



UDRUŽENJE ZA TEHNOLOGIJU VODE I SANITARNO INŽENJERSTVO  
ASSOCIATION FOR WATER TECHNOLOGY AND SANITARY ENGINEERING

UDRUŽENJE VODOVODA I KANALIZACIJE SRBIJE  
WATERWORKS AND SEWERAGE ASSOCIATION OF SERBIA

u saradnji sa  
*in cooperation with*

PRIVREDNOM KOMOROM SRBIJE  
CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY OF SERBIA

*i / and*

GRADOM VRNJAČKA BANJA  
CITY OF VRNJAČKA BANJA

KONFERENCIJA  
**OTPADNE VODE,  
KOMUNALNI ČVRSTI OTPAD  
I OPASAN OTPAD**

CONFERENCE  
**WASTE WATERS,  
MUNICIPAL SOLID WASTES  
AND HAZARDOUS WASTES**



4 – 6. april 2023. godine, VRNJAČKA BANJA – Hotel Solaris Resort  
4<sup>th</sup> – 6<sup>th</sup> April 2023, VRNJAČKA BANJA – Hotel Solaris Resort

UDRUŽENJE ZA TEHNOLOGIJU VODE I SANITARNO INŽENJERSTVO  
ASSOCIATION FOR WATER TECHNOLOGY AND SANITARY ENGINEERING

UDRUŽENJE VODOVODA I KANALIZACIJE SRBIJE  
WATERWORKS AND SEWERAGE ASSOCIATION OF SERBIA

u saradnji sa  
*in cooperation with*

PRIVREDNOM KOMOROM SRBIJE  
CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY OF SERBIA

*i/and*

GRADOM VRNJAČKA BANJA  
CITY OF VRNJAČKA BANJA

Konferencija

**OTPADNE VODE, KOMUNALNI ČVRSTI OTPAD  
I OPASAN OTPAD**

*Conference*

**WASTE WATERS, MUNICIPAL SOLID WASTES  
AND HAZARDOUS WASTES**

4 – 6. April 2023. godine, VRNJAČKA BANJA – Hotel Solaris Resort  
4<sup>th</sup>- 6<sup>th</sup> April 2023, VRNJAČKA BANJA – Hotel Solaris Resort

**Izdavač**  
UDRUŽENJE ZA TEHNOLOGIJU VODE  
I SANITARNO INŽENJERSTVO  
Beograd, Terazije 23/IV/416

**Za izdavača**  
Predsednik U.O.Udruženja  
Predrag Bogdanović, dipl.inž.građ.

**ORGANIZACIONI ODBOR**  
**ORGANIZING COMMITTEE**  
Anđa Marjanović, dipl.inž.tehnol., predsednik

**IZVRŠNO - REDAKCIONI ODBOR**  
**EXECUTIVE - EDITORIAL BOARD**  
Prof. dr Milena Bečelić – Tomin, dipl.hem., predsednik  
Doc. dr Vladana Rajaković – Ognjanović, dipl.inž.tehnol., zamenik predsednika  
Prof. dr Đurđa Kerkez, dipl.hem.inž.  
Prof. dr Goran Vujić, dipl.inž.maš.  
Dr Vladimir Pavićević, dipl.inž.tehnol.  
Gordana Perović, dipl.inž.tehnol.  
Mr Radmila Šerović, dipl.inž.tehnol.  
Zoran Marinković, dipl.inž.građ.  
Zorana Petrović, dipl.inž.građ.  
Prof. dr Gordana Stefanović, dipl.inž.tehnol.  
Doc. dr Hristina Stevanović Čarapina, dipl.inž.tehnol.  
Dr Milka Vidović, dipl.inž.tehnol.  
Dr Nebojša Veljković, dipl.inž.građ.

**Tiraž:** 200 primeraka

ISBN– 978-86-81618-14-1

**Kompjuterska priprema**  
Katarina Čović, Beograd

**Štampa**  
Planeta print d.o.o., Beograd

**Fotografija sa naslovne strane:** Most Ljubavi u Vrnjačkoj Banji  
**Izvor:** Wikipedia / AcaSrbin, Panoramio (<https://web.archive.org/web/20161015043704/http://www.panoramio.com/photo/38594707>)

CIP - Каталогизacija у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

628.3/4(082)  
502/504(082)

КОНФЕРЕНЦИЈА Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад (52 ; 2023 ; Врњачка Бања)  
Конференција Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад, 4-6. април 2023. године, Врњачка Бања / [organizatori] Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo ... [et al.] = Conference Waste Waters, Municipal Solid Wastes and Hazardous Wastes, 4<sup>th</sup>-6<sup>th</sup> April 2023, Vrnjačka Banja / [organized by] Association for Water Technology and Sanitary Engineering ... [et al.]. – Beograd : Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, 2023 (Beograd : Planeta Print). – 217 str. : ilustr. ; 25 cm

"... Udruženje ... organizuje 52. konferenciju 'Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад'". – Predgovor. – Tiraž 200. – Bibliografija uz sve radove. – Abstracts.

ISBN 978-86-81618-14-1

а) Отпадне воде – Зборници б) Отпадне материје – Зборници в) Опасне материје – Зборници  
г) Животна средина – Заштита – Зборници

COBISS.SR-ID 111574793

**ORGANIZATORI KONFERENCIJE**

UDRUŽENJE ZA TEHNOLOGIJU VODE I SANITARNO INŽENJERSTVO  
*ASSOCIATION FOR WATER TECHNOLOGY AND SANITARY ENGINEERING*

UDRUŽENJE VODOVODA I KANALIZACIJE SRBIJE  
*WATERWORKS AND SEWERAGE ASSOCIATION OF SERBIA*

u saradnji sa  
*in cooperation with*

PRIVREDNOM KOMOROM SRBIJE  
*CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY OF SERBIA*

*i/and*

GRADOM VRNJAČKA BANJA  
*CITY OF VRNJAČKA BANJA*

**POD POKROVITELJSTVOM**  
***UNDER THE PATRONAGE OF***

MINISTARSTVO NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I INOVACIJA  
REPUBLIKE SRBIJE  
*MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE AND TECHNOLOGICAL  
DEVELOPMENT REPUBLIC OF SERBIA*

MINISTARSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE  
REPUBLIKE SRBIJE  
*MINISTRY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION  
REPUBLIC OF SERBIA*

MINISTARSTVO POLJOPRIVREDE, ŠUMARSTVA I VODOPRIVREDE  
REPUBLIKE SRBIJE  
*MINISTRY OF AGRICULTURE, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT  
REPUBLIC OF SERBIA*

# -PRIMENA STRATEGIJE NULTOG OTPADA- UPOTREBA MULJA SA POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNE VODE U GRAĐEVINSKIM MATERIJALIMA

Dr Vladana N. Rajaković-Ognjanović<sup>1</sup>, Dr Branislava Lekić<sup>1</sup>,  
Dr Zorana Naunović<sup>1</sup>, Ognjen Govedarica<sup>1</sup>, Dr Dimitrije Zakić<sup>1</sup>,  
Dr Aleksandar Radević<sup>1</sup>, Dr Aleksandar Savić<sup>1</sup>, Dr Marina Aškrabić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11 000 Beograd  
e-mail: vladana@grf.bg.ac.rs

## Rezime

U ovom radu ispitani su različiti tipovi kompozitnih materijala, koji su po sastavu većim delom od cementa, a jednim delom od recikliranog otpadnog praškastog materijala, neutrala. Ispitivanja su obuhvatila uticaj kompozitnih materijala na kvalitet vode u šaržnom sistemu. Ispitani su ključni parametri na osnovu kojih se može oceniti uticaj na promenu kvaliteta vode. Deo materijala čini i reciklirani otpadni materijal koji ima komercijalni naziv „neutral“. Neutral nastaje od sirovine koju predstavljaju različiti tipovi (često opasnog) otpada, koji se u reaktoru sa kalcijum-oksikom prevodi u prah koji se može koristiti kao bezopasan. Ovo istraživanje predstavlja preliminarna ispitivanja koja će ukazati na mogućnost korišćenja neutrala kao materijal koji bi, u kontaktu sa vodom, otpuštao zagađujuće materije u ekološki prihvatljivom obimu i/ili ne.

**Ključne reči:** prečišćavanje vode, otpadni materijali, koncept „nula-otpada“.

## - “ZERO WASTE” STRATEGY - USE OF SLUDGE FROM WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN BUILDING MATERIALS

### Abstract

In this paper, different types of composite materials were examined, which are mostly made of cement and partly made of recycled waste powder material, *neutral*. The key parameters on the basis of which the potential application of composite materials can be evaluated, i.e. the impact on the change in water quality, were examined. Tests included the impact of these materials on water quality in the batch system. Neutral is created from raw materials represented by different types of (often hazardous) waste, which is converted into a powder that can be used as harmless in a reactor with calcium-oxide. The concept of using waste materials as a new, useful materials is the application of the concept of zero waste.

**Keywords:** water purification, waste materials, the zero-waste concept.

## UVOD

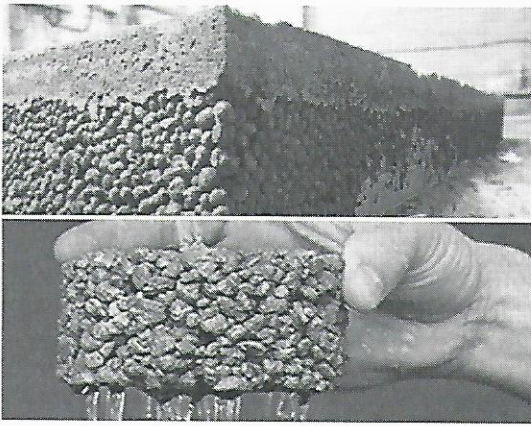
### Otpadni materijali iz građevinske industrije

Klasični građevinski materijali i njihove fizičke, hemijske i mehaničke karakteristike su većim delom ispitani. Kako je dosadašnja, klasična tehnologija građenja poznata i osvojena, javlja se težnja ka novim tehnološkim postupcima ili ka upotrebi već korišćenih materijala u nove svrhe. Pored ponovne upotrebe važno je da se sagleda ekološki uticaj materijala na životnu sredinu. Pri proizvodnji građevinskih materijala, kao što je slučaj sa cementom, opekama, armaturom, troše se velike količine energije i nastaju brojni nus-produkti. Za proizvodnju 1 tone cementa nastaje 1 tona ugljen-dioksida ( $\text{CO}_2$ ), čiji udeo u ukupnoj emisiji ugljen-dioksida iznosi od 7-10%. Eksploatacija prirodnih resursa, koji se koriste u proizvodnji građevinskih materijala, postaje sve skuplja i nepristupačnija. Godišnje iskorišćavanje agregata se kreće oko  $15 \cdot 10^9$  tona. Koncept korišćenja otpadnih materijala uz nastanak novih, korisnih materijala predstavlja primenu strategije nultog otpada. Pri eksploataciji i tokom životnog veka građevinski materijali i objekti ispoljavaju i pozitivne, ali i negativne uticaje na okolinu. Jedan od najpoznatijih negativnih uticaja koji se javlja, a koji je u većoj meri ispitivan, je emisija gasova staklene bašte (primarno ugljen-dioksida) [1-7]. Ispitivanja vezana za uticaj građevinskih materijala na kvalitet vode danas nisu u dovoljnoj meri sprovedena. Građevinski objekti u kontaktu sa vodom, najčešće padavine i procedne vode, tokom eksploatacije mogu ispustiti neželjena i potencijalno opasna jedinjenja u procesu izluživanja. U skladu sa tim, monitoring i permanentna kontrolna ispitivanja su izuzetno važna. Uticaj građevinskih objekata koji su izgrađeni od kaveroznog betona, mogu imati i pozitivan uticaj na kvalitet vode.

### Kaverozni beton i pozitivan uticaj na kvalitet vode

Kaverozni betoni (fotografija i izgled kaveroznog betona prikazani su na slici 1) predstavljaju tip lakog betona koji se dobija upotrebom krupnog agregata, čija je nominalna veličina zrna obično od 10 do 20 mm. Agregat se nakon kvašenja meša sa smesom koja se sastoji od cementa i vode. Na taj način se dobija beton čija je gustina 25-30% manja od gustine običnih betona. U poređenju sa običnim betonom, kaverozni beton ima manju zapreminsku masu, lošije mehaničke karakteristike i veću vodopropusnost zbog svoje porozne strukture. Odlikuje se odsustvom segregacije i kapilarnog upijanja, zbog čega su vrlo otporni na cikluse smrzavanja i odmrzavanja [5]. Primenom kaveroznih betona, odnosno filtracijom površinskih voda kroz kaverozni beton, može se uticati na poboljšanje kvaliteta vode. Kaverozni beton omogućava primarni vid prečišćavanja površinskih voda, što se odnosi na smanjenje udela ukupnih suspendovanih čvrstih čestica (*eng.* Total suspended solids – TSS) i redukovanje mutnoće vode. Kako proizvodnja običnog betona ima loš uticaj na životnu sredinu, kako zbog emisije ugljen-dioksida pri proizvodnji tako i zbog emisije istog pri transportu, teži se njegovom "ozelenjavanju". Odrednica "zeleni", u najširem smislu odnosi se na smanjenje potrošnje energije, zaštitu životne sredine, kontrolu i iskorišćenje sekundarnih sirovina, poboljšanje performansi, kontrolu kvaliteta, ali i mogućnost reciklaže

materijala. "Zeleni betoni" su betoni kod kojih je bar jedna njegova komponenta zamenjena otpadnim materijalom (recikliranim agregatom i recikliranim staklom, ili smanjenjem sadržaja cementa sa dodavanjem industrijskog otpada sa pucolanskim karakteristikama). Za ovako postavljen prototip, vršeno je ispitivanje promene kvaliteta vode pri filtraciji i zadržavanju površinskih voda u kaveroznom betonu i agregatu. Ispitivanja su pokazala da pri filtraciji i zadržavanju oticajnih površinskih voda dolazi do značajnog umanjenja ukupnih suspendovanih čvrstih čestica (*eng.* Total suspended solids – TDS), do 99,5% i do smanjenja замуćenosti za najmanje 96%, smanjenje azota za preko 40%, smanjenje koncentracije nitrata [6].



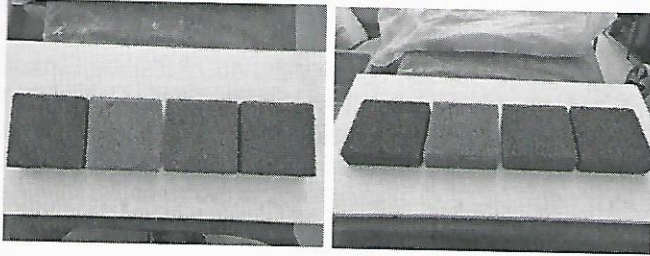
*Slika 1 Fotografija kaveroznog betona*  
*Figure 1 Photo of cavernous concrete*

Neutral je material koji nastaje obradom dehidriranog mulja koji ima udeo suve materije veći od 95%, te u sebi skoro da i ne sadrži organsku materiju. U otpadni mulj se dodaje negašeni kreč (CaO). Pri egzotermnoj hemijskoj reakciji i mehaničkim silama organska materija se pretvara u CO<sub>2</sub>, a zatim i u kalcijum-karbonat (CaCO<sub>3</sub>). Metali prisutni u mulju se usled dodatka kreča ugrađuju u strukturu neutrala. Pri proizvodnji neutrala moguće je koristiti najrazličitije tipove otpada: otpad koji nastaje pri štampanju hartije i papira, otpad iz hemijskih i metalurških industrija, otpadna ulja, otpadne vode iz tehnoloških procesa, otpadni muljevi i pogače iz industrijskih postrojenja za preradu otpadnih voda, otpadne emulzije. Neutral, odnosno buduća primena neutrala ima sledeće moguće pravce:

- I. dosadašnji pravac koji podrazumeva nastanak bezopasnog otpada, odnosno neutral kao sirovina koja ima status otpada (potrebna su obimna i opsežna ispitivanja radi usavršavanja procesa i dobijanja neutrala željenih karakteristika)
- II. neutral koji neće imati status otpada, nakon istraživanja. Trenutno se neutral koristi samo kao bezopasan otpad, ali se istražuju druge potencijalne primene u građevinarstvu, uz poboljšanje karakteristika pomoću CaO i kao krečno đubrivo [7].

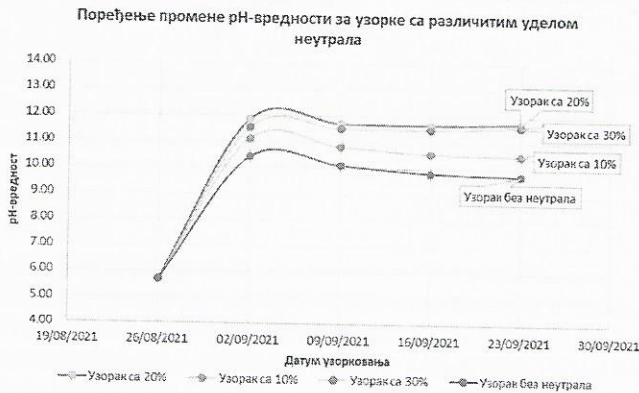
## Eksperimentalni deo

Za proces šaržnog ispitivanja uzeta su 4 uzorka građevinskog materijala (slika 2), odnosno tipa ploča poroznog lakoagregatnog „zelenog“ betona.



Slika 2 Fotografije uzoraka zelenih lakoagregatnih poroznih betonskih ploča  
Figure 2. Photographs of samples of green lightweight aggregate porous concrete slabs

Ovi materijali su sastavljeni od lakog agregata od kuglica ekspanzirane gline, a kao vezivo je korišćen cement koji je zamenjen neutralom. Zamena je izvedena u određenom procentu na sledeći način: sive ploče (400 kg/m<sup>3</sup> cementa, bez zamene); braon ploče (sadržaj cementa zamenjen 10% neutralom tako da je za spravljenje ovih ploča iskorišćeno 360 kg/m<sup>3</sup> cementa); crvene ploče (sadržaj cementa zamenjen 20% neutralom, korišćeno je 320 kg/m<sup>3</sup> cementa); zelene ploče (zamena cementa sa 30% neutrala, korišćeno je 280 kg/m<sup>3</sup> cementa). Izabrani komponentni materijali korišćeni su kao uzorci za energetski efikasne lakoagregatne porozne betonske ploče. Od svih parametara koji su analizirani, što se tiče uticaja na kvalitet vode, prikazani su rezultati za pH-vrednost (slika 3). Sa grafika se može primetiti trend porasta pH-vrednosti sa porastom udela neutrala. Kako se sa povećanjem procenta neutrala u uzorcima povećava i koncentracija baznih komponenata, zbog tehnologije nastanka neutrala (dodatak kalcijum-oksida) povećava se i baznost, što merenja i potvrđuju.



Slika 3 Poređenje promene pH-vrednosti za uzorke sa različitim sadržajem neutrala  
Figure 3 Comparison of pH change for samples with different neutral content



## ZAKLJUČAK

U okviru ovog projekta očekuje se: razvoj metoda i tehnika kojima se aktiviraju otpadni materijali, kao novi resursi; nalaženje primene, modifikovanim otpadnim materijalima; ispitivanje efikasnosti rada i ponašanja poroznog materijala; procena pozitivnih uticaja i merljivih ekoloških, društvenih i ekonomskih parametara za Srbiju kada se proizvode multifunkcionalni materijal konstrukcionih karakteristika koje odgovaraju primeni koncepta nultog otpada i efikasnog smanjenja poplave.

**Zahvalnica:** Autori se zahvaljuju Fondu za nauku Republike Srbije-program IDEJE. Ovaj rad deo je projekta Zero-waste concept for flood resilient cities (0-Waste-Water), ID: 773 7365.

## LITERATURA

1. Ignjatović I., Upotreba recikliranih i otpadnih materijala u betonskim konstrukcijama – korak ka održivom građevinarstvu, Beograd, 2018.
2. Reuse: Opportunities for better use of waste construction materials, [https://www.youtube.com/watch?v=r0Ejq\\_4GXEA](https://www.youtube.com/watch?v=r0Ejq_4GXEA)
3. Grant T., McAlister S., The Environmental Impact of Building Materials, Andrew Walker-Morison, Centre for Design, RMIT University
4. Bandow N., Gartiser S., Ilvonen O., Schoknecht U., Evaluation of the impact of construction products on the environment by leaching of possibly hazardous substances, Environmental Sciences Europe 30, 2018, Article number: 14
5. Rajović A., Ispitivanje svojstava i mogućnosti primene zelenih lakoagregatnih betona kao energetski efikasnih građevinskih materijala, Beograd, 2021.
6. Winstona R.J., Arendb K., Dorsey J.D., Hunt W.F., Water quality performance of a permeable pavement and stormwater harvesting treatment train stormwater control measure
7. Obrada mulja pomoću kalcijum oksida upotrebom MID-MIX® tehnologije, 2019.