

ИЗГРАДЊА

IZGRADNJA

CONSTRUCTION

75 ГОДИНА YEARS

2021

ОСНОВАНО
1947
FOUNDED



БРОЈ-NUMBER

5-8

МАЈ-АВГУСТ
MAY-AUGUST

ГОД. 75 YEAR

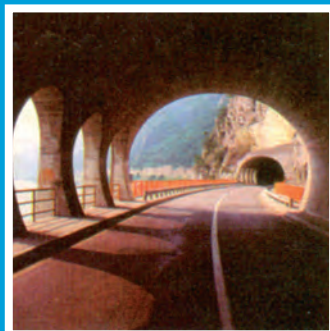


UDK 624+71+72(05)

ISSN 0350-5421



9 770350 542000





Broj 5–8 Maj–avgust, 2021. SADRŽAJ

O ovom četvorobroju časopisa „Izgradnja“, Uredništvo i Redakcija časopisa „Izgradnja“

75

Jovan ANĐELKOVIĆ, dipl.inž.građ., Vladimir PREDOJEVIĆ, dipl.građ.inž. i doc. dr Aleksandar RADEVIĆ, mast.inž.građ.: **Primena grejnih kablova u izvođenju betonskih radova pri ekstremno niskim temperaturama sa numeričkim primerima**

Pregledni rad

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) str. 77-90

77

Dr Ranka GAJIĆ, dipl.inž.arh.: **Doktrina zadovoljstvom upravljanog grada /savremeni grad i standardizacija/**

Pregledni rad

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) str. 91-102

91

Diana VRANEŠEVIĆ, mast.inž.građ. i dr Aleksandar SAVIĆ, mast. inž.građ.: **Upravljanje čvrstim otpadom u domenu armiranobetonskih elemenata ojačanih karbonskim tkaninama**

Pregledni rad

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) str. 103-110

103

Van.prof.dr Biserka MITROVIĆ, dipl.inž.arh.: **Koncept održivog lokalnog razvoja javnih službi na teritoriji opštine Kuršumljia**

Pregledni rad

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) str. 111-117

111

Doc. dr Velimir STOJANOVIĆ, dipl.inž.arh.: **Pozicija malih gradova u okruženju digitalnih tehnologija građenja**

Pregledni rad

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) str. 118-123

118

Nevena SIMIĆ, MSc.građ.inž., Aleksandar DEVEDŽIĆ, MSc.građ.inž., Marija IVANOVIĆ, MSc.građ.inž. i V. prof. dr Predrag PETRONIJEVIĆ, dipl.građ.inž.: **Primena mašinskog učenja za procenu cena i količina radova pri izgradnji stambenih i stambeno-poslovnih objekata**

Pregledni rad

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) str. 124-132

124

Vesti i saopštenja

- Građevinski materijali i konstrukcije sa aspekta nove tehničke regulative u Republici Srbiji, DIMK i IMS 133
- Vodovod i kanalizacija 21 135

Knjige, monografije, časopisi...

- Upravljanje projektima u građevinarstvu (IV izmenjeno i dopunjeno izdanje) 137

Number 5–8 May–August, 2021 CONTENTS

About this Four Issue of „Izgradnja“ Magazine, Editorial Board and Editorial Board of the Magazine „Izgradnja“

75

Jovan ANĐELKOVIĆ, Civ.Eng., Vladimir PREDOJEVIĆ, Civ.Eng. and Aleksandar RADEVIĆ, MSc.Civ. Eng., PhD: **Application of Heating Wires During Concreting in Extremely Low Temperatures With Numerical Examples**

Review Paper

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) pp 77-90

77

Ranka GAJIĆ, Arch. PhD: **Pleasure Guided City Doctrine /Contemporary City and Standardization/**

Review Paper

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) pp 91-102

91

Diana VRANEŠEVIĆ, MSc Eng.Civ. and Aleksandar SAVIĆ, MSc Eng.Civ.: **Construction and Demolition Waste Management in the Domain of Reinforced Concrete Elements Reinforced With Carbon Fabrics**

Review Paper

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) pp 103-110

103

Prof. Biserka MITROVIĆ, Arch. PhD: **The Concept of Sustainable Local Development of Public Services in the Municipality of Kuršumljia**

Review Paper

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) pp 111-117

111

Velimir STOJANOVIĆ, Arch. PhD: **The Position of Towns in Digital Construction Technology Environment**

Review Paper

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) pp 118-123

118

Nevena SIMIĆ, MSc.Civ.Eng., Aleksandar DEVEDŽIĆ, MSc.Civ.Eng., Marija IVANOVIĆ, MSc.Civ.Eng. and Prof. Predrag PETRONIJEVIĆ, Civ. Eng. PhD: **An Application of Machine Learning for the Estimation of Cost and Quantities of Works in the Construction of Residential and Residential-Commercial Buildings**

Review Paper

Biblid: 0350-5421, 5-8 (2021) pp 124-132

124



Izdavanje Časopisa „Izgradnja“ podržava

Ministarstvo prosvete,
nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije,
Beograd, Nemanjina 22-26
www.mpn.gov.rs



Redakcioni odbor:

- Predsednik: **Prof. dr Dragan LUKIĆ**, dipl.građ.inž.–
Građevinski fakultet, Subotica
- Doc. dr Nebojša GADŽIĆ**, dipl.inž.arh. –
Fakultet tehničkih nauka,
Kosovska Mitrovica
- Prof. dr Nenad IVANIŠEVIĆ**, dipl.građ.inž. –
Građevinski fakultet, Beograd
- Prof. dr Đorđe LAĐINOVIĆ**, dipl.građ.inž. –
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- Doc. dr Vladimir MUČENSKI**, dipl.građ.inž. –
Fakultet tehničkih Nauka, Novi Sad
- Doc. dr Igor PEŠKO**, dipl.građ.inž. –
Fakultet tehničkih Nauka, Novi Sad
- Dr Jasna PETRIĆ**, dipl.prostorni planar
– Institut za arhitekturu Srbije „IAUS“,
Beograd
- Prof. dr Petar SANTRAČ**, dipl.građ.inž.–
Građevinski fakultet, Subotica
- Prof. dr Dragoslav STOJIĆ**, dipl.građ.inž. –
Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš
- Prof. dr Slobodan ĆORIĆ**, dipl.građ.inž.–
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

V.d. Glavnog i odgovornog urednika:

Prof. dr Vesna ZLATANOVIĆ-TOMAŠEVIĆ, dipl. inž.
arh.

Uređivački odbor:

- Prof. dr Borko BULAJIĆ**, dipl.građ.inž., Fakultet
tehničkih nauka Novi Sad, Novi Sad
- Aleksandar Bojović**, dipl.građ.inž. Beograd
- Dr Igor MARIĆ**, dipl.inž.arh., Institut za
arhitekturu Srbije „IAUS“, Beograd
- Prof. dr Miodrag NESTOROVIĆ**, dipl.inž.arh.,
Arhitektonski fakultet, Beograd
- Prof. dr Živojin PRAŠČEVIĆ**, dipl.građ.inž.,
Građevinski fakultet, Beograd
- Dr Nenad ŠUŠIĆ**, dipl.građ.inž., Institut
„IMS“, Beograd

Međunarodni redakcioni odbor:

- Prof. dr **Mihailo Trifunac**, Southern California, Los Angeles, CA, USA;
- Prof. dr **Vinsent Lee**, Southern California, Los Angeles, CA, USA;
- Prof. dr **Predrag Gavrilović**, Makedonija;
- Professor Emeritus dr **David Lloyd Smith**, Imperial College, London, Velika
Britanija;
- Prof. dr **Lidija Zdravković**, Imperial College, London, Velika Britanija;
- Prof. dr **Svetislav Popović**, Arhitektonski fakultet Univerziteta Crne Gore, Crna
Gora;
- Prof. dr **Miloš Knežević**, Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Crna
Gora;
- Prof. dr **Milenko Pržulj**, Slovenija;
- Prof. dr **Branko Cavrić**, University of Botswana – Faculty of Engineering and
Technology – Department of Architecture and Planning, Gabone, Botswana
- Prof. dr **Mumen Abuarkub**, Isra University, Faculty of Architecture, Amman,
Jordan

Sekretar Redakcije:

Svetlana Urošević

Marketing:

Slavica Andrijević

Priprema za štampu:

Kvartet V

Izdavač:

Udruženje inženjera građevinarstva, geotehnike, arhitekture i urbanista
„Izgradnja“,
11000 Beograd, Kneza Miloša 7a/II,
Tel/fax: +381 (0) 11 3243-563
E-mail: izgradnja@sezampro.rs,
www.izgradnja.srb.rs (u pripremi)
tekući račun: 205-206955-23,
kod Komercijalne banke a.d., Beograd

Štampa:

Anagram studio d.o.o., Zemun

CIP – Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd
624+71/72(05)
ISSN 0350-5421 = Izgradnja
COBISS.SR-ID 55831

UPRAVLJANJE ČVRSTIM OTPADOM U DOMENU ARMIRANOBETONSKIH ELEMENTA OJAČANIH KARBONSKIM TKANINAMA

CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE MANAGEMENT IN THE DOMAIN OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS REINFORCED WITH CARBON FABRICS



UDK: 691:628.477.6.036

624.012:661.666

Pregledni rad

Diana VRANEŠEVIĆ¹, mast. inž. građ.

Dr Aleksandar SAVIĆ², mast. inž. građ.

REZIME

U doba kada raspoloživost resursa postaje jedan od rastućih problema u svetu, javlja se potreba kako za reciklažom, tako i za upravljanjem čvrstim otpadom u koji, između ostalog, spada i građevinski otpad. Efektivno upravljanje građevinskim otpadom se smatra suštinskim za postizanje ciljeva kao što su očuvanje prostora za deponije, smanjenje uticaja na životnu sredinu, prilike za stvaranje novih radnih mesta i smanjenje troškova projekta. Rad se, iz perspektive armiranobetonskih elemenata ojačanih karbonskim tkaninama, bavi mogućnostima odlaganja i ponovne upotrebe komponentnih materijala, a sve u cilju smanjenja građevinskog otpada koji se odlaze na deponije. Na osnovu dobijenih rezultata prikazane su mere koje mogu biti primenjene kako bi došlo do poboljšanja trenutnog stanja u oblasti upravljanja građevinskim otpadom u Srbiji.

Ključne reči: građevinski otpad, recikliranje, karbonske tkanine, beton, armaturne šipke

ABSTRACT

In this new day and age, when the availability of resources is becoming one of the rising problems in the world, implementation of both recycling and solid waste management, which includes construction waste management, are becoming mandatory. Effective construction waste management is considered essential to achieve goals such as conserving landfill space, reducing environmental impact, creating job opportunities and reducing project costs. From the perspective of reinforced concrete elements reinforced with carbon fabrics, this paper advocates for the possibilities of disposal and reuse of component materials, all with the aim of reducing construction waste that will eventually be disposed in landfills. Based on the obtained results, the measures presented in the paper can be applied in order to improve the current situation in the field of construction waste management in Serbia.

Key words: construction waste, recycling, carbon fabrics, concrete, reinforcing bars

1. UVOD

Najopštija definicija čvrstog otpada podrazumeva čvrste materijale (predmete) koje je potrebno odložiti, jer više nisu od koristi. Takođe, u čvrst otpad spada i otpad nastao pri izgradnji i rušenju objekata. U otpad te kategorije spadaju beton, opeka, staklo, čelik, drvo itd. Naj-

češći razlog za rušenje objekata jeste njihova dotrajalost ili potreba za uklanjanjem postojećih objekata na nekoj parceli zarad izgradnje novog, ali to nisu i jedini razlozi. Građevinski otpad je otpad velike težine, zapremine i količine [1] i grubo može biti podeljen u dve kategorije: koristan i beskoristan otpad. Na tržištu, koristan otpad je klasifikovan kao otpad koji se može reciklirati ili ponovo upotrebiti u skladu sa svojom funkcijom, što uglavnom podrazumeva čelik, drvo, beton i ciglu. Sa druge strane, beskorisni otpad se deponuje [8].

Građevinska industrija je jedan od najaktivnijih sektora Evropske unije, koji troši više sirovina i energije od bilo koje druge grane industrije. Kao rezultat toga, generiše se velika količina građevinskog otpada koji je potrebno pravilno odložiti u cilju optimizacije upotrebe postojećih resursa u odnosu na raspoložive. U Hong Kongu

Adresa autora: ¹ – student doktorskih studija i demonstrator, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Katedra za upravljanje projektima u građevinarstvu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

² – vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Katedra za materijale i konstrukcije, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

Adresa autora: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

E-mail: diana.vranesevic@gmail.com

savic.alexandar@gmail.com

su sa pet različitih lokacija, na kojima su rušeni stambeni objekti, prikupljene informacije o načinu razdvajanja otpada na gradilištu, stopi reciklaže, ali i poteškoćama koje su se javile i mišljenju osoblja o recikliranju na gradilištu [13]. Otpad je u većini slučajeva razdvojen na inertni i neinertni i dok stopa reciklaže betona varira u granicama od 6 do 50%, za armaturu gotovo dostiže 100%. Glavne poteškoće pri recikliranju su zahtevi za odgovarajućom veličinom otpadnog materijala kako bi uopšte bio prihvaćen u fabrici za reciklažu i činjenica da se u građevinskom otpadu javljaju različite vrste građevinskog materijala. Istraživanja, takođe, pokazuju da se otpad na gradilištu sastoji najviše od betona i keramike. Kod stambene i nestambene izgradnje betonski otpad kod armirano-betonskih konstrukcija je između 17.8 kg/m² i 32.9 kg/m² i između 18.3 kg/m² i 40.1 kg/m², respektivno. Kada je u pitanju sektor za stambeno i nestambeno rušenje, proizvodnja otpada za armirano-betonske konstrukcije varira od 492 kg/m² do 840 kg/m² i od 401 kg/m² do 768 17 kg/m², respektivno. Za sektore stambene i nestambene adaptacije betonski otpad je između 18.9 kg/m² i 45.9 kg/m² i između 18.9 kg/m² i 191.2 kg/m², respektivno [7]. Imajući to u vidu, javila se potreba za definisanjem zakona u toj oblasti. Cilj zakona na nivou Evropske unije je da se podigne nivo pouzdanosti u oblasti upravljanja građevinskim otpadom, kao i kvalitet recikliranih materijala [12]. Ovo može biti postignuto na sledeće načine:

1. Poboljšanjem identifikacije otpada, razdvajanjem izvora otpada i njegovim prikupljanjem
2. Poboljšanjem logistike upravljanja otpadom
3. Poboljšanjem obrade otpada
4. Upravljanjem kvalitetom
5. Odgovarajućom politikom i zakonskim okvirima [12]

Građevinski otpad predstavlja između 10 i 30 % čvrstog otpada koji se prihvata na deponijama širom sveta, a njegova prednost u odnosu na drugi čvrsti otpad jeste velika mogućnost ponovne primene ugrađenih materijala sa jedne strane i mogućnost višestruke reciklaže sa druge. Međutim, bez obzira što ima veliki potencijal za ponovnu upotrebu, samo mali deo se zapravo ponovo upotrebi. Procenat ponovne upotrebe zavisi ne samo od svesti o uticaju ovakvog otpada na životnu sredinu, već i od razvijenosti same države. Mnoge zakonske regulative su izdate u cilju očuvanja životne sredine i garancije za odgovarajuće upravljanje građevinskim otpadom. Zakonske regulative pokušavaju da smanje i kontrolišu građevinski otpad, ali usaglašavanje sa postojećim zakonima i njihovo sprovođenje nije lako kada ne postoji način da se kontroliše količina proizvedenog otpada. Prioritet u odnosu na energetska eksploataciju otpada imaju ponovna upotreba i recikliranje, a prvi korak u odgovarajućem upravljanju otpadom svakako jeste da se utvrdi koliko otpada stvarno nastane [7].

2. UZROK NASTANKA GRAĐEVINSKOG OTPADA I KRITIČNI FAKTORI ZA SORTIRANJE OTPADA NA GRADILIŠTIMA

Otpad nastao kao posledica izgradnje i rušenja građevinskih objekata i infrastrukture (C&D waste), poznat i kao građevinski otpad, predstavlja problem svetskih razmera. Širom sveta sprovode se opsežna istraživanja i daju predlozi rešenja na temu upravljanja građevinskim otpadom, mogućnostima i prednostima recikliranja takvog otpada, mogućnostima ponovne upotrebe, ali i načinima na koje se količine otpada mogu smanjiti.

Prema mišljenju izvođača radova, konsultanata i investitora, a na osnovu rezultata sprovedenih studija, u okviru kojih se razmatralo 60 različitih faktora koji mogu biti uzrok otpadnih materijala na građevinskim projektima, na prvih deset mesta se nalaze [6]:

1. Česte izmene projekta i zahtevi klijenata
2. Prepravke nastale kao posledica grešaka radnika
3. Loša projektna dokumentacija
4. Nedostatak i pogrešno skladištenje materijala
5. Loša strategija za smanjenje otpada
6. Nedostatak radne snage sa iskustvom
7. Loši uslovi na gradilištu
8. Oštećenja nastala tokom transporta
9. Krađe i vandalizam
10. Greške u proceni količina i naručivanju materijala

Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da se još u ranoj fazi projekta, pri samom formiranju projektne dokumentacije, može dosta uticati na količinu otpada koji će se kasnije javiti. U građevinskim projektima postoji nekoliko ključnih elemenata kao što su radna snaga, mašine, materijali i novac, a najvažnijim elementom smatra se radna snaga koja direktno učestvuje u izgradnji. Razlog tome je činjenica da jedino ljudi mogu da povežu ostale resurse u celinu kako bi se dobio krajnji proizvod. Primećeno je da je u nedostatku zakonskih okvira, ponašanje koje se tiče upravljanja otpadom uglavnom direktno zavisno od ekonomskih benefita, dok sa druge strane, kompanije moraju raditi u skladu sa postojećim zakonima. Što se tiče ulaganja koja se odnose na upravljanje građevinskim otpadom, potrebno je napomenuti da troškovi nisu mnogo veći u odnosu na druge troškove, kao i da upravljanje građevinskim otpadom ne zahteva upotrebu narednih tehnoloških rešenja. Glavni problem koji se ovde nameće je nedostatak prostora za odlaganje i sortiranje građevinskog otpada.

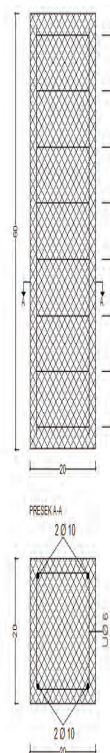
Sortiranje građevinskog otpada na gradilištu ima višestruke prednosti koje uključuju: povećanu stopu recikliranja i ponovne upotrebe materijala, smanjenje troškova transporta otpada i njegovo odlaganje, produžetak životnog veka deponija projektovanih za odlaganje neinertnog građevinskog otpada i smanjenje zagađenja koje nastaje kao posledica velike količine otpada. Međutim, efikasna primena sortiranja građevinskog otpada zahteva veliki broj faktora koji uključuju ljude, menadžment, tehnologiju, resurse i okolinu.

U hijerarhiji prioriteta upravljanja otpadom na vrhu je tzv. "3Rs" princip koji podrazumeva smanjenje otpada

(*reduce*), ponovna upotrebu (*reuse*) i reciklažu (*recycle*). Smanjenje otpada ima dve glavne prednosti. To su samo sprečavanje nastanka građevinskog otpada i smanjenje troškova za reciklažu otpada, transport i odlaganje. Zbog svega navedenog ovaj princip se smatra najefektivnijom metodom za smanjenje nastanka građevinskog otpada i eliminisanje mnogih problema koji se odnose na odlaganje otpada i zagađenje okoline. Ponovna upotreba predstavlja upotrebu istog materijala i u istu svrhu više puta. Ovo je najpoželjnija opcija nakon smanjenja otpada zbog minimalne obrade materijala i količine utrošene energije. Recikliranjem se od građevinskog otpada mogu napraviti neki novi materijali-reciklirani materijali. Ovi materijali mogu biti konkurentni na tržištu gde postoji nedostatak sirovina i pogodnih mesta za odlaganje. Recikliranje ima svojih prednosti kao što su smanjena potreba za novim resursima, smanjenje troškova u pogledu transporta i energije koja se utroši za proizvodnju, iskorišćenje otpada koje bi u suprotnom završilo na deponijama, očuvanje zemljišta za budući urbani razvoj i poboljšanje globalnog stanja životne sredine.

3. PREDMET ISTRAŽIVANJA RADA

Za potrebe istraživanja mogućnosti ponovne upotrebe komponentnih materijala, razmatrani su armiranobetonski elementi ojačani karbonskim tkaninama, koji su prethodno bili korišćeni za ispitivanje nosivosti pomenutih elemenata u okviru master rada [2]. Elementi su dimenzija 20x20x60 cm, marke betona MB 40, armirani podužnom rebrastom armaturom 4RØ10 i uzengijama



Slika 1. Raspored usvojene armature po visini i u poprečnom preseku [2]

UØ6/7,5 cm (slika 1). Svi elementi su spravljeni i negovani na gradilištu [2], što odgovara stvarnim uslovima izvođenja građevinskih objekata.

Za spravljanje betonske mešavine visokih mehaničkih karakteristika korišćeni su agregat, cement, voda i različiti hemijski dodaci (aditivi) [4],[5], dok je za armiranje korišćena armatura B500A (slike 2 i 3).



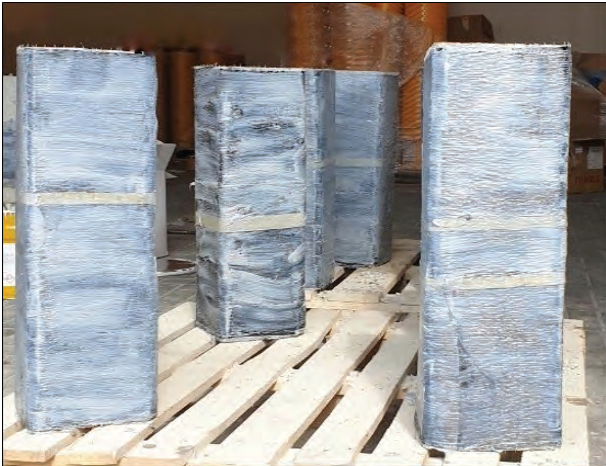
Slika 2. Prikaz oplata i armaturnog koša za betoniranje elemenata [2]



Slika 3. Prikaz faza ugrađivanja betona u oplatu dimenzija 20x20x60 cm [2]

Ojačanje betonskih konstrukcija u zoni zatezanja se u prošlosti uglavnom izvodilo primenom čeličnih lamela, koje su na početku, sa betonskim preseccima bile sprezane anker-zavrtnjima usidrenim u beton, a nešto kasnije i lepljene lepkovima na bazi epoksi smole. Danas se široko primenjuju drugi materijali koji imaju visoke čvrstoće pri zatezanju. U pitanju su industrijski proizvedene trake-lamele od različitih sintetičkih materijala, koje se za betonske preseke lepe odgovarajućim lepkovima na bazi epoksi smole. Ove trake su izrađene od vlakana koja se dobijaju od staklenih, aramidnih i drugih vlakana. U poslednje vreme je sve češća primena traka na bazi ugljenika – tzv. karbonska vlakna.

Vlakna od kojih se izrađuju trake su prečnika od 0,007 mm do 0,1 mm i proizvode se u formi traka-lamela i traka-tkanina. Kod traka-lamela vlakna su međusobno spleljena odgovarajućim epoksidnim vezivom, dok se traka-tkanine dobijaju tkanjem karbonskih vlakana. Najbitnija razlika između ovih traka je u načinu na koje one prihvataju opterećenje. Trake-lamele opterećenje prihvataju samo u pravcu pružanja, dok trake-tkanine prihvataju opterećenje u zavisnosti od načina tkanja [2], [3]. Ojačanje je urađeno celom visinom armiranobetonskih elemenata (slika 4).



Slika 4. Ojačani elementi sa obrađenim ivicama [2]

4. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalna istraživanja su sprovedena nakon ispitivanja nosivosti armiranobetonskih elemenata ojačanih karbonskim tkaninama i za cilj imaju utvrđivanje mogućnosti ponovne upotrebe dobijenih komponentnih materijala.

Pre početka eksperimenta postavljene su sledeće hipoteze:

- Karbonske tkanine neće biti upotrebljive
 - Beton se može koristiti kao reciklirani agregat
 - Armatura se može reciklirati u potpunosti
- Sam eksperiment se sastojao iz sledećih koraka:



Slika 5. Lom elemenata ojačanih trakom po celoj visini sa oborenim ivicama [2]

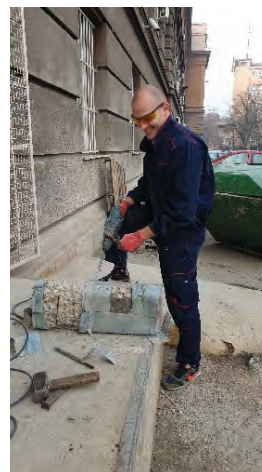
1. Uklanjanje karbonskih tkanina sa elemenata

Da bi se karbonske tkanine uklonile sa elemenata, prvo je bilo potrebno tkanine iseći brusilicom, a potom štemalicom ukloniti delove tkanina koje su zalepljene za elemente, kao što je prikazano na slici 6. Vreme potrebno za korak 1 iznosilo je cca 15 minuta po elementu.

2. Razdvajanje na komponentne materijale

Za razdvajanje na komponentne materijale primenjena su dva načina:

1. NAČIN: Drobljenje čitavog elementa u presi do trenutka kada se beton u potpunosti odvoji od armature (slika 7).



Slika 6. Uklanjanje karbonskih tkanina sa elemenata



Slika 7. Razdvajanje na komponentne materijale

Vreme potrebno za korak 2 iznosilo je 10 minuta po elementu.

2. NAČIN: Ručno razbijanje armiranobetonskih elemenata (slika 8)

Vreme potrebno za korak 2 iznosilo je 20 minuta po elementu.



Slika 8. Razdvajanje na komponentne materijale

3. Drobljenje betona

Nakon razdvajanja na komponentne materijale krupniji delovi betona su stavljani u drobilicu kako bi bili zdrobljeni do odgovarajuće veličine (slika 9).

Vreme potrebno za korak 3 iznosilo je 15 minuta po elementu.

4. Prosejavanje agregata dobijenog drobljenjem betona

Agregat dobijen drobljenjem je prosejan kroz seriju sita odgovarajućih veličina otvora koja odgovaraju četvorofrakcijskom agregatu (sita 4, 8, 16 i 32 mm).

Vreme potrebno za korak 4 iznosilo je 10 minuta po elementu.

5. Klasifikacija agregata dobijenog drobljenjem betona po frakcijama

Nakon prosejavanja, agregat je odvojen u džakove po frakcijama.

Vreme potrebno za korak 5 iznosilo je 5 minuta po elementu.

5. DISKUSIJA

Kao proizvod postupka recikliranja ispitanih uzoraka dobijaju se komponentni materijali – beton, armatura i karbonske tkanine. Zahvaljujući sprovedenom postupku sada se može razmatrati dalja upotreba ovih materijala ili njihovo odlaganje.

Beton se pokazao kao komponenta koja se može dalje koristiti kao reciklirani agregat u novim konstruk-



Slika 9. Drobljenje betona u drobilici

cijama, kao agregat za nasipe i zastore u izgradnji puteva i železnica, ali se može i usitniti do praha i koristiti kao filer i iskoristiti za spravljanje maltera i betona. U nekim zemljama, poput Singapura, postoje strategije za implementaciju održive gradnje koristeći učinkovitost upotrebe betona na različitim projektima. To se postiže kroz indeks upotrebljivosti betona (*concrete usage index – CUI*), koji predstavlja odnos između zapremine ugrađenog betona u odnosu na ukupnu površinu osnova [14]. Takođe, bitno je naglasiti da sistemsko rušenje postojećih zgrada ima presudan značaj, kako bi beton mogao biti ponovo iskorišćen ne samo za nekonstruktivne, već i za konstruktivne elemente. U ovom konkretnom slučaju, za bilo koju dalju upotrebu betona, postoji potreba da se izvrše odgovarajuća ispitivanja.

Armatura se u potpunosti može dalje reciklirati, a u zavisnosti od standarda koji se primenjuje zavisi i



Slika 10. Garnitura sita



Slika 11. Frakcija 0-4 mm



Slika 12. Frakcija 4-8 mm



Slika 13. Frakcija 8-16 mm



Slika 14. Frakcija 16-32 mm



Slika 15. Četiri frakcije agregata

mogućnost ponovne upotrebe čelika kao materijala. Iako potpuna reciklaža armature omogućava njenu veliku upotrebljivost, ipak od klasifikacije konkretne armature, prema testiranju samog materijala i sertifikaciji, a potom i procene pouzdanosti, zavisi klasa upotrebljivosti kojoj će razmatrana armatura pripadati [14].

Karbonske tkanine procenjene su kao neupotrebljive i neophodno ih je odložiti na deponiju. Međutim, na svetskom nivou postoje inicijative ka recikliranju karbonskih vlakana primenom hemijskih, termičkih i mehaničkih procesa. Glavni pristup recikliranju jeste da se polimerna matrica, primenom pomenutih metoda, razloži tako da ostanu čista karbonska vlakna koja se mogu dalje upotrebljavati. Pri recikliranju primenom hemijskih procesa dobijaju se vlakna koja imaju približno 90% mehaničkih svojstava u odnosu na svojstva nerecikliranih vlakana. Mana ovog načina recikliranja je visoka cena



Slika 16. Frakcija 16-32 mm



Slika 17. Frakcija 8-16 mm



Slika 18. Frakcija 4-8 mm



Slika 19. Frakcija 0-4 mm

reagenata i proizvodnja štetnih gasova. Recikliranje primenom termičkih procesa je najrasprostanjeniji proces recikliranja. Vlakna dobijena na ovakav način imaju 70-80% zatežuće čvrstoće u odnosu na nereciklirana vlakna, ali pored proizvodnje štetnih gasova prilikom procesa javlja se i čađ na površini vlakana. Mehaničko recikliranje je „najčistije” jer prilikom procesa nema proizvodnje štetnih gasova, ali vlakna dobijena na ovaj način pokazuju lošija mehanička svojstva i nepovoljnije dužine samih vlakana [15].

Ukupno vreme potrebno za potpuno razdvajanje na komponentne materijale iznosi 55 minuta u slučaju mašinskog razdvajanja i 65 minuta u slučaju ručnog razdvajanja. Procentualni udeo vremena svakog koraka dat je u tabeli 1.

Tabela 1. Procentualni udeo vremena

| Koraci | Mašinski | | Ručno | |
|---------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | [min] | [%] | [min] | [%] |
| Korak 1 | 15 | 28 | 15 | 23 |
| Korak 2 | 10 | 18 | 20 | 31 |
| Korak 3 | 15 | 28 | 15 | 23 |
| Korak 4 | 10 | 18 | 10 | 16 |
| Korak 5 | 5 | 8 | 5 | 7 |
| Ukupno | 55 | 100 | 65 | 100 |

Da bi se dao konkretniji zaključak, potrebno je povećati obim samog eksperimenta, s obzirom da obim eksperimenta priloženog u radu svrsishodno ukazuje da postoji osnov za dalje istraživanje u ovom pravcu.

6. ZAKLJUČAK

Ukoliko se razmatra utrošak vremena, primećuje se da utrošak vremena za uklanjanje karbonskih tkanina i razdvajanje na komponentne materijale, mašinski i ručno, respektivno iznosi 46% odnosno 54% od ukupnog potrebnog vremena, dok vreme potrebno za preostala tri koraka iznosi 54% odnosno 46%, respektivno. To znači da aspekti razdvajanja materijala u konkretnom slučaju nisu toliko vremenski zahtevni kada se porede sa koracima 3,4 i 5 (drobljenje betona, prosejavanje agregata dobijenog drobljenjem betona i klasifikacija agregata dobijenog drobljenjem betona), ali bi bilo poželjno da se koraci 1 i 2 (uklanjanje karbonskih tkanina i razdvajanje na komponentne materijale) optimizuju tako da se smanji vreme potrebno za njihovo izvršavanje.

Kako građevinski otpad ne može biti izbegnut u potpunosti, postoje mere koje se mogu preuzeti kako bi se količina tog otpada smanjila što je moguće više. Poželjno bi bilo u što većoj meri sprečiti nastajanje otpada koristeći komponentne materijale koji su već reciklirani ili višak materijala koji ostaje pri izgradnji objekata dalje prodati, a ne odlagati na deponije. Sledeći korak u smanjenju otpada su recikliranje ili ponovna upotreba komponentnih materijala. Razlika između recikliranja i ponovne upotrebe jeste što pri ponovnoj upotrebi komponente koje se koriste ostaju u istoj formi, dok im se pri recikliranju forma menja. Reciklaža se primenjuje kada ponovna upotreba materijala nije moguća [1].

Iako *Dahlén* i *Lagerkvist* tvrde da otpad može biti smatran resursom koji se našao na pogrešnom mestu [10], u Srbiji je koncept upravljanja građevinskim otpadom i dalje na niskom nivou. To ostavlja dovoljno prostora za

napredak, ali i različita potencijalna rešenja problema sa kojim se susreće građevinska industrija, kao što su:

1. Stvaranje tržišta za reciklirane materijale
2. Uvođenje visokih taksi za deponovanje građevinskog otpada koji nema mogućnost recikliranja
3. Uvođenje visokih taksi na korišćenje prirodnih resursa u cilju podsticanja upotrebe recikliranih materijala
4. Obavezno sortiranje građevinskog otpada na gradilištu
5. Pozitivno motivisanje svih učesnika na projektu da se uključe u upravljanje građevinskim otpadom kroz ostvarivanje raznih benefita

Bez obzira što odlaganje građevinskog otpada na deponije i dalje predstavlja najjednostavniji način rešavanja problema na gradilištima, zarad očuvanja ograničenih resursa, koji još uvek stoje na raspolaganju, potrebno je veću pažnju posvetiti životnoj sredini i savremenim načinima tretiranja građevinskog otpada.

7. LITERATURA

- [1] Construction Waste Management, And How It Can Preserve a Healthy Environment: Abdullah Al Rabea, 201223400 – 214– 80/12, Major: Civil Engineering (https://www.researchgate.net/publication/296431472_Construction_Waste_Management), 2016
- [2] Eksperimentalno ispitivanje efekata ojačanja karbonskim tkaninama aksijalno pritisnutih elemenata izrađenih od betona visokih mehaničkih karakteristika: Jovana Višekruna, Master rad, Beograd, 2019.
- [3] Praktična primena Sika karbonskih traka u ojačanju betonskih konstrukcija – opšta razmatranja, ispitivanja, primeri i praktična iskustva: prof. dr Mihailo Muravljev
- [4] Osnova teorije i tehnologije betona: prof. dr Mihailo Muravljev, Građevinska knjiga, 2010
- [5] Građevinski materijali: prof. dr Mihailo Muravljev, Beograd, 1995.
- [6] Study of the Causes and Magnitude of Wastage of Materials on Construction Sites in Jordan: Ghanim A. Bekr, Article ID 283298, <https://www.hindawi.com/journals/jcen/2014/283298/#abstract>, 2014
- [7] Construction and demolition waste indicators: Miguel Mália, Jorge de Brito, Manuel Duarte Pinheiro and Miguel Bravo, *Waste Management & Research* 31(3) 241–255, 2013
- [8] A review of construction and demolition waste management in Southeast Asia: Ngoc Han Hoang, Tomonori Ishigaki, Rieko Kubota, Masato Yamada, Ken Kawamoto, 5th 3R International Scientific Conference, 2019
- [9] Investigating the determinants of contractor's construction and demolition waste management behavior in Mainland China: Zezhou Wu, Ann T.W. Yu,

Liyin Shen, *Waste Management*, Volume 60, Pages 290-300, 1 February 2017

- [10] Pay as you throw: strengths and weaknesses of weight-based billing in household waste collection systems in Sweden: Dahlén, L., Lagerkvist, A., *Waste Manage.* 30 (1), 23–31, 2010
- [11] Sustainable Management of Construction and Demolition Materials: US EPA (<https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials>), 2017
- [12] EU Construction and Demolition Waste Protocol and Guidelines: Published on 18/09/2018
- [13] Evaluations of existing waste recycling methods: A Hong Kong study: Vivian W.Y.Tam, C.M. Tam, Department of Building and Construction, City University of Hong Kong, 17 June 2005
- [14] Singapore's strategies towards sustainable construction: K.C. Chew (2010), *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 3:3, 196-202, DOI: 10.1080/19373260.2010.491641
- [15] Recycling of carbon fibers from carbon fiber reinforced polymer using electrochemical method: Hongfang Sun, Guanping Guo, Shazim Ali Memon, Weiting Xu, Qiwu Zhang, Ji-Hua Zhu, Feng Xing, www.elsevier.com/locate/compositesa, *Composites: Part A* 78 (2015) 10-17