

PRIMENA METODE AHP-VIKOR SA FAZI PRISTUPOM U PROJEKTOVANJU OBJEKATA ATMOSFERSKE KANALIZACIJE

APPLICATION OF THE AHP-VIKOR METHOD WITH A PHASE APPROACH IN THE DESIGN OF ATMOSPHERIC SEWERAGE FACILITIES

ИВАН МИЛОЈКОВИЋ¹
НАТАША ПРАШЋЕВИЋ²

Прегледни стручни рад
DOI: 10.5937/VIK24353M

Резиме: Пројектована је канализација, пречишћавање и препумпавање атмосферских отпадних вода у Канализационој пумпној станици (ПС) „Макиш“. Извршен је избор оптималног решења у односу на изградњу коришћењем методе вишекритеријумске оптимизације уз разматрање различитих начина канализације, третмана и евакуације отпадних вода. Разматрани су различити начини пројектовања и изградње објеката. Коришћена је комбинована метода АХП-ВИКОР са Fuzzy приступом. Анализирана су различита варијантна решења за изградњу канализационе атмосферске ПС „Макиш“

Кључне речи: атмосферске отпадне воде, пумпна станица, АХП, ВИКОР, фази

Abstract: Sewerage, purification and pumping of atmospheric wastewater was designed in the Makiš Sewage Pumping Station (PS). The selection of the optimal solution in relation to construction was carried out using the method of multi-criteria optimization with consideration of different ways of channeling, treatment and evacuation of wastewater. Different ways of designing and building buildings were considered. The combined AHP-VIKOR method with Fuzzy approach was used. Various variant solutions for the construction of the sewer atmospheric PS „Makiš“ were analyzed.

Key Words: atmospheric wastewater, pumping station, AHP, VIKOR, Fuzzy

1. Увод

Пројектовање канализационих система у насељима, нарочито у великим градовима – метрополама, предмет је рада великог броја истраживача и инже-

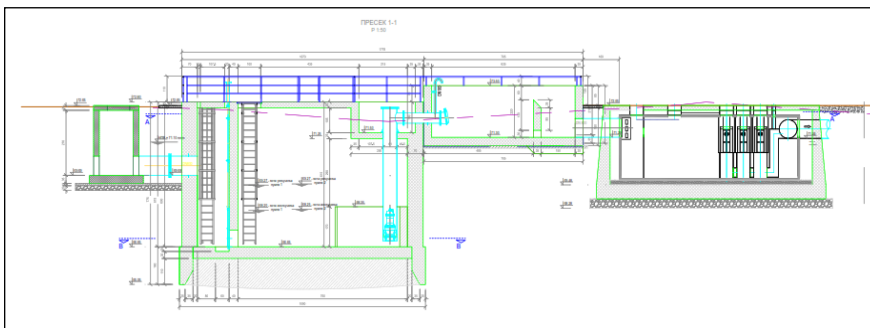
¹ Иван Милојковић, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Јарослава Черног 80, Београд, ivan.milojkovic@jcerni.rs, ORCID: 0000-0003-4108-7774

² Наташа Прашчевић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, natasa@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-8696-8551

њера [1], [2], [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Последњих година долази до великих осцилација у количинама атмосферских вода које треба да се евакуишу из урбаних средина што поставља веома сложене захтеве у пројектовању објеката за евакуацију атмосферских вода. Предмет овог рада је истраживање у циљу одређивања оптималног пројектантског решења пумпне станице атмосферских вода за комплекс „Макиш“ (Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, 2020). Разматрани су објекти - цевоводи и шахтови око третмана и пумпне станице потребни за правилно функционисање система, као и цевовод од пумпне станице до реципијента.

Из пумпне станице, грађевине 1 и сепаратора атмосферске воде се по пројекту гравитационо, цевоводом, одводе у канал „Стругара“. У овој вишекритеријумској процедури коришћене су методе вишекритеријумске оптимизације АХП и ВИКОР уз примену фази (Fuzzy) скупова на посматране алтернативе и критеријуме.

Разматра се рад канализационе црпне станице и третман атмосферских вода са припадајућом канализацијом [7], [8], [11], [12], [9], [10], [18]. Метода Аналитичких Хијерархијских Процеса (АХП), Метода Вишекритеријумског Компромисног Решења (ВИКОР) и теорија фази логике су коришћене у вишекритеријумској оптимизацији при избору методе извођења објеката. Метода Аналитичких Хијерархијских Процеса (АХП), попут других вишекритеријумских метода [1], [2], [4] се користи за добијање приоритета фактора ризика у грађевинским пројектима. Користе се модели [6], [16], [17] за избор одговарајуће методе пројектовања и извођења објеката засновани на фази АХП са троугластим и трапезоидним расплнутим бројевима (елементи фази скупова) са концептом α реза. Н. Прашчевић и Ж. Прашчевић [16] разматрали су проблем избора конструктивног система за изградњу индустријске хале по прописаним критеријумима.



Слика 1. Подужни пресек пумпне станице и сепаратора
Figure 1. The Longitudinal section of the pumping station and separator

Теорија фази (Fuzzy) логике има за циљ да обезбеди математички оквир за третирање непрецизности и неодређености иманентне човековим сазнајним процесима као што су мишљење и резоновање.

Метода и експеримент

Метода Аналитичких Хијерархијских Процеса (АХП), попут других више критеријумских метода [1], [2], [3], [4], се користи за добијање приоритета фактора ризика у грађевинским пројектима. Рап [14] је предложио модел за избор одговарајуће методе конструкције моста заснован на фази АХП са троугластим и трапезоидним расплутим бројевима (елементи фази скупова) са концептом α реза. Јасковски и др. [6] је предложио проширени фази АХП метод за процену тежине критеријума за избор извођача, према пољском закону о јавним набавкама који је усклађен са смерницама ЕУ о тој теми. Таулап и др. [19] су користили фази АХП и фази ТОПСИС методе за одабир грађевинских пројеката и процену ризика. Н. Прашчевић и Ж. Прашчевић [16] разматрали су проблем избора конструктивног система за изградњу индустријске хале по прописаним критеријумима. Polat [15] је предложио интегрисани приступ одлучивању, који користи АХП и PROMETEE заједно за проблем избора подизвођача. del Капо и др. [4] представили су метод за анализу неизвесности у одрживом пројектовању бетонских конструкција. Овај метод се заснива на стаблима захтева, анализи вредности и АХП.

Метода ВИКОР, која је овде представљена, развијена је за одређивање вишекритеријумског оптималног решења. Коначну одлуку доноси доносилац одлуке који има сложену структуру и недовољно изражену преференцију у поступку оптимизације [11], [13] ВИКОР метода је развијена на таквим методолошким основама да се доносиоцу одлуке нуди компромисна алтернатива или решење.

Теорија фази (Fuzzy) логике уводи у математичке оквире уобичајени начин резоновања човека при решавању свакодневних проблема који почива на речима (квалитативни приступ), а ређе бројевима (квантитативни приступ).

Теорија фази скупова и фази логике мотивисана је жељом да се сачини основа за рачунање речима са циљем да се квалитативним приступом решавају проблеми као што су: доношење одлука у условима неодређености, препознавање облика и руком писаних знакова, анализе сцене, моделовања комплексних система, управљање системима итд.

Постоје четири варијанте пројектовања и изградње пумпне станице и третмана атмосферских отпадних вода:

- Варијанта 1 – у овом алтернативном решењу – алтернатива подразумева извођење ПС у отвореном ископу са изливом под правим углом у односу на осу канала.
- Варијанта 2 – у овом алтернативном решењу – алтернатива подразумева извођење ПС у отвореном ископу са изливом под углом у односу на осу канала.
- Варијанта 3 – ова алтернатива предвиђа да се црпна станица изводи као отворени кесон – бунар са изливом под правим углом у односу на осу канала.
- Варијанта 4 - ова алтернатива предвиђа да се црпна станица пројектује као отворени кесон - бунар са изливом под углом у односу на осу канала.

Бунар се изводи поткопавањем без црпљења воде при спуштању на пројектовану коту. За спуштање бунара потребно је формирати радни плато. Алтернативе се вреднују на основу следећих критеријума: К1-утицај извођења ископа на постојеће објекте, К2-утицај на постојеће инфраструктурне водове, К3-утицај на заузетост грађевинске парцеле ископом, К4-утицај грађевинских радова на рад ПП Макиш, К5-утицај подземних вода на извођење, К6-утицај на тежину објекта. За избор оптималног решења примењена је АХП-ВИКОР метода са фази приступом описана дијаграмом испод.



Слика 2. Дијаграм АХП – ВИКОР методе са Fuzzy приступом
Figure 2. Diagram AHP – VIKOR Method With The Fuzzy Approach

Одлучено је да се атмосферске воде са комплекса „Макиш“ (постројења „Макиш 1“, „Макиш 2“ и „Језеро“) третирају према одговарајућој Европској норми (BS EN 858-1).

У складу са овом нормом, предвиђа се сепаратор уља и масти Класе 1. Класа 1 сепаратора подразумева максималну излазну концентрацију уља и масти од 5 mg/l. Овај тип сепаратора задовољава строжије критеријуме поменуте норме (нпр. класа 2 сепаратора према овој норми подразумева максималну излазну концентрацију уља и масти од 100 mg/l). Нивои воде у ПС атмосферске канализације који обезбеђују правилно функционисање третмана атмосферских вода су: мин 68.20, мах 69.25 мм (приказано у табели испод).

Табела1. Нивои воде у ПС – атмосферска канализација

Table 1. Water levels in PS - atmospheric sewerage

Пумпа бр.	кота укључења (mm)	кота искључења (mm)
Пумпа бр. 1	69.27	68.20
Пумпа бр. 2	69.32	68.25
Резервни нивои	69.37	68.30

3. Резултати и дискусија

Хидраулички прорачун у Урбано програму [20], део прорачуна приказан је у табели испод, даје решења хидрауличких оптерећења предметне канализационе мреже. Из документације [5] преузете су величине хидрауличног оптерећења и дозвољених оптерећења ПС. У раду у исто време могу учествовати две пумпе капацитета по 400 L/s. Предвиђена је и једна резервна пумпа. У поступку избора пројектантског решења ПС „Макиш“ са третманом отпадних атмосферских вода применом АХП-ВИКОР методе са фази приступом предложено је и изабрано следеће решење: Варијанта 4 - алтернатива предвиђа да се пумпна станица изведе као отворени кесон - бунар са изливом под углом у односу на осу канала који се након горе поменуте детаљне анализе применом метода вишекритеријумске оптимизације сматра оптималним решењем.

Табела2. Део хидрауличног прорачуна

Table 2. Part of the hydraulic calculation

Назив деонице	Назив почетног чвора	Назив завршног чвора	Називни пречник цеви [mm]	Укупни проток [l/s]	Проток пуног профила [l/s]	Проценат протока [%]	Висина испуњености [mm]	Унутрашњи пречник [mm]	Проценат испуњености [%]	Брзина [m/s]	Брзина пуног профила [m/s]	Проценат брзина [%]
D4	C7	C6	800	764,00	1.011,16	75,56	492,93	742	66,43	2,50	2,34	107,11
D3	C6	C5	800	764,00	994,45	76,83	499,69	742	67,34	2,47	2,30	107,25

4. Закључна разматрања

Приказаним избором оптималног пројектантског решења применом вишекритеријумске оптимизације и методе АХП – ВИКОР са фази (Fuzzi) приступом као оптимално је добијено пројектантско решење: Варијанта 4 - алтернатива предвиђа да се пумпна станица изведе као отворени кесон - бунар са изливом под углом у односу на осу канала Стругара који је коначни реципијент атмосферских вода.

Резултат примене напред поменути вишекритеријумске методе слаже се са стварним захтевима заинтересованих и надлежних учесника у поступку пројектовања за изградњу предметне пумпне станице. Као оптимално решење усвојена је алтернатива - варијанта 4. Овом варијантом је предвиђено да се пумпна станица изведе као отворени кесон - бунар са изливом под углом у односу на осу канала Стругара који прихвата третиране атмосферске воде. Бунарски начин изградње пумпне станице избегава интеракцију са околним цевоводима: спољним сервисним прстеном фабрике за производњу воде за пиће Макиш Ø500 и са магистралним водоводним цевоводом Ø1500 чија је намена снабдевање града Београда пијаћом водом. Оштећење напред поменутих цевовода изазива прекид рада целе фабрике за производњу воде за пиће „Макиш“ и прекид водоснабдевања потрошача на подручју града Београда са конзумним подручјем на коме се налази око 2.000.000 становника који се снабдевају пијаћом водом са напред поменути Фабрике воде за пиће. Једнако је важно избећи колизију са другом инфраструктуром у непосредном окружењу пројектованих објеката остављајући довољно простора за планирано извођење и одржавање других планираних објеката - регулатора притиска и сл. Добија се нешто масивнија грађевинска конструкција, али је знатно мања штета извођење масивније конструкције у економском смислу у односу на укупне проблеме и трошкове који су овом изабраном варијантом избегнути.

5. Литература

- [1] Abu-Taleb M. F, Mareschal, B. Water resources planning in the Middle East: Application of the PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operational Research*, 81, 500–511, 1995.
- [2] Athawale, V. M, Chakraborty, S..Facility Layout Selection Using PROMETHEE II Method. *The IUP Journal of Operations Management*, 9(1-2), 81–98, 2010.
- [3] Barton V. D. *Operations research in research and development*, John Wiley & Sons, Inc., New York, London, 1963.
- [4] Del Cano A, de la Cruz M. P, Gomez D, Perez M, Fuzzy method for analysing uncertainty in the sustainable design of concrete structures, *Journal of Civil*

- Engineering and Management* 22(7): (2016) 924–935. <https://doi.org/-10.3846/13923730.2014.928361>
- [5] 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.
 - [6] Jaskowski P, Biruk S, Bucon, R. Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment, *Automation in Construction* 19: 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.12.014>, 2010
 - [7] Jevtic M, Milojkovic I, Stojnic N, Research of the performance of pulse electrohydrodynamics in blockage removal, *Water Science & Technology*, 64.1 102-108, 2011.
 - [8] Kessili A, Benmamar S. Prioritizing sewer rehabilitation projects using AHP-PROMETHEE II ranking method. *Water Science & Technology*, 73(2) 283–291, 2016.
 - [9] Milojković I, Despotović J, Karanović I. Model for Maintenance of Sewerage System based on Inspection. IWA 7th Eastern European Young Water Professionals Conference, 17-19 September 2015, Belgrade, Serbia, Publisher: IWA - International Water Association, 538-543, 2015.
 - [10] Milojković I, Romanović I. Analiza varijantnih rešenja rekonstrukcije KCS „Železnička stanica“ metodom PROMETHEE, 39. Međunarodni stručno-naučni skup „Vodovod i kanalizacija '18“, Valjevo, 09–12.10.2018., Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, ISBN 978-86-80067-39-1, 121-126, 2018.
 - [11] Milojković, I. Uporedna analiza varijantnih rešenja rekonstrukcije KCS „Železnička stanica“ metodama VIKOR i PROMETHEE, 40. Međunarodna konferencija „Vodovod i kanalizacija '19“, Novi Sad, 01.–04.10.2019., Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, ISBN 978-86-80067-42-1 (2019a) 322-327, 2019.
 - [12] Milojković I. Uporedna analiza prečišćavanja industrijskih otpadnih voda u HE „Đerdap 1“ metodama VIKOR i PROMETHEE, 48. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda „VODA 2019“, 04.-06. jun 2019., Zlatibor, Izdavač: Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd, ISBN 978-86-916753-5-6 (2019b) 329-338, 2019.
 - [13] 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=0354-024309-02225O>
 - [14] Pan N. F. Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method, *Automation in Construction* 17: 958–965. <https://oi.org/-10.1016/-j.autcon.2008.03.005>, 2008.

- [15] Polat G. Subcontractor selection using the integration of the AHP and PROMETHEE methods, *Journal of Civil Engineering and Management* 22(8): 1042–1054. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.948910>, 2016.
- [16] Prascevic N, Prascevic, Z. Application of fuzzy AHP method on eigenvalues for decision making in construction industry, *Technical Gazette* 23(1): 57–64, 2016.
- [17] 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.
- [18] Savić A. D. The use of data-driven methodologies for prediction of water and wastewater asset failures, Centre for Water Systems, University of Exeter, North Park Road, Exeter, EX4 4QF, United Kingdom, Chapter published in the Springer book: Risk Management of Water Supply and Sanitation Systems 181-190, 2009.
- [19] Taylan O, Bafail A. O, Abdulaal R. M. S, Kabli M. R. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies, *Applied Soft Computing* 17: 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003>, 2014.
- [20] URBANO 11, StudioARS d.o.o., www.studioars.hr, 2022.

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



**45. MEĐUNARODNA
KONFERENCIJA**

ZBORNİK RADOVA

VODOVOD I KANALIZACIJA '24

Brzeće

08 - 11. oktobar 2024.



SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

45. Međunarodna konferencija
VODOVOD I KANALIZACIJA '24

Zbornik radova

Brzeće, Hotel „Junior“
08 – 11. oktobar 2024.

Izdavač:

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

Za izdavača:

mr Bogdan Vlahović, dipl. inž, generalni sekretar

Programski odbor:

V. prof. dr Aleksandar Đukić (predsednik), prof. dr Slaviša Trajković, prof. dr Srđan Kolaković, prof. dr Srđan Rončević, prof. dr Jovan Despotović, prof. dr Dragan Milićević, prof. dr Rada Petrović, Vladimir Milojević, Dušan Đurić, Miodrag Popović, dr Zorica Lopičić, dr Dragana Randelović, prof. dr Goce Taseski, prof. dr Goran Orašnin, prof. dr Darko Vuksanović, prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Vaso Novaković, prof. dr Dragica Čamovska, prof. dr Filip Kokalj i dr Olivera Doklešić

Organizacioni odbor:

Mr Bogdan Vlahović (predsednik), Dalibor Joknić, Nebojša Jakovljević, Nikica Ivić, Dalibor Savić, Vladimir Milosavljević, mr Zoran Pendić, dr Tatjana Šoštarić, dr Dušan Milojkov, dr Jelena Petrović, dr Danijela Smiljanić, dr Aleksandar Jovanović, dr Mladen Bugarčić, Zoran Nikolić, Milan Đorđević, Olivera Čosović MSc, Marijana Mihajlović i Olja Jovičić

Recenzenti:

Prof. dr Jovan Despotović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet
Prof. dr Dragan Milićević, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet
Prof. dr Rada Petrović, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet
Prof. dr Srđan Rončević, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno matematički fakultet
V. prof. dr Aleksandar Đukić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Glavni i odgovorni urednik:

V. prof. dr Aleksandar Đukić, dipl. inž.

Lektura i korektura:

Olivera Čosović, mast. filol.

Tehnički urednik:

Olja Jovičić, dipl. prav.

Štampa:

Akadska izdanja, Zemun

Naslovna strana:

Lago di Garda, Italija

Autor fotografije:

Olja Jovičić

ISBN: 978-86-82563-30-3

Godina izdavanja: 2024.

Tiraž: 200 primeraka

Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno stavove izdavača i članova Programskog odbora

Olivera Doklešić

Upravljanje vodovodnim sistemom u restriktivnom režimu snabđivanja.....	271
--	------------

Dejan Kubatov

Pozitivna iskustva JKP „Vodovod“ Bezdan	279
--	------------

Mirjana Ninković-Nikolić, Biljana Tomić Tucaković

Sadržaj tragova metala u flaširanim prirodnim mineralnim vodama i vodi za piće sa česme	289
--	------------

*Dragan Marinović, Zoran Milićević, Svetlana Belošević, Dušanka
Marinović, Jovana Belošević*

Javne česme grada Kraljeva	299
---	------------

Zoran Dimitrijević

Značaj seoskih vodovoda za unapređenje bezbednosti vodosnabdevanja	307
---	------------

Aleksandra Porjazoska-Kujundžiski, Dragica Čamovska

Qualitative Determination of the Solid Calcium Carbonate Deposition Tendency from Natural Waters.....	321
--	------------

Tema 4. Upravljanje sistemima kanalizacije

*Aleksandar Đukić, Branislava Lekić, Branislav Babić,
Ognjen Govedarica, Vladana Rajaković Ognjanović*

Mogućnosti primene prirodom inspirisanih rešenja za urbano odvodnjavanje u Srbiji	329
--	------------

*Željka Ostojić, Miloš Stanić, Strahinja Nikolić, Sanja Marčeta,
Nemanja Rak*

Primena infiltracije i eksfiltracije u sistemima kišne kanalizacije	339
--	------------

Ivan Milojković, Nataša Prašćević

Primena metode AHP-VIKOR sa fazi pristupom u projektovanju objekata atmosferske kanalizacije.....	353
--	------------

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.1/.3(082)

МЕЂУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА ВОДОВОД И КАНАЛИЗАЦИЈА (45 ; 2024 ; БРЗЕЋЕ)

Zbornik radova / 45. Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija '24, Brzeće, 08 – 11. oktobar 2024. ; [organizator] Savez inženjera i tehničara Srbije ... [et al.]] ; [glavni i odgovorni urednik Aleksandar Đukić]. - Beograd : Savez inženjera i tehničara Srbije, 2024 (Zemun : Akademsko izdanje). - 522 str. : ilustr. ; 25 cm

Teskt čir. i lat. - Tiraž 200. - Napomene uz radove. - Str. 13-14: Predgovor / Aleksandar Đukić. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-82563-30-3

а) Водовод -- Зборници б) Канализација -- Зборници в) Отпадне воде -- Зборници

COBISS.SR-ID 153088265