

PRISTUPI, TEHNIKE I METODE OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA U SMANJIVANJU RIZIKA OD KATASTROFA

APPROACHES, TECHNIQUES AND METHODS OF OPERATIONAL RESEARCH IN DISASTER RISK REDUCTION

JELENA ANDREJA RADAKOVIĆ¹, DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ²

¹ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, jelenaandreja.radakovic@fon.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, dragana.makajic-nikolic@fon.bg.ac.rs

Rezime: U 21. veku, uprkos svim naprecima u tehnologiji, neminovna je činjenica da se broj katastrofa povećava. Bile to prirodne, antropogene ili hibridne katastrofe, njihova frekvencija je učestalija. Katastrofe svake godine odnesu veliki broj ljudskih života, devastiraju životnu sredinu i prave značajne ekonomske gubitke. Uloga operacionih istraživanja u proučavanju i minimiziranju rizika od katastrofa je ključna i sve bitnija. Smanjenje rizika od katastrofa, udruženo sa naporima zasnovanim na odgovoru i oporavku, čini osnovu savremenog upravljanja rizikom od katastrofa. Iz ovih razloga primenjuju se različiti pristupi tehnike i metode operacionih istraživanja. U ovom radu su posebno prikazani Analiza stabla neispravnosti i Analiza stabla događaja.

Ključne reči: Operaciona istraživanja, Katastrofe, Rizik od katastrofa, Smanjivanje rizika od katastrofa

Abstract: In the 21st century, despite all the advances in technology, the fact that the number of catastrophes is increasing is inevitable. Be it natural, anthropogenic or hybrid disasters, their frequency is raising. Every year, catastrophes take a large number of human lives, devastate the environment and cause significant economic losses. The role of operational research in studying and minimizing disaster risk is crucial and increasingly important. Disaster risk reduction, coupled with response and recovery-based efforts, forms the basis of modern disaster risk management. For these reasons, different approaches to techniques and methods of operational research are applied. In this paper, Fault Tree Analysis and Event Tree Analysis are presented separately.

Keywords: Operational Research, Disasters, Disaster Risk, Disaster Risk Reduction

1. UVOD

Katastrofe su veliki nerešivi problemi koji ispituju sposobnost zajednica i nacija da efikasno zaštite stanovništva i infrastrukture, kako bi se smanjio i gubitak ljudi i imovine, a sistem brzo oporavio. Pravidna slučajnost uticaja i problema i jedinstvenost incidenata zahtevaju dinamična, efikasna i ekonomska rešenja u realnom vremenu, što katastrofe čini veoma „pogodnim” za primenu operacionih istraživanja, tako da je sve više istaknuta potreba za proučavanjem i primenom različitih pristupa, tehnika i metoda operacionih istraživanja u upravljanju katastrofama.

Većina istraživanja u upravljanju katastrofama odnosi se na društvene nauke. Ova vrsta istraživanja usredsređena je na rezultate katastrofa, sociološke uticaje na zajednice, psihološke efekte na preživeli i spasilačke timove, kao i na organizacioni dizajn i probleme u komunikaciji.

S druge strane, definicija operacionih istraživanja nije unificirana. Churchman i ostali [4] definišu operaciona istraživanja kao primenu naučnih metoda, tehnika i alata na probleme koji uključuju rad sistema, kako bi onima koji upravljaju operacijama pružili optimalna rešenja problema. Winston [21] ih definiše kao naučni pristup donošenju odluka, koji nastoji da odredi kako najbolje dizajnirati i upravljati sistemom, obično pod uslovima koji zahtevaju alokaciju oskudnih resursa. Asocijacija evropskih društava za operaciona istraživanja (*Association of European Operational Research Societies* – EURO) definiše operaciona istraživanja kao naučni pristup rešavanju problema u upravljanju složenim sistemima u promenljivom okruženju što po samoj svojoj definiciji implicira primenljivost operacionih istraživanja u smanjivanju rizika od katastrofa i upravljanju katastrofama.

2. HAZARDI I KATASTROFE

Hazardi su preduslov svakog rizičnog događaja i predstavljaju stvarno ili potencijalno stanje koje može da izazove eventualne povrede, bolesti ili smrti, štetu po životnu sredinu, štetu ili potpuni gubitak sistema, opreme ili imovine [5, 9]. Samim tim, hazard je i preduslov pojavljivanja hazardnog (neželjenog) događaja. Ovakvi događaji možda se nikada ne bi ni desili kada ljudi ne bi bili izloženi hazardima ili kada bi sistemске barijere efikasno sprečavale hazardne događaje [14]. Hazardni događaj prvi je u nizu događaja koji ukoliko nisu kontrolisani vode do neželjenih posledica [13]. Ovakav događaj može predstavljati momenat nakon koga je kontrola hazarda izgubljena i nakon čega je bilo kakav uticaj na njega moguć samo u vidu sanacije njegovih rezultujućih negativnih posledica. U literaturi hazardni događaji zovu se takođe i: nesreće, nesrećni događaji, neželjeni događaji, devijacije, neispravnosti, početni događaji, itd.

Prema Kancelariji ujedinjenih nacija za smanjivanje rizika od katastrofa (*United Nations Office for Disaster Risk Reduction – UNDRR*) [20] hazardi su potencijalno štetni fizički događaji, fenomeni i/ili ljudske aktivnosti koji mogu da prouzrokuju gubitak ljudskih života ili povrede, oštećenje imovine, društvena i ekonomska ometanja ili ekološku degradaciju. Oni mogu biti pojedinačni, sekvencijalni ili kombinovani u odnosu na svoje poreklo i efekte.

Katastrofe su prouzrokovane hazardima. Hazarde treba razlikovati od događaja i rizika. U literaturi koja obrađuje ovu tematiku, neki autori ograničavaju hazarde na prirodno izazvane događaje, dok drugi uključuju i događaje izazvane ljudskim aktivnostima.

Iako nijedna definicija katastrofa nije generalno prihvaćena i njihova formulacija zavisi od oblasti istraživanja [17], definicija UNDRR-a je jedna od najopsežnijih. Prema UNDRR [18], katastrofa je ozbiljan poremećaj u funkcionisanju zajednice ili društva koji uključuje kako ljudske, tako i materijalne, ekonomske ili gubitke životne sredine, kao i negativne uticaje, prevazilazeći sposobnost pogođene zajednice ili društva da se nosi sa posledicama sopstvenim resursima. Pored toga, Centar za istraživanje epidemiologije katastrofa (*Center for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED*), koji održava Bazu podataka o hitnim događajima (*Emergency Events Database – EM-DAT*), definiše katastrofe kao događaje gde je prijavljeno deset ili više poginulih ljudi; 100 ljudi je prijavljeno kao pogođeno; upućen je poziv za međunarodnu pomoć; proglašeno je vanredno stanje [10].

Prema autoru Fritz [6], katastrofa je događaj koji je vremenski i prostorno ograničen, u kome nastaju fizičke štete i oštećenja nekih suštinskih funkcija društva. Fizička oštećenja i socijalni poremećaji (sada se češće nazivaju fizičkim i socijalnim uticajima) nastaju zato što događaj prevazilazi uobičajenu zaštitu [7]. Zahtev da se događaj koncentriše na vreme i prostor od suštinske je važnosti za razlikovanje smrtnih slučajeva u zemljotresima koji bi mogli da broje i 50 smrtnih slučajeva u roku od nekoliko minuta od smrtnih slučajeva sudara automobila koji u Sjedinjenim Američkim Državama, na primer, broje približno 40.000 godišnje.

Prema Ujedinjenim nacijama pod pojmom katastrofe podrazumevaju se rezultati hazarda uz nedovoljnu mogućnost izbegavanja ili smanjenja nastalih negativnih posledica [12], dok prema Zakonu o vanrednim situacijama Republike Srbije katastrofa je elementarna nepogoda ili druga „nesreća i događaj koji veličinom, intenzitetom i neočekivanošću ugrožava zdravlje i živote većeg broja ljudi, materijalna dobra i životnu sredinu, a čiji nastanak nije moguće sprečiti ili otkloniti redovnim delovanjem subjekata odbrane” [23].

3. METODE I TEHNIKE ZA PROCENU I SMANJIVANJE RIZIKA OD KATASTROFA

Smanjivanje rizika od katastrofa (*Disaster Risk Reduction – DRR*) ima za cilj prevenciju nastanka novih rizika od katastrofa kao i smanjenje već nastalih, čime se jača društveno-ekonomska otpornost na katastrofe, smanjuju negativni posledični uticaji na životnu sredinu, te tako ostvaruju i ciljevi održivog razvoja [19]. Tako, se već u Jokahama strategiji i planu za akciju za bezbedniji svet (*Yokohama Strategy and Plan of Action for a Safer World*) [22] kao prvom međunarodnom okviru za DRR, prepoznaje veza između održivog razvoja i DRR-a, da bi se nastavilo sa jačanjem ove povezanosti kako u Milenijumskim ciljevima razvoja (*Millennium Development Goals – MDGs*), tako i u Planu implementacije iz Johanesburga (*Johannesburg Plan of Implementation*), „Hjogo okviru za akciju (2005-2015)” (*“Hyogo Framework for Action (2005-2015)”*), dokumentu „Budućnosti koju želimo” (*“Future We Want”*), Sendai okviru za DRR (*Sendai Framework for DRR*) i 2030 Agendi za održivi razvoj (2030 *Agenda for Sustainable Development*).

DRR zahteva pristup usmeren na ljude i više sektora, izgradnju otpornosti na višestruke, kaskadne i interaktivne hazarde i stvaranje kulture prevencije i otpornosti. Stoga uključuje strategije dizajnirane da:

- izbegavaju stvaranja novih rizika,
- se bave postojećim rizicima,

- bi sprečile da gubici od katastrofa budu apsorbovani u drugim razvojnim ishodima uz stvaranje dodatnog siromaštva.

Smanjenje rizika od katastrofa predstavlja osnovu savremenog upravljanja rizikom od katastrofa (*Disaster Risk Management – DRM*), a zasniva se na hitnim odgovorima i oporavcima od katastrofalnih događaja [9].

Iako DRM uključuje aktivnosti pripremljenosti i reagovanja na katastrofe, predstavlja mnogo više od upravljanja katastrofama [18].

Kada se govori o upravljanju pouzdanošću, rizikom i sigurnošću sistema, treba naglasiti da se u ovoj oblasti koristi preko 700 metoda i tehnika koje mogu da budu specijalizovane ili opšte [8]. Razvoju ovako velikog broja metoda i tehnika je doprineo razvoj računara, posebno kada je u pitanju prikupljanje i obrada podataka.

Faza procene i analize rizika se smatra najkompleksnijom i zahtevnom fazom u upravljanju pouzdanošću i rizikom. Neke od najpoznatijih metoda u fazi procene i analizi rizika su [5]:

- Analiza stabla događaja,
- Analiza stabla neispravnosti,
- Analiza načina i efekata otkaza (*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*),
- Binarni dijagrami odlučivanja (*Binary Decision Diagram – BDD*),
- Modeli Markova (*Markov Analysis*),
- Petrijeve mreže (*Petri Nets – PN*),
- Preliminarna analiza hazarda (*Preliminary Hazard Analysis – PHA*),
- ...

4. PRIMENE METODA ZA SMANJIVANJE RIZIKA OD KATASTROFA: ANALIZA STABLA NEISPRAVNOSTI I ANALIZA STABLA DOGAĐAJA

Donošenje odluka u svrhu smanjivanja rizika od katastrofa uključuje više zainteresovanih strana - stejkholdera, regiona i sektora, kao i više ciljeva koji se odnose na upotrebu resursa i koristi. U slučaju prilagođavanja ovim ekstremnim događajima, treba takođe sprovesti i modeliranje puteva udara i posledica od katastrofa [15]. Konsultuju se stručnjaci koji predstavljaju potencijalno pogođene infrastrukturne usluge o upotrebljivosti metoda kao što su Analiza stabla neispravnosti (*Fault Tree Analysis – FTA*) i Analiza stabla događaja (*Event Tree Analysis – ETA*) za pružanje strukturiranih informacija o scenarijima katastrofa, uticajima i posledicama sistema, rizicima i protivmerama. Glavni korisnici rezultata analize su vlasnici imovine i lokalni donosioci odluka čiji su zajednički naporu obično potrebni za finansiranje i određivanje prioriteta takvih mera prilagođavanja.

FTA prema autorima Badida i ostali [2] je važna tehnika procene rizika koja verovatnoće otkaza komponenata tretira kao tačne vrednosti za procenu verovatnoće pojave vršnog događaja. Zbog nedostatka istorijskih podataka za izračunavanje stope otkaza cevovoda usled prirodnih hazarda, njihova studija imala je za cilj da analizira verovatnoću kvara cevovoda korišćenjem Fazi analize stabla neispravnosti (*Fuzzy Fault Tree Analysis – FFTA*) uz stručno navođenje. Za rangiranje primarnih događaja korišćena je *Fussel-Vesely* mera značajnosti. Predloženi okvir FFTA korišćen je za analizu pojave najvažnijih događaja čak i u odsustvu istorijskih podataka o verovatnoći.

U još jednom zanimljivom primeru primene FTA na katastrofe, autori Baum i ostali [3] u svom radu procenjuju verovatnoće izbijanja nuklearnog rata. Ova verovatnoća je glavni faktor u mnogim važnim političkim pitanjima, ali je privukla malo pažnje naučnika. Ovaj rad predstavlja model za izračunavanje ukupne verovatnoće nuklearnog rata. Model se zasniva na 14 međusobno povezanih scenarija kako može izbiti nuklearni rat, pokrivajući možda čitav niz scenarija nuklearnog rata. Scenariji se razlikuju u zavisnosti od faktora, uključujući da li država namerava da izvrši prvi udarni napad, da li nuklearnom napadu prethodi konvencionalni rat ili neratna kriza, da li je eskalacija namerna ili nenamerna, prisustvo lažnih alarma različitih vrsta, kao i prisustvo neratnih nuklearnih detonacija poput nuklearnog terorizma. Kao prvi korak ka kvantifikovanju verovatnoće nuklearnog rata pomoću modela, rad takođe uključuje i niz istorijskih incidenata koji bi mogli da pređu u nuklearni rat. Uključeno je 60 istorijskih incidenata, što ga čini možda trenutno najvećim dostupnim skupom podataka u ovoj oblasti.

U radu autora Santos i ostali [16], strategije upravljanja rizikom od nastajanja suša uzimaju u obzir i direktne i indirektne posledice poremećaja u snabdevanju vodom. Autori predlažu metodologiju za procenu strategija upravljanja sušom kombinovanjem ekonomskog input-output modeliranja sa ETA. Metodologiju primenjuju na simulirani scenario suše koji utiče na region glavnog grada Sjedinjenih Američkih Država – Vašington. Rezultati su pokazali da iako upravljanje potrošnjom vode donosi najmanji kumulativni ekonomski gubitak u regionu, smanjenje početnog nivoa poremećaja vodosnabdevanja i prioritet

zavisnostima korišćenja vode, rezultiraju manjom neoperabilnošću kritičnih sektora. Ova otkrića pružaju uvid donosiocima odluka u identifikovanje kritičnih sektora i formulisanje pravovremenih strategija intervencija koje umanjuju ukupne efekte suša na ekonomske sisteme.

Autori Neri i ostali [11] u svom radu istražuju primenljivost ETA na erupciji vulkana Vezuv. Autori ističu da da bi se postigla koherentnost podataka, postoji mnogo različitih vrsta dokaza objedinjenih unutar formalizovane strukture povezane stručnim znanjem. U tu svrhu, stablo događaja koje su kreirali ima zadatak da rezimira u numeričko-grafičkom obliku, na različitim nivoima relativne verovatnoće koje se odnose na genezu i stil erupcije vulkana, razvoj i prirodu vulkanskih hazarda i verovatnoće pojave različitih vulkanskih rizika. Formulacija stabla događaja pruža logičan put koji povezuje generičku verovatnoću procene hazarda sa kvantitativnom procenom rizika. Za ovaj sveobuhvatni pristup, bili su im potrebni iscrpni modeli rizika, kvantifikovani raspodelom nesigurnosti za sve uključene faktore. Prikazana je struktura stabla događaja erupcije Vezuva, a stablo događaja se proteže od hazarda od erupcije vulkana sve do ljudskog uticaja i posledica za infrastrukturu, formirajući kvantitativni sinoptički okvir za sveobuhvatnu procenu hazarda i mapiranje uticaja rizika. Organizacija stabla događaja na ovaj način omogućava autorima lako ažuriranje, kada i ako nove informacije postaju dostupne.

U radu autora Rosqvist i ostali [15] se ekspertima i državnim službenicima odgovornim za uzimanje u obzir mogućih efekata klimatskih promena u njihovim sektorima pokazuje korisnost metode ETA za procenu uticaja i podršku odlukama javnog sektora za upravljanje rizikom od poplava. Direktnе posledice širokog spektra uticaja se kategorišu prema ekonomskim, humanitarnim i ekološkim posledicama. U skladu sa osnovnom metodom ETA, autori su razvili model stabla događaja, nakon čega je on predstavljen ekspertima za poplave i menadžerima sektora u oblastima zgrada/nekretnina, vodoprivrede, električne i telekomunikacione mreže. Uloga eksperata bila je da daju stručne povratne informacije o pristupu ETA i pruže informacije za specifikaciju modela, posebno o funkcijama barijera i povezanim verovatnoćama uspeha/neuspeha. Ovaj rad demonstrira pristup u odnosu na tekuće inicijative za zaštitu od poplava grada Pori u Finskoj. Na osnovu povratnih informacija eksperata, za najperspektivnije područje primene pronađeno je upravljanje na nivou sektora lokalnih elektroenergetskih radova, upravljanje stambenim područjima, upravljanje oborinskim vodama itd.

Iako su se stručnjaci složili da je ETA korisna za donošenje odluka o zaštiti od poplava, primetili su da postoje neki izazovi i ograničenja u primeni pristupa: Opšti zaključci su bili da se ranjivost sistema i sektora neprestano menja zbog autonomne adaptacije. Uvedena generička struktura stabla događaja smatrana je adekvatnom za demonstraciju i diskusiju o ETA pristupu. Međutim, neki eksperti su predvideli situacije gde se redosled naglašavanja barijera u nekim slučajevima može razlikovati. Presude o verovatnoći grananja zahtevaju operativno iskustvo, dok generisanje alternativa za zaštitu od poplava i procena prihvatljivog rezidualnog rizika (ranjivosti) zahteva upravljačko iskustvo. Uslovljavanje verovatnoće grananja na trajanje poplave eksperti su ocenili zanimljivim, ali i donekle teškim za razumevanje zbog naprednijeg računa verovatnoće. Eksperti su lako razumeli rezultate u smislu godišnjeg rezidualnog rizika i troškova i koristi od ulaganja u novu kontrolu poplava (gde je korist bila smanjenje očekivanih direktnih troškova zbog štete). Numeričke analize osetljivosti smatrale su se neophodnim da bi se proverila robusnost rezultata. Uprkos gorenavedenim izazovima, ETA metoda je ocenjena kao korisna za strukturiranje problema procene uticaja i sistematizaciju procesa procene rizika u upravljanju rizikom od poplave, čak i ako bi numerički rezultati bili vrlo sirovi [15].

5. ZAKLJUČAK

Sa pojavom sve većih šteta i sve većeg broja žrtava od katastrofa pojačanog intenziteta i učestalosti, te sve manjeg uticaja lokalnih zajednica koje nemaju kapacitete da same odgovore na posledice katastrofa, javilo se interesovanje za procene rizika od katastrofa u naučnoj zajednici.

Kod primene operacionih istraživanja u proceni rizika od katastrofa i upravljanju katastrofama treba istaći da su autori Altay i Green III [1] uradili opsežni pregled literature objavljene u ovoj oblasti. Naučne radove su kategorisali na osnovu njihovog doprinosa znanju iz oblasti upravljanja katastrofama i na osnovu razvoja modela, razvoja teorije i razvoja primene (alata). Radovi koji razvijaju analitički model za rešavanje i analizu problema ili za procenu ishoda pripadaju prvoj grupi, istraživanje koje testira hipoteze, istražuje ponašanje sistema ili pruža okvir i unapređuje razumevanje nekih pojava na terenu svrstava se u klasu razvoja teorije, a istraživanje u kojem se proizvodi računarski alat ili razvija prototip spada u grupu za razvoj aplikacija.

Dalje u oblasti primenljivosti metoda ETA i FTA objavljeni radovi na ovu temu pokazuju da je moguće primeniti ove dve analize na procenu rizika, verovatnoća hazarda i posledica katastrofa. Takođe, pokazuju i da postoji prostor za proširenje istraživanja u ovoj oblasti.

LITERATURA

- [1] Altay, N., & Green III, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European journal of operational research*, 175(1), 475-493.
- [2] Badida, P., Balasubramaniam, Y., & Jayaprakash, J. (2019). Risk evaluation of oil and natural gas pipelines due to natural hazards using fuzzy fault tree analysis. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 66, 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2019.04.010>
- [3] Baum, S., de Neufville, R., & Barrett, A. (2018). A model for the probability of nuclear war. *Global Catastrophic Risk Institute Working Paper*, 18-1.
- [4] Churchman, C. W., Ackoff, R. L., & Arnoff, E. L. (1957). *Introduction to operations research*. John Wiley & Sons.
- [5] Ericson II, C. A. (2005). *Hazard Analysis technique for System Safety*. John Wiley & Sons.
- [6] Fritz, C. E. (1961). Disaster. In R. K. Merton & R. A. Nisbet (Eds.) *Contemporary Social Problems*. Harcourt, Brace and World, 651-694.
- [7] Kreps, G. (1984). Response to social crisis and disaster. *Annual Review of Sociology*, 10, 309-30.
- [8] Makajić-Nikolić, D. (2012). *Novi pristup analizi pouzdanosti sistema primenom inverznih Petrijevih mreža* [Nepublikovana doktorska disertacija]. Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka.
- [9] Makajić-Nikolić, D. (2020). Disaster Risk Reduction. In: Leal Filho W., Azeiteiro U., Azul A., Brandli L., Özuyar P., Wall T. (Eds.), *Climate Action. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71063-1_65-1
- [10] Mohamed Shaluf, I. (2007). Disaster types. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 16(5), 704-717. <https://doi.org/10.1108/09653560710837019>
- [11] Neri, A., Aspinall, W. P., Cioni, R., Bertagnini, A., Baxter, P. J., Zuccaro, G., Andronico, D., Barsotti, S., Cole, P. D., Esposti Ongaro, T., Hincks, T. K., Macedonio, G., Papale, P., Rosi, M., Santacroce, R., & Woo, G. (2008). Developing an event tree for probabilistic hazard and risk assessment at Vesuvius. *Journal of volcanology and geothermal research*, 178(3), 397-415. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.05.014>
- [12] Radaković, J. A., Drašković, B., Makajić-Nikolić, D., & Petrović, N. (2021 Septembar 20-23). Uloga nacionalnih platformi za smanjenje rizika od katastrofa u jačanju otpornosti na poplave i degradaciju životne sredine. U D. Urošević, M. Dražić & Z. Stanimirović (Eds.), *Zbornik radova XLVIII Simpozijuma o operacionim istraživanjima - SYM-OP-IS 2021*, (pp. 47-52), Banja Koviljača. Matematički fakultet Univerziteta u Beogradu: Beograd.
- [13] Rausand, M. (2013). *Risk assessment: theory, methods, and applications* (Vol. 115). John Wiley & Sons.
- [14] Renn, O. (2008). *Risk governance: coping with uncertainty in a complex world*. Earthscan.
- [15] Rosqvist, T., Molarius, R., Virta, H., & Perrels, A. (2013). Event tree analysis for flood protection - An exploratory study in Finland. *Reliability Engineering & System Safety*, 112, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.res.2012.11.013>
- [16] Santos, J. R., Pagsuyoin, S. T., Herrera, L. C., Tan, R. R., & Krista, D. Y. (2014). Analysis of drought risk management strategies using dynamic inoperability input-output modeling and event tree analysis. *Environment Systems and Decisions*, 34(4), 492-506
- [17] Shaluf, I. M., Ahmadun, F. L., & Mat Said, A. (2003). A review of disaster and crisis. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 12(1), 24-32.
- [18] United Nations Office for Disaster Risk Reduction – UNDRR. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Pristupljeno 27. maja 2022 sa https://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf. Accessed 16 July 2018
- [19] United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNDRR. (2020-2022). Disaster risk reduction. Pristupljeno 26. maja 2022 sa <https://www.undrr.org/terminology/disaster-risk-reduction#:~:text=Disaster%20risk%20reduction%20is%20aimed,the%20achievement%20of%20sustainable%20development>
- [20] United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNISDR (2009). *UNISDR terminology on disaster risk reduction*. United Nations.
- [21] Winston, W. L. (1994). *Operations research-Applications and algorithms*. Wadsworth

- [22] Yokohama Strategy and Plan of Action for a Safer World. (1994 May 23-27). World Conference on Natural Disaster Reduction, Yokohama, Japan. Pristupljeno 27. maja 2022 sa <https://www.eird.org/fulltext/Yokohama-strategy/Yokohama%20Strategy%20and%20Plan%20of%20Action%20for%20a%20Safer%20World.pdf>
- [23] Zakon o vanrednim situacijama Republike Srbije. (2012). „Sl. glasnik RS“, br. 111/2009, 92/2011 i 93/2012. Pristupljeno 21 maja 2022, sa http://eupravnik.rs/zakoni/zakon_o_vanrednim_situacijama.pdf