



Ivan Milojković¹

Pregledni naučni rad
DOI: 10.5937/VIK25241M

NOVA VARIJANTA METODE ZA VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE FAZI-AHP-VIKOR

Rezime: Nakon prethodne analize i eksperimentalnog rada pristupa se određivanju metode optimizacije pri primeni konsalting usluga. Nova metoda se posmatra u okviru „key study“ na primerima projektovanja građevinskih komunalnih hidrotehničkih objekata za evakuaciju otpadnih voda. Razvija se nova varijanta metode za višekriterijumsko odlučivanje (MCDM) FAZI-AHP-VIKOR. Nova varijanta metode se razvija u svrhu rešavanja složenih problema upravljanja projektima određivanjem optimalnog projektantskog rešenja.

Ključne reči: FAZI, AHP, VIKOR

A NEW VARIANT OF THE METHOD FOR MULTI-CRITERIA DECISION- MAKING FUZZY-AHP-VIKOR

Abstract: After the previous analysis and experimental work, the determination of the optimization method in the application of consulting services is approached. The new method is observed within the "key study" on examples of the design construction of communal hydrotechnical facilities for the evacuation of wastewater. A new variant of the multi-criteria decision-making method (MCDM) FAZI-AHP-VIKOR is being developed. A new variant of the method is developed for the purpose of solving complex project management problems by determining the optimal design solution.

Key Words: Fuzzy, AHP, VIKOR

1. Uvod

Analizira se optimalno upravljanje projektima objekata za evakuaciju otpadnih voda sa stanovišta projektanta i razvoj nove varijante FAZI-AHP-VIKOR metode sa primenom na primeru projektovanja i izgradnje pumpne stanice atmosferskih voda za kompleks Makiš. Razmatrani su cevovodi i šahtovi oko tretmana i pumpne stanice potrebni za pravilno funkcionisanje sistema kao i cevovod od pumpne stanice do recipijenta.

Problem naučnog istraživanja je razvoj nove varijante FAZI-AHP-VIKOR metode koja se razvija zbog određivanja optimalnog rešenja projektovanja građevinskih objekata u svrhu rešavanja složenih problema upravljanja projektima. Nova varijanta metode se upoređuje sa AHP i VIKOR metodama. Daje se doprinos primeni razvoja metode višekriterijumske optimi-

¹ Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, ivan.milojkovic@jcerni.rs, ORCID: 0000-0003-4108-7774



zacije u fazi izrade prethodnih studija opravdanosti i studija opravdanosti koje po važećem Zakonu o planiranju i izgradnji podrazumevaju obaveznu izradu idejnih rešenja i idejnih projekata. Takođe u izradi samih idejnih rešenja, idejnih projekata i druge dokumentacije u fazi razrade i odabira konačnih projektantskih rešenja gde se naročito primenjuju metode višekriterijumske optimizacije i gde je neophodno pronaći i predložiti optimalna rešenja za projektovanje izgradnje objekata, razvoj nove varijante metode višekriterijumske optimizacije nalazi svoju punu primenu.

Istražuje se upravljanje projektima hidrotehničkih objekata za evakuaciju otpadnih voda sa gledišta projektanta koji obuhvata primenu naučnih metoda za rešavanje kompleksnih problema upravljanja i organizacije privrednih, administrativnih, kompleksnih problema upravljanja i organizacije privrednih, administrativnih, vojnih i drugih kibernetičkih sistema u upravljanju projektovanjem hidrotehničkih objekata. To je interdisciplinarna oblast u kojoj se primenjuju razne kvantitativne metode i tehnike za pronalaženje optimalnih ili za korisnika najprihvatljivijih rešenja za donošenje upravljačkih odluka. Teorija fazi logike koja se takođe razmatra, ima za cilj da obezbedi matematički okvir za tretiranje nepreciznosti i neodređenosti imanentne čovekovim saiznajnim procesima kao što su mišljenje i rezonovanje. Razmatraju se sistemi za kanalisanje, tretman i odvođenje otpadnih voda koji se obrađuju i metodom VIKOR (Višekriterijumsko Kompromisno Rešenje ili Višekriterijumsko Kompromisno Rangiranje) – to je metoda koja je razvijena za određivanje višekriterijumskog optimalnog rešenja [15].

Predmet naučnog istraživanja je višekriterijumsko odlučivanje (multi-criteria-decision-making: MCDM) i razvoj nove varijante FAZI-AHP-VIKOR metode (Fazi metoda, proces analitičke hijerarhije – optimizacija sa više kriterijuma i kompromisno rešenje) [14], metoda sa fazi pristupom koja se razvija u svrhu rešavanja složenih problema upravljanja projektima. Na primeru projektovanja kanalizacionih sistema u okviru konsalting usluga – stručnih usluga koje zainteresovanim korisnicima mogu pružiti nezavisne i samostalne stručne organizacije i pojedini stručnjaci, koristeći stručno znanje i iskustvo, te sistemski i analitički pristup u upoznavanju i rešavanju praktičnih problema, istražuje se i razvija napred navedena metoda operacionih istraživanja, i razmatraju se naročito metode višekriterijumskih optimizacija poput AHP metode i VIKOR metode, kao i proučavanje upotrebe fazi logike u rešavanju problema u upravljanju projektima hidrotehničkih objekata za evakuaciju otpadnih voda sa gledišta projektanta. U ovom istraživanju koristi se i istražuje ocena prema Saaty-jevoj skali (Zhu i ostali, 2020) i vrednosti rasplinutog broja ocene kriterijuma i alternativa, s obzirom da su alternative i kriterijumi procenjeni korišćenjem rasplnutih brojeva.

Metod analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP), kao i druge metode sa više kriterijuma, [15, 5, 11, 12] se koristi za određivanje prioriteta faktora rizika u građevinskim projektima. Modeli [17, 18, 19] služe za izbor odgovarajuće metode projektovanja i konstruisanja objekata zasnovanih na fazi AHP sa trouglastim i trapezoidnim rasplnutim brojevima (elementi rasplnutih skupova) sa konceptiom α reza. Prašćević N. i Prašćević Ž. [18, 19] razmatrali su problem izbora konstruktivnog sistema za izgradnju industrijske hale prema propisanim kriterijumima.

VIKOR metoda je razvijena za određivanje višekriterijumskog optimalnog rešenja. Konačnu odluku donosi donosilac odluke koji ima složenu strukturu i nedovoljno izraženu



preferenciju u postupku optimizacije [1, 4,]. Mogućnosti metode AHP-VIKOR korišćene su za različita istraživanja [2, 13, 16]. Meniz i Ozkan [13] koriste ovu metodu za selekciju vakcine za COVID-19 metod AHP i novu varijantu VIKOR fazi pristupa. Ozekencija [16] za identifikaciju ključnih faktora uspeha e-logistike u Turskoj koristi integrisanu metodologiju AHP-VIKOR. Akmaludin i drugi [2] predstavlja sistem za podršku odlučivanju za odabir pametnog telefona sa preporukama AHP-VIKOR metode.

Teorija fazi logike ima za cilj da obezbedi matematički okvir za suočavanje sa nepreciznošću i neodređenošću imanentnim ljudskim kognitivnim procesima kao što su mišljenje i rasuđivanje [6]. Nova varijanta FAZI-AHP-VIKOR metode [14] dobija se povezivanjem i spregom različitih pomenutih metoda na realnim podacima o projektima uz stabilna kompromisna rešenja.

2. Metode i eksperiment

2.1. Prikupljanje podataka

Tokom naučnog istraživanja važno je da istraživač razlikuje pojave i procese od činjenica i podataka [8]. Pojave i procesi deo su objektivne stvarnosti, činjenice su osetilni doživljaji te stvarnosti, a podaci su simbolički registrovane činjenice. Metodama za prikupljanje podataka istraživač „osluškuje“ delove stvarnosti o kojima razmišlja, kako bi o njima dobio osetilne informacije. Registracijom osetilnih informacija dolazi do podataka koji su iskustvena evidencija o varijablama. Osnovne tehnike za prikupljanje podataka u procesu naučno-istraživačkog rada su posmatranje, anketa i intervju.

2.2. Metoda analitičkih hijerarhijskih procesa (AHP)

U okviru Operacionih istraživanja [7, 20], Metoda analitičkih hijerarhijskih procesa (AHP), poput drugih višekriterijumskih metoda [3, 5, 12,] se koristi za dobijanje prioriteta faktora rizika u građevinskim projektima.

2.3. Fazi (Fuzzy) metoda

Teorija fazi logike ima za cilj da obezbedi matematički okvir za tretiranje nepreciznosti i neodređenosti imanentne čovekovim saznavnim procesima kao što su mišljenje i rezonovanje. Nepreciznosti imanentne rečima onemogućuju jednostavnu ili čak primenu opšte teorije dvovrednosne logike i klasičnu teoriju skupova.

2.4. Metoda VIKOR

Ova metoda je razvijena i predložena od strane prof. dr Serafima Opricovića za rešavanje višekriterijumskih problema optimizacije u različitim oblastima privrede, projektovanja i sl. Metoda VIKOR, koja se ovde prikazuje, razvijena je za određivanje višekriterijumski optimalnog rešenja. Konačnu odluku donosi donosilac odluke koji ima složenu strukturu i nedovoljno izraženu preferenciju u postupku optimizacije. Metoda VIKOR je razvijena na takvim metodološkim osnovama da se donosiocu odluke predlaže alternativa (ili rešenje) koja:

- a) predstavlja kompromis između želja i mogućnosti
- b) predstavlja kompromis između različitih interesa učesnika u odlučivanju.

3. Nova varijanta FAZI-AHP-VIKOR metode

Za određivanje višekriterijumskog optimalnog rešenja koristi se nova varijanta FAZI-AHP-VIKOR metode [14]. AHP-VIKOR metodu proučavali su pojedini autori [2, 13, 16]. Konačnu odluku donosi donosilac odluke koji ima složenu strukturu i nedovoljno izraženu preferenciju u postupku optimizacije.

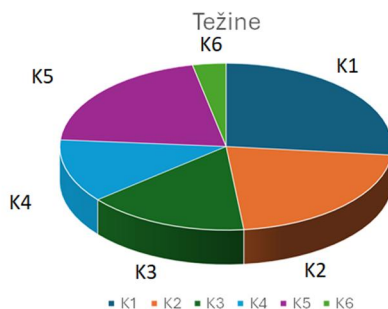
Metod zahteva da su vrednosti kriterijumskih funkcija poznate, formira se matrica za sve alternative sprovođenjem algoritma AHP metode gde se određuju jednokriterijumske vrednosti ocena alternativa po kriterijumima:

$$|f_{ij}|_{n \times J} \quad (1)$$

gde je i redni broj kriterijuma $i = 1, \dots, n$, a j redni broj varijante $j=1, \dots, J$.

4. Rezultati i diskusija

U analizi, u razvoju i primeni nove varijante FAZI-AHP-VIKOR metode razmatrana su alternativna rešenja tretmana atmosferskih voda za kompleks Makiš, cevovodi i šahtovi oko tretmana i pumpne stanice što je sve opisano u projektu: Izrada projekta za izvođenje i izgradnja pumpne stanice i objekata za tretman i odvođenje atmosferskih voda - Makiš (2020) Idejno rešenje, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd.



Slika 1. Upotrebljene težine kriterijuma u novoj varijanti FAZI-AHP-VIKOR metode
Figure 1. Criterion weights used in the new variant Fuzzy – HP – VIKOR methods

Konkretno, u ovom radu analizira se projektovanje i izvođenje objekta pumpne stanice (PS) i cevovoda od pumpne stanice do recipijenta – kanal Strugara. Za prikupljanje podataka pored prikupljanja, posmatranja i upotrebe projektne dokumentacije korišćena je i DELFI metoda. Sa obzirom da se radi o veoma usko stručnoj oblasti istraživanja izabran je neveliki broj eksperata koji se bave projektovanjem objekata u komunalnoj hidrotehnici za specifične slučajeve građevina kao što je prikupljanje i tretman atmosferskih otpadnih voda u zoni izvorišta vodosnabdevanja što je slučaj posmatranog primera projektovanja KCS Makiš. Na kraju, u nastavku su data rešenja korišćenjem nove varijante FAZI – AHP – VIKOR metode [14] uz procenu ocene kriterijuma i alternativa s obzirom na rezultate Delfi metode, prvo korišćenjem koeficijenta $v=0,5$. Određivanje težina je izvršeno korišćenjem AHP algoritama za određivanje težina.



Tabela 1. Dobijeno rešenje primenom nove varijante FAZI – AHP – VIKOR metode
Table 1. Obtained solution using a new variant Fuzzy – AHP – VIKOR methods

Kompromisno rešenje		
A2-A1	A1-A3	A3-A4
0,028	0,600	0,371

5. Zaključak

U prikazanom postupku višekriterijumske optimizacije u projektovanju primenom nove varijante metode FAZI-AHP-VIKOR dobijeno je kao optimalno rešenje: u slučaju KCS Makiš: Varijanta 4 – ovom alternativom predviđeno je da se pumpna stanica izvodi kao otvoren keson – bunarski sa izlivom pod uglom u odnosu na osu kanala, koje se nakon detaljne analize napred pomenutim metodama višekriterijumske optimizacije (VKO) smatra boljim od ostalih varijanti.

Proces projektovanja je u neraskidivoj vezi i od presudnog i najvećeg uticaja na ukupne troškove projekta. U dosadašnjoj praksi ustanovljeno je da se kvalitetnom kontrolom troškova budućeg projekta u procesu projektovanja može ostvariti ukupna ušteda na projektu od 85% do 90 %. Uštede od 10 % do 15 % obično se ostvaruju pri samoj izgradnji objekata i realizaciji ostalih radova na terenu [10]. Na taj način primenjena nova varijanta višekriterijumske optimizacije FAZI – AHP – VIKOR metode daje veliki doprinos konačnom izboru projektantskog rešenja.

Rezultati projektovanja imaju odlučujući uticaj na konačan finansijski uspeh projekta posmatrano sa stanovišta investitora i sa stanovišta izvođača.

6. Literatura

- [1] Abbas A. T, Sharma N, Soliman M. S, El Rayes M. M, Sharma R. C, Elkaseer A. Effect of Wiper Edge Geometry on Machining Performance While Turning AISI 1045 Steel in Dry Conditions Using the VIKOR-ML Approach, *Machines* 11, 719. <https://doi.org/10.3390/-machines11070719>, 2023.
- [2] Akmaludin, Suriyanto D. A, Iriadi N, Santoso B, Sukendar T. Decision Support System for SmartPhone Selection with AHP-VIKOR Method Recommendations, Sinkron: *Jurnal dan Penelitian Tekvk Informatika*, Volume 8, Number 2, April. <https://doi.org/-10.33395/sinkron.-v8i2.11845>, 2023.
- [3] Alessio I, Ashraf L. Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and Limitations, *ORInsight*, 22 (4), 201–220. <https://pure.port.ac.uk/ws/portalfiles/portal/42847/ORI-preprint-Alshizaka.pdf>, 2009.
- [4] Anđić D, Đurović R. The use of VIKOR Method in Finding the Optimal Solution for a Special-Purpose Geodetic Network Design, *Geodetski vestnik* 67 (2), 196-212. <https://doi.org/10.15292/-geodetski-vestnik.2023.02.196-212>, 2023.
- [5] Athawale V. M, Chakraborty S. Facility Layout Selection Using PROMETHEE II Method. The IUP *Journal of Operations Management*, 9(1-2): 81–98, 2010.



- [6] Bennajeh A. & Ben Said L. Autonomous agent adaptive driving control based on fuzzy logic theory and normative behavior. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 43, 5973–5983. doi:10.3233/JIFS-213498. Available from: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.3233/JIFS-213498>, 2022.
- [7] Din V. B. Operaciona istraživanja u istraživanjima i razvoju zbornik radova sa konferencije održane u Case Institutu za tehnologiju, „Savremena administracija“, Beograd; Naslov originala: Operations research in research and development proceedings of a conference at Case Institute of Technology, Edited by Burton V. Dean, Copyright By John Wiley & Sons, Inc, New York, London, 1968.
- [8] Gaćinović, R. Prikupljanje podataka u procesu naučnog istraživanja, *Politička revija*, godina (XXIX) XVI, vol=52, br. 2 / 2017, str. 137-156. <https://www.ips.ac.rs/wp-content/uploads/2018/03/PR-52-9.pdf>, 2017.
- [9] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, *Izrada projekta za izvođenje i izgradnja pumpne stanice i objekata za tretman i odvođenje atmosferskih voda – Makiš*, Idejno rešenje, 2020.
- [10] Ivković B, Popović Ž. *Upravljanje projektima u građevinarstvu*, Građevinska knjiga, Beograd, ISBN 86-395-0447-4, 2005.
- [11] Jaskowski P, Biruk S, Bucon, R. Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment, *Automation in Construction* 19: (2010) 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.12.014>, 2010.
- [12] Kessili A, Benmamar S. Prioritizing sewer rehabilitation projects using AHP-PROMETHEE II ranking method. *Water Science & Technology*, 73(2): 283–291, 2016.
- [13] Meniz B, Özkan M. E. Vaccine selection for COVID-19 by AHP and novel VIKOR hybrid approach with interval type-2 fuzzy sets, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 119 105812. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105812>, 2023.
- [14] Milojković I, Prascevic N. Project management using the developed AHP–VIKOR method with the fuzzy approach, *Water Science & Technology*, Vol 90 No 2, 578 doi: 10.2166/wst.2024.204 <https://doi.org/10.2166/wst.2024.204>, 2024.
- [15] Opricović, S. 2009 Compromise in Cooperative Game and the Vikor Method, *Yugoslav Journal of Operations Research*. Volume 19. Number 2. 225-238. DOI:10.2298/YUJOR0902225O <https://doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0354-02430902225O>, 2009.
- [16] Özekencia E. K. Identifying The Key Success Factors of E-Logistics in Turkey: AHP-VIKOR Integrated Methodology, *International Journal of Economics, Business and Politics*, 7 (1) 92-103 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2867301>, 2023.
- [17] Pan, N. F. Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method, *Automation in Construction*, 17: 958–965. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.03.005>, 2008.
- [18] Prascevic N, Prascevic Z. Application of fuzzy AHP method on eigenvalues for decision making in construction industry, *Technical Gazette*, 23(1): 57–64, 2016.
- [19] Prascevic, N., Prascevic, Z. Application of fuzzy AHP for ranking and selection of alternatives in construction project management, *Journal of civil engineering and management*, ISSN 1392-3730 / eISSN 1822-3605, Volume 23(8): 1123–1135 <https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1388278>, 2017.
- [20] Trbojević, B. *Organizacija građevinskih radova*, Naučna knjiga, Beograd, 1992.
- [21] Zhu X, Meng X. & Chen Y. A novel decision-making model for selecting a construction project delivery system. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26 (7), 635–650. <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12915>, 2020.