



Pregledni članak

EVAKUACIJA U NUKLEARNIM KATASTROFAMA

Jovana Martinović¹

¹Naučno-stručno društvo za upravljanje rizicima
u vanrednim situacijama, Beograd

* Kontakt: jovanamartino@gmail.com

Apstrakt: Imajući u vidu porast broja zemalja u čijem posedu se nalazi nuklearno oružje i nuklearne elektrane, kao i složenost katastrofa povezanih sa nuklearnom energijom, postoji sve snažnija potreba za poboljšanjem mehanizama za smanjenje rizika i upravljanje nuklearnim katastrofama. Temeljno razmatranje i planiranje evakuacije, kao jedne od najznačajnijih faza upravljanja u katastrofama, od suštinskog je značaja za smanjenje negativnih uticaja na društvo i životnu sredinu u slučaju njihovog nastanka. Stoga, u ovom radu razmatraju se prošla iskustva, naučene lekcije i identifikovane slabosti u procesu planiranja i sprovođenja evakuacije kojima je potrebno posvetiti više pažnje u budućnosti. Unapređenje percepcije rizika o nuklearnim katastrofama putem adekvatnih i kontinuiranih edukativnih programa, pružanje psihološke i zdravstvene podrške nakon evakuacije ugroženog stanovništva i izrada efikasnih planova za zaštitu javnosti i radnika neki su od najznačajnijih prediktora uspešnog odgovora na posledice nuklearnih katastrofa.

Ključne reči: nuklearna energija; nuklearne katastrofe; evakuacija; planiranje; pripremljenost.

1. Uvod

Uprkos malom broju globalnih nuklearnih incidenata, opasnost od istih je uvek prisutna (Cvetković et al., 2021). Razmatranje potencijalnih razornih posledica u slučaju njihovog ispoljavanja doprinosi unapređenju sigurnosti i bezbednosti nuklearnih postrojenja, zaštiti radioaktivnih materijala i osiguranju postojanja adekvatnih planova za postupanje u vanrednim situacijama kojima je cilj minimiziranje i ograničavanje negativnih posledica (Cvetković & Jovanović, 2020; Cvetković & Svrclin, 2020; Cvetković & Grbić, 2021). Nuklearne katastrofe u Černobilju i Fukušimi podsetile su međunarodnu zajednicu na značaj unapređenja pripremljenosti za reagovanje na iste radi smanjenja tragičnih efekata u slučaju njihovog nastanka. Spomenute nesreće uzrokovale su kretanja velikog broja ljudi, čije je predviđanje i razumevanje od presudnog značaja za upravljanje nuklearnim katastrofama, planiranje efikasne strategije evakuacije, komunikacije, humanitarne pomoći i dugoročne rekonstrukcije društva. Tokom evakuacije nastaju različiti izazovi zbog obimnog širenja ljudi kroz prostor i vreme, poput mogućnosti zagušenja puteva u evakuacijama velikih razmera i sprečavanja izlaska onih koji se evakušu iz rizičnog područja, što je posebno primetno kod evakuacije u senci (fenomen dobrovoljne evakuacije ljudi iz područja van proglašenog područja za evakuaciju) (Weinisch & Brueckner, 2015).

Pored tragičnih efekata koje su ostavile na životnu sredinu i zdravlje ljudi, značajno su promenile stavove javnosti prema nuklearnoj energiji (Kim, Kim, & Kim, 2013), odnosno u velikom broju zemalja doveli do javne opozicije nuklearnoj energiji, što je značajan faktor u sprovođenju nuklearnih politika. Brojne zemlje suspendovale su izgradnju nuklearnih elektrana donošenjem zakona. Jedna od njih je Republika Srbija, koja je, nakon što su posledice Černobiljske katastrofe stigle i do njene teritorije, donela Zakon o zabrani izgradnje nuklearnih elektrana (Zakon o zabrani izgradnje nuklearnih elektrana u Saveznoj republici Jugoslaviji, 2006). Pored navedenog, zakon propisuje i zabranu donošenja investicionih odluka, izradu investicionih programa i tehničke dokumentacije za izgradnju nuklearnih elektrana, postrojenja za proizvodnju nuklearnog goriva i postrojenja za preradu isluženog goriva za nuklearne elektrane.

Svakako, ne treba zanemariti činjenicu da je Republika Srbija je u regionu okružena nuklearnim elektranama i u slučaju havarije razorne posledice,

koje prate ovakve katastrofe, bi u velikoj meri osećalo i stanovništvo njene teritorije. Naime, 21 nuklearna elektrana sa 44 reaktora nalazi se 1000 km od granice RS i od toga je na udaljenosti od 500 km od granice 6 nuklearnih elektrana sa 12 reaktora (Cvetković, Filipović i Gačić, 2019, str. 52; Cvetković, 2020). Osim mogućnosti nuklearnih akcidenata, posebno zabrinjava mogućnost zloupotrebe radioaktivnih materijala u terorističke svrhe. Nuklearni napadi na Hirošimu i Nagasaki u Drugom svetskom ratu predstavljaju prvi susret čovečanstva sa strahotama masovnog uništenja (Yamin, 2011). U savremeno doba, nakon terorističkih napada u SAD-u, Rusiji, Parizu, Španiji, strah od terorizma doživeo je ekspanziju. Shodno tome, planiranje mera ublažavanja, pripremljenosti, odgovora i oporavka je od velikog značaja za efikasno reagovanje na svim nivoima funkcionisanja društva.

U literaturi se pod pojmom hitne evakuacije podrazumeva premeštanje stanovnika sa opasnih na bezbedna područja na nekoliko dana u ranoj fazi post-nuklearne situacije sve dok doza zračenja ne postane stabilna i prihvatljiva za ljude (Deng, Zou, & You, 2018). Reč je o sveobuhvatnom sistemu sačinjenom od velikog broja komponenti poput menadžera evakuacije, evakuisanih ljudi, putnih mreža, skloništa itd., koje međusobno saraduju kako bi obezbedile normalno i efikasno funkcionisanje sistema (H. Yuan et al., 2019). Evakuacija u kratkom roku, lokacija objekta i pozicioniranje zaliha izvode se kao glavne operacije pre katastrofe, dok su distribucija pomoći, usluge logističke podrške i prevoz unesrećenih glavni aspekt operacija nakon katastrofe (Dhamala & Adhikari, 2018). Drabek i saradnici (1971) su istakli četiri vrste evakuacije: po pozivu, izboru, podrazumevane i kompromisne. Pored toga, prema obimu, evakuacija može biti delimična i potpuna ("Sl. glasnik RS", br. 87/2018), dok je njeno sprovođenje u Republici Srbiji regulisano Uredbom o sprovođenju evakuacije ("Službeni glasnik RS", br. 22/11).

Imajući u vidu rizike zračenja po ljudski organizam, koji prilikom duže izloženosti može razviti različite bolesti poput kancera, smanjenje izloženosti padavinama kako odgovornih osoba tako i javnosti prioritet je u ranim fazama odgovora, što je moguće postići informisanom strategijom skloništa i evakuacije (V. Cvetković & Martinović, 2020; Vladimir Cvetković, Nikolić, Nenadić, Ocal, & Zečević, 2020; Hussaini, 2020; Jha, 2020; Kaur, 2020; Öcal, Cvetković, Baytiyeh, Tedim, & Zečević, 2020; Olawuni, Olowoporoku, & Daramola, 2020). Oni koji se nalaze u zoni

opasnih padavina (požar, toksični materijali, urušavanje zgrada) treba da planiraju evakuaciju koristeći najkraći mogući put iz zone nakon što su se sklonili najmanje prvih sat vremena. Drugi prioritet je evakuacija ugroženih populacija koje se nalaze na nebezbednim lokacijama skloništa, bilo zbog neadekvatnog skloništa ili drugih problema u vezi sa životnom sigurnošću (Buddemeier & Dillon, 2009). Postojanje adekvatnog skloništa, informisanost stanovništva o njima kao i o najbržim rutama do istih i utvrđenost da su skloništa, pre nego što ih ljudi okupiraju, bez radioaktivne kontaminacije preduslovi su za izvođenje evakuacije. Imajući u vidu da sama strategija evakuacije bez adekvatne komunikacija o riziku može voditi neuspehu, poboljšanje javnog znanja o rizicima i upravljanju istim, podsticanje ponašanja za smanjenje rizika, razumevanje javnih vrednosti i zabrinutosti i povećanje poverenja i kredibiliteta značajne su za postizanje ciljeva efikasne komunikacije (Keeney & Von Winterfeldt, 1986), o čemu će kasnije biti više reči.

Glavna razlika između nuklearnih i drugih vrsta katastrofa je ta što je zračenje nevidljivo i zbunjujuće, te je posedovanje znanja o višestrukim aspektima nuklearne energije od krucijalne važnosti. Obrazovanje o nuklearnim katastrofama se smatra ključnim sredstvom za promenu percepcije i zahteva integraciju različitih vrsta znanja kao i blisku saradnju širokog spektra profesija. U nuklearnim incidentima upravlja „komandant događaja“, koji može prihvatiti mišljenja stručnjaka za donošenje odluka iz različitih oblasti, ali koji na kraju donosi konačnu odluku na osnovu sopstvenog suda. Upravo zato, sposobnost odlučivanja komandanta u vanrednoj situaciji je veoma važna (Deng et al., 2018).

2. Planiranje i sprovođenje evakuacije

Kratko vreme dostupno za donošenje kritičnih odluka, zahvaćenost velikog prostora i potreba za koordinacijom velikog broja organizacija i građana karakteristike su nuklearnih katastrofa koje čine osnovu uspešnog odgovora i apostrofiraju značaj planiranja evakuacije kao primarne zaštitne radnje i glavne strategija upravljanja u takvim uslovima.

Kod donošenja odluke o planiranju, pripremi i koordinaciji kao i kod sprovođenja evakuacije vodi se računa o određivanju puta evakuacije, kontroli pristupa, izvođenju operacije za specijalne grupe populacije –

bolesni, nepokretni, starije osobe, i o obezbeđivanju neophodnih sredstava za preživljavanje („Službeni glasnik RS”, br. 111/09, 92/11 i 93/12). Nakon nesreće u Fukušimi postojale su opasnosti povezane sa nedostatkom priprema za evakuaciju osetljive populacije: „više od 50 pacijenata je umrlo tokom ili ubrzo nakon evakuacije, verovatno usled hipotermije, dehidracije i pogoršanja osnovnih medicinskih problema“ (Tanigawa, Hosoi, Hirohashi, Iwasaki, & Kamiya, 2012). Takođe, vodi se računa i o domaćim životinjama, mogućnostima zbrinjavanja i zaštite divljih životinja i slično („Službeni glasnik RS”, br. 111/09, 92/11 i 93/12). U nadležnosti jedinica lokalne samouprave je određivanje puteva i lokacija za evakuaciju koje se vrši unapred na osnovu donetih i usvojenih planova zaštite i spasavanja u vanrednim situacijama („Službeni glasnik RS”, br. 30/18).

Neophodno je uzeti obzir različite faktore koji utiču na percepciju i ponašanje ljudi u uslovima katastrofa. Jedan od najznačajnijih prediktora ponašanja ljudi je izvor upozorenja građana. Naime, u slučaju katastrofe na ostrvu Tri milje, koja je ujedno pružila prvu priliku za empirijsko izučavanje procesa evakuacije (Zeigler, Brunn, & Johnson Jr, 1981), većina ispitanika u studiji koju je sproveo Peri (Perry, 1981) prvi put je saznala o opasnosti iz ličnog ili nevladinog izvora. Gotovo nijedan ispitanik nije naveo zvaničnike kao prvi izvor. Verovanje građana da se nalaze u stvarnoj situacionoj opasnosti i saveti zvaničnika bili su najčešće citirani razlozi za odlazak evakuisanih ljudi u nuklearnim i nenuklearnim incidentima. Utvrđeno je da javnost ima najviše poverenja u naučnike (Denis, 1995), te je saopštavanje naučnih rezultata važan faktor u menadžmentu upravljanja katastrofama. Pored toga, percepcija rizika i blizina izvoru opasnosti istaknute su odrednice ponašanja prilikom evakuacije (Carnegie & DeKa, 2010).

Prilikom planiranja, neophodno je razmotriti i pobiti uobičajene mitove o ponašanju ljudi u uslovima katastrofa. Primera radi, širom sveta zastupljen je mit o sklonosti panici od strane javnosti prilikom odgovora na terorističke napade bilo da uključuju konvencionalno ili hemijsko, biološko ili radiološko oružje. Dokazi iz pet takvih incidenata sugerišu da javnost nije sklona panici, iako ljudi mogu promeniti svoje ponašanje i stavove kako bi smanjili rizik da će biti izloženi terorističkom incidentu. Reakcije u ponašanju mogu se podeliti na dela propuštanja (poput nepotrebnog putovanja) i dela prinude (poput uzimanja profilaktičkih lekova, uprkos riziku od neželjenih efekata). Dokazi ukazuju na to da je javnost svesna

ovih razlika i da usvaja odgovore srazmerne riziku (Sheppard, Rubin, Wardman, & Wessely, 2006).

Uprkos nalogu za evakuaciju, neki stanovnici obaveznih zona evakuacije ostajali su na mestu, što ukazuje na potrebu za pripremom koja će odgovoriti na njihove potrebe nakon katastrofe (Morita et al., 2018). Do (Do, 2019) ističe da je odluka u vezi sa destinacijama za evakuaciju snažno vođena ljudskim mrežama i preporukama lokalnih samouprava i poznanika i da na nju manje utiču pitanja vezana za posao, sigurnost od izlaganja zračenju, dostupnost smeštaja i pogodan pristup socijalnim sadržajima. Odgovori stanovnika na nesreću nuklearne elektrane na ostrvu Tri Milje u Pensilvaniji ilustrovali su faktore koji utiču na reakcije suočavanja stanovništva sa uticajima tehnoloških opasnosti. Na odluku da se ostane na mestu uticali su prevashodno zbunjenost i dvosmislene informacije, potom i blizina objekta, faza životnog ciklusa i postupci prijatelja i komšija (Cutter & Barnes, 1982). Takođe, u istraživanju koje su sproveli Zeigler i saradnici (Zeigler et al., 1981) ispitanicima je postavljeno pitanje da li uopšte treba razmotriti evakuaciju na šta je 21% uzorka istakao da nikada nije razmatralo ovo pitanje. Ostatak je razmatrao evakuaciju, ali samo 31% uzorka je donelo odluku da se evakuiše.

Cvetković i Gačić (Cvetković & Gačić, 2016) su ispitivali stepen znanja stanovništva o putevima evakuacije na teritoriji određenog broja lokalnih zajednica u Republici Srbiji i utvrdili da više od polovine ispitanika ne poznaje puteve evakuacije do postojećih skloništa. Aulady i saradnici (Aulady & Fujimi) su identifikovali starost i nivo obrazovanja kao faktore koji ostvaruju najznačajniji uticaj na znanje ljudi o putevima evakuacije. Naime, stariji ljudi i sa višim nivoom obrazovanja posedovali su više znanja o putu evakuacije od onih koji su mlađi i imaju niži nivo obrazovanja.

Planiranje evakuacije poseban naglasak stavlja na modeliranje i predviđanje ponašanja stanovnika u vanrednim situacijama iz pomoć razvoja različitih scenarija koje direktno doprinose uspostavljanju adekvatne šeme evakuacije tokom katastrofa. Brojni modeli evakuacije, koji se u osnovi mogu klasifikovati u mikroskopske i makroskopske (Dhamala & Adhikari, 2018), razvijeni su iz ovog razloga - uključujući modele zasnovane na simulaciji i modele zasnovane na optimizaciji (Xiongfei, Qixin, Rachel, & Bin). Neki od značajnijih uključuju: model odluke za hitnu evakuaciju nuklearnih nesreća (Deng et al., 2018); generički okvir simulacije ponašanja zasnovanog na percepciji koji ima potencijal da poboljša tehnologiju nuklearne bezbednosti

dopunjavanjem makroskopskih analiza za napredne zaštitne mere (Kim, Kim, & Kim, 2020); modeliranje zasnovano na agentima (ABM) (Hwang & Heo, 2021); *Contraflow* koji je pribavio značajnu pažnju u literaturi o evakuaciji, jer pronalaženjem idealnog pravca traka putne mreže može se povećati protok i smanjiti vreme evakuacije u poređenju sa evakuacijom u postojećoj rekonfiguraciji puta i primenljivo je za smanjenje zagušenja, eliminiše prelaz na raskrsnicama i gužve u saobraćaju u svakodnevnim špicama (Dhamala & Adhikari, 2018) itd. Poseban značaj postojećih modela ponašanja i odlučivanja, a posebno njihove fleksibilne kombinacije, ogleđa se u značajnom doprinosu u stvaranju najboljeg plana evakuacije za upravljanje svakom krizom sa jedinstvenim karakteristikama, umesto da se pribegava fiksnom planu evakuacije (Yuan et al., 2017).

Evakuaciju ljudi sa ugroženog područja naređuje nadležni štab za vanredne situacije u skladu sa Zakonom o smanjenju rizika od katastrofa i upravljanja vanrednim situacijama i sva lica dužna su da postupaju u skladu sa naredbom ("Službeni glasnik RS", br. 87/2018). Takođe, spomenuti zakon predviđa da se u procesu planiranja i sprovođenja evakuacije ostvaruje saradnja sa Crvenim krstom, humanitarnim i drugim relevantnim organizacijama. Iako je stav nauke da je tokom nuklearne katastrofe neophodno evakuisati sva naselja u blizini direktno pogođenih mesta (taj krug je u Černobilju i Fukušimi iznosio nekoliko stotina kilometara) (Yoshioka-Maeda, Kuroda, & Togari, 2018), mnogi autori (Akabayashi & Hayashi, 2012; Thomas, 2017; Waddington, Thomas, Taylor, & Vaughan, 2017) su se složili da u slučaju Fukušime i Černobilja preseljenje velikog broja ljudi nije bilo najbolje i najrazumnije rešenje sa stanovišta troškova i rizika, kao i da su mere preseljenja posle Černobiljske nesreće bile razumne samo za između 9% i 22% pojedinaca, koji su na kraju preseljeni.

Pre ukidanja naloga za evakuaciju potrebno je uspostaviti životnu infrastrukturu i životnu sredinu u kojoj stanovnici mogu da žive. Što je duži period preseljenja, međutim, ovo postaje teže, odnosno, brzina obnavljanja ovih uslova je ključ za obnovu društva. U pripremi, razmatranja za ukidanje naloga za evakuaciju uključuju sveobuhvatno nadgledanje životne sredine, dekontaminaciju, nadgledanje hrane i vode i procenu doze zračenja u dnevnom i radnom okruženju na tom području (Ohba, Tanigawa, & Liutsko, 2021).

3. Komunikacija o riziku u uslovima nuklearne katastrofe tokom evakuacije

Efikasna komunikacija o riziku ima presudnu ulogu u smanjenju gubitaka života i imovine kada se pojavi nuklearni neuspeh. Planiranje, razvijanje i održavanje sistema upozorenja pruža najznačajniji doprinos efikasnom odvijanju same evakuacije. Kao što ističu Kvaranteli i saradnici (Rodríguez et al., 2007) sistemi upozorenja predstavljaju više od tehnologije, uključuju ljudsku komunikaciju, menadžment i donošenje odluka, što je potvrdilo iskustvo od 11. septembra 2001. godine.

Neadekvatna komunikacija o riziku uzrokuje strah, nepoverenje, stres i paniku u javnosti zbog poteškoća u odlukama koje ljudi treba da donesu – npr. šta mogu bezbedno da jedu, šta ne itd. Nedostatak odgovarajućih informacija može dovesti do određenih ekstrema u ponašanju poput izbegavanja mlečnih proizvoda i konzumacije neproverene hrane, koja u stvari može imati visok nivo radioaktivnosti. Od početka krize u Fukušimi vlada je imala nejasne izjave da “neće biti trenutnih učinaka na ljudsko zdravlje”, što je uzrokovalo nejasnoće i pitanja da li se uopšte ne treba brinuti o posledicama po zdravlje ili će one nastupiti kasnije (Murakami & Tsubokura, 2017). Takođe, merama koje je SSSR preduzeo nakon černobiljske katastrofe nedostajale su doslednost i jasnoća i nisu bile efikasne u obezbeđivanju hrane za pogođene ljude. Vlada je pokazala i nedostatak pažnje prema socijalnoj pravdi u svojim odnosima sa ljudima koji su se vratili na kontaminirano područje, ignorišući vladinu politiku da ne smeju da se drže podalje. Ti ljudi i dalje pate od nesigurnosti u pogledu hrane (Belyakov, 2015).

Vladini odgovori bili bi efikasniji u nekim regionima da je pokrenut pravovremeni program distribucije adekvatne, bezbedne alternativne hrane iz nepogođenih područja, posebno radioprotektora poput polifenola jabuke, izoflavona soje itd. (Belyakov, 2015). Pored toga, u skladu sa teorijom potiskivanja (*Nudge theory*), koja se koristi za komunikaciju sa pojedincima ili više ljudi, nečija svest o riziku i odluke se razlikuju kada se saopšti da je „stopa preživljavanja je 90%“ ili, alternativno, da je „stopa smrtnosti 10%.“ Vrednosti dva izraza su potpuno iste, ali pojedincima, „stopa preživljavanja od 90%“ zvuči ohrabrujuće, dok je „stopa smrtnosti od 10%“ zastrašujuća. Dakle, uprkos tačnosti i razumljivosti oba izraza, način prenošenja informacija ima različit uticaj na percepciju i odgovor javnosti (Murakami & Tsubokura, 2017).

Javni zdravstveni organi i stručnjaci igraju važnu ulogu u komunikaciji o riziku, te je za prevazilaženje poteškoća u komunikaciji sa rizikom i obezbeđivanja pomoći u odlučivanju za zaštitu radnika, ranjivih ljudi i stanovnika nakon nuklearne katastrofe, potrebno da svi relevantni subjekti odgovora da prođu sveobuhvatne obuke o odgovoru na nuklearnu katastrofu. Otvoren i zajednički proces učenja je od suštinske važnosti za pripremu i minimiziranje efekata budućih nuklearnih katastrofa (Ohtsuru et al., 2015).

Neke od karakteristika efikasne strategije komunikacije tokom evakuacije uključuju: uverljivost, za cilj imaju smanjenje anksioznosti, uključuju poslovne i stambene objekte, utvrđuju rizike kojima je oblast izložena, uzimaju u obzir različite invalidnosti i jezičke potrebe, održavaju kontakte sa evakuisanima dok su daleko od svojih domova, razmatrane su i fleksibilne u odnosu na promenljive okolnosti i dopunjene po potrebi, koriste različite medije i komunikacione metode, uključujući lokalni radio, komercijalne i društvene radio stanice, elektronske medije, objave i odlazak od vrata do vrata (London Emergency Services Liaison, 2007). Pored toga, Koveljo i Alen (Covello & Allen, 1988) su istakli sedam ključnih pravila uspešnog kriznog komuniciranja: cilj komunikacije u krizama podrazumeva informisanu javnost i prihvatanje iste kao partnera; pažljivo planiranje i evaluacija komunikacione strategije; oslušivanje javnosti; iskrenost, poštenje i otvorenost; saradnja sa ostalim verodostojnim izvorima; zadovoljavanje potreba medija; govoriti jasno i empatično.

4. Uticaj evakuacije na zdravlje

Pored dobro poznatih zdravstvenih rizika od zračenja koji su predmet brojnih studija, kretanje i evakuacija takođe predstavljaju ozbiljne rizike za starije osobe. Stoga je razmatranje uticaja evakuacije na zdravlje od suštinske važnosti za planiranje katastrofa, posebno za ranjive starije populacije, što potvrđuju podaci o stopi smrtnosti među institucionalizovanim starijim osobama nakon evakuacije u Fukušimi koja je bila izuzetno visoka tokom prva tri meseca (Yasumura, 2014). Takođe, uporednom analizom o preživljavanju evakuisanih i neevakuisanih stanovnika u ustanovama za negu starijih, nakon incidenta u Fukušimi (Nomura et al., 2016), utvrđeno je da doživljaj katastrofa nije imao značajan uticaj na smrtnost. Evakuacija je povezana sa 1,82 puta većim mortalitetom nakon prilagođavanja

mešačima, s početnom evakuacijom iz originalnog objekta povezanim sa 3,37 puta većim rizikom smrtnosti od neevakuacije. Shodno tome, autori su istakli da bi vlada trebalo da razmotri ažuriranje svojih zahteva za planiranje vanrednih situacija za staračke ustanove i da obezbedi da, u uslovima katastrofe, ti objekti imaju kapacitet i podršku da se sklone barem na dovoljno vremena da adekvatno pripreme početnu evakuaciju (Nomura et al., 2016).

Glavni uzroci smrti povezani sa katastrofom u Fukušimi bili su „fizička i mentalna iscrpljenost usled evakuacije“, „fizička i psihološka iscrpljenost putovanjem u evakuaciona područja“, i „pogoršanje postojećih bolesti zbog toga što bolnice nisu u stanju da operišu“ (Hayakawa, 2016). Postoji i značajan broj izveštaja o smrtnim slučajevima evakuisanih ljudi zbog teških životnih uslova u centrima za evakuaciju. Fizički i mentalni rizici života u nepoznatom i lošem okruženju takođe su veoma značajni. Centri za evakuaciju predstavljali su hitnije, direktne i ozbiljne fizičke i mentalne rizike za starije osobe od neznatno povećanog rizika od budućeg raka zbog izlaganja zračenju (Akabayashi & Hayashi, 2012).

Nakon spomenute nesreće i prisilne evakuacije pacijenata u bolnici Takano, 22 km južno od elektrane, pacijent sa šizofrenijom, koji je bio hospitalizovan na psihijatrijskom odeljenju više od 20 godina, prebačen je i doživeo niz bolničkih preseljenja. Iako je njegov fizički status bio netaknut kada je napustio bolnicu, njegovo stanje se postepeno pogoršavalo, verovatno zbog nepotpune razmene podataka o pacijentima između ustanova i promena u okruženju lečenja. Pošto je nekoliko dana pre toga razvio ileus, bio je prikovan za krevet kada se vratio u bolnicu Takano u maju 2011., gde je tokom lečenja razvio je aspiracijsku upalu pluća i umro u avgustu iste godine (Sonoda et al., 2019). Pregledom medicinske dokumentacije otkriveno je da su svi njegovi purgativni lekovi bili zaustavljeni nakon evakuacije, doprinoseći time razvoju ileusa. Ovaj slučaj takođe naglašava neophodnost uspostavljanja sistema koji omogućava razmenu informacija o pacijentima između ustanova u okruženjima za katastrofe i važnost prepoznavanja da bi dugoročna evakuacija mogla imati fatalne posledice za psihijatrijske pacijente (Sonoda et al., 2019).

Spomenuti i brojni drugi slučajevi ukazuju na sledeće faktore treba imati u vidu prilikom razvoja plana evakuacije za bolnice i ustanove za negu: raspored bolnica i domova za negu, broj primljenih pacijenata, redosled prioriteta evakuacije, prevozno sredstvo i pomoćno osoblje, put evakuacije,

lokacije i kapaciteti prihvatnih objekata, i lokacija punktova za nadzor zračenja i pristup informacijama (Orita et al., 2015).

5. Zaključak

U slučajevima nuklearnih katastrofa u Černobilju i Fukušimi, o kojima je u radu bilo najviše osvrta, evakuacija pogođenog stanovništva imala je isti cilj: smanjenje izloženosti zračenju. Međutim, nije u dovoljnoj meri uzela u obzir druge značajne faktore poput pravila o komunikaciji o riziku, psiholoških i fizičkih posledica preseljenja koje su nastupile, kao i sigurnosti i bezbednosti zaliha hrane. Imajući u vidu da u slučaju nuklearnog incidenta velikih razmera ljudi moraju u vrlo kratkom roku da odluče o mestu evakuacije, efikasna primena mera ublažavanja katastrofa zahteva poznavanje i razumevanje faktora koji određuju znanje ljudi o putevima evakuacije i ponašanje u takvim uslovima, kao i sačinjavanje planova za reagovanje u skladu sa njima.

Neophodno je sprovođenje evakuacije u skladu sa unapred pripremljenim efikasnim planom, jer nepripremljena evakuacija može biti komplikovana i opasna, naročito u nedostatku postojanja odgovarajućeg sistema medicinske podrške. Utvrđeno je da su, uprkos postojanju propisanih kriterijuma za ovu zaštitnu meru, uzroci smrti u prethodnim nuklearnim katastrofama kao i fizičke i mentalne posledice u velikoj meri povezani i sa načinom evakuacije pogođenih ljudi i načinom postupanja sa njima nakon sprovedene evakuacije. Ovo je neophodno uzeti u obzir u pogledu spremnosti i reagovanja na potencijalne katastrofe u budućnosti. Na kraju, neophodno je sve naučene lekcije implementirati u planiranje spremnosti i reagovanje na katastrofe, uzimajući u obzir kako radiološku zaštitu tako i rizike povezane sa evakuacijom.

Reference

1. Akabayashi, A., & Hayashi, Y. (2012). Mandatory evacuation of residents during the Fukushima nuclear disaster: an ethical analysis. *Journal of Public Health*, 34(3), 348-351.

2. Aulady, M. F. N., & Fujimi, T. (2020). *The influence of three basic attributes toward evacuation route knowledge among poor people community.*
3. Belyakov, A. (2015). From Chernobyl to Fukushima: an interdisciplinary framework for managing and communicating food security risks after nuclear plant accidents. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 5(3), 404-417.
4. Buddemeier, B. R., & Dillon, M. B. (2009). *Key response planning factors for the aftermath of nuclear terrorism.* Retrieved from
5. Carnegie, J., & Deka, D. (2010). *Using hypothetical disaster scenarios to predict evacuation behavioral response.* Retrieved from
6. Covello, V. T., & Allen, F. (1988). Seven cardinal rules of risk communication. US Environmental Protection Agency. *Policy Document OPA-87-020, Washington, DC.*
7. Cutter, S., & Barnes, K. (1982). Evacuation behavior and three mile island. *Disasters*, 6(2), 116-124.
8. Cvetković & Martinović (2021). *Upravljanje u nuklearnim katastrofama.* Beograd: Naučno-stručno društvo za upravljanje rizicima u vanrednim situacijama.
9. Cvetković, V. M., & Gačić, J. (2016). *Evakuacija u prirodnim katastrofama.* Beograd: Zadužbina Andrejević.
10. Cvetković, V., & Martinović, J. (2020). Innovative solutions for flood risk management. *International Journal of Disaster Risk Management*, 2(2), 71-100.
11. Cvetković, V., Nikolić, N., Nenadić, R. U., Ocal, A., & Zečević, M. (2020). Preparedness and Preventive Behaviors for a Pandemic Disaster Caused by COVID-19 in Serbia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 4124.
12. Cvetković, V., Öcal, A., Lyamzina, Y., Noji, E., Nikolić, N., & Milošević, G. (2021). Nuclear Power Risk Perception in Serbia: Fear of Exposure to Radiation vs. Social Benefits. *Energies*, 14, 2464.
13. Cvetković, V., & Grbić, L. (2021). Public perception of climate change and its impact on natural disasters. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic*, 71(1), 43-58.
14. Cvetković, V., & Svrđlin, M. (2020). Vulnerability of women to the consequences of naturally caused disasters: the Svilajnac case study -

- Ugroženost žena od posledica prirodno izazvanih katastrofa: studija slučaja Svilajnac. *Bezbednost*, 62(3), 43-61.
15. Cvetković, V., & Jovanović, M. (2020). Examination of the factors that influence public perception of mythically-based human behavior in disaster conditions. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 100(2), 161-179.
 16. Deng, Y., Zou, S., & You, D. (2018). Theoretical guidance on evacuation decisions after a big nuclear accident under the assumption that evacuation is desirable. *Sustainability*, 10(9), 3095.
 17. Denis, H. (1995). Scientists and disaster management. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*.
 18. Dhamala, T. N., & Adhikari, I. M. (2018). On evacuation planning optimization problems from transit-based perspective. *International Journal of Operations Research*, 15(1), 2947.
 19. Do, X. B. (2019). Fukushima Nuclear Disaster displacement: How far people moved and determinants of evacuation destinations. *International journal of disaster risk reduction*, 33, 235-252.
 20. Hayakawa, M. (2016). Increase in disaster-related deaths: risks and social impacts of evacuation. *Annals of the ICRP*, 45(2_suppl), 123-128.
 21. Hussaini, A. (2020). Environmental Planning for Disaster Risk Reduction at Kaduna International Airport, Kaduna Nigeria. *International Journal of Disaster Risk Management*, 2(1).
 22. Hwang, Y., & Heo, G. (2021). Development of a radiological emergency evacuation model using agent-based modeling. *Nuclear Engineering and Technology*.
 23. Jha, D. (2020). Indicator based assessment of integrated flood vulnerability index for Brunei Darussalam. *International Journal of Disaster Risk Management*, 2(2).
 24. Kaur, B. (2020). Disasters and exemplified vulnerabilities in a cramped Public Health Infrastructure in India. *International Journal of Disaster Risk Management*, 2(1).
 25. Keeney, R. L., & Von Winterfeldt, D. (1986). Improving risk communication. *Risk analysis*, 6(4), 417-424.
 26. Kim, J., Kim, B.-J., & Kim, N. (2020). Perception-based analytical technique of evacuation behavior under radiological emergency: An illustration of the Kori area. *Nuclear Engineering and Technology*.

27. Kim, Y., Kim, M., & Kim, W. (2013). Effect of the Fukushima nuclear disaster on global public acceptance of nuclear energy. *Energy Policy*, 61, 822-828.
28. London Emergency Services Liaison, P. (2007). *LESLP major incident procedure manual*: The Stationery Office.
29. Morita, T., Nomura, S., Furutani, T., Leppold, C., Tsubokura, M., Ozaki, A., . . . Oikawa, T. (2018). Demographic transition and factors associated with remaining in place after the 2011 Fukushima nuclear disaster and related evacuation orders. *PLoS One*, 13(3), e0194134.
30. Murakami, M., & Tsubokura, M. (2017). Evaluating risk communication after the Fukushima disaster based on nudge theory. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 29(2_suppl), 193S-200S.
31. Nomura, S., Blangiardo, M., Tsubokura, M., Nishikawa, Y., Gilmour, S., Kami, M., & Hodgson, S. (2016). Post-nuclear disaster evacuation and survival amongst elderly people in Fukushima: A comparative analysis between evacuees and non-evacuees. *Preventive medicine*, 82, 77-82.
32. Öcal, A., Cvetković, V. M., Baytiyeh, H., Tedim, F. M. S., & Zečević, M. (2020). Public reactions to the disaster COVID-19: a comparative study in Italy, Lebanon, Portugal, and Serbia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1864-1885. doi:10.1080/19475705.2020.1811405
33. Ohba, T., Tanigawa, K., & Liutsko, L. (2021). Evacuation after a nuclear accident: Critical reviews of past nuclear accidents and proposal for future planning. *Environment international*, 148, 106379.
34. Ohtsuru, A., Tanigawa, K., Kumagai, A., Niwa, O., Takamura, N., Midorikawa, S., . . . Chhem, R. K. (2015). Nuclear disasters and health: lessons learned, challenges, and proposals. *The Lancet*, 386(9992), 489-497.
35. Olawuni, P., Olowoporoku, O., & Daramola, O. (2020). Determinants of Residents' Participation in Disaster Risk Management in Lagos Metropolis Nigeria. *International Journal of Disaster Risk Management*, 2(2).
36. Orita, M., Hayashida, N., Taira, Y., Fukushima, Y., Ide, J., Endo, Y., . . . Takamura, N. (2015). Measurement of individual doses of radiation by personal dosimeter is important for the return of residents from evacuation order areas after nuclear disaster. *PLoS One*, 10(3), e0121990.
37. Perry, R. W. (1981). *Citizen evacuation in response to nuclear and non-nuclear threats*. Retrieved from

38. Rodríguez, H., Quarantelli, E. L., Dynes, R. R., Andersson, W. A., Kennedy, P. A., & Ressler, E. (2007). *Handbook of disaster research* (Vol. 643): Springer.
39. Sheppard, B., Rubin, G. J., Wardman, J. K., & Wessely, S. (2006). Terrorism and dispelling the myth of a panic prone public. *Journal of public health policy*, 27(3), 219-245.
40. Sonoda, Y., Ozaki, A., Hori, A., Higuchi, A., Shimada, Y., Yamamoto, K., . . . Tsubokura, M. (2019). Premature death of a schizophrenic patient due to evacuation after a nuclear disaster in Fukushima. *Case reports in psychiatry*, 2019.
41. Tanigawa, K., Hosoi, Y., Hirohashi, N., Iwasaki, Y., & Kamiya, K. (2012). Loss of life after evacuation: lessons learned from the Fukushima accident. *The Lancet*, 379(9819), 889-891.
42. Thomas, P. J. (2017). Quantitative guidance on how best to respond to a big nuclear accident. *Process Safety and Environmental Protection*, 112, 4-15.
43. Uredba o sprovođenju evakuacije, „Službeni glasnik RS“, broj 22 od 31. marta 2011.
44. Waddington, I., Thomas, P. J., Taylor, R. H., & Vaughan, G. J. (2017). J-value assessment of relocation measures following the nuclear power plant accidents at Chernobyl and Fukushima Daiichi. *Process Safety and Environmental Protection*, 112, 16-49.
45. Weinisch, K., & Brueckner, P. (2015). The impact of shadow evacuation on evacuation time estimates for nuclear power plants. *Journal of emergency management (Weston, Mass.)*, 13(2), 145-158.
46. Xiongfei, Z., Qixin, S., Rachel, H., & Bin, R. (2010). *Network emergency evacuation modeling: A literature review*.
47. Yamin, T. (2011). Nuclear disaster management. *IPRI Journal XI(2)*, 80-101.
48. Yasumura, S. (2014). Evacuation effect on excess mortality among institutionalized elderly after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Fukushima journal of medical science*.
49. Yoshioka-Maeda, K., Kuroda, M., & Togari, T. (2018). Difficulties of fathers whose families evacuated voluntarily after the Fukushima nuclear disaster. *Nursing & health sciences*, 20(3), 296-303.
50. Yuan, H., Wang, R., Zhang, X., Hu, Y., Zhang, F., Zhu, T., & Liu, H. (2019). Evacuation strategy optimization study based on system theory. *IEEE Access*, 7, 111232-111244.

51. Yuan, S., Chun, S. A., Spinelli, B., Liu, Y., Zhang, H., & Adam, N. R. (2017). Traffic evacuation simulation based on multi-level driving decision model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 129-149.
52. Zakon o smanjenju rizika od katastrofa i upravljanja vanrednim situacijama, Službeni Glasnik RS br. 87/2018.
53. Zeigler, D. J., Brunn, S. D., & Johnson Jr, J. H. (1981). Evacuation from a nuclear technological disaster. *Geographical review*, 1-16.

Review scientific paper

EVACUATION IN NUCLEAR DISASTERS

Jovana Martinović¹

¹ Scientific-Professional Society for Disaster Risk Management, Beograd;
jovanamartino@gmail.com

Abstrakt: Given the growing number of countries in possession of nuclear weapons and nuclear power plants, as well as the complexity of nuclear-related disasters, there is a growing need to improve risk mitigation and management mechanisms for nuclear disasters. Thorough consideration and planning of evacuation, as one of the most important phases of disaster management, is essential to reduce the negative impacts on society and the environment in the event of their occurrence. Therefore, this paper discusses past experiences, lessons learned, and identified weaknesses in the evacuation planning and implementation process that need more attention in the future. Improving the perception of risk of nuclear disasters through adequate and continuous educational programs, providing psychological and health support after the evacuation of the endangered population and developing effective plans for the protection of the public and workers are some of the most important predictors of successful response to nuclear disasters.

Keywords: nuclear energy; nuclear disasters; evacuation; planning; preparedness.