

DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2017.17>

Primjena pepela iz drvene biomase kao zamjena cementa u betonu

Ivana Carević, Nina Štirmer, Ivana Banjad Pečur

Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za materijale
kontakt: icarevic@grad.hr

Sažetak

Potreba za energetsom neovisnošću s jedne te pritisci na okoliš s druge strane doveli su do povećane potražnje i ulaganja u obnovljive izvore energije. Europska unija je postavila cilj da udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj energetskej potrošnji bude 20 % do 2020. godine (Direktiva o korištenju obnovljivih izvora energije 2009/28/EC), odnosno 27 % do 2030. godine (Okvir za klimatsku i energetskej politiku u razdoblju 2020. – 2030. godine). Povećanje korištenja biomase kao obnovljivog izvora energije dovelo je do porasta količine pepela čija cijena odlaganja sve više raste. Stoga je potrebno osigurati njegovo održivo i učinkovito gospodarenje. Jedna od mogućnosti održivog gospodarenja pepelom jest njegova primjena u građevinskej industriji. U radu je prikazana problematika gospodarenja pepelom iz drvene biomase (PDB), osvrt na karakterizaciju PDB-a, te preliminarni rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće i čvrstoće na savijanje cementnih kompozita s različitim udjelima PDB-a kao zamjene za cement.

Ključne riječi: obnovljivi izvor energije, drvena biomasa, pepeo iz drvene biomase, betonska industrija

Use of wood biomass ash (WBA) as a cement replacement in concrete

Abstract

The energy independence need and the concern of our environment has led to an increasing demand investment in renewable energy and their sources. Under Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources, the European Union (EU) has set the goal to reach a 20 % renewable energy by the end of 2020. Moreover, within 2030 framework for climate and energy (COM/2014/015) agreed on EU's long-term commitment target of at least 27 % for the share of renewable energy consumed in the EU in 2030. Consequently with increasing of combustion of biomass in the energy production, the amount of ash derived from biomass combustion is also increasing. These significant quantities of ash requires its sustainable management. One of possible solution for its management is utilization of wood biomass ash (WBA) in the construction industry. This paper describes problems regarding WBA management, review of WBA properties and preliminary results of testing mechanical properties (compressive and flexural strength) of cement composites made with WBA in different amounts per cement mass.

Keywords: renewable energy sources, wood biomass, wood biomass ash, concrete industry

1 Uvod

Energane na krutu i plinovitu biomasu najznačajniji su obnovljivi izvor energije u Europskoj uniji te se očekuje da će biti jedan od glavnih aktera pri dostizanju europskog plana za primjenu 20 % obnovljive energije do 2020 [1]. Drvni otpad se smatra ugljično neutralnim gorivom, jer drvo apsorbira istu količinu ugljičnog dioksida dok raste koliko ga ispušta izgaranjem te ima prednost u odnosu na druge vrste biomase zbog manje proizvodnje otpadaka [2]. U 2010. godini je u Europskoj uniji na drvo i drvni otpad otpalo ukupno 49 % od ukupne potrošene energije proizvedene uz pomoć obnovljivih izvora u EU [3]. Republika Hrvatska ima velik potencijal biomase kao goriva: 48 % hrvatskog teritorija prekriveno je šumom [4]. Strategijom energetske razvoja Republike Hrvatske do 2020. godine [5] određene su hrvatske strateške odrednice usmjerene na povećanje udjela obnovljivih izvora energije u neposrednoj potrošnji, pri čemu se jedan dio odnosi na korištenje biomase u energetske svrhe, odnosno određeno je da će se do 2020. godine koristiti 85 MWe iz biomase. Trenutačno je u RH, prema Hrvatskom operateru tržišne energije d.o.o. (HROTE), koji vodi evidenciju obnovljivih izvora energije i organizira tržište električne energije u RH, u pogonu 25,955 MW instalirane snage elektrana na biomasu [6], a 95,342 MW instalirane snage elektrana na biomasu još nije pušteno u pogon, odnosno u pripremi su projekti za buduće izgradnje pogona elektrana na biomasu [7]. Premda toplinsko izgaranje smanjuje masu i volumen otpada [8], trend porasta primjene biomase kao obnovljivog izvora energije (OIE) utječe također na porast količine proizvedenog pepela koji se trenutačno odlaže na odlagališta otpada, na poljoprivredne površine ili u šumama, najčešće bez ikakva oblika kontrole. Nesustavno gospodarenje pepelom uzrokuje onečišćenje okoliša te potencijalnu opasnost za ljudsko zdravlje u nedostatku kontrole emisija onečišćenja [9]. Prema postojećim podacima [10], smatra se da je korištenjem šumske biomase 2005. godine u Europi proizvedeno $1,6 \times 10^7$ do 3×10^7 tona pepela, a prema Europskoj regulativi o povećanju 20 % obnovljivih izvora energije (OIE) do 2020. godine pretpostavlja se da će se količina pepela povećati do $15,5 \times 10^7$ tona [11]. U radu je prikazana problematika gospodarenja pepelom iz drvene biomase (PDB), tehnologija i procesi koji utječu na karakterizaciju i svojstva PDB-a, te potencijal primjene PDB-a u građevinskoj industriji, s posebnim osvrtom na primjenu u betonskoj industriji.

2 Gospodarenje pepelom iz drvene biomase

Gospodarenje PDB-om odnosi se na njegovo skladištenje, odlaganje te potencijalno moguće korištenje (ponovnu primjenu). Povećanjem količine pepela dolazi do smanjenja prostora za njegovo odlaganje, odnosno do povećanja rukovanja, prijevoza i samim time do povećanja troškova gospodarenja otpadom [12]. Troškovi upravljanja otpadnim pepelom iz biomase iznose između 200 i 500 eura po toni, a u budućnosti

se može očekivati povećanje troškova odlaganja u obliku poreza ili naknada na odlaganje, kao i poteškoće u pronalaženju novih odlagališta te strože EU direktive vezano uz odlaganje [13]. Zasad se 70 % pepela iz drvene biomase (PDB) odlaže, 20 % se nastoji primijeniti kao dodatak tlu u poljoprivredi i 10 % za ostale namjene [2, 14]. Odlaganje pepela iz drvene biomase bez ikakva oblika kontrole može prouzročiti onečišćenje zraka sitnim česticama nošenim vjetrom [15], onečišćenje podzemnih voda zbog izlučivanja teških metala iz pepela, te ulazak teških metala u prehrambeni lanac [16]. Prilikom korištenja PDB-a u poljoprivredi, potrebno je otvoreno i javno pratiti njegov kemijski sastav, odnosno teške metale (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn) i potencijalno toksične esencijalne elemente (Zn i Cu) koji mogu imati značajan negativan utjecaj na tlo [17]. Dosadašnja znanstvena istraživanja pokazala su da se PDB može upotrijebiti i u građevinskoj industriji, tablica 1.

Tablica 1. Pregled potencijalne primjene pepela od biomase u građevinskoj industriji [18]

Red.br.	Primjena	Funkcija
1	Alternativna veziva kao zamjena za postojeći cement	komponenta
2	Proizvodnja klinkera (cementa)	sirovina
3	Betonski proizvodi niže kvalitete	(reaktivno) punilo
4	Građevni materijal za gradnju cesta	vezivo/sirovina
5	Opeke na bazi pijeska i vapna	punilo/vezivo
6	Infrastrukturni radovi (nasipi, nasipavanje)	materijal za nasipavanje
7	Stabilizator tla	vezivo
8	Umjetni agregat	sirovina

3 Sastav pepela iz drvene biomase

Karakteristike PDB-a ovise o:

- vrsti drva (biomase)
- tehnologiji spaljivanja, poglavito o temperaturi obrade PDB-a
- lokaciji u postrojenju na kojoj se sakuplja pepeo [4, 19].

Od tehnologija koje su na raspolaganju za proizvodnju električne i toplinske energije, kod spaljivanja drvene biomase uglavnom se primjenjuje tehnologija izgaranja u fluidiziranom sloju te izgaranje na rešetki [4]. S obzirom na mjesto skupljanja, PDB se može podijeliti na dvije kategorije:

- pepeo iz ložišta (eng. *bottom ash*) koji se skuplja pod rešetkom komore za izgaranje;
- leteći pepeo (eng. *fly ash*) koji nastaje čišćenjem dimnjaka te se dodatno može podijeliti u ciklonski pepeo (relativno gruba frakcija letećeg pepela skupljena od ciklona ili kotlova) i fine čestice iz elektrostatičkih i vrećica filtra [19].

Procjenjuje se da je prema do sada instaliranim kapacitetima u RH udio pepela iz ložišta oko 80 do 90 % od ukupnog volumena PDB-a. Tehnički propisi i norme (npr. HRN EN 450-1 [20]) daju niz zahtjeva za leteći pepeo koji se dobiva suspaljivanjem ugljena i 50 % "čiste" drvene biomase. Međutim norma ne daje uvjete primjene "čiste" drvene biomase. Stoga su nužna daljnja istraživanja i mogućnost primjene pepela iz drvene biomase u građevinskoj industriji koja bi rezultirala i smanjenim negativnim utjecajem građevinske industrije na okoliš. Fizička svojstva pepela uključuju distribuciju veličine čestica, oblik, gustoću pepela, potrebu (apsorciju) za vodom te utjecaj na reološko ponašanje, tj. obradljivost cementnih kompozita. Kemijska svojstva pepela uključuju reaktivnost (pucolanska i hidraulička), kemijski i mineraloški sastav, količinu neželjenih elemenata kao što su neizgoreni ugljik i kloridi. Ekološki utjecaj pepela odnosi se na količinu teških metala u kemijskom sastavu pepela te izluživanje [4].

4 Preliminarna ispitivanja primjene PDB-a u cementnim kompozitima

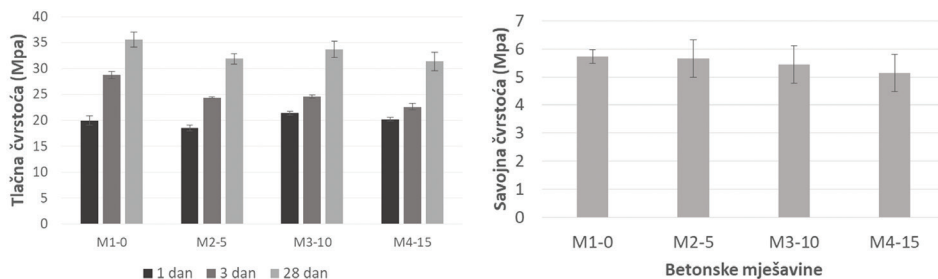
Radi boljšega razumijevanja primjene PDB-a u cementnim kompozitima, napravljena su preliminarna ispitivanja u Laboratoriju za materijale Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu gdje se u betonskim mješavinama dio cementa zamijenio PDB-om [21, 22]. U ispitivanju se koristio leteći PDB s elektrostatskog filtra koogeneracijskog postrojenja smještenog u Hrvatskoj koje koristi šumske ostatke iz drvene proizvodnje. U betonskim mješavinama dio je cementa zamijenjen različitim udjelima PDB-a, i to: 5 % kao M2-5, 10 % kao M3 -10 te 15 % na masu cementa kao M4-15. M1-0 predstavlja referentnu mješavinu, tablica 2.

Tablica 2. Sastav betonskih mješavina [22]

Materijal	M1-0	M2-5	M3-10	M4-15
Cement [kg]	350,0	332,5	315	295,5
PDB [kg]	0	17,5	35,0	52,5
Voda [kg]	175	175	175	175
Superplastifikator [%]	0,4	0,5	0,8	1,4
Aerant [%]	0,4	0,4	0,4	0,4
Agregat	1766,0	1753,6	1746,2	1739,3

Na slici 1. prikazani su rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće nakon 1, 3 i 28 dana, te čvrstoće na savijanje nakon 28 dana. Sve betonske mješavine imale su tlačnu čvrstoću veću od 30 MPa nakon 28 dana uz pad čvrstoće s povećanjem udjela PDB-a kao zamjene dijela cementa. Čvrstoća na savijanje nakon 28 dana betonskih mješavina s povećanjem udjela PDB-a pada do 10 % (M4-15) u odnosu na referentnu mješavinu (M1-0). Tlačna čvrstoća je ispitana na uzorcima dimenzija 15 × 15 × 15 cm prema HRN

EN 12390-3:2009 [23], a čvrstoća na savijanje ispitana je na prizmama dimenzija 10 × 10 × 40 cm u skladu s normom HRN EN 12390-5:2009 [24].



Slika 1. Tlačna čvrstoća i čvrstoća na savijanje betonskih mješavina s dodatkom PDB-a kao zamjene za cement [21, 22]

5 Zaključak

Povećanjem upotrebe drvene biomase kao obnovljivog izvora energije, povećava se i količina PDB-a. Dosadašnjim pregledom stanja područja PDB-a iz elektrana na biomasu u Republici Hrvatskoj nije uočena njegova sustavna daljnja upotreba u drugim industrijskim granama, unatoč sve većim količinama PDB-a i njegovom nepovoljnom utjecaju na okoliš te potencijalu za ponovno korištenje [9]. Pregledom literature i objavljenih rezultata istraživanja, uočava se da postoje velike mogućnosti primjene PDB-a u građevinskoj industriji kao zanimljive alternative današnjim materijalima, a samim time i mogućnost uspješnog i održivog gospodarenja njime. S obzirom na niz varijabli koje utječu na sam kemijski i fizikalni sastav PDB-a (vrsta biomase, tehnologija postrojenja i mjesto skupljanja PDB-a), potrebna su dodatna istraživanja njegovih mogućnosti u građevinskoj industriji. Tijekom budućih istraživanja, koja će povezati građevinski i energetski sektor [25], uključit će se znanost o materijalima kao svojevrsna poveznica između dva sektora radi detaljne karakterizacije PDB-a, određivanje udjela sastojaka mješavine za građevinsku industriju te konačno utvrđivanje mogućnosti njegove primjene za potrebe betonske industrije. Multidisciplinarni pristup i sustavno istraživanje pokazat će da se dodana vrijednost otpada može znatno povećati u odnosu na današnje stanje. Primjenom PDB-a u betonskoj industriji zaokružiti će se cjelovito rješavanje problema otpada iz postrojenja na biomasu te će se uspostaviti primjer kontinuiranog lanca "od otpada do proizvoda". Posebno je važno imati na umu da prilikom upotrebe biomase kao goriva treba zadovoljiti kriterij održivosti: količina biomase koja se koristi mora biti jednaka količini biomase koja se obnavlja u prirodi.

Zahvala

Autori zahvaljuju na potpori istraživanju koje je financirala Hrvatska zaklada za znanost kroz istraživački projekt: **Transformacija pepela iz drvene biomase u građevne kompozite s dodanom vrijednošću - TAREC²**, IP-06-2016.

Literatura

- [1] State of play on the sustainability of solid and gaseous biomass used for electricity, heating and cooling in the EU, COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT-SWD, Brussels, 2014.
- [2] Chowdhury, S., Mishra, M., Suganya, O.: The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview, *Ain Shams Engineering Journal*, 6 (2015) 2, pp. 429–437
- [3] Eurostat (2012), Statistics in focus, renewable energy, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-12-044/EN/KS-SF-12-044-EN.PDF
- [4] Ukrainczyk, N., Vrbos N., Koenders, E.A.B.: Reuse of Woody Biomass Ash Waste in Cementitious Materials, *Chem. Biochem. En Q.*, 30 (2016) 2, pp. 137–148.
- [5] Hrvatski sabor: Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2020. god., NN130/09
- [6] Hrvatski operator tržišne energije d.o.o. (HROTE): Povlaštene proizvođači s kojima je HROTE sklopio ugovor o otkupu električne energije, a čija su postrojenja u sustavu poticanja (stanje na dan 28.4.2017.)
- [7] Hrvatski operator tržišne energije d.o.o. (HROTE): Nositelji projekata s kojima je HROTE sklopio ugovor o otkupu električne energije, a čija postrojenja još nisu puštena u pogon (stanje na dan: 28.4.2016.)
- [8] Cheah, C.B., Ramli, M.: Mechanical strength, durability and drying shrinkage of structural mortar containing HCWA as partial replacement of cement, *Construction Building Materials*, 30 (2012), pp. 320–329
- [9] Carević, I., Banjad Pečur, I., Štirmer, N., Milovanović, B. et al.: Biomass ash potential and its status in Croatia, *Croatian Builders Convention 2016 - EU and Croatian Construction Engineering – Proceeding*, Lakušić, S. (ur.), Zagreb: Croatian Society of Civil Engineers, 2016, pp. 133-142, ISBN: 978-953-6686-18-6
- [10] James, A.K., Thring, R.W., Helle, S., Ghuman H.S.: Ash Management Review—Applications of Biomass Bottom Ash, *Energies* 2012, 5 (2012), pp. 3856-3873.
- [11] Obernberger, I., Supancic, K.: Possibilities of ash utilization from biomass combustion plants, *proceedings of the 17th European Biomass Conference and Exhibition*, Hamburg, Germany, 29 June–3 July 2009

- [12] Raguzin, I.: Model analize troškova i dobiti uporabe biomase u proizvodnji, 2011.
- [13] Adrian, K., James, A.K; Thring, R.W., Helle S., Ghuman H.S.: Ash Management Review—Applications of Biomass Bottom Ash, *Energies* 2012, 5 (2012), pp. 3856-3873
- [14] Ban, C.C., Nordin, N.S.A., Ken, P.W., Ramli, M., Hoe, K.W: The high volume reuse of hybrid biomass ash as a primary binder in cementless mortar block, *American Journal of Applied Sciences*, 11 (2014) 8, pp. 1369-1378
- [15] Garcia, M.L., Sousa-Coutinhob, J.: Strength and durability of cement with forest waste bottom ash, *Construction and Building Materials*, 41 (2013), pp. 897–910
- [16] RECOAL: Reintegration of coal ash disposal sites and mitigation of pollution in the West Balkan Area, Handbook on treatment of coal ash disposal sites, INCO-WBC-1-509173, 2008.
- [17] James, A.K., Thring, R.W., Helle, S., Ghuman, H.S.: Ash Management Review—Applications of Biomass Bottom Ash, *Energies* 2012, 5 (2012), pp. 3856-3873
- [18] Eijk van, R.J.: Options for Increased Utilization of Ash from Biomass Combustion and co-firing, KEMA, 2012.
- [19] Rajamma, R., Ball, R. J., Tarelho, L. A. C. et al.: Characterisation and use of biomass fly ash in cement-based materials, *J. Hazard. Mater.*, 172 (2009) 2–3, pp. 1049–1060
- [20] HRN EN 450-1:2013 Leteći pepeo za beton - 1. dio: Definicije, specifikacije i kriteriji sukladnosti
- [21] Carević, I., Banjad Pečur, I., Štirmer, N., Milovanović, B., Baričević, A.: Potential of use wood biomass ash (WBA) in the cement composites, Proceedings of the 1st International Conference COMS_2017, Banjad Pečur I. et al. (ur.), Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, pp. 109-114, 2017.
- [22] Carević, I., Štirmer, N., Banjad Pečur, I.: Utilization of wood biomass ash (WBA) in the in the cement composites, Proceedings of the Second International RILEM Conference on Bio-based Building Materials, ur. Amziane S., Sonebi M., e-ISBN: 978-2-35158-192-6, pp. 196 – 201, 2017.
- [23] HRN EN 12390-3:2009: Testing hardened concrete -- Part 3: Compressive strength of test specimens
- [24] HRN EN 12390-5:2009: Testing hardened concrete -- Part 5: Flexural strength of test specimens
- [25] Hrvatska zaklada za znanost: Transformacija pepela iz drvene biomase u građevne kompozite s dodanom vrijednošću - TAREC2, IP-06-2016, Štirmer N., voditeljica projekta