

Klasifikacija deponije pepela Termoelektrane "Nikola Tesla - B" po stepenu rizičnosti

DRAGANA D. NIŠIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

DINKO N. KNEŽEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

UROŠ R. PANTELIC, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

ALEKSANDRA Đ. TOMAŠEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 628.472.3.034:621.311.22

DOI: 10.5937/tehnika1505769N

U ovom radu data je klasifikacija deponije pepela Termoelektrane „Nikola Tesla B“ po stepenu rizičnosti na bazi više kriterijuma uz procenu rizika koja proističe iz tih klasifikacija. Rizik je analiziran na bazi dva parametra: težine posledica koje bi eventualna havarija na deponiji prouzrokovala i verovatnoće da do havarije uopšte dođe. Analizirani su različiti režimi mogućih havarija uz procenu totalne verovatnoće. Data je kvalitativna procena rizika pomoću matrice za deponiju kao zajedničku akumulaciju čvrste i tečne faze, pri čemu je konstatovano da deponija nije rizična, dok je procena rizika za deponiju kao akumulaciju vode vršena prema ICOLD-u i ustanovljeno je da je rizičnost umerena (II klasa).

Ključne reči: deponija pepela i šljake TENT B, klasifikacija po stepenu rizičnosti, rizik, havarija, posledice havarije, verovatnoća havarije

1. UVOD

U Srbiji uglj je predstavlja glavni energetski izvor. Čak 96% uglja od ukupne proizvodnje se sagori u termoelektranama radi proizvodnje električne energije. Jedan od problema koji prati proizvodnju energije iz uglja jeste tzv. „energetski otpad“, odnosno pepeo i šljaka koji nastaju kao nesagorivi i nesagoreli ostaci. Procenjuje se da je tokom prethodnih godina u Srbiji, bez Kosova i Metohije izdvojeno oko 5,5 miliona tona pepela, odnosno 62,5 tona po kilometru kvadratnom ili 0,77 tona po stanovniku, čime se Srbija svrstava u sam svetski vrh [1].

U Termoelektrani "Nikola Tesla-B" (TENT-B) sagoreva se uglj sa površinskih kopova Kolubara i godišnje se izdvoji oko 1,8 mil. t. Pepeo se zajedno sa šljakom transportuje i odlaže na deponiji [2].

Deponija TENT-B je aktivna od 1983. godine.

Adresa autora: Dragana Nišić, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Đušina 7

Rad primljen: 26.08.2015

Rad prihvaćen: 03.09.2015.

Njena ukupna površina iznosi 600 ha, pri čemu je do sada pepeo odlagan na dve kasete (kasete I i II) površine 400 ha, a dodatnih 200 hektara (kasete III) će biti aktivirano nakon izgradnje novih blokova termoelektrane.

Trenutno je aktivna kasete II. Do 2010. godine obodni nasipi su građeni od hidrocikliranog pepela i šljake, sa masenim odnosom Č:T=1:10, a od tada se nastavlja sa gustom hidromešavinom [3, 4, 5].

Ukupna količina vode koja se koristi za transport pepela je primenom nove tehnologije deponovanja smanjena sa oko 18 miliona na manje od 2 miliona tona godišnje. Deponija je projektovana na 40 godina sa maksimalnom visinom nasipa od 29 m. Ukupni akumulacioni prostor je zapremine >100 000 000 m³.

Deponija TENT-B je locirana na oko 5 km jugozapadno od termoelektrane i zauzima delom ili u celini atare mesta Ušće, Dren, Ratari i Grabovac. Naseljenost ovih mesta i njihova udaljenost od deponije prikazana je u tabeli 1 [6]. U neposrednoj blizini deponije nalaze se i radnička naselja koja su, svojevremeno, građena za smeštaj zaposlenih, a koja su sad delimično raseljena.

Tabela 1. Naseljenost i udaljenost naselja u okolini deponije

Naselje	Naseljenost, st.	Udaljenost, km
Ušće	1.462	2
Dren	1.279	2,5
Ratari	603	2,8
Grabovac	2.596	3

Dakle, neposredno uz deponiju nema naselja, ali u okruženju do 3 km živi oko 6.000 stanovnika.

Najveći vodotok u okruženju je reka Sava, udaljena od deponije oko 3 km, a od manjih tu je potok Vučkicevica koji protiče uz istočni nasip deponije. Oko same deponije se nalaze obradive poljoprivredne površine [5].

2. KLASIFIKACIJA DEPONIIJA INDUSTRIJSKOG OTPADA

U Srbiji havarije na deponijama industrijskog otpada nisu česte, pa ne čudi što još uvek nije uspostavljena bilo kakva domaća klasifikacija deponija prema rizičnosti i iz tog razloga se istraživači pozivaju na strane preporuke i alate za klasifikaciju i evaluaciju rizika na deponijama [1].

Hidrauličke deponije industrijskog otpada mogu se razmatrati na dva načina:

- kao prostor na kojem se odlažu i čvrsta i tečna faza, i
- kao klasični hidrotehnički objekat na kojem se akumulira voda.

Postoje velike razlike između ova dva načina razmatranja deponija industrijskog otpada. Razmatranje havarije na deponiji koja se koristi kao akumulacija i čvrste i tečne faze je mnogo kompleksnije iz razloga što je otpad u obliku hidromešavine viskoziji od vode, može sadržati opasne supstance poput teških metala, nema veliku brzinu tečenja te usled proboja brane neće isteći u potpunosti itd. [7].

Statističke analize ponašanja vode i hidromešavine u slučaju havarije brane (nasipa) pokazuju da sva akumulirana voda istekne iz akumulacionog prostora, dok kod deponija prosečno istekne jedna trećina akumulirane hidromešavine iz kasete, odnosno deponije [8].

Prema Direktivi EZ o upravljanju otpadom iz ekstraktivne industrije [9], deponije otpadnog materijala se mogu svrstati u kategoriju A ili van kategorije A. Deponija se u kategoriju A u sledećim slučajevima:

- ako se na temelju procene opasnosti kojom se uzimaju u obzir činjenice kao što su trenutna ili buduća veličina, lokacija i uticaj na životnu sredinu,

ustanovi da bi propust ili nepravilan rad, npr. U rušavanje deponije ili proboj nasipa mogli prouzrokovati veliku nesreću, ili

- ako se na njoj deponuje opasni otpad, ili
- ako se otpad sastoji od supstanci koje su klasifikovane kao opasne.

Klasifikacija deponija industrijskog otpada, koju je predložila USACE [10], vrši se na osnovu veličine akumulacionog prostora ili na osnovu visine nasipa, u zavisnosti koji od ova dva parametra svrstava deponiju u višu kategoriju (tabela 2).

Tabela 2. USACE klasifikacija nasipa i deponija

Kategorija	Akumulacioni prostor [hiljada m ³]	Visina [m]
Mala	60-1.200	8-12
Srednja	1.200 - 61.000	12 - 30
Velika	> 61.000	>30

Nakon velike katastrofe na deponiji pepela Kingston u SAD-u, EPA se ozbiljno pozabavila bezbednošću deponija pepela i šljake. Uspostavljen je sistem klasifikovanja deponija prema potencijalnoj opasnosti po oblasti uzvodno i/ili nizvodno, ili na oblasti udaljene od deponije. Ovaj sistem klasifikovanja se bazira na FEMA (Federal Guidelines for Dam Safety) klasifikaciji i usvojena su tri nivoa potencijalne opasnosti, tabela 3 [11].

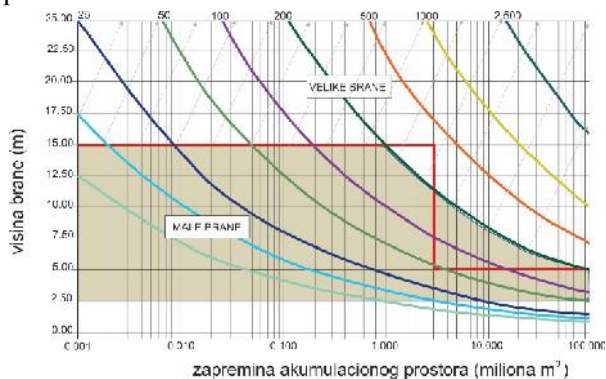
Tabela 3. Klasifikacija nasip deponija prema potencijalnoj opasnosti po okolinu

Klasa	Potencijalna opasnost	Gubitak ljudskih života	Ekonomski, ekološki i drugi gubici
1	Mala	Nije očekivan	Mali i lokalizovani na deponiju
2	Značajna	Nije očekivan	Moguć
3	Velika	Moguć, jedna ili više žrtava	Da (ali ne nužno)

Ono što je bitno naglasiti kod ove klasifikacije jeste da se termini mala, velika i značajna opasnost odnose na potencijal da se dogodi neka šteta ili da dođe do gubitka ljudskih života, a ne odnosi se na stanje nasipa deponije. Na primer, deponije svrstane u klasu 1 (mala potencijalna opasnost) mogu biti u lošem stanju, kao što i deponije iz klase 3 (velika potencijalna opasnost) mogu biti u dobrom stanju. Takođe, ova klasifikacija se može promeniti usled promene uslova okruženja (npr: izgradnje novih kuća u blizini). Kada je u pitanju klasa 3 ne treba uzeti zdravo za gotovo činjenicu da ljudskih žrtava nikad ne može biti. Iako nema direktnog gubitka ljudskih života, havarija može na primer, odneti čitavu saobraćajnicu i time indirektno dovesti do ljudskih žrtava.

Kada se govori o deponiji kao hidrotehničkoj građevini za akumuliranje vode, potrebno je razmotriti da li se obodni nasip deponije svrstava u male ili velike brane.

Na slici 1 je data klasifikacija malih i velikih brana prema ICOLD-u.



Slika 1 - Podela na male i velike brane

Prema ICOLD-u u velike brane spadaju brane koje zadovoljavaju kriterijume $5 < H < 15$ m i $V > 3$ miliona kubnih metara, pri čemu se visina H meri od nivoa korita reke pa do krune brane [12].

Procena rizika za visoke brane podrazumeva razmatranje parametara datih u tabeli 4, u zgradama je data kvantifikacija svakog rezultata.

Tabela 4. Parametri koji učestvuju u proceni rizika kod visokih brana

Faktor rizika	Ekstreman	Visok	Umeren	Nizak
Kapacitet, mil. m ³	>120 (6)	1-120 (4)	0,1-1 (2)	<1 (0)
Visina, m	> 45 (6)	30-45 (4)	15-30 (2)	<15 (0)
Broj lica koje treba evakuirati	> 1000 (12)	100-1000 (8)	1-100 (4)	0 (0)
Šteta, nizvodno	Visoka (12)	Umerena (8)	Mala (4)	Nema (0)

Posle kvantifikovanja navedenih parametara klasa rizika se određuje prema tabeli 5.

Tabela 5. Klasa rizika

Ukupni faktor rizika	Klasa rizika
0 – 6	I (Nizak)
7 – 18	II (Umeren)
19 - 30	III (Visok)
31 - 36	IV (Ekstrem)

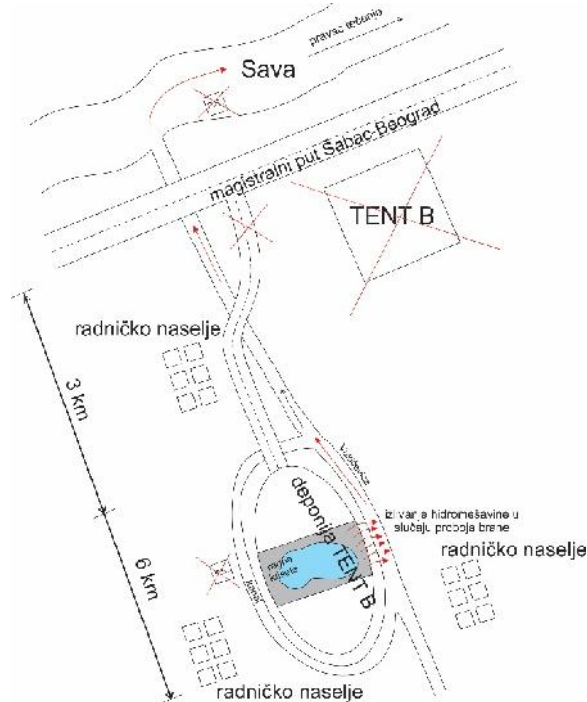
3. ODREĐIVANJE KLASA DEPONIJE PEPELA TENT-B

Prema evropskoj klasifikaciji, a s obzirom da se na deponiji TENT-B ne deponuje opasan otpad niti otpad

koji sadrži opasne supstance ova deponija se može svrstati van kategorije A. Rizičnost eksploatacije treba ispitati da bi se ova klasifikacija i potvrdila.

Na bazi zapremine akumulacionog prostora, tabela 2, deponija TENT-B spada u "velike", dok se prema dostignutoj i planiranoj visini svrstava u srednje.

Procenjuje se da prelivanje vode preko nasipa deponije TENT-B nije realno, a usled eventualnog proboja nasipa može doći do iznošenja guste hidromešavine po okolnom, ravničarskom terenu. Postoji mogućnost formiranja breše u nasipu koja se može tretirati kao prostorno jednodimenzionalni model [13,14], pri čemu se hidromešavina u ovom slučaju tretira kao talas koji se kreće rečnim koritom, slika 2.



Slika 2 - Skica lokacije deponije TENT-B sa pretpostavljenom trasom kretanja hidromešavine u slučaju proboja nasipa

Preko reke Vukičevice, talas bi došao i do reke Save te bi se vodovodna mreža na izvesno vreme onesposobila, a hidromešavina bi zagađivala i okolna poljoprivredna zemljišta. Može se smatrati da bi havarija dovela do ekološke štete.

Havarija bi svakako dovela do privremenog prestatka rada same termoelektrane, što bi dovelo do finansijskih gubitaka.

Lokalni saobraćaj bi bio privremeno prekinut ali se pretpostavlja da bi vreme proboja nasipa bilo dovoljno dugo, a brzina rasprostiranja hidromešavine dovoljno mala da ne bi mogla ugroziti vozila i vozače koji se zateknu na putu, te ljudskih žrtava ne bi bilo.

Na osnovu svih ovih razmatranja i činjenice da je deponija TENT-B locirana u pretežno ruralnom

okruženju, može se zaključiti da pripada klasi 2 prema FEMA klasifikaciji, tabela 3, i predstavlja „značajnu“ potencijalnu opasnost po okruženje.

Analiza rizičnosti deponije TENT-B, kao akumulacije vode, saglasno dokumentima ICOLD-a daje rezultate prikazane u tabeli 6.

Tabela 6. Procena rizika prema ICOLD-u

Faktor rizika	Visok	Umeren	Nizak
Kapacitet, mil. m ³	1-120 (4)		
Visina, m		15-30 (2)	
Broj lica koje treba evakuirati			0 (0)
Šteta, nizvodno		Mala (4)	

Sabrano, ukupni faktor rizika je 10, što deponiju pepela, kao akumulaciju vode, svrstava u klasu II, umereno rizičnih akumulacija vode.

4. RAZMATRANJE SCENARIJA POTENCIJALNE HAVARIJE NA DEPONIJU

Najbitniji segment procene rizika na deponijama jeste utvrđivanje pravilnog scenarija moguće havarije [15].

U ovom radu su razmatrani samo najčešći uzroci havarija i incidenata na deponijama:

- prelivanje preko krune nasipa
- nestabilnost kosina
- seizmička nestabilnost.

Za svaki scenario određena je i verovatnoća prema tabeli 7 [16].

4.1. Prelivanje preko krune nasipa

Nedovoljno kontrolisanje vode u deponiji je jedan od najčešćih razloga havarija na deponijama. [17].

Deponija pepela i šljake TENT-B je ravničarskog tipa što znači da nema slivnog područja. Osim vode koja pristize zajedno sa pepelom, u njoj se jedino skupljaju atmosferske vode koje padnu direktno u konturu deponije.

Deponija se gradi nastupnom metodom za koju je poznato da je pogodna za nadgradnju deponija na kojima se odlažu manje količine vode, kao što je to slučaj sa ovom deponijom [1].

Za potrebe razvijanja hidrološkog scenarija potencijalne havarije analizirane su prosečne padavine u okruženju deponije. Uprosečeni najviši nivo mesečnih padavina iznosi 87,5 mm. Ta količina padavina nije, niti bi mogla prouzrokovati prelivanje vode preko nasipa. Majske poplave iz 2014. godine u ovom području bi mogle poslužiti za razvijanje najgoreg mogućeg hidrološkog scenarija. Od 12. do 16. maja 2014. godine u ovom regionu je palo 177,3 l/m² kiše [18].

Tabela 7. Tabela verbalnih opisa verovatnoće

Opis verovatnoće	Jedinstvena vrednost verovatnoće, % (medijana)	Odgovarajući opseg (granice)
Skoro nemoguće	2	0-5
Veoma neverovatno	5	1-15
Vrlo neverovatno	10	2-15
Vrlo male šanse	10	5-15
Neverovatno	15	5-20
Malo verovatno	15	10-25
Male šanse	20	10-20
Moguće	40	40-70
Srednje šanse	50	40-60
Dobre šanse	50	45-55
Verovatno	70	60-75
Izvesno	70	65-85
Vrlo verovatno	80	70-87,5
Vrlo izvesno	80	75-92
Velike šanse	85	80-92
Veoma verovatno	90	75-90
Veoma velike šanse	90	85-99
Gotovo izvesno	90	90-99,5

Teoretski, količina vode u aktivnoj kaseti površine ispod 2.000.000 m², bez bilo kakvog odvođenja kroz drenažni sistem i prelivni šaht mogla je da bude oko 350.000 m³. Minimalni slobodni prostor od površine jezera do krune nasipa prema srpskoj zakonskoj regulativi iznosi 1 m, odnosno 2.000.000 m³, što znači da nisu postojali uslovi za prelivanje vode preko nasipa.

U periodu ovih velikih padavina nasipi na deponiji pepela ni u jednom trenutku nisu bili ugroženi, niti je postojala opasnost od prelivanja. Naime, deponija nije hidroizolovana i postoji direktna „komunikacija“ vode u deponiji sa podzemnim vodama. Nivo podzemnih voda u okruženju jeste porastao, ali nivo vode u jezeru deponije nije prelazio rizičnu udaljenost od nasipa koja prema glavnom projektu iznosi minimalno 50 m [19].

Dakle, nije realno da, u normalnom radu, dođe do prelivanja preko krune nasipa, a uprosečena verovatnoća ovog događaja, prema tabeli 6, je 2%.

4.2. Nestabilnost kosina

Proračuni stabilnosti urađeni su na pet karakterističnih pijezometarskih profila kasete II. Proračuni su rađeni Bishop-ovom metodom. Rezultati su prikazani u tabeli 8 [19].

Na osnovu sprovedenih proračuna stabilnosti može se zaključiti da dobijeni faktori sigurnosti zadovoljavajući, odnosno da su $\geq 1,50$ u statičkim uslovima [20].

Tabela 8. Proračunati faktori sigurnosti

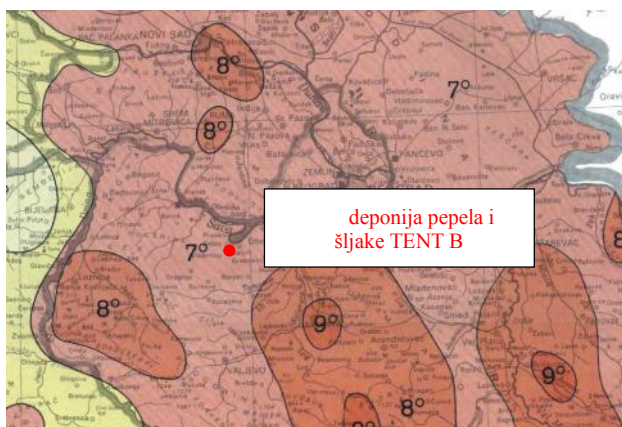
Profil	Faktor sigurnosti F_s	
	Statički	Kvazi-statički
7	1,50	1,20
11	1,55	1,17
14	1,50	1,25
16	2,18	1,97
18	1,80	1,31

Prvorazredni problem kod deponija pepela sa aspekta njegove stabilnosti jeste položaj nivoa podzemnih voda i potrebno je obezbediti da se nivo vode održava ispod površine kosine. To se smatra osnovnim uslovom koji mora biti ispunjen kod nasipa od pepela [21].

Visina i položaj slobodne vodene površine u telu nasipa osmatra se preko više pijezometarskih profila. Nasipi su generalno u dobrom stanju, bez primetnih pukotina i anomalija, a zone vlaženja se beleže na pregradnim nasipima prema budućoj kaseti 3. Teoretska šansa da dođe do proboja nasipa usled nestabilnosti kosina postoji, ali je ona mala. Proboj bi bio lokalnog karaktera. Prema tabeli 6, uprosečena numerička vrednost verovatnoće za „male šanse“ je 20%.

4.3. Seizmička nestabilnost

Prema lokalnim propisima, dejstvo zemljotresa treba uzeti u obzir kod građenja objekata u seizmičkim područjima intenziteta iznad 7 stepeni MCS skale [21]. Na slici 3 je prikazana seizmološka karta centralne Srbije. Može se zaključiti da se deponija pepela i šljake TENT-B nalazi u području intenziteta 7° za stogodšnji povratni period, ali se kod provere stabilnosti za proračun uzima stepen više, zbog visokog nivoa podzemnih voda [19].



Slika 3 - Seizmološka karta centralne Srbije za povratni period od 100 godina

Generalno, sa aspekta nastupne metode kojom je građena ova deponija, postoji slaba otpornost na zemljotrese [1].

U tabeli 8 date su vrednosti proračunatog faktora sigurnosti na 5 karakterističnih profila kasete II sa uključenim seizmičkim koeficijentom $K_c=0,06$. Prema SRPS.U.C5.020 faktori sigurnosti u kvazi-statičkim uslovima treba da budu $\geq 1,00$, što je u ovom slučaju i zadovoljeno.

Potencijal likvefakcije u ovom radu nije razmatran iz razloga što je pepeo deponije TENT-B umereno neravnomernog sastava sa Heznovim koeficijentom C_u između 8 i 10, pa je verovatnoća pojave likvefakcije mala.

Šanse da dođe do havarije usled zemljotresa bi se mogle oceniti kao vrlo neverovatne sa uprosečenom numeričkom vrednošću, prema tabeli 6, od 5%.

5. PROCENA VEROVATNOĆE HAVARIJE

Na osnovu prethodnih razmatranja, određena je verovatnoća havarija za analizirane slučajeve:

- Prelivanje hidromešavine preko nasipa (E_1), pri čemu je njegova pretpostavljena verovatnoća $P(E_1)=0,02$
- Proboj nasipa usled nestabilnosti kosina (E_2), pri čemu je njegova pretpostavljena verovatnoća $P(E_2)=0,2$
- Proboj nasipa usled seizmičke nestabilnosti (E_3), pri čemu je njegova pretpostavljena verovatnoća $P(E_3)=0,05$

Prema teoremi unimodalnih granica za „n“ pozitivno koreliranih događaja ($E_1, E_2, E_3 \dots E_n$) sa njihovim odgovarajućim verovatnoćama [$P(E_1), P(E_2), P(E_3) \dots P(E_n)$], totalna verovatnoća unije tih događaja [$P(E) = P(E_1 \cup E_2 \cup E_3 \dots \cup E_n)$] leži između donje i gornje granice [22]:

$$\max P(E_i) \leq P(E) \leq 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(E_i)] \quad (1)$$

Totalna verovatnoća havarije na deponiji pepela TENT B je prema jednačini (1) jednaka $0,2 \leq P(E) \leq 0,255$.

Donja granica važi ako su događaji savršeno korelirani, a gornja ako su događaji statistički nezavisni. Može se konstatovati da nije velika razlika između donje i gornje granice. Kako je u praksi češći slučaj da se pri proceni rizika usvaja gornja granica, i u ovom radu se ona usvaja - 0,255.

6. PROCENA BROJA LJUDSKIH ŽRTAVA

Pri pomenu rizičnosti eksploatacije deponija obično se kao prvo pojavljuje opasnost po stanovništvo i zaposlene radnike, odnosno važno je proceniti broj eventualnih žrtava.

Proračun broja eventualnih ljudskih žrtava urađen je po metodi Grejema, koja se zasniva na fiksnim stopama smrtnosti [15]. Usvaja se da se proboj nasipa

i eventualno formiranje breše u nasipu tretira kao prelivanje preko širokog praga, odnosno kao poplavni talas [Elaborat, 2003].

Prvi korak Grejemove metode je da se utvrdi ugroženo stanovništvo. Ugroženo stanovništvo se prema ovoj metodi definiše kao stanovništvo nastanjeno na području koje biva direktno pogođeno usled rušenja nasipa. Kako je procenjeno da hidromešavina ne bi daleko „odmakla“ od mesta njenog isticaja, najugroženiji su zaposleni na deponiji, njih 16, pri čemu najviše 8 radnika radi u svakoj smeni.

Drugi korak se odnosi na ozbiljnost havarije. Prema Grejemu postoje tri kategorije ozbiljnosti:

- Velika ozbiljnost: kada poplavni talas dovodi do potpunog uništenja objekata i infrastrukture, proizvodeći smrt većine ljudi koji bivaju zatečeni tamo.
- Srednja ozbiljnost: kada neki građevinski objekti pretrpe ozbiljne štete, naročito stambene kuće, mada ostanu neki objekti u kojima ljudi mogu naći utočište.
- Mala ozbiljnost: nema potpuno uništenih objekata, a štete su samo površne.

Na osnovu već izvršene procene opasnosti i ovom segmentu se može reći da je ozbiljnost potencijalne havarije mala.

Treći korak je da se ustanovi vreme upozorenja koje se takođe može podeliti u tri kategorije:

- Bez upozorenja: kada je vreme upozorenja manje od 15 min. Nema upozorenja jer zvanični organi nemaju vremena da izdaju upozorenje stanovništvu pre nastupanja poplave. Stanovništvo je upozoreno samo kada i samo spozna, vidi i čuje nastupajući poplavni talas.

- Neka vrsta upozorenja: kada je vreme upozorenja između 15 i 60 min. U ovom slučaju je izdato zvanično upozorenje pre samog poplavnog talasa. Upozorenje se izdaje putem zvaničnih sredstava komunikacije, mada to opet ne garantuje da će svi ljudi biti upozoreni.
- Adekvatno upozorenje: kada je vreme upozorenja veće od 60 min. Izdato je pravilno i adekvatno upozorenje pre poplavnog talasa. Većina ugroženih ljudi je obavešteno o nastupajućoj poplavi.
- Kako je vreme veoma bitan faktor kod utvrđivanja stope smrtnosti, Grejem je predložio tabelu iz koje se usvajaju podaci potrebni za proračun vremena upozorenja [15]. Prema Grejemu, kod „zemljanih“ nasipa, havarija nastupa polako te se može usvojiti da bi vreme upozorenja bilo više od 60 min.
- Četvrti i poslednji korak ove metode jeste da se definiše razumevanje ozbiljnosti. Grejem je predložio dve kategorije razumevanja:
- Nepotpuno razumevanje: kada stanovništvo koje prima upozorenje nikada nije bilo svedok neke poplave ili ne razume razmere poplave koja nastupa.
- Potpuno razumevanje: kada stanovništvo pravilno shvata upozoravajuće poruke, kao i razmere poplave.

Kako definisano direktno ugroženo stanovništvo isključivo čine ljudi zaposleni na deponiji, kojima je u opisu posla da budu u svakom trenutku upućeni u stanje deponije i upoznati su sa svim posledicama koje moguća havarija nosi sa sobom, može se usvojiti „potpuno razumevanje“. Pošto su definisani svi potrebni parametri, pristupa se usvajanju stopa smrtnosti prema tabeli 9.

Tabela 9. Predložene stope smrtnosti za proračun smrtnih slučajeva usled havarije

Ozbiljnost poplave	Vreme upozorenja (min)	Razumevanje ozbiljnosti poplave	Stopa smrtnosti (udeo ugroženih ljudi koji gube život)	
			Prosečna	Opseg
Visoka	Bez upozorenja	Nije primenljivo	0,75	0,3-1,00
	15 do 60	Nepotpuno	*Nema odgovarajućih podataka	
	Više od 60	Potpuno		
Srednja	Bez upozorenja	Nije primenljivo	0,15	0,03-0,35
	15 do 60	Nepotpuno	0,05	0,01-0,08
		Potpuno	0,02	0,005-0,04
	Više od 60	Nepotpuno	0,03	0,005-0,06
		Potpuno	0,01	0,002-0,02
	Niska	Bez upozorenja	Nije primenljivo	0,01
15 do 60		Nepotpuno	0,007	0-0,015
		Potpuno	0,002	0-0,004
Više od 60		Nepotpuno	0,0003	0-0,0006
		Potpuno	0,0002	0-0,0004

Na osnovu male ozbiljnosti havarije, vremenu upozorenja na havariju od preko 60 min i potpunog razumevanja ozbiljnosti može se konstatovati da bi prosečna stopa smrtnosti bila 0,0002 iz opsega 0,0-0,0004. Ovaj podatak praktično znači da bi na 5.000 ljudi u proseku jedan mogao izgubiti život. Ovo se u ovom slučaju može protumačiti kao da nema ljudskih žrtava, što opravdava konstataciju iz prethodnog teksta da potencijalna havarija na deponiji TENT-B ne bi mogla prouzrokovati ljudske gubitke prema FEMA klasifikaciji.

Prema RIDAS klasifikaciji [23] koja se bazira na posledicama po ljudske živote, na osnovu prethodnih konstatacija deponija TENT-B bi se mogla svrstati u klasu 2-3, tabela 10.

Tabela 10. Klasifikacija na osnovu posledica po ljudske živote

Klasa	Posledica
1A	Velika verovatnoća gubitka velikog broja ljudskih života
1B	Nezanemarljiv rizik/ nezanemarljiva verovatnoća gubitka ljudskih života ili ozbiljnih povreda
2	Zanemarljiv rizik od gubitka ljudskih života ili povreda.
3	

7. PROCENA RIZIKA

Nakon određivanja scenarija i verovatnoće havarija i procenjenih posledica, može se pristupiti proceni rizika. Verovatnoća havarije na deponiji od 0,225 spada u kategoriju vrlo neverovatno (manja od trećine stocentnog rizika), dok je težina posledica koje prističu iz „značajne“ opasnosti deponije po okruženje – mala (ekološki i ekonomski gubici, bez ljudskih žrtava).

Ako posledice i verovatnoću kvantifikujemo kako je to dato u tabelama 11 i 12, onda se prema matrici 4x4, tabela 13 [24] dobije kao rezultat da je rizik koji predstavlja eksploatacija deponije pepela TENT-B mali (1-2).

Tabela 11. Kvantifikovanje posledica eventualne havarije

Ekstremne posledice	4
Velike posledice	3
Ograničene posledice	2
Male posledice	1

Tabela 12. Kvantifikovanje verovatnoće da će doći do havarije

Havarija je moguća u svakom trenutku	4
Postoje ozbiljni skriveni poremećaji, ako se nešto ne preduzme doći će do havarije	3
Deponija je, u osnovi, u dobrom stanju	2
Deponija je potpuno uređena i postoje svi uslovi za bezbedan rad	1

Tabela 13. Matrica oblika 4x4

		Težina posledice			
		Ekstremne	Velike	Ograničene	Male
Verovatnoća	Moguća havarija	16	12	8	4
	Ozbiljni poremećaji	12	9	6	3
	U dobrom stanju	8	6	4	2
	Potpuno uređena	4	3	2	1

8. ZAKLJUČAK

U Srbiji je prostorno najveća deponija industrijskog otpada deponija pepela Termoelektrane "Nikola Tesla-B" u Ušću. Deponija se nadgrađuje uporedo sa eksploatacijom nastupnom metodom, na ravničarskom terenu, 3 km od reke Save, sa visokim nivoom podzemnih voda u okruženju. Hidrotehnički je dobro uređena, a eksploatacija se vrši stručno i odgovorno saglasno tehničkoj dokumentaciji.

Da bi se procenio rizik eksploatacije ove deponije razmotreni su svi detalji, saglasno različitim metodologijama. Klasifikovanje i procena rizika je urađena za deponiju koja se koristi za zajedničko akumulisanje čvrste i tečne faze i za deponiju koja se koristi za akumulaciju vode. Sve analize rizičnosti za deponiju kao skladište čvrste faze unutar koje se nalazi i voda pokazuju da eksploatacija ove deponije nije rizična. Analiza rizika za deponiju kao akumulaciju vode, urađena po parametrima ICOLD-a, pokazuju da je rizičnost ove deponije umerena (klasa II).

9. 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] Knežević D, Torbica S, Rajković Z, Nedić M, Odlaganje industrijskog otpada, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2014.
- [2] Kisić D, Miletić S, Radonjić V, Radanović S, Filipović J, Gržetić I, Prirodna radioaktivnost uglja i letećeg pepela u termoelektrani „Nikola Tesla B“, Hem. Ind. 67 (5) 729–738, 2013.
- [3] Mađarac D, Implementacija nove tehnologije skupljanja, transporta i deponovanja pepela i šljake na termoelektrani „Nikola Tesla B“, Zbornik radova II

- savetovanja deponije pepela, šljake i jalovine u termoelektranama i rudnicima, Vrujci, 55-73, 2009.
- [4] Stjepanović P, Dražović D, Kostović N, Milojković N, Mogućnost primene guste hidromešavine u transportu i deponovanju pepela na Termoelektrani „Nikola Tesla“ - Obrenovac, 12. Simpozijum termičara Srbije i Crne Gore, Soko Banja
- [5] Grubačević M, Gucić M, Mijić R, Glamočić B, Mladenović S, Tanasković M, Popović A, (ur.), Kvalitet životne sredine grada Beograda u 2012. g. GZJZ, Beograd, 2013.
- [6] Prostorni plan gradske opštine Obrenovac, Urbaništiki zavod Beograda, Beograd, 2011.
- [7] McLeod H, Murray L, Tailings dam versus a water dam, what is the design difference? ICOLD Symposium on Major Challenges in Tailings Dams, 2003
- [8] Rico M, Diez-Herrero A, Benito G, Floods from tailings dam failures, J. Hazard. Mater., 154 (1-3), 79-87, 2008.
- [9] Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 on the management of waste from extractive industries.
- [10] Recommended Guidelines for Safety Inspection of Dams, Department of the Army, ER 1110-2-106, Washington, 1979.
- [11] The National Dam Safety Program, Research Needs Workshop: Embankment Dam Failure Analysis, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, 2004.
- [12] Small Dams, Design, Surveillance and Rehabilitation, ICOLD, 2011.
- [13] Grupa autora, Elaborat hidrauličkih posledica u slučaju havarija nasip na pepelištui TE „Kostolac“, Građevinski fakultet, Beograd, 2003.
- [14] Jovanović M, Kapor R, Komatina D, Đorđević D, Stefanović N, Jančić V, Numerička simulacija hidrauličkih posledica havarija nasip na pepelištima, Vodoprivreda 0350-0519, 35, pp. 307-312, 2003.
- [15] Technical Guides On Dam Safety: Risk analysis applied to managment of dam safety, Spanish national committee on large dams, Valencia, 2013.
- [16] Reagan, Robert, Frederick, Mosteller, Cleo Youtz, Quantitive meanings of verbal probability expressions, Journal of applied psychology, 74(3):433, 1989.
- [17] Tailing Dams, Risk of Dangerous Occurrences, Lessons learnt from practical experiences, Bulletin 121, ICOLD, 2001.
- [18] Nišavić A, Zarić M, Gulan M, Dekić Lj, Meteorološki uslovi u maju 2014. godine i mogućnost prognoziranja obilnih padavina, Republički hidrometeorološki zavod, Beograd, 2014.
- [19] Godišnji izveštaj o oskultaciji deponije pepela i šljake TENT-B za 2011. godinu, Rudarski institut, Beograd, 2012.
- [20] SRPS.U.C5.020:1980, Projektovanje nasutih nasip i hidrotehničkih nasipa-Tehnički uslovi, Institut za standardizaciju Srbije, 1980.
- [21] Gojković N, Obradović R, Čebašek V, (), Stabilnost kosina odlagališta tehnođenih materijala, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2008.
- [22] Risk Management, Best Practices and Risk Methodology, Security, Safety and Law Enforcement Office - Dam Safety, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Washington, 2012.
- [23] Mill O, The society and the role of the authorities, Seminar on Safe Tailings dam construction, Gällivare, Swedish Mining Association, European Commission Directorate-General Environment, 2001.
- [24] Xin Z, Xiaohu X, Kaili X, Study on the Risk Assessment of the Tailings Dam Break, Procedia Engineering, pp. 2261 – 22, 2011.

SUMMARY

RISK CLASSIFICATION OF "NIKOLA TESLA-B" THERMAL POWER PLANT'S ASH DISPOSAL SITE

In this paper the risk classification of "Nikola Tesla B" thermal power plant's disposal site according to several criteria with the assessment of the risk that arises from these classifications is given. The risk is analyzed on the basis of two parameters: the impact of the consequences that would be caused with a possible dam accident and the actual probability of the accident itself. Different failure modes of possible accidents were analyzed with the estimate of total probability. Qualitative risk assessment by matrix is given for the disposal site as a common accumulation of solid and liquid phases. It is stated that disposal site is not at risk. The risk assessment for the disposal site as well as the accumulation of water carried by ICOLD was found to be at moderate risk (class II).

Key words: ash disposal site TENT B, risk classification, risk, accident, consequences of an accident, the accident probability