

**PROCENA LOKACIJA OBJEKATA ZA ODBRANU OD
POPLAVA PRIMENOM FUZZY SKUPOVA I OPA
ALGORITMA
ASSESSMENT OF FLOOD DEFENSE OBJECT
LOCATIONS USING FUZZY SETS AND OPA
ALGORITHM**

Dragan Pamučar¹, Nataša Petrović², Darko Božanić³, Jelena Andreja Radaković⁴

¹Univerzitet u Beogradu-Fakultet organizacionih nauka,
dragan.pamucar@fon.bg.ac.rs

²Univerzitet u Beogradu-Fakultet organizacionih nauka,
natasa.petrovic@fon.bg.ac.rs

³Univerzitet odbrane-Vojna akademija, darko.bozanic@va.mod.gov.rs

⁴Univerzitet u Beogradu-Fakultet organizacionih nauka,
jelenaandreja.radakovic@fon.bg.ac.rs

Apstrakt: *Poplave imaju značajne i velike posledice kako na životnu sredinu tako i na ljudsku civilizaciju. Ozbiljnost ovih posledica razlikuje se u zavisnosti od faktora kao što su veličina i intenzitet poplava, geografska lokacija i nivo pripremljenosti u pogođenim regionima. U ovom radu prikazana je primena fuzzy skupova i modela linearnog programiranja za izbor lokacije za izgradnju, rekonstrukciju i sanaciju objekata za odbranu od poplava. Matematički model koji je prikazan u radu poseduje mogućnost obrade subjektivnih preferencija i definisanja prioriteta alternativa, kriterijuma i donosioca odluke. Takođe, predloženi model omogućava obradu informacija u slučaju pojave nepotpunih i neodređenih preferencija donosioca odluke.*

Ključne reči: *Poplave, evaluacija lokacija, višekriterijumsko donošenje odluka, OPA, fuzzy skupovi.*

Abstract: *Floods have significant and major consequences for both the environment and human civilization. The severity of these consequences varies depending on factors such as the size and intensity of flooding, geographic location, and the level of preparedness in the affected regions. This paper presents the application of fuzzy sets and linear programming models for the selection of locations for the construction, reconstruction and rehabilitation of flood defense facilities. The mathematical model presented in the paper has the ability to process subjective preferences and define the priorities of alternatives, criteria and decision makers. Also, the proposed model enables the processing of information in case of incomplete and unspecified preferences of the decision maker.*

Key words: *Flooding, site evaluation, multi-criteria decision making, OPA, fuzzy sets.*

1. UVOD

„Što bolje, vlade, agencije UN, organizacije, preduzeća i civilna društva, razumeju rizik i ranjivost, to će biti bolje opremljene da ublaže posledice katastrofa kada se dogode i spasu više života.“- Ban Ki-moon, osmi Generalni sekretar Ujedinjenih nacija (2007-2016)

U 21. veku, ekološki problemi su dostigli kritičnu tačku i nastavljaju sa svojim negativnim trendom uticaja na životnu sredinu. U njih na prvom mestu spadaju globalno zagrevanje i posledične klimatske promene, pa zatim narušavanje ozonskog omotača, pogoršavanje uslova života, generisanje velikih količina otpada, povećanje radioaktivnosti, deforestacija, izumiranje biljnih i životinjskih vrsta... (Radaković et al., 2017).

Kada su u pitanju prirodne katastrofe treba istaći da se ljudi vekovima bore sa njima i njihovim razornim posledicama uz pokušaje da kontrolišu prirodu (Božanić, Pamučar, & Tešić, 2019). Poplave predstavljaju hazarde koji se prema svojim posledicama izdvajaju po velikom broju ljudskih žrtava i visokoj ekonomskoj šteti (Radaković, Makajić-Nikolić, & Petrović, 2021). Tako su poplave, kao najrasporstranjenije i sa najtežim posledicama uvršćene u prvih deset najgorih vrsta katastrofa (Ahmad, & Simonović, 2011; Gigović et al., 2016). Nažalost, predviđanja su da će u budućnosti čovečanstvo biti podložno sve većem riziku od poplava (Sekulić et al., 2012).

Objekti za odbranu od poplava, koji se nazivaju i strukture za odbranu od poplava ili infrastruktura za kontrolu poplava, obuhvataju niz fizičkih mera i inženjerskih sistema koji su strateški osmišljeni da ublaže potencijalne opasnosti i posledice povezane sa poplavama u određenim regionima. Implementacija ovih struktura je ključna u zaštiti zajednica, imovine i infrastrukture od štetnih uticaja poplava čime se omogućava kako prevencija, tako i sve aktivnosti koje treba preduzeti pre nego što do poplave i dođe (Radaković et al., 2021). Prema Beograd vode (n.d.) objekti za odbranu od poplava mogu biti nasipi, kolektori i bujične pregrade.

U ovom radu prikazana je mogućnost primene fuzzy brojeva (Zadeh, 1965) i *Ordinal Priority Approach* (OPA) algoritma (Ataei et al., 2020) za procenu lokacija za izgradnju, rekonstrukciju i sanaciju objekata za odbranu od poplava, imajući u vidu da je poslednjih godina uloženo mnogo napora da se reše problemi lokacije objekata (Gigović et al., 2016).

2. PRIMENA OPA ALGORITMA ZA PROCENU LOKACIJA ZA IZGRADNJU, REKONSTRUKCIJU I SANACIJU OBJEKATA ZA ODBRANU OD POPLAVA

OPA algoritam je metoda donošenja odluka koja je posebno pogodna za rangiranje kriterijuma lokacije zbog svoje sposobnosti da uzme u obzir unutrašnju ordinalnu prirodu brojnih aspekata uključenih u izbor lokacije. Različiti faktori koji se odnose na lokaciju, kao što su cena, pristupačnost, udaljenost i kvalitet, mogu se proceniti korišćenjem rednih skala, koje uključuju njihovo kategorisanje u nivoe kao što su visoki, srednji ili niski. Okvir OPA algoritma omogućava donosiocima odluka da uspostave hijerarhiju značaja među kriterijumima, bez potrebe za upotrebom tačnih numeričkih vrednosti.

Za procenu pet lokacija za izgradnju, rekonstrukciju i sanaciju objekata za odbranu od poplava dodeljene su sledeće kodne oznake: A1 – Alternativa 1; A2 – Alternativa 2;...; A5 – Alternativa 5. Zatim je identifikovano osam kriterijuma koje su eksperti, izabrani za istraživanje prikazano u ovom radu, razmatrali pri izboru adekvatne lokacije. Kriterijumi su predstavljeni u Tabeli 1.

Tabela 1: Kriterijumi za evaluaciju alternativa

Kodna oznaka	Kriterijum	Kratak opis
C1	Nivo rizika od poplave	U radu je korišćena metodologija za proračun nivoa rizika koja je data u Uputstvu o metodologiji za izradu procene ugroženosti i planova zaštite i spasavanja u vanrednim situacijama (2012). Moguće je koristiti i druge dostupne metodologije. Dobijeni nivo rizika se kreće u intervalu od 1 do 25 i rangiran je na sledeći način: vrlo mali – 1 i 2, mali – 3, 4 i 5, umereni – 6, 8 i 9, veliki – 10, 12, 15 i 16 i vrlo veliki – 20 i 25.
C2	Cena izrade planiranog objekta odnosno dela objekta koji može imati karakteristike celine	Kriterijum je izdvojen imajući u vidu ekonomsko stanje Srbije i trenutna ulaganja u zaštitu od poplava. Kriterijum je numeričkog karaktera, a opisuje se visinom cene izrade objekta.
C3	Zainteresovanost drugih aktera za finansiranje izgradnje objekta	Zavisno od područja u kojem bi se objekti mogli graditi, pored države, interes imaju i drugi akteri (lokalne samouprave, preduzeća, nevladine organizacije, lokalno stanovništvo i sl.). Kriterijum je numeričkog karaktera, a opisuje se kroz procentualno učešće drugih aktera u ceni koštanja izgradnje objekta.

C4	Značaj objekta u sistemu zaštite od poplava	Kroz ovaj kriterijum sagledava se mesto i uloga objekta čija se izgradnja planira u celokupnom sistemu zaštite od poplava.
C5	Gustina naseljenosti	Kroz ovaj kriterijum utvrđuje se gustina naseljenosti teritorije koja se izgradnjom objekta štiti. Kriterijum je numeričkog karaktera i opisuje se brojem stanovnika na jednom kvadratnom kilometru.
C6	Nivo i značaj privrednih aktivnosti	Kroz ovaj kriterijum procenjuje se koje privredne aktivnosti postoje na teritoriji koja se izgradnjom objekta štiti i njihov značaj za širu zajednicu. Kriterijum je lingvističkog karaktera.
C7	Kulturna i duhovna dobra	Kroz ovaj kriterijum procenjuje se značaj objekata kulturnog i duhovnog nasleđa na teritoriji koja se izgradnjom objekta štiti. Kriterijum je lingvističkog karaktera.
C8	Negativni uticaji koji se ostvaruju izgradnjom objekta	Kada se razmatra ovaj kriterijum prvenstveno se misli na društvenu prihvatljivost i ekološku održivost izgradnje objekta zbog mogućeg narušavanja postojećeg stanja odnosno njegovu kompatibilnost u odnosu na procese u okolini (Edwards & Winn, 2006).

Izvor: Autori

U istraživanju je učestvovalo šest eksperata E_e ($e = 1, 2, \dots, 6$) koji su za evaluaciju kriterijuma i alternativa koristili fuzzy skalu predstavljenu u Tabeli 2.

Tabela 2: Fuzzy skala za evaluaciju kriterijuma i alternativa

Lingvistički termini	Lingvističke vrednosti TrFNs
Apsolutno nisko (AL)	(1, 1.5, 2.5)
Veoma nisko (VL)	(1.5, 2.5, 3.5)
Nisko (L)	(2.5, 3.5, 4.5)
Srednje nisko (ML)	(3.5, 4.5, 5.5)
Jednako (E)	(4.5, 5.5, 6.5)
Srednje visoko (MH)	(5.5, 6.5, 7.5)
Visoko (H)	(6.5, 7.5, 8.5)
Ekstremno visoko (EH)	(7.5, 8.5, 9.5)
Apsolutno visoko (AH)	(8.5, 9, 10)

Izvor: Autori

Ekspertske procene predstavljene su u šest lingvističkih matrica $R^g = [\zeta_{ij}^g]_{m \times n}$ ($1 \leq g \leq 6$). Eksperti su izvršili evaluaciju alternativa u odnosu na kriterijume koji su

predstavljani u Tabeli 1 za šta su koristili lingvističku skalu iz Tabele 2. Ekspertske procene prikazane su u Tabeli 3.

Tabela 3: Ekspertska procena alternativa

Kriterijum	A1	A2	A3
C1	MH,MH,EH,L,H,E	L,EH,H,H,L,L	MH,MH,MH,AH,ML,ML
C2	H,EH,H,H,EH,H	MH,EH,H,MH,MH,EH	H,H,H,H,H,E
C3	ML,H,E,H,E,E	H,H,H,H,ML,EH	EH,EH,H,L,EH,H
C4	EH,EH,EH,EH,EH,H	EH,EH,EH,EH,EH,EH	E,E,E,E,E,AH
C5	AH,H,AH,AH,ML,AH	H,EH,L,H,EH,MH	MH,H,H,H,MH,AH
C6	MH,MH,EH,L,H,E	L,EH,H,H,L,L	MH,MH,MH,AH,ML,ML
C7	H,EH,H,H,EH,H	MH,EH,H,ML,MH,EH	H,H,ML,H,H,E
C8	ML,H,E,H,E,E	E,H,MH,H,ML,EH	EH,EH,H,L,EH,H
Kriterijum	A4	A5	
C1	MH,EH,H,MH,MH,MH	L,H,L,L,L,ML	
C2	MH,MH,E,MH,MH,E	MH,MH,L,L,MH,MH	
C3	EH,EH,H,EH,ML,MH	EH,EH,EH,EH,EH,E	
C4	E,E,L,L,E,E	EH,EH,EH,EH,EH,EH	
C5	AH,AH,MH,AH,AH,EH	E,E,L,E,E,AH	
C6	MH,EH,H,MH,MH,MH	L,H,L,L,L,ML	
C7	MH,H,E,H,MH,E	MH,MH,L,ML,MH,MH	
C8	MH,EH,MH,EH,ML,MH	E,H,EH,MH,EH,E	

Izvor: Autori

Fuzijom ekspertskih procena, definisana je agregirana inicijalna matrica za donošenje odluka koja je predstavljena u Tabeli 4.

Tabela 4: Agregirana inicijalna matrica za donošenje odluka

Kriterijum.	A1	A2	A3
C1	(4.57, 5.43, 6.29)	(4.00, 4.86, 5.71)	(4.57, 5.36, 6.21)
C2	(5.86, 6.71, 7.57)	(5.43, 6.29, 7.14)	(5.29, 6.14, 7.00)
C3	(4.29, 5.14, 6.00)	(5.29, 6.14, 7.00)	(5.43, 6.29, 7.14)
C4	(6.29, 7.14, 8.00)	(6.43, 7.29, 8.14)	(4.43, 5.21, 6.07)
C5	(6.29, 6.86, 7.71)	(5.14, 6.00, 6.86)	(5.57, 6.36, 7.21)
C6	(4.57, 5.43, 6.29)	(4.00, 4.86, 5.71)	(4.57, 5.36, 6.21)

C7	(5.86, 6.71, 7.57)	(5.43, 6.29, 7.14)	(5.29, 6.14, 7.00)
C8	(4.29, 5.14, 6.00)	(5.29, 6.14, 7.00)	(5.43, 6.29, 7.14)
Kriterijum	A4	A5	
C1	(5.14, 6.00, 6.86)	(2.86, 3.71, 4.57)	
C2	(4.43, 5.29, 6.14)	(3.86, 4.71, 5.57)	
C3	(5.43, 6.29, 7.14)	(6.00, 6.86, 7.71)	
C4	(3.29, 4.14, 5.00)	(6.43, 7.29, 8.14)	
C5	(6.71, 7.29, 8.14)	(4.14, 4.93, 5.79)	
C6	(5.14, 6.00, 6.86)	(2.86, 3.71, 4.57)	
C7	(4.43, 5.29, 6.14)	(3.86, 4.71, 5.57)	
C8	(5.43, 6.29, 7.14)	(6.00, 6.86, 7.71)	

Izvor: Autori

Rangiranje alternativa u okviru svakog kriterijuma izvršeno je pomoću defazifikovanih vrednosti iz Tabele 4. Rangovi alternativa su prikazani u Tabeli 5.

Tabela 5: Prioritet alternativa u okviru kriterijuma

Kriterijum	Rang				
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th
C1	A4	A5	A2	A1	A3
C2	A4	A2	A3	A5	A1
C3	A5	A3	A2	A1	A4
C4	A5	A3	A1	A2	A4
C5	A4	A3	A5	A2	A1
C6	A5	A4	A3	A1	A2
C7	A4	A3	A5	A2	A1
C8	A5	A3	A1	A2	A4

Izvor: Autori

Primenom izraza (1) i (2), definisan je OPA linearni model čijim rešavanjem i primenom izraza (3) je dobijen rang alternativa, Slika 1.

$$L^g = \begin{bmatrix} C_1 & d_1^g \\ C_2 & d_2^g \\ C_3 & d_3^g \\ \dots & \dots \\ C_n & d_n^g \end{bmatrix} \quad (1)$$

Max φ

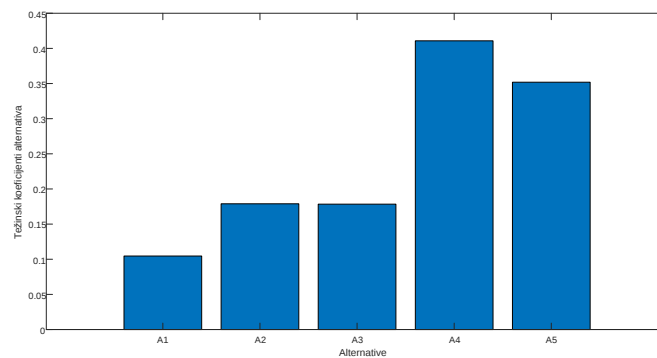
s.t.

$$j(i(\xi_{ji}^{(r)} - \xi_{ji}^{(r+1)})) \geq \varphi; \quad \forall j, i$$

$$ji\xi_{ji}^{(m)} \geq \varphi; \quad \forall j, i \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \xi_{ji} = 1;$$

$$\xi_{ji} \geq 0; \quad \forall j, i$$



Slika 1: Rang alternativa

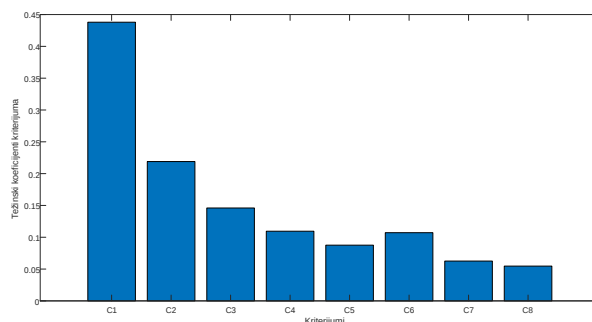
Izvor: Autori

Na osnovu težinskih koeficijenata alternativa definiše se sledeći rang alternativa $A4 > A5 > A2 > A3 > A1$.

Pored značajnosti alternativa, primenom izraza (3) definišemo težinske koeficijente kriterijuma:

$$\xi_j = \sum_{i=1}^m \xi_{ij}; \quad \forall j \quad (3)$$

gde ξ_i and ξ_j respektivno predstavljaju težinske koeficijente alternativa i kriterijuma, možemo da definišemo i težinske koeficijente kriterijuma, Slika 2.



Slika 2. Rang kriterijuma

Izvor: Autori

Na osnovu podataka sa Slike 2 možemo da se definiše sledeći rang kriterijuma: $C1 > C2 > C3 > C4 > C6 > C5 > C7 > C8$.

4. ZAKLJUČAK

Proces donošenja odluka o odbrani od poplava često podrazumeva korišćenje netačnih i nesigurnih informacija, uključujući faktore kao što su fluktuacije nivoa vode, promene klimatskih obrazaca i promene u korišćenju zemljišta. Fazi logika omogućava upravljanje neizvesnošću upotrebom jezičkih koncepata i funkcija za predstavljanje činjenica. Značaj ove metode leži u nedovoljnosti tipičnih binarnih metoda donošenja odluka da bi se efektivno objasnila inherentna nesigurnost uključena u planiranje strategija odbrane od poplava, dok OPA pristup karakteriše njegova intuitivna priroda i interfejs prilagođen korisniku. Donosioci odluka poseduju sposobnost da shvate i efikasno iskoriste informacije bez potrebe za opsežnim razumevanjem kompleksnih matematičkih principa ili tehnika manipulacije podacima.

Odbrana od poplava će biti od ključne važnosti u budućnosti. Predviđa se da će klimatske promene rezultirati povećanjem učestalosti i intenziteta meteoroloških pojava, poput obilnih padavina i oluja (Murray & Ebi, 2012). Očekuje se da će porast globalnih temperatura dovesti do istovremenog porasta nivoa mora, što predstavlja značajnu opasnost za obalne regione. Implementacija sistema odbrane od poplava biće od najveće važnosti kako bi se efikasno upravljalo opasnostima povezanim sa klimatskim promenama.

LITERATURA

- Ahmad, S. S. & Simonović, S. P. (2011). A three-dimensional fuzzy methodology for flood risk analysis. *Journal of Flood Risk Management*, 4, 53-74.
- Ataei, Y., Mahmoudi, A., Feylizadeh, M. R., & Li, D.-F. (2020). Ordinal Priority Approach (OPA) in Multiple Attribute Decision-Making. *Applied Soft Computing Journal*, 86, 105893. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105893>
- Beogradvode (n.d.). *Nasipi*. Dostupno na: <http://beogradvode.com/pdf/nasipi.pdf>.
- Božanić, D., Pamučar, D., & Tešić, D. (2019). Selection of the location for construction, reconstruction, and repair of flood defense facilities by IR-MAIRCA model application. In Proceedings of Fifth International Scientific-Profesional Conference *Security and Crisis Management—Theory and Practice, SeCMan* (pp. 300-308).
- Edwards, A. M. C., & Winn, P. S. J. (2006). The Humber Estuary, Eastern England: Strategic planning of flood defences and habitats, *Marine Pollution Bulletin*, 53, 165–174.
- Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Milićević, M. (2016). The combination of expert judgment and GIS-MAIRCA analysis for the selection of sites for ammunition depots. *Sustainability*, 8(4), 372.
- Interagency Performance Evaluation Team - IPET. (2007). *Performance evaluation of the New Orleans and Southeast Louisiana hurricane protection system*. Volume VII-The consequences, Final report 26 March 2007.
- Murray, V., & Ebi, K. L. (2012). IPCC special report on managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX). *Journal of Epidemiology and Community Health*, 66(9), 759-760.
- 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.
- Radaković, J. A., Petrović, N., Milenković, N., Stanojević, K., & Đoković, A. (2017). The improvement of students' higher environmental and climate change knowledge: A case study. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(6), 2711-2719. <https://doi.org/10.15244/pjoes/69645>

- Sekulić, G., Dimović, D., Kalman-Kranjski-Jović, Z., & Todorović, N. (2012). *Procena ranjivosti na klimatske promene - Srbija*. WWF (Svetski fond za prirodu), Centar za unapređenje životne sredine.
- Uputstvo o metodologiji za izradu procene ugroženosti i planova zaštite i spasavanja u vanrednim situacijama* (2012). Službeni glasnik Republike Srbije br. 96/2012.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.