



ПРИМЕНА ФАЗИ АХП МЕТОДЕ ЗА ИЗБОР ТЕХНОЛОГИЈЕ ИЗГРАДЊЕ КАНАЛИЗАЦИОНЕ ЦРПНЕ СТАНИЦЕ МАКИШ

APPLICATION OF FUZZY AHP METHOD FOR SELECTION OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY FOR SEWAGE PUMPING STATION MAKIS

НАТАША ПРАШЧЕВИЋ¹, ИВАН МИЛОЈКОВИЋ²

¹ Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Београд, natasa@grf.bg.ac.rs

² Институт за водопривреду 'Јарослав Черни', Београд, ivan.milojkovic@jcerni.rs

Резиме: У раду се разматра примена фазе АХП методе са троугластим фазе бројевима приликом избора технологије изградње Канализационе црпне станице Макиш. Анализиране су четири варијанте (алтернативе) чије рангирање је извршено у односу на шест критеријума. Фаза АХП метода базира се на одређивању фазе сопствених вредности и сопствених вектора.

Кључне речи: троугласти фаза број, фаза АХП метод, атмосферске отпадне воде.

Abstract: The paper discusses the application of the fuzzy AHP method with triangular fuzzy numbers during the selection of construction technology for the Makiš sewage pumping station. Four variants (alternatives) were analyzed and ranked according to six criteria. The fuzzy AHP method is based on the determination of fuzzy eigenvalues and eigenvectors.

Keywords: Triangular fuzzy number, Fuzzy AHP method, atmospheric wastewater.

1. УВОД

У традиционалној формулацији проблема вишекритеријумске оптимизације оцене експерата су представљене као егзактни бројеви. Међутим, у свакодневној пракси, подаци могу бити непрецизни или доносиоци одлука нису у могућности да своје закључке представе у виду нумеричких вредности. Такође, поједини критеријуми могу бити квалитативне или субјективне природе, због чега доносиоци одлука нису у могућности да своје преференције изразе помоћу тачних бројева. Због тога су конвенционалне методе вишекритеријумске оптимизације мање ефикасне у ситуацијама у којима постоји непрецизна или нејасна лингвистичка процена. АХП метода је једна од најчешће коришћених техника за структурирање и анализирање сложених система и доношење одлука у ситуацији када постоји већи број конфликтних критеријума. Фаза АХП метод се може посматрати као унапређени метод настао из традиционалног АХП метода.

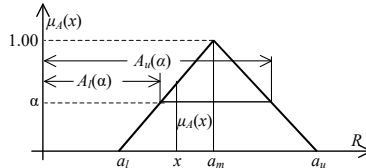
Бројни истраживачи су користили технике вишекритеријумског одлучивања за решавање практичних проблема. Пан је предложио модел за избор одговарајуће методе конструкције моста заснован на фази АХП са троугластим и трапезоидним расплутим бројевима [9]. Јасковски и др. су предложили проширени фаза АХП метод за процену тежине критеријума за избор извођача [6]. Тајлан и др. су користили фаза АХП и фаза ТОПСИС методе за одабир грађевинских пројеката и процену ризика [11]. Ибрахим и др. су комбиновали фаза АХП методу и ГИС за избор најбоље локације станице за прикупљање отпадних вода [4]. Хо и др. су коришћењем фазе АХП процеса извршили синтезу процеса пречишћавања отпадних вода и избора добављача [3]. Чаисар и Гарг су применили АХП методу за избор оптималне технологије пречишћавања отпадних вода [1]. Ојанг и др. су интегрисали фаза АХП процес са приступом вишедимензионалног скалирања приликом разматрања проблема природног третирања отпадних вода [8].

Преглед литературе приказује да су бројни аутори успешно користили АХП и фази АХП методу за решавање практичних проблема. У овом раду је предложена примена фази АХП методе са троугластим расплнуним бројевима. Поступак се базира на одређивању сопствених вредности које се добијају коришћењем очекиване вредности расплнуних бројева и њихових производа. Добијене сопствене вредности и сопствени вектори се примењују у даљем поступку за рангирање алтернатива. Предложени поступак је коришћен у студији случаја за избор технологије изградње Канализационе црпне станице Макиш.

2. МЕТОДОЛОГИЈА

Аналитички хијерархијски процес (АХП) је техника која се користи у области вишекритеријумског одлучивања коју је предложио Сати [11]. Заснована је на развијању сложеног проблема у хијерархију, где је циљ на врху, а критеријуми, подкритерији и алтернативе се формирају на више хијерархијских нивоа. Доносилац одлуке упоређује елементе у паровима на сваком хијерархијском нивоу у односу на елемент на вишем нивоу, користећи такозвану Сатијеву скалу. Пошто су неки критеријуми квалитативне природе, доносиоци одлука их не могу једноставно изразити. Због тога, егзактни бројеви нису прикладни за упоредне вредности у паровима. Да би се превазишао овај недостатак, предложена је фази АХП метода.

У овом раду се користи троугласти расплнун број (Слика 1)



Слика 1. Троугласти фази број \tilde{A}

Троугласти фази број се обично описује са три карактеристичне нумеричке вредности: a_l , a_m и a_u тј. $\tilde{A} = (a_l, a_m, a_u)$. Реципрочни фази број \tilde{A}^{-1} фази броја \tilde{A} је $\tilde{A}^{-1} = (1/a_u, 1/a_m, 1/a_l)$.

Фази АХП метода која се користи у овом раду обавља се у следећим корацима.

Корак 1. Дефинисати проблем, општи циљ који треба постићи, критеријуме и алтернативе. Дефинисати хијерархијску структуру од највишег нивоа, преко средњег нивоа, који садржи критеријуме и подкритеријуме, до најнижег нивоа, који се односи на алтернативе.

Корак 2. Формулисати реципрочну фази матрицу поређења за критеријуме C_1, C_2, \dots, C_n процењујући вредности приоритета као фази бројеве $\tilde{c}_{ij} = (c_{ij,l}, c_{ij,m}, c_{ij,u})$ ($i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,n$). Фази матрице поређења за сваки од критеријума представити помоћу три матрица C_l, C_m и C_u (1) тј.

$$C_l = \begin{bmatrix} 1 & c_{12,l} & \dots & c_{1k,l} \\ \frac{1}{c_{12,l}} & 1 & \dots & c_{2k,l} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{1}{c_{1k,l}} & \frac{1}{c_{2k,l}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad C_m = \begin{bmatrix} 1 & c_{12,m} & \dots & c_{1k,m} \\ \frac{1}{c_{12,m}} & 1 & \dots & c_{2k,m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{1}{c_{1k,m}} & \frac{1}{c_{2k,m}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad C_u = \begin{bmatrix} 1 & c_{12,u} & \dots & c_{1k,u} \\ \frac{1}{c_{12,u}} & 1 & \dots & c_{2k,u} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{1}{c_{1k,u}} & \frac{1}{c_{2k,u}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Сатијев АХП метод се базира на одређивању сопствених вредности и сопствених вектора на различитим нивоима хијерархије. То значи да у случају фази АХП метода треба решити систем хомогених фази линеарних једначина:

$$\tilde{A} \otimes \tilde{w} = \tilde{\lambda}_l \otimes \tilde{w} \quad (2)$$

Решење овог проблема заснива се на срачунавању очекиваних вредности фази бројева и њихових производа:

$$EV(\tilde{A}) = (a_l + 2a_m + a_u) / 4, \quad EV(\tilde{A} \otimes \tilde{B}) = \frac{1}{12} [(2a_l + a_m)b_l + (a_l + 4a_m + a_u)b_m + (a_m + 2a_u)b_u] \quad (3)$$

Систем фази линеарних једначина (2) може се записати у следећем облику:

$$\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{w}_1 \oplus \tilde{a}_{i2} \otimes \tilde{w}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{a}_{in} \otimes \tilde{w}_n = \tilde{\lambda} \otimes \tilde{w}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Очекивана вредност производа фази бројева на основу (3) је:

$$EV(\tilde{a}_{ij} \otimes \tilde{w}_{ij}) = \frac{1}{12} [(2a_{ij,l} + a_{ij,m})w_{j,l} + (a_{ij,l} + 4a_{ij,m} + a_{ij,u})w_{j,m} + (a_{ij,m} + 2a_{ij,u})w_{j,u}]$$

$$EV(\tilde{\lambda} \otimes \tilde{w}_i) = \frac{1}{12} [(2\lambda_l + \lambda_m)w_{i,l} + (\lambda_l + 4\lambda_m + \lambda_u)w_{i,m} + (\lambda_m + 2\lambda_u)w_{i,u}] \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (5)$$

Увођењем формула (5) у систем хомогених фази линеарних једначина (2) добија се:

$$\bar{A}_l \mathbf{w}_l + \bar{A}_m \mathbf{w}_m + \bar{A}_u \mathbf{w}_u - \bar{\lambda}_l \mathbf{w}_l - \bar{\lambda}_m \mathbf{w}_m - \bar{\lambda}_u \mathbf{w}_u = \mathbf{0}, \quad (6)$$

где је:

$$\bar{A}_l = 2A_l + A_m, \quad \bar{A}_m = A_l + 4A_m + A_u, \quad \bar{A}_u = A_m + 2A_u$$

$$\bar{\lambda}_l = 2\lambda_l + \lambda_m, \quad \bar{\lambda}_m = \lambda_l + 4\lambda_m + \lambda_u, \quad \bar{\lambda}_u = \lambda_m + 2\lambda_u$$

$$\mathbf{w}_l = [w_{1,l}, w_{2,l}, \dots, w_{n,l}]^T, \quad \mathbf{w}_m = [w_{1,m}, w_{2,m}, \dots, w_{n,m}]^T, \quad \mathbf{w}_u = [w_{1,u}, w_{2,u}, \dots, w_{n,u}]^T$$

Пошто су све вредности у овим једначинама позитивне, могуће је поделити систем једначина (6) на три система, од којих сваки представља посебан проблем сопствених вредности:

$$\bar{A}_l \mathbf{w}_l = \bar{\lambda}_l \mathbf{w}_l, \quad \bar{A}_m \mathbf{w}_m = \bar{\lambda}_m \mathbf{w}_m, \quad \bar{A}_u \mathbf{w}_u = \bar{\lambda}_u \mathbf{w}_u.$$

На описани начин решити фази проблем сопствених вредности $\tilde{C} \otimes \tilde{w} = \tilde{\lambda}_l \otimes \tilde{w}$ и одредити фази сопствене вредности $\tilde{\lambda} = (\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$ и одговарајуће фази сопствене векторе $\tilde{w} = (w_l, w_m, w_u)$ тј. векторе приоритета.

Корак 3. Формулисати фази матрице поређења сваког од алтернативних решења у односу на сваки критеријум. Према поступку описаном у другом кораку одредити јединствене вредности фази проблема

$$\tilde{A}^{(j)} \otimes \tilde{p}^{(j)} = \tilde{\lambda}^{(j)} \otimes \tilde{p}^{(j)}, \quad j = 1, 2, \dots, m;$$

Корак 4: Формулисати фази матрицу \tilde{P} која садржи нормализоване векторе приоритета. Множењем ових матрица са добијеним векторима приоритета критеријума, који су срачунати у кораку 2, одредити глобалне векторе приоритета

$$\mathbf{g}_l = \mathbf{P}_l \tilde{w}_l = [g_{1,l} \ g_{2,l} \ \dots \ g_{m,l}]^T, \quad \mathbf{g}_m = \mathbf{P}_m \tilde{w}_m = [g_{1,m} \ g_{2,m} \ \dots \ g_{m,m}]^T, \quad \mathbf{g}_u = \mathbf{P}_u \tilde{w}_u = [g_{1,u} \ g_{2,u} \ \dots \ g_{m,u}]^T.$$

Ови вектори формирају фази матрицу глобалних приоритета \tilde{G} алтернатива A_1, A_2, \dots, A_m .

Корак 5: Извршити рангирање алтернатива према њиховим глобалним приоритетима.

3. СТУДИЈА СЛУЧАЈА

Описани метод примењен је приликом избора оптималне технологије изградње Канализационе црпне станице Макиш. Разматрана су четири алтернативна решења третмана

атмосферских вода за комплекс Макиш, цевоводи и шахтови око третмана и пумпне станице [5]. Том приликом анализирано се пројектовање и извођење објекта пумпне станице (ПС) и цевовода од пумпне станице до реципијента – канал Стругара. Објекат пумпне станице је правоугаоне основе, димензија 5.4 x 10.9 m укупне висине 7.75 m. Укопан је до коте 65.05 mmn, фундиран у слоју песка и шљунка.

Разликују се четири варијанте (алтернативе) пројектовања и изградње пумпне станице:

- Варијанта 1: пумпна станица се изводи у отвореном ископу са изливом под правим углом у односу на осу канала;
- Варијанта 2: пумпна станица се изводи у отвореном ископу са изливом под углом у односу на осу канала;
- Варијанта 3: пумпна станица се изводи као отворен кесон – бунарски са изливом под правим углом у односу на осу канала;
- Варијанта 4: пумпна станица се изводи као отворен кесон – бунарски са изливом под углом у односу на осу канала.

Алтернативе се вреднују на основу следећих критеријума:

- K1: Утицај извођења ископа на постојеће објекте: подразумева величину и врсту ископа. Тежи се ка што мањем ископу изнад нивоа подземних вода или технологији као што је бунарско извођење где није потребна употреба подграда.
- K2: Утицај на постојеће инфраструктурне водове: подразумева проблеме са укрштањем и измештањем постојећих водова што у посматраном систему грађевина и опреме представља изузетан проблем. Поред укрштања са магистралним водоводним цевоводом Ф1500, чија је намена снабдевање града Београда пијаћом водом, ту је и спољни сервисни прстен фабрике за производњу пијаће воде Макиш Ф500 чије оштећење и прекид рада проузрокује и прекид рада комплетне фабрике Макиш и прекид водоснабдевања потрошача на подручју града Београда.
- K3: Утицај на заузетост грађевинске парцеле ископом: радови се изводе у близини објеката за водоснабдевање од републичког значаја, па је пожељно што мање ометати садржаје у посматраној I зони санитарне заштите.
- K4: Утицај грађевинских радова на рад предметног постројења Макиш: подразумева тежњу ка што мањем ометању предметног постројења при допремању грађевинског материјала и опреме као и при раду грађевинских машина на изградњи предметних канализационих цевовода и канализационе пумпне станице.
- K5: Утицај подземних вода на извођење: може бити знатан због близине реке Саве а ниво подземне воде на локацији је у директној зависности од нивоа реке Саве.
- K6: Утицај на тежину објекта: за бунарско извођење потребна је већа тежина конструкције како би при sukcesивном ископу могла да буде постављена на пројектовану дубину. То подразумева већу количину уграђеног бетона и арматуре, што покушљује извођење и отежава достављање грађевинског материјала.

За дефинисани проблем формирана је хијерархија одлучивања.

Фази матрице међусобног поређења сваке од алтернатива са критеријумима су:

$$\tilde{A}^{(1)} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (1,1,5,2) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) \\ (1, \frac{1}{1,5}, \frac{1}{2}) & (1,1,1) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) \\ (8,5,9,9,5) & (8,5,9,9,5) & (1,1,1) & (1,1,5,2) \\ (8,5,9,9,5) & (8,5,9,9,5) & (1, \frac{1}{1,5}, \frac{1}{2}) & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad \tilde{A}^{(2)} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (1,1,5,2) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) \\ (1, \frac{1}{1,5}, \frac{1}{2}) & (1,1,1) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) \\ (8,5,9,9,5) & (8,5,9,9,5) & (1,1,1) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) \\ (8,5,9,9,5) & (8,5,9,9,5) & (8,5,9,9,5) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{A}^{(3)} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (2,2,5,3) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) \\ (\frac{1}{3}, \frac{1}{2,5}, \frac{1}{2}) & (1,1,1) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) \\ (8,5,9,9,5) & (8,5,9,9,5) & (1,1,1) & (\frac{1}{4,5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3,5}) \\ (8,5,9,9,5) & (8,5,9,9,5) & (3,5,4,4,5) & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad \tilde{A}^{(4)} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (2,2,5,3) & (\frac{1}{6,5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}) & (\frac{1}{6,5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}) \\ (\frac{1}{3}, \frac{1}{2,5}, \frac{1}{2}) & (1,1,1) & (\frac{1}{6,5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}) & (\frac{1}{6,5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}) \\ (5,5,6,6,5) & (5,5,6,6,5) & (1,1,1) & (\frac{1}{6,5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}) \\ (5,5,6,6,5) & (5,5,6,6,5) & (5,5,6,6,5) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{A}^{(5)} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (0,5,1,1,5) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) \\ (\frac{1}{1,5}, \frac{1}{0,5}) & (1,1,1) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) & (\frac{1}{9,5}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}) \\ (8,5,9,9,5) & (8,5,9,9,5) & (1,1,1) & (1,1,5,2) \\ (8,5,9,9,5) & (8,5,9,9,5) & (\frac{1}{2}, \frac{1}{1,5}, 1) & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad \tilde{A}^{(6)} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (1,1,1) & (5,5,5,6) & (5,5,5,6) \\ (1,1,1) & (1,1,1) & (5,5,5,6) & (5,5,5,6) \\ (\frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}, \frac{1}{5}) & (\frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}, \frac{1}{5}) & (1,1,1) & (1,1,5,2) \\ (\frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}, \frac{1}{5}) & (\frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}, \frac{1}{5}) & (\frac{1}{2}, \frac{1}{1,5}, 1) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

Фази матрица међусобног поређења критеријума \tilde{C} и вектор тежина \tilde{w} су:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & (4,4,5,5) & (5,5,5,6) & (2,2,5,3) & (\frac{1}{8,5}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7,5}) & (0,5,1,1,5) \\ (\frac{1}{5}, \frac{1}{4,5}, \frac{1}{4}) & 1 & (1,1,5,2) & (6,6,5,7) & (7,7,5,8) & (4,4,5,5) \\ (\frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}, \frac{1}{5}) & (\frac{1}{2}, \frac{1}{1,5}, 1) & 1 & (5,5,5,6) & (1,1,5,2) & (8,8,5,9) \\ (\frac{1}{3}, \frac{1}{2,5}, \frac{1}{2}) & (\frac{1}{7}, \frac{1}{6,5}, \frac{1}{6}) & (\frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}, \frac{1}{5}) & 1 & (6,6,5,7) & (5,5,5,6) \\ (7,5,8,8,5) & (\frac{1}{8}, \frac{1}{7,5}, \frac{1}{7}) & (\frac{1}{2}, \frac{1}{1,5}, 1) & (\frac{1}{7}, \frac{1}{6,5}, \frac{1}{6}) & 1 & (8,8,5,9) \\ (\frac{1}{1,5}, \frac{1}{0,5}) & (\frac{1}{5}, \frac{1}{4,5}, \frac{1}{4}) & (\frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}, \frac{1}{8}) & (\frac{1}{6}, \frac{1}{5,5}, \frac{1}{5}) & (\frac{1}{9}, \frac{1}{8,5}, \frac{1}{8}) & 1 \end{bmatrix} \quad w = \begin{bmatrix} (0,195,0,217,0,244) \\ (0,234,0,253,0,278) \\ (0,139,0,159,0,183) \\ (0,133,0,143,0,157) \\ (0,179,0,195,0,216) \\ (0,029,0,032,0,039) \end{bmatrix}$$

Фази матрица приоритета \tilde{P} која садржи тежинске коефицијенте алтернатива за сваки критеријум је:

$$P = \begin{bmatrix} (0,049,0,055,0,062) & (0,038,0,042,0,048) & (0,052,0,057,0,063) & (0,069,0,077,0,085) & (0,049,0,050,0,057) & (0,391,0,0423,0,491) \\ (0,041,0,045,0,051) & (0,033,0,036,0,040) & (0,035,0,037,0,040) & (0,046,0,050,0,054) & (0,049,0,050,0,057) & (0,391,0,423,0,491) \\ (0,437,0,494,0,559) & (0,196,0,212,0,232) & (0,280,0,298,0,318) & (0,225,0,244,0,265) & (0,454,0,493,0,564) & (0,074,0,084,0,098) \\ (0,369,0,406,0,458) & (0,667,0,709,0,760) & (0,564,0,607,0,653) & (0,564,0,629,0,678) & (0,385,0,406,0,463) & (0,063,0,069,0,080) \end{bmatrix}$$

Вектор укупних тежинских коефицијената \tilde{g} добијен је множењем фази матрице приоритета \tilde{P} и вектора тежинских коефицијената критеријума \tilde{w} :

Табела 1: Вектор укупних тежинских коефицијената

Алтер.	\tilde{g}	Очекивана вр.	Станд. дев.	Коеф. вар.
A1	(0,055,0,066,0,085)	0,068	0,005	0,071
A2	(0,047,0,055,0,071)	0,057	0,004	0,068
A3	(0,284,0,342,0,426)	0,349	0,023	0,065
A4	(0,455,0,536,0,652)	0,549	0,031	0,058

Пошто су укупне тежине троугласти фази бројеви, њихово рангирање се може извршити према генерализованој фази средњој вредности, односно очекиваној вредности (7) и генерализованој фази распрострањености, односно стандардној девијацији (8)

$$g_{i,e} = (g_{i,l} + 2g_{i,m} + g_{i,u}) / 4 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$$\sigma = \left[\frac{1}{80} (3g_{i,l}^2 + 4g_{i,m}^2 + 3g_{i,u}^2 + 4g_{i,l}g_{i,m} + 2g_{i,l}g_{i,u} + 4g_{i,m}g_{i,u}) \right]^{1/2}, \quad i = 1, \dots, m. \quad (8)$$

Боље је рангиран расплут број са вишом очекиваном вредношћу и мањом стандардном девијацијом [7]. То значи да је најбоље рангирана алтернатива A4, а затим алтернативе A3, A1 и A2. Рангирање расплутих бројева може се извршити и према коефицијенту варијације [2]. Фази број са нижим коефицијентом варијације боље се рангира од броја са већим коефицијентом варијације. У том случају, алтернатива A4 је поново најбоље рангирана, а затим опет следе алтернативе A3, A1 и A2.

Резултат ове оптимизације је веома добар пошто је предложена Алтернатива 4 усвојена као оптимално решење. Овом алтернативом предвиђено је да се пумпна станица изводи као

отворен кесон – бунарски са изливом под углом у односу на осу канала, што у потпуности задовољава захтеве наручиоца. Бунарском методом извођења пумпне станице се највише могуће избегава интеракција са околним цевоводима, чија је намена снабдевање града Београда пијаћом водом, као и спољним сервисним прстеном фабрике за производњу пијаће воде Макиш Ф500, чије оштећење и прекид рада проузрокује и прекид рада комплетне фабрике Макиш и прекид водоснабдевања потрошача на подручју града Београда.

4. ЗАКЉУЧАК

У раду је приказан метод за израчунавање сопствених вредности и сопствених вектора троугластог расплинутог броја на основу процене очекиваних вредности фази бројева и њихових производа. Проблем расплинутих сопствених вредности са троугластим расплутим бројевима трансформисан је у три помоћна проблема сопствених вредности. Рангирање алтернатива извршено је према очекиваној вредности, стандардној девијацији и коефицијенту варијације. Предложена процедура примењена је за рангирање четири варијанте технологије изградње Канализационе црпне станице Макиш. Решење добијено предложеном методом одговара усвојеном оптималном решењу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chaisar, M., Garg, S. K. (2022). Selection of Sewage Treatment Technology using Analytic Hierarchy Process. *Materials Today: Proceedings*, 56, 3433-3440.
- [2] Cheng, C-H. (1992). A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method. *Fuzzy Sets and Systems*, 95, 307-317.
- [3] Ho, J. Y., Ooi, J., Wan, Y. K., & Andiappan, V. (2021). Synthesis of wastewater treatment process (WWTP) and supplier selection via Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). *Journal of Cleaner Production*, 314, 128104.
- [4] Ibrahim, E. H., Mohamed, S. E., & Atwan, A. A. (2011). Combining fuzzy analytic hierarchy process and GIS to select the best location for a wastewater lift station in El-Mahalla El-Kubra, North Egypt. *International Journal of Engineering & Technology*, 11(5), 44-50.
- [5] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“. (2020). Izrada projekta za izvođenje i izgradnju pumpe stаницe i objekata za tretman i odvođenje atmosfernih voda - Makiš, Idejno rešenje.
- [6] Jaskowski, P., Biruk, S., Bucon, R. (2010). Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment, *Automation in Construction* 19, 120–126.
- [7] Lee, E. S., Li, R.L. (1988). Comparison of fuzzy numbers based on the probability measure of fuzzy events. *Computers & Mathematics with Application* 15, 887-896.
- [8] Ouyang, X., Guo, F., Shan, D., Yu, H., Wang, J. (2015). Development of the integrated fuzzy analytical hierarchy process with multidimensional scaling in selection of natural wastewater treatment alternatives. *Ecological Engineering*, 74, 438-447.
- [9] Pan, N. F. (2008). Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method, *Automation in Construction*, 17, 958–965.
- [10] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- [11] Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R. M. S., Kabli, M. R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies, *Applied Soft Computing* 17, 105–116.



МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

ЗБОРНИК РАДОВА

SYM-OP-IS 2023

Тара, 18–21. 9. 2023.



50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА

SYM-OP-IS 2023

Уредници:

Дејан Стојковић, Далибор Петровић, Срђан Димић



ЗБОРНИК РАДОВА
SYM-OP-IS 2023

Издавач
Медија центар „Одбрана”

Библиотека „Војна књига”
Књига број 2588
Едиција *Зборници*

За издавача
Директор
Биљана Пашић, пуковник

Начелник Одељења за издавачку
делатност – Редакција „Војна књига”
Горан Јањић, дипл. инж.

Ликовно-графички уредник
Марија Марић

Тираж 50 примерака

Штампа
Војна штампарија, Београд

Copyright © Медија центар „Одбрана”, 2023.

ISBN 978-86-335-0836-0

НОСИОЦИ ПОВЕЉЕ SYM-OP-IS-a
за заслуге у развоју операционих истраживања

Божидар Краут (1983)
Алојзиј Ваднал (1983)
Драгослав Марковић (1983)
Бранислав Ивановић (1984)
Љубомир Мартић (1984)
Радивој Петровић (1984)
Јован Петрић (1988)
Сањо Злобец (1990)
Радослав Станојевић (1991)
Светозар Вукадиновић (1993)
Слободан Крчевинац (1993)
Слободан Губеринић (1993)
Јово Вулета (1993)
Вера Ковачевић-Вујчић (1998)
Душан Теодоровић (1998)
Властимир Матејић (2000)
Мирко Вујошевић (2000)
Синиша Боровић (2001)
Томислав Зечевић (2001)
Слободан Вујић (2003)
Драган Радојевић (2006)
Мирјана Чангаловић (2010)
Ненад Младеновић (2010)
Спасоје Мучибабић (2010)
Милан Мартић (2012)
Драгош Цветковић (2013)
Горан Ћировић (2017)
Ђорђе Дугошија (2017)
Милорад Видовић (2019)
Драган Урошевић (2021)
Татјана Давидовић (2023)

ПОУЗДАНОСТ И УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ / RELIABILITY AND RISK MANAGEMENT.....	603
<i>Бранко Бабић</i>	
ЛОКАЛНА САМОУПРАВА И УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ У ОБЛАСТИ ВАНРЕДНИХ СИТУАЦИЈА	605
ПРИМЕНА ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ / OPERATIONAL RESEARCH APPLICATIONS IN CIVIL ENGINEERING.....	611
<i>Бојана Грујић, Сандра Косић Јерemiћ, Сњежана Максимовић, Тијана Мајкић</i>	
PREDICTION OF GROUND DISPLACEMENT BASED ON RELEVANT DATA USING SATELLITE TECHNOLOGIES	613
<i>Горан Ђировић, Наташа Поповић Милетић, Драган Памучар</i>	
КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА МЕТОДА ЗА ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ БАФЕРА У МЕТОДИ КРИТИЧНОГ ЛАНЦА.....	619
<i>Драган Николић, Драган Бојовић, Горан Ђировић, Славољуб Томић</i>	
ПРИМЕНА НАПРЕДНИХ АЛГОРИТАМА ПРИ ОДРЕЂИВАЊУ ПОЛОЖАЈА И ПРЕЧНИКА АРМАТУРНИХ ШИПКИ	625
<i>Јована Топалић, Владимир Мученски, Игор Пешко</i>	
ЈЕДНО РЈЕШЕЊЕ ЗА КРЕИРАЊЕ МОДЕЛА ПРОЦЈЕНЕ РИЗИКА	631
<i>Љубиша Прерадовић, Борђе Стојисављевић</i>	
УСПЈЕШНОСТ СТУДИРАЊА СТУДЕНАТА ГРАЂЕВИНАРСТВА	637
<i>Наташа Прашчевић, Иван Милојковић</i>	
ПРИМЕНА ФАЗИ АХП МЕТОДЕ ЗА ИЗБОР ТЕХНОЛОГИЈЕ ИЗГРАДЊЕ КАНАЛИЗАЦИОНЕ ЦРПНЕ СТАНИЦЕ МАКИШ	643
<i>Никола Васиљевић, Сњежана Максимовић, Славица Гајић</i>	
ХИБРИДНЕ НЕУРОНСКЕ МРЕЖЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ЦИЈЕНА НА ФИНАНСИЈСКИМ МАРКЕТИМА	649
ПРИМЕНЕ ОИ У ОДБРАНИ / OPERATIONAL RESEARCH IN DEFENCE	655
<i>Александар Златановић, Сања Томић, Марија Вићентијевић</i>	
РАНГИРАЊЕ ИНСТРУКТОРА У ОБУЦИ ВОЗАЧА.....	657
<i>Бориша Јовановић, Марија Шеклер, Иван Том</i>	
ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА И ТЕСТИРАЊЕ ПЕРФОРМАНСИ LIGHTWEIGHT КРИПТОГРАФСКИХ АЛГОРИТАМА НА JAVA СМАРТ КАРТИЦАМА	663
<i>Драган Бојанић, Марина Бојанић, Владимир Ристић</i>	
ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ДОНОШЕЊЕ ОДЛУКА БАЗИРАНО НА ХИБРИДНОМ FUZZY-DEMATEL-ANP МОДЕЛУ	669