Uporedna procena rizika eksploatacije stare i nove deponije pepela i šljake Termoelektrana Kostolac, po hidrološkom scenariju

DRAGANA D. NIŠI, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

DINKO N. KNEŽEVI, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

NEVENA . SIJERKOVI, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

UROŠ R. PANTELI, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

MIRJANA V. BANKOVI, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 628.472.3.034:621.311.22

DOI: 10.5937/tehnika1605677N

U ovom radu data je uporedna procena rizika eksploatacije stare i nove deponije pepela i šljake u Kostolcu. Procena rizika je vršena prema FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) metodi u kombinaciji sa matricom rizika, koja podrazumeva detaljnu razradu scenarija potencijalne havarije na deponiji i analizu posledica koje bi ta havarija izazvala. Kao scenario potencijalne havarije uzet je u obzir isključivo hidrološki scenario koji se bazira na prilivu velikih količina atmosferskih padavina, uzrokujući najveći broj havarija na deponijama industrijskog otpada ikada zabeleženih. Analizirane su ekološke posledice, potencijalni ljudski gubici i ekonomske posledice. Prema matrici rizika ustanovljeno je da se obe deponije nalaze u „plavoj“ zoni rizika, koje se tumače kao tolerantan nivo rizika, ali se nova deponija ipak nalazi u povoljnijoj poziciji od stare deponije jer je otkrivani nivo rizika niži za jedan stepen.

Ključne reči: Termoelektrana Kostolac, deponija pepela i šljake, procena rizika, FMEA metoda, matrica rizika, hidrološki scenario

1. UVOD

Deponije industrijskog otpada spadaju među najrizičnije objekte koje je čovek stvorio. Kako vreme odmire, rizik eksploatacije deponija industrijskog otpada sve više raste, slika 1 [1].

U prilog toj činjenici stoji veliki broj havarija na deponijama koje su zabeležene tokom poslednjih godina [2], pri čemu je najčešći uzrok bio hidrološkog karaktera.

Havarije na deponijama industrijskog otpada su na 18. mestu najvećih opasnosti, posle zemljotresa, koledža, poplava itd. [3].

Deponije pepela i šljake u Srbiji su prostorno dominantne jer zauzimaju više od 1.500 ha ravni površine

terena neposredno uz velike reke Dunav, Savu i Moravu. Zbog toga je bitno pravovremeno i objektivno izvršiti procenu rizika njihove eksploatacije i posledica koje bi eventualne havarije uslovile [4].

Slika 1 - Povećanje rizika eksploatacije deponija industrijskog otpada tokom vremena

Termoelektrane Kostolac imaju dva proizvodna objekta - TEKO A i B, koji u estvuju u godišnjoj proizvodnji električne energije u EPS-u sa oko 14% [5]. Za proizvodnju energije koristi se lignit sa kopa „Drmno“ pri čemu se izdvajaju velike količine pepela

Adresa autora: Dragana Niši, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, ul. 7, Beograd

Rad primljen: 12.09.2016.

Rad prihvaćen: 15.09.2016

i šljake, koje se odlažu na obližnje deponije. U okviru TEKOA i B trenutno su aktivne dve deponije pepela i šljake.

Deponija pepela i šljake „Srednje kostola ko ostrvo“ (SKO) je aktivna od početka rada kostola kih termoelektrana i predviđeno je da se eksploatiše još 5 godina. Ime je 3 kasete, A, B i C, ukupne površine oko 276 ha. Od maja 2015. godine kasete B, površine 56 ha, ima status radne kasete, a kasete C, koja je do tada bila radna, sada je rezervna kasete. Kasete A je maksimalno zapunjena i delom rekultivisana. U kaseti B je ostalo prostora za oko 400.000 m³ otpada. Deponija je ravni arskog tipa, sa visinom nasipa od 23 m. Nasipi se grade postupnom metodom od hidrocikloniranog pepela i šljake [6].

Od 2011. godine aktivirana je i druga deponija locirana unutar napuštenog površinskog kopanirikovac. Na ovoj deponiji tehnologija transporta hidromešavine je promenjena i prešlo se na transport i depovanje guste hidromešavine. Na novu deponiju „irikovac“ odlažu se pepeo i šljake iz TEKOB, dok se na deponiji SKO nastavilo sa direktnim istakanjem retke hidromešavine iz TEKOA. Deponija „irikovac“ spada u „deponije u udubljenju“ i trenutno zauzima 20 ha hidrotehničkih uređaja i hidroizolovane površine, sa namerom da se u budućnosti koristi svih 130 hektara. Predviđeno je da se deponija podeli u 2 kasete, dubine 20 m, pregradnim nasipom koji sukcesivno raste po 3 m, kako napreduje zapunjavanje kasete. Međutim, zbog stalno aktivnog klizišta na severnoj kosini bilo je moguće samo pripremiti kasetu 2 koja svojim najvećim delom nije bila ugrožena klizištem, te je kasete 1 trenutno rezervna kasete [7].

Položaj stare i nove deponije u Kostolcu dat je na slici 2.

Slika 2 - Položaj kostola kih deponija pepela i šljake [8]

Za pravilno poređenje obe deponije bitno je sagledati njihov položaj u odnosu na nivo terena, kao nulte kote, slika 3.

Slika 3 - Presek kroz teren koji zauzimaju obe deponije (nije u razmeri)

2. PROCENA RIZIKA

U ovom radu je za procenu rizika korišćena FMEA metoda (Failure Modes and Effects Analysis) u kombinaciji sa matricom rizika, radi lakšeg tumačenja rezultata [9].

2.1. Procena hidrološkog scenarija havarije

Scenarija koja se najčešće razrađuje prilikom procene rizika deponija industrijskog otpada su [10]:

- Normalni scenario - šta bi se desilo usled uobičajenih, svakodnevnih aktivnosti na deponiji, odnosno neregularnosti izazvanih lošim rukovođenjem deponijom.
- Seizmički scenario - šta bi se desilo kada bi deponiju pogodio zemljotres.
- Hidrološki scenario - šta bi se desilo usled priliva velikih količina atmosferskih padavina.

Prema zabeleženim havarijama na deponijama industrijskog otpada širom Evrope, čak 35% se desilo usled velikog priliva atmosferskih padavina, [11, 12, 13], što procenu ovog tipa havarija dovodi u prioritet, te se i u ovom radu pažnja usmerila isključivo na ovakav tip scenarija.

Hidrološki scenario se razvija na osnovu pretpostavki da bi moglo doći do prelivanja hidromešavine preko krune ili izlivanja kroz telo nasipa deponije i plavljenja okolnog prostora.

Opštepoznato je da je kontrolisanje vode na deponijama industrijskog otpada od velike važnosti i da se upravljanje deponijom svodi u najvećoj meri na upravljanje vodom u njoj.

Prilikom procene hidrološkog scenarija, potrebno je osvrnuti se na ekstremne situacije u prošlosti kada su zabeležene velike količine padavina. Jedna od takvih ekstremnih situacija jesu obilne padavine u maju 2014. godine, kada je bilo proglašeno vanredno stanje.

Kiša je padala neprekidno od 14. do 16. maja. Količine padavine bile su rekordne, a u zapadnoj Srbiji od 175 mm do 225 mm. Prema izveštaju Hidrometeorološkog zavoda na području Kostolca je za ta tri dana palo između 100 i 125 mm [14]. Te padavine doprinele

su porastu vodostaja na reci Mlavi koja je direktno ugrozila Termoelektranu Kostolac-B. Obe deponije, koje se nalaze uz obale Mlave, su potencijalno bile ugrožene. Sa druge strane, postojala je opasnost i od prelivanja vode preko krune nasipa deponije SKO, me utim do prelivanja ipak nije došlo.

Ako se za jedinstvenu maksimalnu količinu padavina na području Kostolca uzme maksimalna ikada zabeležena količina padavina od 113 mm [15], mogu se izvesti konkretne pretpostavke u vezi sa potencijalnom havarijom po hidrološkom scenariju.

Pri proceni uzeto je u obzir da bi takav scenario mogao da se ponovi pod istim uslovima, trenutno stanje deponije i da se pristigla voda uopšte ne odvodi kroz drenažni sistem. Izvedene analize su pokazale da je količina vode koja bi se našla u aktivnoj kaseti na deponiji „SKO“ bila duplo manje od slobodne zapremine akumulacionog prostora.

Kada je reč o deponiji „irikovac“ gotovo je ista situacija i isti odnos slobodne zapremine akumulacionog prostora i potencijalnih količina vode koje bi pale na aktivnu kasetu 2. Ovoj prognozi treba dodati i činjenicu da je ona u boljem položaju u odnosu na staru deponiju, utoliko što nema obodnog nasipa koji bi se eventualno obrušio u slučaju havarije.

Procena verovatnoće je vršena pomoću onlajn alata za procenu verovatnoće nekog događaja „Risk Analysis - Event Probability Assessment“ [16], koji uzima u obzir životni vek deponije, stanje deponije i ekspertsku procenu verovatnoće havarije, pa na osnovu tih parametara daje numeričku vrednost godišnje verovatnoće havarije, broj ekvivalentnih havarija i verovatnoću prekoračenja tih vrednosti. Panel sa procenom verovatnoće havarije po hidrološkom scenariju za deponiju „SKO“ je prikazan na slici 4.

The screenshot shows the 'Risk Analysis - Event Probability Assessment' tool interface. On the left is a 'Control' panel with 'Reset' and 'Probability' buttons, and a 'Tool Parameters' section explaining the tool's behavior. The main area is divided into four steps: 1. Lifespan (set to 25 years), 2. Expected Events (State of System: Good, Likelihood of Occurrence: Negligible, Annual Probability: 0, Expected Events: 0.0004), 3. Exceedance (Probability of Exceedance: 5%, Probability limit: 10%), and 4. There is a 95% probability that no more than 0 events will occur. A 'Notes on Risk Analysis - Event Probability Assessment' section at the bottom provides additional context and limitations.

Slika 4 - Panel sa procenom verovatnoće havarije na deponiji „SKO“

Ako se uzme u obzir da je deponija „SKO“ u osrednjem stanju, da je njen preostali eksploatacioni vek 5 godina, da je ekspertaska procena da do e do havarije po hidrološkom scenariju male verovatnoće, dolazi se do podataka sa nivoom pouzdanosti od 95%, da je godišnja verovatnoća približno jednaka nuli, da je broj ekvivalentnih havarija za to vreme 0,0013 i verovatnoća odstupanja od tih predviđanja 5%.

Panel sa procenom verovatnoće havarije po hidrološkom scenariju za deponiju „irikovac“ je prikazan na slici 5.

The screenshot shows the 'Risk Analysis - Event Probability Assessment' tool interface for deponija 'irikovac'. The 'Lifespan' is 25 years, 'State of System' is Good, 'Likelihood of Occurrence' is Negligible, 'Annual Probability' is 0, and 'Expected Events' is 0.0004. The 'Probability of Exceedance' is 5%, and the 'Probability limit' is 10%. The final result states: 'There is a 95% probability that no more than 0 events will occur.' The 'Notes' section at the bottom provides additional context and limitations.

Slika 5 - Panel sa procenom verovatnoće havarije na deponiji „irikovac“

Ako se uzme u obzir da je deponija „irikovac“ u dobrom stanju, da je njen preostali eksploatacioni vek oko 25 godina, da je ekspertaska procena da do e do havarije po hidrološkom scenariju zanemarljivo male verovatnoće, dolazi se do podataka, sa nivoom pouzdanosti od 95%, da je godišnja verovatnoća približno jednaka nuli, da je broj ekvivalentnih havarija za to vreme 0,0004 i verovatnoća odstupanja od tih predviđanja 5%.

2.2. Procena potencijalnih posledica

Posledice koje neka havarija nosi sa sobom mogu biti [10]:

- ekološke,
- po ljude (ljudski gubici),
- ekonomske i
- druge (socijalni nemiri, loša reputacija, uništavanje spomenika kulture...).

Procena posledica se vrši nezavisno od stanja u kom se deponija nalazi, odnosno, neka deponija koja je u odličnom stanju može imati velike potencijalne posledice, ako se na primer nalazi u blizini nekog naselja sa razvijenom infrastrukturom. Iz tog razloga

je bitno pri proceni rizika deponiju pozicionirati u odnosu na najbliže objekte, naselja i supstrate životne sredine, kako bi se njihova ugroženost što realnije ocenila, odnosno procenile posledice po njih.

Položaj obe deponije se može pozicionirati u odnosu na sledeće referentne tačke u njihovoj neposrednoj blizini:

- Reku Dunav,
- Reku Mlavu,
- Sportski aerodrom „Kostolac“,
- Arheološko nalazište „Viminacium“,
- Železničku stanicu,
- Crkvu Svetog Petra iz 1924. godine,
- Površinski kop „Drmno“,
- Termoelektranu „Kostolac“ A i B, kao i još mnogo objekata energetske infrastrukture (dalekovodi, razvodna postrojenja, trafostanice itd.)

Okolina obe deponije je relativno gusto naseljena. Najbliža naselja sa brojem stanovnika su prikazana u tabeli 1.

Dakle, u okruženju deponija živi oko 62.000 stanovnika.

Kroz ovo područje prolazi više drumskih saobraćajnica sa asfaltnom podlogom od kojih su najznačajnije:

- Požarevac - Veliko Gradište, koja povezuje područje sa međudržavnom magistralom,
- Požarevac-Petrovac-Bor, koja povezuje područje sa istočnom Srbijom i
- Pravać Požarevac - Vranovo, koja povezuje područje sa auto-putem Beograd-Niš.

Tabela 1. Broj stanovnika prema popisu iz 2011. godine u naseljima u blizini kostolackih deponija

Naselje	Broj stanovnika
Kostolac	9.569
Požarevac	44.183
Stari Kostolac	1.228
Petka	1.173
Dubravica	1.037
Kličevac	1.078
Irakovac	1.278
Drmno	894
Ostrovo	646
Bradarać	779
Malo Bavišće	332

Kroz središte područja prolazi pruga normalnog koloseka, Požarevac-Kostolac, preko koje je područje povezano sa celom zemljom. Preko kanala, područje je povezano sa Dunavom i svim pristanišnim mestima na njemu.

Takođe, da bi se posledice što realnije procenile, potrebno je proceniti koliko bi hidromešavine isteklo pri havariji i koju bi ona distancu prešla.

Tim detaljima su se bavili mnogi autori, i ustanovljeno je da su te količine najčešće bile do 1/3 deponovanog otpada, a najčešće 2/5 deponovanog otpada [11, 17, 18, 19]. Suštinski bi u slučaju havarije došlo do isticanja sve slobodne vode (iz taložnog jezera) iz kasete, a ona bi sa sobom ponela i deo istaloženog pepela.

Procena posledica se potom svodi na procenu štete koju bi pretrpeli svi referentni objekti, supstrati životne sredine i ljudstvo u okolini.

Na osnovu numeričkih simulacija hidrauličkih posledica havarija na pepelištu „SKO“ iz „Elaborata hidrauličkih posledica u slučaju havarije pepelišta TE Kostolac“ usvojeni su parametri poplavnog talasa u slučaju havarije na deponiji „SKO“ [20].

Računate su simulacije na ukupno 3 lokacije na samoj deponiji, na bazi rekonstrukcije havarijskih događaja iz 2002. godine, a u skladu sa sadašnjim stanjem.

Na bazi nekog opšteg zaključka, a za potrebe ovog rada, usvaja se da bi rušenje nasipa bio kratkotrajan proces, isteklo bi od 215.000 m³ do 630.000 m³ u najgorem slučaju, a u svakom slučaju zbog konfiguracije terena i položaja objekata oko deponije, istekla hidromešavina ne bi daleko odmakla, od 150-250 m. Najverovatnije bila bi u potpunosti prihvaćena kanalom za toplu vodu kojim bi dospela do Dunava.

Ovakve vrste podataka za deponiju Irakovac nema, tako da je za procenu količine istekle hidromešavine uzeta opšteprihvaćena konstatacija prema [11] da oko 1/3 ukupno deponovanog otpada istekne, što u slučaju deponije „Irakovac“ iznosi oko 66.600 m³ hidromešavine.

Što se distance istekle hidromešavine tiče, prema [21], za visinu obodnog nasipa od 0 m, kakav je slučaj na deponiji „Irakovac“, distanca je svega 5 m.

Procena ekoloških posledica

Za potrebe procene značajnosti ekoloških posledica uspostavljena je potencijalna relacija izvor-ruta-receptor po uzoru na [22], kako bi se lakše ustanovilo koji supstrati životne sredine mogu biti ugroženi u slučaju potencijalne havarije na deponijama, slika 6.

Nova deponija „Irakovac“ ima veliku prednost u odnosu na staru deponiju „SKO“ jer je za razliku od nje hidroizolovana, tako da ne može doći do zagađenja podzemnih voda, što se za deponiju „SKO“ ne može tvrditi.

Dakle, u slučaju havarije, a uz osvrt na procenjene zapremine i distance istekle hidromešavine, može se konstatovati da je kvalitet Dunava i Mlave ugrožen isključivo u slučaju havarije na deponiji „SKO“. Treba

naglasiti da se o ekuje da bi svakako došlo do više-strukog razblaženja hidromešavine u slu aju njenog izlivanja u reke i da je ekološko optere enje utoliko manje.

Slika 6 - Izvor – ruta – receptor na primeru deponija pepela u Kostolcu

Kada je u pitanju vazduh u okolini stare i nove deponije, najbitnija stavka je ruža vetrova u tom predelu, kao i tehnologija deponovanja. Na podru ju Kostolca najdominantniji su vetrovi iz pravca jug i jugoistok, kao i severozapad. Prema tome, najugroženiji su stanovnici naselja Klenovnik, Bradarac i Petka kada govorimo o deponiji „ irikovac“, a kada govorimo o deponiji „SKO“, stanovnici sela Stari Kostolac i Drmno. Dunav je dobar apsorber mikro estica koje se emituju sa deponija, tako da je slabo aerorazlaganje prekorenih naselja.

Kao bitna razlika sa aspekta optere enja na kvalitet ambijentalnog vazduha izme u stare i nove deponije se može usvojiti manja udaljenost nove deponije od okolnih naselja. Me utim, u skladu sa tehnologijom deponovanja u vidu guste hidromešavine (vrsto:teno 1:1), na deponiji „ irikovac“ se posle deponovanja stvara pokorica na površini pepela, te su efekti aerorazlaganja umanjani.

Zaga enje zemljišta je uslovljeno ružom vetrova. Vetrovi ne samo da raznose pepeo, nego i dovode do sušenja biljaka, zasipanja pepelom (naro ito na kosinama), izvaljivanju korena i sl. [23]. Posledice po zemljište se u tom slu aju poistove uju sa posledicama po vazduh, te neznatno ve e optere enje ima deponija „SKO“.

Procena posledica po ljude

Za potrebe procene posledica po ljude koriš ena je Grejemova metoda [24], koja se zasniva na fiksnim stopama smrtnosti i omogu ava laku aproksimaciju

potencijalnih ljudskih žrtava u slu aju havarije na deponijama po hidrološkom scenariju.

Prilikom razmatranja broja ugroženih ljudi u slu aju havarije na obe deponije, uzeti su u obzir isključivo zaposleni na deponijama jer je prethodno ustanovljeno da hidromešavina ne bi daleko odmakla, te stanovništvo u okolnim naseljima ne bi bilo ugroženo. Broj zaposlenih je na svakoj deponiji oko 10 ljudi.

Ako se ozbiljnost poplave usvoji kao niska, vreme upozorenja od 15 do 60 minuta, razumevanje poplave kao potpuno jer su žrtve zaposleni na deponiji kojima je u opisu posla da budu upu eni u stanje deponije i njene efekte, prose ne stope smrtnosti prema Grejemovoj metodi e u slu aju obe deponije biti svega 0,002, te se može konstatovati da ljudskih žrtava nema.

Procena ekonomskih i drugih posledica

Za potrebe procene ekonomskih i drugih posledica, sa injena je okvirna skica lokacije deponija sa potencijalno ugroženim objektima, slika 7.

Na osnovu slike 7, u prvi mah se može zaklju iti da je deponija „SKO“ u nezavidnijem položaju u odnosu na glavne energetske, infrastrukturalne objekte, kao i spomenike kulture i arheološka nalazišta, nego li deponija „ irikovac“.

Slika 7 – Posledice u slu aju potencijalne havarije na kostola kim deponijama

Prilikom havarije na deponiji „SKO“ potencijalno su ugroženi:

- Termoelektrana Kostolac A - to sa sobom nosi velike materijalne gubitke jer bi havarija dovela do privremenog prestanka rada.
- Sportski aerodrom Kostolac - u neposrednom je okruženju deponije (< 500 m) i nužno bi bio ugrožen.

- Reka Dunav koja bi gotovo sigurno bila prva na meti jer pri izlivanju hidromešavina nužno poprima jednodimenzionalni model tečenja pri čemu se hidromešavina u ovom slučaju tretira kao talas koji se kreće rečnim koritom.
- Saobraćajnice u okolini bi mogle biti privremeno neprohodne.
- Termoelektrana Kostolac B i arheološko nalazište Viminacijum, iako relativno blizu nisu u velikoj opasnosti jer bi izlivena hidromešavina morala da savlada prepreku u vidu kanala tople vode i reke Mlave da bi stigla do njih, dok crkva „Svetog Gorana“ nije ugrožena zbog konfiguracije terena.

U slučaju havarije na deponiji „Irikovac“ broj potencijalno ugroženih objekata je mnogo manji, i tu spadaju:

- Saobraćajnice u neposrednoj okolini koje bi privremeno bile neprohodne, i
- Reka Mlava direktno, a Dunav indirektno.

Kako je već ustanovljeno da stanovnici okolnih mesta ne bi bili životno ugroženi jer hidromešavina ne bi stigla do njih, usvaja se da uništavanja stambenih objekata i njihove imovine ne bi bilo, ali se može očekivati uznemirenost stanovništva i stvaranje loše reputacije za termoelektranu i EPS.

U tabeli 2 dato je poređenje svih parametara koji se uzimaju u obzir prilikom procene posledica koje bi imale potencijalne havarije po hidrološkom scenariju na deponijama u Kostolcu.

Strelicom su naznačeni parametri koji imaju veće ekološko opterećenje. Jasno je da deponija „Irikovac“ ima prednost u tom smislu nad deponijom „SKO“ jer uslovljava manje posledice.

Tabela 2. Parametri koji se uzimaju u obzir prilikom posledica koje bi imale potencijalne havarije na deponijama u Kostolcu

PARAMETAR			„SKO“	„ irikovac“
Karakteristike poplavnog talasa	Zapremina istekle hidromešavine			
	Distanca koju pre e istekla hidromešavina			
POSLEDICE	EKOLOŠKE	Voda	Podzemne	
			Površinske	
		Vazduh		
		Zemljište		
	EKONOMSKE			
	PO LJUDE			
			8	2

Na osnovu iznetih činjenica, može se zaključiti da je sveukupna značajnost posledica u slučaju havarije na deponiji „SKO“ umerena, dok je u slučaju deponije „Irikovac“ mala, prema predloženoj značajnosti posledica na matrici rizika, slika 8.

2.3. Evaluacija rizika

Za evaluaciju rizika korišćena je matrica rizika, veličine 5x5, kao idealan alat za tumačenje rezultata [9]. Na osnovu razvijenog hidrološkog scenarija havarije kojoj je dodeljena adekvatna verovatnoća, i pretpostavljenih posledica kojima je dodeljena značajnost, izvršena je evaluacija rizika za staru i novu deponiju pepela i šljake u Kostolcu prema matrici prikazanoj na slici 8.

Prema slici 8 može se zaključiti da se obe deponije nalaze u „plavoj zoni“ koja se tumači kao tolerantan nivo rizika. Nivo rizika na novoj deponiji „Irikovac“ je za jedan stepen niži.

Slika 8 – Matrica rizika

3. ZAKLJUČAK

Procena rizika eksploatacije deponija industrijskog otpada se vrši kako bi se njeno opterećenje po okolinu realno procenilo, ljudstvo upozorilo i naposljetku, sprovele adekvatne mere za njegovo smanjenje.

Kako se u Kostolcu termoelektranama proizvodi oko 14% od ukupne struje u Srbiji, velike količine pepela i šljake se odlažu na trenutno 2 aktivne deponije - „Srednje kostolačko ostrvo“ i „Irikovac“. S obzirom na urbanizovanu okolinu, dve velike reke, razvijenu infrastrukturu i spomenike kulture u okolini, procena i poređenje rizika eksploatacije ovih deponija je više nego poželjno.

Prema FMEA metodi detaljno je razrađen hidrološki scenario havarije, kao najčešći i zabeležen scenario po kom su se havarije događale. Scenariju havarije je pomoću onlajn alata Risk Analysis - Event Probability Assessment dodeljena verovatnoća, a značajnost posledica je nakon detaljne analize ekspertski ocenjena.

Prema matrici rizika, deponija „ irikovac“ se nalazi u povoljnijoj poziciji od deponije „SKO“ jer je o ekivani nivo rizika niži za jedan stepen. Ovim se pokazuje da je opredeljenje termoelektrane da prostor napuštenog površinskog kopa iskoristi za smeštaj pepela i šljake bio opravdan.

4. ZAHVALNOST

Ovaj rad je rezultat projekta "Unapređenje tehnologije površinske eksploatacije lignita u cilju povećanja energetske efikasnosti, sigurnosti i zaštite na radu", br. 33039, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Robertson M. A, FMEA Risk Analysis: Failure Modes and Effects Analysis [Internet], 2012 [citirano 05.09.2016]. Preuzeto sa: <http://www.infomine.com/library/publications/docs/Robertson2012b.pdf>, 2012.
- [2] Chronology of major tailings dam failures [Internet], 2016 [citirano 05.09.2016]. Dostupno na : <http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>
- [3] Tian, J. G.Xue, *Tailings pond safety technology and management [M]*, Coal Industry Press, Beijing, 2006.
- [4] D. Niši , D. Knežević , U. Panteli , A. Tomašević , *Klasifikacija deponije pepela termoelektrane „Nikola Tesla-B“ po stepenu rizičnosti*, Tehnika-Rudarstvo, Geologija i Metalurgija, Vol. 66, No. 5, pp. 945-951, Beograd, 2015.
- [5] Grupa autora, *TE- Izveštaj za 2012*, EPS, Beograd, 2013.
- [6] Grupa autora, *Izveštaj o oskultaciji deponije pepela i šljake TEKO „Srednje kostola ko ostrvo“*, Rudarski institut, Beograd, 2016.
- [7] Grupa autora, *Izveštaj o oskultaciji deponije pepela i šljake PK „ irikovac“*, Rudarski institut, Beograd, 2016.
- [8] Technical Guides On Dam Safety, Risk analysis applied to management of dam safety, Spanish national committee on large dams, Valencia, 2013.
- [9] Rico M, Diez-Herrero A, Benito G, Floods from tailings dam failures, *J. Hazard. Mater.*, Vol. 154, No.1-3, pp. 79-87, 2008.
- [10] Sun E, Zhang X, Li Z, & Wang Y, *Tailings dam flood overtopping failure evolution pattern*, Procedia Engineering, Vol. 28, pp. 356-362, 2012.
- [11] Tailing Dams, Risk of Dangerous Occurrences, Lessons learnt from practical experiences, Bulletin 121, ICOLD, 2001.
- [12] Zari M., Meteorološka analiza vremenske nepogode koju je izazvala obilna kiša u maju 2014. godine [Internet], RHMZ Srbije, Beograd, 2014 [citirano 05.09.2016.]. Dostupno na: <http://ak-vaja.org.rs/upload/Srbija-MAJ-2014.pdf>
- [13] Grupa autora, Studija o proceni uticaja na životnu sredinu "Dopunskog rudarskog projekta eksploatacije PK " irikovac" do severne granice definisane glavnim rudarskim projektom za kapacitet 2,5 x 106 tona uglja godišnje", Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2007.
- [14] Lucia P.C, Review of Experiences with Flow Failures of Tailings Dams and waste Impoundments, PhD dissertation, University of California, Berkeley, 1981.
- [15] Garga V. K. and Khan M. A, Review and Comparison of a deterministic Model for estimating Flow Out Distance of Breached Tailings, Report submitted to Resources Canada, Mining Research Laboratory, 1995.
- [16] Azam S, & Li Q, Tailings dam failures: A review of the last one hundred years, *Geotechnical News*, Vol. 28, No. 4, pp. 50-54, 2010.
- [17] Grupa autora, Elaborat hidrauličkih posledica u slučaju havarija nasip na pepelištu TE „Kostolac“, Građevinski fakultet, Beograd, 2003.
- [18] Zhang S, Zhang L, Qi Q, Li Q, & Shi, Numerical simulation of the characteristics of debris flow from a tailing pond dam break, *Momentum*, Vol. 10, No. 1, 2015.
- [19] Komnitsas K, Kontopoulos A, Lazar I, Cambridge M, Risk assessment and proposed remedial actions in coastal tailings disposal sites in Romania, *Minerals Engineering*, Vol. 11, pp.1179-1190, 1998
- [20] Miloradović J, Miloradović M, Savić N, *Rekultivacija i ozelenjavanje deponija, jalovišta i pepelišta u Kostolcu*, PD Rekultivacija i ozelenjavanje, Kostolac, 2012.
- [21] Graham Wayne J, *A procedure for estimating loss of life caused by dam failure*, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, DSO-99-06, Denver, Colorado, 1999.

SUMMARY

COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF EXPLOITATION OF OLD AND NEW THERMAL POWER PLANT'S ASH DISPOSAL SITES IN KOSTOLAC, ACCORDING TO HYDROLOGICAL SCENARIO

In this paper a comparative risk assessment of the exploitation of old and new ash disposal sites in Kostolac is given. Risk assessment is carried out according to the FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) method in combination with a risk matrix, which includes a detailed elaboration of potential accident scenario at disposal sites and analysis of consequences that accident can cause. As a potential accident scenario only hydrological scenario is taken into consideration, which is based on the influx of large amounts of precipitation, the cause of the largest number of accidents at industrial disposal sites. Analyses of environmental consequences, potential human losses and economic consequences are given. According to the risk matrix it is found that both of disposal sites are in the "blue" zone of risk, which is interpreted as a tolerable level of risk, although the new disposal site is still in a better position than the old one because the expected level of risk is lower by one degree.

Key words: thermal power plant "Kostolac", ash disposal site, risk assessment, FMEA method, risk matrix, hydrological scenario