



A. Mihajlović*

Društvo inženjera plastičara i gumara IPG
P. fah 23, 11 040 Beograd

Prozirno drvo od plastike

Nedavno je na stručnom portalu SciDev.Net objavljen članak zvučnog naslova “Prozirno drvo uskoro bi moglo zamijeniti plastiku”.¹ Članak se temelji na istraživačkom radu grupe autora iz School of Biochemical Engineering, Indian Institute of Technology, India, objavljenom u srpnju 2022. u časopisu *Science of the Total Environment*. Naslov istraživačkoga rada je “Procjena životnog ciklusa proizvodnje prozirnog drva korištenjem novih tehnika i strateškog okvira povećanja”.² U radu se tvrdi da prozirno drvo, održiv materijal, ima potencijal zamijeniti konvencionalne polimere na bazi nafte zbog svojih obnovljivih i biorazgradljivih svojstava. Slični tekstovi objavljeni su i na drugim portalima.⁴⁻⁸

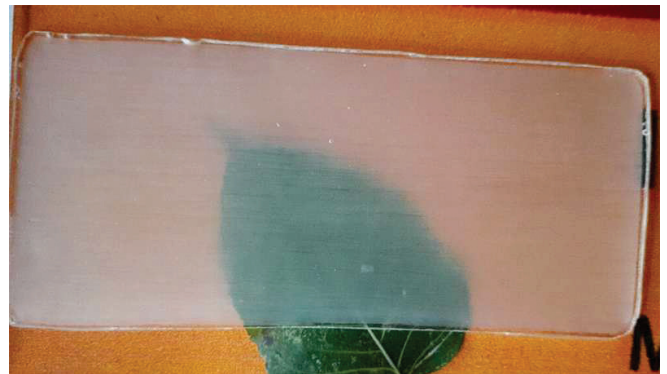
Izvorno dobiveno 1992. godine, od njemačkog znanstvenika Siegfrieda Finka, “prozirno drvo” nastaje uklanjanjem lignina u drvu i njegovom zamjenom prozirnim plastičnim materijalom. Unatoč brojnim pokušajima,³ postupak industrijske proizvodnje prozirnog drva nije razvijan već 30 godina. No u istraživanjima i medijima uporno se predstavlja kao zamjena za plastiku i staklo.^{1,2,4-11}

Prirodno drvo nije prozirno u vidljivom spektralnom području zbog jake apsorpcije i raspršenja svjetlosti. Za izradu prozirnog drva potrebno je eliminirati i apsorpciju i raspršenje. Lignin je odgovoran za oko 80 – 95 % apsorpcije svjetla u drvu. Ta se apsorpcija svjetla može drastično smanjiti kemijskom obradom drva: bilo uklanjanjem lignina (delignifikacijom) ili deaktiviranjem kromofora unutar lignina.³

Ponajprije, prozirno se drvo razvijalo, iako bezuspješno, kao potencijalna zamjena za staklo za prozore i druge slične primjene u građevinarstvu. Iz posebne vrste drva izdvaja se lignin koji daje boju drvu. Sastojci drvene tvari mogu se kemijski klasificirati kao: a) ugljikohidrati (celuloza, hemiceluloze), b) fenolne tvari (lignin) i drugo. Lignin je polifenolni polimer, glavni sastojak drva (15 do 35 %), koji poput plastike ili cementa povezuje celulozna vlakna u vrlo čvrstu izvanstaničnu strukturu. Taj se proces naziva lignifikacija. Delignifikacija je kemijsko izdvajanje lignina iz heterogene drvene strukture u kiseloj, neutralnoj ili lužnatoj sredini uz određene uvjete. Prilikom delignifikacije drva zaostaju celuloza i neke tvari. Delignifikacija se obavlja pri povišenoj temperaturi u uređajima za kuhanje tankih drvenih listova. Nakon delignifikacije ostatak više nije drvo. Potom se lignin iz drva infiltracijom zamjenjuje prozirnim plastičnim materijalom, npr. poli(metil-metakrilatom) ili epoksidnom smolom.

Što su autori izvornog rada² iz Indije zapravo istraživali

Čiljevi istraživanja bili su: 1) ispitati koji od četiriju postupaka dobivanja prozirnog drva na laboratorijskoj razini najmanje opterećuje okoliš; 2) koliko bi okoliš bio opterećen pri razini pro-



Slika 1 – Prozirno drvo – nije ni prozirno ni drvo
(foto: Anish M. Chathoth)

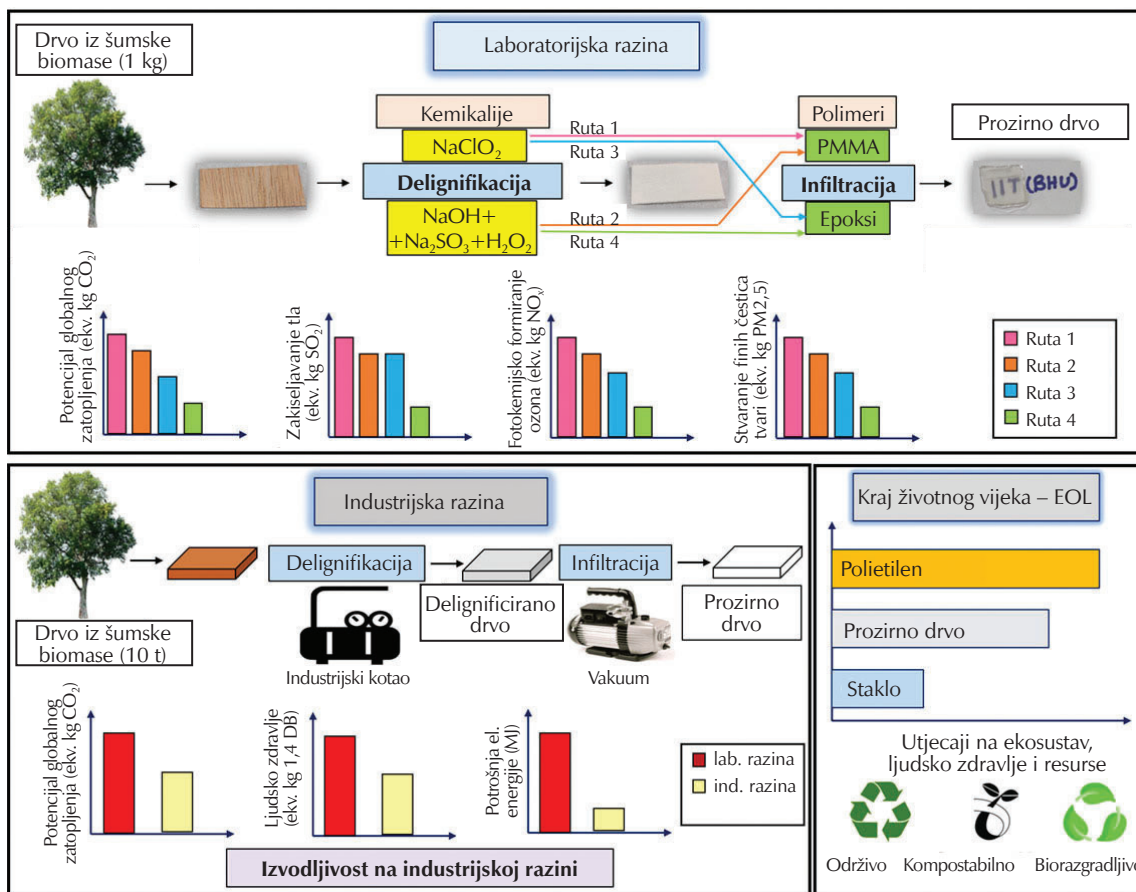
izvodnje od 10 tona; 3) koji su utjecaji stakla, prozirnog drva i polietilena na okoliš, ljudsko zdravlje i resurse.

Indijski istraživači upotrijebili su 1 kg drva iz šumske biomase i izrezali ga na tanke listove. U laboratorijskim uvjetima radi delignifikacije i izbjeljivanja drva upotrebljavali su različite kemikalije: natrijev klorit (NaClO_2) i smjesu natrijeva hidroksida, natrijeva sulfita i vodikova peroksida ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$). Nakon toga je lignin iz drva infiltracijom zamijenjen prozirnim plastičnim materijalima: poli(metil-metakrilatom) – PMMA ili epoksidnom (duromernom) smolom (slika 2). Tako su dobiveni kompoziti biopolimera (celuloze) i fosilne plastike. Budući da nema lignina, a PMMA i epoksidi daju prozornost, dobiva se “prozirno drvo”. Te su postupke razvili razni istraživači. Svi ti postupci opteretili bi okoliš, jer se upotrebljavaju kemikalije uz mnogo otpadnih voda i hlapljivih spojeva. Tijekom delignifikacije stvaraju se kemikalije, poput klora, metil-merkaptana, sumporovodika, dimetil-sulfida itd. i mnogo otpadnog lignina koji ima malu primjenu, pa se mora spaliti.

Indijski istraživači nisu primjenjivali metodu procjene životnog ciklusa proizvoda (engl. *Life-cycle assessment – LCA*) “Cradle to grave” ili “od kolijevke do groba” za potpunu procjenu životnog ciklusa, od ekstrakcije do faze uporabe i odlaganja proizvoda. Za mnoge svrhe granica sustava može se definirati kao “od kolijevke do vrata” (“Cradle to gate”), za proizvodnju određenog proizvoda u tvornici do točke u kojoj napušta pogon (prije transporta i stavljanja na tržište). Tu analizu primjenjivali su istraživači iz Indije. Analiza sugerira da postupak delignifikacije na osnovi $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ i infiltracija epoksidom (ruta 4 na slici 2) dovode do najmanjeg utjecaja na okoliš, budući da je približno 24 % manji potencijal globalnog zatopljenja i oko 15 % manje zakiseljavanja tla od delignifikacije natrijevim kloritom i infiltracije PMMA.

Istraživači su procijenili da modelirana proizvodnja na industrijskoj razini od 10 tona (industrijska razina od 10 tona?) ima manju potrošnju električne energije (za 98,8 %) i utjecaj na okoliš od

* Aleksandra Mihajlović
e-pošta: ipg1997@yahoo.com

Slika 2 – Grafički sažetak izvornog rada²

Obmanjujući simboli na donjoj desnoj strani slike – prozirno drvo nije održivo (obnovljivo) jer sadrži plastiku iz fosilnih izvora. Nije ni kompostabilno niti biorazgradljivo, jer plastika koja je infiltrirana u celulozu nema takva svojstva

laboratorijske (28 % manji potencijal globalnog zatopljenja i približno 97 % manja toksičnost za ljude).

LCA analiza na "kraju životnog vijeka" (engl. *end-of-life* – EOL) odnosi se na završne faze uporabe proizvoda i obradu i zbrinjavanje proizvoda nakon što je došao do kraja životnog vijeka. EOL analiza prozirnog drva pokazala je smanjene ekološke utjecaje (10^7 puta) u usporedbi s polietilenom, sugerirajući da se ono može komercijalno prilagoditi za zamjenu konvencionalnih materijala na bazi nafte.²

To je polazište s kojeg kreću dezinformacije koje su istraživači plasirali u medije,^{1,4-8} a mediji u javnost. Dezinformacije se sastoje od netočnih tvrdnji i neutemeljenih pretpostavki.

Dezinformiranje javnosti

U članku na portalu¹ navodi se da prozirno drvo smanjuje ekološki utjecaj na okoliš zbog svojih obnovljivih i biorazgradljivih svojstava. Netočno. Prozirno drvo nema obnovljiva i biorazgradljiva svojstva, jer je lignin iz drva zamijenjen sintetskom plastikom, npr. epoksidnom duromernom smolom, dobivenom iz fosilnih izvora, koja nema biorazgradljiva svojstva.

Navodi se da se u svijetu proizvede oko 400 milijuna tona plastičnog otpada svake godine, s povećanjem razine plastike za jednokratnu upotrebu koja se upotrebljava i zatim odbacuje. Zato se sad prozirno drvo pojavljuje kao jedan od "najperspektivnijih

zamjenskih materijala budućnosti". Nije točno da se u svijetu godišnje proizvede oko 400 milijuna tona plastičnog otpada. Proizvodi se oko 400 milijuna tona plastike (plastomera i duromera te vlakana), no ne postaje sve otpad na godišnjoj razini, već samo ambalaža za jednokratnu upotrebu. Hoće li se prozirno drvo pojaviti kao jedan od najperspektivnijih zamjenskih materijala za plastiku u budućnosti, vidjet će se kad se izgrade kapaciteti za proizvodnju prozirnog drva. Zasad nema nijedne tvornice, čak ni pilot-postrojenja.

"Prozirno drvo kao materijal može zamijeniti plastiku na bazi nafte štetnu za okoliš, kao što su polipropilen, poli(vinil-klorid), akrilna plastika, polietilen itd.",¹ rekao je Prodyut Dhar, jedan od autora rada. Ukupna svjetska proizvodnja polipropilena, PVC-a i polietilena iznosi oko 240 000 000 tona godišnje. Može li prozirno drvo, čija je proizvodnja nula tona, to zamijeniti?

"Analiza na kraju životnog vijeka sugerira da je prozirno drvo manje ekološki prihvatljivo od stakla, ali je ipak bolje od proizvodnje polietilena",¹ navode autori. Kako su autori procijenili što će se dogoditi na kraju životnog vijeka, kad proizvod nije definiran? EOL analiza u tom slučaju ne primjenjuje se na materijale, već na proizvode. Polietilen jest materijal, ali ne postoji kraj životnog vijeka polietilena, nego konkretnog proizvoda izrađenog od njega. Mogu postojati npr. prozor od prozirnog drva i prozor od stakla, ali ne i prozor od polietilena. Uobičajene metode EOL analize uključuju: energijsku uporabu, mehaničko recikliranje i zbrinjavanje na odlagalištu. Proizvod od prozirnog drva s epoksidom ne

može se mehanički reciklirati, jer je epoksid umrežen duromer. Može se samo spaliti ili odložiti na odlagalište, što nije u skladu s konceptom kružnog gospodarstva.

Uopće nije jasno zašto su istraživači odabrali polietilen od kojeg se ne izrađuju prozirni proizvodi koji bi se mogli usporediti sa staklenim i onima na bazi prozirnoga drva. "Prozirno drvo stvara manji utjecaj na okoliš od polietilena tijekom svojeg životnog vijeka ... Naša otkrića sugeriraju da se prozirno drvo može upotrijebiti kao zamjena ekološki štetnog polietilena za primjenu u prehrambenoj industriji ... Trenutačno upotrebljavani polimeri poput metil-akrilata otrovni su za okoliš i stoga ih treba zamijeniti netoksičnim polimerima", navode autori studije.⁴ Prozirni plastični materijali koji se upotrebljavaju za pakiranje uglavnom su PET i polistiren, a ne polietilen. U građevinarstvu su to PMMA i polikarbonat, a metil-akrilat uopće nije polimer.

"U posljednje se vrijeme prozirno drvo upotrebljava u građevinarstvu, pohranjivanju energije, fleksibilnoj elektronici i pakiranju", rekao je jedan od istraživača prozirnog drva, dodajući da "s obzirom na rastuću zabrinutost oko utjecaja plastičnih materijala na bazi nafte na okoliš, prozirno drvo ima ulogu u održavanju održivosti okoliša". Dvostruka dezinformacija. Prvo, ne možete upotrebljavati nešto što se uopće ne proizvodi. I nakon 30 godina prozirno drvo još je uvijek u fazi istraživanja i razvoja.

Drugo, ako je plastika na osnovi nafte štetna za okoliš, kako tvrde istraživači, zašto je ugrađuju u celulozu? To zapravo više i nije drvo, već kompozit biopolimera (celuloze) i sintetske plastike. "Prozirno drvo" više je plastika nego drvo.

Literatura

1. K. S. *Harikrishnan*, Transparent wood could soon replace plastics, SciDev.Net, 2022., URL: <https://phys.org/news/2022-10-transparent-wood-plastics.html> (pristupljeno 12. 12. 2022.).
2. R. *Rai*, R. *Ranjan*, P. *Dhar*, Life cycle assessment of transparent wood production using emerging technologies and strategic scale-up framework, Science of The Total Environment, 2022., URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722043996> (pristupljeno 12. 12. 2022.).
3. Y. *Li*, E. *Vasileva*, I. *Sychugov*, S. *Popov*, L. *Berglund*, Optically Transparent Wood: Recent Progress, Opportunities, and Challenges, Advanced Optical Materials, vol. 6, 14, 2018, <https://doi.org/10.1002/adom.201800059>, URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adom.201800059> (pristupljeno 23. 2. 2023.).
4. L. *Gore-Langton*, Transparent wood could replace plastics through optimal production techniques, find Indian researchers, PackagingInsights, URL: <https://www.packaginginsights.com/news/transparent-wood-could-replace-plastics-through-optimal-production-techniques-find-indian-researchers.html> (pristupljeno 23. 2. 2023.).
5. Transparent wood could be a sustainable plastic replacement, scientists say, Engineering and Technology, 2022., URL: <https://eandt.theiet.org/content/articles/2022/10/transparent-wood-could-be-a-sustainable-plastic-replacement-scientists-say/> (pristupljeno 23. 2. 2023.).
6. S. *Coombe*, Transparent wood offers a sustainable alternative to plastic, study shows, 2022., URL: <https://resource.co/article/transparent-wood-offers-sustainable-alternative-plastic-study-shows> (pristupljeno 23. 2. 2023.).
7. S. *Mukhopadhyay*, Transparent wood: Eco-friendly alternative one of most 'promising replacements' for plastic, 2022., URL: <https://www.livemint.com/news/world/transparent-wood-eco-friendly-alternative-one-of-most-promising-replacements-for-plastic-11666420261905.html> (pristupljeno 23. 2. 2023.).
8. Transparent wood could one day replace plastic, glass products that pose major threat to planet, Environment, Science & Technology News, 2023., URL: <https://studyfinds.org/transparent-wood-study/> (pristupljeno 23. 2. 2023.).
9. Transparent wood is coming, and it could make an energy-efficient alternative to glass, Published: February 10, 2021, URL: <https://theconversation.com/transparent-wood-is-coming-and-it-could-make-an-energy-efficient-alternative-to-glass-154981> (pristupljeno 23. 2. 2023.).
10. B. *Donald*, Scientists develop transparent wood that is stronger and lighter than glass, Feb 05, 2021, URL: <https://www.cbc.ca/radio/quirks/scientists-develop-transparent-wood-that-is-stronger-and-lighter-than-glass-1.5902739> (pristupljeno 23. 2. 2023.).
11. J. *Gaitens*, Transparent Wood: A Clear Alternative to Glass?, Posted May 03, 2017 in Industry Inspiration, URL: <https://www.nomaco.com/transparent-wood-clear-alternative-glass/> (pristupljeno 23. 2. 2023.).