



# **ЗБОРНИК РАДОВА**



## **XXXII Симпозијум Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе**

**04-06. октобар 2023. године  
Будва, Црна Гора**

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



# **ЗБОРНИК РАДОВА**

**XXXII СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ**

**Будва, Црна Гора  
04-06. октобар 2023. године**

**Београд  
2023. године**

**RADIATION PROTECTION ASSOCIATION OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



**PROCEEDINGS**

**XXXII SYMPOSIUM RPASM**

**Budva, Montenegro  
4<sup>th</sup>-6<sup>th</sup> October 2023**

**Belgrade  
2023**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXXII СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

04-06.10.2023.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Проф. Др Снежана Пајовић

Уредници:

Др Милица Рајачић  
Др Ивана Вуканац

ISBN 978-86-7306-169-6

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Милош Ђалетић, Милица Рајачић

Електронско издање:

Институт за нуклеарне науке „Винча“, Мике Петровића Аласа 12-14,  
11351 Винча, Београд, Србија

Година издања:

Октобар 2023.



Овај Зборник као и сви радови у њему подлежу лиценци:

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ова лиценца дозвољава само преузимање и дистрибуцију дела, ако/док се правилно назначавача име аутора, без икаквих промена дела и без права комерцијалног коришћења дела.

**XXXII СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА  
ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**

Будва, 04-06.10.2023. године

**Организатори:**

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**

Институт за нуклеарне науке „Винча“

Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине „Заштита“

Центар за екотоксиколошка испитивања Подгорица д.о.о, ЦЕТИ

**Организациони одбор:**

Председник:

Ивана Вуканац

Чланови:

Милица Рајачић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Александра Милатовић, ЦЕТИ, Подгорица, Црна Гора

Никола Свркота, ЦЕТИ, Подгорица, Црна Гора

Ранко Зекић, ЦЕТИ, Подгорица, Црна Гора

Гордана Пантелић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Милош Ђалетић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Никола Кржановић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Наташа Сарап, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Јелена Станковић Петровић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Ивана Коматина, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Јелена Влаховић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Зорица Обрадовић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Игор Челиковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Јелена Крнета Николић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

Александра Самолов, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд

**XXXII СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА  
ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**

Будва, 04-06.10.2023. године

**Научни одбор:**

др Владимир Удовичић, Институт за физику, Земун, Универзитет у Београду

др Војислав Станић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Душан Мрђа, Природно математички факултет, Универзитет у Новом Саду

др Ивана Вуканац, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Игор Челиковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Јелена Крнета Николић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Јелена Пајић, Институт за медицину рада Србије "Др Драгомир Карајовић",  
Београд

др Јелица Грујић, Институт за медицинска истраживања, Универзитет у Београду

др Јована Николов, Природно математички факултет, Универзитет у Новом Саду

др Маја Еремић-Савковић, Директорат за радијациону и нуклеарну сигурност и  
безбедност Србије

др Марија Јанковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду

др Мирјана Ђурашевић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у  
Београду

др Мирјана Раденковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у  
Београду

др Невена Здјеларевић, ЈП Нуклеарни објекти Србије, Београд

др Оливера Митровић Ајтић, Институт за медицинска истраживања, Универзитет у  
Београду

др Софија Форкапић, Природно математички факултет, Универзитет у Новом Саду

др Србољуб Станковић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у  
Београду

### **Организацију су помогли:**

Институт за нуклеарне науке „Винча“, Лабораторија за заштиту од зрачења  
и заштиту животне средине „Заштита“

Мике Петровића Аласа 12-14

11351 Винча, Београд, Србија

<https://www.vin.bg.ac.rs/>

Центар за екотоксиколошка испитивања Подгорица д.о.о, ЦЕТИ

Булевар Шарла де Гола бр. 2

81000 Подгорица, Црна Гора

<https://mne.ceti.me/>

МОЈ ЛАБ

ул. Московска бр. 2б

81000 Подгорица, Црна Гора

<https://mojlab.me/>

ФАРМАЛАБ

Булевар Михаила Лалића бр. 8

81000 Подгорица, Црна Гора

<https://farmalab.me/>

ГЛОСАРИЈ ДОО

ул. Војисављевића бр. 76

81000 Подгорица, Црна Гора

<https://www.glosarij.me/me/pocetna>

### **Излагачи:**

Canberra Packard Central Europe GmbH.

Wienersiedlung 6

2432 SCHWADORF, Austria

Phone: +43 (0)2230 3700-0

Fax: +43 (0)2230 3700-15

Web: <http://www.cpce.net/>

LKB Vertriebs doo Beograd-Palilula

Cvijičeva 115

11120 Beograd, Srbija

Tel: +381 (0)11 676 6711

Faks: +381 (0)11 675 9419

Web: [www.lkb.eu](http://www.lkb.eu)

*Овај Зборник је збирка радова саопштених на XXXII Симпозијуму Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе који је одржан у Будви, Црна Гора, 04-06.10.2023. године. Радови су према обрађеној проблематици груписани у једанаест секција. Сви радови у Зборнику су рецензирани од стране Научног одбора, а за све приказане резултате и тврдње одговорни су сами аутори.*

*Југословенско друштво за заштиту од зрачења основано је 1963. године у Порторожу, а од 2005. носи име "Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе". На XXXII Симпозијуму, ове године обележавамо веома значајан јубилеј - **60 година организоване заштите од зрачења на нашим просторима.***

*Од оснивања, Симпозијуми Друштва за заштиту од зрачења представљају прилику да се кроз стручни програм прикажу резултати истраживања у области заштите од зрачења, представе различите области примене извора и генератора зрачења, анализирају актуелна дешавања, размене искуства са колегама из региона, дефинишу проблеми и правци даљег унапређивања наше професионалне заједнице.*

*Поред тога, Симпозијуми друштва представљају и прилику да у мање формалном маниру сретнемо старе и упознамо нове пријатеље и колеге, обновимо старе и започнемо нове професионалне сарадње.*

*Ауторима и коауторима научних и стручних радова саопштених на XXXII Симпозијуму се захваљујемо на уложеном труду и настојању да квалитетним радовима заједно допринесемо остваривању циљева и задатака Друштва и наставимо традицију дугу импозантних 60 година.*

*Посебно се захваљујемо свима који су подржали одржавање овог Симпозијума.*

*Свим члановима Друштва, сарадницима и колегама честитамо овај значајан јубилеј!*

*Организациони одбор XXXII Симпозијума ДЗЗСЦГ*



## PREGLED POTENCIJALNIH PRIMENA OTPADNOG STAKLA EKRANA U MALTER-MATRIKSU ZA IMOBILIZACIJU TEČNOG RADIOAKTIVNOG OTPADA

Tatjana MILJOJČIĆ<sup>1</sup>, Ivana JELIĆ<sup>1</sup>, Aleksandar SAVIĆ<sup>2</sup>, Marija ŠLJIVIĆ-IVANOVIĆ<sup>1</sup>,  
Marija JANKOVIĆ<sup>1</sup>, Nataša SARAP<sup>1</sup>, Vojislav STANIĆ<sup>1</sup>, Milica ĆURČIĆ<sup>1</sup>,  
Slavko DIMOVIĆ<sup>1</sup>, Radmila ŠEROVIĆ<sup>3</sup>

- 1) *Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija*
- 2) *Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Srbija*
- 3) *Ministarstvo zaštite životne sredine Republike Srbije, Beograd, Srbija*

*Autor za korespondenciju: Ivana JELIĆ, ivana.jelic@vin.bg.ac.rs*

### SAŽETAK

Brzi napredak elektronske industrije doveo je do generisanja velike količine električnog otpada pre isteka njegovog odgovarajućeg životnog veka. Nelegalno odlaganje starih monitora i TV ekrana, odnosno njihovih katodnih cevi (Cathode-Ray Tubes, CRT), predstavlja veliki problem po životnu sredinu iz razloga što je CRT otpad klasifikovan kao opasan zbog visokog sadržaja olova. Stoga, konačnom zbrinjavanju navedenog otpada mora da prethodi tretman u topionici kako bi se olovo odvojilo od stakla. Dosadašnju praksu u Republici Srbiji (RS) dodatno komplikuje nedostatak takvih postrojenja, što zahteva izvoz CRT-a u Zapadnu Evropu uz dodatni trošak. Dosadašnja istraživanja ukazuju na mogućnost primene CRT stakla u izradi opeka, keramičkih pločica, specijalnih prostorija za odlaganje nuklearnog otpada ili kao agregata u građevinarstvu. Takođe, delimična supstitucija cementa fino mlevenim CRT staklom smanjuje količinu njegove potrošnje povećavajući nivo održivosti ovakvog procesa. Ovaj rad se bavi istraživanjima upotrebe CRT stakla u cementnim materijalima, kako bi se procenila mogućnost njegove upotrebe u malter-matriksima za imobilizaciju tečnog radioaktivnog otpada.

### Uvod

Brzi napredak tehnologije, doveo je do stvaranja velike količine električnog otpada (e-otpada) i njegovog odlaganja pre isteka životnog veka proizvoda, čineći e-otpad posebnim tokom otpada sa najbržom stopom rasta na globalnom nivou [1]. Veliki deo e-otpada može da se reciklira, međutim neke njegove vrste, kao što su televizori i kompjuterski monitori sa katodnim cevima (eng. *Cathode Ray Tube, CRT*), predstavljaju opasni otpad zbog sadržaja toksičnih komponenti, prvenstveno olova. Razvojem novih ekrana, npr. displeja sa tečnim kristalima (eng. *Liquid-Crystal Display, LCD*), displeja sa svetlećim diodama (eng. *Light-Emitting Diode, LED*) i plazma displeja potražnja za novim CRT uređajima ne postoji, a na deponijama širom sveta javio se veliki problem sa nagomilavanjem zastarelih uređaja. Dodatni problem u tom procesu je upravo činjenica da se novi CRT uređaji više ne proizvode, pa tzv. *Closed-loop* reciklaža, koja obuhvata proizvodnju novih CRT uređaja od starih više nije moguća. Usled toga je *Open-loop* reciklaža ostala jedini mogući način reciklaže prilikom planiranja ponovne upotrebe starog CRT stakla.

Podaci iz poslednjih nekoliko godina sa tržišta prikupljanja i predtretmana e-otpada govore da se otprilike od 50.000 do 150.000 miliona tona stakla za CRT godišnje prikupi samo u Evropi i ne očekuje se smanjivanje u narednim godinama [2]. Smatra se da se količina prikupljenog CRT stakla neće smanjivati u narednom periodu i da će se prikupljati sve do

sredine tridesetih godina ovog veka [3]. U Evropskoj uniji (EU) količina generisanog e-otpada na godišnjem nivou se procenjuje na oko 15 kg po glavi stanovnika, odnosno 5 – 7 miliona tona godišnje uz projektovani godišnji rast od oko 3 do 5% [3].

U Republici Srbiji (RS) ne postoje precizni podaci o količinama generisanog e-otpada i CRT stakla. Na osnovu podataka Programa upravljanja otpadom u RS za period 2022–2031. godine, tokom 2020. godine operateri su prijavili da je operacijama ponovnog iskorišćenja tretirano oko 42.000 tona otpada od električne i elektronske opreme [4]. Opasne komponente računara i TV-a, kao što su monitori i ekrani sa CRT-om, trenutno se samo skladište u RS i izvoze.

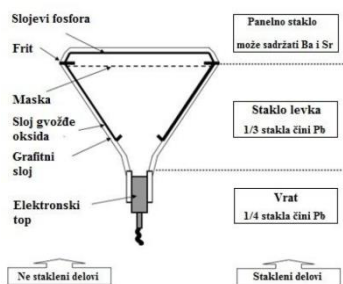
Mešanjem recikliranih i otpadnih materijala sa betonom, kao zamene za cement i/ili agregat može se smanjiti količina eksploatacije ovih prirodnih sirovina [5]. Ukupan obim proizvodnje cementa u svetu je 2022. godine iznosio oko 4,1 milijarde tona, dok je 1995. godine ukupna svetska proizvodnja cementa iznosila samo 1,4 milijarde tona [8]. Budući da proizvodnja cementa čini oko 7% ukupne emisije CO<sub>2</sub> širom sveta, ova industrija se smatra jednim od glavnih problema narušavanja životne sredinu i uzročnikom klimatskih promena [6]. Globalna potrošnja agregata prelazi 40 milijardi tona godišnje [7]. Rezultat je narušavanje biodiverziteta i ekosistema, erozija tla i iscrpljivanje prirodnih resursa. Najviše se eksploatiše pesak, čija je brzina ekstrahovanja daleko veća od brzine stvaranja [8]. Delimična zamena agregata ili veziva sa CRT staklom pokazuje mnoge prednosti [5]. Brojne studije su potvrdile da se i ovo otpadno staklo ponaša kao pucolanski materijal i da pozitivno utiče na mehanička svojstva maltera i betona.

Ovaj rad se bavi istraživanjima upotrebe CRT-a u cementnim materijalima, kako bi se procenila mogućnost njegove upotrebe u malter-matriksima u solidifikaciji tečnog radioaktivnog otpada.

### Katodna cev

Prvu staklenu CRT projektovao je nemački fizičar Ferdinand Braun 1897. godine, a serijska proizvodnja TV uređaja započela je u Nemačkoj 1934. godine. Sredinom XX veka pojavile su se CRT u boji, a krajem sedamdesetih godina XX veka počinje i proizvodnja kompjuterskih monitora sa CRT-om [9].

CRT predstavlja vakuumsku cev koja se sastoji iz nestaklenih i staklenih delova (Slika 1). U CRT-u elektroni se fokusiraju i padaju na fluorescentni ekran, proizvodeći na njemu vidljivu tačku [9]. Katoda se zagreva i emituje elektrone, koji se ubrzavaju do anode.



Slika 1. Šematski prikaz CRT [3].

Kod monohromatskih (npr. crno-bela) CRT, postoji jedan sistem za ubrzavanje elektrona – elektronski top. Kod CRT sa prikazom u boji, postoje tri elektronska topa, svaki za posebnu boju (crvena, zelena i plava). Tako ubrzani elektroni se propuštaju kroz tzv. otklonske pločice, gde skreću levo-desno ili gore-dole. Ekran je prekriven fosfornim materijalom koji

svetli kada je pogođen elektronom [10]. Pomeranjem tačke fokusiranja na površini ekrana, moguće je proizvesti sliku sačinjenu od individualnih tačaka, odnosno piksela. Na taj način se dobija slika na ekranu.

Tri osnovna staklena elementa CRT ekrana su: vrat, levak i panel, a njihov maseni udeo se razlikuje i iznosi: 1%, 33% i 66%, respektivno. Vrat, iako maseno malo zastupljen u monitoru, sadrži oko 25% olova, najviše od svih staklenih delova. Levak je najveći deo CRT-a i sadrži oko 20% olova. Panel je prednji, vidljivi deo CRT-a koji gotovo da ne sadrži olovo (0 – 3%), ali je premazan slojevima barijuma i stroncijuma koji imaju ulogu da štite korisnika od štetnog uticaja UV i X zračenja koje stvaraju elektronski topovi [11]. Kao što se iz navedenog može zaključiti, sve tri vrste stakla se po hemijskom sastavu veoma razlikuju. Međutim, iako CRT staklo ima različiti hemijski sadržaj, njegovu glavnu komponentu čini silicijum dioksid.

Zbog sadržaja olova, barijuma i stroncijuma, CRT staklo prema Katalogu otpada predstavlja opasan otpad i spada u sledeće kategorije otpada: 16 02 13\*, 16 02 15\* i 16 03 03\* [12]. Hemijski sastav katodnog stakla u velikoj meri otežava njegovu dalju reciklažu, odnosno primenu u proizvodnji nekog drugog proizvoda. Njegov hemijski sastav je takav da proces reciklaže mora da zadovolji posebne uslove koji važe za otpad koji je označen kao „opasan“. Nelegalno odlaganje starih monitora i TV ekrana, odnosno njihovih katodnih cevi predstavlja veliki problem po životnu sredinu usled potencijalnog izluživanja štetnih metala. Staklo sa olovnim primesama, kakvo je CRT staklo, prema zakonskoj regulativi, ne može da se reciklira u RS pošto nema postrojenja za separaciju olova, te se izvozi u Zapadnu Evropu što predstavlja finansijsko opterećenje za operatere.

### **Pregled skorašnjih istraživanja**

Dosadašnja istraživanja ukazuju na mogućnost primene CRT stakla u izradi raznih vrsta opeka, keramičkih pločica, specijalnih prostorija za odlaganje nuklearnog otpada ili kao agregata u građevinarstvu. Delimična supstitucija cementa ili peska fino mlevenim ili fino drobljenim CRT staklom smanjuje količinu njihove potrošnje povećavajući nivo održivosti ovakvog procesa. *Bawab* i dr. [13] bavili su se pregledom radova do 2021. godine vezanih za upotrebu staklenog CRT otpada u betonu i malteru na bazi cementa. Analizom literature, autori su ustanovili da recikliranje ove vrste otpada u materijalima na bazi cementa, kao zamene za pesak, poboljšava neka svojstva maltera i betona. Korišćenje otpada od CRT stakla u ovakvim materijalima poboljšava njegovu konzistenciju usled glatke površine i veoma niske apsorpcije vode. U nekim slučajevima poboljšava i čvrstoću na pritisak i čvrstoću na zatezanje savijanjem. Kada se koristi u malteru ili betonu, otpad od CRT stakla smanjuje skupljanje prilikom sušenja i upijanje vode. Dodatak letećeg pepela ili metakaolina smanjuje rizik od alkalno-silikatne reakcije (ASR) u betonu koji sadrži CRT staklo. Autori su zaključili da se izluživanje olova može ublažiti različitim tehnikama, uključujući tretman kiselinom, ali i kapsuliranje korišćenjem biopolimera, dodavanjem letećeg pepela ili samim inkapsuliranjem u malter-matriksu, ali i ograničavanjem količine CRT stakla u smesi. Na osnovu izvedenih zaključaka, predlog autora je dalje istraživanje kako bi se proširilo znanje o upotrebi otpada od CRT stakla u materijalima na bazi cementa. Generalno, ocenjeno je da otpad od CRT stakla može biti valjana komponenta u proizvodnji održivih materijala na bazi cementa, posebno za aplikacije zaštite od zračenja.

U poslednjih par godina publikovano je nekoliko radova koji se, takođe, bave ovom temom, od čega je u nastavku teksta predstavljen jedan deo, kao smernica za produblјivanje dalјih istraživanja.

*Cabrera* i dr. [14] ispitali su mogućnosti kombinovane primene recikliranog agregata sa CRT otpadom, sa smanjenim procentom CRT stakla kako bi se izbegla mogućnost izluživanja štetnih elemenata u životnu sredinu. Ispitana su mehanička svojstva materijala i potencijalna kontaminacija do koje bi mogli da dovedu. Rezultati su pokazali da pri upotrebi CRT stakla kao agregata, u količini od 10%, ne samo da je postignut zadovoljavajući nivo čvrstoće na pritisak kolovozne pod-konstrukcije, već su sve smese klasifikovane kao inertni otpad, te je zaključeno da se navedeni materijali mogu koristiti u niskogradnji.

Grdić i dr. [3] ispitivali su fizičko-mehanička svojstva blokova za popločavanje spravljenih od CRT stakla. Referentni uzorak napravljen je od kvarcnog peska, dok je drugi proizvod predstavljao smesu kvarcnog peska i CRT stakla (50%). Staklo je samleveno do frakcije koja odgovara finoći kvarcnog peska. Ispitano je upijanje vode, otpornost na smrzavanje/odmrzavanje i čvrstoća na zatezanje savijanjem. Zaključeno je da dodatak CRT stakla ne povećava upijanje vode niti smanjuje čvrstoću na zatezanje savijanjem ispod vrednosti propisanih standardima EN 1338 i EN 1339, te rezultati dobijeni eksperimentalnim ispitivanjem nedvosmisleno pokazuju da se CRT staklo može uspešno koristiti za izradu navedenih gotovih proizvoda. U drugoj studiji, Grdić i dr. [15] istraživali su potencijal za korišćenje fino mlevenog CRT stakla kao dodatnog cementnog materijala uz ispitivanje otpornosti ovakvih betona na dejstvo sulfata. Procenat zamene cementa CRT staklom iznosio je 5%, 10%, 15%, 20% i 35%. Procena trajnosti betona na dejstvo sulfata urađena je vizuelnim ispitivanjem izgleda betona, kao i ispitivanjem varijacija čvrstoće na pritisak betonskih uzoraka starih 3, 6, 12 i 36 meseci. Nakon potapanja uzoraka u 5% rastvor  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tokom 36 meseci, betoni sa 15% i 20% zamenjenog cementa sa fino mlevenim CRT staklom pokazali su istovremeno zadovoljavajuću čvrstoću na pritisak i otpornost na sulfate, te je zaključeno da se ovaj opseg zamene cementa fino mlevenim CRT staklom može preporučiti za praktičnu primenu.

Bijeljic i dr. [16] ispitivali su uticaj upotrebe otpadnog CRT stakla, kao zamene agregata, na mehanička svojstva, ASR i strukturu maltera. Drobļeni otpadni CRT agregat je korišćen za zamenu prirodnog krečnjačkog agregata u masenim udelima od po 0, 25, 50, 75 i 100% u malterskim uzorcima. Rezultati su pokazali da je povećanje procenta CRT stakla kao agregata rezultiralo većom osetljivošću na ASR. Mehanička svojstva i mikroskopija malterskih mešavina pokazali su potencijal korišćenja otpadnog CRT stakla usled male razlike između ispitivanih smesa.

Takođe, *Ling* i dr. [17] proučavali su potencijalnu primenu CRT stakla specifične mase približno  $3,0 \text{ g/cm}^3$  kao finog agregata za pripremu cementnih maltera za zaštitu od rendgenskog zračenja. Rezultati su pokazali da su svi pripremljeni malteri imali vrednosti čvrstoće na pritisak veće od 30 MPa, a koje su pogodne za većinu građevinskih primena zasnovanih na ASTM C 270. Uzorci sa CRT staklom pokazali su zadovoljavajuće performanse u zaštiti od zračenja usled prisustva olova. Pored toga, doprinos zaštiti od zračenja CRT stakla bio je izraženiji kada je malter izložen većim energijama.

Pored toga, *Long* i dr. [18] proučavali su reciklažu CRT stakla kao finog agregata u geopolimernom kompozitu na bazi letećeg pepela i šljake. Ispitali su čvrstoću na pritisak, ASR i izluživanje olova iz geopolimernih maltera, a rezultati su pokazali da mehanizam očvršćavanja ovakvih geopolimera uključuje ne samo fizičku inkapsulaciju, već i hemijsko vezivanje olova. Kako se modul silicijum dioksida povećavao, čvrstoća na pritisak i ASR su se prvo povećavali, a zatim smanjivali, dok se koncentracija izluženog olova značajno smanjila. Pokazano je da povećani modul silicijum dioksida poboljšava hemijsko vezivanje jona olova stvaranjem olovnog silikata. Dodatno, povećanje modula silicijum dioksida

značajno poboljšava i ukupnu poroznost, što rezultuje boljim fizičkim performansama inkapsulacije jona Pb.

### Zaključak

Prema procenama, količina CRT stakla neće se smanjivati u narednom periodu i prikupljaće se sve do sredine tridesetih godina ovog veka. U RS, nezvanične procene govore da se od ukupne količine generisanog e-otpada reciklira manje od 10%, dok hemijski sastav CRT stakla u velikoj meri otežava njegovu dalju reciklažu, odnosno primenu u proizvodnji nekog drugog proizvoda.

Mešanjem otpadnih materijala sa betonom, kao zamene za cement i/ili agregat moguće je smanjiti eksploataciju ovih prirodnih sirovina, ali i rešiti problem nagomilavanja određene vrste otpada. Budući da proizvodnja cementa čini oko 7% ukupne emisije CO<sub>2</sub> širom sveta, jedan od glavnih problema narušavanja životne sredinu i uzročnik klimatskih promena, na ovaj način može da bude delimično eliminisan.

CRT predstavlja tri vrste stakla koja se po hemijskom sastavu veoma razlikuju. Zbog sadržaja olova, barijuma i stroncijuma, CRT staklo prema *Katalogu otpada* predstavlja opasan otpad. Hemijski sastav katodnog stakla u velikoj meri otežava njegovu dalju reciklažu, odnosno primenu u proizvodnji nekog drugog proizvoda. Staklo sa olovnim primesama, kakvo je CRT staklo, ne može da se reciklira u RS pošto nema postrojenja za separaciju olova, te se izvozi u Zapadnu Evropu što predstavlja finansijsko opterećenje za operatere. Međutim, iako CRT staklo ima različiti hemijski sadržaj, njegovu glavnu komponentu ipak čini silicijum dioksid.

Brojne studije su potvrdile da se CRT staklo ponaša kao pucolanski materijal i da pozitivno utiče na mehanička svojstva maltera i betona. Delimična supstitucija cementa ili peska fino mlevenim ili fino drobljenim CRT staklom smanjuje količinu njihove potrošnje povećavajući nivo održivosti ovakvog procesa. Pregledom literature, zaključuje se da upotreba CRT stakla poboljšava specifična svojstva betona u zavisnosti od udela otpadne sirovine. Rezultati izluživanja pokazuju da koncentracije izluženog olova u životnu sredinu u nekim slučajevima mogu da budu ispod dozvoljenih granica u zavisnosti od udela CRT stakla i, često, zahvaljujući inkapsuliranju u malter-matriksu. Na osnovu navedenih činjenica zaključeno je da CRT staklo može da se upotrebi u pripremi cementnih materijala koji bi se koristili u malter-matriksima za imobilizaciju tečnog radioaktivnog otpada.

### Zahvalnica

Istraživanje predstavljeno u ovom radu realizovano je uz finansijsku podršku Ministarstva za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije, u okviru finansiranja naučnoistraživačkog rada na Univerzitetu u Beogradu, Institutu za nuklearne nauke Vinča (Ugovor br. 451-03-47/2023-01/200017), Univerzitetu u Beogradu, Građevinskom fakultetu (Ugovor br. 200092) i Univerzitetu u Beogradu, Inovacionom centru Mašinskog fakulteta (Ugovor br. 451-03-47/2023-01/200213).

### Literatura

- [1] N. Singh, J. Wang, J. Li. Waste cathode rays tube: An assessment of global demand for processing. *Procedia Environ. Sci.* 31, 2016, 465–474.
- [2] C. P. Baldé, F. Wang, R. Kuehr, J. Huisman. The global e-waste monitor – 2014, United Nations University, Bonn, Germany, 2015.

- [3] D. Grdić, I. Despotović, N. Ristić, Z. Grdić, G. T. Ćurčić. Potential for Use of Recycled Cathode Ray Tube Glass in Making Concrete Blocks and Paving Flags. *Materials*. 15, 2022, 1499.
- [4] Program upravljanja otpadom u Republici Srbiji za period 2022 – 2031. godine (Sl. glasnik rs, br. 30/2018).
- [5] Z. Hui, W. Sun. Study of properties of mortar containing cathode ray tubes (CRT) glass as replacement for river sand fine aggregate. *Constr. Build. Mater.* 25, 2011, 4059–4064.
- [6] R. M. Andrew. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production. *Earth Syst. Sci. Data*. 10, 2018, 195–217.
- [7] J. Khatib, A. Jahami, O. Baalbaki, A. Elkordi, H. Abdelgader. Behavior of reinforced concrete beams containing lightweight aggregate in the tensile zone. *BAU J. Sci. Technol.* 1, 2020.
- [8] S. K. Kirthika, S. K. Singh, A. Chourasia. Alternative fine aggregates in production of sustainable concrete – A review. *J. Clean. Prod.* 268, 2020, 122089.
- [9] U. A. Bakshi, A. P. Godse. *Electronic Devices And Circuits*. Vishwakarma Institute of Technology, Pune, India, 2008.
- [10] Delovi Računara. WordPress: <https://partsofpc.wordpress.com/monitori/crt> (preuzeto: 03.07.2023.)
- [11] F. Mear, P. Yot, M. Cambon, M. Ribes. The characterization of waste cathode-ray tube glass. *Waste Manage.* 26, 2006, 1468–1476.
- [12] Pravilnik o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada (Sl. glasnik RS, br. 56/2010, 93/2019 i 39/2021).
- [13] J. Bawab, J. Khatib, H. El-Hassan, L. Assi, M. S. Kırgız. Properties of Cement-Based Materials Containing Cathode-Ray Tube (CRT) Glass Waste as Fine Aggregates – A Review. *Sustainability*. 13, 2021, 11529.
- [14] M. Cabrera, P. Pérez, J. Rosales, F. Agrela. Feasible Use of Cathode Ray Tube Glass (CRT) and Recycled Aggregates as Unbound and Cement-Treated Granular Materials for Road Sub-Bases. *Materials (Basel)*. 13, 2020, 748.
- [15] Z. Grdić, I. Despotović, D. Grdić, G. Topličić-Ćurčić, J. Bijeljić, N. Ristić. Concrete Resistance Achieved with Subtly Ground Tube Glass of Cathode Ray as Supplementary Cementitious Material to Sulphate Attack, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 67, 2023, 298–307.
- [16] J. Bijeljic, N. Ristić, Z. Grdić, G. Topličić-Ćurčić, N. Stojković. Influence of used waste cathode ray tube glass on alkali silicate reaction and mechanical properties of mortar mixtures. *Facta Universitatis*. 2019, 437–448.
- [17] T. C. Ling, C. S. Poon, W. S. Lam, T. P. Chan, K. K. L. Fung. Utilization of recycled cathode ray tubes glass in cement mortar for X-ray radiation-shielding applications. *J. Hazard. Mater.* 199–200, 2012, 321–327.
- [18] W. J. Long, X. Zhang, J. Xie, S. Kou, Q. Luo, J. Wei, C. Lin, G. L. Feng. Recycling of waste cathode ray tube glass through fly ash-slag geopolymer mortar, *Constr. Build. Mater.* 322, 2022, 126454.

## OVERVIEW OF POTENTIAL APPLICATIONS OF SCREEN WASTE GLASS IN MORTAR-MATRIX FOR LIQUID RADIOACTIVE WASTE IMMOBILIZATION

Tatjana MILJOJČIĆ<sup>1</sup>, Aleksandar SAVIĆ<sup>2</sup>, Marija ŠLJIVIĆ-IVANOVIĆ<sup>1</sup>, Marija JANKOVIĆ<sup>1</sup>, Nataša SARAP<sup>1</sup>, Vojislav STANIĆ<sup>1</sup>, Milica ČURČIĆ<sup>1</sup>, Slavko DIMOVIĆ<sup>1</sup>, Radmila ŠEROVIĆ<sup>3</sup>

- 1) *University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia,*
- 2) *University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia*
- 3) *Ministry of Environmental Protection of the Republic of Serbia, Belgrade, Serbia*

### ABSTRACT

The rapid progress of the electronic industry has led to the generation of a large amount of electrical waste before the end of its useful life. Illegal disposal of old monitors and TV screens, i.e. their Cathode-Ray Tubes (CRT), represents a major concern for the environment being CRT waste is classified as hazardous due to its high lead content. Therefore, the final disposal of this waste must be preceded by treatment in a smelter in order to separate the lead from the glass. The current practice in the Republic of Serbia (RS) is additionally complicated by the lack of such facilities, which requires the export of CRT to Western Europe at an additional cost. Previous research indicates the possibility of CRT glass utilization in the production of bricks, ceramic tiles, and special rooms for the disposal of nuclear waste or as an aggregate in construction. Also, the partial substitution of cement with fine ground CRT glass reduces the amount of its consumption, increasing the level of sustainability of this process. This paper deals with the investigation of CRT glass usage in cement materials, in order to evaluate the possibility of its use in mortar-matrix for the immobilization of liquid radioactive waste.

## САДРЖАЈ

### ОПШТИ ПРОБЛЕМИ ЗАШТИТЕ ОД ЗРАЧЕЊА GENERAL PROBLEMS OF RADIATION PROTECTION ..... 1

OPRAVDANOST, OPTIMIZACIJA I REFERENTNI NIVOI U SITUACIJAMA POSTOJEĆEG IZLAGANJA ..... 2

JUSTIFICATION, OPTIMIZATION AND REFERENCE LEVELS IN EXISTING EXPOSURE SITUATIONS ..... 8

METROPOEM PROJEKAT – METROLOGIJA ZA HARMONIZACIJU MERENJA ZAGADJIVAČA ŽIVOTNE SREDINE U EVROPI ..... 9

METROPOEM – METROLOGY FOR THE HARMONISATION OF MEASUREMENTS OF ENVIRONMENTAL POLLUTANTS IN EUROPE ..... 14

### РАДИОЕКОЛОГИЈА И ИЗЛАГАЊЕ СТАНОВНИШТВА RADIOECOLOGY AND POPULATION EXPOSURE ..... 15

RADIOLOŠKA KARAKTERIZACIJA POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA NA TERITORIJI VOJVODINE ..... 16

RADIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF AGRICULTURAL SOIL IN THE TERRITORY OF VOJVODINA ..... 23

MONITORING RADIOAKTIVNOSTI I PROCENA RADIJACIONOG RIZIKA U OKOLINI TERMOELEKTRANA U REPUBLICI SRBIJI U 2021. I 2022. GODINI ..... 24

RADIOACTIVITY MONITORING AND RADIATION RISK ASSESSMENT IN THE SURROUNDINGS OF THERMAL POWER PLANTS IN THE REPUBLIC OF SERBIA IN 2021 AND 2022 ..... 29

GRAMON BAZA PODATAKA: DESETOGODIŠNJA MERENJA SPECIFIČNE AKTIVNOSTI BERILIJUMA-7 U VAZDUHU ..... 30

GRAMON DATABASE: TEN YEARS OF BERYLLIUM-7 SPECIFIC ACTIVITY MEASUREMENTS ..... 35

ISPITIVANJE SADRŽAJA RADIONUKLIDA U VODI I SEDIMENTU, REKA SAVA ..... 36

RADIONUCLIDES IN WATER AND SEDIMENT, SAVA RIVER ..... 41

RADIOLOŠKA ANALIZA NEKIH VRSTA LEKOVITOG BILJA SA PODRUČJA GUČEVA I PROCENA GODIŠNJE EFEKTIVNE DOZE USLED INGESTIJE ..... 42

RADIOLOGICAL ANALYSIS OF SOME TYPES OF MEDICINAL PLANTS FROM THE GUČEVO AREA AND ESTIMATION OF ANNUAL EFFECTIVE DOSE DUE TO INGESTATION ..... 48

PRIMENA JONOIZMENJIVAČKIH SMOLA ZA GAMA SPEKTROMETRIJSKO ODREĐIVANJE RADIJUMA U VODI ..... 49

APPLICATION OF ION EXCHANGE RESINS FOR GAMMA SPECTROMETRIC DETERMINATION OF RADIUM IN WATER ..... 55

ODREĐIVANJE VEŠTAČKIH I PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORKU ZEMLJIŠTA U SVRHU INTERKOMPARACIJE IAEA-TERC-2022-02 ..... 56

DETERMINATION OF GAMMA-EMITTING ANTHROPOGENIC AND NATURAL RADIONUCLIDES IN SOIL SAMPLE FOR THE PURPOSE OF PROFICIENCY TEST IAEA-TERC-2022-02 ALMERA ..... 61

RASPODELA KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORCIMA ŽIVOTNE SREDINE KAO POSLEDICA RADA TERMOELEKTRANE “KOLUBARA” U PERIODU 2010 – 2022. GODINE ..... 62

THE ACTIVITY CONCENTRATION DISTRIBUTIONS OF NATURALLY OCCURRING RADIONUCLIDES IN THE ENVIRONMENTAL SAMPLES AS A RESULT OF THE OPERATION OF THE “KOLUBARA” COAL-FIRED POWER PLANT IN THE PERIOD OF 2010 – 2022. .... 70

RADIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF ALKALI ACTIVATED MATERIALS CONTAINING WOOD AND FLY ASH ..... 71



RADIOLOŠKA KARAKTERIZACIJA ALKALNO AKTIVNIH MATERIJALA KOJI SADRŽE DRVENI I LETEĆI PEPEO .....	79
POTENCIJALNI ODNOS IZMEĐU KONCENTRACIJE TRICIJUMA U KIŠNICI I REKAMA.....	80
RELATIONSHIP BETWEEN TRITIUM CONCENTRATIONS IN PRECIPITATION AND RIVERS.....	85
ANALIZA TRENDA PROMENE UKUPNE ALFA I UKUPNE BETA AKTIVNOSTI U POLJOPRIVREDNOM EKOSISTEMU.....	86
ANALYSIS OF TREND OF THE GROSS ALPHA AND GROSS BETA ACTIVITY IN THE AGRICULTURAL ECOSYSTEM.....	92
AKUMULACIJA RADIONUKLIDA IZ ZEMLJIŠTA U PLODOVIMA LEŠNIKA .....	93
ACCUMULATION OF RADIONUCLIDES FROM SOIL IN HAZELNUT FRUITS.....	102
REZULTATI MERENJA PRIVATNE MERNE STANICE U POŽAREVCU ZA KONTINUALNO MERENJE AMBIJENTALNOG EKVIVALENTA DOZE ZA 2021. I 2022. GODINU.....	103
MEASUREMENT RESULTS OF PRIVATE MEASURING STATION IN POŽAREVAC FOR CONTINUOUS MEASUREMENT OF AMBIENT DOSE EQUIVALENT FOR 2021 AND 2022 .....	109
ISPITIVANJE KONCENTRACIJE RADIONUKLIDA U SEDIMENTU PODMORJA CRNE GORE .....	110
CONCENTRATION OF RADIONUCLIDES IN THE SUBMARINE SEDIMENT OF MONTENEGRO	115
SADRŽAJ RADIONUKLIDA I DOZA INGESTIJOM ZA ČAJEVE SPRAVLJENE OD LEKOVITOG BILJA SA TERITORIJE REPUBLIKE SRBIJE.....	116
RADIONUCLIDE CONTENT AND INGESTION DOSE FOR TEA MADE FROM MEDICINAL HERBES FROM THE THERITORY OF REPUBLIC OF SERBIA .....	121
ANALIZA FRAKTALNE PRIRODE SPECIFIČNE AKTIVNOSTI BERILIJUMA-7 U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE MERENE U BEOGRADU, SRBIJA (1991-2022) .....	122
ANALYSIS OF THE FRACTAL NATURE OF THE SPECIFIC ACTIVITY OF BERYLLIUM-7 IN THE NEAR-SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE MEASURED IN BELGRADE, SERBIA (1991–2022) .....	127
FLY-ASH FOR USAGE IN THE BUILDING MATERIAL INDUSTRY .....	128
UPOTREBA LETEĆEG PEPELA U INDUSTRIJI GRAĐEVINSKOG MATERIJALA .....	136
IZBOR REFERENTNOG DATUMA ZA PREZENTOVANJE AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA U VREMENSKI KOMPOZITNIM UZORCIMA.....	137
SELECTION OF REFERENCE DATE FOR PRESENTATION OF RADIONUCLIDE ACTIVITY IN TIME-COMPOSITE SAMPLES.....	142
SADRŽAJ RADIONUKLIDA I TEŠKIH METALA U OTPADNOM TALOGU OD PREČIŠĆAVANJA RASTVORA ZA ELEKTROLIZU CINKA U “ZORKI” ŠABAC .....	143
CONTENT OF RADIONUCLIDES AND HEAVY METALS IN THE WASTE PRECIPITATE FROM THE PURIFICATION OF THE SOLUTION FOR THE ELECTROLYSIS OF ZINC IN "ZORKA" ŠABAC .....	152
SOIL TO PLANT TRANSFER OF CS-137, SR-90, RA-226, PB-210 AND K-40 IN DIFFERENT AGRICULTURAL PRODUCTS IN CROATIA.....	153
PRIJENOS CS-137, SR-90, RA-226, PB-210 I K-40 IZ TLA U BILJKU U RAZLIČITIM POLJOPRIVREDNIM KULTURAMA U HRVATSKOJ .....	159
<b>РАДОН RADON.....</b>	<b>160</b>
MERENJE RADIOAKTIVNOSTI I EKSHALACIJE RADONA IZ KONCENTRATA ARSENA KORIŠĆENOG U INDUSTRIJI CINKA „ZORKA” ŠABAC .....	161
MEASUREMENTS OF RADIOACTIVITY AND RADON EXHALATION FROM THE ARSENIC CONCENTRATE USED IN THE ZINC INDUSTRY "ZORKA" ŠABAC .....	171
RADON U SREDNJIM ŠKOLAMA U CRNOJ GORI.....	172

RADON IN SECONDARY SCHOOLS IN MONTENEGRO.....	177
RAZVOJ METODOLOGIJE ZA BRZU DIJAGNOSTIKU POVIŠENIH NIVOVA RADONA I ANALIZU GEOLOŠKIH FAKTORA U RADONOM UGROŽENIM PODRUČJIMA .....	178
DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR RAPID DIAGNOSTIC OF ELEVATED RADON LEVELS AND ANALYSIS OF GEOLOGICAL FACTORS IN RADON PRIORITY AREAS.....	185
MERENJE KONCENTRACIJE RADONA U ZATVORENOM PROSTORU – PRIKAZ JEDNOG SLUČAJA.....	186
INDOOR RADON CONCENTRATION MEASUREMENT - CASE STUDY .....	195
TRACERADON PROJEKAT – PREGLED NAJVAŽNIJIH REZULTATA.....	196
TRACERADON PROJECT – AN OVERVIEW OF SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS .....	205
MONITORING KONCENTRACIJE RADONA U RADNOM PROSTORU, LABORATORIJA PMF-A U KOSOVSKOJ MITROVICI .....	206
MONITORING OF RADON CONCENTRATION IN THE WORKPLACE, LABORATORY OF FACULTY IN KOSOVSKA MITROVICA.....	211
ISPITIVANJE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA SA VODOIZVORIŠTA U CRNOJ GORI	212
INVESTIGATION OF RADON ACTIVITY CONCENTRATION FROM WATER SOURCES IN MONTENEGRO .....	218
<b>МЕТОДЕ ДЕТЕКЦИЈЕ И МЕРНА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА DETECTION METHODS AND MEASUREMENT INSTRUMENTATION .....</b>	<b>219</b>
PONOVLJIVOST ODREĐIVANJA AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA CS-137 IZ CILINDRIČNOG RADIOAKTIVNOG IZVORA.....	220
REPEATABILITY OF CS-137 RADIONUCLIDE ACTIVITY DETERMINATION FROM CYLINDRICAL RADIOACTIVE SOURCE .....	224
VARIJACIJE FONA HPGE DETEKTORA .....	225
BACKGROUND VARIATIONS OF HPGE DETECTORS .....	231
INTERNA KONTROLA KVALITETA HPGE GAMASPEKTROMETRIJSKOG SISTEMA.....	232
INTERNAL QUALITY CONTROL OF HPGE GAMMA SPECTROMETRY SYSTEM.....	237
ODREĐIVANJE SADRŽAJA PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UZORCIMA MINERALNIH ĐUBRIVA.....	238
DETERMINATION OF THE CONTENT OF NATURAL RADIONUCLIDES IN SAMPLES OF MINERAL FERTILIZERS.....	244
GODIŠNJA KONTROLA DETEKTORA INSPECTOR 1000 I RADEYE PRD .....	245
ANNUAL CONTROL OF INSPECTOR 1000 AND RADEYE PRD DETECTORS.....	251
UPOTREBA FRAM SOFTVERA U ANALIZI GAMA SPEKTARA NUKLEARNIH MATERIJALA ....	252
FRAM SOFTVER .....	252
THE USE OF FRAM SOFTWARE IN THE ANALYSIS OF GAMMA SPECTRA OF NUCLEAR MATERIALS .....	258
REZULTATI ISPITIVANJA SONDE S1 SA KOMPENZACIONIM FILTEROM ZA MERENJE AMBIJENTALNOG EKVIVALENTA DOZE ZA UREĐAJ DMRZ-M15 .....	259
TEST RESULTS OF PROBE S1 WITH COMPENSATION FILTER FOR MEASURING THE AMBIENT EQUIVALENT DOSE USED WITH DMRZ-M15 SURVEY METER.....	264
MERNA NESIGURNOST AMBIJENTALNIH FOTONSKIH DOZIMETARA U IMPULSNOM REŽIMU RADA SA POSEBNIM OSVRTOM NA UTICAJ OSETLJIVOSTI DETEKCIJE I VREMENA MERENJA .....	265

MEASUREMENT UNCERTAINTY OF AMBIENT PHOTON DOSIMETERS IN PULSE MODE OPERATION WITH SPECIAL EMPHASIS TO THE INFLUENCE OF DETECTION SENSITIVITY AND MEASUREMENT TIME .....	271
PRIPREMA RADIOAKTIVNIH STANDARDA ZA KALIBRACIJU GAMA SPEKTROMETARA .....	272
PREPARATION OF RADIOACTIVE STANDARDS FOR CALIBRATION OF GAMMA SPECTROMETER .....	279
ODREĐIVANJE SR-89 I SR-90 ČERENKOVljeVIM BROJENJEM.....	280
DETERMINATION OF SR-89 AND SR-90 BY CHERENKOV COUNTING.....	286
ANALIZA FLUKSA I DOZNIH EFEKATA TERESTRIJALNOG SKYSHINE ZRAČENJA .....	287
ANALYSIS OF FLUX AND DOSE EFFECTS OF TERRESTRIAL SKYSHINE RADIATION .....	292
KALIBRACIJA LSC DETEKTORA U OKVIRU RAZVOJA METODE ZA MERENJE URANIJUMA U PODZEMNIM VODAMA .....	293
CALIBRATION OF LSC DETECTOR FOR THE DEVELOPMENT OF METHOD FOR MEASURING URANIUM IN GROUNDWATER.....	297
<b>ЗАШТИТА ОД ЗРАЧЕЊА У МЕДИЦИНИ RADIATION PROTECTION IN MEDICINE.....</b>	<b>298</b>
ANALIZA RASEJANJA ZRAČENJA OD ZAUSTAVLJAČA SNOPA KOD LINEARNIH MEDICINSKIH AKCELERATORA .....	299
ANALYSIS OF RADIATION SCATTERING FROM BEAM STOPPERS AT LINEAR MEDICAL ACCELERATORS .....	305
UNAPREĐENJE ZAŠTITE MEDICINSKOG OSOBLJA KOJE UČESTVUJE U FLUOROSKOPSKI VOĐENIM INTERVENTNIM PROCEDURAMA UVOĐENJEM POLUAUTOMATSKOG SISTEMA UPRAVLJANJA VISEĆIM ZAŠTITNIM EKTRANOM.....	306
IMPROVING THE PROTECTION OF MEDICAL STAFF PARTICIPATING IN FLUOROSCOPICALLY GUIDED INTERVENTIONAL PROCEDURES BY INTRODUCING A SEMI-AUTOMATIC SYSTEM FOR MANAGING A CEILING-SUSPENDED PROTECTIVE SCREEN .....	312
NOVI PRISTUP U KONSTRUKCIJI ZAŠTITE U BRAHITERAPIJI-BRAHITERAPIJSKA KOMORA	313
A NEW APPROACH IN THE CONSTRUCTION OF PROTECTION IN BRACHYTHERAPY – BRACHYTHERAPY CHAMBER.....	320
EKSPERIMENTALNI MODEL ZA PROCENU MOGUĆEG RADIOPROTEKTIVNOG EFEKTA BILJNOG EKSTRAKTA .....	321
EXPERIMENTAL MODEL FOR ASSESSING THE POSSIBLE RADIOPROTECTIVE EFFECT OF PLANT EXTRACT .....	327
CT PROTOKOL I VRIJEDNOSTI DOZA ZA PREGLED UROGRAFIJE .....	328
CT PROTOCOL AND DOSE VALUES FOR UROGRAPHY EXAMINATION .....	334
STANJE RENDGEN-APARATA U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI U CRNOJ GORI.....	335
THE CONDITION OF X-RAY MACHINES IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY IN MONTENEGRO .....	341
VALIDACIJA ITLC METODE ZA ODREĐIVANJE SADRŽAJA RADIOHEMIJSKE NEČISTOĆE C U <sup>99m</sup> Tc-MIBI INJEKCIJI .....	342
VALIDATION OF AN ITLC METHOD FOR THE DETERMINATION OF RADIOCHEMICAL IMPURITIES C IN <sup>99m</sup> Tc-MIBI INJECTION.....	349
METODA ISPITIVANJA FIZIOLOŠKE RASPODELE <sup>99m</sup> Tc-DPD.....	350
METHOD FOR INVESTIGATION OF PHYSIOLOGICAL DISTRIBUTION OF <sup>99m</sup> Tc DPD .....	355
AUTOMATIZACIJA PROCESA PROIZVODNJE RADIOFARMACEUTIKA U CILJU SMANJENJA DOZE ZRAČENJA OPERATERA.....	356

AUTOMATION OF THE PRODUCTION OF RADIOPHARMACEUTICAL WITH THE AIM TO REDUCE THE OPERATOR'S RADIATION DOSE .....	360
<b>ДОЗИМЕТРИЈА DOSIMETRY .....</b>	<b>361</b>
USPOSTAVLJANJE ETALONSKOG POLJA ZA MALE VREDNOSTI JAČINE DOZNOG EKVIVALENTA.....	362
ESTABLISHING CALIBRATION FIELD FOR SMALL VALUES OF DOSE EQUIVALENT RATE....	368
EVALUATION OF DIAGNOSTIC RADIOLOGY DETECTOR PERFORMANCE IN REFERENCE MAMMOGRAPHY RADIATION FIELDS .....	369
EVALUACIJA PERFORMANSI DETEKTORA ZA DIJAGNOSTIČKU RADIOLOGIJU U REFERENTNIM POLJIMA ZRAČENJA ZA MAMMOGRAFIJU .....	375
PROVERA RADIOTERAPIJSKIH USTANOVA SRBIJE OD 2019. DO 2022. GODINE POŠTANSKOM DOZIMETRIJOM U VELIČINI APSORBOVANA DOZA U VODI.....	376
POSTAL DOSIMETRY AUDIT OF RADIOTHERAPY CENTERS IN SERBIA FOR THE PERIOD FROM 2019. TO 2022. IN TERMS OF ABSORBED DOSE TO WATER .....	381
THE INFLUENCE OF COMPRESSION PADDLE POSITIONING ON HVL MEASUREMENTS IN MAMMOGRAPHY .....	382
UTICAJ POZICIJE KOMPRESIJE PAPUČICE NA HVL MERENJA U MAMMOGRAFIJI .....	386
PRIMENA TL DOZIMETARA ZA ISPITIVANJE TAČNOSTI ISPORUČENE DOZE U OZRAČIVAČU KRVU .....	387
APPLICATION OF TL DOSIMETERS FOR TESTING THE ACCURACY OF DELIVERED DOSE IN BLOOD IRRADIATOR.....	393
<b>БИОЛОШКИ ЕФЕКТИ ЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION .....</b>	<b>394</b>
SINTEZA LUTECIJUMA(III) KOMPLEKSA SA POLIAZAMAKROCIKLIČNIM LIGANDOM .....	395
SYNTHESIS OF LUTETIUM(III) COMPLEX WITH A POLYAZAMACROCYCLIC LIGAND.....	400
ANTIOKSIDATIVNI I RADIOPROTEKTIVNI EFEKAT FLAVONOIDA NA UČESTALOST MIKRONUKLEUSA U HUMANIM LIMFOCITIMA .....	401
ANTIOXIDATIVE AND RADIOPROTECTIVE EFFECT OF FLAVONOIDS ON FREQUENCY OF MICRONUCLEI IN HUMAN LYMPHOCYTES.....	405
PROMENE GENETIČKOG MATERIJALA U LIMFOCITIMA PERIFERNE KRVU IZLOŽENIH U VANREDNOM DOGAĐAJU NA GRANIČNOM PRELAZU BEZDAN.....	406
CYTOGENETIC CHANGES IN PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES OF THE EXPOSED PERSONS IN THE EMERGENCY EVENT AT THE BORDER CROSSING BEZDAN .....	410
ANALIZA ZDRAVSTVENOG STANJA RADNIKA NA CARINSKOM PRELAZU AKCIDENTALNO IZLOŽENIH RADIOAKTIVNOM ZRAČENJU .....	411
ANALYSIS OF THE HEALTH CONDITION AFTER THE EMERGENCY EVENT AT BEZDAN BORDER CROSSING .....	416
THE EFFECT OF HONEY ON MALONDIALDEHYDE LEVEL IN PLASMA EXPOSED TO A THERAPEUTIC DOSE OF RADIATION.....	417
DELOVANJE MEDA NA NIVO MALONDIALDEHIDA U PLAZMI IZLOŽENOJ TERAPIJSKOJ DOZI ZRAČENJA.....	423
OKSIDATIVNI STATUS KOD PACIJENATA OBOLELIH OD DOBRO DIFERENTOVANIH KARCINOMA ŠTITASTE ŽLEZDE NAKON TERAPIJE <sup>131</sup> I.....	424
OXIDATIVE STATUS IN PATIENTS SUFFERED FROM WELL DIFFERENTIATED THYROID CARCINOMA AFTER <sup>131</sup> I THERAPY.....	429

**РАДИОАКТИВНИ ОТПАД И ДЕКОНТАМИНАЦИЈА RADIOACTIVE WASTE AND DECONTAMINATION.....430**

BEZBEDNO UPRAVLJANJE ZATVORENIM IZVORIMA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA: MOGUĆI PRISTUPI, RUKOVANJE, KONDICIONIRANJE I SKLADIŠTENJE .....	431
SAFE MANAGEMENT OF SEALED RADIOACTIVE SOURCES: POSSIBLE APPROACHES, HANDLING, CONDITIONING AND STORAGE .....	438
EFIKASNOST I KAPACITET SORPCIJE JONA $BA^{2+}$ ZEOLITOM 4A I PRIRODNIM KLINOPTILOLITOM I UTICAJ KOMPETICIJE SA JONIMA $SR^{2+}$ .....	439
EFFICIENCY AND CAPACITY OF $BA^{2+}$ IONS SORPTION BY ZEOLITE 4A AND NATURAL KLINOPTILOLITE AND INFLUENCE OF COMPETING $SR^{2+}$ IONS.....	444
PREGLED POTENCIJALNIH PRIMENA OTPADNOG STAKLA EKRANA U MALTER-MATRIKSU ZA IMOBILIZACIJU TEČNOG RADIOAKTIVNOG OTPADA .....	445
OVERVIEW OF POTENTIAL APPLICATIONS OF SCREEN WASTE GLASS IN MORTAR-MATRIX FOR LIQUID RADIOACTIVE WASTE IMMOBILIZATION .....	451
ПРОБНИ РАД ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПРЕРАДУ РАДИОАКТИВНОГ ОТПАДА БЕЗ РАДИОАКТИВНИХ И НУКЛЕАРНИХ МАТЕРИЈАЛА .....	452
TRIAL OPERATION OF THE RADIOACTIVE WASTE PROCESSING FACILITY WITHOUT RADIOACTIVE AND NUCLEAR MATERIALS .....	460
UPRAVLJANJE RADIOAKTIVNIM OTPADOM INSTITUTA ZA ONKOLOGIJU I RADIOLOGIJU SRBIJE .....	461
RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT OF THE INSTITUTE FOR ONCOLOGY AND RADIOLOGY OF SERBIA .....	468

**РЕГУЛАТИВА, ЕДУКАЦИЈА И ЈАВНО ИНФОРМИСАЊЕ REGULATION, EDUCATION AND PUBLIC INFORMATION.....469**

PRIMENA KAZNENIH MERA U INSPEKCIJSKOM NADZORU .....	470
APPLICATION OF PENALTIES IN INSPECTION OVERSIGHT .....	476
TERMINOLOGIJA U OBLASTI RADIJACIONE I NUKLEARNE SIGURNOSTI I BEZBEDNOSTI – IZAZOVI.....	477
TERMINOLOGY IN THE FIELD OF RADIATION AND NUCLEAR SAFETY AND SECURITY – CHALLENGES .....	482
BEZBEDNOSNI IZAZOVI USLED POJAVE FALSIFIKOVANIH, LAŽNIH I SUMNJIVIH PREDMETA U LANCU NUKLEARNOG SNABDEVANJA .....	483
SECURITY CHALLENGES DUE TO THE APPEARANCE OF COUNTERFEIT, FAKE AND SUSPICIOUS ITEMS IN THE NUCLEAR SUPPLY CHAIN.....	488
UNAPREĐENJE REGULATORNOG OKVIRA U OBLASTI PRIMENE IZVORA ZRAČENJA U MEDICINI.....	489
IMPROVEMENT OF THE REGULATORY FRAMEWORK IN THE FIELD OF APPLICATION OF RADIATION SOURCES IN MEDICINE.....	495
GENERALNA PREVENCIJA ILEGALNE TRGOVINE RADIOAKTIVNIH MATERIJALA .....	496
GENERAL PREVENTION OF RADIOACTIVE MATERIALS ILLICIT TRAFFICKING.....	508

**НЕЈОНИЗУЈУЋА ЗРАЧЕЊА NON-IONIZING RADIATION .....509**

UTICAJ EVOLUCIJE MOBILNIH TEHNOLOGIJA NA IZLAGANJE LJUDI EM POLJIMA.....	510
THE INFLUENCE OF THE EVOLUTION OF MOBILE TECHNOLOGIES ON THE EXPOSURE OF PEOPLE TO EM FIELDS.....	518
ФОТОТЕРАПИЈА ЗА НЕОНАТАЛНУ ХИПЕРБИЛИРУБИНЕМИЈУ .....	519
PHOTOTHERAPY FOR NEONATAL HYPERBILIRUBINEMIA .....	525