištenjem sekundarnih sirovina [4-7]. Projekat Research, Technology and Innovation Transfer (RTIT), realiziran kroz Danube Region Programme, ima za cilj jačanje saradnje između istraživačkih institucija i industrije [8]. U okviru Centra za inovativnost i preduzetništvo Univerziteta u Zenici (CIP UNZE), aktivnosti projekta fokusirane su na razvoj inovativnih tehnologija za valorizaciju drvnog i plastičnog otpada, te implementaciju modela cirkularne ekonomije koji povezuje proizvođače, istraživačke institucije i krajnje korisnike [9]. Projektni tim CIP UNZE u saradnji s industrijskim partnerima – kompanijama Omorika Johovac, Tisal Busovača, FIS Ambyenta Vitez, Prograd Žepče, Interior Žepče i drugi – istražuje tehnno-ekonomski isplativ način kombinovanja otpadne plastike i „vještačkih“ drvnih sortimenata (MDF, mediapan, OSB, šperploče i slični materijali), koji su zbog prisutnih aditiva i ljepila nepoželjni kao energenti, ali predstavljaju potencijalni resurs za proizvodnju WPC materijala.

Historijat WPC materijala je relativno kratak: prvi industrijski eksperiment izveden je 1983. godine u SAD-u za izradu enterijera automobila, dok su prve međunarodne konferencije i istraživanja na ovu temu počele početkom 1990-ih. Posljednjih decenija, WPC materijali bilježe značajan rast u upotrebi, prvenstveno zbog povećane svijesti o održivosti, smanjenju otpada i efikasnijoj upotrebi resursa. Danas, cilj projekta RTIT i CIP UNZE je razvoj WPC kompozita na bazi otpadnih materijala, čime se istovremeno doprinosi ekološkom zbrinjavanju otpada i stvaranju novih, održivih proizvoda.

2. NAJVAŽNIJE KARAKTERISTIKE PROIZVODNJE WPC

Drvo je jedna od najvažnijih sirovina na Zemlji i ima ključnu ulogu u svakodnevnom životu čovjeka. U mnogim zemljama u razvoju drvo je glavni izvor goriva, što dovodi do iscrpljivanja šuma, odnosno prirodnih bogatstava, i narušavanja ravnoteže u okolišu. Pretpostavlja se da će se, u nadolazećim godinama, mnogi ljudi širom svijeta suočiti s nedostatkom ogrjevnog drveta zbog smanjenja šumskih površina.

Glavni razlozi široke upotrebe drveta su njegova povoljna svojstva – niska gustoća, dobra mehanička svojstva i netoksičnost. Međutim, niska vodootpornost predstavlja značajan nedostatak, uzrokovan prirodnom higroskopnošću drveta [4]. Kako bi se smanjila potrošnja drvene mase i potaknulo očuvanje šumskih površina, 1990-ih su razvijeni drvno-plastični

kompoziti, koji kombiniraju plastične materijale i usitnjeno drvo te predstavljaju novu generaciju materijala s brojnim mogućnostima primjene [5].

Plastični materijali imaju široku primjenu u različitim područjima — u ambalažnoj industriji, graditeljstvu, tekstilnoj industriji i medicini — što rezultira stvaranjem velikih količina plastičnog otpada. Najveći nedostatak sintetskih polimera je njihova spora biodegradacija, zbog čega se ne smiju nekontrolirano odlagati u prirodu [6]. I drveni i plastični otpad pogodni su za recikliranje, a proizvodnja drvno-plastičnih kompozita predstavlja jedan od načina njihove ponovne upotrebe i doprinos razvoju cirkularne ekonomije.

Drvno-plastični kompoziti sastoje se od polimerne matrice i drvene mase kao punila. Kao i kod drugih kompozitnih materijala, sastavni materijali zadržavaju svoja osnovna svojstva, ali se kombiniranjem postiže novi materijal s povoljnom cijenom i mehaničkim i fizikalnim karakteristikama pogodnim za različite primjene [10]. Oblikuju se u daske ili grede koje se mogu koristiti za vanjske i unutrašnje podne obloge, ograde, klupe u parkovima, vanjski i unutrašnji namještaj (npr. stolice, naslone sjedala u automobilima) te okvire za vrata i prozore (tabela 1).

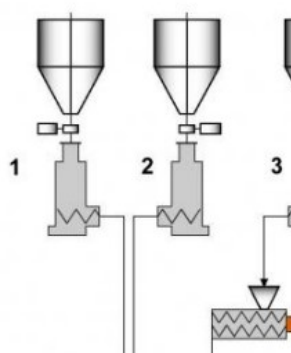
Tabela 1. Primjeri upotrebe drvno-plastičnih kompozita [11]

JAVNI PROSTORI		
Zvučni zidovi Ograde Pješački mostovi Urbani mobilijar Parkovne konstrukcije Dječja igrališta		
EKSTERIJERI		
Terase Fasade Vrtni elementi Ograde Arhitektonski detalji Stepeništa		
ENTERIJERI		
Podne i zidne obloge Namještaj Kuhinjske površine Pokretna vrata Okviri za vrata i prozore Pregradni zidovi		
TRANSPORT		
Podovi i obloge u vozilima Tehničke ploče Dijelovi kabina i motora Oslonci sjedišta Brodski podovi Unutrašnje obloge vrata		

Većina polimernih materijala niske cijene, poput polipropilena (PP), polietilena visoke gustoće (HDPE), polietilena niske gustoće (LDPE), poli(etilen-tereftalata) (PET) i polistirena (PS), odlikuje se nižom čvrstoćom. Zbog toga se u procesima njihove prerade često dodaju mineralna punila, poput kalcijeva karbonata (CaCO_3), radi poboljšanja mehaničkih svojstava [12]. Međutim, porast cijene anorganskih punila potaknuo je istraživače na pronalaženje ekološki prihvatljivih alternativa. Vlakna drвета te različitih biljnih vrsta (pšenična, rižina, lanena i dr.) pokazala su se kao dobra zamjena za mineralna punila. Drvo se smatra izuzetnim punilom zbog svoje specifične strukture, niske gustoće i dobrih mehaničkih svojstava [5]. Drvno-plastični kompoziti stoga imaju niz prednosti u odnosu na plastiku ojačanu mineralnim punilima — nižu cijenu, manju gustoću, lakše oblikovanje i zadovoljavajuća mehanička i fizikalna svojstva.

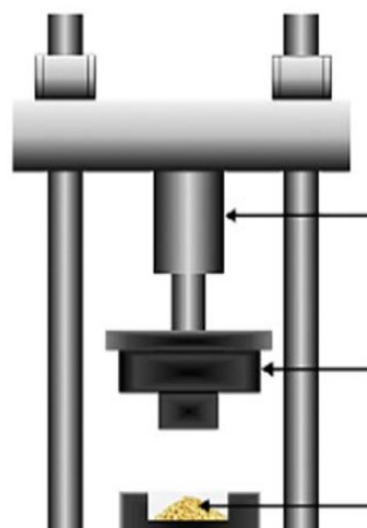
U poređenju s prirodnim drvetom i klasičnim drvnim proizvodima, drvno-plastični kompoziti predstavljaju relativno nove materijale. U razvijenim zemljama njihova je primjena široko rasprostranjena, a proizvode se miješanjem reciklirane plastike i usitnjenog drveta različitih granulacija – od većih čestica do drvnog brašna [4,5]. Nažalost, ova tehnologija još uvijek nije razvijena na industrijskoj razini u zemljama Zapadnog Balkana. Dodavanje drvnih čestica u polimernu matricu poboljšava mehanička svojstva, dok plastika smanjuje upijanje vode i bubrenje drvnih komponenti [7]. Korištenjem različitih drvnih i poljoprivrednih ostataka kao punila ne samo da se stvaraju materijali dobrih fizikalno-mehaničkih svojstava, već se doprinosi i efikasnom zbrinjavanju otpada te smanjenju negativnog utjecaja na okoliš [13].

U posljednje vrijeme sve je izraženija potreba za razvojem tehnologija koje omogućavaju recikliranje otpadnih polimernih i celuloznih materijala. Jedan od najperspektivnijih načina njihove ponovne upotrebe upravo je proizvodnja drvno-plastičnih kompozita, koji objedinjuju održivost, funkcionalnost i ekonomski potencijal za lokalnu industriju [6,14]. Osim pravilnog izbora sirovina, ključan faktor u proizvodnji kompozita je i tehnologija izrade. Usporedba dostupnih podataka pokazuje da su komercijalne metode obrade polimera ekstruzijom vrlo prikladne za proizvodnju drvno-plastičnih kompozita (slika 1), ali i da klasično presovanje (slika 2) ima značajan potencijal u ovom području [7]. S druge strane, u dostupnoj literaturi nedostaju podaci o proizvodnji WPC materijala koji koriste isključivo otpadne sirovine plastike i drveta, što predstavlja važan pravac budućih istraživanja.



1 - Doziranje polimera; 2 - Doziranje aditiva;
3 - Doziranje prirodnih vlakana; 4 - Korotirajući ekstruder MCM; 5 - Bočni dozator; 6 - Otplinjavanje; 7 - Glava za rezanje

Slika 1. Dobivanje drvno-plastičnog peleta ekstruzijom [15]



Slika 2. Prikaz kalupnog presovanja [16]

3. DRVNI I PLASTIČNI SEKTOR U BIH – POTENCIJAL ZA RAZVOJ WPC KOMPOZITA

Izvoz drvnog sektora Bosne i Hercegovine u 2024. godini iznosio je oko 1,8 milijardi KM, što predstavlja povećanje od 10,7 % u odnosu na 2023. godinu, dok je uvoz iznosio oko 587,15 miliona KM, što je 27,4 % više u odnosu na 2021. godinu. Najveći rast izvoza ostvaren je u segmentima šumarstva, ploča i furnira te građevinske stolarije, dok je zabilježen pad izvoza namještaja za 13,5 %, na vrijednost od oko 683,85 miliona KM. U prvoj polovini 2025. godine, uvoz drvne industrije BiH iznosio je 282,9 miliona KM, što predstavlja povećanje od 2,6 % u odnosu na isti period prethodne godine. Količinski, uvoz je iznosio 236.905 tona, što je rast od 14,6 %, čime se potvrđuje povećana potražnja za sirovinama i poluproizvodima u domaćoj preradi [17]. Upravo te količine uvoznih proizvoda ključne su za istraživanje tržišta otpadnih materijala koji bi mogli poslužiti kao sirovina za proizvodnju drvo-plastičnih kompozita. Riječ je prvenstveno o vještačkim drvnim sortimentima poput mediapana, iverice, lijepljenih furnira i OSB ploča. Procjenjuje se da se na godišnjem nivou u BiH koristi oko pola miliona tona ovih materijala, pri čemu otpad nastao krojenjem pločastog namještaja iznosi 10 – 20 %, što daje 50.000 – 100.000 tona drvnog otpada godišnje [9].

Vizija drvne industrije BiH jeste održavanje leaderske pozicije izvoznika proizvoda višeg stepena finalizacije u regiji. BiH ima dugogodišnje iskustvo u izvozu proizvoda viših faza prerade u zemlje EU, što potvrđuju izvozni rezultati, međunarodni certifikati i nagrade za dizajn i kvalitetu [17]. Drvna industrija BiH posebno je prepoznatljiva po izvozu masivnog bukovog namještaja, što je čini konkurentnom i manje zavisnom od uvoza [18]. Glavni ciljevi sektora su povećanje konkurentnosti, stabilnost lanca vrijednosti, te razvoj ljudskih resursa u skladu s potrebama tržišta. Jedan od strateških izazova ostaje uvođenje reciklažnih tehnologija u pločastom sektoru, dok su u sektoru masivnog drveta već gotovo u potpunosti implementirane (npr. proizvodnja peleta, briketa, sječke). Realizacijom ovih ciljeva moguće je povećati imidž drvne industrije BiH, povećati devizni priliv kroz izvoz proizvoda više dodane vrijednosti, te racionalnije koristiti sirovine uz veće zapošljavanje stručne radne snage [19].

Na globalnom nivou, proizvodnja plastike porasla je s 1,5 miliona tona 1950. na 359 miliona tona 2018. godine, a samim tim povećana je i količina plastičnog otpada [20]. Nakon pada proizvodnje 2020. godine usljed pandemije COVID-19, trend rasta se ponovno nastavio. Evropska unija provodi niz mjera za smanjenje plastičnog otpada, no značajan dio se i dalje energetski obrađuje ili odlaže na deponije, dok se oko 25 % i dalje trajno skladišti [21]. Zbog ograničenja uvoza plastičnog otpada u Kinu, EU se suočava s rizikom povećanog spaljivanja i odlaganja otpada, što dodatno naglašava potrebu za kružnim modelima upravljanja plastikom [3]. Procjenjuje se da se 95 % vrijednosti plastičnih materijala izgubi nakon jednokratne upotrebe, dok spaljivanje i proizvodnja plastike godišnje uzrokuju emisije od preko 850 miliona tona CO₂, koje bi do 2050. mogle dostići 2,8 milijardi tona [22]. U Bosni i Hercegovini se godišnje proizvede oko 150.000 tona plastičnog otpada, od čega se reciklira samo 2 %, dok 98 % završava na deponijama [23]. Postoji više ovlaštenih operatera koji se bave selekcijom i reciklažom ambalažnog otpada, a sortirani materijali se relativno jednostavno mogu ponovo preraditi za novu ambalažu. Plastika zbog svoje velike kalorične vrijednosti može služiti i kao alternativno gorivo, ali primarni cilj ostaje reciklaža i ponovna upotreba [21].

Kombiniranjem otpadnog drvnog materijala i plastičnih polimera, moguće je proizvesti drvo-plastične kompozite (WPC), čime se postiže smanjenje otpada, povećanje ekološke efikasnosti i razvoj novih održivih materijala. Upravo je to temeljni cilj projekta INTERREG RTIT, koji implementira CIP UNZE u saradnji s industrijskim partnerima, usmjeren ka razvoju tehnologija cirkularne ekonomije i valorizaciji otpada [8].

4. POTENCIJALI ZA PROIZVODNJU WPC U SREDNJOJ BOSNI

Na osnovu prethodnih analiza, kao i detaljnog mapiranja potencijala u regiji Srednje Bosne koje tokom 2025. godine provodi tim CIP UNZE, s ciljem utvrđivanja količina i vrsta plastika i drvnog otpada, koji ostaju neiskorišteni za dalju preradu u pelet ili briket, uočeno je da značajan dio tih materijala ekološki nije pogodan za direktno sagorijevanje u postojećim kotlovskim postrojenjima pri radnim temperaturama koje oni dostižu. U tom kontekstu ostvarena je široka sinergija s kompanijama kao što su Omorika Johovac – jedan od lidera prerade otpadne plastike u Bosni i Hercegovini, TISAL Busovača – jedan od većih proizvođača plastičnih proizvoda, te brojnim firmama drvnog sektora koje se bave preradom pločastog namještaja, odakle potiču najveće količine drvnog otpada koji još nije uključen u sistem „kružne ekonomije“ i adekvatne reciklaže, npr. FIS Ambyenta (slika 3), PERO, Prograd, Interior, Contego (slika 4) i dr.



*Slika 3. Deponija drvnog brašna AMBYENTA
Vitez*



*Slika 4. Sakupljanje drvnog brašna u firmi
CONTEGO*

Saradnja s navedenim kompanijama omogućila je prikupljanje preciznih podataka o vrstama, količinama i karakteristikama otpadnih materijala, što predstavlja važnu osnovu za razvoj novih kompozitnih materijala poput drveno-plastičnih kompozita (WPC). Poseban akcenat stavljen je na identifikaciju tokova otpada koji se trenutno odlažu ili spaljuju bez prethodne valorizacije, iako posjeduju značajan tehnički i ekonomski potencijal. Analize su pokazale da bi se uz relativno male investicije u opremu i prilagodbu procesa moglo uspostaviti više lokalnih mikrocentara za prikupljanje i selekciju otpada, čime bi se omogućila njegova dalja upotreba u proizvodnji kompozitnih materijala, panela, građevinskih i dekorativnih elemenata. Ovi rezultati dodatno potvrđuju da regija Srednje Bosne raspolaže s dovoljno sirovinske osnove i poslovne infrastrukture za razvoj novih, ekonomski održivih i ekološki prihvatljivih lanaca vrijednosti, koji bi povezali sektor prerade drveta, plastike i istraživačku zajednicu u okviru koncepta cirkularne ekonomije.

5. ZAKLJUČAK

Analize provedene u okviru projekta Research, Technology and Innovation Transfer (RTIT) pokazale su da Bosna i Hercegovina, a naročito regija Srednje Bosne, raspolaže značajnim potencijalima za razvoj drveno-plastičnih kompozita (WPC) na bazi otpadnih sirovina iz drvne i plastične industrije. Kombinovanjem rezultata istraživanja tima CIP UNZE i podataka prikupljenih od industrijskih partnera potvrđeno je postojanje dovoljne količine sirovina koje

trenutno ostaju neiskorištene ili se neadekvatno odlažu, iako posjeduju značajan tehnički i ekonomski potencijal. Uspostavljanjem lokalnih centara za prikupljanje, selekciju i preliminarnu obradu otpada, te implementacijom odgovarajućih tehnologija za preradu, moguće je formirati održiv lanac vrijednosti koji povezuje drveni i plastični sektor s istraživačkim institucijama. Time se stvaraju uslovi za razvoj inovativnih proizvoda visoke dodane vrijednosti, smanjenje količine otpada, očuvanje prirodnih resursa i jačanje konkurentnosti domaće industrije.

Razvoj WPC materijala u Bosni i Hercegovini predstavlja važan korak ka praktičnoj primjeni koncepta cirkularne ekonomije, jer omogućava reciklažu materijala koji se inače ne bi mogli ponovo koristiti u klasičnim procesima. Pored ekoloških koristi, ovaj pristup nudi i ekonomske prednosti – smanjenje troškova sirovina, otvaranje novih tržišnih segmenata, te mogućnost izvoza inovativnih i održivih proizvoda.

Dalja istraživanja trebala bi biti usmjerena na optimizaciju udjela pojedinih komponenti u WPC smjesama, ispitivanje mehaničkih i termičkih svojstava kompozita izrađenih od lokalnih otpadnih materijala, te razvoj pilot postrojenja koja bi potvrdila tehnološko-ekonomsku isplativost procesa. Time bi se stvorila osnova za širu industrijsku primjenu, što bi Bosnu i Hercegovinu pozicioniralo kao regionalnog lidera u razvoju održivih kompozitnih materijala i inovativnih modela kružne ekonomije.

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.

6. REFERENCE

- [1] Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- [2] Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.
- [3] European Commission. (2020). A new Circular Economy Action Plan – For a cleaner and more competitive Europe. Brussels: European Commission.
- [4] Clemons, C. (2002). Wood-plastic composites in the United States: The interfacing of two industries. *Forest Products Journal*, 52(6), 10–18.
- [5] Bledzki, A.K., Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose-based fibres. *Progress in Polymer Science*, 24(2), 221–274.
- [6] Ashori, A. (2008). Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Bioresource Technology*, 99(11), 4661–4667.
- [7] Stark, N. M., Rowlands, R. E. (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood and Fiber Science*, 35(2), 167–174.
- [8] Danube Region Programme. (2024). Research, Technology and Innovation Transfer (RTIT) – Project Overview. Dostupno na: <https://www.interreg-danube.eu/>
- [9] CIP UNZE. (2024). Centar za inovativnost i preduzetništvo Univerziteta u Zenici – Aktivnosti i industrijski partneri u okviru RTIT projekta. Interni projektni dokument, Zenica.
- [10] Fabiyi, J. S., McDonald, A. G., Wolcott, M. P., Griffiths, P. R. (2008). Wood plastic composites weathering: Visual appearance and chemical changes. *Polymer Degradation and Stability*, 93(8), 1405–1414.
- [11] Bridić, Z., (2018). Mogućnost izrade slojevitih drvo plastičnih kompozita, diplomski rad, Univerzitet u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Zagreb.

- [12] Matuana, L.M., Balatinecz, J.J., Park, C.B. (1998). Effect of polymer melt rheology on the foaming of wood fiber–plastic composites. *Polymer Engineering and Science*, 38(11), 1862–1873.
- [13] Migneault, S., Koubaa, A., Erchiqui, F., Riedl, B. (2009). Effects of processing method and fiber size on the structure and properties of wood–plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(1), 80–85.
- [14] UNEP (2023). Circular Economy and Waste Valorization in the Western Balkans. United Nations Environment Programme Report.
- [15] <https://www.icmasg.com/products/compounding-masterbatch-systems/wpc-nfcompounding/> - pristupljeno 29. 10. 2025.
- [16] Jaafar, J., Siregar, P. J., Tezara, C., Hamdan, M. H. M., Rihayat, T., 2019: A review of important considerations in the compression molding process of short natural fiber composites. *Int J Adv Manuf Technol* 105: 3437–3450.
- [17] Vanjskotrgovinska komora BiH. (2024, 2025). Analiza vanjskotrgovinske razmjene drvnog sektora BiH. Sarajevo.
- [18] UNDP. (2023). Green Transition and Resource Efficiency in Bosnia and Herzegovina. Sarajevo.
- [19] World Bank. (2023). Bosnia and Herzegovina: Country Economic Memorandum – Transitioning to Smart Growth. Washington, D.C.
- [20] Geyer, R., Jambeck, J. R., Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
- [21] European Environment Agency (EEA). (2022). Plastics, the circular economy and Europe's environment – A priority for action. Copenhagen.
- [22] Zheng, J., Suh, S. (2019). Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. *Nature Climate Change*, 9(5), 374–378.
- [23] Federalno ministarstvo okoliša i turizma BiH. (2024). Izvještaj o upravljanju otpadom u Federaciji BiH. Sarajevo.