

ULOGA BETONA KAO GRAĐEVINSKOG MATERIJALA U ENERGETSKOJ EFIKASNOSTI OBJEKATA / THE ROLE OF CONCRETE AS A BUILDING MATERIAL IN THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS

Zlatica Kuliš mag.ing.građ., doktorandica na Pravnom fakultetu Internacionalnog univerziteta
Travnik u Travniku, tel.: 063/369 706, e-mail: zlatica.kulis@gmail.com
Doc.dr.Dževad Avdić dipl.ing.građ; profesor na Internacionalnom univerzitetu Travnik u
Travniku, dzevad.iut@gmail.com.

Prethodno priopćenje

Sažetak: Energetska efikasnost u graditeljstvu je vrlo značajan segment za suvremen život, ali i neprolazni trend, nužan za sve buduće građevinske projekte. Nesporno, zauzima jedno od vodećih mjesta promatrano na globalnoj razini u suvremenom svijetu. Sam pojam energetska efikasnost objekata i energetski održiva gradnja predstavlja smanjenje energetske potrebe bez smanjenja kvalitete građenja i stanovanja, koja se postiže kroz odabir obnovljivih izvora i ekološki prihvatljivih građevinskih materijala. Tu prvenstveno prepoznajemo drvo, zamjene cementu kao vezivnom materijalu, reciklirane građevinske materijale kao i korišteni građevinski materijal koji je stručno uklonjen sa objekta i može se ponovno ugrađivati u građevine. Procjenjujući životni ciklus zgrade i njenu energetska efikasnost, beton nadmašuje sve ostale primarne građevinske materijale. Kao građevinski materijal koji je najviše u upotrebi, mora zadovoljiti sve aspekte održivosti posebno: ekološke, tehnološke, ekonomske i sociološke.

Ključne riječi: *Energetska efikasnost objekata, Održiva gradnja, Beton, Reciklirani materijal*

Summary: Energy efficiency in construction is a very important segment for modern life, but also a permanent trend, necessary for all future construction projects. Undeniably, it occupies one of the leading places observed at the global level in the modern world. The very term energy efficiency of buildings and energy sustainable construction represents the reduction of energy needs without reducing the quality of construction and housing, which is achieved through the selection of renewable sources and environmentally friendly building materials. Here we primarily recognize wood, substitutes for cement as a binding material, recycled building materials as well as used building materials that have been expertly removed from the building and can be re-integrated into buildings. Evaluating the life cycle of the building and its energy efficiency, concrete surpasses all other primary building materials. As the most widely used building material, it must satisfy all aspects of sustainability in particular: ecological, technological, economic and sociological.

Keywords: *Energy efficiency of buildings, Sustainable construction, Concrete, Recycled material*

UVOD

Građevinski otpad koji nastaje kao nužna posljedica rušenja ili rekonstrukcije građevinskih objekata može se i dalje upotrebljavati čime se smanjuje potreba za korištenjem prirodnih materijala koji u svojoj suštini predstavljaju neobnovljive izvore energije. Time se zapravo, vrši zbrinjavanje građevinskog otpada koji bi u protivnom završio na deponijama ili sličnim odlagalištima. Njegova uporaba vrši se kroz preradu u posebnim postrojenjima za recikliranje. Tako prerađen građevinski otpad koristi se kao dodatni ili alternativni materijal glavnim materijalima. U svim industrijski napredno razvijenim državama u svijetu proces reciklaže predstavlja jedan od ključnih procesa za očuvanje neobnovljivih izvora energije i same planete Zemlje. Svjedoci smo da se često radi o divljim odlagalištima, što predstavlja jedan od gorućih problema.

Izraženo kroz postotke, oko 90 % građevinskog otpada može se ponovo iskoristiti ili se reciklažom može ponovo upotrijebiti. Istodobno, materijal nastao kao produkt otpada ne odlaze se u okoliš. Divlje deponije, odnosno divlja odlagališta smanjuju se ili potpuno nestaju koristeći proces reciklaže kojim se kontrolira odlaganje otpada i troškova transporta. Reciklažu je potrebno koristiti što je više moguće, uvijek kada za to postoje zakonski, ekonomski i tehnološki okviri za to. Primjera radi prema podacima iz projekta LIFE05 TCY/CRO/000114 CONWAS [1], procijenjeno je da se u Republici Hrvatskoj godišnje proizvede 2,5 mil. tona građevinskog otpada, od čega se tek 7 % reciklira. [2].

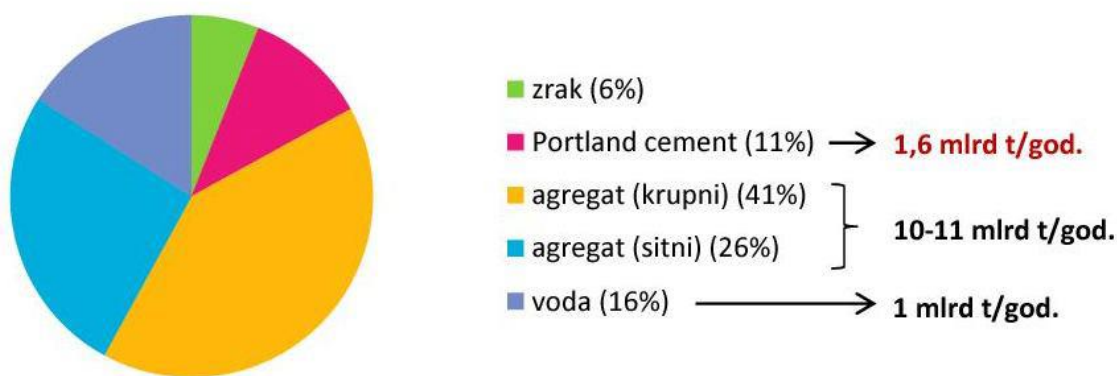
Nažalost, u Bosni i Hercegovini još uvijek jedini način zbrinjavanja građevinskog otpada jeste njegovo odlaganje na deponije ili druga slična odlagališta. Prema dostupnim podacima iz literature količina građevinskog otpada po stanovniku varira od 0.04 do 5.9t/god. S obzirom na razvijenost građevinskog sektora u FBiH, pretpostavljena je godišnja generirana količina po stanovniku od 0,3 t. Dakle, procijenjena količina otpada koja se generira u FBiH na godišnjem nivou, iznosi oko 690.000 t. Rukovanje ovim tipom otpada potrebno je definirati u okviru studije koja bi pružila detalje o najekonomičnijim vidovima odlaganja ovog tipa otpada. Cjelovit način zbrinjavanja, odlaganja i postupaka reciklaže građevinskog otpada će se utvrditi nakon donošenja Pravilnika o upravljanju građevinskim otpadom od strane Federalnog ministarstva okoliša i turizma. [3].

Problemi u primjeni recikliranih materijala mogu biti slabo razvijena svijest o važnosti uporabe recikliranih materijala u očuvanju okoliša, ograničeno razumijevanje mogućnosti primjene i neiskustvo, nepoznavanje standarda kvalitete, nestabilnost tržišta i nepostojanost cijena te tehničke regulative.

Svi važeći propisi i tehničke regulative svojim normama potiču na uporabu recikliranih materijala. Ipak, uočen je i određeni nedostatak normiranja ponajviše u nedostatku smjernica i normi koji se odnose na korištenje recikliranih materijala. Način rješenja tog problema bio bi izdavanje preciznih uputa, smjernica, specifikacija i opisa načina gradnje recikliranih materijala za niskogradnju i visokogradnju. Dakle, reciklirani materijali moraju biti u skladu s postojećim normama i specifikacijama ili moraju imati razvijene druge norme kojima će biti prilagođene postojećim.

2. UTJECAJ BETONA NA OKOLIŠ

Proizvodnja materijala koji spajanjem cementa, agregata i vode postaje beton, ima veliki utjecaj na okoliš. Na globalnoj razini, prilikom proizvodnje betona godišnje se upotrijebi od 10 do 11 milijardi tona agregata. [4]. Iskop, obrada i transport ovakve enormne količine agregata za proizvodnju betona, iziskuje velike količine energije. Gledano u uzročno-posljedičnoj vezi to značajno utječe i na prirodnu ravnotežu. Osim toga, jedna milijarda tona vode godišnje se upotrijebi za proizvodnju betona. Ipak, ove činjenice nisu ono što najviše doprinosi negativnom učinku betona. Glavni negativni učinak betona na prirodni okoliš zauzima proizvodnja portland cementa. Računski gledano, za svaku proizvedenu tonu cementa potrebno je potrošiti 1,5 tona vapnenca, uz dodatna fosilna goriva korištena kao energent u proizvodnji. Godišnje, proizvede se 1,6 milijardi tona cementa, što je odgovorno oko 7% ukupnih emisija CO₂ u atmosferu. [5]



Slika 1 – Volumni udio pojedinih sastojaka u betonu i njihova godišnja potrošnja u svijetu ²¹⁸

Promatrajući ga kao gotov proizvod, beton je ekološki čist materijal, u prvom redu zbog svojih oblikovnih svojstava. Zahvaljujući oblikovnim svojstvima betonske konstrukcije odlično se uklapa u okolinu, neovisno radi li se o urbanoj ili ruralnoj sredini. Putem projektiranja moguće je utjecati na smanjenje učinka betona na okoliš, što je još jedna velika prednost. Primjerice, u zemljama sa hladnom klimom, prakticira se upotreba modularnih sustava potpornih zidova na pješčanoj podlozi, što za rezultat ima smanjenje potrošnje betona, za razliku od gradnje uobičajenih konzolnih potpornih zidova koji u svojoj obradi zahtijevaju značajno temeljenje kako bi se ukopali ispod dubine smrzavanja tla. Kod temeljenja uobičajenih zgrada, koristeći se metodom dubokog temeljenja, koje se vrši pomoću pilota, omogućena je značajna štednja betona, gledano kroz poređenje sa plitkim temeljenjem. Drugi jednostavniji primjer umanjavanja negativnih ekoloških utjecaja betona pri gradnji jeste korištenje oblika betonskih presjeka, koji omogućuju upotrebu recikliranih materijala kao oplata, primjerice upotrebe sonotuba [6] ili kružne oplata od recikliranog kartona. Korištenjem prethodno navedenog, umanjuje se utjecaj na okoliš pri upotrebi čeličnih ili drvenih oplata. Ove mjere značajno štede i novac, a svakako doprinose i smanjenju negativnih utjecaja betona na okoliš.

²¹⁸ 1Mehta, P.K., Reducing the Environmental Impact of Concrete. Concrete International, 2001: p. 61-66.

3. RECIKLIRANE KOMPONENTE BETONA

Procesom recikliranja otpadni beton pretvara se u sirovinu. Time se smanjuje količina otpada, smanjuje potrošnja neobnovljivih resursa (prirodan agregat) i smanjuje emisija CO₂. Zato način implementacije poznatog principa "3R" (Reduce, Recycle, Renew) u ovoj oblasti ima za cilj smanjiti potrošnju energije i stepen zagađenja (Reduce), ponovo koristiti stari beton (Recycle) - kao agregat za novi beton (Renewable resource).

Kao što znamo sam beton sastoji se od sljedećih komponenti: agregati (krupni i sitni), (vrste portland), vode i zraka, uz primjese ostalih dodataka koje betonu daju određena svojstva. Europski standardi u svojim odredbama ne razlikuju agregate prema njihovom porijeklu, nego prema njihovim karakteristikama. Posebna pažnja posvećuje se upotrebi recikliranog agregata dobivenog iz građevinskog otpada ili onog koji je nastao rušenjem građevina, zbog nužne potrebe štednje prirodnih resursa. Samim time dolazi se do mogućnosti primjene takvog materijala u proizvodnji betona i armiranog betona. Također suvremena građevinska znanost poznaje i određene vrste betona koji se proizvode od manjeg omjera vode i cementa. To je tzv. HPC beton (High Performance Concrete) (beton visoke učinkovitosti-performansi). Njegovo osnovno svojstvo jeste mali omjer vode i cementa (vodo-cementni omjer) u mješavini, a što se postiže uporabom super plastifikatora. Također, zamjena dijela cementa vrši se pucolanskim dodacima kojima se poboljšava obradivost betona dok je još u svježem stanju. Ekonomičnost ovakve vrste betona ogleda se kroz konstrukcije, koje su izgrađene od HPC betona, a iste mogu biti manje i vitkije. Konkretno, tlačne čvrstoće HPC betona kreću se do 100 N/mm². Znači, tada se koristi manje betona i betonskog čelika, dok je ljudski rad sveden na najmanju moguću mjeru. Osim svega navedenog, ovakvi betoni imaju vrlo mali koeficijent poroznosti, što ih čini znatno otpornijim na smrzavanje i odmrzavanje, prodiranje sulfata i klorida, te na ostala kemijska djelovanja. Prema procjenama struke, betoni visokih performansi traju dva do tri puta duže od betona uobičajenog sastava.

3.1. RECIKLIRANI AGREGAT

Prilikom proizvodnje agregata koji se potom koristi za izradu betona, neophodno se pojavljuju višestruki utjecaji na okolinu koji se ogledaju u nastajanju buke, prašine, povećanja prometa, onečišćenja podzemnih voda i vizualnih promjena okoliša, koje u smislu održivosti nisu prihvatljivi niti pogodni. Načini na koje je moguće smanjiti ove nus pojave su ograničeni, ali ipak postoje. Tako, potrošnja lokalnog agregata može se smanjiti uporabom alternativnih resursa, primjerice korištenjem recikliranog agregata korištenog rušenjem građevina. Troškovi odlaganja otpada i dostupnost te cijena agregata iz prirodnih nalazišta, koji su predvidljivi, odnosno koji se mogu predvidjeti u količini i zadovoljavaju sve tehničke regulative, dva su osnovna aspekta kroz koja se promatra uporaba recikliranog materijala pri nastanku betona.

Prema važećem standardu BAS EN 206-1:2002 „Agregati mogu biti prirodni ili vještački, a također i reciklirani, kada su dobiveni od materijala prethodno korištenih za građenje.“ Također, standardi BAS EN 12620:2004 (Agregati za beton), BAS EN 13139:2003 (Agregati za malter), BAS EN 13055- 1:2006 (Laki agregati za beton, malter i malter za injektiranje) se odnose i na agregate dobivene recikliranjem građevinskog otpada. Prema navedenim standardima u svim

slučajevima kada se kao agregat koristi materijal sa čijom primjenom se nema dovoljno iskustva, kao što je bilo koji reciklirani agregat, neophodno je provesti detaljna ispitivanja svojstava kako samog agregata, tako i svježeg i očvrslulog betona [7]. Od svojstava upotrijebljenog recikliranog agregata direktno zavise kvalitet i svojstva novog betona od kojeg su i izgrađene. Kako bi se povećala primjena betona s recikliranim agregatom, potrebno je utvrditi povezanost između svojstava recikliranih materijala i parametara trajnosti relevantnim za beton ugrađen u konstrukciju. Potrebno je i odrediti kriterije za uporabu recikliranih materijala u betonskim mješavinama te izraditi preporuke temeljene na rezultatima određenih eksperimentalnih istraživanja.

Najveći problem koji se pojavljuje u primjeni recikliranog agregata u betonu jeste onečišćenje koje nastaje u obliku drva, papira, žbuke, te veća apsorpcija od prirodnih agregata zbog nedostataka starog cementnog morta na zrnima agregata. Naime, ispitivanja su pokazala da, po pravilu, reciklirani agregat u odnosu na prirodni ima: veće upijanje vode, manju zapreminsku i specifičnu masu, veću količinu prašiniastih čestica, veći sadržaj organskih i eventualno drugih štetnih materija, veću drobljivost, manju otpornost prema habanju i manju otpornost prema djelovanju mraza. Zbog većeg sadržaja cementne paste i morta na površini zrna, gustoća recikliranog agregata obično je manja od gustoće prirodnog agregata, a posebno gustoća sitnog agregata. Jedna od negativnih strana recikliranog agregata jeste velika prisutnost nečistoća u obliku laganih čestica. To je direktan produkt male gustoće prvobitnog morta, a povezano je s velikom apsorpcijom prirodnog agregata primjenjenog za spravljanje betona. Pod nečistoćama koje se ogledaju u obliku laganih čestica podrazumijevaju se čestice čija je gustoća manja od 2000 kg/m³. U praksama i pravilima, preporuka je da se postotak ovih čestica ograniči na 0.97% za spravljanje betona s 20% učešća recikliranog agregata [8]. Prema australskim preporukama dozvoljena ukupna količina svih nečistoća u recikliranom agregatu mora biti manja od 2 %, dok prema preporukama RILEM-a (Međunarodno udruženje laboratorija i stručnjaka za građevinske materijale, sustave i konstrukcije) dozvoljena ukupna količina svih nečistoća u recikliranom agregatu mora biti manja od 1 % [9].

Poroznost agregata, propusnost za vodu i apsorpcija vode su svojstva koja utječu na prionjivost cementnog kamena i agregata u betonu, otpornost betona na djelovanje smrzavanja, kemijsku i erozijsku otpornost betona. Europske norme ne propisuju nikakve okvire u kojima bi se trebala kretati vrijednost upijanja vode recikliranog agregata. Povećano upijanje vode recikliranog agregata uzrokovano je većim stupnjem upijanja cementnog morta koji obavlja zrna agregata. Prema španjolskim istraživanjima upijanje vode recikliranog agregata kreće se u rasponu od 4,8 % do 9,6 %. Prema njihovim normama vrijednost je ograničena na 5 %. [10]. Neke preporuke za projektiranje recikliranim agregatom su strože od navedenih i propisuju vrijednost apsorpcije vode mješavine recikliranog i prirodnog agregata od 3 % [11].

Ukoliko se želi postići što veća kvaliteta betona, nužno je strogo kontroliranje sastavnih komponenti u agregatu. Analizirajući podatke opisane u raznim literaturama, zaključuje se da je beton od recikliranog agregata po svojim svojstvima najbliži lakoagregatnim betonima. Zanimljivo je da čak i beton od recikliranog agregata i s udjelom zamjene 100% i s velikim udjelom cementa može postići srednju tlačnu čvrstoću od 45 N/mm², ali on nije često u uporabi radi svoje ekonomske neisplativosti. Beton od recikliranog materijala čini dio skupine betona sa srednjom tlačnom čvrstoćom koja se kreće u omjerima od 30-45 N/mm². Glavni problem primjene

recikliranog agregata zapravo i leži u njihovoj promjenjivoj i neujednačenoj kvaliteti. Dakle, ne može se uvijek sa sigurnošću jamčiti ujednačenost porijekla agregata.

3.2.PORTLAND CEMENT KAO VEZIVNI MATERIJAL

Jedan od najvažnijih koraka prema „zelenijem“ betonu svakako je smanjenje proizvodnje portland cementa a samim tim i njegove uporabe. Dakle strategija umanjena utjecaja cementa na okoliš uključuju smanjenje količine cementa u betonskoj mješavini kao i njegovu zamjenu pucolanskim industrijskim nusproduktima.

Kao komponenta u spravljanju betona portland cement kao vezivo ima velik ekvivalent emisije CO₂ ali povoljno je što čini tek 15% mase betona. Utrošena energija za proizvodnju cementa jest 7,32 MJ/kg, a emisija stakleničkih plinova približno 1 kg po kg portlandskog cementa proizvedenog u postrojenjima s uobičajenom opremom. Međutim poboljšanjem izgaranja i unapređenjem operative mogu se postići znatna smanjenja emisije CO₂. Također za smanjenje emisije CO₂ i potrošnje energije pri proizvodnji cementa mogu se koristiti otpadne gume, ostatci drveta i otpada od petrolejskih proizvoda kao goriva u rotacijskim pećima. Procijenjeno je kako bi smanjenje portland cementa u betonskoj mješavini od samo 30% [12] prekinulo porast emisija CO₂ za koje je odgovorno kontinuirano povećanje proizvodnje betona, a danas je moguće smanjenje udjela portland cementa i do 100%. Zamjenom 50% cementa zgurom iz visokih peći, ugrađena energija betona smanjuje se za 34%, a ugrađeni ugljik za 46%.

Uporabom manjih količina cementa u betonskoj mješavini mogla bi se postići ako bi se trenutačna odredba o nužnosti postizanja propisane čvrstoće betona nakon 28 dana, promijenila na potrebnih 56 dana. Istraživanja [14] su prikazala da bi ovakav pristup, osim navedene prednosti, imao za posljedicu trajnije konstrukcije. Također bi porastao i veći postotak zamjene portland cementa cementnim industrijskim nusproduktima u betonskoj mješavini, jer jedna od osnovnih poteškoća zamjene većih postotaka portland cementa jeste sporiji prirast čvrstoća. Dakle, zamjena u vidu dodataka silikatne prašine i ostalim pucolanskim ili hidrauličnim materijalima može se postići samo kroz pravilnu njegu i uz duže trajanje nego što se minimalno zahtijeva propisima. Industrijski nusprodukti koji mogu poslužiti kao zamjena portland cementa su leteći pepeo (razreda C i F), zgura visokih peći i silikatna prašina. Uz industrijske nusprodukte postoje i zamjene u vidu prirodnih pucolana kao što su kaolinske gline, metakaolin i sagorjeli škriljac [15].

Zamjenski cementni materijali su se početkom 2000. godine prema objavi „Portland Cement Association“ koristili u preko 60% suvremenih betonskih mješavina, te kako su alternativni cementni materijali djelomično zamijenili portland cement (ili su korišteni kao dodatak) u preko 60% suvremenih betonskih mješavina. [16]. Danas je ovaj postotak vjerojatno i veći zbog toga što je korištenje alternativnih cementnih materijala doživjelo veće prihvatanje tržišta. Svakako korištenje djelomičnih ili potpunih zamjena portland cementa u betonskoj mješavini ima svoje prednosti i nedostatke, od kojih se neke odnose na svojstva betona, bilo u svježem ili očvrslom stanju.

ZAKLJUČAK

Dakako, ispravno upravljanje građevinskim otpadom doprinosi i smanjenju nastanka samog otpada, dok reciklirani materijali omogućavaju građevinskim tvrtkama smanjenje troškova samog materijala. Osim toga, ovim putem se doprinosi i smanjenju troškova odlaganja otpada građevinskog materijala, što posredno doprinosi i smanjenju negativnih utjecaja na okoliš. Svjesni važnosti recikliranja, nužno je poticati na ovu alternativnu mjeru ponovne uporabe određenih materijala iz više razloga a najznačajniji su: provođenje tehničke regulative, omogućavanje ekonomske alternative odlaganju građevinskog otpada, eliminiranje ilegalnog odlaganja odnosno divljih deponija, kontrola odlaganja i troškova transporta kao i očuvanje prirodnih resursa i smanjenje ovisnosti o prirodnim materijala.

Beton kao glavni građevinski materijal ima vrlo važnu ulogu u energetskej efikasnosti građevina kroz inovativna rješenja konstrukcija za sve vidove gradnje i uštede energije.

Provedenim istraživanjima i analizama svježeg i čvrstog betona, utvrđeno je da razlike u svojstvima betona sa i bez recikliranih komponenti nisu pretjerano velike, odnosno da upotreba recikliranog betona ne utiče u značajnoj mjeri na svojstva finalno proizvedenog betona. Činjenica da reciklirani beton sve više prelazi u praksu i naopušta domenu eksperimentalnih istraživanja, to ne utiče na poslove istraživača, koji provode i nova istraživanja.

Prethodnim analiziranjem cijelog rada, dolazimo do zaključka da je usavršavanje materijala i konstrukcija betona neprestan proces na kojem se uporno treba raditi. Slijedom toga, i u oblasti primjene betona s recikliranim komponentama potrebno je neprestano provoditi istraživanja kako bi se osigurala što bolja, sigurnija i čišća budućnost.

I na kraju zaključujemo da reciklirani beton sve više predstavlja potencijalno energetski efikasan ili "zeleni" materijal.

Literatura:

- [1] Projekt LIFE05 TCY/CRO/000114 CONWAS Razvoj održivog sustava upravljanja građevinskim otpadom u Hrvatskoj, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2006-2008.
- [2] Bjegović, D.; Mikulić, D.; Štirmer, N.; Prutki Pečnik, G.: Razvijanje sustava gospodarenja građevinskim otpadom u Republici Hrvatskoj, IX. Međunarodni simpozij Gospodarenje otpadom Zagreb 2006., Milanović, Zlatko (ur.), Gospodarstvo i okoliš, 2006. 109-118
- [3] Federalni plan upravljanja otpadom 2012/2017 12.2011.
- [4] Calkins, M., Materials for Sustainable Sites, 2009, Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Crouch, K.; Hewitt, R.; Byard, B., High Volume Fly Ash Concrete, in World of Coal Ash (WOCA), 2007, University of Kentucky: Covington, USA. p. 1-14. ukupnih emisija CO₂ u atmosferu.
- [6] <http://www.sonotube.com>. pregledana 15.05.2023 Sonoco Construction Products
- [7] The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures

- [8] Gutiérrez, P.A.; Sánchez de Juan, M.: Utilization of recycled concrete aggregate for structural concrete, Laboratorio Central de Estructuras y Materials (CEDEX), Spain, congress.cimne.upc.es, 2001
- [9] RILEM: Report 22, Sustainable raw materials-construction and demolition waste. Edited by Hendriks C.F.; Pietersen H.S; The publishing company of RILEM, 2000.
- [10]. Bjegović, D.; Štirmer, N.; Mikulić, D.: Construction and Demolition Waste Usage Possibilities, Fifth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-V), “Collaboration and Integration in Engineering, Management and Technology”, May 20-22, 2009, Istanbul, Turkey
- [11] Bjegović, D.; Štirmer, N.; Šprajc, H.; Serdar, M.: Preporuke za primjenu recikliranog agregata, X. međunarodni simpozij Gospodarenje otpadom Zagreb 2008, Milanović, Zlatko (ur.), Gospodarstvo i okoliš, 2008., 643-653
- [12] Miličević, I.; Štirmer, N.; Bjegović, D.: Optimizing the Concrete Mixture made with Recycled Aggregate Using Experiment Design, 9th IASME/WSEAS International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (HTE'11), Firenca, 23-25.08. 2011., Lazard, M.; Buikis, A.; Shmaliy, Y. S.; Revetria, R. ; Mastorakis, N. (ur.), WSEAS Press, www.wseas.org, 110-115
- [13] Mehta, P.K., The role of fly ash in sustainable development, in Concrete, Fly Ash and the Environment
- [14] Calkins, M., Materials for Sustainable Sites, 2009, Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc
- [15] Ignjatić, G.; Netinger, I., Mogućnost primjene alkalijski aktivirane zgreure kao veziva u mortu. e-GFOS, 2010. 1(1): p. 115-123.
- [16]. Roumiana Zaharieva, Francois Buyle-Bodin, Frederic Skoczylas, Eric Wirquin: Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete, Cement & Concrete Composites 25 (2003) 223–232,