



**UNIVERZITET U NOVOM PAZARU
DEPARTMAN ZA RAČUNARSKE NAUKE
STUDIJSKI PROGRAM: INFORMATIKA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:

Prof. dr Muzafer Saračević

Student:

Dr Darjan Karabašević

Br. indeksa: I-214/21

Novi Pazar, 2022.



**UNIVERZITET U NOVOM PAZARU
DEPARTMAN ZA RAČUNARSKE NAUKE
STUDIJSKI PROGRAM: INFORMATIKA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**NOVI MODELI, METODE I INTEGRISANI
PRISTUPI U REŠAVANJU PROBLEMA
VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA**

Mentor:

Prof. dr Muzafer Saračević, redovni profesor

Student:

Dr Darjan Karabašević

Br. indeksa: I-214/21

Novi Pazar, 2022.

Zahvalnica

Doktorska disertacija pod nazivom „Novi modeli, metode i integrisani pristupi u rešavanju problema višekriterijumskog odlučivanja“ rezultat je dugogodišnjeg rada koji se pre svega ogleda u publikacijama koje i čine ovu doktorsku disertaciju.

Posebnu zahvalnost bih iskazao svom mentoru prof. dr Muzaferu Saračeviću, skromnom a velikom čoveku na konstantnoj podršci, ukazanom poverenju, nesebičnoj pomoći, razumevanju i trudu prilikom izrade doktorske disertacije. Potom, svoju veliku, neizmernu i iskrenu zahvalnost, koja se rečima nikako ne može lako iskazati, dugujem dragom prof. dr Dragiši Stanujkiću, mom bivšem mentoru i dugogodišnjem saradniku, jer se pitanjima višekriterijumskog odlučivanja bavimo gotovo 10 godina. Takođe, prof. dr Samedu Jukiću zahvaljujem na korisnim savetima i sugestijama tokom izrade ovog rada.

Zahvaljujem prof. dr Miodragu Brzakoviću i prof. dr Tomislavu Brzakoviću na podršci i odluci da podrže moj rad na izradi ove doktorske disertacije. Takođe bih zahvalio i prof. dr Gabrijeli Popović na korisnim savetima i stručnoj pomoći.

Zahvalnost dugujem kolegama i koleginicama sa različitih strana sveta na savetima i sugestijama.

Ovu doktorsku disertaciju posvećujem mojim roditeljima. Hvala mojim najdražim roditeljima na bezgraničnoj ljubavi i podršci svih ovih godina!

„Per aspera ad astra“ – „Kroz trnje do zvezda“, latinska izreka.

Darjan

Novi modeli, metode i integrisani pristupi u rešavanju problema višekriterijumskog odlučivanja

Rezime

Mnoge realne probleme često karakterišu u velikoj meri suprotstavljeni kriterijumi. U mnogim oblastima istraživanja, primena metoda višekriterijumskog odlučivanja (VKO) je i dalje zanimljiva i aktuelna tema. Višekriterijumsko odlučivanje razmatra pitanja u kojima se suočavamo sa brojnim, najčešće suprotstavljenim kriterijumima prilikom odlučivanja i donošenja odluka. Doktorska disertacija ima za cilj da predstavi neke nove modele, metode i integrisane pristupe za rešavanje problema višekriterijumskog odlučivanja. U tom kontekstu, nove VKO metode će biti predložene, shodno tome biće predložene i ekstenzije VKO metoda zasnovane na *fuzzy*, *intuitionistic* i *neutrosophic* skupovima, a sve u cilju kako bi se smanjile neizvesnosti i nejasnoće koje prate proces donošenja odluka.

Ključne reči: Višekriterijumsko odlučivanje, VKO, *eksponencijalni weighted product* (EWP), *simple weighted sum product* metoda (WISP), *weighted product* (WP), *weighted sum* (WS), *fuzzy* skupovi, trougaoni *fuzzy* broj, lingvističke varijable, *neutrosophic* skup, *single-valued neutrosophic* broj, TOPSIS, *Hamming* rastojanje, Euklidsko rastojanje, informaciono-komunikacione tehnologije, IKT, *Bipolar fuzzy* MULTIMOORA metoda.

New models, methods and integrated approaches in solving multiple criteria decision-making problems

Summary

Many real problems are often characterized by largely conflicting criteria. In many areas of research, the application of multiple criteria decision-making (MCDM) methods to solve various decision-making and decision-making problems is still an interesting and actual topic. Multi-criteria decision-making considers issues in which we face a number of, most often conflicting criteria when deciding and making a decision. The doctoral thesis aims to present some new models, methods, and integrated approaches to solving multi-criteria problems. In this context, new MCDM methods will be developed, and new extensions of the MCDM methods based on fuzzy, intuitionistic, and neutrosophic sets will be proposed, and all that in order to reduce the uncertainties and vagueness that accompany the decision-making process.

Key words: Multiple-criteria decision-making, MCDM, exponential weighted product (EWP), simple weighted sum product method (WISP), weighted product (WP), weighted sum (WS), fuzzy set, triangular fuzzy number, linguistic variables, neutrosophic set, single-valued neutrosophic number, TOPSIS, Hamming distance, Euclidean distance, information and communication technologies, ICT, Bipolar fuzzy MULTIMOORA method.

UVODNE NAPOMENE

Doktorska disertacija je urađena po principu objedinjavanja publikovanih naučnih radova u časopisima sa SCI/SSCI lista kategorija (M21a-M23). Dakle, doktorska disertacija predstavlja skup publikovanih radova koji predstavljaju tematsku celinu. Shodno tome, svako poglavlje sadrži uvod, razradu i zaključak, kao i spisak korišćene literature.

Numeracija slika, tabela i formula je jedinstvena za svako pojedinačno poglavlje imajući u vidu metodologiju izrade doktorske disertacije.

SADRŽAJ

1	UVODNA RAZMATRANJA	6
1.1	Uvod i pregled dosadašnjih istraživanja	6
1.2	Cilj i hipoteze istraživanja	8
1.3	Materijal, ispitanici, metodologija i plan istraživanja	8
1.4	Očekivani naučni doprinos predloženog istraživanja	10
1.5	Literatura	11
2	INTEGRISANA <i>SIMPLE WEIGHTED SUM PRODUCT</i> METODA – WISP	14
2.1	Uvod	14
2.2	Pregled nekih odabranih VKO metoda	17
2.2.1	Osnovne VKO metode	17
2.2.1.1	<i>Weighted Sum</i> metoda	17
2.2.1.2	<i>Weighted Product</i> metoda	17
2.2.1.3	Eksponecionalna <i>Weighed Product</i> metoda	17
2.2.2	Neke izvedene VKO metode	17
2.2.2.1	SAW metoda	18
2.2.2.2	MOOSRA metoda	18
2.2.2.3	WASPAS metoda	18
2.2.2.4	CoCoSo metoda	19
2.2.2.5	OCRA metoda	19
2.2.2.6	MULTIMOORA metoda	20
2.2.2.7	Analiza izabranih VKO metoda	21
2.3	Analiza uticaja WS i WP modela na redosled rangiranja alternativa	21
2.4	<i>Simple Weighted Sum Product</i> metoda - Simple WISP	22
2.4.1	Analiza efekata dobijenih primenom predloženog pristupa za rekalkulaciju mera korisnosti	24
2.5	Numerička ilustracija	25
2.6	Zaključak	28
2.7	Literatura	30
3	KOMPARATIVNA ANALIZA <i>SIMPLE WISP</i> METODE I NEKIH ISTAKNUTIH VKO METODA: <i>PYTHON</i> PRISTUP	36
3.1	Uvod	36
3.2	Komparacija <i>WISP</i> metode i drugih efikasnih VKO metoda	36
3.3	Numerička ilustracija	43
3.4	Diskusija	46
3.5	Zaključak	47
3.6	Literatura	48
4	NOVA <i>FUZZY</i> EKSTENZIJA <i>SIMPLE WISP</i> METODE	49
4.1	Uvod	49
4.2	<i>Fuzzy</i> logika i teorija <i>fuzzy</i> skupova	50
4.2.1	Osnovni koncepti i definicije <i>fuzzy</i> skupova	50
4.2.2	<i>Defuzzy</i> -fikacija trougaonih <i>fuzzy</i> brojeva	51
4.2.3	Lingvističke varijable	52
4.3	<i>Fuzzy Simple WISP</i> metoda	53
4.4	Numeričke ilustracije	55
4.4.1	Prva numerička ilustracija	55
4.4.1.1	Komparacija dobijenih rezultata sa <i>fuzzy</i> TOPSIS metodom	59

4.4.2	Druga numerička ilustracija	59
4.5	Zaključak	62
4.6	Literatura	63
5	<i>SINGLE VALUED NEUTROSOPHIC</i> EKSTENZIJIA <i>SIMPLE WISP</i> METODE	68
5.1	Uvod	68
5.2	Uvodne opservacije	70
5.2.1	Osnove <i>single-valued neutrosophic</i> skupova	70
5.2.2	Posebno dizajniran upitnik za upotrebu SVN brojeva	71
5.2.3	Lingvističke varijable	72
5.2.4	<i>Deneutrosophy</i> -kacija	73
5.3	<i>Single-valued neutrosophic</i> ekstenzija WISP metode	73
5.4	Ilustrativni primer	75
5.5	Zaključak	80
5.6	Literatura	82
6	EKSTENZIJIA TOPSIS METODE ZASNOVANA NA PRIMENI <i>SINGLE-VALUED NEUTROSOPHIC</i> SKUPOVA I <i>HAMMING</i> RASTOJANJA	86
6.1	Uvod	86
6.2	Uvodne opservacije	88
6.3	TOPSIS metoda prilagođena za upotrebu SVNN brojeva i grupno odlučivanje	90
6.3.1	Klasična TOPSIS metoda	90
6.3.2	Ekstenzija TOPSIS metode prilagođene za upotrebu sa SVNN	92
6.4	Numerička ilustracija	95
6.5	Diskusija i komparativna analiza	97
6.6	Zaključak	100
6.7	Literatura	102
7	PRIMENA <i>BIPOLAR FUZZY MULTIMOORA</i> METODE NA PRIMERU UVOĐENJA ZELENIH IKT	108
7.1	Uvod	108
7.2	Računska procedura SVBFN-MULTIMOORA metode	110
7.3	Numerička studija slučaja	113
7.4	Zaključak	116
7.5	Literatura	118
	ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	122
	FINALNI POPIS LITERATURE	125
	Spisak literature na kojima se zasnivaju poglavlja u doktorskoj disertaciji	125
	Spisak literature iz integralnog teksta doktorske disertacije	126

1 UVODNA RAZMATRANJA

1.1 Uvod i pregled dosadašnjih istraživanja

Mnoge realne probleme često karakteriše donošenje odluka na osnovu često suprotstavljenih kriterijuma. U mnogim oblastima istraživanja, primena metoda višekriterijumskog odlučivanja (VKO) (*multiple criteria decision-making* – MCDM) za rešavanje različitih problema odlučivanja i donošenja odluka, je i dalje izuzetno aktuelna tema. Višekriterijumsko odlučivanje predstavlja značajnu podoblast operacionog istraživanja i teorije odlučivanja. Višekriterijumsko odlučivanje razmatra pitanja u kojima se suočavamo sa većim brojem, najčešće suprotstavljenih kriterijuma, prilikom odlučivanja i donošenja odluke. Stanujkić et al. [1] višekriterijumsko odlučivanje definišu „kao proces izbora jedne iz skupa raspoloživih alternativa, odnosno alternative koja u najvećoj mogućoj meri ispunjava postavljene ciljeve i/ili zahteve“. Upravo tehnike višekriterijumskog odlučivanja omogućavaju da se u procesu odlučivanja smanji mogućnost subjektivizma i intuicije, što ultimativno utiče na donošenje odluke i usvajanje održivih rešenja. U nastavku će biti reči o fazama višekriterijumskog odlučivanja. Kako bi se izvršila dekompozicija procesa višekriterijumskog odlučivanja mogu se identifikovati sledeći koraci [1]:

- identifikacija i formulacija problema,
- formiranje VKO modela,
- faza normalizacije,
- faza agregacije i
- faza izbora.

Kao što je istaknuto, postupak višekriterijumskog odlučivanja uvek započinje fazom identifikacije problema i njegovim formulisanjem i on najčešće podrazumeva definisanje ciljeva odlučivanja, utvrđivanje dostupnih alternativa, utvrđivanje skupa evaluacionih kriterijuma sa njihovim pripadajućim težinama. Na osnovu rezultata prethodno navedenih aktivnosti može se formirati matrica odlučivanja sledećeg oblika [2]:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$
$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$$

gde A_1, A_2, \dots, A_m označavaju dostupne alternative, C_1, C_2, \dots, C_n označavaju kriterijume, x_{ij} predstavlja ocenu (performansu ili rejting) i -te alternative u odnosu na j -ti kriterijum, w_j predstavlja težinu (značaj) j -tog kriterijuma, m predstavlja broj alternativa, i n predstavlja broj kriterijuma.

U tako formiranim modelima višekriterijumskog odlučivanja, ocene alternativa u odnosu na kriterijume obično su izražene u različitim jedinicama mera, zbog čega se, u cilju transformacije sprovodi postupak normalizacije. Ovim postupkom se ocene alternativa transformišu u bezdimenzione vrednosti u intervalu od $(0, 1]$. Sledeći korak je agregacija, koja ima za cilj da višekriterijumski problem transformiše u jednokriterijumski problem odlučivanja. Postupci agregacije, koji vrše transformaciju višekriterijumskog u jednokriterijumski problem odlučivanja, sažimaju informacije iz matrice odlučivanja, ocene alternativa i značaj kriterijuma, odnosno težine kriterijuma, u odgovarajući ukupni indeks performansi alternative, koji se računa za svaku alternativu ponaosob. U poslednjem koraku, alternative se rangiraju na osnovu njihovog ukupnog indeksa performansi, nakon čega se bira najprihvatljivija [2].

O aktuelnosti same teme i oblasti generalno, najbolji pokazatelj je izuzetno veliki broj publikovanih radova istraživača iz oblasti VKO i razvoj novih metoda višekriterijumskog odlučivanja. Upravo iz tog razloga, kao rezultat prethodnih istraživanja, mnoge VKO metode su predložene u prethodnom periodu, neke od najistaknutijih bi bile: SAW (*Simple Additive Weighting*) metoda [3], AHP (*Analytic Hierarchy Process*) metoda [4], ELECTRE (*Elimination et choix traduisant la réalité*) metoda [5], TOPSIS (*Technique for order preference by similarity to ideal solution*) metoda [6], VIKOR (*Višekriterijumska optimizacija i kompromisno rešenje*) metoda [7], MOORA (*Multi-objective optimization on basis of ratio analysis*) metoda [8], MULTIMOORA (*Multi-objective optimization by ratio analysis plus the full multiplicative form*) metoda [9]. Naravno, pored već navedenih, istaknutih i do sada već mnogo puta primenjenih metoda za rešavanje najrazličitijih problema, potrebno je navesti i noviju generaciju VKO metoda, poput: ARAS (*a new additive ratio assessment*) metode [10], WASPAS (*weighted aggregated sum product assessment*) metode [11], EDAS (*evaluation based on distance from average solution*) metode [12], MABAC (*multi-attributive border approximation area comparison*) metode [13], CODAS (*combinative distance-based assessment*) metode [14], PIPRECIA (*pivot pairwise relative criteria importance assessment*) metode [15], SECA (*simultaneous evaluation of criteria and alternatives*) metode [16], FUCOM (*full consistency method*) metode [17], CoCoSo (*combined compromise solution*)

metode [18], PIPRECIA-S (*simplified pivot pairwise relative criteria importance assessment*) metode [19] itd.

1.2 Cilj i hipoteze istraživanja

Ciljevi istraživanja su:

- Razvoj i primena novih metoda višekriterijumskog odlučivanja.
- Razvoj novih ekstenzija metoda višekriterijumskog odlučivanja koje omogućavaju primenu *fuzzy*, *intuitionistic* i *neutrosophic* skupova, a u cilju rešavanja problema koji su praćeni neodređenostima i neizvesnostima, što u ovom slučaju predstavlja naučno otkriće.
- Predlaganje novih modela i hibridnih pristupa višekriterijumskog odlučivanja.
- Naučna deskripcija primene predloženih metoda, modela i hibridnih pristupa za rešavanje višekriterijumskih problema.

Hipoteze istraživanja su:

Glavna hipoteza:

„Ukoliko se u procesu odlučivanja više primenjuju metode višekriterijumskog odlučivanja, koje nisu suviše zahtevne i kompleksne, utoliko će i donosioci odluka lakše sprovesti izbor alternativa i proces odlučivanja će biti efikasniji“.

Posebne hipoteze:

1. *„Razvoj efikasnog modela / pristupa zasnovanog na višekriterijumskom odlučivanju olakšava proces odlučivanja i unapređuje proces donošenja odluka“.*
2. *„Razvoj ekstenzija metoda višekriterijumskog odlučivanja koje su prilagođene za primenu fuzzy i neutrosophic brojeva obezbeđuje mogućnost rešavanja problema odlučivanja koji su povezani sa neodređenostima i neizvesnostima“.*

1.3 Materijal, ispitanici, metodologija i plan istraživanja

Doktorska disertacija nameće potrebu korišćenja metoda naučnog istraživanja (osnovne metode saznanja i istraživanja i opšte naučne metode). Shodno tome, u cilju proučavanja i analize sadržaja relevantne kako domaće, tako i strane literature, korišćena je analitička metoda. Primenom analitičke metode cilj je da se prikažu vladajući stavovi i shvatanja iz oblasti teorije odlučivanja, tj. metoda višekriterijumskog odlučivanja. Kompleksnost istraživanja nameće

dalje potrebu da se primeni metoda indukcije i dedukcije u cilju izvlačenja odgovarajućih zaključaka o efektivnosti predloženih metoda, modela i integrisanih pristupa koji su namenjeni rešavanju višekriterijumskih problema. Sledstveno tome, biće primenjena i metoda analize i sinteze. Metoda analize ima za cilj da omogući raščlanjivanje kompleksnih pojmova i zaključaka na jednostavnije delove i elemente, dok metoda sinteze treba da omogući sintetizaciju korpusa teorijskog znanja u pravcu od posebnog ka opštem. Takođe, moguće je primeniti i metodu ispitivanja odnosno tehniku anketnog ispitivanja u cilju prikupljanja stavova od strane domenskih eksperata/ispitanika. U doktorskoj disertaciji biće primenjena i metoda modelovanja jer će u istoj biti predloženi višekriterijumski modeli, hibridni modeli i integrisani pristupi radi sticanja novog naučnog saznanja. Takođe, srž same doktorske disertacije se temelji na primeni VKO metoda za rešavanje višekriterijumskih problema. U nastavku je dat pregled metoda višekriterijumskog odlučivanja koje će biti primenjene u doktorskoj disertaciji:

- Ingregrisana *Simple Weighted Sum Product* (Simple WISP) metoda koju su razvili Stanujkić et al. [20] delimično se zasniva na već do sada poznatoj MULTIMOORA (*Multiobjective optimization by ratio analysis plus the full multiplicative form*) metodi, ali isto tako uključuje i neke karakteristike *Weighted aggregated sum product assessment* (WASPAS) i *Combined compromise solution* (CoCoSo) metoda. Predložena metoda predviđa primenu mnogo jednostavnije procedure normalizacije i uključuje četiri mere korisnosti za definisanje ukupne korisnosti alternativa i rangiranje istih. Imajući u vidu da su autori inicijalno predložili WISP metodu koja se zasniva na primeni *crisp* brojeva, u doktorskoj disertaciji u zavisnosti od kompleksnosti problema moguće je koristiti i određene ekstenzije WISP metode koje su predložene u međuvremenu a koje se zasnivaju na primeni *fuzzy* skupova, *intuitionistic* skupova [21] ili *neutrosophic* skupova [22].
- Ekstenzija TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) metode zasnovane na primeni *Single-Valued Neutrosophic* skupova i *Hamming* rastojanja koju su razvili Karabašević et al. [23]. TOPSIS metoda predstavlja jednu istaknutu metodu višekriterijumskog odlučivanja koja je do sada primenjena za rešavanje problema u različitim oblastima. Primena *neutrosophic* skupova predstavlja efikasan pristup u rešavanju složenih problema gde je neophodno doneti odluku. Primena *neutrosophic* skupova je posebno značajna kada su problemi povezani sa neizvesnostima. Upotreba tri funkcije članstva (tačnost, netačnost i neodređenost; engl: accuracy, inaccuracy, indeterminacy) koje se mogu koristiti prilikom evaluacije

alternativa je prednost *neutrosophic* skupova. Zbog svega prethodno navedenog, u doktorskoj disertaciji biće primenjena ekstenzija TOPSIS metode zasnovane na *Single-Valued Neutrosophic* skupovima i *Hamming* rastojanju.

- Ekstenzija *bipolar fuzzy* MULTIMOORA metode. *Bipolar fuzzy* skupovi [24] predloženi su kao proširenje klasičnih fuzzy skupova u cilju rešavanja određenih klasa problema odlučivanja. Primenom *bipolar fuzzy* ekstenzije MULTIMOORA metode [25] postiže se efikasnost prilikom rešavanja specifičnijih problema čije rešavanje zahteva procenu i predviđanje.

1.4 Očekivani naučni doprinos predloženog istraživanja

- Glavni naučni doprinos istraživanja predstavlja sistematsko proširenje skupa teorijskih znanja u pogledu razvoja i primene metoda višekriterijumskog odlučivanja za rešavanje raznih problema iz različitih oblasti.
- Razmatrane metode, modeli i hibridni pristupi višekriterijumskog odlučivanja predstavljaju doprinos u proširivanju naučnih saznanja iz oblasti teorije odlučivanja i metoda višekriterijumskog odlučivanja.
- Naučni doprinos u metodologiji istraživanja koji se ogleda kroz upotpunjavanje fonda naučnih saznanja razvojem novih metoda, modela i integrisanih pristupa višekriterijumskog odlučivanja.

1.5 Literatura

- [1] Stanujkić, D., Đorđević, B., & Đorđević, M. (2013). Comparative analysis of some prominent MCDM methods: A case of ranking Serbian banks. *Serbian journal of management*, 8(2), 213–241.
- [2] Urošević, S., Stanujkić, D., & Karabašević, D. (2018). Trendovi u menadžmentu ljudskih resursa – Savremeni pristup izboru kadrova. Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, p 278, ISBN 978-86-6305-083-9.
- [3] MacCrimon, K. R. (1968). Decision Making among Multiple Attribute Alternatives: A Survey and Consolidated Approach. Rand memorandum, RM-4823-ARPA.
- [4] Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- [5] Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of electre methods. *Theory and Decision*, 31, 49–73. <https://doi.org/10.1007/BF00134132>
- [6] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*. Berlin: Springer –Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- [7] Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- [8] Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and cybernetics*, 35(2), 445-469.
- [9] Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies. *Technological and economic development of economy*, 16(1), 5-24.
- [10] Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and economic development of economy*, 16(2), 159-172.
- [11] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., & Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6), 3-6.
- [12] Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435-451.

- [13] Pamučar, D., & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). *Expert systems with applications*, 42(6), 3016-3028.
- [14] Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 50(3), 25-44.
- [15] Stanujkić, D., Zavadskas, E. K., Karabašević, D., Smarandache, F., & Turskis, Z. (2017). The use of Pivot Pair-wise Relative Criteria Importance Assessment method for determining weights of criteria. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 20(4), 116-133.
- [16] Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2018). Simultaneous evaluation of criteria and alternatives (SECA) for multi-criteria decision-making. *Informatica*, 29(2), 265-280.
- [17] Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in mcdm models: Full consistency method (fucom). *Symmetry*, 10(9), 393.
- [18] Yazdani, M., Zarate, P., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2019). A Combined Compromise Solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57(9), 2501-2519
- [19] Stanujkic, D., Karabasevic, D., Popovic, G., & Sava, C. (2021). Simplified Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment (Piprecia-S) Method. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 24(4), 141–154.
- [20] Stanujkic, D., Popovic, G., Karabasevic, D., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Ulutaş, A. (2021). An integrated simple weighted sum product method—WISP. *IEEE Transactions on Engineering Management*. doi: 10.1109/TEM.2021.3075783.
- [21] Zavadskas, E. K., Stanujkic, D., Turskis, Z., & Karabasevic, D. (2022). An Intuitionistic Extension of the Simple WISP Method. *Entropy*, 24(2), 218.
- [22] Stanujkić, D., Karabašević, D., Popovic, G., Smarandache, F., Stanimirović, P. S., Saračević, M., & Katsikis, V. N. (2022). A Single Valued Neutrosophic Extension of the Simple WISP Method. *Informatica*, 1-17.
- [23] Karabašević, D., Stanujkić, D., Zavadskas, E. K., Stanimirović, P., Popović, G., Predić, B., & Ulutaş, A. (2020). A novel extension of the TOPSIS method adapted for the use

of single-valued neutrosophic sets and hamming distance for e-commerce development strategies selection. *Symmetry*, 12(8), 1263.

- [24] Zhang, W. R. (1998, May). (Yin)(Yang) bipolar fuzzy sets. In 1998 IEEE international conference on fuzzy systems proceedings. IEEE world congress on computational intelligence (Cat. No. 98CH36228) (Vol. 1, pp. 835–840). IEEE.
- [25] Stanujkić, D., Karabašević, D., Zavadskas, E. K., Smarandache, F., & Brauers, W. K. (2019). A bipolar fuzzy extension of the MULTIMOORA method. *Informatika*, 30(1), 135–152.

2 INTEGRISANA SIMPLE WEIGHTED SUM PRODUCT METODA – WISP

Napomena: Ovo poglavlje predstavlja publikovani rad “Stanujkić, D., Popović, G., Karabašević, D., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Ulutaš, A. (2021). An integrated simple weighted sum product method—WISP. IEEE Transactions on Engineering Management. doi: 10.1109/TEM.2021.3075783.M21”. Prikaz poglavlja u odnosu na publikovani rad je delimično izmenjen gde je izostavljen prvi numerički primer. Takođe, shodno prilagođavanju rada poglavlju, izvršene su i dodatne modifikacije.

2.1 Uvod

Višekriterijumsko odlučivanje (VKO) je rastuća oblast operacionog istraživanja kako iz teorijske tako i iz perspektive implementacije. Do sada je višekriterijumsko odlučivanje korišćeno za rešavanje brojnih problema u mnogim oblastima kao što su: preduzetništvo [1-3], veštačka inteligencija [4-5], informacione tehnologije [6-8], itd. U cilju olakšavanja procesa donošenja odluka i pronalaženja pouzdanijih rešenja, predložene su i verifikovane brojne različite VKO metode.

Kao neke od najpoznatijih i najistaknutijih VKO metoda mogu biti navedene sledeće: *Simple Additive Weighting* (SAW) [9], metoda analitičkih hijerarhijskih procesa (AHP) [10, 11], *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) [12], *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE) [13], *COmplex PProportional Assessment* (COPRAS) [14] i višekriterijumska optimizacija i kompromisno rešenje (VIKOR) [15]. Postoji i niz drugih manje poznatih i primenjivanih ili nedavno predloženih VKO metoda, kao što su: *Operational Competitiveness Rating* (OCRA) [16], *Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis plus the full multiplicative form* (MULTIMOORA) [17], *Weighted Aggregated Sum Product Assessment* (WASPAS) [18], *Multi-Objective Optimization on the basis of Simple Ratio Analysis* (MOOSRA) [19] i *Combined Compromise Solution* (CoCoSo) [20].

Gore navedene metode su korišćene za rešavanje velikog broja problema odlučivanja, od kojih će biti navedeni samo neki: segmentacija dobavljača zasnovana na primeni VIKOR-G metode [21], rangiranje alternativa primenom TOPSIS metode [22] i izbor optimalne strategije održavanja primenom AHP i TOPSIS metoda [23]. Značajna razlika koja se može uočiti među

VKO metodama odnosi se na postupke koji se koriste za izračunavanje rezultata performansi, odnosno korisnosti alternativa [24]. Bez obzira na pomenutu specifičnost, VKO metode obično daju približno iste rezultate i našle su svoju primenu u različitim oblastima poslovanja. U nastavku teksta prikazane su VKO metode, čija se procedura za izračunavanje performansi zasniva na kombinovanoj upotrebi *weighted sum* (WS) i *weighted product* (WP) modela.

OCRA metoda može se navesti kao jedna od retko primenjenih VKO metoda. Kao neki od problema gde je moguće primeniti OCRA metodu za njihovo rešavanje, mogu se navesti sledeći: nekonvencionalni procesi obrade [25], problem izbora hotela [26] i procena rizika biomehaničkog preopterećenja gornjeg ekstremiteta [27].

MULTIMOORA metoda može se uvrstiti u grupu novopredloženih VKO metoda, ali je ujedno i uticajna i često primenjivana metoda za koju su predložena brojna proširenja/ekstenzije. Neki od najcitiranijih radova koji se tiču primene MULTIMOORA metode su: procena mogućnosti za građevinske kompanije u zemljama članicama Evropske unije [28], evaluacija robota [29-30], izbor kandidata u rudarskoj industriji [31], izbor materijala [32-33], izbor materijala i elemenata za izgradnju kuća [34], izbor *cloud*-zasnovanog ERP sistema [35], procena napretka ka ispunjenju "Evropa 2020" strateških ciljeva [36], itd. Kao što je već napomenuto, određeni broj ekstenzija MULTIMOORA metode koji se zasniva na primeni *grey* [29, 33], *fuzzy* [37-39] i *neutrosophic* [34, 40] brojeva je predloženo.

WASPAS metoda je takođe primenjivana za olakšavanje donošenja odluka u različitim oblastima. Kao neki od problema odlučivanja kod kojih se WASPAS metoda uspešno primenjuje mogu se navesti sledeći: izbor najboljeg odlučujućeg pravca delovanja u donošenju odluka u proizvodnji [41], izbor izvođača radova [42], održiva procena alternativnih lokacija za izgradnju postrojenja za spaljivanje otpada [43], izbor dobavljača [44], izbor lokacije za izgradnju garaže [45], evaluacija veb stranica [46] i utvrđivanje kritičnih informacionih infrastruktura održivog razvoja EU [47]. Za WASPAS metodu su takođe predložena adekvatna *grey* [42], *fuzzy* [46, 48] i *neutrosophic* [49] proširenja / ekstenzije.

Još jedna od novijih metoda, koja se ne koristi često je MOOSRA metoda. Međutim, ista se obično koristi sa MULTIMOORA metodom za rešavanje različitih problema. Sledeći problemi se mogu navesti kao neka područja primene navedene metode: izbor netradicionalnih mašina [50], izbor lap topova [51] i izbor kritičnog puta prilikom izbora projekata [52]. *Fuzzy* ekstenzija MOOSRA metode je razvijena od strane Dorfeshan et al. [52].

CoCoSo metoda takođe spada u grupu novije generacije VKO metoda. Kao neki od problema u kojima se primenjuje CoCoSo metoda mogu se navesti sledeći: izbor dobavljača [53], evaluacija 5G industrije [54], sigurnosna procena kineske industrije [55], procena finansijskog rizika [56] i procena postizanja ciljeva održivog razvoja [57]. Brojne ekstenzije su takođe predložene za ovu metodu, kao npr: *grey* ekstenzija [53], *fuzzy* ekstenzija [54, 56] i *neutrosophic* ekstenzija [55].

Kao što je već navedeno, računanje korisnosti alternativa u navedenim metodama zasniva se na upotrebi WS i WP modela. MOOSRA metoda se zasniva na WS pristupu i vektorskoj normalizaciji bez transformisanja rejtinga rashodnih kriterijuma u odgovarajuće rejtinge (ocene) prihodnih kriterijuma. OCRA metoda takođe koristi WS pristup. Međutim, OCRA metoda koristi manje složenu max-min proceduru normalizacije u kombinaciji sa transformacijom rejtinga rashodnih kriterijuma u odgovarajuće prihodne kriterijume. WASPAS metoda integriše WS i eksponencionalni *weighted product* (EWP) pristupe, koristi proceduru max normalizacije, gde se prihodni i rashodni kriterijumi drugačije posmatraju. CoCoSo metoda je slična WASPAS metodi jer računaska procedura takođe integriše WS i EWS pristupe i zahteva transformisanje rejtinga rashodnih kriterijuma. Međutim, ova metoda ima nešto složeniju računsku proceduru i koristi max-min proceduru normalizacije. Finalno, MULTIMOORA metoda koristi tri pristupa za izbor najprihvatljivije alternative. Prvi pristup se zasniva na WS pristupu, drugi se zasniva na distanci od referentne tačke i treći se zasniva na WP pristupu. MULTIMOORA metoda koristi vektorsku normalizaciju, gde se i prihodni i rashodni kriterijumi normalizuju na isti način, što znači da MULTIMOORA različito tretira prihodne i rashodne kriterijume u svojoj računskoj proceduri. Bitna karakteristika MULTIMOORA metode jeste da ista ne agregira vrednosti dobijene primenom tri pristupa u jednu rezultujuću vrednost na osnovu koje se vrši rangiranje alternativa. Umesto toga, MULTIMOORA metoda koristi teoriju dominacije za rangiranje alterantiva i izbor najadekvatnije.

Stoga, cilj je da se predloži novi VKO pristup koji se takođe zasniva na integraciji WS i WP pristupa, tzv. *Simple Weighted Sum Product method* – Simple WISP. Predlog se u velikoj meri temelji na MULTIMOORA metodi, kao i na WASPAS i CoCoSo metodama. U poređenju sa MULTIMOORA metodom, predloženi pristup koristi mnogo jednostavniju proceduru normalizacije i koristi četiri mere korisnosti za određivanje ukupne korisnosti alternativa i omogućava mnogo lakše rangiranje alternativa.

2.2 Pregled nekih odabranih VKO metoda

Ovaj segment predstavlja neke osnovne VKO metode kao i neke VKO metode zasnovane na njima koje uključuju WS i WP modele u određivanju korisnosti alternativa.

2.2.1 Osnovne VKO metode

Osnovne VKO metode su WS metoda, WP metoda i EWP metoda.

2.2.1.1 *Weighted Sum* metoda

WS metoda [9] koristi jednostavni postupak agregacije koji sumira proizvode normalizovanih rejtinga i težina kriterijuma, kao što sledi:

$$S_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} w_j, \quad (1)$$

gde: S_i označava performansu ocene alternative i , r_{ij} označava normalizovan rejting alternative i u odnosu na kriterijum j , w_j označava težinu kriterijuma j , i je broj alternativa, $i = 1, 2, \dots, m$; j je broj evaluacionih kriterijuma, $j = 1, 2, \dots, n$.

2.2.1.2 *Weighted Product* metoda

WP metoda [58] koristi proceduru agregacije koja izračunava proizvod proizvoda normalizovanih rejtinga i težina kriterijuma, kao što sledi:

$$P_i = \prod_{j=1}^n r_{ij} w_j, \quad (2)$$

gde P_i označava ocenu performance alternative i .

2.2.1.3 *Eksponencionalna Weighed Product* metoda

EWP metoda [59] koristi proceduru agregacije koja izračunava proizvod eksponencionalnih težinski normalizovanih rejtinga, kao što sledi:

$$P_i = \prod_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j}. \quad (3)$$

2.2.2 Neke izvedene VKO metode

Kao nešto složenije VKO metode, zasnovane na prethodnim pristupima, mogu se navesti sledeće VKO metode: SAW, MOOSRA, WASPAS, CoCoSo, OCRA i MULTIMOORA.

2.2.2.1 SAW metoda

SAW metoda je jedna od najjednostavnijih i ranije često primenjenih VKO metoda. SAW metoda koristi proceduru agregacije predloženu u WS metodi. SAW metoda se koristi sa brojnim procedurama normalizacije [60]. Druga bitna karakteristika SAW metode jeste da su prihodni i rashodni kriterijumi normalizovani na različite načine, odnosno primenom različitih formula.

2.2.2.2 MOOSRA metoda

MOOSRA metoda [19] koristi odnos korisnosti dobijenih na osnovu prihodnih i rashodnih kriterijuma, respektivno, za utvrđivanje ocena performansi alternativa v_i , kao što sledi:

$$v_i = \frac{\sum_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j}{\sum_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j} \quad (4)$$

gde: Ω_{max} i Ω_{min} označavaju skup prihodnih i rashodnih kriterijuma, respektivno.

MOOSRA metoda koristi proceduru vektorske normalizacije, gde je procedura normalizacije ista kako za prihodne tako i za rashodne kriterijume.

2.2.2.3 WASPAS metoda

WASPAS metoda [18] kombinuje dva pristupa za utvrđivanje ocena performansi alternativa, kao što je prikazano u nastavku:

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n r_{ij} w_j, \quad (5)$$

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j}, \quad (6)$$

gde: $Q_i^{(1)}$ i $Q_i^{(2)}$ označavaju relativni značaj alternative i na osnovu WS i eksponencionalne EWP metode, respektivno.

Ocene performansi alternativa Q_i određuju se primenom sledeće formule:

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} \quad (7)$$

WASPAS metoda koristi proceduru max normalizacije, gde se prihodni i rashodni kriterijumi različito tretiraju.

2.2.2.4 CoCoSo metoda

CoCoSo metoda [20] se zasniva na integraciji WS metode i eksponencionalne EWP metode, kao što sledi:

$$S_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} w_j, \quad (8)$$

$$P_i = \prod_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j}, \quad (9)$$

gde: S_i i P_i označavaju korisnost alternative i na osnovu WS i EWP metoda, respektivno.

Ocena performansi alterativa k_i računa se na sledeći način:

$$k_i = \frac{1}{3}(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) + (k_{ia} k_{ib} k_{ic})^{\frac{1}{3}}. \quad (10)$$

gde k_{ia} , k_{ib} i k_{ic} označavaju tri agregirane ocene koje se računaju na osnovu WS i EWP metoda.

Finalno, CoCoSo metoda koristi max-min postupak normalizacije, gde se prihodni i rashodni kriterijumi takođe tretiraju drugačije.

2.2.2.5 OCRA metoda

OCRA metoda [16] se može smatrati adaptacijom SAW metode sa max-min procedurom normalizacije. Prema [61], unapređena OCRA metoda koristi agregirane ocene performansi u odnosu na prihodne i rashodne kriterijume kako bi se utvrdila linearna ocena performansi za prihodne i rashodne kriterijume.

Agregirane ocene performansi \bar{O}_i i linearne ocene performansi $\bar{\bar{O}}_i$ za prihodne kriterijume mogu se izračunati na sledeći način:

$$\bar{O}_i = \sum_{j \in \Omega_{max}} \frac{x_{ij} - \min_j x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}} w_j, \quad (11)$$

$$\bar{\bar{O}}_i = \bar{O}_i - \min_i \bar{O}_i. \quad (12)$$

Agregirane ocene performansi \bar{I}_i i linearne ocene performansi za rashodne kriterijume $\bar{\bar{I}}_i$ računaju se na sličan način:

$$\bar{I}_i = \sum_{j \in \Omega_{min}} \frac{\max_j x_{ij} - x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}} w_j, \quad (13)$$

$$\bar{\bar{I}}_i = \bar{I}_i - \min_i \bar{I}_i. \quad (14)$$

Finalno, ocena performanse P_i alternative se računa na sledeći način:

$$P_i = \bar{I}_i + \bar{O}_i - \min_i(\bar{I}_i + \bar{O}_i). \quad (15)$$

2.2.2.6 MULTIMOORA metoda

MULTIMOORA metoda [17] integriše tri pristupa: pristup sistemu odnosa (*ratio system approach* - RS), pristup referentne tačke (*reference point approach* - RP) i pristup pune multiplikativne forme (*full multiplicative form* – FMF). Korisnost alternative i zasnovan na RS pristupu \bar{y}_i računa se na sledeći način:

$$\bar{y}_i = \sum_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j - \sum_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j \quad (16)$$

Na osnovu formule (10) može se primetiti da RS pristup predstavlja usvajanje WS metode gde se korisnost alternative izračunava kao razlika između uticaja prihodnih i rashodnih kriterijuma na finalnu korisnost.

Korisnost alternative i zasnovana na RP pristupu d_i utvrđuje se na sledeći način:

$$d_i = \max_j \{ |r_j^* - r_{ij}| w_j \} \quad (17)$$

gde r_j^* označava koordinatu j referentne tačke. U ovom pristupu, alternativa sa manjom vrednošću d_i je preferabilnija.

Korisnost alternative i zasnovana na FMF pristupu U_i utvrđuje se:

$$\bar{U}_i = \frac{\prod_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j}{\prod_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j}. \quad (18)$$

Kao i u slučaju RS pristupa, iz formule (18) primećuje se da se FMF pristup može posmatrati kao usvajanje WS modela sposobnog za primenu kod različitih VKO problema koji uključuju prihodne i rashodne kriterijume.

Za razliku od gore opisanih metoda, MULTIMOORA metoda ne koristi ukupnu varijablu za izražavanje ocene performansi alternativa. Rangiranje alternativa, kao i izbor najprihvatljivijih, kod MULTIMOORA metode, zasniva se na teoriji dominacije.

2.2.2.7 Analiza izabranih VKO metoda

Neke važne karakteristike prethodno razmatranih VKO metoda sumirane su u tabeli 1.

Tabela 1. Zbirne karakteristike razmatranih VKO metoda

Metoda	WS	WP	EWS	Normalizacija			Transformacija ¹
				max	max-min	vector	
SAW	X			X	X	X	X
MOOSRA	X					X	
WASPAS	X		X	X			X
CoCoSo	X		X		X		X
OCRA	X				X		X
MULTIMOORA	X	X				X	

Iz gornje tabele može se zaključiti da postoje različiti pristupi u kojima se WS model kombinuje sa WP ili EWP modelima, sa ili bez transformacije rashodnih kriterijuma u prihodne kriterijume.

2.3 Analiza uticaja WS i WP modela na redosled rangiranja alternativa

Može se reći da WS i WP modeli imaju slične pristupe za izračunavanje korisnosti alternativa. Međutim, postavlja se pitanje da li pomenuti modeli uvek daju isti redosled rangiranja alternativa, posebno kada se evaluacija vrši na osnovu prihodnih i rashodnih kriterijuma. U tabeli 2 je data sledeća inicijalna matrica odlučivanja i težinski vektor $w_1 = \{0,25, 0,25, 0,25, 0,25\}$.

Tabela 2. Inicijalna matrica odlučivanja

Optimizacija	Kriterijumi			
	max	max	min	min
Alternative	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	20	100	20	100
A_2	40	60	40	80
A_3	60	80	80	60
A_4	80	40	60	40
A_5	100	20	100	20

Rezultati rangiranja dobijeni primenom formula (16) i (4), sa max procedurom normalizacije, sumirani su u tabeli 3.

¹ Konvertovanje uticaja rashodnih kriterijuma na uticaj prihodnih kriterijuma.

Tabela 3. Rezultati rangiranja dobijeni primenom formula (16) i (4) sa težinskim vektorom w_1

Alternative	Formula (16)		Formula (4)	
	Rezultat	Rang	Rezultat	Rang
A ₁	0,00	2	1,00	2
A ₂	-0,05	5	0,93	5
A ₃	0,00	2	1,00	2
A ₄	0,05	1	1,07	1
A ₅	0,00	2	1,00	2

Na osnovu tabele 3, može se zaključiti da oba razmatrana pristupa daju iste rezultate rangiranja. Međutim, u nekim slučajevima, promena težina kriterijuma može da uzrokuje različit redosled rangiranja alternativa. Npr. sledeći težinski vektor $w_2 = \{0,30, 0,20, 0,20, 0,30\}$ uzrokuje različit redosled rangiranja alternativa kao što je prikazano u tabeli 4.

Tabela 4. Rezultati rangiranja dobijeni primenom formula (16) i (4) sa težinskim vektorom w_2

Alternative	Formula (16)		Formula (4)	
	Rezultat	Rang	Rezultat	Rang
A ₁	-0,08	4	0,85	5
A ₂	-0,08	5	0,88	4
A ₃	0,00	3	1,00	3
A ₄	0,08	1	1,14	2
A ₅	0,08	2	1,17	1

2.4 Simple Weighted Sum Product metoda - Simple WISP

Predloženi pristup se zasniva na integraciji četiri nivoa korisnosti koji označavaju uticaj prihodnih i rashodnih kriterijuma zasnovan na primeni WS i WP metoda. Računska procedura novog pristupa za VKO problem koji uključuje m alternativa i n kriterijuma, može se precizno predstaviti korišćenjem sledećih koraka:

Korak 1. Formiranje normalizovane matrice odlučivanja. Normalizovane ocene, bez transformacije uticaja rashodnih na uticaj prihodnih kriterijuma, mogu se izračunati na sledeći način:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (19)$$

Korak 2. Utvrđivanje vrednosti četiri mera korisnosti, kao što sledi:

$$u_i^{wsd} = \sum_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j - \sum_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j \quad (20)$$

$$u_i^{wpd} = \prod_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j - \prod_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j \quad (21)$$

$$u_i^{wsr} = \frac{\sum_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j}{\sum_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j} \quad (22)$$

$$u_i^{wpr} = \frac{\prod_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j}{\prod_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j} \quad (23)$$

gde u_i^{wsd} i u_i^{wpd} označavaju razliku između uticaja prihodnih i rashodnih kriterijuma na finalnu korisnost alternative i dobijenu na osnovu WS i WP modela, respektivno, i u_i^{wsr} i u_i^{wpr} označava odnos između uticaja prihodnih i rashodnih kriterijuma na konačnu korisnost alternative i dobijenu na osnovu WS i WP modela, respektivno.

Korak 3. Rekalkulisanje vrednosti četiri mera korisnosti, kao što sledi:

$$\bar{u}_i^{wsd} = \frac{u_i^{wsd}}{(1+u_{max_i}^{wsd})} \quad (24)$$

$$\bar{u}_i^{wpd} = \frac{u_i^{wpd}}{(1+u_{max_i}^{wpd})} \quad (25)$$

$$\bar{u}_i^{wsr} = \frac{u_i^{wsr}}{(1+u_{max_i}^{wsr})} \quad (26)$$

$$\bar{u}_i^{wpr} = \frac{u_i^{wpr}}{(1+u_{max_i}^{wpr})} \quad (27)$$

gde su \bar{u}_i^{wsd} , \bar{u}_i^{wpd} , \bar{u}_i^{wsr} i \bar{u}_i^{wpr} normalizovane vrednosti od u_i^{wsd} , u_i^{wpd} , u_i^{wsr} i u_i^{wpr} .

Vrednosti u_i^{wsd} i u_i^{wsr} mogu biti pozitivne, negativne ili 0. Stoga ih treba mapirati u interval (0, 1] primenom formule (24) i (27) pre računanja ukupne korisnosti svake alternative.

Korak 4. Računanje ukupne korisnosti u_i za svaku alternativu, kao što sledi:

$$u_i = \frac{1}{4} (\bar{u}_i^{wsd} + \bar{u}_i^{wpd} + \bar{u}_i^{wsr} + \bar{u}_i^{wpr}) \quad (28)$$

Korak 5. Rangiranje alternativa i izbor najbolje. Alternative su rangirane u opadajućem redosledu, a alternativa sa najvećom vrednošću je najpoželjnija.

Rangiranje alternativa se može izvršiti i primenom teorije dominacije, kao u MULTIMOORA metodi, na osnovu rekalkuliranih vrednosti četiri mera korisnosti. U ovom slučaju, korak 4 nije potreban i može se izostaviti.

Rangiranje alternativa pomoću teorije dominacije može biti efikasno u slučaju rangiranja manjeg broja alternativa. Međutim, ovaj pristup može postati prilično složen u slučaju evaluacije većeg broja alternativa, kada se preporučuje rangiranje na osnovu ukupne korisnosti alternativa.

2.4.1 Analiza efekata dobijenih primenom predloženog pristupa za rekalkulaciju mera korisnosti

U određenim slučajevima, u zavisnosti od odnosa između uticaja prihodnih i rashodnih kriterijuma, formula (20) i formula (21) mogu da izračunaju vrednosti koje su manje ili jednake 0. Osim toga, formule (20)-(23) daju rezultate iz različitih raspona. Stoga, pre utvrđivanja ukupne korisnosti, neophodno je rekalkulisati vrednosti navedenih mera korisnosti.

Upotreba predloženog pristupa razmatrana je u četiri karakteristična slučaja:

- slučaj kada su sve vrednosti veće od nule,
- slučaj kada vrednosti mogu biti veće, manje ili jednake nuli,
- slučaj kada je najveća vrijednost jednaka nuli, i
- slučaj kada su sve normalizovane vrednosti manje od nule.

Pretpostavimo da je težinski normalizovana matrica odlučivanja prikazana u tabeli 5.

Tabela 5. Težinski normalizovana matrica odlučivanja

	I	II	III	IV
A_1	0,10	-0,20	-0,40	-0,50
A_2	0,20	-0,10	-0,30	-0,40
A_3	0,30	0,00	-0,20	-0,30
A_4	0,40	1,00	-0,10	-0,20
A_5	0,50	2,00	0,00	-0,10
max	0,50	2,00	0,00	-0,10

Rekalkulisane vrednosti dobijene primenom formula (24)-(27) su date u tabeli 6.

Tabela 6. Težinski normalizovana matrica odlučivanja

	I	II	III	IV
A_1	0,73	0,27	0,60	0,56
A_2	0,80	0,30	0,70	0,67
A_3	0,87	0,33	0,80	0,78
A_4	0,93	0,67	0,90	0,89
A_5	1,00	1,00	1,00	1,00

Kao što se može videti na osnovu tabele 6, predložene formule za rekalkulaciju transformišu vrednosti iz različitih intervala u interval [0, 1].

2.5 Numerička ilustracija

Kako bi se potvrdio predloženi pristup, u nastavku je prikazan primer pozajmljen iz literature. Primer se zasniva na radu autora Bhangale et al. [63].

U numeričkom primeru, sedam industrijskih robota je evaluirano na osnovu pet kriterijuma, kao što je prikazano u tabeli 7.

Tabela 7. Inicijalna matrica odlučivanja za evaluaciju industrijskih robota

	Kriterijumi				
	Nosivost	Ponovljivost	Maksimalna brzina	Kapacitet memorije	Domet manipulatora
	kg	mm	mm/s	steeps	mm
Optimizacija	max	min	max	max	max
w_j	0,036	0,192	0,326	0,326	0,120
Alternative	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	60	0,4	2540	500	990
A_2	6,35	0,15	1016	3000	1041
A_3	6,8	0,10	1727,2	1500	1676
A_4	10	0,2	1000	2000	965
A_5	2,5	0,10	560	500	915
A_6	4,5	0,08	1016	350	508
A_7	3	0,1	1778	1000	920

Izvor: Bhangale et al. [62].

Normalizovana matrica odlučivanja prikazana je u tabeli 8, dok su detalji izračunavanja i redosled rangiranja alternativa primenom Simple WISP metode i težinskog vektora w_1 prikazani u tabeli 9.

Tabela 8. Normalizovana matrica odlučivanja

Alternative	Kriterijumi				
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	1,00	1,00	1,00	0,17	0,59
A_2	0,11	0,38	0,41	1,00	0,62
A_3	0,11	0,25	0,70	0,50	1,00
A_4	0,17	0,50	0,41	0,67	0,58
A_5	0,04	0,25	0,23	0,17	0,55
A_6	0,08	0,20	0,41	0,12	0,30
A_7	0,05	0,25	0,07	0,33	0,55

Tabela 9. Računski detalji i redosled rangiranja alternativa dobijenih primenom Simple WISP metode i težinskog vektora w_1

	\bar{u}_i^{wsd}	\bar{u}_i^{wpd}	\bar{u}_i^{wsr}	\bar{u}_i^{wpr}	u_i	Rang
A ₁	0,89	0,99	0,97	0,61	0,86	4
A ₂	0,98	1,00	0,99	0,90	0,97	2
A ₃	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1
A ₄	0,89	0,98	0,97	0,72	0,89	3
A ₅	0,78	0,94	0,93	0,29	0,74	6
A ₆	0,80	0,95	0,94	0,36	0,76	5
A ₇	0,78	0,94	0,93	0,23	0,72	7

Kao što se može videti iz tabele 9, najprihvatljivija alternativa je alternativa označena kao A₃, potom alternative A₂ i A₄.

Poređenje rezultata dobijenog Simple WISP metodom sa nekim istaknutim i dokazanim VKO metodama sumirani su u tabeli 10, dok je poređenje sa nekim novopredloženim i nekim manje korišćenim VKO metodama sumirano u tabeli 11.

Tabela 10. Komparacija Simple WISP metode i nekih istaknutih i dokazanih VKO metoda

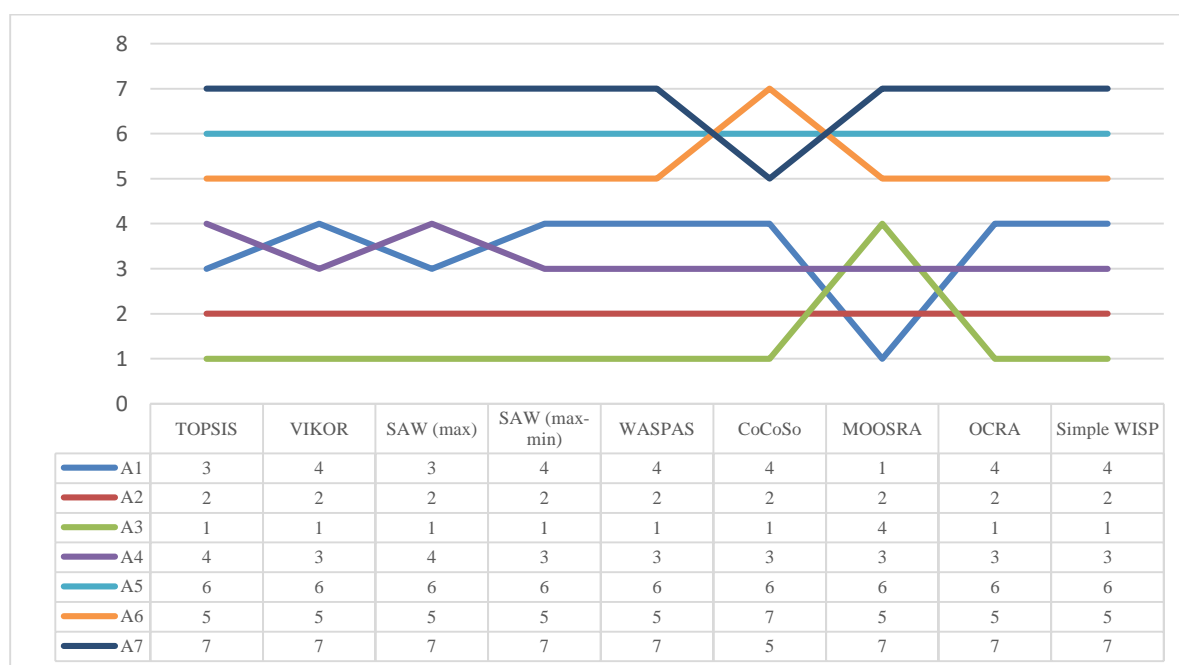
	TOPSIS		VIKOR		SAW (max)		SAW (max-min)		Simple WISP	
	C_i	Rang	Q_i	Rang	S_i	Rang	S_i	Rang	U_i	Rang
A ₁	0,48	4	0,75	4	0,53	3	0,43	4	0,85	4
A ₂	0,63	1	0,09	2	0,64	2	0,65	2	0,98	2
A ₃	0,60	2	0,00	1	0,67	1	0,67	1	1,00	1
A ₄	0,50	3	0,32	3	0,50	4	0,49	3	0,90	3
A ₅	0,31	7	0,93	5	0,35	7	0,30	7	0,73	6
A ₆	0,36	5	0,98	6	0,40	5	0,31	5	0,76	5
A ₇	0,32	6	0,99	7	0,35	6	0,30	6	0,72	7

Tabela 11. Komparacija Simple WISP metode i nekih novopredloženih i manje poznatih VKO metoda

	WASPAS		CoCoSo		MOOSRA		OCRA		Simple WISP	
	AS_i	Rang	S_i	Rang	S_i	Rang	P_i	Rang	U_i	Rang
A ₁	0,45	4	1,82	4	8,38	1	0,13	4	0,85	4
A ₂	0,61	2	2,59	2	2,81	2	0,36	2	0,98	2
A ₃	0,65	1	2,63	1	2,30	4	0,37	1	1,00	1
A ₄	0,49	3	2,27	3	2,56	3	0,20	3	0,90	3
A ₅	0,31	6	1,44	6	0,86	7	0,00	7	0,73	6
A ₆	0,35	5	1,40	7	0,90	5	0,02	5	0,76	5
A ₇	0,30	7	1,64	5	0,89	6	0,01	6	0,72	7

Iz tabela 10 i 11 može se videti da je najbolje plasirana alternativa označena kao A_3 korišćenjem gotovo svih VKO metoda, izuzev TOPSIS i MOOSRA metoda. Međutim, iz gornjih tabela se takođe može videti da postoji određeno odstupanje u rangiranju alternativa. Stanujkic et al. [63] navode da korišćenje različitih procedura normalizacije može uzrokovati različite redoslede rangiranja alternativa pod određenim uslovima, te da vrlo mala promena težine kriterijuma može eliminisati razlike.

Pošto kriterijumi C_3 i C_4 imaju najveću težinu, kriterijum C_4 je izabran za analizu. Smanjenje težine kriterijuma C_4 za -10%, uz istovremeno povećanje težina ostalih kriterijuma u cilju zadovoljenja uslova $\sum_{j=0}^n w_j = 0$, odnosno korišćenjem sledećeg težinskog vektora $w_j = \{0,038, 0,201, 0,342, 0,293, 0,126\}$, redosled rangiranja je prikazan na slici 1.



Slika 1. Komparacija dobijenih redosleda rangiranja alternativa

Kao što se može videti na slici 1, postoji velika saglasnost oko najprihvatljivije alternative, kao i redosleda rangiranja alternativa, gde se u većini slučajeva predlaže sledeći redosled rangiranja:

$$A_3 > A_2 > A_4 > A_1 > A_6 > A_5 > A_7.$$

Mala razlika u rangi treće i četvrtoplasirane alternative uočena je u slučaju TOPSIS metode, kao i SAW metode sa postupkom max normalizacije, dok je razlika u rangi pete i sedmoplasirane alternative uočena kada je primenjena CoCoSo metoda. Takođe, treba

napomenuti da se redosled rangiranja dobijen primenom MOOSRA metode razlikuje u odnosu na redosled rangiranja dobijen primenom drugih metoda.

Kako bi se konačno potvrdila korisnost i opravdanost predloženog pristupa, izvršena je i analiza osetljivosti gde je težina kriterijuma C_4 varirala u intervalu $-40\% \div +40\%$ uz istovremenu promenu težina drugih kriterijuma u cilju zadovoljenja gore navedenog uslova $\sum_{j=0}^n w_j = 0$. Rezultat analize je sumarno prikazan u tabeli 12.

Tabela 12. Redosled rangiranja alternativa dobijen primenom različitih težina kriterijuma

	TOPSIS	VIKOR	SAW (max)	SAW (max-min)	OCRA	WASPAS	CoCoSo	Simple WISP
0,4	3	3	2	2	2	2	2	2
0,3	2	2	2	2	2	2	2	2
0,2	2	2	2	2	2	2	2	2
0,1	2	2	1	2	2	1	2	1
0	2	1	1	1	1	1	1	1
-0,1	1	1	1	1	1	1	1	1
-0,2	1	1	1	1	1	1	1	1
-0,3	1	1	1	1	1	1	1	1
-0,4	1	1	1	1	1	1	1	1

Na osnovu tabele 12, može se zaključiti da Simple WISP metoda daje slične rezultate u poređenju sa drugim VKO metodama, a koje su razmatrane u ovom poglavlju, ili preciznije, rezultati su slični rezultatima dobijenih metodama SAW, koja je primenjena sa procedurom max normalizacije i WASPAS metode. U isto vreme, ovo ukazuje da su razlike u redosledu rangiranja najverovatnije posledica primenjenog postupka normalizacije i da se svakako u budućim istraživanjima ovo dalje može ispitati.

2.6 Zaključak

U cilju olakšavanja donošenja odluka u različitim poslovnim oblastima, do sada je predloženo mnogo različitih VKO metoda. Neke od ovih metoda su zasnovane na integraciji WS i WP pristupa, a neke od njih se mogu klasifikovati kao novopredložene metode, što ukazuje na aktuelnost modela zasnovanih na integraciji WS i WP pristupa.

Novopredložena Simple WISP metoda može se smatrati određenom modifikacijom, ili simplifikacijom, MULTIMOORA metode. RS pristup i FMF pristup, predloženi u MULTIMOORA metodi, prošireni su tako da se koriste četiri mere korisnosti na osnovu kojih

se izračunava ukupna korisnost alternativa. Na taj način je omogućeno lakše rangiranje alternativa koje se ne zasniva na teoriji dominacije. Međutim, rangiranje alternativa može se izvršiti i na osnovu četiri mera korisnosti primenom teorije dominacije, kao što je to i u MULTIMOORA metodi.

Osim toga, računaska procedura Simple WISP metode je veoma laka i razumljiva, što je kvalifikuje za dalju primenu od strane korisnika poput preduzetnika, koji nemaju šira znanja iz VKO oblasti.

Numerički primer je korišćen da potvrdi jednostavnost i korisnost Simple WISP metode. U cilju provere dobijenih rezultata, oni su upoređeni sa onim dobijenim primenom već proverenih i dokazanih VKO metoda (TOPSIS, VIKOR i SAW) i novopredloženih VKO metoda (WASPAS, CoCoSo, MOOSRA i OCRA). Samo rezultati dobijeni korišćenjem OCRA metode neznatno se razlikuju od onih dobijenih novopredloženom Simple WISP metodom. Dakle, evidentno je da razvijeni pristup daje rezultate koji su u skladu sa ostalim VKO metodama.

Glavna limitacija ove metode je primena *crisp* brojeva. Proces donošenja odluka je obično pod uticajem okruženja, a nejasnoće i neizvesnost su neizbežni deo toga. Međutim, Simple WISP metoda ima i svoja proširenja o kojima će u daljem radu biti reči, a koje ove slabosti eliminišu.

Kao predlozi za buduća istraživanja, Simple WISP metoda bi trebala biti uključena u rešavanje nekih poslovnih i praktičnih problema. Na taj način bi se dodatno ispitala i dokazala mogućnost predložene metode. Takođe, kao neki od pravaca budućih istraživanja mogu se navesti istraživanje uticaja primenjene procedure normalizacije na rezultate rangiranja primenom Simple WISP metode. Ovde treba spomenuti i moguća istraživanja koja se odnose na primenu dve umesto četiri mera korisnosti. Konačni zaključak je da je predložena metoda zasnovana na korišćenju verifikovanih pristupa jednostavnih za primenu i da ima razumljivu računsku proceduru koja je kvalifikuje za dalju primenu radi olakšavanja procesa donošenja odluka u oblasti poslovanja.

2.7 Literatura

- [1] Tsai, W. H., & Kuo, H. C. (2011). Entrepreneurship policy evaluation and decision analysis for SMEs. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8343-8351.
- [2] Tsai, W. H., Lee, P. L., Shen, Y. S., & Hwang, E. T. (2014). A combined evaluation model for encouraging entrepreneurship policies. *Annals of Operations Research*, 221(1), 449–468.
- [3] Shao, Q. G., Liou, J. J., Weng, S. S., & Su, P. (2020). Constructing an entrepreneurship project evaluation system using a hybrid model. *Journal of Business Economics and Management*, 21(5), 1329-1349.
- [4] Arabameri, A., Lee, S., Tiefenbacher, J. P., & Ngo, P. T. T. (2020). Novel ensemble of MCDM-artificial intelligence techniques for groundwater-potential mapping in arid and semi-arid regions (Iran). *Remote Sensing*, 12(3), 490.
- [5] Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B. T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., ... & Prakash, I. (2019). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 573, 311–323.
- [6] Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., & Boranbayev, S. (2019). Information security risk assessment in critical infrastructure: a hybrid MCDM approach. *Informatica*, 30(1), 187–211.
- [7] Khan, N. Z., Ansari, T. S. A., Siddiquee, A. N., & Khan, Z. A. (2019). Selection of E-learning websites using a novel Proximity Indexed Value (PIV) MCDM method. *Journal of Computers in Education*, 6(2), 241–256.
- [8] Büyüközkan, G., Göçer, F., & Feyzioğlu, O. (2018). Cloud computing technology selection based on interval-valued intuitionistic fuzzy MCDM methods. *Soft Computing*, 22(15), 5091-5114.
- [9] MacCrimmon, K. R. (1968). Decisionmaking among multiple-attribute alternatives: a survey and consolidated approach. Rand Corp Santa Monica Ca.
- [10] Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234–281.
- [11] Satty, T. L. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.
- [12] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin.

- [13] Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). Note—A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management science*, 31(6), 647–656.
- [14] Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Sarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and economic development of economy*, 1(3), 131–139.
- [15] Opricovic, S. (1998). *Multicriteria optimization of civil engineering systems*. Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- [16] Parkan, C. (1994). Operational competitiveness ratings of production units. *Managerial and Decision Economics*, 15(3), 201–221.
- [17] Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies. *Technological and economic development of economy*, 16(1), 5–24.
- [18] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., & Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6), 3-6.
- [19] Kumar, R., & Ray, A. (2015). Selection of material under conflicting situation using simple ratio optimization technique. In *Proceedings of Fourth International Conference on Soft Computing for Problem Solving* (pp. 513-519). Springer, New Delhi.
- [20] Yazdani, M., Wen, Z., Liao, H., Banaitis, A., & Turskis, Z. (2019). A grey combined compromise solution (CoCoSo-G) method for supplier selection in construction management. *Journal of Civil Engineering and Management*, 25(8), 858–874.
- [21] Bai, C., Rezaei, J., & Sarkis, J. (2017). Multicriteria green supplier segmentation. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 64(4), 515–528.
- [22] Abootalebi, S., Hadi-Vencheh, A., & Jamshidi, A. (2019). Ranking the alternatives with a modified TOPSIS method in multiple attribute decision making problems. *IEEE transactions on engineering management*, 66(1), 1–6.
- [23] Mathew, M., Chakraborty, R. K., & Ryan, M. J. (2020). Selection of an optimal maintenance strategy under uncertain conditions: An interval type-2 fuzzy AHP-TOPSIS method. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 66, 1–14.
- [24] Farshidi, S., Jansen, S., España, S., & Verkleij, J. (2020). Decision support for blockchain platform selection: Three industry case studies. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(4), 1109-1128.

- [25] Madić, M., Petković, D., & Radovanović, M. (2015). Selection of non-conventional machining processes using the OCRA method. *Serbian Journal of Management*, 10(1), 61–73.
- [26] Işık, A. T., & Adalı, E. A. (2016). A new integrated decision making approach based on SWARA and OCRA methods for the hotel selection problem. *International Journal of Advanced Operations Management*, 8(2), 140–151.
- [27] Colombini, D., & Occhipinti, E. (2018). Scientific basis of the OCRA method for risk assessment of biomechanical overload of upper limb, as preferred method in ISO standards on biomechanical risk factors. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 44(4), 436–438.
- [28] Kildiene, S. (2013). Assessment of opportunities for construction enterprises in European Union member states using the MULTIMOORA method. *Procedia Engineering*, 57, 557–564.
- [29] Datta, S., Sahu, N., & Mahapatra, S. (2013). Robot selection based on grey-MULTIMOORA approach. *Grey Systems: Theory and Application*, 3(2), 201–232.
- [30] Liu, H. C., Zhao, H., You, X. Y., & Zhou, W. Y. (2018). Robot evaluation and selection using the hesitant fuzzy linguistic MULTIMOORA method. *Journal of Testing and Evaluation*, 47(2), 1405-1426.
- [31] Karabasevic, D., Stanujkic, D., Urosevic, S., & Maksimovic, M. (2015). Selection of candidates in the mining industry based on the application of the SWARA and the MULTIMOORA methods. *Acta Montanistica Slovaca*, 20(2), 116-124.
- [32] Hafezalkotob, A., & Hafezalkotob, A. (2016). Extended MULTIMOORA method based on Shannon entropy weight for materials selection. *Journal of Industrial Engineering International*, 12(1), 1–13.
- [33] Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., & Sayadi, M. K. (2016). Extension of MULTIMOORA method with interval numbers: an application in materials selection. *Applied Mathematical Modelling*, 40(2), 1372-1386.
- [34] Zavadskas, E. K., Bausys, R., Juodagalviene, B., & Garnyte-Sapranaviciene, I. (2017). Model for residential house element and material selection by neutrosophic MULTIMOORA method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 64, 315-324.
- [35] Chen, S. X., Wang, J. Q., & Wang, T. L. (2019). Cloud-based ERP system selection based on extended probabilistic linguistic MULTIMOORA method and Choquet integral operator. *Computational and Applied Mathematics*, 38(2), 1–32.

- [36] Fedajev, A., Stanujkic, D., Karabašević, D., Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2020). Assessment of progress towards “Europe 2020” strategy targets by using the MULTIMOORA method and the Shannon Entropy Index. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118895.
- [37] Baležentis, T., & Zeng, S. (2013). Group multi-criteria decision making based upon interval-valued fuzzy numbers: an extension of the MULTIMOORA method. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 543–550.
- [38] Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Razavi Hajiagha, S. H., & Hashemi, S. S. (2015). The interval-valued intuitionistic fuzzy MULTIMOORA method for group decision making in engineering. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- [39] Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Brauers, W. K., & Karabasevic, D. (2015). An extension of the MULTIMOORA method for solving complex decision-making problems based on the use of interval-valued triangular fuzzy numbers. *Transformations in Business and Economics*, 14(2B), 355–375.
- [40] Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Smarandache, F., Brauers, W. K., & Karabasevic, D. (2017). A neutrosophic extension of the MULTIMOORA method. *Informatica*, 28(1), 181–192.
- [41] Chakraborty, S., & Zavadskas, E. K. (2014). Applications of WASPAS method in manufacturing decision making. *Informatica*, 25(1), 1–20.
- [42] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2015). Selecting a contractor by using a novel method for multiple attribute analysis: Weighted Aggregated Sum Product Assessment with grey values (WASPAS-G). *Studies in Informatics and Control*, 24(2), 141–150.
- [43] Kazimieras Zavadskas, E., Baušys, R., & Lazauskas, M. (2015). Sustainable assessment of alternative sites for the construction of a waste incineration plant by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set. *Sustainability*, 7(12), 15923–15936.
- [44] Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Amiri, M., & Esmaeili, A. (2016). Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets. *Journal of Cleaner Production*, 137, 213–229.
- [45] Baušys, R., & Juodagalvienė, B. (2017). Garage location selection for residential house by WASPAS-SVNS method. *Journal of civil engineering and management*, 23(3), 421–429.

- [46] Stanujkić, D., & Karabašević, D. (2018). An extension of the WASPAS method for decision-making problems with intuitionistic fuzzy numbers: a case of website evaluation. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 29–39.
- [47] Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., & Boranbayev, S. (2019). A fuzzy WASPAS-based approach to determine critical information infrastructures of EU sustainable development. *Sustainability*, 11(2), 424.
- [48] Kutlu Gundogdu, F., & Kahraman, C. (2019). Extension of WASPAS with spherical fuzzy sets. *Informatica*, 30(2), 269–292.
- [49] Zavadskas, E. K., Baušys, R., Stanujkić, D., & Magdalinovic-Kalinovic, M. (2016). Selection of lead-zinc flotation circuit design by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set, *Acta Montanistica Slovaca*, 21(2), 85–92.
- [50] Sarkar, A., Panja, S. C., Das, D., & Sarkar, B. (2015). Developing an efficient decision support system for non-traditional machine selection: an application of MOORA and MOOSRA. *Production & Manufacturing Research*, 3(1), 324–342.
- [51] Aytaç Adalı, E., & Tuş Işık, A. (2017). The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem. *Journal of Industrial Engineering International*, 13(2), 229–237.
- [52] Dorfeshan, Y., Mousavi, S. M., Mohagheghi, V., & Vahdani, B. (2018). Selecting project-critical path by a new interval type-2 fuzzy decision methodology based on MULTIMOORA, MOOSRA and TPOP methods. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 160–178.
- [53] Yazdani, M., Wen, Z., Liao, H., Banaitis, A., & Turskis, Z. (2019). A grey combined compromise solution (CoCoSo-G) method for supplier selection in construction management. *Journal of Civil Engineering and Management*, 25(8), 858–874.
- [54] Peng, X., Zhang, X., & Luo, Z. (2020). Pythagorean fuzzy MCDM method based on CoCoSo and CRITIC with score function for 5G industry evaluation. *Artificial Intelligence Review*, 53(5), 3813-3847.
- [55] Peng, X., & Smarandache, F. (2020). A decision-making framework for China's rare earth industry security evaluation by neutrosophic soft CoCoSo method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39(5), 7571-7585.
- [56] Peng, X., & Huang, H. (2020). Fuzzy decision making method based on CoCoSo with critic for financial risk evaluation. *Technological and Economic Development of Economy*, 26(4), 695-724.

- [57] Stanujkic, D., Popovic, G., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., & Binkyte-Veliene, A. (2020). Assessment of progress towards achieving Sustainable Development Goals of the “Agenda 2030” by using the CoCoSo and the Shannon Entropy methods: The case of the EU Countries. *Sustainability*, 12(14), 5717.
- [58] Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2012). Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-objective optimization. *Informatica*, 23(1), 1-25.
- [59] Miller, D. W., & Starr, K. (1969). *Executive Decisions and Operations Research*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [60] Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2008). A new logarithmic normalization method in games theory. *Informatica*, 19(2), 303–314.
- [61] Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Liu, S., Karabasevic, D., & Popovic, G. (2017). Improved OCRA method based on the use of interval grey numbers. *Journal of Grey System*, 29(4), 49-60.
- [62] Bhangale, P. P., Agrawal, V. P., & Saha, S. K. (2004). Attribute based specification, comparison and selection of a robot. *Mechanism and Machine Theory*, 39(12), 1345-1366.
- [63] Stanujkic, D., Djordjevic, B., & Djordjevic, M. (2013). Comparative analysis of some prominent MCDM methods: A case of ranking Serbian banks. *Serbian journal of management*, 8(2), 213–241.

3 KOMPARATIVNA ANALIZA SIMPLE WISP METODE I NEKIH ISTAKNUTIH VKO METODA: *PYTHON* PRISTUP

Napomena: Ovo poglavlje predstavlja publikovani rad “Stanujkić, D., Karabašević, D., Popović, G., Zavadskas, E. K., Saračević, M., Stanimirović, P. S., Ulutaš, A., Katsikis, V. N. & Meidute-Kavaliauskiene, I. (2021). Comparative Analysis of the Simple WISP and Some Prominent MCDM Methods: A Python Approach. *Axioms*, 10(4), 347. M22”. Prikaz poglavlja u odnosu na publikovani rad je izmenjen, određena poglavlja su izostavljena, kako se ne bi određeni delovi integralnog teksta ponavljali. Takođe, kako se ne bi određeni delovi teksta u nekim segmentima ponavljali, isti su izostavljeni, shodno tome, izostavljene su i reference koje prate izostavljene delove teksta.

3.1 Uvod

U ovom poglavlju predstavljena je komparacija rezultata dobijena korišćenjem novopredložene Simple WISP metode [1], koja je detaljno predstavljena u prethodnom poglavlju i nekih drugih istaknutih metoda višekriterijumskog odlučivanja. Za potrebe komparacije, sprovedeno je nekoliko analiza pomoću programskog jezika *Python* i njegove *NumPy* biblioteke. Komparacija je sprovedena na osnovu realnog problema odlučivanja preuzetog iz literature. Dobijeni rezultati potvrđuju visoku korelaciju rezultata dobijenih metodom Simple WISP i odabranim višekriterijumskim metodama odlučivanja kao što su TOPSIS, SAW, ARAS, WASPAS i CoCoSo, što potvrđuje upotrebljivost Simple WISP metode za rešavanje VKO problema.

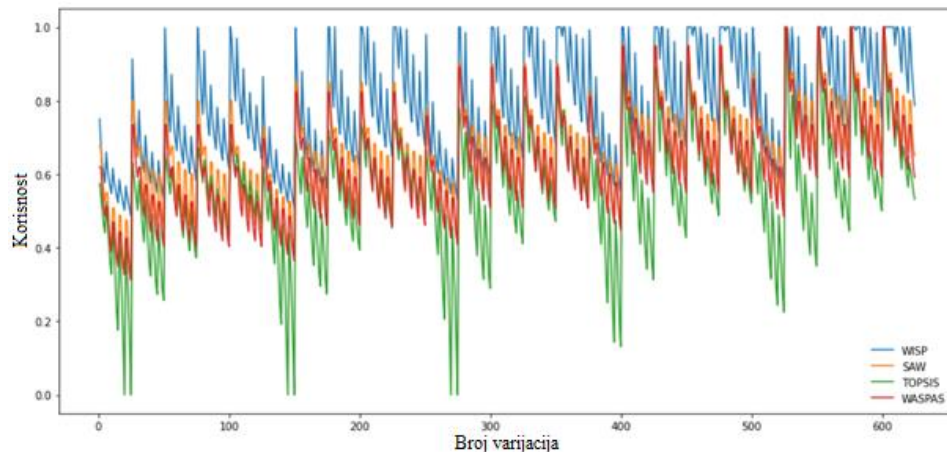
3.2 Komparacija WISP metode i drugih efikasnih VKO metoda

Ovaj deo predstavlja komparativnu studiju rezultata rangiranja dobijenih korišćenjem WISP metode i nekih značajnih VKO metoda, kao što su: TOPSIS, SAW, ARAS, WASPAS i CoCoSo. Analiza je izvršena na VKO primeru koji sadrži pet alternativa i četiri kriterijuma, pri čemu su prva dva kriterijuma prihodna, a preostala dva su rashodni kriterijumi. U sprovedenoj analizi svi kriterijumi imaju istu težinu, zbog čega težinski vektor težine izgleda ovako: $w_j = \{0,25, 0,25, 0,25, 0,25\}$.

U sprovedenim analizama, rejting alternative A_1 generisan je primenom *Python-a* za petlje unutar raspona, dok su rejtinzi alternativa od A_2 do A_5 generisani pomoću `numpy.random.randint(1, 6)` funkcije i `numpy.random.seed(0)`.

Korisnost razmatranih alternativa dobijena primenom navedenih VKO metoda, za različite varijacije rejtinga kriterijuma C_1-C_4 i alternative A_1 , grafički je prikazana na slikama 1 i 2.

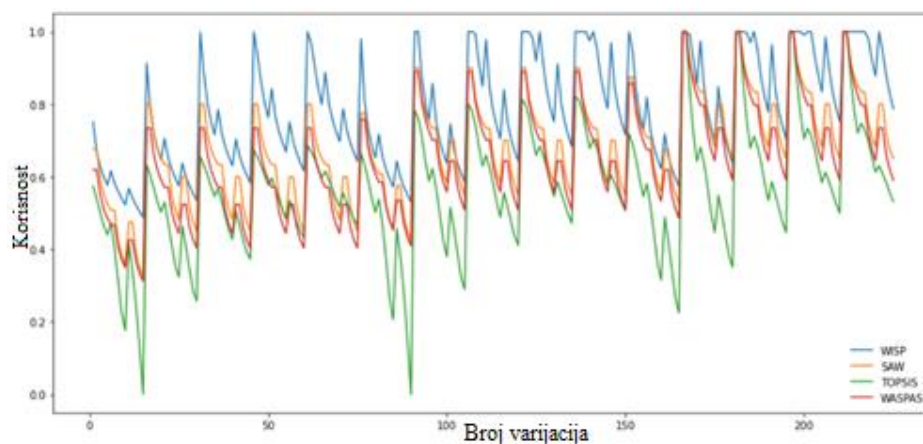
Korisnost razmatranih alternativa dobijenih korišćenjem navedenih VKO metoda, za različite varijacije rejtinga kriterijuma C_1-C_4 od alternative A_1 , grafički je prikazana na slikama 1 i 2.



Slika 1. Korelacija korisnosti alternativa dobijena primenom različitih VKO metoda

Slika 1 prikazuje korisnost razmatranih alternativa zasnovanu na 625 varijacija rejtinga kriterijuma C_1-C_4 i alternative A_1 , $C_i \in [1, 5]$, formiranu primenom *Python* za opseg petlje (1, 6).

Slična i nešto jasnija slika 2, prikazuje 225 varijacija rejtinga kriterijuma C_1-C_4 , $C_{1,3} \in (1, 3, 5)$, i $C_{2,4} \in [1, 5]$, gde su rejtinzi kriterijuma C_2 i C_4 formirani primenom *Python* za opseg petlje (1, 6, 2).



Slika 2. Korelacija korisnosti alternativa dobijena primenom različitih VKO metoda zasnovana na 225 varijacija

Iz slika 1 i 2, uočava se značajna korelacija u trendu povećanja i smanjenja korisnosti alternativa dobijenih primenom razmatranih VKO metoda.

Kako bi se utvrdilo u kojoj su meri rezultati dobijeni primenom WISP metode konzistentni sa rezultatima dobijenim primenom prethodno navedenih VKO metoda, izvršeno je nekoliko analiza koje su opisane u nastavku.

Analiza 1. U prvoj od pet sprovedenih analiza, korelacija između redosleda rangiranja alternativa dobijena je primenom WISP metode i rangiranja alternativa dobijenih primenom TOPSIS, SAW, ARAS, WASPAS i CoCoSo metoda. Korelacija je ispitana na osnovu četiri “slučajno odabrane” inicijalne matrice odlučivanja.

Četiri inicijalne matrice odlučivanja odabrane su iz skupa od 81 matrice odlučivanja formiranih korišćenjem *Python*-a za opseg petlji (1, 6, 2). Dalja evaluacija podrazumeva izbor svake dvadesete inicijalne matrice odlučivanja, tj. matrica za koju je ispunjen sledeći uslov $\text{number_of_variation \% 20} == 0$.

Prva od četiri odabrane inicijalne matrice odlučivanja prikazana je u tabeli 1, dok su rezultati rangiranja i redosled rangiranja alternativa prikazani u tabelama 2 i 3.

Tabela 1. Prva matrica od četiri izabrane inicijalne matrice odlučivanja

	C₁	C₂	C₃	C₄
<i>A</i> ₁	1	5	1	3
<i>A</i> ₂	5	1	4	4
<i>A</i> ₃	4	2	4	3
<i>A</i> ₄	5	1	1	5
<i>A</i> ₅	3	2	1	2

Tabela 2. Korisnost alternativa dobijena na osnovu prve matrice odlučivanja

	WISP	TOPSIS	SAW	ARAS	WASPAS	CoCoSo
	<i>u_i</i>	<i>S_i</i>	<i>S_i</i>	<i>Q_i</i>	<i>Q_i</i>	<i>k_i</i>
<i>A</i> ₁	0,908	0,650	0,717	0,744	0,660	2,470
<i>A</i> ₂	0,690	0,350	0,488	0,459	0,443	1,389
<i>A</i> ₃	0,735	0,384	0,529	0,518	0,505	1,907
<i>A</i> ₄	0,799	0,469	0,650	0,604	0,591	1,762
<i>A</i> ₅	1,000	0,555	0,750	0,722	0,725	2,823

Tabela 3. Redosled rangiranja dobijen na osnovu prve matrice odlučivanja

	WISP	TOPSIS	SAW	ARAS	WASPAS	CoCoSo
A_1	2	1	2	1	2	2
A_2	5	5	5	5	5	5
A_3	4	4	4	4	4	3
A_4	3	3	3	3	3	4
A_5	1	2	1	2	1	1
<i>Cosine similarity</i>		0,982	1,000	0,982	1,000	0,982

Iz tabele 3 može se uočiti da postoji određena razlika u redosledu rangiranja alternativa dobijenih primenom WISP metode i nekih od razmatranih VKO metoda. Međutim, *cosine similarity* mera izračunata između rezultata rangiranja dobijenih korišćenjem WISP metode i razmatranih VKO metoda, takođe prikazana u tabeli 3, ukazuje na značajnu sličnost između dobijenih redosleda rangiranja alternativa.

Preostale tri matrice odlučivanja prikazane su u tabelama 4–6, dok su redosledi rangiranja postignuti na osnovu njih prikazani u tabelama 7–9.

Tabela 4. Druga matrica od četiri izabrane inicijalne matrice odlučivanja

	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	3	3	3	1
A_2	5	1	4	4
A_3	4	2	4	3
A_4	5	1	1	5
A_5	3	2	1	2

Tabela 5. Treća matrica od četiri izabrane inicijalne matrice odlučivanja

	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	5	1	3	5
A_2	5	1	4	4
A_3	4	2	4	3
A_4	5	1	1	5
A_5	3	2	1	2

Tabela 6. Četvrta matrica od četiri izabrane inicijalne matrice odlučivanja

	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	5	5	5	3
A_2	5	1	4	4
A_3	4	2	4	3
A_4	5	1	1	5
A_5	3	2	1	2

Tabela 7. Redosled rangiranja dobijen na osnovu druge matrice odlučivanja

	WISP	TOPSIS	SAW	ARAS	WASPAS	CoCoSo
A_1	2	1	1	1	1	1
A_2	5	5	5	5	5	5
A_3	4	4	4	4	4	3
A_4	3	3	3	3	3	4
A_5	1	2	2	2	2	2
<i>Cosine similarity</i>		0,982	0,982	0,982	0,982	0,964

Tabela 8. Redosled rangiranja dobijen na osnovu treće matrice odlučivanja

	WISP	TOPSIS	SAW	ARAS	WASPAS	CoCoSo
A_1	4	4	5	5	4	4
A_2	5	5	4	4	5	4
A_3	3	3	3	3	3	2
A_4	2	2	2	2	2	3
A_5	1	1	1	1	1	1
<i>Cosine similarity</i>		1,000	0,982	0,982	1,000	0,974

Tabela 9. Redosled rangiranja dobijen na osnovu četvrte matrice odlučivanja

	WISP	TOPSIS	SAW	ARAS	WASPAS	CoCoSo
A_1	2	1	2	2	2	1
A_2	5	5	5	5	5	4
A_3	4	4	4	4	4	2
A_4	3	3	3	3	3	5
A_5	1	2	1	1	1	3
<i>Cosine similarity</i>		0,982	1,000	1,000	1,000	0,873

Tabele 7–9 pokazuju značajnu saglasnost u pogledu rangiranja WISP metode i rezultata rangiranja dobijenih korišćenjem ARAS, SAW, WASPAS i TOPSIS metoda, što je potvrđeno i visokim vrednostima *cosine similarity* mera između redosleda rangiranja alternativa postignutih korišćenjem WISP metode i rangiranja alternativa postignutih korišćenjem prethodno navedenih VKO metoda.

Za razliku od navedenog, postignuti rezultati ukazuju na nešto manju saglasnost rezultata postignutih primenom WISP i CoCoSo metoda.

Analiza 2. U drugoj od pet provedenih analiza ispitana je korelacija rangova alternative A_1 u odnosu na rangove iste alternative dobijene primenom odabranih VKO metoda.

Određivanje korelacije rangova alternative A_1 izvršeno je za pet slučajeva, sa različitim brojem varijacija vrednosti kriterijuma C_1 – C_4 , pri čemu je različit broj varijacija ostvaren korišćenjem različitih kombinacija raspona (1,6) i funkcija opsega (1,6,2) u *Python*-u za opseg petlji. U

svakom od pet slučajeva, za svaku korišćenu VKO metodu, formiran je vektor koji sadrži rang alternative A_1 .

Ostvarene vrednosti *cosine similarity* mere između vektora WISP metode i vektora drugih VKO metoda su prikazane u tabeli 10.

Tabela 10. Korelacija rangova alternative A_1

	Slučaj 1	Slučaj 2	Slučaj 3	Slučaj 4	Slučaj 5	Max	Min	Sr, vred,
WISP–TOPSIS	0,970	0,968	0,966	0,967	0,967	0,970	0,966	0,968
WISP–SAW	0,988	0,990	0,990	0,988	0,988	0,990	0,988	0,989
WISP–ARAS	0,982	0,986	0,986	0,985	0,984	0,986	0,982	0,985
WISP–WASPAS	0,990	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,990	0,992
WISP–CoCoSo	0,957	0,968	0,970	0,967	0,969	0,970	0,957	0,966
<i>Varijacije:</i>	81	135	225	375	625			

Iz Tabele 10 se može videti da postoji visoka korelacija u rangovima alternative A_1 između WISP-WASPAS, WISP-SAW i WISP-ARAS metoda. Takođe, postoji visoka korelacija između WISP-TOPSIS i WISP-CoCoSo metoda, ali je niža u odnosu na gore navedene.

Analiza 3. U trećoj analizi ispitana je korelacija između najbolje rangiranih alternativa dobijenih primenom nekoliko VKO metoda. Kao i u prethodnoj analizi, korelacija je izvršena za pet slučajeva sa različitim brojem varijacija.

Ostvarene vrednosti *similarity measure* mere između vektora WISP metode i vektora drugih VKO metoda prikazane su u tabeli 11.

Tabela 11. Korelacija između najbolje rangiranih alternativa

	Slučaj 1	Slučaj 2	Slučaj 3	Slučaj 4	Slučaj 5	Max	Min	Sr, vred,
WISP–TOPSIS	0,928	0,925	0,919	0,925	0,922	0,928	0,919	0,924
WISP–SAW	0,960	0,971	0,979	0,976	0,977	0,979	0,960	0,973
WISP–ARAS	0,950	0,965	0,972	0,969	0,971	0,972	0,950	0,965
WISP–WASPAS	0,965	0,976	0,985	0,985	0,987	0,987	0,965	0,980
WISP–CoCoSo	0,939	0,931	0,940	0,934	0,931	0,940	0,931	0,935
<i>Varijacije:</i>	81	135	225	375	625			

Iz tabele 11, može se uočiti visoka korelacija najbolje pozicionirane alternative između WISP-WASPAS, WISP-SAW i WISP-ARAS metoda. Nešto niža korelacija se takođe može uočiti između WISP-TOPSIS i WISP-CoCoSo metoda.

Analiza 4. Četvrta analiza je sprovedena da bi se utvrdila sličnost između rangiranja alternativa dobijenih primenom WISP i navedenih VKO metoda. Kao i u prethodnim slučajevima, analiza je izvršena na bazi pet slučajeva sa različitim brojem varijacija. Dobijeni rezultati ove analize prikazani su u tabeli 12.

Tabela 12. Korelacija između redosleda rangiranja alternativa

	Slučaj 1	Slučaj 2	Slučaj 3	Slučaj 4	Slučaj 5	Max	Min	Sr, vred,
WISP–TOPSIS	0,988	0,988	0,987	0,988	0,988	0,988	0,987	0,988
WISP–SAW	0,993	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,993	0,994
WISP–ARAS	0,992	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,992	0,994
WISP–WASPAS	0,994	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,994	0,995
WISP–CoCoSo	0,944	0,944	0,953	0,952	0,952	0,953	0,944	0,949
<i>Varijacije:</i>	81	135	225	375	625			

Kao i u prethodnoj analizi, može se uočiti visoka korelacija redosleda rangiranja alternativa između WISP-WASPAS, WISP-SAW, WISP-ARAS i WISP-TOPSIS metoda.

Analiza 5. Za razliku od prethodnih analiza, u ovoj analizi varirane su i vrednosti alternative A_2 , kao i u slučaju alternative A_1 . U ovoj analizi proverena je sličnost prvorangirane metode dobijene korišćenjem WISP metode i drugih VKO metoda. Rezultati proračuna, odnosno sličnosti dobijenih rangova izračunatih pomoću *cosine similarity* mere prikazani su u tabeli 13.

Tabela 13. Korelacija između najbolje rangiranih alternativa

	<i>Cosine Similarity</i> mera
WISP–TOPSIS	0,948
WISP–SAW	0,985
WISP–ARAS	0,987
WISP–WASPAS	0,998
WISP–CoCoSo	0,926
<i>Varijacije:</i>	50.625

Kao i u prethodnoj analizi, može se uočiti visoka korelacija najbolje pozicionirane alternative između WISP-WASPAS, WISP-ARAS, WISP-SAW i WISP-TOPSIS metoda.

Na osnovu ove analize, može se utvrditi da WISP metoda daje uporedive rezultate rangiranja poput WASPAS, ARAS, SAW i TOPSIS metoda.

3.3 Numerička ilustracija

U cilju demonstracije primene WISP metode, sproveden je još jedan primer koji se zasniva na problemu izbora flotacijske mašine. Primer se zasniva na radu autora Stirbanović et al. [2]. U ovom primeru evaluacija flotacijske mašine izvršena je na osnovu 10 kriterijuma koji su svrstani u tri grupe:

- Parametri izgradnje (*Constructional parameters*);
- Ekonomski parametric (*Economical parameters*); i
- Tehnički parametri (*Technical parameters*).

Evaluacioni kriterijumi, njihov pravac optimizacije (Opt.) i njihove težine su prikazane u tabeli 14.

Tabela 14. Evaluacioni kriterijumi i težine

Kriterijumi	Naziv kriterijuma	Kategorija	Opt.	Težine kriterijuma
C ₁	Veličina i oblik mašine		max	0,070
C ₂	Volumen ili kapacitet mašine	Parametri izgradnje	min	0,070
C ₃	Izgradnja sistema za mešanje i aeraciju		max	0,070
C ₄	Broj mašina		max	0,140
C ₅	Investicije		min	0,200
C ₆	Uslovi plaćanja i održavanja	Ekonomski parametri	max	0,080
C ₇	Operativni troškovi		min	0,120
C ₈	Period garancije	Tehnički parametri	max	0,125
C ₉	Period isporuke		min	0,050
C ₁₀	Uslovi održavanja		max	0,075

Rejtinzi pet alternativa u odnosu na izabrani skup kriterijuma prikazani su u tabeli 15.

Tabela 15. Rejtinzi alternativa

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀
A ₁	3	7	4	4	6	4	6	8	5	8
A ₂	4	6	5	5	5	5	5	8	6	9
A ₃	6	4	5	6	4	5	5	9	7	9
A ₄	5	6	6	5	3	6	4	7	8	9
A ₅	2	8	3	4	6	3	6	7	7	8

Izvor: Stirbanovic et al. [2].

Navedeni primer selekcije je zanimljiv jer su primenjene VKO metode, TOPSIS i VIKOR, dale različite redoslede rangiranja alternativa, kao što je prikazano u Tabeli 16.

Tabela 16. Redosledi rangiranja dobijeni primenom TOPSIS i VIKOR metoda

	TOPSIS		VIKOR	
	S_i	Rang	Q_i	Rang
A_1	0,20	4	0,88	4
A_2	0,45	3	0,41	3
A_3	0,72	2	0,00	1
A_4	0,74	1	0,28	2
A_5	0,04	5	1,00	5

Normalizovana matrica odlučivanja prikazana je u tabeli 17.

Tabela 17. Normalizovani rejtinzi alternativa

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A_1	0,50	0,88	0,67	0,67	1,00	0,67	1,00	0,89	0,63	0,89
A_2	0,67	0,75	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,89	0,75	1,00
A_3	1,00	0,50	0,83	1,00	0,67	0,83	0,83	1,00	0,88	1,00
A_4	0,83	0,75	1,00	0,83	0,50	1,00	0,67	0,78	1,00	1,00
A_5	0,33	1,00	0,50	0,67	1,00	0,50	1,00	0,78	0,88	0,89

Vrednosti četiri mera korisnosti u_i^{sd} , u_i^{pd} , u_i^{sr} , i u_i^{pr} su prikazane u tabeli 18.

Tabela 18. Vrednosti četiri mera korisnosti

	u_i^{sd}	u_i^{pd}	u_i^{sr}	u_i^{pr}
A_1	-0,01	-0,00005	0,98	0,0013
A_2	0,12	-0,00003	1,33	0,0054
A_3	0,22	-0,00002	1,71	0,0175
A_4	0,21	-0,00002	1,76	0,0132
A_5	-0,08	-0,00007	0,82	0,0003
max	0,22	-0,00002	1,76	0,0175

Normalizovane vrednosti četiri mera korisnosti \bar{u}_i^{sd} , \bar{u}_i^{pd} , \bar{u}_i^{sr} i \bar{u}_i^{pr} , prikazane su u tabeli 19.

Tabela 19. Normalizovane vrednosti četiri mera korisnosti

	\bar{u}_i^{sd}	\bar{u}_i^{pd}	\bar{u}_i^{sr}	\bar{u}_i^{pr}
A_1	0,812	0,99997	0,719	0,984
A_2	0,914	0,99999	0,844	0,988
A_3	1,000	1,00000	0,983	1,000
A_4	0,993	1,00000	1,000	0,996
A_5	0,754	0,99995	0,659	0,983

Ukupna korisnost za svaku od pet alternativa data je u tabeli 20. Redosled rangiranja alternativa dobijen primenom WISP metode je takođe prikazan u tabeli 20.

Tabela 20. Ukupna korisnost za svaku razmatranu alternativu

	u_i	Rang
A_1	0,879	4
A_2	0,937	3
A_3	0,996	2
A_4	0,997	1
A_5	0,849	5

Iz prethodne tabele se može uočiti da je redosled rangiranja alternativa dobijen primenom WISP metode identičan redosledu rangiranih alternativa dobijenih primenom TOPSIS metode, te da je alternativa A_4 najprihvatljivija u slučaju primene obe metode.

Kako bi se utvrdilo koja je alternativa zaista najprihvatljivija, izvršena je evaluacija primenom nekoliko VKO metoda, a rezultati su sažeti u tabelama 21 i 22.

Tabela 21. Rezultati rangiranja dobijeni primenom izabranih VKO metoda

	WISP		TOPSIS		VIKOR		SAW		ARAS		WASPAS		CoCoSo	
	u_i	Rang	S_i	Rang	Q_i	Rang	S_i	Rang	Q_i	Rang	Q_i	Rang	k_i	Rang
A_1	0,879	4	0,20	4	0,88	4	0,68	4	0,66	4	0,67	4	7,31	4
A_2	0,937	3	0,45	3	0,41	3	0,78	3	0,77	3	0,77	3	16,68	3
A_3	0,996	2	0,72	2	0,00	1	0,89	2	0,88	2	0,88	2	22,23	1
A_4	0,997	1	0,74	1	0,28	2	0,90	1	0,90	1	0,89	1	19,30	2
A_5	0,849	5	0,04	5	1,00	5	0,61	5	0,60	5	0,60	5	0,88	5

Tabela 22. Redosled rangiranja dobijen primenom izabranih VKO metoda

	WISP	TOPSIS	VIKOR	SAW	ARAS	WASPAS	CoCoSo
	Rang	Rang	Rang	Rang	Rang	Rang	Rang
A_1	4	4	4	4	4	4	4
A_2	3	3	3	3	3	3	3
A_3	2	2	1	2	2	2	1
A_4	1	1	2	1	1	1	2
A_5	5	5	5	5	5	5	5

Kao što se može videti iz tabele 22, redosled rangiranja alternativa je prilično sličan, ali postoje određena odstupanja u pogledu prvorangirane alternative u slučaju primene VIKOR i CoCoSo metoda.

Problem pojave različitog rangiranja alternativa dobijen različitim VKO metodama razmatran je u Stanujkić et al. [3], a nastaje kao rezultat primene različitih procedura normalizacije, različitih procedura agregacije i određenih odnosa između težina kriterijuma. Na primer, u ovom slučaju, smanjenjem težine kriterija C_7 sa 0,12 na 0,054, uz odgovarajuće povećanje težine drugih kriterijuma kako bi se zadovoljilo sledeće ograničenje, preciznije primenom

težinskog vektora $w_j = \{0,075, 0,075, 0,075, 0,150, 0,215, 0,086, 0,054, 0,134, 0,054, 0,081\}$, sve alternative su dale isti redosled rangiranja alternativa, kao što je prikazano u tabeli 23.

Tabela 23. Redosled rangiranja alternativa dobijen primenom izabranih VKO metoda

	Wisp	TOPSIS	VIKOR	SAW	ARAS	WASPAS	CoCoSo
	Rang	Rang	Rang	Rang	Rang	Rang	Rang
A_1	4	4	4	4	4	4	4
A_2	3	3	3	3	3	3	3
A_3	1	1	1	1	1	1	1
A_4	2	2	2	2	2	2	2
A_5	5	5	5	5	5	5	5

Kao što se može videti iz tabele 23, smanjenje težine kriterijuma C_7 dovelo je do toga da su sve VKO metode dale isti rang alternativa, odnosno da je alternativa A_3 najprihvatljivija primenom svih razmatranih VKO metoda. U ovom slučaju, kriterijum C_7 je izabran zbog njegove značajne težine. Slične analize se mogu izvesti sa povećanjem ili smanjenjem težina drugih kriterijuma sa većim težinama, ili sa grupama kriterijuma sa manjim težinama.

Slično, smanjenjem težine kriterijuma C_8 sa 0,125 na 0,022, tj. primenom težinskog vektora $w_j = \{0,078, 0,078, 0,078, 0,157, 0,224, 0,089, 0,134, 0,022, 0,056, 0,084\}$, alternativa A_4 će postati najprikladnija, osim kada se primeni CoCoSo metoda, kao što je prikazano u tabeli 24.

Tabela 24. Redosled rangiranja dobijen primenom izabranih metoda

	WISP	TOPSIS	VIKOR	SAW	ARAS	WASPAS	CoCoSo
	Rang	Rang	Rang	Rang	Rang	Rang	Rang
A_1	4	4	4	4	4	4	4
A_2	3	3	3	3	3	3	3
A_3	2	2	2	2	2	2	1
A_4	1	1	1	1	1	1	2
A_5	5	5	5	5	5	5	5

Na osnovu gore provedene analize, očigledno je da WISP metoda daje slične rezultate rangiranja kao i druge istaknute VKO metode u prilikom rešavanja realnih problema odlučivanja.

3.4 Diskusija

Sprovedene analize, kao i rezultati postignuti u rešavanju realnog problema odlučivanja, pokazali su visoku sličnost rezultata postignutih primenom novopredložene WISP metode i WASPAS, ARAS, SAW, kao i TOPSIS metoda. Uočeno je određeno odstupanje u redosledu rangiranja alternativa ili najprikladnije alternative u odnosu na CoCoSo i VIKOR metode.

3.5 Zaključak

U ovom poglavlju, izvršena je komparacija rezultata dobijenih upotrebom WISP metode i nekih istaknutih VKO metoda. Ostvareni rezultati potvrđuju visoku korelaciju rezultata dobijenih primenom Simple WISP metode i primenom istaknutih VKO metoda. Osim toga, važno je napomenuti da su kalkulacije izvedene primenom programskog jezika *Python*.

3.6 Literatura

- [1] Stanujkic, D., Popovic, G., Karabasevic, D., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Ulutaş, A. (2021). An integrated simple weighted sum product method—WISP. *IEEE Transactions on Engineering Management*. doi: 10.1109/TEM.2021.3075783.
- [2] Štirbanović, Z., Stanujkić, D., Miljanović, I., & Milanović, D. (2019). Application of MCDM methods for flotation machine selection. *Minerals Engineering*, 137, 140–146.
- [3] Stanujkic, D., Djordjevic, B., & Djordjevic, M. (2013). Comparative analysis of some prominent MCDM methods: A case of ranking Serbian banks. *Serbian journal of management*, 8(2), 213–241.

4 NOVA FUZZY EKSTENZIJA SIMPLE WISP METODE

Napomena: Ovo poglavlje predstavlja publikovani rad “Karabašević, D., Ulutaş, A., Stanujkić, D., Saračević, M., & Popović, G. (2022). A New Fuzzy Extension of the Simple WISP Method. *Axioms*, 11(7), 332. M22”. Prikaz rada u odnosu na poglavlje je delimično izmenjeno kako bi se istom prilagodilo. Takođe, kako se ne bi određeni delovi teksta u nekim segmentima ponavljali, isti su izostavljeni.

4.1 Uvod

Višekriterijumsko odlučivanje je prvi put primenjeno 1970. godine i od tada se brzo razvija. Mnogi značajni VKO pristupi su predloženi kao rezultat brzog i dinamičnog razvoja u cilju rešavanja širokog spektra problema u sferi donošenja odluka [1-5]. Neke od VKO metoda koje se često susreću u literaturi su: SAW [6], CP [7], ELECTRE [8], AHP [9], TOPSIS [10], PROMETHEE [11], MACBETH [12], MULTIMOORA [13], ARAS [14] itd.

Pored gore navedene liste koja uključuje dobro poznate i široko primenjene VKO metode, mogu se uočiti i neki novorazvijeni VKO pristupi, kao npr. EDAS [15], WASPAS [16], WS PLP [17], ARCAS [18], CoCoSo [19], itd.

Prethodno navedene (klasične) VKO metode su prvenstveno namenjene za primenu sa *crisp* brojevima. Ipak, većina problema odlučivanja u stvarnom svetu često uključuje neodređenost i nepreciznost podataka koji se koriste za rešavanje problema u sferi donošenja odluka, a često uključuje i predviđanja, što uzrokuje značajna ograničenja za primenu klasičnih VKO metoda.

Za rešavanje problema koje prate nepreciznost, nepouzdanost i predviđanja, Zadeh [20] je predložio teoriju *fuzzy* skupova koja omogućava delimično članstvo u skupu. Nakon toga, Bellman i Zadeh [21] predlažu donošenje odluka u kontekstu primene *fuzzy* skupova, na taj način omogućeno je korišćenje VKO metoda za rešavanje mnogih pitanja iz sfere donošenja odluka, sledstveno tome, mnoge značajne VKO metode su adaptirane za primenu *fuzzy* brojeva, kao što su: TOPSIS [22], AHP [23], PROMETHEE [24], ARAS [25] itd.

Pored toga i teorija *fuzzy* skupova je takođe proširena. Od mnogih ekstenzija, biće navedene samo neke poput, *neutrosophic* skupova [26-27], *interval-valued intuitionistic fuzzy* skupova [28], *interval-valued fuzzy* skupova [29], i *intuitionistic fuzzy* skupova [30].

Tokom 2021. godine, Stanujkic et al. [31] su razvili novu VKO (*Simple Weighted Sum-Product* (WISP)) metodu koja integriše neke od pristupa koji se nalaze u WASPAS, MULTIMOORA, ARAS, i CoCoSo metodama. O navedenoj metodi koja se zasniva na upotrebi *crisp* brojeva u prethodnom poglavlju je bilo više reči i ista je detaljno predstavljena. Međutim, upravo je i cilj da se u ovom poglavlju predstavi *fuzzy* proširenje kao što je i istaknuto u napomeni. Bitno je i navesti predložene ekstenzije WISP metode koje se zasnivaju na upotrebi *intuitionistic* [32] i *neutrosophic* [33] skupova. U narednom poglavlju biće više reči o *neutrosophic* ekstenziji WISP metode. Stoga, ključni cilj razvoja ekstenzije WISP metode zasnovane na primeni *fuzzy* skupova jeste proširenje mogućnosti za rešavanje šireg opsega VKO problema.

4.2 Fuzzy logika i teorija fuzzy skupova

U ovom delu prikazani su osnovni koncepti teorije fuzzy skupova, kao i segmenti koji su vezani za predloženu ekstenziju.

4.2.1 Osnovni koncepti i definicije fuzzy skupova

Definicija 1. X pokazuje neprazan skup. Fuzzy podskup \tilde{A} od X je opisan svojom funkcijom članstva $\mu_{\tilde{A}}(x)$ kao što sledi:

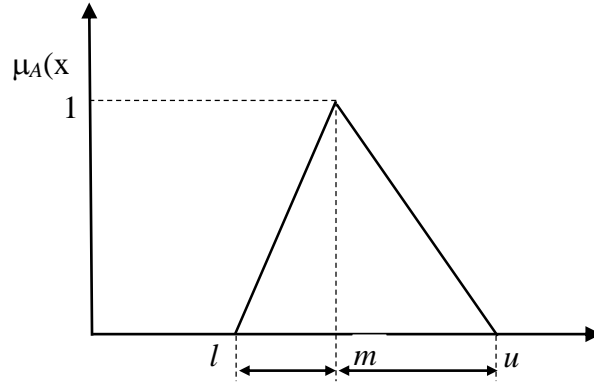
$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}, \quad (1)$$

gde $x \in X$ označava da x pripada nepravnom skupu X , i $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$.

Definicija 2. \tilde{A} , koji je *fuzzy broj*, predstavlja *trougaoni fuzzy broj* (*triangular fuzzy number* - *TFN*) ako je njegova funkcija članstva sledeća [34]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x - l)/(m - l) & l \leq x < m \\ 1 & x = m \\ (u - x)/(u - m) & m < x \leq u \\ 0 & \text{inače} \end{cases} \quad (2)$$

gde l , m , i u su krajnja leva tačka, srednja (medijana) i krajnja desna tačka, respektivno. Trougaoni fuzzy brojevi (*Trigangular Fuzzy Numbers* - *TFNs*) mogu se izraziti i tripletima (l , m , u), kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Asimetrični trougaoni *fuzzy* broj

Definicija 3. Neka su $\tilde{A} = (a_l, a_m, a_u)$ i $\tilde{B} = (b_l, b_m, b_u)$ dva pozitivna trougaona *fuzzy* brojeva (TFNs), gde k označava nenegativni i nenulti *crisp* broj. Osnovne operacije nad TFN brojevima su [35]:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_l + b_l, a_m + b_m, a_u + b_u), \quad (3)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_l - b_u, a_m - b_m, a_u - b_l), \quad (4)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_l \cdot b_l, a_m \cdot b_m, a_u \cdot b_u), \quad (5)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_l/b_u, a_m/b_m, a_u/b_l), \quad (6)$$

$$\tilde{A} \cdot k = (a_l \cdot k, a_m \cdot k, a_u \cdot k). \quad (7)$$

$$\tilde{A} + k = (a_l + k, a_m + k, a_u + k). \quad (8)$$

4.2.2 Defuzzy-fikacija trougaonih *fuzzy* brojeva

Crisp brojevi su znatno pogodniji za rangiranje u odnosu na *fuzzy* brojeve, zbog toga se *fuzzy* brojevi, pred sam kraj procesa evaluacije, često transformišu u *crisp* brojeve pre daljeg rangiranja. Do sada je predloženo nekoliko postupaka za rangiranje *fuzzy* brojeva, od kojih su u ovom delu navedena dva postupka koja će kasnije biti primenjena u numeričkim ilustracijama.

Opricovic i Tzeng [36] predlažu sledeći postupak *defuzzy*-fikacije:

$$df(\tilde{A}) = \frac{1}{3}(l + m + u), \quad (9)$$

gde l , m , i u označavaju levu krajnju tačku, srednju i krajnju desnu tačku, respektivno, trougaonog *fuzzy* broja \tilde{A} .

U navedenom postupku, sve tri tačke koje čine *fuzzy* broj su podjednako važne. Postupak *defuzzy*-fikacije koju predlažu Liou i Wang [37] pruža značajnije mogućnosti analize koje bi se

mogle ostvariti primenom različitih vrednosti koeficijenta λ , a može se izraziti na način kao što sledi:

$$df(\tilde{A}) = \frac{1}{2} [(1 - \lambda) l + m + \lambda u] \quad (10)$$

gde λ označava indeks optimizma, i $\lambda \in [0,1]$.

Prilikom davanja veće vrednosti indeksu optimizma λ , vrednost krajnje desne tačke (optimistični stavovi) ima već uticaj na odluku i obrnuto; kada se daje niža vrednost koeficijentu λ , leva krajnja tačka (pesimistični stavovi) ima veći uticaj.

4.2.3 Lingvističke varijable

U nekim slučajevima, primena *fuzzy* brojeva za evaluaciju alternativa ume da bude kompleksna za ispitanike koji nisu upoznati sa značenjem i upotrebom *fuzzy* brojeva. Stoga, Zadeh [38-40] uvodi upotrebu lingvističkih varijabli prikazanu kroz seriju radova, sa namerom da olakša upotrebu *fuzzy* brojeva. Prema Zadeh-u [38-40], lingvističke varijable su reči ili izrazi iz prirodnog jezika čije je značenje povezano s odgovarajućim *fuzzy* brojem.

Nakon toga, mnogi istraživači su u svojim istraživanjima primenjivali lingvističke varijable, kao što su: Chu i Lin [41], Sun i Lin [42], Sun [43] i Shemshadi et al. [44], koji su koristili lingvističke varijable sa *fuzzy* ekstenzijama TOPSIS i VIKOR metoda.

Svakako, upotreba lingvističkih varijabli nije bila ograničena na gore navedene metode, lingvističke varijable su primenjene i sa drugim VKO metodama, kao i sa drugim ekstenzijama VKO metoda zasnovanim na skupovima izvedenih iz *fuzzy* skupova, kao što su: *Pythagorean fuzzy* skupovi, interval-valued *fuzzy* skupovi, intuitionistic *fuzzy* skupovi i *neutrosophic* skupovi. Kao primeri takvih novijih istraživanja mogu se navesti sledeći autori: Karagoz et al. [45] i Gul et al. [46].

Mnoge studije koriste lingvističke skale koje se transformišu u simetrične TFN, tj. trougaone *fuzzy* brojeve čije je levo i desno rastojanje od medijane jednako. Upotreba takvih *fuzzy* brojeva sa jednostavnijom procedurom *defuzzy*-fikacije može značajno smanjiti benefiti koje se mogu postići primenom *fuzzy* brojeva. Stoga, drugačiji pristup za primenu lingvističkih varijabli je prikazan u tabeli 1 koji je i razmatran u ovom poglavlju.

Tabela 1. Lingvističke varijable

Lingvističke varijable	Abrevijacija	Numerička vrednost
Ekstremno visoka (Extremely high)	EHG	9
Veoma visoka (Very high)	VHG	8
Visoka (High)	HG	7
Umereno visoka (Moderate high)	MHG	6
Umerena (Moderate)	M	5
Umereno niska (Moderate low)	MLW	4
Niska (Low)	LW	3
Veoma niska (Very low)	VLW	2
Ekstremno niska (Extremely low)	ELW	1

U predloženom pristupu, donosioci odluka, odnosno ispitanici, evaluiraju alternative u pogledu kriterijuma koristeći lingvističke varijable iz tabele 1. Nakon evaluacije, lingvističke varijable se konvertuju u odgovarajuće *crisp* brojeve.

Dalji postupak konvertovanja stavova k ispitanika u inicijalnu grupnu *fuzzy* matricu odlučivanja može se prikazati na način kao što sledi:

$$l_{ij} = \min_k l_{ij}^k \quad (11)$$

$$m_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K m_{ij}^k \quad (12)$$

$$u_{ij} = \max_k u_{ij}^k \quad (13)$$

gde l_{ij} , m_{ij} , i u_{ij} označavaju krajnju levu tačku, srednju i krajnju desnu tačku *fuzzy* rejtinga $\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ alternative i u pogledu kriterijuma j i gde K označava broj ispitanika.

Primenom postupka prikazanog pomoću formula (11)–(13), dobijeni su *fuzzy* rejtinzi, čije krajnje leve tačke predstavljaju pesmistične stavove, srednje tačke prosečne stavove i krajnje desne tačke optimistične stavove dobijene na osnovu grupe ispitanika, respektivno.

4.3 Fuzzy Simple WISP metoda

Postupak *crisp* verzije metode (Simple WISP) je prikazan u prethodnom poglavlju i u Stanujkic et al. [31]. Na osnovu ovog postupka može se formirati procedura za rangiranje alternativa u slučaju korišćenja *fuzzy* brojeva, na način kao što sledi:

Korak 1. Formiranje *fuzzy* inicijalne matrice odlučivanja i identifikovanje težine kriterijuma. U ovom koraku, *fuzzy* inicijalna matrica odlučivanja može biti formirana kao što je to objašnjeno u prethodnom delu. Težine kriterijuma se mogu utvrditi primenom mnogih VKO metoda, kao što su: SWARA metoda [47], AHP metoda [48], PIPRECIA metoda [49], BWM metoda [50] i FUCOM metoda [51], itd.

Korak 2. Formiranje normalizovane *fuzzy* matrice odlučivanja na način kao što sledi:

$$\tilde{r}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \frac{1}{\max_i u_{ij}}, \quad (14)$$

gde \tilde{x}_{ij} označava *fuzzy* rejting i \tilde{r}_{ij} označava normalizovani *fuzzy* rejting alternative i u odnosu na kriterijum j , respektivno.

Korak 3. Izračunati vrednosti četiri *fuzzy* mera korisnosti \tilde{u}_i^{sd} , \tilde{u}_i^{pd} , \tilde{u}_i^{sr} , i \tilde{u}_i^{pr} , kao što sledi:

$$\tilde{u}_i^{sd} = \sum_{j \in \Omega_{\max}} \tilde{r}_{ij} w_j - \sum_{j \in \Omega_{\min}} \tilde{r}_{ij} w_j, \quad (15)$$

$$\tilde{u}_i^{pd} = \prod_{j \in \Omega_{\max}} \tilde{r}_{ij} w_j - \prod_{j \in \Omega_{\min}} \tilde{r}_{ij} w_j, \quad (16)$$

$$\tilde{u}_i^{sr} = \frac{\sum_{j \in \Omega_{\max}} \tilde{r}_{ij} w_j}{\sum_{j \in \Omega_{\min}} \tilde{r}_{ij} w_j}, \quad (17)$$

$$\tilde{u}_i^{pr} = \frac{\prod_{j \in \Omega_{\max}} \tilde{r}_{ij} w_j}{\prod_{j \in \Omega_{\min}} \tilde{r}_{ij} w_j}, \quad (18)$$

gde je Ω_{\min} i Ω_{\max} skup rashodnih i skup prihodnih kriterijuma, respektivno.

U formulama (15)–(17), zbir je izračunat primenom formule (3) i proizvod primenom formule (5).

Korak 4. Rekalkulisati vrednosti četiri mera korisnosti kao što sledi:

$$\tilde{U}_i^{sd} = \frac{1 + \tilde{u}_i^{sd}}{1 + \max_i u_i^{sd}}, \quad (19)$$

$$\tilde{U}_i^{pd} = \frac{1 + \tilde{u}_i^{pd}}{1 + \max_i u_i^{pd}}, \quad (20)$$

$$\tilde{U}_i^{sr} = \frac{1 + \tilde{u}_i^{sr}}{1 + \max_i u_i^{sr}}, \quad (21)$$

$$\tilde{U}_i^{pr} = \frac{1 + \tilde{u}_i^{pr}}{1 + \max_i u_i^{pr}}, \quad (22)$$

gde \tilde{u}_i^{sd} , \tilde{u}_i^{pd} , \tilde{u}_i^{sr} , i \tilde{u}_i^{pr} označavaju rekalkulisane vrednosti \tilde{u}_i^{sd} , \tilde{u}_i^{pd} , \tilde{u}_i^{sr} , i \tilde{u}_i^{pr} , respektivno i gde su u_i^{sd} , u_i^{pd} , u_i^{sr} , i u_i^{pr} vrhunske vrednosti desnih krajnjih tačaka četiri *fuzzy* mera korisnosti, respektivno.

Korak 5. Identifikovanje ukupne *fuzzy* korisnosti \tilde{u}_i za svaku alternativu kao što sledi:

$$\tilde{u}_i = \frac{1}{4}(\tilde{u}_i^{sd} + \tilde{u}_i^{pd} + \tilde{u}_i^{sr} + \tilde{u}_i^{pr}). \quad (23)$$

Korak 6. Identifikovanje ukupne *crisp* vrednosti korisnosti v_i za svaku alternativu. U komparaciji sa običnom (*crisp*) Simple WISP metodom, *fuzzy* proširenje ove metode ima još jedan korak, u kojem se *fuzzy* brojevi transformišu u *crisp* brojeve, što se može uraditi primenom formula (9) ili (10).

Korak 7. Sortiranje alternativa i izbor najprikladnije. Alternativa sa najvišom vrednošću v_i je najpogodnija.

4.4 Numeričke ilustracije

U ovom delu, dve numeričke ilustracije su razmatrane. Prva ilustracija odnosi se na izbor mlinova za mlevenje rude bakra u flotaciji bakra. Ovaj primer se zasniva na Stanujkic et al. [52], ali je značajno izmenjen kako bi predstavio prethodno razmatranu metodologiju. Ovaj primer pokazuje upotrebu lingvističkih varijabli za evaluaciju alternativa u grupnom odlučivanju, kao i formiranje grupnih *fuzzy* rejtinga na osnovu *crisp* rejtinga (ocena) dobijenih od ispitanika. Ovaj primer takođe predstavlja upotrebu jednostavnijeg od dva razmatrana postupka za *defuzzy*-ifikaciju. Rezultati dobijeni sa predloženom ekstenzijom su takođe poređeni sa rezultatima dobijenim korišćenjem *fuzzy* TOPSIS metode.

Drugi razmatrani primer odnosi se na evaluaciju investicionih projekata pod neizvesnostima, zbog čega se neto novčani tok, odnosno prosečni godišnji profil i rizik projekta prikazuju trougaonim *fuzzy* brojevima.

4.4.1 Prva numerička ilustracija

U flotacijama bakra, jedan od sledeća tri kruga penaste flotacije se često koristi za mlevenje ruda bakra:

- Flotacijska kola zasnovana na mlinovima sa šipkama, kugličnim mlinovima i pripadajućoj opremi (*Flotation circuits based on rod mills, ball mills, and related equipment (A₁)*);
- Flotacijska kola zasnovana na kugličnim mlinovima i pripadajućoj opremi (*Flotation circuits based on ball mills and related equipment (A₂)*); i
- Flotacijska kola zasnovana na upotrebi poluautogenih mlinova i prateće opreme (*Flotation circuits based on the use of semi-autogenous mills, and related equipment (A₃)*).

Prilikom odabira najpogodnijeg dizajna flotacijskih krugova (kola), pored karakteristika rude bakra, potrebno je uzeti u obzir i sledeće kriterijume:

- Efikasnost mlevenja (*GE, grinding efficiency*);
- Ekonomsku efikasnost (*EE, economic efficiency*);
- Tehnološku pouzdanost (*TR, technological reliability*);
- Kapitalnu investiciju (*CI, capital investment*).

Da bi se utvrdila pouzdanost predloženog proširenja *fuzzy* WISP metode, izvršena je simulacija izbora najpogodnijeg dizajna flotacijskih kola za mlevenje i penastu flotaciju rude sa rudnih ležišta u južnoj i istočnoj Srbiji. U ovoj simulaciji učestvovalo je pet stručnjaka/eksperata iz ekstraktivne metalurgije i to dva sa Tehničkog fakulteta u Boru i tri sa Instituta za rudarstvo i metalurgiju u Boru. U simulaciji su koristili lingvističke varijable, prikazane u tabeli 1, za evaluaciju tri gore navedena dizajna flotacijskih kola. Rezultati dobijeni od strane pet eksperata prikazani su u tabelama 2–6.

Tabela 2. Stavovi prvog eksperta

	<i>GE</i>	<i>EE</i>	<i>TR</i>	<i>CI</i>
<i>A₁</i>	VHG	HG	HG	HG
<i>A₂</i>	HG	HG	HG	MHG
<i>A₃</i>	MHG	MHG	VHG	MHG

Tabela 3. Stavovi drugog eksperta

	<i>GE</i>	<i>EE</i>	<i>TR</i>	<i>CI</i>
<i>A₁</i>	VHG	HG	HG	MHG
<i>A₂</i>	HG	HG	HG	MHG
<i>A₃</i>	MHG	HG	VHG	MHG

Tabela 4. Stavovi trećeg eksperta

	GE	EE	TR	CI
A_1	EHG	EHG	VHG	MHG
A_2	VHG	HG	VHG	HG
A_3	VHG	VHG	EHG	VHG

Tabela 5. Stavovi četvrtog eksperta

	GE	EE	TR	CI
A_1	EHG	VHG	VHG	HG
A_2	VHG	HG	MHG	HG
A_3	HG	HG	EHG	HG

Tabela 6. Stavovi petog eksperta

	GE	EE	TR	CI
A_1	EHG	VHG	VHG	MHG
A_2	VHG	HG	HG	HG
A_3	HG	EHG	EHG	VHG

Grupna *fuzzy* matrica odlučivanja, formirana transformisanjem lingvističkih varijabli u *crisp* vrednosti primenom formula (11)–(13), je prikazana u tabeli 7, dok je normalizovana *fuzzy* matrica odlučivanja, formirana primenom formula (14), prikazana u tabeli 8.

Tabela 7. Grupna fuzzy matrica odlučivanja

	GE	EE	TR	CI
A_1	(8,0, 8,6, 9,0)	(7,0, 7,8, 9,0)	(7,0, 7,6, 8,0)	(6,0, 6,4, 7,0)
A_2	(7,0, 7,6, 8,0)	(7,0, 7,0, 7,0)	(6,0, 7,0, 8,0)	(5,0, 6,2, 7,0)
A_3	(6,0, 6,8, 8,0)	(6,0, 7,6, 9,0)	(8,0, 8,6, 9,0)	(6,0, 7,0, 8,0)

Tabela 8. Normalizovana fuzzy matrica odlučivanja

	GE	EE	TR	CI
w_j	0,27	0,22	0,22	0,28
<i>optimizacija</i>	max	max	max	min
A_1	(0,89, 0,96, 1,00)	(0,78, 0,87, 1,00)	(0,78, 0,84, 0,89)	(0,75, 0,80, 0,88)
A_2	(0,78, 0,84, 0,89)	(0,78, 0,78, 0,78)	(0,67, 0,78, 0,89)	(0,63, 0,78, 0,88)
A_3	(0,67, 0,76, 0,89)	(0,67, 0,84, 1,00)	(0,89, 0,96, 1,00)	(0,75, 0,88, 1,00)

Tabela 8 takođe prikazuje težine kriterijuma i smer optimizacije kriterijuma. Na osnovu tabele 8, koristeći formule (15)–(18), izračunate su vrednosti četiri mera korisnosti, prikazane u tabeli 9.

Tabela 9. Vrednosti četiri mera korisnosti

	\tilde{u}_i^{sd}	\tilde{u}_i^{pd}	\tilde{u}_i^{sr}	\tilde{u}_i^{pr}
A ₁	(0,34, 0,41, 0,48)	(-0,24, -0,21, -0,20)	(2,38, 2,83, 3,26)	(0,03, 0,04, 0,06)
A ₂	(0,28, 0,35, 0,43)	(-0,24, -0,21, -0,17)	(2,15, 2,63, 3,47)	(0,02, 0,03, 0,05)
A ₃	(0,24, 0,36, 0,47)	(-0,27, -0,24, -0,20)	(1,87, 2,45, 3,24)	(0,02, 0,03, 0,06)

Rekalkulisane vrednosti četiri mera korisnosti, određene pomoću formula (19)–(22), prikazane su u tabeli 10.

Tabela 10. Rekalkulisane vrednosti četiri mera korisnosti

	\tilde{v}_i^{sd}	\tilde{v}_i^{pd}	\tilde{v}_i^{pd}	\tilde{v}_i^{pr}
A ₁	(0,91, 0,96, 1,00)	(0,91, 0,94, 0,96)	(0,76, 0,86, 0,95)	(0,97, 0,99, 1,00)
A ₂	(0,87, 0,92, 0,97)	(0,91, 0,95, 1,00)	(0,71, 0,81, 1,00)	(0,97, 0,98, 0,99)
A ₃	(0,84, 0,92, 1,00)	(0,87, 0,92, 0,96)	(0,64, 0,77, 0,95)	(0,97, 0,98, 1,00)

Na osnovu tabele 10, ukupna *fuzzy* korisnost svake alternative je izračunata primenom formule (23) kao što je to prikazano u tabeli 11. *Crisp* vrednosti ukupne korisnosti razmatranih alternativa, izračunate primenom formule (9) i redosled rangiranja svake alternative je takođe prikazan u tabeli 11.

Tabela 11. Ukupna *fuzzy* korisnost, ukupna korisnost i redosled rangiranja alternativa

	\tilde{v}_i	v_i	<i>Rang</i>
A ₁	(0,888, 0,936, 0,979)	0,234	1
A ₂	(0,864, 0,913, 0,990)	0,231	2
A ₃	(0,830, 0,896, 0,977)	0,225	3

Iz tabele 11 može se videti da alternativa A₁, tj. flotacijska kola zasnovana na mlinovima sa šipkama, kugličnim mlinovima i pripadajućoj opremi, je najpogodnije rešenje za razmatrano ležište rude. Međutim, rangiranje alternativa u vezi l_i , m_i , i u_i od ukupne *fuzzy* korisnosti, prikazane u tabeli 12, pokazuju da u slučaju rangiranja zasnovanog samo na u_i , alternativa označena kao A₂ je najprihvatljivija.

Tabela 12. Redosled rangiranja zasnovan na l_i , m_i , i u_i .

	\tilde{v}_i	<i>Rang</i> l_i	<i>Rang</i> m_i	<i>Rang</i> u_i
A ₁	(0,888, 0,936, 0,979)	1	1	2
A ₂	(0,864, 0,913, 0,990)	2	2	1
A ₃	(0,830, 0,896, 0,977)	3	3	3

Međutim, upotreba formule (10) i indeksa optimizma $\lambda = 1$ nije izazvalo promenu redosleda rangiranja alternativa, jer je u tom slučaju rangiranje izvršeno na sledeći način:

$$df_{\lambda=1}(\tilde{A}) = \frac{1}{2}(m + u). \quad (24)$$

Ukupna *fuzzy* korisnost, ukupna korisnost i redosled rangiranja alternativa dobijen primenom formule (10) i indeksa optimizma $\lambda = 1$ su prikazani u tabeli 13.

Tabela 13. Ukupna korisnost i redosled rangiranja alternativa $\lambda = 1$.

	\tilde{v}_i	v_i	Rang
A_1	(0,888, 0,936, 0,979)	0,319	1
A_2	(0,864, 0,913, 0,990)	0,317	2
A_3	(0,830, 0,896, 0,977)	0,312	3

4.4.1.1 Komparacija dobijenih rezultata sa *fuzzy* TOPSIS metodom

U cilju verifikacije rezultata predložene *fuzzy* ekstenzije Simple WISP metode, primenjena je *fuzzy* TOPSIS metoda.

Težinski *fuzzy* normalizovana matrica, dobijena primenom TOPSIS metode je prikazana u tabeli 14, takođe su prikazane idealne i antiidealne tačke.

Tabela 14. Težinski normalizovana *fuzzy* matrica odlučivanja

A_1	(0,18, 0,17, 0,17)	(0,13, 0,13, 0,14)	(0,13, 0,12, 0,12)	(0,17, 0,16, 0,15)
A_2	(0,15, 0,15, 0,15)	(0,13, 0,12, 0,11)	(0,11, 0,11, 0,12)	(0,14, 0,15, 0,15)
A_3	(0,13, 0,14, 0,15)	(0,11, 0,13, 0,14)	(0,14, 0,14, 0,14)	(0,17, 0,17, 0,18)
A^+	(0,18, 0,17, 0,17)	(0,17, 0,17, 0,13)	(0,17, 0,13, 0,13)	(0,13, 0,13, 0,14)
A^-	(0,13, 0,14, 0,15)	(0,14, 0,15, 0,11)	(0,15, 0,11, 0,12)	(0,11, 0,12, 0,11)

Fuzzy \tilde{d}_i i *crisp* d_i mere razdvajanja svake alternative na idealnu i antiidealnu tačku prikazane su u tabeli 15, gde je *crisp* mera razdvajanja izračunata na osnovu *fuzzy* mera razdvajanja primenom formule (9). Tabela 15 takođe pokazuje relativnu distancu C_i svake alternative od idealnog i antiidealnog rešenja, kao i redosled rangiranja alternativa.

Tabela 15. Detalji proračuna dobijeni primenom *fuzzy* TOPSIS metode

	\tilde{d}_i^-	\tilde{d}_i^+	d_i^-	d_i^+	C_i	Rang
A_1	(0,003, 0,002, 0,002)	(0,001, 0,000, 0,000)	0,046	0,024	0,660	1
A_2	(0,002, 0,001, 0,000)	(0,002, 0,001, 0,001)	0,031	0,039	0,439	2
A_3	(0,001, 0,001, 0,001)	(0,003, 0,002, 0,001)	0,033	0,044	0,430	3

Kao što se može videti iz tabele 15, redosled rangiranja alternativa dobijen primenom *fuzzy* TOPSIS metode je identičan sa redosledom rangiranja dobijenog predloženom *fuzzy* ekstenzijom Simple WISP metode, što potvrđuje ispravnost predloženog proširenja.

4.4.2 Druga numerička ilustracija

U drugoj numeričkoj ilustraciji, pet investicionih projekata je evaluirano na osnovu sledećih investicionih kriterijuma:

- Neto sadašnja vrednost (*Net present value* (NPVA));
- Interna stopa povrata (*Internal rate of return* (IRRE));
- Indeks profitabilnosti (*Profitability index* (PID));
- Vreme povraćaja (*Payback period* (PBPD)); i
- Rizik od neuspeha projekta (*Risk of project failure* (RPF)).

Zbog upotrebe predložene *fuzzy* ekstenzije Simple WISP metode u ovoj numeričkoj ilustraciji, primenjena je procena u uslovima neizvesnosti, zbog čega je prosečni godišnji profit i rizik od neuspeha projekta prikazan trougaonim *fuzzy* brojevima. Osnovne karakteristike investicionih projekata, odnosno početno ulaganje (CF₀ (vrednosti CF₀ i CF_t su prikazane u milionima eura)). Prosečni godišnji profit (*average annual profit* (CF_t)), trajanje projekta (*project duration* (T)) i rizik od neuspeha projekta (*risk of project failure* (RPF)), relevantni za računanje NPVA, IRRE, PID, i PBPD, prikazani su u tabeli 16.

Tabela 16. Osnovne karakteristike investicionih projekata

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
CF ₀	300	350	400	450	500
CF _t	(70, 72, 73)	(69, 72, 73)	(97, 99, 101)	(65, 68, 69)	(83, 85, 90)
T	5	6	5	9	8
R	(3.5, 4.0, 4.2)	(3.5, 3.7, 4.0)	(3.7, 3.9, 4.1)	(3.7, 3.9, 4.2)	(3.3, 3.9, 4.5)

Vrednosti evaluacionih kriterijuma, utvrđeni na osnovu podataka iz tabele 16, prikazane su u tabeli 17. U istoj tabeli su prikazane težine kriterijuma koje su određene AHP metodom, kao i pravci optimizacije.

Tabela 17. Inicijalna matrica odlučivanja za evaluaciju investicionih projekata

	NPVA	IRRE	PID	PBPD	RPF
<i>w_j</i>	0,26	0,11	0,08	0,29	0,26
<i>optimizacija</i>	max	max	max	min	min
A ₁	(3,06, 11,72, 16,05)	(0,05, 0,06, 0,07)	(1,01, 1,04, 1,05)	4	(3,5, 4,0, 4,2)
A ₂	(0,22, 15,45, 20,53)	(0,05, 0,06, 0,07)	(1,00, 1,04, 1,06)	4	(3,5, 3,7, 4,0)
A ₃	(19,96, 28,62, 37,28)	(0,07, 0,08, 0,08)	(1,05, 1,07, 1,09)	6	(3,9, 4,1, 4,5)
A ₄	(12,01, 33,33, 40,44)	(0,06, 0,07, 0,07)	(1,03, 1,07, 1,09)	6	(3,7, 3,9, 4,2)
A ₅	(3,06, 11,72, 16,05)	(0,05, 0,06, 0,07)	(1,01, 1,04, 1,05)	4	(3,5, 4,0, 4,2)

Matrica odlučivanja koja se koristi za izračunavanje težina kriterijuma primenom AHP metode prikazana je u tabeli 18. Dobijene težine kriterijuma, postignute racionom konzistentnosti = 2,58%, takođe su prikazane u pomenutoj tabeli.

Tabela 18. Inicijalna matrica odlučivanja korišćena za utvrđivanje težina kriterijuma

	<i>NPVA</i>	<i>IRRE</i>	<i>PID</i>	<i>PBPD</i>	<i>RPF</i>	w_i
<i>NPVA</i>	1	2	5	1	1	0,26
<i>IRRE</i>	0,50	1	3	0,33	0,11	0,11
<i>PID</i>	0,20	0,33	1	0,50	0,50	0,08
<i>PBPD</i>	1,00	3,00	2,00	1	3,0	0,29
<i>RPF</i>	1,00	9,00	2,00	0,33	1	0,26

Normalizovana *fuzzy* matrica odlučivanja, formirana primenom formule (14), prikazana je u tabeli 19. Težine kriterijuma i smerovi optimizacije, iz tabele 17 su takođe navedeni u tabeli.

Tabela 19. Normalizovana *fuzzy* matrica odlučivanja

	<i>NPVA</i>	<i>IRRE</i>	<i>PID</i>	<i>PBPD</i>	<i>RPF</i>
w_j	0.26	0.11	0.08	0.29	0.26
	max	max	max	min	min
A_1	(0.04, 0.14, 0.20)	(0.60, 0.72, 0.78)	(0.87, 0.89, 0.91)	(0.67, 0.67, 0.67)	(0.78, 0.89, 0.93)
A_2	(0.00, 0.19, 0.25)	(0.56, 0.72, 0.77)	(0.86, 0.90, 0.91)	(0.83, 0.67, 0.67)	(0.78, 0.82, 0.89)
A_3	(0.24, 0.35, 0.46)	(0.76, 0.85, 0.93)	(0.90, 0.92, 0.94)	(0.67, 0.67, 0.50)	(0.87, 0.91, 1.00)
A_4	(0.15, 0.41, 0.50)	(0.63, 0.75, 0.78)	(0.88, 0.92, 0.94)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.82, 0.87, 0.93)
A_5	(0.45, 0.60, 1.00)	(0.76, 0.83, 1.00)	(0.92, 0.94, 1.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.73, 0.87, 1.00)

Vrednosti četiri mera korisnosti, izračunate primenom formula (15)–(18), prikazane su u tabeli 20.

Tabela 20. Vrednosti četiri mera korisnosti

	\tilde{u}_i^{sd}	\tilde{u}_i^{pd}	\tilde{u}_i^{sr}	\tilde{u}_i^{pr}
A_1	(-0,29, -0,24, -0,19)	(-0,05, -0,04, -0,04)	(0,33, 0,44, 0,53)	(0,00, 0,00, 0,01)
A_2	(-0,29, -0,21, -0,22)	(-0,05, -0,04, -0,05)	(0,31, 0,49, 0,50)	(0,00, 0,01, 0,01)
A_3	(-0,19, -0,17, -0,12)	(-0,04, -0,05, -0,04)	(0,54, 0,60, 0,70)	(0,01, 0,01, 0,02)
A_4	(-0,36, -0,26, -0,22)	(-0,07, -0,07, -0,06)	(0,33, 0,50, 0,57)	(0,00, 0,01, 0,01)
A_5	(-0,28, -0,20, -0,04)	(-0,08, -0,06, -0,05)	(0,49, 0,62, 0,92)	(0,01, 0,02, 0,04)

Rekalkulisane vrednosti četiri mera korisnosti, izračunate primenom formula (19)–(22), prikazane su u tabeli 21. Ukupna *fuzzy* korisnost alternativa, izračunata primenom formule (23), takođe je prikazana u tabeli 21.

Tabela 21. Rekalkulisane vrednosti četiri mera korisnosti

	\tilde{v}_i^{sd}	\tilde{v}_i^{pd}	\tilde{v}_i^{pd}	\tilde{v}_i^{pr}	\tilde{v}_i
A_1	(0,74, 0,79, 0,84)	(0,99, 0,99, 1,00)	(0,69, 0,75, 0,79)	(0,96, 0,97, 0,97)	(0,42, 0,87, 0,45)
A_2	(0,73, 0,82, 0,81)	(0,99, 1,00, 0,99)	(0,68, 0,77, 0,78)	(0,96, 0,97, 0,97)	(0,42, 0,89, 0,44)
A_3	(0,84, 0,86, 0,91)	(1,00, 0,99, 0,99)	(0,80, 0,83, 0,89)	(0,97, 0,97, 0,98)	(0,45, 0,91, 0,47)
A_4	(0,67, 0,77, 0,81)	(0,97, 0,97, 0,97)	(0,69, 0,78, 0,82)	(0,96, 0,97, 0,97)	(0,41, 0,87, 0,45)
A_5	(0,75, 0,83, 1,00)	(0,96, 0,97, 0,98)	(0,78, 0,84, 1,00)	(0,97, 0,98, 1,00)	(0,42, 0,87, 0,45)

Tabela 22 prikazuje slučaj analiza koje se mogu izvesti pomoću formule (10) i različitih vrednosti indeksa optimizma λ .

Tabela 22. Ukupna korisnost i redosled rangiranja sa različitim vrednostima za λ .

	$\lambda = 0$		$\lambda = 0,5$		$\lambda = 0,75$		$\lambda = 1$	
	v_i	<i>Rang</i>	v_i	<i>Rang</i>	v_i	<i>Rang</i>	v_i	<i>Rang</i>
A_1	0,860	4	0,874	4	0,881	4	0,888	3
A_2	0,866	3	0,877	3	0,882	3	0,887	4
A_3	0,909	1	0,918	1	0,923	2	0,928	2
A_4	0,848	5	0,866	5	0,875	5	0,884	5
A_5	0,885	2	0,918	2	0,935	1	0,951	1

Iz tabele 20 se vidi da promena vrednosti lambda koeficijenta utiče na redosled rangiranih alternativa, što može biti korisno u slučaju analize različitih scenarija.

Poznato je da rang alternativa u VKO pokazuje svoju prihvatljivost, što znači da je prvorangirana alternativa ujedno i najprihvatljivija alternativa. Koristeći predloženi pristup, donosioci odluka mogu, koristeći različite vrednosti lambda koeficijenta, razmotriti različite scenarije i u zavisnosti od svojih preferencija odabrati najprikladniju alternativu.

4.5 Zaključak

U ovom poglavlju je predstavljeno proširenje Simple WISP metode zasnovane na upotrebi trougaonih *fuzzy* brojeva. Upotreba ove metode za rešavanje dva primera nije ukazala na bilo kakve slabosti navedene metode. Štaviše, pokazalo se da se predloženo proširenje može uspešno koristiti za rešavanje problema donošenja odluka u prisustvu neizvesnosti.

Takođe, prikazana je i upotreba lingvističkih varijabli za prikupljanje stavova ispitanika, kao i njihova transformacija u odgovarajuće trougaone *fuzzy* brojeve. Osim toga, u ovom poglavlju su razmatrana dva postupka normalizacije. Prvi postupak *defuzzy*-fikacije bio je jednostavan za primenu, dok je drugi postupak koristio prednosti koju donosi upotreba asimetričnih *fuzzy* brojeva u smislu analize. Upotrebljivost predloženog proširenja predstavljena je kroz dva primera tj. numeričke ilustracije.

Kao smer za buduća istraživanja, novo proširenje Simple WISP metode može se razviti na osnovu primene trougaonih *intuitionistic fuzzy* brojeva [53].

4.6 Literatura

- [1] Chattopadhyay, R., Das, P. P., & Chakraborty, S. (2022). Development of a rough-MABAC-DoE-based metamodel for supplier selection in an iron and steel industry. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 5(1), 20–40.
- [2] Aytekin, A. (2021). Comparative analysis of the normalization techniques in the context of MCDM problems. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 4(2), 1–25.
- [3] Popović, M. (2021). An MCDM approach for personnel selection using the CoCoSo method. *Journal of process management and new technologies*, 9(3-4), 78–88.
- [4] Karamaşa, Ç. (2021). Ranking service quality using multi-criteria decision-making methods: Example of erzurum province. *Journal of process management and new technologies*, 9(3-4), 1–12.
- [5] Özdağoğlu, A., Keleş, M. K., Altınata, A., & Ulutaş, A. (2021). Combining different MCDM methods with the Copeland method: An investigation on motorcycle selection. *Journal of process management and new technologies*, 9(3-4), 13-27.
- [6] MacCrimmon, K. R. (1968). *Decisionmaking among multiple-attribute alternatives: a survey and consolidated approach*. Rand Corp Santa Monica Ca.
- [7] Zeleny, M. (1973). Compromise programming. In *Multiple Criteria Decision Making: Cochrane, J.L., Zeleny, M., Eds.* Columbia, University of South Carolina Press, SC, USA, 262–301.
- [8] Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, 2(8), 57–75.
- [9] Saaty, T.L. (1978). Modeling unstructured decision problems—The theory of analytical hierarchies. *Mathematics and computers in simulation*, 20(3), 147–158.
- [10] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [11] Brans, J.P. (1982). L'ingénierie de la décision. Elaboration d'instruments d'aide à la décision. Méthode PROMETHEE. In *L'aide a la Décision: Nature, Instruments et Perspectives d'avenir*; Nadeau, R., Landry, M., Eds.; Presses de l'Université Laval: Québec, QC, Canada, 183–214.
- [12] Bana e Costa, C.A., & Vansnick, J.C. (1994). MACBETH—An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International transactions in operational Research*, 1(4), 489–500.

- [13] Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies. *Technological and economic development of economy*, 16(1), 5–24.
- [14] Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and economic development of economy*, 16(2), 159–172.
- [15] Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435–451.
- [16] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., & Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6), 3–6.
- [17] Stanujkic, D., & Zavadskas, E. K. (2015). A modified weighted sum method based on the decision-maker's preferred levels of performances. *Studies in Informatics and Control*, 24(4), 461–470.
- [18] Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Turskis, Z., & Keršulienė, V. (2017). New group decision-making ARCAS approach based on the integration of the SWARA and the ARAS methods adapted for negotiations. *Journal of Business Economics and Management*, 18(4), 599–618.
- [19] Yazdani, M., Zarate, P., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2018). A Combined Compromise Solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57, 2501–2519.
- [20] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information Control*, 8, 338–353.
- [21] Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management science*, 17(4), B-141.
- [22] Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 114(1), 1–9.
- [23] Buckley, J. J., Feuring, T., & Hayashi, Y. (2001). Fuzzy hierarchical analysis revisited. *European Journal of Operational Research*, 129(1), 48–64.
- [24] Gupta, R., Sachdeva, A., & Bhardwaj, A. (2012). Selection of logistic service provider using fuzzy PROMETHEE for a cement industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23, 899–921.

- [25] Turksis, Z., & Zavadskas, E. K. (2010). A new fuzzy additive ratio assessment method (ARAS-F). Case study: The analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location. *Transport*, 25(4), 423–432.
- [26] Smarandache, F. (1998). *Neutrosophy Probability Set and Logic*. Rehoboth, American Research Press, USA.
- [27] Smarandache, F. (1999). *A Unifying Field in Logics. Neutrosophy: Neutrosophic Probability, Set and Logic*. Rehoboth, American Research Press, USA.
- [28] Atanassov, K., & Gargov, G. (1989). Interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 31, 343–349.
- [29] Turksen, I. B. (1986). Interval valued fuzzy sets based on normal forms. *Fuzzy sets and systems*, 20(2), 191–210.
- [30] Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96.
- [31] Stanujkic, D., Popovic, G., Karabasevic, D., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Ulutaş, A. (2021). An integrated simple weighted sum product method—WISP. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–12.
- [32] Zavadskas, E. K., Stanujkic, D., Turksis, Z., & Karabasevic, D. (2022). An Intuitionistic Extension of the Simple WISP Method. *Entropy*, 24(2), 218.
- [33] Stanujkic, D., Karabasevic, D., Popovic, G., Smarandache, F., Stanimirović, P. S., Saračević, M., & Katsikis, V. N. (2022). A Single Valued Neutrosophic Extension of the Simple WISP Method. *Informatica*, 1–17. <https://doi.org/10.15388/22-INFOR483>
- [34] Cheng, C. B. (2004). Group opinion aggregation based on a grading process: A method for constructing triangular fuzzy numbers. *Computers & Mathematics with Applications*, 48(10-11), 1619-1632.
- [35] Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). Fuzzy multiple attribute decision making methods. In *Fuzzy multiple attribute decision making* (pp. 289-486). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [36] Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2003). Defuzzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 11(05), 635–652.
- [37] Liou, T. S., & Wang, M. J. J. (1992). Ranking fuzzy numbers with integral value. *Fuzzy sets and systems*, 50(3), 247–255.
- [38] Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information sciences*, 8(3), 199–249.

- [39] Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—II. *Information sciences*, 8(4), 301–357.
- [40] Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. *Information sciences*, 9(1), 43–80.
- [41] Chu, T. C., & Lin, Y. C. (2003). A fuzzy TOPSIS method for robot selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21(4), 284–290.
- [42] Sun, C. C., & Lin, G. T. (2009). Using fuzzy TOPSIS method for evaluating the competitive advantages of shopping websites. *Expert Systems with Applications*, 36(9), 11764-11771.
- [43] Sun, C. C. (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert systems with applications*, 37(12), 7745-7754.
- [44] Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., & Tarokh, M. J. (2011). A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting. *Expert systems with applications*, 38(10), 12160-12167.
- [45] Karagoz, S., Deveci, M., Simic, V., Aydin, N., & Bolukbas, U. (2020). A novel intuitionistic fuzzy MCDM-based CODAS approach for locating an authorized dismantling center: a case study of Istanbul. *Waste Management & Research*, 38(6), 660–672.
- [46] Gul, M., Ak, M. F., & Guneri, A. F. (2019). Pythagorean fuzzy VIKOR-based approach for safety risk assessment in mine industry. *Journal of Safety Research*, 69, 135-153.
- [47] Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243–258.
- [48] Saaty, L.T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York, NY, McGraw Hill Company, USA.
- [49] Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Smarandache, F., & Turskis, Z. (2017). The use of the pivot pairwise relative criteria importance assessment method for determining the weights of criteria. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 20, 116–133.
- [50] Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57.
- [51] Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in mcdm models: Full consistency method (fucom). *Symmetry*, 10(9), 393.

- [52] Stanujkic, D., Magdalinovic, N., Milanovic, D., Magdalinovic, S., & Popovic, G. (2014). An efficient and simple multiple criteria model for a grinding circuit selection based on MOORA method. *Informatica*, 25(1), 73–93.
- [53] Li, D.F. (2010). A ratio ranking method of triangular intuitionistic fuzzy numbers and its application to MADM problems. *Computers & Mathematics with Applications*, 60, 1557–1570.

5 SINGLE VALUED NEUTROSOPHIC EKSTENZIJA SIMPLE WISP METODE

Napomena: Ovo poglavlje predstavlja publikovani rad “Stanujkic, D., Karabasevic, D., Popovic, G., Smarandache, F., Stanimirović, P. S., Saračević, M., & Katsikis, V. N. (2022). A Single Valued Neutrosophic Extension of the Simple WISP Method. *Informatica*, 1-17. doi:10.15388/22-INFOR483. M21a” i zasniva se u celosti ili parcijalno na istom. Prikaz rada u odnosu na poglavlje je delimično izmenjeno kako bi se istom prilagodilo. Takođe, kako se ne bi određeni delovi teksta u nekim segmentima ponavljali, isti su izostavljeni, shodno tome, izostavljene su i reference koje prate izostavljene delove teksta.

5.1 Uvod

Neutrosophic ekstenzija Simple WISP metode je predstavljena u ovom poglavlju, koja je prilagođena za *single-valued neutrosophic* brojeve. Ekstenzija se predlaže kako bi se iskoristila prednost koju primena *neutrosophic* skupova pruža u smislu rešavanja složenih problema donošenja odluka, kao i problema donošenja odluka povezanih sa procenama, nesigurnošću predviđanja, nepreciznostima itd. Osim toga, predložen je i prilagođeni upitnik kao i odgovarajuće lingvističke varijable kako bi se omogućilo jednostavnije i preciznije prikupljanje stavova ispitanika primenom *single-valued neutrosophic* brojeva. Takođe se predlaže i pristup za *deneutrosophy*-kaciju, odnosno transformaciju *single-valued neutrosophic* broja u *crisp* broj. Detaljna primena i karakteristike prikazanog poboljšanja prikazane su na primeru evaluacije seoskih turističkih tura.

Najpre, treba navesti da je *fuzzy* skupove, uveo Zadeh [1] i isti su imali ogroman uticaj na primenu VKO metoda. Teorija *fuzzy* skupova omogućava upotrebu funkcije članstva $\mu_A(x)$, čija se vrednost nalazi u intervalu $[0, 1]$, tj. $\mu_A(x) \in [0, 1]$.

Kako bi se rešili problemi donošenja odluka povezani s neizvesnostima i predviđanjima, mnoge VKO metode su proširene kako bi se omogućilo korištenje *fuzzy* brojeva. Međutim, upotreba samo jedne funkcije članstva nije omogućila rešavanje nekih tipova složenih problema odlučivanja, zbog čega su predložena određena proširenja teorije *fuzzy* skupova, kao što su na primer *interval-valued fuzzy* skupovi [2], *intuitionistic fuzzy* skupovi [3] itd.

U *intuitionistic fuzzy* teoriji skupova, Attanasov [3] uvodi funkciju nepripadnosti skupu $\nu_A(x)$, $\nu_A(x) \in [0, 1]$, sa sledećim ograničenjima $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$. Kao logičan sled funkcije

članstva u *fuzzy* skupovima, funkcija nepripadnosti skupu podrazumeva nečlanstvo skupu, čime je pokrenut temelj za rešavanje šire klase problema donošenja odluka. Upotreba dve funkcije, članstva i nečlanstva, odnosno nepripadnosti skupu, omogućilo je rešavanje složenijih problema odlučivanja, što je uslovalo i razvoj odgovarajućih ekstenzija nekih VKO metoda.

Smarandache [4] dalje proširuje teoriju *fuzzy* i *intuitionistic* teoriju *fuzzy* skupova tako što uvodi funkciju neodređenosti-članstva (indeterminacy-membership). Shodno tome, u teoriji *neutrosophic* skupova [4-5], svaki element skupa je definisan sa tri nezavisne funkcije članstva: tačnosti (truth-membership) $T_A(x)$, neodređenosti (indeterminacy-membership) $I_A(x)$ i netačnosti (falsity-membership) $F_A(x)$, pri čemu vrednosti navedenih funkcija nisu ograničene na interval $[0,1]$, a takođe nema ograničenja u pogledu njihovog zbira $0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3^+$, kao što je to slučaj u *intuitionistic fuzzy* skupovima. Poređenjem *fuzzy* i *intuitionistic fuzzy* skupova, *neutrosophic* skupovi su mnogo fleksibilniji i primenljiviji za formiranje matematičkih modela namenjenih za rešavanje problema koje prate neizvesnosti, nejasnoće, dvosmislenosti, nepreciznosti, nekompletnosti, nedoslednosti itd. [5-6].

U cilju facilitacije primene *neutrosophic* skupova za rešavanje naučnih i inženjerskih problema, Wang *et al.* [7] predlaže *Single-Valued Neutrosophic* (SVN) skupove, uvođenjem znatno strožijih ograničenja na skup vrednosti koje funkcije članstva mogu imati $T_A(x), I_A(x), F_A(x): X \rightarrow [0,1]$, kao i zbira njihovih vrednosti $0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3$.

Do sada su sprovedene brojne studije za primenu SVN skupova za rešavanje problema odlučivanja [8-11] i kao rezultat toga, primenjeni su za rešavanje različitih problema u brojnim oblastima odlučivanja kao što su ekonomija [12], medicina [13-14], evaluacija kvaliteta vazduha [15-16], itd. Odgovarajuće ekstenzije koje omogućavaju upotrebu SVN skupova su takođe predložene za određeni broj VKO metoda, kao što su TOPSIS metoda [17], PROMETHEE [18], AHP [19], WASPAS [20], MULTIMOORA [21], CoCoSo [22], itd.

Stanujkić *et al.* [23] predlaže novu VKO metodu pod Integrisana *Simple Weighted Sum Product* (WISP) metoda. Imajući u vidu da ne postoji ekstenzija za navedenu metodu koja omogućava upotrebu SVN skupova, upravo se odgovarajuća ekstenzija predlaže u ovom istraživanju.

5.2 Uvodne opservacije

Neki fundamentalni elementi o *neutrosophic* skupovima, važni za razvoj predložene ekstenzije, predstavljeni su u ovom delu. Pored toga, u ovom segmentu se razmatraju i neki drugi sadržaji koji su takođe važni za razvoj predložene ekstenzije.

5.2.1 Osnove *single-valued neutrosophic* skupova

Definicija 1. Neka X bude univerzalni skup. *Neutrosophic* skup A u univerzalnom skupu X je objekat koj se može prikazati na sledeći način [5]:

$$A = \{ x < T_A(x), I_A(x), F_A(x) > \mid x \in X \}, \quad (1)$$

gde: $T_A(x)$ označava funkciju članstva tačnosti, $I_A(x)$ označava funkciju članstva neodređenosti, i $F_A(x)$ označava funkciju članstva netačnosti, $T_A(x), I_A(x), F_A(x) : X \rightarrow]^{-0}, 1^+ [$, i $^{-0} \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3^+$.

Definicija 2. Ukoliko je X univerzalni skup, onda je SVN skup A u X objektu sledeće forme [7, 24]:

$$A = \{ x < T_A(x), I_A(x), F_A(x) > \mid x \in X \}, \quad (2)$$

gde: $T_A(x), I_A(x), F_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$, i $0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3$.

Definicija 3. Za SVN skup A u X , triplet $< t_A, i_A, f_A >$ se naziva SVN broj [5].

Definicija 4. Neka su $x_1 = < t_1, i_1, f_1 >$ i $x_2 = < t_2, i_2, f_2 >$ dva SVN broja i $\alpha > 0$. Osnovne operacije nad SVN brojevima su sledeće:

$$x_1 + x_2 = < t_1 + t_2 - t_1 t_2, i_1 i_2, f_1 f_2 >, \quad (3)$$

$$x_1 \cdot x_2 = < t_1 t_2, i_1 + i_2 - i_1 i_2, f_1 + f_2 - f_1 f_2 >, \quad (4)$$

$$\alpha \cdot x_1 = < 1 - (1 - t_1)^\alpha, i_1^\alpha, f_1^\alpha >, \quad (5)$$

$$x_1^\alpha = < t_1^\alpha, i_1^\alpha, 1 - (1 - f_1)^\alpha >. \quad (6)$$

Definicija 5. Neka je $x = < t, i, f >$ SVN broj. Vrednosna funkcija $s_{(x)}$ od x je definisana [25]:

$$s_{(x)} = \frac{t + (1-i) + (1-f)}{3} = \frac{2 + t - i - f}{3}, \quad (7)$$

gde je $s_{(x)} \in [0, 1]$.

Definicija 6. Neka je $x = \langle t, i, f \rangle$ SVN broj. Pouzdanost informacija $r_{(x)}$ uključenih u x je definisao Stanujkić et al [26]:

$$r_{(x)} = \begin{cases} \frac{|t-f|}{t+i+f} & t+i+f \neq 0 \\ 0 & t+i+f = 0 \end{cases} \quad (8)$$

gde je $r_{(x)} \in [0,1]$.

Definicija 7. Neka je $A_{ij} = \langle t_{ij}, i_{ij}, f_{ij} \rangle$ niz SVN brojeva, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$. U tom slučaju, prosečna pouzdanost informacija $\bar{r}(A_{ij})$ sadržanih u kolekciji SVN brojeva može se izračunati kao:

$$\bar{r}(A_{ij}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{(x)}, \quad (9)$$

gde $r_{(x)}$ označava pouzdanost informacija sadržanih u SVN broju x .

Definicija 8. Neka je $A_j = \langle t_j, i_j, f_j \rangle$ klaster SVNS skupa. SVN Weighted Average (WA_{svn}) funkcija od A_j je definisana od strane Sahin [27]:

$$WA_{svn}(A_j) = \sum_{j=1}^n A_j w_j = \langle 1 - \prod_{j=1}^n (1 - t_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n i_j^{w_j}, \prod_{j=1}^n f_j^{w_j} \rangle. \quad (10)$$

gde w_j označava težinu elementa j od kolekcije A_j , $w_j \in [0, 1]$, i $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

Definicija 9. Neka je $A_j = \langle t_j, i_j, f_j \rangle$ skup SVNS. SVN Weighted Geometric (WG_{svn}) operator od A_j je definisan od strane Sahin [27]:

$$WG_{svn}(A_j) = \prod_{j=1}^n A_j^{w_j} = \langle \prod_{j=1}^n t_j^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - i_j)^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - f_j)^{w_j} \rangle. \quad (11)$$

gde w_j podrazumeva težinu koja odgovara elementu j od kolekcije A_j , $w_j \in [0, 1]$, i $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

5.2.2 Posebno dizajniran upitnik za upotrebu SVN brojeva

Upotreba SVN brojeva za prikupljanje stavova ispitanika takođe zahteva specijalno dizajniran upitnik. Već je istaknuto da SVN brojevi koriste tri funkcije članstva, koje omogućavaju kompleksnu evaluaciju kriterijuma. Umesto običnih upitnika zasnovanih na pitanjima pripremljenim za prikupljanje ocena alternativa u vezi sa izabranim kriterijumima, predloženi upitnik koristi afirmativne rečenice čiju istinitost treba oceniti pomoću tri funkcije članstva.

Na primer, prvi kriterijum, korišćen u numeričkoj ilustraciji, *Atraktivnost destinacije*, integriše prirodne atrakcije turističke destinacije, kao što su prirodne lepote, planinski lanci, jezera, reke, pejzaže, zaštitu životne sredine, raznolikost flore i faune i dr. Koristeći tri funkcije pripadnosti predviđene *neutrosophic* brojevima, ispitanik može izraziti nivo svog slaganja sa potvrdnom rečenicom, nivo svog neslaganja i nivo svoje nesigurnosti u pogledu tvrdnji uključenih u potvrdnu rečenicu. Treba napomenuti da evaluacija zasnovana na korišćenju SVN brojeva ne zahteva obaveznu upotrebu sve tri funkcije članstva za evaluaciju. U zavisnosti od stavova, ispitanici mogu koristiti tri, dve ili čak jednu funkciju članstva. U slučajevima kada se jedna ili dve funkcije članstva ne koriste u evaluaciji, vrednosti nekorišćenih funkcija članstva se automatski postavljaju na vrednost 0.

Finalno, primenom formule (9), može se oceniti prosečna pouzdanost informacija dobijenih od ispitanika i na osnovu toga može se doneti odluka o korisnosti upitnika, odnosno njegovoj upotrebi za evaluaciju ili odbacivanju kao beskorisnim.

5.2.3 Lingvističke varijable

Lingvističke varijable se često koriste u raznim ekstenzijama VKO metoda zasnovani na *grey*, *fuzzy*, *intuitionistic fuzzy*, i *neutrosophic* brojevima u cilju facilitacije i omogućavanja donosiocima odluka, tj. ispitanicima da što tačnije evaluiraju alternative.

Za potrebe ovog istraživanja, predložena je sledeća devetostepena skala koja je prikazana u tabeli 1.

Tabela 1. Lingvističke varijable za izražavanje nivoa pouzdanosti

Lingvističke varijable	Abrevijacija	<i>Crisp</i> numerička vrednost	Dozvoljeni raspon vrednosti
Ekstremno visoka (Extremely high)	EH	9	[8, 10]
Veoma visoka (Very high)	VH	8	[7, 9]
Visoka (High)	H	7	[6, 8]
Umereno visoka (Moderate high)	MH	6	[5, 7]
Umerena (Moderate)	M	5	[4, 6]
Umereno niska (Moderate low)	ML	4	[3, 5]
Niska (Low)	L	3	[2, 4]
Veoma niska (Very low)	VL	2	[1, 3]
Ekstremno niska (Extremely low)	EL	1	[0, 2]

Pored upotrebe lingvističkih varijabli, odnosno njihovih abrevijacija, ispitanici mogu izraziti svoje stavove koristeći preporučene jasne numeričke vrednosti. Međutim, ako to žele ili je potrebno, ispitanici mogu preciznije izraziti svoje stavove pomoću brojeva iz intervala [0, 10]

5.2.4 Deneutrosophy-kacija

Slično procesu *defuzzy*-fikacije kod *fuzzy* skupova, u *neutrosophy*-ji, *deneutrosophy*-kacija je proces transformiranja informacija sadržanih u *neutrosophic* brojevima u *crisp* vrednosti.

Transformacija *neutrosophic* informacija u *crisp* vrednosti može se lako izvršiti primenom formule (7). Međutim, mnogo bolji rezultati, prvenstveno u smislu analize različitih scenarija, mogu se postići primenom sledeće formule:

$$df_{(x)} = \frac{2+\alpha t-\beta i-\gamma f}{3} \quad (12)$$

gde je: $x = \langle t, i, f \rangle$ SVNN broj, α, β, γ su koeficijenti, $\alpha, \beta, \gamma \in [0, 1]$.

U slučaju kada tri koeficijenta teže ka vrednosti 1, $\alpha, \beta, \gamma \cong 1$, formula (12) daje slične vrednosti kao formula (7). Nasuprot tome, kada sve tri vrednosti koeficijenata teže nuli, $\alpha, \beta, \gamma \cong 0$, sve informacije sadržane u *neutrosophic* brojevima su beznačajne.

5.3 Single-valued neutrosophic ekstenzija WISP metode

Simple WISP metodu predlaže Stanujkić et al. [25]. Na osnovu ove metode, postupak za rangiranje alternativa zasnovan na primeni SVN brojeva može se predstaviti sledećim koracima:

Korak 1. Formiranje inicijalne *single-valued neutrosophic* matrice odlučivanja i određivanje težina evaluacionih kriterijuma. U ovom koraku, inicijalna *single-valued neutrosophic* matrica odlučivanja se formira primenom lingvističkih varijabli kao što je objašnjeno u sekciji 5.2.3. Težine evaluacionih kriterijuma se mogu odrediti primenom AHP metode [29], SWARA metode [30], Best-Worst metode [31] ili PIPRECIA metode [32].

Korak 2. Generisanje normalizovane *neutrosophic* matrice odlučivanja:

$$r_{ij} = \langle t_{ij}, i_{ij}, f_{ij} \rangle = \langle \frac{xt_{ij}}{10}, \frac{x i_{ij}}{10}, \frac{x f_{ij}}{10} \rangle, \quad (13)$$

gde: xt_{ij} , $x i_{ij}$ i $x f_{ij}$ označavaju nivo pripadnosti alternative i u odnosu na kriterijum j izraženo primenom tri funkcije članstva, respektivno.

Denominatori korišćeni u formuli (13) su izabrani u skladu sa devetostepenom lingvističkom skalom predloženom u tabeli 1.

Korak 3. Računanje sume i proizvoda težinski normalizovane *neutrosophic* performanse za svaku alternativu, za prihodne i rashodne kriterijume primenom formula (10) i (11), kao što sledi:

$$S_i^{max} = \langle 1 - \prod_{j \in \Phi_{max}} (1 - t_j)^{w_j}, \prod_{j \in \Phi_{max}} i_j^{w_j}, \prod_{j \in \Phi_{max}} f_j^{w_j} \rangle, (14)$$

$$S_i^{min} = \langle 1 - \prod_{j \in \Phi_{min}} (1 - t_j)^{w_j}, \prod_{j \in \Phi_{min}} i_j^{w_j}, \prod_{j \in \Phi_{min}} f_j^{w_j} \rangle, (15)$$

$$P_i^{max} = \langle \prod_{j \in \Phi_{max}} t_j^{w_j}, 1 - \prod_{j \in \Phi_{max}} (1 - i_j)^{w_j}, 1 - \prod_{j \in \Phi_{max}} (1 - f_j)^{w_j} \rangle, (16)$$

$$P_i^{min} = \langle \prod_{j \in \Phi_{min}} t_j^{w_j}, 1 - \prod_{j \in \Phi_{min}} (1 - i_j)^{w_j}, 1 - \prod_{j \in \Phi_{min}} (1 - f_j)^{w_j} \rangle, (17)$$

gde: $S_i^{max} = \langle t_i, i_i, f_i \rangle$ i $S_i^{min} = \langle t_i, i_i, f_i \rangle$ označavaju sumu težinski normalizovane *neutrosophic* performanse od alternative i , ostvarene na osnovu prihodnih i rashodnih kriterijuma, respektivno. Gde $P_i^{max} = \langle t_i, i_i, f_i \rangle$ i $P_i^{min} = \langle t_i, i_i, f_i \rangle$ označavaju proizvod težinski normalizovane *neutrosophic* performanse alternative i , ostvarene na osnovu prihodnih i rashodnih kriterijuma, respektivno. Gde Φ_{max} i Φ_{min} označavaju skupove prihodnih i rashodnih kriterijuma, respektivno.

Korak 4. Računanje vrednosti četiri mera korisnosti u_i^{sd} , u_i^{pd} , u_i^{sr} , i u_i^{pr} . Operacije oduzimanja i deljenja potrebne za određivanje četiri mera korisnosti koje se koriste u WISP metodi nisu primarno definisane za SVN brojeve. Stoga, vrednosti S_i^{max} , S_i^{min} , P_i^{max} , i P_i^{min} , treba transformisati u *crisp* vrednosti pre računanja četiri mera korisnosti.

Deneutrosophy-kacija se može izvršiti primenom formula (7) ili (12), nakon čega se vrednosti četiri mera korisnosti mogu izračunati na sledeći način:

$$u_i^{sd} = S_i^{max} - S_i^{min}, (18)$$

$$u_i^{pd} = P_i^{max} - P_i^{min}, (19)$$

$$u_i^{sr} = \frac{S_i^{max}}{S_i^{min}}, i (20)$$

$$u_i^{pr} = \frac{P_i^{max}}{P_i^{min}}. (21)$$

Korak 5. Rekalkulisati vrednosti četiri mera korisnosti, kao što sledi:

$$\vartheta_i^{sd} = \frac{1 + u_i^{sd}}{1 + \max_i u_i^{sd}}, (22)$$

$$\vartheta_i^{pd} = \frac{1+u_i^{pd}}{1+\max_i u_i^{pd}}, \quad (23)$$

$$\vartheta_i^{sr} = \frac{1+u_i^{sr}}{1+\max_i u_i^{sr}}, \quad (24)$$

$$\vartheta_i^{pr} = \frac{1+u_i^{pr}}{1+\max_i u_i^{pr}}, \quad (25)$$

gde: ϑ_i^{sd} , ϑ_i^{pd} , ϑ_i^{sr} , i ϑ_i^{pr} označavaju rekalkulisane vrednosti od u_i^{sd} , u_i^{pd} , u_i^{sr} i u_i^{pr} , respektivno, i gde $\max_i u_i^{sd}$, $\max_i u_i^{pd}$, $\max_i u_i^{sr}$ i $\max_i u_i^{pr}$ označavaju maksimalne vrednosti krajnjih desnih tačaka četiri mera korisnosti, respektivno.

Korak 6. Evaluacija ukupne korisnosti ϑ_i za svaku alternativu primenom pravila

$$\vartheta_i = \frac{1}{4}(\vartheta_i^{sd} + \vartheta_i^{pd} + \vartheta_i^{sr} + \vartheta_i^{pr}). \quad (26)$$

Korak 7. Rangiranje dostupnih alternativa i izbor najprikladnije. U slučajevima evaluacije alternativa primenom Simple WISP metode, alternativa sa najvećom ukupnom korisnošću je najprihvatljivija.

Primenom predloženog pristupa, donosioci odluka mogu iskoristiti prednosti koje su prethodno diskutovane a koje pružaju SVN skupovi kada je prikupljanje stavova ispitanika u pitanju. Takođe, primenom formule (12) donosioci odluka mogu varirati uticaj funkcije članstva tačnosti, neodređenosti i netačnosti pritom razmatrajući različite scenarije, od vrlo pesimističnih do vrlo optimističnih. Mogućnost razmatranja različitih scenarija kandiduje predloženi pristup za korišćenje u procesu evaluacije i selekcije projekata gde je važno i neophodno sagledati svaku okolnost koja može nastati.

5.4 Ilustrativni primer

U cilju demonstracije primenljivosti prikazanog proširenja WISP metode, razmatran je jedan primer izbora turističke destinacije za prirodni i ruralni turizam.

Nakon razmatranja alternativa iz Srbije, Crne Gore, Albanije, Bugarske i Rumunije, demonstracija je izvedena na primeru izbora turističke ture prirodnog i ruralnog turizma u Rumuniji. Jedan od glavnih razloga za izbor Rumunije bilo je mnoštvo dostupnih i korisnih informacija o turističkim turama, uključujući i veliki broj fotografija koje očaravaju prirodne lepote regije Transilvanije koja se nalazi u središnjoj Rumuniji.

Da bi se potvrdila primjenljivost predložene ekstenzije WISP metode, u ovom delu se razmatra primer evaluacije turističke destinacije, odnosno evaluacije ruralnih turističkih tura. Evaluacija nekoliko u nastavku navedenih alternativa izvršena je prema sledećim kriterijumima:

- C_1 , Atraktivnost destinacije (*Destination attractiveness*),
- C_2 , Dodatni sadržaji (*Additional facilities*),
- C_3 , Smeštaj i udobnost (*Accommodation and comfort*),
- C_4 , Prevoz i dostupnost (*Transportation and accessibility*), i
- C_5 , Cena (*Price*).

Kriterijumi za evaluaciju su odabrani na osnovu kriterijuma koje su predložili Ryglova et al. [33]. U svom istraživanju, Ryglova et al. [33] razmatrali su primenu, odnosno značaj, 19 kriterijuma za određivanje kvaliteta turističkih destinacija ruralnog turizma. Međutim, korišćenje većeg broja evaluacionih kriterijuma, bez njihove hijerarhijske organizacije, može biti nepraktično za VKO evaluaciju. Osim toga, korišćenje tri funkcije članstva omogućava korišćenje manjeg broja složenih kriterijuma, zbog čega su značajniji kriterijumi razmatrani od strane Ryglova et al. [33] sumirani na prethodno navedenih pet kriterijuma.

Značenje navedenih kriterijuma može se opisati na sledeći način: kriterijum “*Atraktivnosti destinacije*” podrazumeva prisustvo prirodnih atrakcija, planinskih lanaca, jezera, reka, krajolika, lepote netaknute prirode, raznolikost flore i faune i sl. Kriterijum “*Dodatni sadržaji*” podrazumeva sadržaje kao što su planinarenje, penjanje, poseta objektima kao što su dvorci, tvrđave, kulturne i društvene atrakcije i sl. Kriterijum “*Smeštaj i udobnost*” podrazumeva vrstu smeštaja i dodatne pogodnosti poput interneta, Wi-Fi, televizije itd. Kriterijum “*Prevoz i dostupnost*” obuhvata način dolaska na polazne tačke turističke ture od mesta stanovanja ispitanika. Finalno, budući da razmatrane ture imaju različito trajanje, kriterijum “Cena” se smatra složenim kriterijumom koji uključuje cenu na dnevnom nivou i ukupnu cenu turističke ture.

U ovom istraživanju za evaluaciju su odabrane sledeće ruralne turističke ture:

- Tura obilaska divljeg sveta (divljih životinja) Rumunije (*Wildlife Tour in Romania*),
- Porodična tura u Rumuniji (*Family Tour of Romania*),
- Tura “Maramureš i Bukovina” (*Maramures and Bucovina Tour*), i
- Četvorodnevni trekning Karpatima: Bučegi planine, Nacionalni park “Piatra Craiului” (*4-Day Carpathian Trek: Bucegi Mountains and Piatra Craiului National Park*),

- Život na selu u Transilvanijskim Karpatskim planinama (*Village life in Transylvanian Carpathian Mountains*), i
- Tura u trajanju od 14 dana na delti Dunava, Brašov i Apušeni (*14 days full Donau Delta, Braşov and Apuseni tour*).

Informacije o gore navedenim seoskim ruralnim turama dostupne su na sledećim web stranicama:

- <https://true-romania.tours/rural-tourism/> (True-Romania) [34] i,
- <https://www.viator.com/Romania-tours/Nature-and-Wildlife/> (Romania-tours) [35].

Evaluacija alternativa, odnosno provera upotrebljivosti i efikasnosti predloženog postupka, urađena je na malom broju ispitanika. Tačnije, ispitivanje je izvršeno na uzorku od petnaestak ispitanika. Iz prikupljenih upitnika izabrana je jedna karakteristika koja detaljno prikazuje korake predloženog postupka računskog postupka.

Kompletiran upitnik sa stavovima odabranih ispitanika, popunjen kombinovanom upotrebom lingvističkih varijabli i brojeva, prikazan je u tabeli 2. Nakon transformacije lingvističkih varijabli u numeričke vrednosti, kao i popunjavanja vrednosti neiskorišćenih funkcija članstva, transformisani upitnik je prikazan u tabeli 3.

Tabela 2. Upitnik jednog izabranog ispitanika

	C ₁			C ₂			C ₃			C ₄			C ₅		
	t	i	f	t	i	f	t	i	f	t	i	f	t	i	f
A ₁	6,5	EL	1,5	M		EL	5,5			M		1,5	M		2,5
A ₂	V			V		EL	M			M			VL	0,5	6,5
A ₃	M		EL	EH	EL	VL	M	EL	VL	M			L		M
A ₄	M		0,7	V	EL	EL	L	M	M	M			L		M
A ₅	EH			V		EL	M	VL	EL	V			M	0,5	M
A ₆	EH			H			H	VL	VL	V			M		V
										H			L		H

Tabela 3. Transformisani upitnik sa stavovima izabranog ispitanika

	C_1			C_2			C_3			C_4			C_5		
	t	i	f	t	i	f	t	i	f	t	i	f	t	i	f
A_1	6,5	1	1,5	5	0	1	5,5	0	0	4	0	1,5	5	0	2,5
A_2	8	0	0	8	0	1	6	0	0	5	0	0	2	0,5	6,5
A_3	6	0	1	9	1	2	4	1	2	4	0	0	3	0	6
A_4	6	0	0,7	8	1	1	3	4	4	4	0	0	3	0	5
A_5	9	0	0	8	0	1	5	2	1	8	0	0	4	0,5	5
A_6	9	0	0	7	0	0	7	2	2	8	0	0	4	0	8

Normalizovana *neutrosophic* matrica odlučivanja, kreirana primenom formule (12), prikazana je u tabeli 4. Prosečna pouzdanost podataka sadržanih u SVN brojevima iz tabele 4, određena je primenom formule (9) i iznosi 0,674.

Tabela 4. Normalizovana *neutrosophic* matrica odlučivanja

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	<0,7, 0,1, 0,2>	<0,5, 0,0, 0,1>	<0,6, 0,0, 0,0>	<0,4, 0,0, 0,2>	<0,5, 0,0, 0,3>
A_2	<0,8, 0,0, 0,0>	<0,8, 0,0, 0,1>	<0,6, 0,0, 0,0>	<0,5, 0,0, 0,0>	<0,2, 0,1, 0,7>
A_3	<0,6, 0,0, 0,1>	<0,9, 0,1, 0,2>	<0,4, 0,1, 0,2>	<0,4, 0,0, 0,0>	<0,3, 0,0, 0,6>
A_4	<0,6, 0,0, 0,1>	<0,8, 0,1, 0,1>	<0,3, 0,4, 0,4>	<0,4, 0,0, 0,0>	<0,3, 0,0, 0,5>
A_5	<0,9, 0,0, 0,0>	<0,8, 0,0, 0,1>	<0,5, 0,2, 0,1>	<0,8, 0,0, 0,0>	<0,4, 0,1, 0,5>
A_6	<0,9, 0,0, 0,0>	<0,7, 0,0, 0,0>	<0,7, 0,2, 0,2>	<0,8, 0,0, 0,0>	<0,4, 0,0, 0,8>

Za dalju primenu predloženog postupka izračunavanja, težine evaluacionih kriterijuma su neophodne nakon ovog koraka. U razmatranom slučaju, težine kriterijuma su definisane PIPRECIA metodom. Težine kriterijuma na osnovu stavova izabranog ispitanika su prikazane u tabeli 5.

Tabela 5. Težine kriterijuma

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
w_j	0,23	0,18	0,20	0,18	0,22

Nakon određivanja težina kriterijuma, izračunate su sume i proizvodi težinski normalizovanih *neutrosophic* rejtinga, za prihodne i rashodne kriterijume, prikazane u tabeli 6.

Tabela 6. Sume i proizvodi težinski normalizovanih *neutrosophic* rejtinga alternativa ostvarene na osnovu prihodnih i rashodnih kriterijuma

	S_i^{max}	S_i^{min}	P_i^{max}	P_i^{min}
A_1	<0,39, 0,00, 0,00>	<0,14, 0,00, 0,73>	<0,61, 1,00, 1,00>	<0,86, 1,00, 0,27>
A_2	<0,27, 0,00, 0,00>	<0,30, 0,51, 0,91>	<0,73, 1,00, 1,00>	<0,70, 0,49, 0,09>
A_3	<0,38, 0,00, 0,00>	<0,23, 0,00, 0,89>	<0,62, 1,00, 1,00>	<0,77, 1,00, 0,11>
A_4	<0,43, 0,00, 0,00>	<0,23, 0,00, 0,86>	<0,57, 1,00, 1,00>	<0,77, 1,00, 0,14>
A_5	<0,21, 0,00, 0,00>	<0,18, 0,51, 0,86>	<0,79, 1,00, 1,00>	<0,82, 0,49, 0,14>
A_6	<0,18, 0,00, 0,00>	<0,18, 0,00, 0,95>	<0,82, 1,00, 1,00>	<0,82, 1,00, 0,05>

Deneutrosophy-kovane vrednosti suma i proizvoda težinski normalizovanih *neutrosophic* rejtinga prikazani su u tabeli 7. U slučaju, *deneutrosophy*-kacije, tj. transformacija SVN brojeva u *crisp* vrednosti izvršena je primenom formule (7), međutim može se izvršiti i primenom formule (12), kao što je u prethodnom delu i istaknuto.

Tabela 7. *Deneutrosophy*-kovane vrednosti suma i proizvoda težinski normalizovanih *neutrosophic* rejtinga

	S_i^{max}	S_i^{min}	P_i^{max}	P_i^{min}	u_i^{sd}	u_i^{pd}	u_i^{sr}	u_i^{pr}
A ₁	0,80	0,47	0,20	0,53	0,33	-0,33	1,70	0,38
A ₂	0,76	0,29	0,24	0,71	0,46	-0,46	2,58	0,34
A ₃	0,79	0,45	0,21	0,55	0,35	-0,35	1,77	0,37
A ₄	0,81	0,46	0,19	0,54	0,35	-0,35	1,76	0,35
A ₅	0,74	0,27	0,26	0,73	0,47	-0,47	2,72	0,36
A ₆	0,73	0,41	0,27	0,59	0,32	-0,32	1,77	0,46

Vrednosti četiri mera korisnosti u_i^{sd} , u_i^{pd} , u_i^{sr} , i u_i^{pr} , izračunate pomoću formula (18)-(21) su takođe prikazane u tabeli 7.

Rekalkulisane vrednosti četiri mera korisnosti ϑ_i^{sd} , ϑ_i^{pd} , ϑ_i^{sr} , i ϑ_i^{pr} su prikazane u tabeli 8.

Tabela 8. Rekalkulisane vrednosti četiri mera korisnosti, ukupnih mera korisnosti i redosled rangiranja alternativa

	ϑ_i^{sd}	ϑ_i^{pd}	ϑ_i^{sr}	ϑ_i^{pr}	ϑ_i	Rang
A ₁	0,91	0,98	0,73	0,94	0,889	5
A ₂	1,00	0,78	0,96	0,92	0,916	2
A ₃	0,92	0,96	0,75	0,94	0,889	4
A ₄	0,92	0,95	0,74	0,92	0,884	6
A ₅	1,00	0,78	1,00	0,93	0,927	1
A ₆	0,90	1,00	0,74	1,00	0,910	3

Kao što se može zaključiti na osnovu podataka iz tabele 9, alternativa A₅ je najpogodnija ruralna turistička tura, na osnovu stavova dobijenih od strane izabranog ispitanika. Iz tabele 8 se takođe može uočiti da sve razmatrane alternative imaju približno slične vrednosti ukupne korisnosti, što ukazuje da primena formule (12), za *deneutrosophy*-kaciju, može uzrokovati promene u rangiranju razmatranih alternativa.

Slične evaluacije, ponovo izvršene sa stavovima preostalih ispitanika, pokazale su da postoje određene razlike u rangu razmatranih alternativa, što je i bilo očekivano. Međutim, takođe se uočava potreba za daljim razvojem *neutrosophic* ekstenzije WISP metode koja se može koristiti za grupno donošenje odluka. Nažalost, razvoj takve ekstenzije još nije razmatrano.

U naučnim i stručnim časopisima mogu se pronaći brojni članci i studije koje se bave primenom VKO metoda u turizmu i ugostiteljstvu. Sveobuhvatan pregled prethodno sprovedenih istraživanja u ovoj oblasti može se pronaći kod autora: Ahmad [36].

Sličan pristup izboru turističke destinacije razmatrali su Genç i Filipe [37], gde su primenili *fuzzy* VKO pristup za evaluaciju turističke destinacije u Portugalu. Osim toga, Alptekin i Büyüközkan [38] su razmatrali korišćenje VKO tehnika za veb-bazirano planiranje turističkih destinacija, dok su Peng i Tzeng [39] razmatrali primenu VKO modela za evaluaciju strategija za promociju konkurentnosti turizma. Stanujkić et al. [40-41] ocenjuju kvalitet veb-stranica u industriji ruralnog turizma i ugostiteljstva koristeći Atanasove *intuitionistic fuzzy* skupove, bipolar neutrosophic skupove. Popović et al. [42] primenili su PIPRECIA model za identifikaciju ključnih determinanti razvoja turizma u Srbiji, dok su Hosseini i Paydar [43] dali prioritet faktorima koji utiču na apsorpciju turista za ekoturističke centre koristeći VKO metode.

5.5 Zaključak

U ovom poglavlju se predlaže nadogradnja Simple WISP metode zasnovana na korišćenju *single-valued neutrosophic* brojeva.

SVN brojevi koriste tri funkcije članstva za izražavanje tačnosti, neodređenosti i netačnosti, zbog čega se mogu koristiti za izražavanje uverenja, neizvesnosti i sumnji u vezi sa nekim pojavama, uslovima ili događajima. Iz tog razloga, ovi brojevi mogu biti veoma korisni za prikupljanje stavova ispitanika jer pružaju ispitanicima veoma fleksibilan način izražavanja stavova. Poznato je da su tri funkcije članstva međusobno nezavisne i da svaka funkcija može imati vrednost iz intervala $[0,1]$. Na osnovu toga, ispitanici mogu izraziti svoje preferencije pomoću tri nule ili tri jedinice, ili bilo kojom drugom kombinacijom brojeva iz intervala $[0,1]$.

Korišćenje SVN brojeva za prikupljanje stavova ispitanika takođe omogućava korišćenje složenih kriterijuma za evaluaciju alternativa. Naravno, upotreba ovih brojeva zahteva korišćenje prilagođenih upitnika, kao i prilagođenih lingvističkih varijabli za iskazivanje preferencija ispitanika, o čemu se takođe govori u poglavlju.

Neka inicijalna istraživanja sprovedena tokom razvoja predloženog pristupa ukazala su na određene probleme u vezi sa prikupljanjem stavova ispitanika koji nisu upoznati sa upotrebom *neutrosophic* skupova. Upitnik predložen u ovom poglavlju svakako nije pogodan za prikupljanje stavova ispitanika „na ulici“, ali se može koristiti za prikupljanje stavova ispitanika koji su upoznati sa osnovnim elementima *fuzzy*, *intuitionistic* i *neutrosophic* skupova.

Stoga se kao jedan od pravaca budućih istraživanja može navesti namera da se sprovede istraživanje sa znatno većim brojem ispitanika koristeći predloženi pristup. Usvajanje predloženog pristupa za upotrebu u okruženju grupnog odlučivanja može se navesti i kao jedan od daljih potencijalnih pravaca istraživanja predloženog pristupa.

U poglavlju se razmatra i pristup za *deneutrosophy*-kaciju, odnosno transformaciju informacija sadržanih u SVN brojevima u *crisp* brojeve. Koristeći ovaj pristup, donosioci odluka mogu analizirati različite scenarije, od pesimističkih do optimističnih, slično kao u mnogim *fuzzy* i *intuitionistic* ekstenzijama drugih VKO metoda.

Koristeći predloženi pristup, donosioci odluka mogu iskoristiti to što SVN skupovi omogućavaju prikupljanje stavova ispitanika na osnovu manjeg broja složenih evaluacionih kriterijuma. Takođe, korišćenjem pristupa predloženog za *deneutrosophy*-kaciju donosioci odluka mogu varirati uticaj funkcija članstva tačnosti, neodređenosti i netačnosti i time razmotriti različite scenarije, od vrlo pesimističkih do vrlo optimističnih. I konačno, evaluacije izvršene sa predloženom ekstenzijom Simple WISP metode potvrdile su njenu primenljivost i efikasnost.

Pored istaknute korisnosti predloženog pristupa, ne može se negirati da on ima i neka ograničenja. Možda se ključni nedostatak predloženog pristupa ogleda u njegovoj složenosti za primenu od strane običnih donosioca odluka koji nisu upoznati s logikom *neutrosophic* skupova. U tom smislu, njegova primena je ograničena samo na one donosiocice odluka koji razumeju i uspešno rade sa ovom vrstom tehnike pomoći u donošenju odluka.

Rezultati sprovedenog istraživanja dokazali su pouzdanost i upotrebljivost predložene ekstenzije, pa se smatra da bi ona bila i adekvatna pomoć u donošenju odluka u drugim oblastima poslovanja kao što su upravljanje projektima, upravljanje ljudskim resursima, upravljanje proizvodnjom i dr. Osim toga, preporuka budućeg rada uključuje predlaganje proširenja WISP metode zasnovane na *multi-valued neutrosophic* brojevima kako bi se u većoj meri uzela u razmatranje nejasnoća i neizvesnost okruženja.

5.6 Literatura

- [1] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- [2] Turksen, I. B. (1986). Interval valued fuzzy sets based on normal forms. *Fuzzy sets and systems*, 20(2), 191–210.
- [3] Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, 20(1), 87–96.
- [4] Smarandache, F. (1998). *Neutrosophy Probability Set and Logic*. American Research Press, Rehoboth.
- [5] Smarandache, F. (1999). *A unifying field in logics. Neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic*. American Research Press, Rehoboth.
- [6] Ansari, A. Q., Biswas, R., & Aggarwal, S. (2011). Proposal for applicability of neutrosophic set theory in medical AI. *International Journal of Computer Applications*, 27(5), 5–11.
- [7] Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y., & Sunderraman, R. (2010). Single valued neutrosophic sets. *Review of the Air Force Academy*, 1(16), 10–14.
- [8] Garg, H. (2022). SVNMPR: A new single-valued neutrosophic multiplicative preference relation and their application to decision-making process. *International Journal of Intelligent Systems*, 37(3), 2089–2130.
- [9] Garg, H. (2020). Decision making analysis based on sine trigonometric operational laws for single-valued neutrosophic sets and their applications. *Applied and Computational Mathematics*, 19(2), 255–276.
- [10] Garg, H. (2020). Multiple attribute decision making based on immediate probabilities aggregation operators for single-valued and interval neutrosophic sets. *Journal of Applied Mathematics and Computing*, 63(1), 619–653.
- [11] Garg, H. (2020). Novel neutrality aggregation operators-based multiattribute group decision making method for single-valued neutrosophic numbers, *Soft Computing*, 24(14), 10327–10349.
- [12] Meng, F., Tang, J., Zhang, S., & Xu, Y. (2020). Public-private partnership decision making based on correlation coefficients of single-valued neutrosophic hesitant fuzzy sets. *Informatica*, 31(2), 359–397.
- [13] Abdel-Basset, M., Gamal, A., Manogaran, G., Son, L. H., & Long, H. V. (2020). A novel group decision making model based on neutrosophic sets for heart disease diagnosis. *Multimedia Tools and Applications*, 79(15), 9977-10002.

- [14] Zhang, C., Li, D., Broumi, S., & Sangaiah, A. K. (2018). Medical diagnosis based on single-valued neutrosophic probabilistic rough multisets over two universes. *Symmetry*, 10(6), 213.
- [15] Bera, T., & Mahapatra, N. K. (2021). Ranking of thermal power plants focusing on air pollution: A Neutrosophic assessment. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128250.
- [16] Li, Y., Liu, P., & Chen, Y. (2016). Some single valued neutrosophic number heronian mean operators and their application in multiple attribute group decision making. *Informatica*, 27(1), 85–110.
- [17] Biswas, P., Pramanik, S., & Giri, B. C. (2016). TOPSIS method for multi-attribute group decision-making under single-valued neutrosophic environment. *Neural computing and Applications*, 27(3), 727–737.
- [18] Xu, D., Wei, X., Ding, H., & Bin, H. (2020). A new method based on PROMETHEE and TODIM for multi-attribute decision-making with single-valued neutrosophic sets. *Mathematics*, 8(10), 1816.
- [19] Kahraman, C., Oztaysi, B., & Cevik Onar, S. (2020). Single & interval-valued neutrosophic AHP methods: Performance analysis of outsourcing law firms. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(1), 749–759.
- [20] Zavadskas, E. K, E., Baušys, R., & Lazauskas, M. (2015). Sustainable assessment of alternative sites for the construction of a waste incineration plant by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set. *Sustainability*, 7(12), 15923-15936.
- [21] Stanujkic, D., Zavadskas, E.K., Smarandache, F., Brauers, W.K., Karabasevic, D. (2017). A neutrosophic extension of the MULTIMOORA method. *Informatica*, 28(1), 181–192.
- [22] Rani, P., Ali, J., Krishankumar, R., Mishra, A. R., Cavallaro, F., & Ravichandran, K. S. (2021). An Integrated Single-Valued Neutrosophic Combined Compromise Solution Methodology for Renewable Energy Resource Selection Problem. *Energies*, 14(15), 4594.
- [23] Stanujkic, D., Popovic, G., Karabasevic, D., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Ulutaş, A. (2021). An integrated simple weighted sum product method—WISP. *IEEE Transactions on Engineering Management*. doi: 10.1109/TEM.2021.3075783.
- [24] Smarandache, F. (2005). Neutrosophic set-a generalization of the intuitionistic fuzzy set. *International journal of pure and applied mathematics*, 24(3), 287.

- [25] Smarandache, F. (2020). The Score, Accuracy, and Certainty Functions determine a Total Order on the Set of Neutrosophic Triplets (T, I, F). *Neutrosophic Sets and Systems*, 38, (1), 1–14.
- [26] Stanujkic, D., Karabasevic, D., Smarandache, F., & Popovic, G. (2020). A novel approach for assessing the reliability of data contained in a single valued neutrosophic number and its application in multiple criteria decision making. *International Journal of Neutrosophic Science*, 11(1), 22–29.
- [27] Sahin, R. (2014). Multi-criteria neutrosophic decision making method based on score and accuracy functions under neutrosophic environment. arXiv preprint arXiv:1412.5202.
- [28] Stanujkic, D., Popovic, G., Karabasevic, D., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Ulutaş, A. (2021). An Integrated Simple Weighted Sum Product Method - WISP. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–12.
- [29] Saaty, L. T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill Company, New York, NY, USA.
- [30] Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258.
- [31] Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57.
- [32] Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Smarandache, F., & Turskis, Z. (2017). The use of the pivot pairwise relative criteria importance assessment method for determining the weights of criteria. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 20, 116–133.
- [33] Ryglova, K., Rasovska, I., & Sacha, J. (2017). Rural tourism-evaluating the quality of destination. *European Countryside*, 9(4), 769–788.
- [34] True-Romania Available online: <https://true-romania.tours/rural-tourism/> (accessed on 27 September 2021).
- [35] Romania-tours Available online: <https://www.viator.com/Romania-tours/Nature-and-Wildlife/> (accessed on 29 September 2021).
- [36] Ahmad, U. (2016). Application of multiple criteria decision making techniques in tourism and hospitality industry: A systematic review. *Transformations in Business & Economics*, 15(1), 37.

- [37] Genç, T., & Filipe, J. A. (2016). A fuzzy MCDM approach for choosing a tourism destination in Portugal. *International Journal of Business and Systems Research*, 10(1), 23–44.
- [38] Alptekin, G. I., & Büyüközkan, G. (2011). An integrated case-based reasoning and MCDM system for Web based tourism destination planning. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2125–2132.
- [39] Peng, K. H., & Tzeng, G. H. (2012). Strategies for promoting tourism competitiveness using a hybrid MCDM model. In *Intelligent decision technologies*. Springer, Berlin, Heidelberg. (pp. 107–115)
- [40] Stanujkic, D., Karabasevic, D., Smarandache, F., Zavadskas, E. K., & Maksimovic, M. (2019). An innovative approach to evaluation of the quality of websites in the tourism industry: A novel MCDM approach based on bipolar neutrosophic numbers and the hamming distance. *Transformations in Business & Economics*, 18, 1(46), 149–162.
- [41] Stanujkic, D., Zavadskas, K.E., & Tamošaitienė, J. (2015). An approach to measuring website quality in the rural tourism industry based on Atanassov intuitionistic fuzzy sets. *E+M Ekonomie a Management*, 18(4), 461–470.
- [42] Popovic, G., Stanujkic, D., Mimovic, P., Milovanovic, G., Karabasevic, D., Brzakovic, P., & Brzakovic, A. (2021). An integrated SWOT–extended PIPRECIA model for identifying key determinants of tourism development: The case of Serbia. *Acta geographica Slovenica*, 61(2), 23–40.
- [43] Hosseini, S. M., & Paydar, M. M. (2022). Examining and prioritizing the factors affecting tourist absorption for ecotourism centers utilizing MCDM tools. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 15(1), 17–30.

6 EKSTENZIJA TOPSIS METODE ZASNOVANA NA PRIMENI SINGLE-VALUED NEUTROSOPHIC SKUPOVA I HAMMING RASTOJANJA

Napomena: Ovo poglavlje predstavlja publikovani rad “Karabašević, D., Stanujkić, D., Zavadskas, E. K., Stanimirović, P., Popović, G., Predić, B., & Ulutaš, A. (2020). A novel extension of the TOPSIS method adapted for the use of single-valued neutrosophic sets and hamming distance for e-commerce development strategies selection. *Symmetry*, 12(8), 1263. M22.” i zasniva se u celosti ili parcijalno na istom. Prikaz rada u odnosu na poglavlje je delimično izmenjeno kako bi se istom prilagodilo. Takođe, kako se ne bi određeni delovi teksta u nekim segmentima ponavljali, isti su izostavljeni.

6.1 Uvod

Kao jedan od bitnih elemenata moderne svetske ekonomije i sve veće upotrebe naprednih informacionih i komunikacionih tehnologija (IKT), tehnološke promene dovele su do temeljnih promena u ekonomskom i društvenom okruženju, transformirajući društvo iz industrijskog u informatičko doba [1]. Sve veća upotreba IKT-a značajno je promenila način na koji živimo, učimo i radimo, transformišući smer interakcije ljudi, poslovnih sistema i javnih institucija. Razvoj informacionih tehnologija, a posebno unapređenje internet tehnologija, omogućava napredovanje postojećih kompanija i otvaranje novih, što dovodi do rasta e-poslovanja i digitalne ekonomije [2-3].

Internet je doprineo izuzetno dinamičnom razvoju e-trgovine u sklopu e-poslovanja. U svom najjednostavnijem smislu, e-trgovina podrazumeva kupovinu i prodaju robe ili usluga onlajn, odnosno putem interneta. Bez interneta, e-trgovina praktično ne bi postojala. Dakle, e-trgovina uključuje sve aktivnosti kupovine i prodaje proizvoda i usluga koje se obavljaju putem interneta ili drugih elektronskih komunikacionih kanala [4]. Pre svega, e-trgovina se sastoji od distribucije, kupovine, prodaje, marketinga i servisiranja proizvoda i usluga putem interneta. Takođe, uključuje elektronski transfer novca, upravljanje lancima snabdevanja, e-marketing, elektronsku razmenu podataka i automatizovane sisteme za prikupljanje podataka [5]. Tokom vremena se e-trgovina transformisala iz mehanizma za onlajn maloprodaju u nešto mnogo šire [6]. Zbog toga je od velike važnosti koju će strategiju razvoja e-trgovine kompanija izabrati za implementaciju [7]. Izbor optimalne strategije je od vitalnog značaja jer strategija definiše budući smer i delovanje organizacije ili dela organizacije [8]. Razvoj strategije e-trgovine

zahteva kombinovanje postojećih pristupa poslovanju i razvoj strategije informacionih sistema. Kako bi se postigla konkurentna prednost, ključno je spojiti inovativne tehnike u tradicionalne strateške pristupe [9]. Implementacija adekvatne strategije može pomoći kompaniji da postigne i zadrži svoju konkurentsku prednost tokom dužeg vremena [10].

Mnoge realne probleme često karakteriše niz uglavnom antagonističkih kriterijuma. Višekriterijumsko odlučivanje predstavlja značajan deo operacionog istraživanja. VKO razmatra pitanja u kojima se suočavamo sa većim brojem, najčešće suprotstavljenih, kriterijuma prilikom donošenja odluka [11–13]. Izuzetno brz i dinamičan razvoj VKO-a širom sveta doprineo je brojnim VKO metodama i tehnikama koje su istraživači predložili za rešavanje širokog spektra problema [14-15]. Iako je bilo reči, navešćemo ponovo neke od najistaknutijih VKO metoda, poput: AHP metode [16], ELECTRE metoda [17], PROMETHEE metoda [18], TOPSIS metoda [19], COPRAS metoda [20], VIKOR metoda [21], MOORA metoda [22], MULTIMOORA metoda [23] itd.

Hwang i Yoon [19] su zaslužni za razvoj TOPSIS metode (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Za rešavanje šireg spektra problema kada su problemi povezani sa neizvesnostima, nejasnoćama i nepreciznostima, TOPSIS metoda ima odgovarajuće ekstenzije koje se baziraju na primeni *fuzzy*, *intuitionistic*, *grey* i *neutrosophic* brojeva. Do danas, TOPSIS metoda je primenjena za rešavanje mnogih problema, često u kombinaciji sa drugim tehnikama, poput: primena TOPSIS metode pri odlučivanju o disciplini, kursu i univerzitetu [24]; primena *entropy* TOPSIS-F metode za procenu performansi zelenih dobavljača [25]; evaluacija tehnologija solarne energije zasnovana na primeni *intuitionistic fuzzy* TOPSIS metode [26]; evaluacija i izbor hotela na osnovu modifikovanog TOPSIS algoritma za podršku odlučivanju [27]; evaluacija strategija održivog energetskog planiranja zasnovanih na SWOT-AHP i *fuzzy* TOPSIS metodama [28]; evaluacija i izbor dobavljača na osnovu kapaciteta za zelene inovacije primenom BWM i *fuzzy* TOPSIS metodama [29]; ocena veb-sajta zasnovana na *interval type-2 fuzzy* TOPSIS pristupu [30]; evaluacija u građevinarstvu [31–33]; evaluacija i izbor kadrova [34–37], itd.

Neutrosophic skupove je predložio Smarandache [38] kako bi omogućili rešavanje složenih VKO problema povezanih sa neizvesnostima a koje prate nekonzistentne i neodređene informacije. Upotreba tri funkcije članstva za izražavanje tačnosti, neodređenosti i netačnosti prilikom evaluacije alternativa u višekriterijumskom odlučivanju, može se reći da je veoma važna i značajna prednost *neutrosophic* skupova. Do sada, *neutrosophic* skupovi su primenjeni

u mnogim oblastima, poput: analiza u medicini [39–42], transportu [43–44], informacionim i komunikacionim tehnologijama [45–47], višekriterijumskom odlučivanju [48–52] itd.

Stoga, u poglavlju je prikazana nova ekstenzija TOPSIS metode prilagođena za primenu sa *single-valued neutrosophic* skupovima i *Hamming* rastojanju. Primenljivost i upotrebljivost predložene ekstenzije razmatrana je na numeričkoj ilustraciji evaluacije i izbora strategija razvoja e-trgovine.

6.2 Uvodne opservacije

U ovom delu poglavlja, prikazane su neke osnovne definicije i oznake *neutrosophic* skupova (NS), *single-valued neutrosophic* skupova (SVNS) i *single-valued neutrosophic* brojeva (SVNN).

Definicija 1. Neka X označava univerzalni skup. NS A u X ima sledeću formu [53]:

$$A = \left\{ \langle x, \mu_A(x), \pi_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \right\}, \quad (25)$$

gde: $\mu_A(x)$ označava funkciju članstva tačnosti; $\mu_A \in]^{-}0, 1^{+}[$; $\pi_A(x)$ označava funkciju članstva neodređenosti; $\pi_A \in]^{-}0, 1^{+}[$; $\nu_A(x)$ označava funkciju članstva netačnosti, $\nu_A \in]^{-}0, 1^{+}[$.

Ove funkcije članstva moraju zadovoljiti sledeće ograničenje $^{-}0 \leq \mu_A(x) + \pi_A(x) + \nu_A(x) \leq 3^{+}$.

Definicija 2. Neka je X neprazan skup. SVNS A u X ima sledeću formu [54]:

$$A = \left\{ \langle x, \mu_A(x), \pi_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \right\} \quad (26)$$

gde su funkcije članstva T_A , I_A , i $F_A \in]^{-}0, 1^{+}[$ i moraju da zadovolje sledeće ograničenje $0 \leq \mu_A(x) + \pi_A(x) + \nu_A(x) \leq 3$.

Definicija 3. SVN broj $a = \langle t_a, i_a, f_a \rangle$ je poseban slučaj SVN skupa na skupu realnih brojeva \mathcal{R} , gde $t_a, i_a, f_a \in [0, 1]$ i $0 \leq t_a + i_a + f_a \leq 3$ [54].

Definicija 4. Neka je $x_1 = \langle t_1, i_1, f_1 \rangle$ SVNN i $\lambda > 0$. Množenje SVNN brojeva i λ sprovodi se na sledeći način [53]:

$$\lambda x_1 = \langle 1 - (1 - t_1)^\lambda, i_1^\lambda, f_1^\lambda \rangle \quad (27)$$

Definicija 5. Neka su $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ i $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ dva n -dimenzionalna vektora, $x_i = \langle t_{xi}, i_{xi}, f_{xi} \rangle$ i $y_i = \langle t_{yi}, i_{yi}, f_{yi} \rangle$. *Hamming* rastojanje između X i Y je definisano kao:

$$h_{(X,Y)} = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n \left(|t_{xi} - t_{yi}| + |i_{xi} - i_{yi}| + |f_{xi} - f_{yi}| \right). \quad (28)$$

Definicija 6. Neka su $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ i $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ dva n -dimenzionalna vektora, $x_i = \langle t_{xi}, i_{xi}, f_{xi} \rangle$ i $y_i = \langle t_{yi}, i_{yi}, f_{yi} \rangle$. Euklidsko rastojanje X i Y je definisano kao:

$$e_{(X,Y)} = \frac{1}{3n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left((t_{xi} - t_{yi})^2 + (i_{xi} - i_{yi})^2 + (f_{xi} - f_{yi})^2 \right)}. \quad (29)$$

Definicija 7. Neka je $x = \langle t, i, f \rangle$ SVNN broj. Skor (*Score*) funkcija s od x je definisana kao [55]:

$$s = (1 + t - 2i - f) / 2, \quad (30)$$

gde je $s \in [-1, 1]$.

Definicija 8. Neka je $x = \langle t, i, f \rangle$ SVNN broj. *Cosine similarity* mera od x predstavlja izraz [56]:

$$c = \frac{t}{\sqrt{t^2 + i^2 + f^2}} \quad (31)$$

Definicija 9. Neka je $a_j = \langle t_j, i_j, f_j \rangle$ kolekcija SVNS skupova i gde je $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ pridruženi težinski vektor. *Single-Valued Neutrosophic Weighted Average (SVNWA)* operator od a_j je [55]:

$$SVNWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j a_j = \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - t_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n (i_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n (f_j)^{w_j} \right), \quad (32)$$

gde je w_j element j težinskog vektora, $w_j \in [0, 1]$ i $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

6.3 TOPSIS metoda prilagođena za upotrebu SVNN brojeva i grupno odlučivanje

6.3.1 Klasična TOPSIS metoda

TOPSIS metodu, kao što je prethodno istaknuto, razvili su Hwang i Yoon [19] i predstavlja jednu veoma istaknutu i često primenjivanu VKO metodu. U komparaciji sa drugim VKO metodama, ova metoda ima karakterističan pristup u određivanju najprihvatljivije alternative koji se zasniva na konceptu da se alternativa definiše na osnovu najkraće udaljenosti do idealnog rešenja i najveće udaljenosti do anti-idealnog rešenja. Relativna udaljenost C_i od i -te alternative do idealnog i anti-idealnog rešenja se računa na sledeći način:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad (33)$$

gde d_i^+ i d_i^- označavaju udaljenost alternative i od idealnog i antiidealnog rešenja, respektivno, i $C_i \in [0, 1]$.

Udaljenost svake alternative od idealnog i antiidealnog rešenja se računa na sledeći način:

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (w_j (r_{ij} - r_j^+))^2 \right\}^{0.5} \quad (34)$$

i

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (w_j (r_{ij} - r_j^-))^2 \right\}^{0.5}. \quad (35)$$

U formulama (10) i (11), w_j označava težinu kriterijuma j ; r_j^+ i r_j^- označava koordinate j od idealnog i antiidealnog rešenja, respektivno; i r_{ij} je normalizovani rejting i u odnosu na kriterijum j .

Klasična TOPSIS metoda koristi Euklidsko rastojanje za određivanje mera razdvajanja. Međutim, neki autori poput Chang et al. [57], Shanian i Savadogo [58] i Hwang i Yoon [19], su takođe razmatrali i primenu *Hamming* rastojanja u tu svrhu:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n w_j |r_{ij} - r_i^+|, \quad i \quad (36)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n w_j |r_{ij} - r_i^-|. \quad (37)$$

U brojnim ekstenzijama TOPSIS metode koje su kasnije predložene, primena *Hamming* rastojanja postala je češća, kao što se to vidi i u istraživanjima Gautam i Singh [59], Izadikhah [60] i Chen i Tsao [61].

Klasična TOPSIS metoda koristi postupak vektorske normalizacije za računanje normalizovanih rejtinga, kao:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^n x_{ij}^2\right)^{1/2}} \quad (38)$$

gde je r_{ij} normalizovani rejting alternative i u odnosu na kriterijum j , i x_{ij} je rejting alternative i u odnosu na kriterijum j .

U nekim ekstenzijama TOPSIS metode, ovaj postupak normalizacije je praćen jednostavnijim postupkom normalizacije [31, 62], kao što sledi:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^+}. \quad (39)$$

U formuli (15), pretpostavlja se da x_j^+ označava najveći rejting kriterijuma j .

Idealna A^* i antiidealna A^- rešenja su definisana:

$$A^+ = \left\{ r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+ \right\} = \left\{ \max_i r_{ij} \mid j \in \Theta_{\max}, (\min_i r_{ij} \mid j \in \Theta_{\min}) \right\}, \quad (40)$$

$$A^- = \left\{ r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^- \right\} = \left\{ \min_i r_{ij} \mid j \in \Theta_{\max}, (\max_i r_{ij} \mid j \in \Theta_{\min}) \right\}, \quad (41)$$

gde r_j^+ označava koordinate j od idealnog rešenja; r_j^- označava koordinate j od antiidealnog rešenja; i Θ_{\max} i Θ_{\min} označavaju skupove prihodnih i rashodnih kriterijuma, respektivno

6.3.2 Ekstenzija TOPSIS metode prilagođene za upotrebu sa SVNN

Tipičan VKO problem koji uključuje m alternativa i n kriterijuma može se koncizno prezentovati u sledećem matricnom obliku:

$$D = [x_{ij}]_{m \times n}, \quad (42)$$

$$W = [w_j]_n. \quad (43)$$

Ulaz x_{ij} u evaluacionu matricu D označava rejting alternative i u odnos na kriterijum j i ulazi w_j u W od težinskog vektora označava težine kriterijuma j , za svaki $i = 1, \dots, m$ i $j = 1, \dots, n$.

Međutim, mnogi praktični problemi odlučivanja zahtevaju učešće većeg broja donosilaca odluka ili eksperata u procesu evaluacije. Dakle, u višekriterijumskom grupnom odlučivanju (multiple-criteria group decision-making - MCGDM), postoji više od jedne matrice odlučivanja:

$$D^k = [x_{ij}^k]_{m \times n}, k = 1, \dots, K, \quad (44)$$

gde D^k označava evaluacionu matricu formiranu od strane donosioca odluke i/ili eksperta k ; x_{ij}^k je rejting alternative i u odnosu na kriterijum j dobijen od strane donosioca odluke i/ili eksperta k ; i K označava broj donosioca odluke i/ili eksperata.

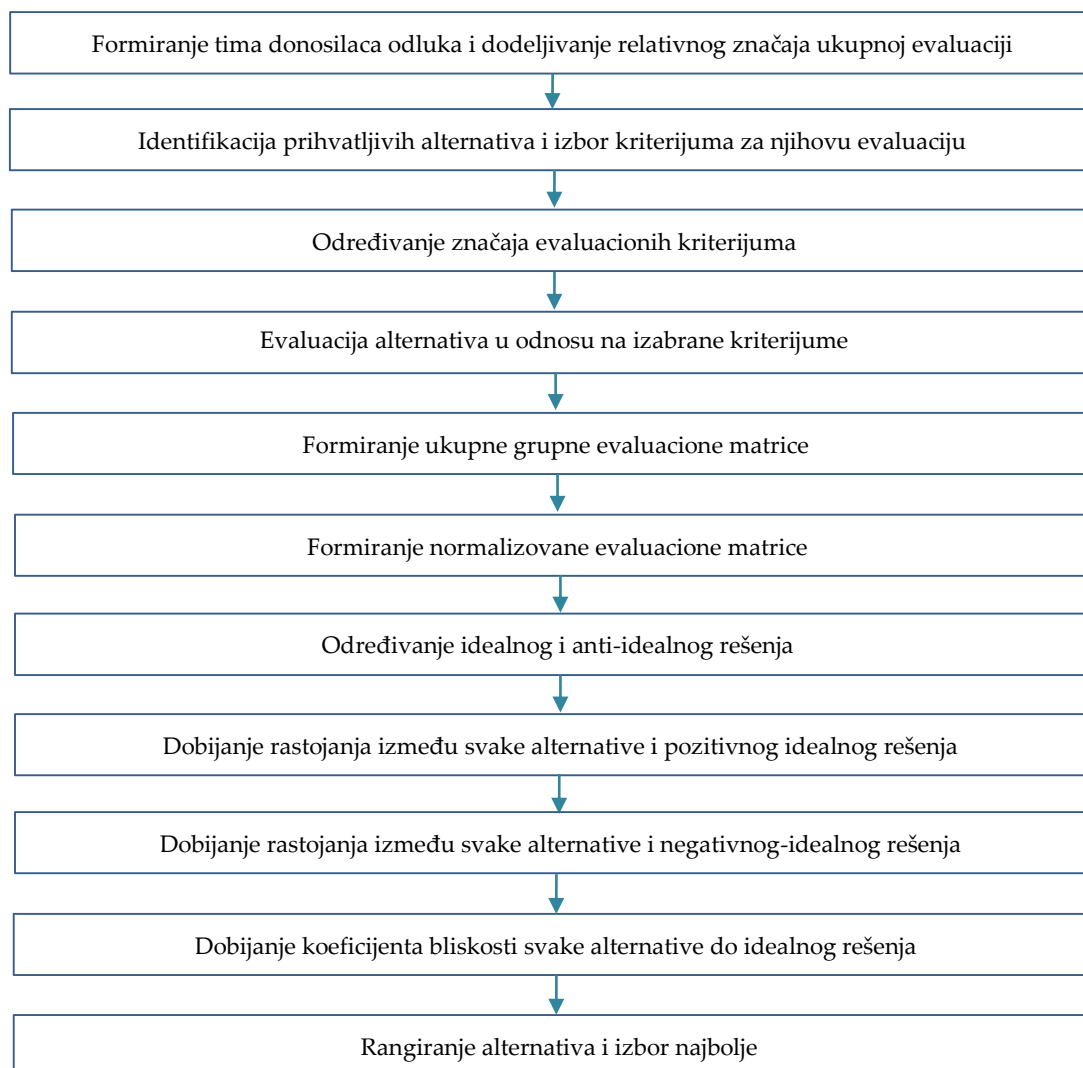
U MCGDM procesu, donosioci odluke i/ili eksperti često imaju različita iskustva i/ili specifična znanja o problemu koji treba rešiti, zbog čega se može koristiti drugi težinski vector za izražavanje uticaja donosioca odluke i/ili stručnjaka na finalnu evaluaciju, kao što sledi:

$$[\omega_k]_K. \quad (45)$$

Vrednost ω_k je značaj ili uticaj donosioca odluke i/ili eksperta k na ukupnu evaluaciju.

Koristeći težinski vektor koji izražava uticaj donosilaca odluka na ukupnu evaluaciju, individualnu evaluacionu matricu dobijenu od donosilaca odluka i/ili eksperata i neku vrstu operatora agregacije, može se formirati ukupna matrica grupnog odlučivanja.

Uzimajući u obzir gore navedene činjenice koje se odnose na MCGDM, specifičnosti SVNN brojeva i operacija nad njima kao i prethodno predloženim ekstenzijama TOPSIS metode [54, 63, 64], detaljni postupak “korak po korak” ekstenzije TOPSIS metode predstavljen je na slici 1. Postupak se precizno prikazuje kroz sledeće osnovne korake:



Slika 1. Računski postupak prilagođene TOPSIS metode

Korak 1. Formiranje tima donosilaca odluka uz dodeljivanje relativnog značaja za ukupnu evaluaciju. U prvom koraku formira se tim donosilaca odluka i/ili eksperata i svakom od njih se po potrebi dodeljuje relativni značaj. U mnogim slučajevima, svi donosioci odluka i/ili eksperti imaju jednaku važnost u pogledu konačne evaluacije.

Korak 2. Identifikacija prihvatljivih alternativa i izbor kriterijuma za njihovu evaluaciju. U drugom koraku, tim donosioca odluka identifikuje izvodljive alternative i određuje skup evaluacionih kriterijuma.

Korak 3. Određivanje značaja evaluacionih kriterijuma. U ovom koraku, tim donosilaca odluka i/ili eksperata određuje težine evaluacionih kriterijuma. Brojne metode koje se mogu koristiti

za određivanje težina kriterijuma razmatrane su u mnogim radovima objavljenim u naučnim i stručnim časopisima [16, 65–68].

Korak 4. Evaluacija alternativa u odnosu na izabrane kriterijume. U četvrtom koraku, svaki donosilac odluke vrši evaluaciju i formira sopstvenu matricu evaluacije, u kojoj se rejtinzi izražavaju korišćenjem SVN brojeva. Kao rezultat izvođenja ovog koraka, K evaluaciona matrica se formira na sledeći način:

$$D^k = [x_{ij}^k]_{m \times n} = [\langle t_{ij}^k, i_{ij}^k, f_{ij}^k \rangle]_{m \times n}, \quad (46)$$

gde $\langle t_{ij}^k, i_{ij}^k, f_{ij}^k \rangle$ označavaju rejting alternative i u odnosu na kriterijum j , dobijen od strane donosioca odluke k .

Korak 5. Formiranje sveukupne grupne evaluacione matrice. U ovom koraku, individualni stavovi donosilaca odluka uključenih u evaluaciju se transformišu u jednu ukupnu matricu grupne evaluacije korišćenjem SVNWA operatora (tj. primenom formule (8)). Kao rezultat izvođenja ovog koraka formira se matrica sledećeg oblika:

$$D = [x_{ij}]_{m \times n} = [\langle t_{ij}, i_{ij}, f_{ij} \rangle]_{m \times n}, \quad (47)$$

gde $\langle t_{ij}, i_{ij}, f_{ij} \rangle$ označavaju rejting alternative i u odnosu na kriterijum j .

Korak 6. Formirati normalizovanu evaluacionu matricu. Normalizacija ukupne grupne evaluacione matrice može se izvršiti primenom formule (3) sa sledećim λ :

$$\lambda = \frac{1}{\max(\max_i t_{ij}, \max_i i_{ij}, \max_i f_{ij})}. \quad (48)$$

Ovaj korak nije neophodan ako svi rejtinzi pripadaju intervalu $[0, 1]$.

Korak 7. Određivanje idealnog i negativno-idealnog rešenja. U slučaju kada su svi kriterijumi evaluacije prihodni, idealna i negativna idealna rešenja računaju se na sledeći način:

$$A^+ = \left\{ r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+ \right\} = \left\{ \langle \max_i t_{ij}, \min_i i_{ij}, \min_i f_{ij} \rangle \right\}, \quad (49)$$

$$A^- = \left\{ r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^- \right\} = \left\{ \left\langle \min_i t_{ij}, \max_i i_{ij}, \max_i f_{ij} \right\rangle \right\}. \quad (50)$$

Korak 8. Dobijanje rastojanja između svake alternative i pozitivnog idealnog rešenja. Udaljenosti između alternativa i pozitivnog idealnog rešenja mogu se odrediti primenom formula (4) ili (5).

Korak 9. Dobijanje rastojanja između svake alternative i negativno-idealnog rešenja. Udaljenosti između alternativa i negativnog idealnog rešenja mogu se odrediti na sličan način kao i udaljenosti do idealnog rešenja.

Korak 10. Dobijanje koeficijenata bliskosti svake alternative idealnom rešenju. Primenom formula (4) i (5), SVNN brojevi se transformišu u rezultujuće *crisp* vrednosti, čime se omogućava primena formule (9) kako bi se odredili koeficijenti bliskosti idealnom rešenju, kao u klasičnoj TOPSIS metodi.

Korak 11. Rangiranje alternativa i izbor najbolje. Finalni rang razmatranih alternativa ostaje isti kao u klasičnoj TOPSIS metodi, što znači da je poželjnija alternativa sa većom vrednošću koeficijenta bliskosti.

6.4 Numerička ilustracija

Kako bi se demonstrirala efikasnost i primenjivost predložene ekstenzije, primer evaluacije strategija e-trgovine uzet od Stanujkić et al. [69] je predmet razmatranja u ovom delu. Pretpostavimo da tim od tri donosioca odluka treba da proceni tri strategije razvoja e-trgovine na osnovu pet kriterijuma. Strategije razvoja e-trgovine (ECDS) i kriterijumi evaluacije prikazani su u tabelama 1 i 2.

Tabela 1. Razvojne strategije e-trgovine

Alternative	Oznaka
E-kastemizacija i personalizacija (A_1 — <i>E-customization and personalization</i> —Ansari & Mela [70])	ECDS1
Model usvajanja društvene e-trgovine (A_2 — <i>Social E-commerce adoption model</i> —Hajli [71])	ECDS2
Snažna optimizacija za pretraživače (A_3 — <i>Strong search engine optimization (SEO)</i> —Sen [72])	ECDS3

Tabela 2. Evaluacioni kriterijumi razvojnih strategija e-trgovine

Kriterijumi	Oznaka
Izvodljivost strategije (C_1 — <i>Feasibility of the strategy</i>)	FS
Brzina implementacije (C_2 — <i>Implementation speed</i>)	IS
Usklađenost sa korporativnom strategijom (C_3 — <i>Compliance with the corporate strategy</i>)	CS
Usklađenost strategije sa misijom i vizijom kompanije (C_4 — <i>Compliance of the strategy with the mission and vision of the company</i>)	MV
Opšte prihvatanje (C_5 — <i>General acceptance</i>)	GA

Rejtinzi dobijeni od strane tri donosioca odluka za predložene strategije su prikazane u tabelama 3–5.

Tabela 3. Rejtinzi dobijeni od strane prvog donosioca odluka

	FS	IS	CS	MV	GA
ECDS1	<0,6, 0,1, 0,1>	<0,6, 0,1, 0,1>	<0,6, 0,1, 0,1>	<0,4, 0,1, 0,1>	<0,4, 0,1, 0,1>
ECDS2	<1,0, 0,0, 0,0>	<0,8, 0,0, 0,0>	<1,0, 0,1, 0,1>	<1,0, 0,1, 0,3>	<1,0, 0,0, 0,1>
ECDS3	<0,6, 0,0, 0,2>	<0,6, 0,2, 0,1>	<0,8, 0,2, 0,1>	<1,0, 0,2, 0,3>	<1,0, 0,0, 0,2>

Tabela 4. Rejtinzi dobijeni od strane drugog donosioca odluka

	FS	IS	CS	MV	GA
ECDS1	<0,5, 0,0, 0,1>	<0,7, 0,1, 0,1>	<0,5, 0,0, 0,1>	<0,4, 0,1, 0,1>	<0,4, 0,0, 0,1>
ECDS2	<0,9, 0,0, 0,0>	<0,7, 0,1, 0,0>	<0,9, 0,0, 0,0>	<1,0, 0,0, 0,1>	<0,7, 0,0, 0,2>
ECDS3	<0,7, 0,0, 0,0>	<0,6, 0,1, 0,1>	<0,8, 0,1, 0,2>	<0,9, 0,1, 0,3>	<0,8, 0,0, 0,2>

Tabela 5. Rejtinzi dobijeni od strane trećeg donosioca odluka

	FS	IS	CS	MV	GA
ECDS1	<0,5, 0,0, 0,0>	<0,8, 0,1, 0,1>	<0,6, 0,0, 0,1>	<0,5, 0,0, 0,0>	<0,5, 0,1, 0,1>
ECDS2	<0,8, 0,0, 0,1>	<0,7, 0,0, 0,0>	<1,0, 0,0, 0,0>	<0,9, 0,0, 0,1>	<0,6, 0,0, 0,1>
ECDS3	<0,8, 0,1, 0,1>	<0,7, 0,0, 0,0>	<0,8, 0,0, 0,1>	<0,9, 0,1, 0,2>	<0,8, 0,0, 0,0>

Nakon toga je pomoću formule (6) utvrđena grupna evaluaciona matrica, pri čemu su svi donosioci odluka imali jednaku važnost $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = 0.33$. Grupna evaluaciona matrica je prikazana u tabeli 6.

Tabela 6. Grupna evaluaciona matrica

	FS	IS	CS	MV	GA
ECDS1	<0,5, 0,0, 0,0>	<0,7, 0,1, 0,1>	<0,6, 0,0, 0,1>	<0,4, 0,0, 0,0>	<0,4, 0,0, 0,1>
ECDS2	<1,0, 0,0, 0,0>	<0,7, 0,0, 0,0>	<1,0, 0,0, 0,0>	<1,0, 0,0, 0,1>	<1,0, 0,0, 0,1>
ECDS3	<0,7, 0,0, 0,0>	<0,6, 0,0, 0,0>	<0,8, 0,0, 0,1>	<1,0, 0,1, 0,3>	<1,0, 0,0, 0,0>

U narednom koraku, idealna i negativno idealna rešenja su prikazana u tabeli 7 koja su određena primenom formula (23) i (24).

Tabela 7. Idealna i negativno idealna rešenja

	FS	IS	CS	MV	GA
ECDS ⁺	<1,0, 0,0, 0,0>	<0,7, 0,0, 0,0>	<1,0, 0,0, 0,0>	<1,0, 0,0, 0,0>	<1,0, 0,0, 0,0>
ECDS ⁻	<0,5, 0,0, 0,0>	<0,6, 0,1, 0,1>	<0,6, 0,0, 0,1>	<0,4, 0,1, 0,3>	<0,4, 0,0, 0,1>

Detalji proračuna dobijeni primenom TOPSIS metode i dve mere rastojanja su prikazani u tabelama 8 i 9.

Detalji proračuna dobijeni primenom TOPSIS metode i *Hamming* rastojanja su prikazani u tabeli 8. U ovom slučaju, svi kriterijumi imaju isti značaj $w_j = 0,20$.

Tabela 8. Računski detalji dobijeni primenom *Hamming* rastojanja

	d_i^+	d_i^-	C_i	Rang
ECDS1	0,87	0,69	0,44	3
ECDS2	0,38	1,08	0,74	1
ECDS3	0,63	0,66	0,51	2

Kao što se može uočiti iz tabele 8, najprihvatljivija alternativa je označena kao ECDS2, što znači da je najprikladnija strategija razvoja e-trgovine predstavlja alternativa pod nazivom "Model usvajanja društvene e-trgovine".

6.5 Diskusija i komparativna analiza

Kako bi se potvrdili dobijeni rezultati, slični proračuni su izvršeni primenom TOPSIS metode sa Euklidskim rastojanjem i dva uobičajena pristupa u slučaju primene *neutrosophic* skupova (*score* funkcija i *cosine similarity* mera).

Detalji proračuna dobijeni primenom TOPSIS metode sa Euklidskim rastojanjem su predstavljani u tabeli 9. Iz tabele 9 se može videti da primena TOPSIS metode sa Euklidskim rastojanjem daje iste rezultate rangiranja.

Tabela 9. Detalji proračuna dobijeni primenom Euklidskog rastojanja

	d_i^+	d_i^-	C_i	Rang
ECDS1	3,38	3,24	0,490	3
ECDS2	1,70	4,25	0,714	1
ECDS3	2,60	2,54	0,495	2

U cilju provere pouzdanosti redosleda rangiranja alternativa, računaska procedura je ponovljena pet puta sa različitim težinskim vektorima kao što je to prikazano u tabeli 10.

Tabela 10. Težinski vektori korišćeni za ponovnu računsku proceduru

	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	Σw_j
W_1	0,40	0,15	0,15	0,15	0,15	1,00
W_2	0,15	0,40	0,15	0,15	0,15	1,00
W_3	0,15	0,15	0,40	0,15	0,15	1,00
W_4	0,15	0,15	0,15	0,40	0,15	1,00
W_5	0,15	0,15	0,15	0,15	0,40	1,00

Rezultati rangiranja dobijeni korišćenjem pet različitih težinskih vektora i dve udaljenosti dati su u tabelama 11 i 12.

Tabela 11. Rezultati rangiranja dobijeni primenom *Hamming* rastojanja i različitog W_i .

	W_1		W_2		W_3		W_4		W_5	
	C_i	Rang	C_i	Rang	C_i	Rang	C_i	Rang	C_i	Rang
ECDS1	0,45	3	0,51	2	0,44	3	0,39	3	0,43	3
ECDS2	0,74	1	0,70	1	0,72	1	0,75	1	0,78	1
ECDS3	0,50	2	0,43	3	0,54	2	0,59	2	0,49	2

Tabela 12. Rezultati rangiranja dobijeni primenom Euklidskog rastojanja i različitog W_i .

	W_1		W_2		W_3		W_4		W_5	
	C_i	Rang	C_i	Rang	C_i	Rang	C_i	Rang	C_i	Rang
ECDS1	0,49	3	0,56	2	0,48	3	0,44	3	0,48	2
ECDS2	0,72	1	0,67	1	0,70	1	0,73	1	0,76	1
ECDS3	0,50	2	0,41	3	0,54	2	0,57	2	0,46	3

Primena različitih težinskih vektora dovela je do promene u redosledu rangiranja u dva slučaja: W_2 i W_5 . U prvom slučaju (W_2), oba rastojanja su dala iste redoslede rangiranja, dok u drugom slučaju (W_5), postoji razlika u rangju druge i treće alternative.

Na osnovu prethodno navedenog, može se zaključiti da predložena ekstenzija TOPSIS metode može koristiti sa bilo kojom od dve prethodno razmatrana rastojanja (tj. sa onim lakšim za kalkulaciju kao što je *Hamming* rastojanje, ili nešto složenijom za kalkulaciju u slučaju upotrebe SVNN brojeva poput Euklidskog rastojanja).

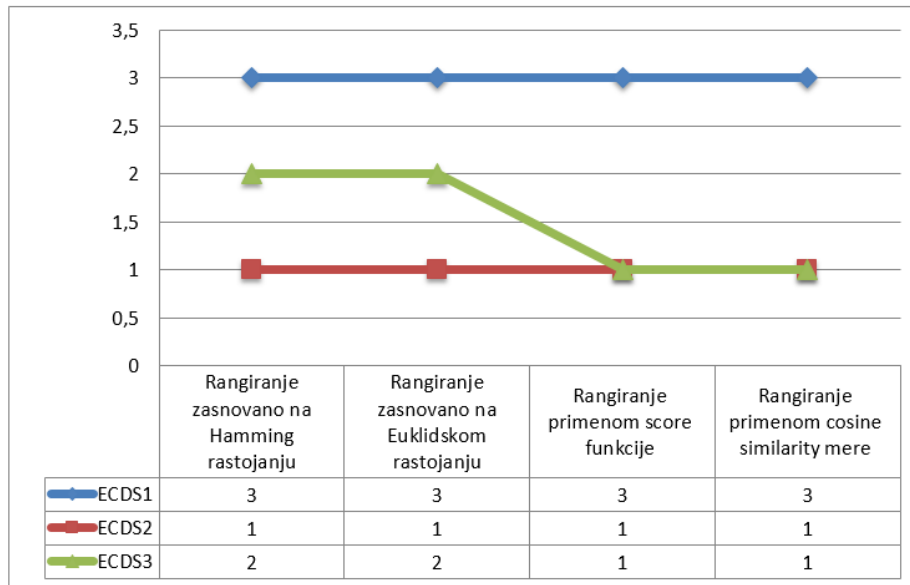
Za finalnu verifikaciju rezultata rangiranja dobijenih razvijenom adaptacijom TOPSIS metode, izvršeno je dodatno rangiranje strategija korišćenjem dva uobičajena pristupa (tj. *score* funkcija i *cosine similarity* mera). Vrednosti *score* funkcije i *cosine similarity* mere za razmatrane alternative određene su primenom formula (6) i (7), respektivno, na ukupne rejtinge izračunate primenom formule (8). U ovom proračunu svi kriterijumi su opet imali isti značaj $w_j = 0,20$. Ostvareni rezultati rangiranja prikazani su u tabeli 13.

Tabela 13. Rangiranje zasnovano na primeni *score* funkcije i *cosine similarity* mere

	Ukupni rejtinzi	Score	Rang	Cosine	Rang
ECDS1	<0,55, 0,00, 0,00>	0,78	3	0,55	3
ECDS2	<1,00, 0,00, 0,00>	1,00	1	1,00	1
ECDS3	<1,00, 0,00, 0,00>	1,00	1	1,00	1

Tabela 13 nam omogućava da istaknemo da su se dobijeni rezultati delimično razlikovali od rezultata prikazanih u tabelama 8 i 9. Razlika se javlja kod alternative ECDS3, koja sada deli prvo mesto sa alternativom ECDS2, dok je alternativa ECDS1 na drugom mestu kada se koristi TOPSIS metoda.

Alternativa ECDS2 je bila najbolje rangirana kada se koriste svi pristupi (kao što se vidi na slici 2), iako su se očekivala određena odstupanja u redosledu rangiranja dobijenim primenom različitih pristupa. Moguća odstupanja u redosledu rangiranja dobijena korišćenjem različitih pristupa uzrokovana su razlikama i specifičnostima postupaka izračunavanja primenjenih u različitim pristupima, dok se odstupanja obično odražavaju u slučaju lošije rangiranih alternativa.



Slika 2. Rezultati rangiranja postignuti primenom različitih postupaka

6.6 Zaključak

TOPSIS metoda je istaknuta VKO metoda koja se do sada koristila za rešavanje brojnih problema odlučivanja. Takođe su predložene i mnoge ekstenzije TOPSIS metode kako bi se omogućilo primena različitih tipova *fuzzy* i *neutrosophic* brojeva. Na osnovu prethodno predložene ekstenzije, razmatra se nova adaptacija TOPSIS metode za primenu sa *single-valued neutrosophic* brojevima. Dodatni cilj ove studije bio je i da se potvrdi primenjivost *Hamming* rastojanja kao jedne alternativni Euklidskom rastojanju. Rezultati razmatrane numeričke ilustracije i sprovedene komparativne analize ukazuju na opravdanu primenu *Hamming* rastojanja sa manje složenim računskim postupkom umesto Euklidskog rastojanja sa znatno složenijim računskim postupkom, posebno kada je u pitanju primena slučaju *neutrosophic* skupova. Predloženi pristup je omogućio korišćenje *Hamming* rastojanja i/ili Euklidskog rastojanja.

Na osnovu sprovedene numeričke ilustracije, najprihvatljivija alternativa je ECDS2, model usvajanja društvene e-trgovine. Štaviše, pouzdanost ekstenzije TOPSIS metode zasnovane na SVN brojevima dodatno je verifikovana korišćenjem *scor* funkcije i *cosine similarity* mere. Primetno je da su alternative ECDS2 i ECDS3 imale isti rezultat rangiranja. Takođe, alternativa ECDS2 bila je najbolje rangirana kada se koriste različiti pristupi (rangiranje zasnovano na *Hamming* rastojanju i Euklidskom rastojanju, kao i rangiranje zasnovano na *scor* funkciji i *cosine similarity* meri).

Predloženo proširenje TOPSIS metode zasnovano na SVNN brojevima pokazalo se efikasnim i lakim za upotrebu pri rešavanju složenih problema u domenu donošenja odluka, a koji su često povezani sa nejasnoćama i neizvesnostima. Pored toga, TOPSIS SVNN je dobar izbor kada je u pitanju evaluacija i izbor strategija razvoja e-trgovine.

6.7 Literatura

- [1] Magnusson, D., & Hermelin, B. (2019). ICT development from the perspective of connectivity and inclusion—the operation of a local digital agenda in Sweden. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 1–15.
- [2] Sandberg, K. W., & Håkansson, F. (2020). Strategical Use of ICT in Microenterprises: A Case Study. *International Journal of E-Entrepreneurship and Innovation (IJEEI)*, 10(1), 1–13.
- [3] Nica, E. (2015). ICT innovation, internet sustainability, and economic development. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 3(3), 24–29.
- [4] Chaffey, D., Hemphill, T., & Edmundson-Bird, D. (2019). *Digital business and e-commerce management*. Pearson UK.
- [5] Goyal, S., Sergi, B. S., & Esposito, M. (2019). Literature review of emerging trends and future directions of e-commerce in global business landscape. *World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development*, 15(1/2), 226–255.
- [6] Laudon, K. C., & Traver, C. G. (2016). *E-commerce: business, technology, society*. Pearson, Essex, England.
- [7] Hua, N., Hight, S., Wei, W., Ozturk, A. B., Zhao, X. R., Nusair, K., & DeFranco, A. (2019). The power of e-commerce. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 31(4), 1906-1923.
- [8] Johnson, G., Whittington, R., Scholes, K., Angwin, D. N., & Regnér, P. (2017). *Exploring strategy* (No. 11th e). Pearson.
- [9] Thompson, F. M., Tuzovic, S., & Braun, C. (2019). Trustmarks: Strategies for exploiting their full potential in e-commerce. *Business Horizons*, 62(2), 237-247.
- [10] Ćurčić, N., Piljan, I., & Simonović, Z. (2019). Marketing concept in insurance companies. *Ekonomika*, 65(3), 21-33.
- [11] Jaukovic Jovic, K., Jovic, G., Karabasevic, D., Popovic, G., Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., & Thanh Nguyen, P. (2020). A Novel Integrated PIPRECIA–Interval-Valued Triangular Fuzzy ARAS Model: E-Learning Course Selection. *Symmetry*, 12(6), 928.
- [12] Hassanpour, M., & Pamucar, D. (2019). Evaluation of Iranian household appliance industries using MCDM models. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(3), 1-25.

- [13] Karabasevic, D., Maksimovic, M., Stanujkic, D., Brzakovic, P., & Brzakovic, M. (2018). The evaluation of websites in the textile industry by applying ISO/IEC 9126-4 standard and the EDAS method. *Industria Textila*, 69(6), 489–494.
- [14] Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A., & Stević, Ž. (2019). FUCOM method in group decision-making: Selection of forklift in a warehouse. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49–65.
- [15] Karabasevic, D., Stanujkic, D., Maksimovic, M., Popovic, G., & Momcilovic, O. (2019). An Approach to Evaluating the Quality of Websites Based on the Weighted Sum Preferred Levels of Performances Method. *Acta Polytechnica Hungarica*, 16(5), 195–215.
- [16] Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- [17] Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundation of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 31(1), 49–73.
- [18] Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). Note - A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management science*, 31(6), 647–656.
- [19] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag, New York.
- [20] Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., & Sarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1(3), 131–139.
- [21] Opricović, S. (1998). *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems*. Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- [22] Brauers, W.K.M., & Zavadskas, E.K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 35(2), 445-469.
- [23] Brauers, W.K.M., & Zavadskas, E.K. (2010). Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(1), 5–24.
- [24] Nanayakkara, C., Yeoh, W., Lee, A., & Moayedikia, A. (2019). Deciding discipline, course and university through TOPSIS. *Studies in Higher Education*, 1-16, doi:10.1080/03075079.2019.1616171.
- [25] dos Santos, B. M., Godoy, L. P., & Campos, L. M. (2019). Performance evaluation of green suppliers using entropy-TOPSIS-F. *Journal of cleaner production*, 207, 498-509.

- [26] Cavallaro, F., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., & Mardani, A. (2019). Assessment of concentrated solar power (CSP) technologies based on a modified intuitionistic fuzzy topsis and trigonometric entropy weights. *Technological Forecasting and Social Change*, 140, 258–270.
- [27] Kwok, P. K., & Lau, H. Y. (2019). Hotel selection using a modified TOPSIS-based decision support algorithm. *Decision Support Systems*, 120, 95–105.
- [28] Solangi, Y. A., Tan, Q., Mirjat, N. H., & Ali, S. (2019). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117655.
- [29] Gupta, H., & Barua, M. K. (2017). Supplier selection among SMEs on the basis of their green innovation ability using BWM and fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 152, 242–258.
- [30] Efe, B. (2019). Website Evaluation Using Interval Type-2 Fuzzy-Number-Based TOPSIS Approach. In *Multi-Criteria Decision-Making Models for Website Evaluation* (pp. 166–185). IGI Global.
- [31] Wang, Y. M., & Elhag, T. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 31(2), 309–319.
- [32] Abdulsalam, K., Ighravwe, D., & Babatunde, M. (2018). A fuzzy-TOPSIS approach for techno-economic viability of lighting energy efficiency measure in public building projects. *Journal of Project Management*, 3(4), 197–206.
- [33] Ranjbar, H. R., & Nekooie, M. A. (2018). An improved hierarchical fuzzy TOPSIS approach to identify endangered earthquake-induced buildings. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 76, 21–39.
- [34] Kelemenis, A., & Askounis, D. (2010). A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection. *Expert systems with applications*, 37(7), 4999–5008.
- [35] Sang, X., Liu, X., & Qin, J. (2015). An analytical solution to fuzzy TOPSIS and its application in personnel selection for knowledge-intensive enterprise. *Applied Soft Computing*, 30, 190–204.
- [36] Samanlioglu, F., Taskaya, Y. E., Gulen, U. C., & Cokcan, O. (2018). A fuzzy AHP–TOPSIS-based group decision-making approach to IT personnel selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20(5), 1576–1591.

- [37] Kelemenis, A., Ergazakis, K., & Askounis, D. (2011). Support managers' selection using an extension of fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2774-2782.
- [38] Smarandache, F. (1998). *Neutrosophy, neutrosophic probability, set and logic*. American Res. Press, Rehoboth, USA.
- [39] Abdel-Basset, M., & Mohamed, M. (2019). A novel and powerful framework based on neutrosophic sets to aid patients with cancer. *Future Generation Computer Systems*, 98, 144–153.
- [40] Abdel-Basset, M., Gamal, A., Manogaran, G., Son, L. H., & Long, H. V. (2020). A novel group decision making model based on neutrosophic sets for heart disease diagnosis. *Multimedia Tools and Applications*, 79(15), 9977-10002.
- [41] Abdel-Basset, M., Mohamed, M., Elhoseny, M., Chiclana, F., & Zaied, A. E. N. H. (2019). Cosine similarity measures of bipolar neutrosophic set for diagnosis of bipolar disorder diseases. *Artificial Intelligence in Medicine*, 101, 101735.
- [42] Ulucay, V., Kılıç, A., Şahin, M., & Deniz, H. (2019). A new hybrid distance-based similarity measure for refined neutrosophic sets and its application in medical diagnosis. *Matematika*, 35(1), 83–94.
- [43] Pratihari, J., Kumar, R., Dey, A., & Broumi, S. (2020). Transportation problem in neutrosophic environment. In *Neutrosophic Graph Theory and Algorithms* (pp. 180-212). IGI Global.
- [44] Smith, P. (2019). Exploring public transport sustainability with neutrosophic logic. *Transportation Planning and Technology*, 42(3), 257–273.
- [45] Elhassouny, A., Idbrahim, S., & Smarandache, F. (2019). Machine learning in Neutrosophic Environment: A Survey. *Neutrosophic Sets and Systems*, 28(1), 58-68.
- [46] Jayaparthasarathy, G., Little Flower, V. F., & Dasan, M. A. (2019). Neutrosophic Supra Topological Applications in Data Mining Process. *Neutrosophic Sets and Systems*, 27(1), 80–97.
- [47] Sengur, A., Budak, U., Akbulut, Y., Karabatak, M., & Tanyildizi, E. (2019). A survey on neutrosophic medical image segmentation. In *Neutrosophic Set in Medical Image Analysis* (pp. 145–165). Academic Press.
- [48] Tuan, T. M., Chuan, P. M., Ali, M., Ngan, T. T., & Mittal, M. (2019). Fuzzy and neutrosophic modeling for link prediction in social networks. *Evolving Systems*, 10(4), 629-634.

- [49] Kahraman, C., & Otay, İ. (2019). Fuzzy multi-criteria decision-making using neutrosophic sets. Springer.
- [50] Luo, M., Wu, L., Zhou, K., & Zhang, H. (2019). Multi-criteria decision making method based on the single valued neutrosophic sets. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 37, 2403–2417.
- [51] Zhang, H. Y., Ji, P., Wang, J. Q., & Chen, X. H. (2015). An improved weighted correlation coefficient based on integrated weight for interval neutrosophic sets and its application in multi-criteria decision-making problems. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8(6), 1027-1043.
- [52] Peng, J. J., Wang, J. Q., Zhang, H. Y., & Chen, X. H. (2014). An outranking approach for multi-criteria decision-making problems with simplified neutrosophic sets. *Applied Soft Computing*, 25, 336–346.
- [53] Smarandache, F. (1999). A unifying field in logics. *Neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic*. American Research Press, Rehoboth.
- [54] Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y., & Sunderraman, R. (2010). Single valued neutrosophic sets. *Review of the Air Force Academy*, 1 (16), 10–14.
- [55] Sahin, R. (2014). Multi-criteria neutrosophic decision making method based on score and accuracy functions under neutrosophic environment. arXiv preprint arXiv:1412.5202.
- [56] Ye, J. (2013). Multicriteria decision-making method using the correlation coefficient under single-valued neutrosophic environment. *International Journal of General Systems*, 42(4), 386–394.
- [57] Chang, C. H., Lin, J. J., Linc, J. H., & Chiang, M. C. (2010). Domestic open-end equity mutual fund performance evaluation using extended TOPSIS method with different distance approaches. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4642-4649.
- [58] Shanian, A., & Savadogo, O. (2006). TOPSIS multiple-criteria decision support analysis for material selection of metallic bipolar plates for polymer electrolyte fuel cell. *Journal of Power Sources*, 159(2), 1095-1104.
- [59] Gautam, S. S., & Singh, S. R. (2018). An improved-based TOPSIS method in interval-valued intuitionistic fuzzy environment. *Life Cycle Reliability and Safety Engineering*, 7(2), 81-88.
- [60] Izadikhah, M. (2009). Using the Hamming distance to extend TOPSIS in a fuzzy environment. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 231(1), 200-207.

- [61] Chen, T. Y., & Tsao, C. Y. (2008). The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis. *Fuzzy sets and systems*, 159(11), 1410-1428.
- [62] Yang, T., & Hung, C. C. (2007). Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(1), 126-137.
- [63] Broumi, S., Ye, J., & Smarandache, F. (2015). An extended TOPSIS method for multiple attribute decision making based on interval neutrosophic uncertain linguistic variables. *Neutrosophic Sets and Systems*, 8: 22–31.
- [64] Elhassouny, A., & Smarandache, F. (2016). Neutrosophic-simplified-TOPSIS multi-criteria decision-making using combined simplified-TOPSIS method and neutrosophics. In *Proc. of 2016 IEEE international conference on fuzzy systems (FUZZ-IEEE)*, 24-29 July 2016, Vancouver, BC, Canada. (pp. 2468-2474).
- [65] Srinivasan, V., & Shocker, A. D. (1973). Linear programming techniques for multidimensional analysis of preferences. *Psychometrika*, 38(3), 337–369.
- [66] Kersulienė, V., & Turskis, Z. (2011). Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(4), 645–666.
- [67] Pamucar, D., Stevic, Z., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full consistency method (FUCOM). *Symmetry*, 10(9), 393.
- [68] Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Smarandache, F., & Turskis, Z. (2017). The use of Pivot Pair-wise Relative Criteria Importance Assessment method for determining weights of criteria. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 20(4), 116-133.
- [69] Stanujkic, D., Karabasevic, D., Maksimovic, M., Popovic, G., & Brzakovic, M. (2019). Evaluation of the e-commerce development strategies. *Quaestus*, 1(14), 144–152.
- [70] Ansari, A., & Mela, C. F. (2003). E-customization. *Journal of marketing research*, 40(2), 131–145.
- [71] Hajli, M. (2013). A research framework for social commerce adoption. *Information Management & Computer Security*, 21(3), 144–154.
- [72] Sen, R. (2005). Optimal search engine marketing strategy. *International Journal of Electronic Commerce*, 10(1), 9–25.

7 PRIMENA BIPOLAR FUZZY MULTIMOORA METODE NA PRIMERU UVOĐENJA ZELENIH IKT

Napomena: Ovo poglavlje predstavlja publikovani rad “Karabasevic, D., Radanov, P., Stanujkic, D., Popovic, G., & Predic, B. (2021). Going green: strategic evaluation of green ICT adoption in the textile industry by using bipolar fuzzy MULTIMOORA method. *Industria Textila*, 72(1), 3-10. M23” i zasniva se u celosti ili parcijalno na istom. Prikaz rada u odnosu na poglavlje delimično je izmenjeno kako bi se istom prilagodilo. Takođe, kako se ne bi određeni delovi teksta u nekim segmentima ponavljali, isti su izostavljeni, shodno tome, izostavljene su i reference koje prate izostavljene delove teksta.

7.1 Uvod

Jedna od najvećih, najstarijih i najkomercijalizovanijih industrija na svetu je tekstilna industrija [1]. Tekstilna industrija je važna grana prerađivačke industrije i od velikog je značaja za privredu jedne zemlje [2]. Danas je tekstilna industrija jedna od najglobaliziranih industrija. Shodno tome, preduslov uspeha je kontinuirano praćenje trenutnih tržišnih trendova u pogledu standarda, sirovina i tehničke opremljenosti proizvodnje [3]. Tekstilna industrija, kao veoma važna industrijska oblast, tehnički je i tehnološki veoma zahtevna.

Priliku za rast tekstilne proizvodnje mogu iskoristiti oni menadžeri i organizacije koje su spremne promeniti svoje poslovne paradigme i koje su otvorene za pokretanje promena i uvođenje novih informaciono-komunikacionih tehnologija (IKT) u proizvodnji. Tudor [4] naglašava da se nove tehnologije u tekstilnoj industriji razvijaju kako bi se unapredila proizvodnja i trgovina tekstila i odeće. Neki od ciljeva koje bi nove tehnologije i IKT trebalo da donesu su: „1. pružanje odgovora na nove modne trendove; 2. osiguranje efikasnosti i efektivnosti masovne proizvodnje primenom IKT-a (računarski potpomognutog dizajna) i 3. prilagođavanje sve sofisticiranijim kupcima (prodaja online putem veb platformi, nuđenje dodatne vrednosti kroz kvalitet ili cenu, osiguranje dugoročne veze itd.)” [5].

U današnjem konkurentnom poslovnom okruženju, kompanije sve više ulažu u potragu za novim načinima i pristupima u proizvodnji. Upotreba informaciono-komunikacionih tehnologija ima vitalnu ulogu i sve više dobija na značaju, posebno u situaciji dinamičnog tržišta i sve zahtevnijih potrošača. Današnje poslovanje savremenih organizacija nije zamislivo

bez podrške savremenih IKT sistema. Stoga IKT ima veliki uticaj na moderno društvo jer su načini na koje se razmenjuju informacije i podaci veći nego ikad [6].

Uloga IKT-a postaje sve važnija u svim aspektima života (obrazovanje, posao, zabava, zdravlje, itd.). Davison [7] ističe da se termin koristi naizmenično kako bi se pokrio celi spektar postojećih i potencijalnih IKT-a koji se koriste, uključujući kompjutere, lične komunikacione uređaje, digitalne video i zvučne sisteme, e-poštu, Internet, itd. IKT se uglavnom odnosi na tehnologije koje se koriste za pristup, prikupljanje, manipulaciju i predstavljanje ili prenošenje informacija. IKT tehnologije mogu uključivati hardver (npr. računare i druge uređaje); softverske aplikacije; i povezanost (npr. pristup internetu, infrastrukturu lokalne mreže, video konferencije). Upravo ono što je najvažnije kod IKT-a je sve veća konvergencija kompjuterskih, multimedijalnih i komunikacionih tehnologija, kao i brza stopa promena koja karakteriše tehnologije i njihovu upotrebu [8-9]. IKT se najčešće povezuje s dve glavne komponente: informatičkom tehnologijom (IT) i komunikacijskom tehnologijom (KT). IT se uglavnom odnosi na kompjuterski hardver i softver, dok se KT odnosi na internet komunikaciju [10]. IKT je širi koncept koji uključuje komunikacione uređaje, razne usluge, video konferencije, online učenje itd., kako bi se korisnicima omogućio pristup, skladište, prenos i manipulacija informacijama [11].

Veljović et al. [12] ističu da su najvažnije komponente informaciono-komunikacionih tehnologija računari. Istovremeno, primena i razvoj digitalnih komunikacija omogućili su lak, brz, efikasan i jeftin način razmene informacija. Stoga IKT uključuju raznolik skup tehnoloških alata koji se koriste za identifikaciju i organizovanje podataka i informacija. Murray [13] navodi da IKT proširuje koncept informacione tehnologije u kojoj se posebno ističe uloga i značaj integracije komunikacija, telekomunikacija i računara, kao i neophodnog softvera, skladišnog i audiovizuelnog sistema koji korisnicima daje mogućnost da pristupe, skladište i da dalje manipulišu informacijama.

Današnje poslovanje savremenih organizacija nije zamislivo bez podrške savremenih IKT sistema. Stoga IKT ima veliki uticaj na moderno društvo jer su načini na koje se razmenjuju informacije i podaci veći nego ikad. Zelene informaciono-komunikacione tehnologije (*Green information and communication technologies*) kao jedno područje koje je novo i u razvoju teži uspostavljanju ravnoteže između ovih tehnologija i životne sredine. Takođe, kako Din et al. [14] ističu, zelene IKT, kao koncept je uveden sa ciljem podrške implementaciji zelenog okruženja, tj. ima za cilj očuvanje energije kao jednog bitnog domena.

Ne postoji univerzalna definicija zelenih informacionih i komunikacionih tehnologija. Reimsbach-Kounatze [15] naglašava da se „zelene IKT odnose na proučavanje i praksu korišćenja računarskih resursa na efikasan, delotvoran i ekonomičan način“. Sarkis i Zhu [16] navode da se “zelene IKT više odnose na hardver i drugu infrastrukturu kojom se može bolje upravljati i dizajnirati iz perspektive životne sredine”. Andreopoulou [17] navodi da su zelene IKT "IKT alati, određene usluge i tehnologije koje u kombinaciji sa zelenim praksama i zelenim ponašanjem doprinose ne samo zaštiti okoline već i poboljšanju kvaliteta života". Radu [18] naglašava da je koherentnost između IKT-a i okoline relativno nova i da se korišćenje ekoloških kriterijuma često naziva zelenim IKT-om.

Usvajanje zelenih IKT nije lak zadatak i često je povezan sa određenim ograničenjima. Proces evaluacije zelenih IKT-a može biti izazovan zadatak. Međutim, problem zelene IKT evaluacije može se lako rešiti primenom VKO metoda.

Na osnovu prethodno iznetog, cilj poglavlja je strateška evaluacija usvajanja zelenih IKT-a u tekstilnoj industriji primenom ekstenzije *bipolar fuzzy* MULTIMOORA metode. Predložena ekstenzija se zasniva na *bipolar fuzzy* skupovima koje je razvio Zhang [19].

7.2 Računska procedura SVBFN-MULTIMOORA metode

Zhang je razvio *bipolar fuzzy* skupove [19]. Stanujkić et al. [20] predlaže ekstenziju MULTIMOORA metode zasnovane *Single-Valued Bipolar Fuzzy* (SVBFN) brojevima. Brauers [21] je inicijalno predložio poznatu MOORA metodu, nešto kasnije Brauers i Zavadskas [22] su predložili MULTIMOORA metodu. Do sada je metoda MULTIMOORA primenjena za rešavanje različitih problema u različitim oblastima, kao što su: ekonomija [23-25], izbor kadrova [26-29], izbor dobavljača [30-31], informaciono-komunikacione tehnologije [32-33], robotika [34], izbor dizajna kola u rudarstvu za usitnjavanje [35], evaluacija tehnologija skladištenja energije [36], itd.

Računski postupak SVBFN-MULTIMOORA metode može se prikazati na sledeći način [20]:

Korak 1. Evaluacija alternativa u odnosu na izabrani skup kriterijuma za svakog donosioca odluke (DO). U ovom koraku evaluacija se lako može sprovesti primenom devetostepene Likertove skale predložene od strane Stanujkić et al. [20].

Korak 2. Određivanje značaja evaluacionih kriterijuma za svakog DO.

Korak 3. Formiranje grupe matrice odlučivanja, kao što je predloženo u [20].

Korak 4. Određivanje grupnih težina evaluacionih kriterijuma na način kao što sledi:

$$w_j = \sum_{k=1}^K w_j^k \quad (1)$$

gde: w_j označava težinu kriterijuma j , i w_j^k označava težinu kriterijuma j dobijenu od DO k .

Korak 5. Određivanje značaja evaluiranih alternativa primenom *RS* pristupa. Ovaj korak se može objasniti dodatnim potkoracima:

Korak 5.1. Određivanje uticaja prihodnih i rashodnih kriterijuma za svaku alterantivu, kao što sledi:

$$Y_i^+ = \left(1 - \prod_{j \in \Omega_{\max}} (1 - r_{ij})^{w_j}, - \left(1 - \prod_{j \in \Omega_{\max}} (1 - (-r_{ij}))^{w_j} \right) \right), \quad (2)$$

$$Y_i^- = \left(1 - \prod_{j \in \Omega_{\min}} (1 - r_{ij})^{w_j}, - \left(1 - \prod_{j \in \Omega_{\min}} (1 - (-r_{ij}))^{w_j} \right) \right), \quad (3)$$

gde: Y_i^+ i Y_i^- označavaju značaj the alternative i dobijenu na osnovu prihodnih i rashodnih kriterijuma, respektivno; Y_i^+ i Y_i^- su SVBFN brojevi.

Evidentno je da je A_w operator korišćen za računanje uticaja prihodnih i rashodnih kriterijuma. is used

Korak 5.2. Transformacija Y_i^+ i Y_i^- u *crisp* vrednosti primenom *score* funkcije, kao što sledi:

$$y_i^+ = s(Y_i^+), \quad (4)$$

$$y_i^- = s(Y_i^-). \quad (5)$$

Korak 5.3. Računanje ukupnog značaja za svaku alternativu, kao što sledi:

$$y_i = y_i^+ - y_i^-. \quad (6)$$

Korak 6. Određivanje značaja evaluiranih alternativa primenom *RP* pristupa. Ovaj korak se može predstaviti dodatnim potkoracima:

Korak 6.1. Određivanje referentne tačke (RP). Koordinate *bipolar fuzzy* referentne tačke

$r^* = \{r_1^*, r_2^*, \dots, r_n^*\}$ može se odrediti kao što sledi:

$$r^* = \left\{ \left(\langle \max_i r_{ij}, \min_i r_{ij} \rangle | j \in \Omega_{\max} \right), \left(\langle \min_i r_{ij}, \max_i r_{ij} \rangle | j \in \Omega_{\min} \right) \right\} \quad (7)$$

gde: r_j^* označava koordinatu j referentne tačke.

Korak 6.2. Određivanje maksimalnog rastojanja od svake alternative do svih koordinata referentne tačke na sledeći način:

$$d_{ij}^{\max} = d_{\max}(r_{ij}, r_j^*) w_j, \quad (8)$$

gde d_{ij}^{\max} označava maksimalno rastojanje alternative i u odnosu na kriterijum j .

Korak 6.3. Određivanje maksimalnog rastojanja svake alternative se može izvršiti na sledeći način:

$$d_i^{\max} = \max_j d_{ij}^{\max}, \quad (9)$$

gde d_i^{\max} označava maksimalno rastojanje alternative i .

Korak 7. Određivanje značaja evaluiranih alternativa primenom FMF pristupa:

Korak 7.1. Računanje korisnosti za prihodne U_i^+ i rashodne U_i^- kriterijume, za svaku alternativu, kao što sledi:

$$U_i^+ = \left(\prod_{j \in \Omega_{\max}} (r_{ij})^{w_j}, - \prod_{j \in \Omega_{\max}} (-r_{ij})^{w_j} \right), \quad (10)$$

$$U_i^- = \left(\prod_{j \in \Omega_{\min}} (r_{ij})^{w_j}, - \prod_{j \in \Omega_{\min}} (-r_{ij})^{w_j} \right), \quad (11)$$

gde U_i^+ i U_i^- su SVBFN brojevi.

Korak 7.2. Transformacija U_i^+ i U_i^- u *crisp* vrednosti primenom *score* funkcije, kao što sledi:

$$u_i^+ = s(U_i^+), \quad (12)$$

$$u_i^- = s(U_i^-). \quad (13)$$

Korak 7.3. Određivanje ukupne korisnosti za svaku alternativu, kao što sledi:

$$u_i = \frac{u_i^+}{u_i^-}. \quad (14)$$

U slučaju kada se evaluacija sprovodi samo na osnovu prihodnih kriterijuma, u tom slučaju formula (14) ima sledeću formu:

$$u_i = u_i^+. \quad (15)$$

Korak 8. Određivanje finalnog redosleda rangiranja alternativa primenom teorije dominacije.

7.3 Numerička studija slučaja

U ovom delu rada razmatra se numerička studija slučaja kako bi se istakla predložena metodologija. Kao što je već istaknuto, postoji sve veća tendencija korišćenja zelenih IKT-a. Stoga, jedna tekstilna kompanija odlučila je uvesti zelene IKT. Iz tog razloga formiran je tim od 3 DO kako bi se evaluirale četiri alternative označene kao A_1, A_2, A_3, A_4 . Na osnovu pažljivog pregleda literature [37-38], odabrano je ukupno 5 kriterijuma za evaluaciju: C_1 - Ekonomska i energetska efikasnost (*Economic and energy efficiency*); C_2 - Ekološka prihvatljivost (*Eco-friendliness*); C_3 - Evolucija tehnologije (*Technology evolution*); C_4 - Poboljšane performanse sistema (*Improved systems performance*) i C_5 - Ukupan uticaj zelenih IKT-a na organizaciju (*Overall impact of green ICT on the organization*).

Rejtinzi evaluiranih alternativa u obliku SVBFN brojeva za tri donosioca odluka prikazani su u tabelama 1–3.

Tabela 1. Rejtinzi dobijeni od strane prvog od tri DO

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	<0,80, -0,20>	<0,80, -0,10>	<0,70, -0,30>	<0,80, -0,30>	<0,50, -0,20>
A_2	<0,40, -0,50>	<0,30, -0,30>	<0,40, -0,40>	<0,30, -0,30>	<0,20, -0,30>
A_3	<0,50, -0,30>	<0,40, -0,30>	<0,40, 0,10>	<0,50, -0,30>	<0,60, -0,50>
A_4	<0,90, -0,10>	<0,70, -0,10>	<0,70, 0,10>	<0,80, -0,30>	<0,70, -0,40>

Tabela 2. Rejtinzi dobijeni od strane drugog od tri DO

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	<1,00, -0,10>	<0,90, -0,20>	<0,80, -0,20>	<0,60, -0,10>	<0,70, -0,10>
A_2	<0,60, -0,30>	<0,80, -0,40>	<0,70, -0,20>	<0,50, -0,30>	<0,60, -0,30>
A_3	<0,70, -0,30>	<0,50, -0,30>	<0,60, -0,20>	<0,80, -0,20>	<0,50, -0,30>
A_4	<1,00, -0,10>	<1,00, -0,10>	<0,70, -0,20>	<0,80, -0,20>	<0,80, -0,20>

Tabela 3. Rejtinzi dobijeni od strane trećeg od tri DO

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	<1,00, -0,20>	<0,90, -0,20>	<0,80, -0,20>	<0,70, -0,20>	<0,60, -0,20>
A_2	<0,50, -0,40>	<0,40, -0,20>	<0,50, -0,20>	<0,70, -0,30>	<0,50, -0,30>
A_3	<0,40, -0,20>	<0,50, -0,20>	<0,50, -0,10>	<0,80, -0,30>	<0,60, -0,30>
A_4	<1,00, -0,20>	<1,00, -0,10>	<0,60, -0,10>	<0,70, -0,20>	<0,60, -0,30>

Grupna matrica odlučivanja je prikazana u tabeli 4.

Tabela 4. Grupna matrica odlučivanja

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	<1,00, -0,16>	<0,87, -0,16>	<0,77, -0,23>	<0,71, -0,19>	<0,60, -0,16>
A_2	<0,50, -0,40>	<0,56, -0,29>	<0,55, -0,26>	<0,52, -0,30>	<0,45, -0,30>
A_3	<0,55, -0,27>	<0,46, -0,27>	<0,50, -0,13>	<0,72, -0,27>	<0,56, -0,36>
A_4	<1,00, -0,13>	<1,00, -0,10>	<0,67, -0,13>	<0,77, -0,23>	<0,71, -0,09>

Grupne težine dobijene od strane tri DO primenom PIPRECIA metode [39] i primenom formule (1) su prikazane u tabeli 5.

Tabela 5. Grupne težine kriterijuma

	w_j^1	w_j^2	w_j^3	w_j
C_1	0,24	0,23	0,27	0,25
C_2	0,19	0,25	0,20	0,21
C_3	0,21	0,23	0,20	0,21
C_4	0,18	0,18	0,17	0,18
C_5	0,18	0,12	0,15	0,15
	1,00			

Na osnovu rejtinga iz tabele 4 i težina iz tabele 5, ukupni značaj, maksimalno rastojanje do RS i ukupna korisnost, izračunati su za svaku alternativu u sledećem koraku. Ukupni značaj prikazan je u tabeli 6 primenom formula (2)-(6).

Tabela 6. Ukupni značaj razmatranih alternativa

	Y_i^+	Y_i^-	y_i^+	y_i^-	y_i	Rang
A ₁	<1,00, -0,13>	<0,33, -0,07>	0,94	0,63	0,30	2
A ₂	<0,40, -0,23>	<0,22, -0,12>	0,59	0,55	0,04	3
A ₃	<0,38, -0,16>	<0,33, -0,13>	0,61	0,60	0,01	4
A ₄	<1,00, -0,08>	<0,39, -0,10>	0,96	0,64	0,31	1

Nakon toga, RP se određuje primenom formule (7). Maksimalno rastojanje do RP prikazano je u tabeli 7, a određeno je primenom formula (8)-(9).

Tabela 7. Rejtinzi alternativa dobijeni primenom RP pristupa

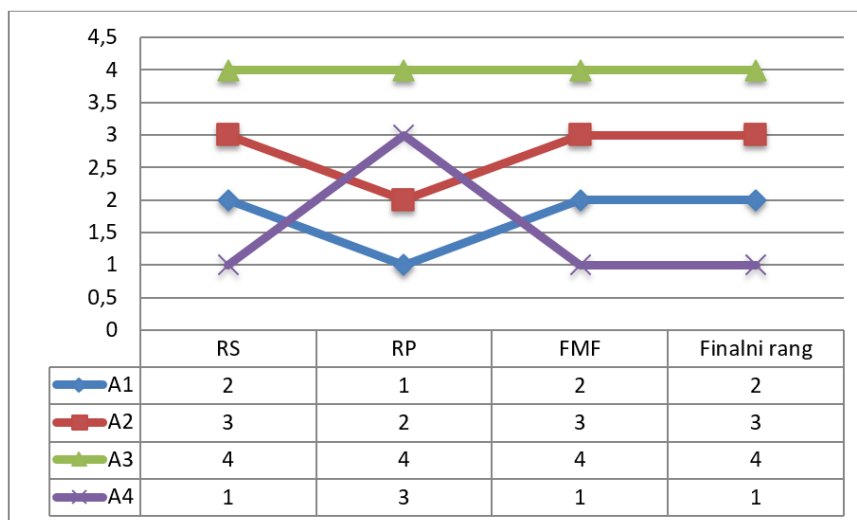
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	d_i^{\max}	Rang
A ₁	0,12	0,13	0,01	0,09	0,08	0,01	1
A ₂	0,25	0,22	0,11	0,06	0,07	0,06	2
A ₃	0,29	0,28	0,20	0,14	0,16	0,14	4
A ₄	0,13	0,10	0,11	0,15	0,19	0,10	3

Ukupna korisnost je prikazana u tabeli 8 i izračunata je primenom formula (10)-(14).

Tabela 8. Ukupna korisnost razmatranih alternativa

	U_i^+	U_i^-	u_i^+	u_i^-	u_i	Rang
A ₁	<0,92, -0,32>	<0,86, -0,53>	0,80	0,67	1,20	2
A ₂	<0,66, -0,46>	<0,77, -0,65>	0,60	0,56	1,07	3
A ₃	<0,63, -0,35>	<0,86, -0,65>	0,64	0,60	1,06	4
A ₄	<0,92, -0,24>	<0,90, -0,61>	0,84	0,64	1,30	1

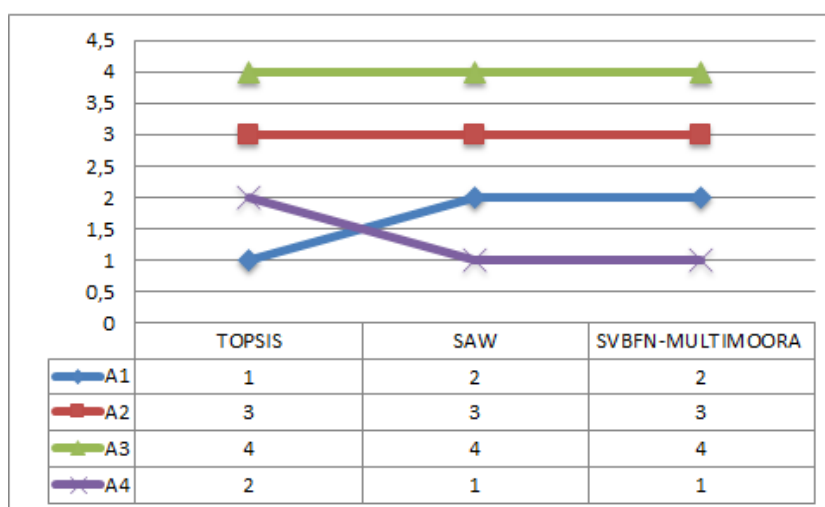
Uzimajući u obzir redosled rangiranja prikazan u tabelama 6, 7 i 8, najprikladnija alternativa je određena teorijom dominacije, kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Finalni redosled rangiranja razmatranih alternativa primenom teorije dominacije

Kao što se može videti sa slike 1, alternativa označena kao A_4 je najprikladnija u smislu evaluiranih kriterijuma.

Takođe, da bi se proverila pouzdanost predloženog pristupa i potvrdio redosled rangiranja dobijen primenom SVBFN-MULTIMOORA metode, izvršena je analiza osjetljivosti uz poređenje rezultata rangiranja dobijenih primenom SVBFN-MULTIMOORA metode sa 2 dobro poznate i dokazane VKO metode (TOPSIS i SAW). Dobijeni rezultati sprovedene analize osjetljivosti prikazani su na slici 2 i tabeli 9.



Slika 2. Rezultati analize osjetljivosti

Tabela 9. Finalni redosled rangiranja dobijen primenom TOPSIS metode i SAW metode

	TOPSIS		SAW	
	C_i	Rang	S_i	Rang
A_1	0,527	1	0,646	2
A_2	0,498	3	0,538	3
A_3	0,488	4	0,531	4
A_4	0,526	2	0,672	1

Takođe se iz tabele 9 može zaključiti da postoji mala nedoslednost u redosledu rangiranja razmatranih alternativa dobijena primenom TOPSIS metode, uzrokovana vrlo malom razlikom C_i vrednosti alternativa A_1 i A_4 koje su 0,527 i 0,526. Svaka mala promena u težini kriterijuma ili rejtinzima alternativa verovatno bi dovela do istog rangiranja alternativa.

7.4 Zaključak

Informaciono-komunikacione tehnologije imaju značajnu ulogu u obradi informacija i njihovoj transformaciji u znanje, što je osnovni uslov za stvaranje informacionog društva. Kao što je već rečeno, zelene IKT kao oblast koja je nova i u razvoju je usmerena ka uspostavljanju ravnoteže između ovih tehnologija i životne sredine. Usvajanje takvih tehnologija je vrlo složen i izazovan

zadatak. U ovom delu rada predlaže se primena *bipolar fuzzy* MULTIMOORA metode za evaluaciju usvajanja zelenih IKT-a u tekstilnoj industriji. U procesu evaluacije bila su uključena ukupno tri donosioca odluka (domenski eksperti), koji su evaluirali četiri alternative. Za potrebe evaluacije alternativa korišćeno je ukupno pet kriterijuma. Kada je u pitanju određivanje težina kriterijuma, primenjena je PIPRECA metoda, zbog svoje jednostavnosti i lakoće korišćenja, posebno kada se prikupljaju stavovi stručnjaka koji nisu bliski sa VKO metodama. Konačni rang alternativa određen je primenom *bipolar fuzzy* MULTIMOORA metode. Alternativa označena kao A₄ je najbolja u pogledu evaluacionih kriterijuma. Predloženi integrisani pristup (model) koji se zasniva na PIPRECIA metodi i *bipolar fuzzy* MULTIMOORA metodi pokazao se lakim, efikasnim i primenljivim za evaluaciju usvajanja zelenih IKT-a u tekstilnoj kompaniji. Dodatno, u cilju verifikacije predloženog pristupa, sprovedena je i analiza osetljivosti. Dobijeni rezultati su potvrdili adekvatnost i primenljivost predloženog pristupa. Takođe, predloženi VKO pristup mogao bi se koristiti i u drugim oblastima.

7.5 Literatura

- [1] Zia-Ur-Rehman, M., Baig, S. A., Abrar, M., Hashim, M., Amjad, F., Baig, I. A., & Usman, M. (2019). The impact of intellectual capital, organizational capabilities and innovation on firm performance of textile sector: a moderating effect of GSP plus. *Industria Textila*, 70(6), 572–578.
- [2] Karabasevic, D., Maksimovic, M., Stanujkic, D., Brzakovic, P., & Brzakovic, M. (2018). The evaluation of websites in the textile industry by applying ISO/IEC 9126-4 standard and the EDAS method. *Industria Textila*, 69(6), 489–494.
- [3] Kokeza, G., & Urošević, S. (2018). Strategic directions of the development of the textile and clothing industry in the Republic of Serbia. *Tekstilna industrija*, 66(4), 69–78.
- [4] Tudor, L. (2018). Change in textile and clothing industry. *Industria Textila*, 69(1), 37–43.
- [5] Lu, S., Mok, P. Y., & Jin, X. (2017). A new design concept: 3D to 2D textile pattern design for garments. *Computer-Aided Design*, 89, 35–49.
- [6] Stanujkic, D., Karabasevic, D., & Maksimovic, M. (2018). The application of information and communication technologies in the textile industry. *International scientific conference Contemporary trends in the textile industry*, 18th may, Belgrade, 55–62.
- [7] Davison, C. (2005). *Information technology and innovation in language education* (Vol. 1). Hong Kong University Press.
- [8] Toomey, R. (2001). *Schooling Issues Digest No 2: information and communication technology for teaching and learning*. Commonwealth Department of Education, Science and Training.
- [9] Lloyd, M. (2006). Towards a definition of the integration of ICT in the classroom. *AARE'05 Education Research Creative Dissent: Constructive*, 1–18.
- [10] Mamun, S. A. K., Danaher, P. A., & Rahman, M. M. (2017). University teachers' interactions with their online students at an australian university. In *Blended learning: Concepts, methodologies, tools, and applications* (pp. 1565-1595). IGI Global.
- [11] Tazhina, G. (2020). Regional University Partnership for Sustainable Development in the Age of Digital Technologies. In *Toward Sustainability Through Digital Technologies and Practices in the Eurasian Region* (pp. 152–174). IGI Global.
- [12] Veljović, A., Vulović, R., & Damnjanović, A. (2009). *Information and Communication Technologies in Management*. Faculty of Technical Sciences Čačak, Serbia.

- [13] Murray, J. (2011). Cloud network architecture and ICT-Modern network architecture, Retrieved from TechTarget Expert Community: <http://itknowledgeexchange.techtarget.com/modern-network-architecture/cloud-network-architecture-and-ict>
- [14] Din, N., Haron, S., & Ahmad, H. (2013). The level of awareness on the green ICT concept and self directed learning among Malaysian Facebook users. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 85, 464–473.
- [15] Reimsbach-Kounatze, C. (2009). Towards Green ICT Strategies: Assessing Policies and Programmes on ICT and the Environment. OECD Digital Economy Papers, No. 155, OECD Publishing, <http://dx.doi.org/10.1787/222431651031>.
- [16] Sarkis, J., & Zhu, H. (2008). Information technology and systems in China's circular economy: Implications for sustainability. *Journal of Systems and Information Technology*, 10, 3, 202–217
- [17] Andreopoulou, Z. (2012). Green Informatics: ICT for green and Sustainability. *Agrárinformatika/Journal of Agricultural Informatics*, 3(2), 1–8.
- [18] Radu, L. D. (2016). Determinants of green ICT adoption in organizations: a theoretical perspective. *Sustainability*, 8(8), 731.
- [19] Zhang, W. R. (1998). (Yin)(Yang) bipolar fuzzy sets. In 1998 IEEE international conference on fuzzy systems proceedings. IEEE world congress on computational intelligence (Cat. No. 98CH36228) (Vol. 1, pp. 835-840). IEEE.
- [20] Stanujkic, D., Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., Smarandache, F., & Brauers, W. K. (2019). A bipolar fuzzy extension of the MULTIMOORA method. *Informatica*, 30(1), 135–152.
- [21] Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies. *Technological and economic development of economy*, 16(1), 5–24.
- [22] Brauers, W. K. M. (2004). *Optimization Methods for a Stakeholder Society, a Revolution in Economic Thinking by Multi-Objective Optimization*. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- [23] Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and cybernetics*, 35(2), 445–469.
- [24] Brauers, W. K. M., & Ginevičius, R. (2010). The economy of the Belgian regions tested with MULTIMOORA. *Journal of Business Economics and management*, 11(2), 173–209.

- [25] Fedajev, A., Stanujkic, D., Karabašević, D., Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2020). Assessment of progress towards “Europe 2020” strategy targets by using the MULTIMOORA method and the Shannon Entropy Index. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118895.
- [26] Karabasevic, D., Stanujkic, D., Urosevic, S., & Maksimovic, M. (2015). Selection of candidates in the mining industry based on the application of the SWARA and the MULTIMOORA methods. *Acta Montanistica Slovaca*, 20(2), 116–124
- [27] Nabeeh, N. A., Abdel-Monem, A., & Abdelmouty, A. (2019). A hybrid approach of neutrosophic with multimoorra in application of personnel selection, *Neutrosophic Sets and Systems*, 30, 1-21
- [28] Baležentis, A., Baležentis, T., & Brauers, W. K. (2012). Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA. *Expert Systems with applications*, 39(9), 7961-7967.
- [29] Baležentis, A., Baležentis, T., & Brauers, W. K. (2012). MULTIMOORA-FG: a multi-objective decision making method for linguistic reasoning with an application to personnel selection. *Informatica*, 23(2), 173–190.
- [30] Balezentis, A., & Balezentis, T. (2011). An innovative multi-criteria supplier selection based on two-tuple MULTIMOORA and hybrid data. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 45(2), 37–56.
- [31] Tavana, M., Shaabani, A., Mansouri Mohammadabadi, S., & Varzгани, N. (2021). An integrated fuzzy AHP-fuzzy MULTIMOORA model for supply chain risk-benefit assessment and supplier selection. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 8(3), 238–261.
- [32] Aytaç Adalı, E., & Tuş Işık, A. (2017). The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem. *Journal of Industrial Engineering International*, 13(2), 229–237.
- [33] Chen, S. X., Wang, J. Q., & Wang, T. L. (2019). Cloud-based ERP system selection based on extended probabilistic linguistic MULTIMOORA method and Choquet integral operator. *Computational and Applied Mathematics*, 38(2), 1–32.
- [34] Liu, H. C., Zhao, H., You, X. Y., & Zhou, W. Y. (2018). Robot evaluation and selection using the hesitant fuzzy linguistic MULTIMOORA method. *Journal of Testing and Evaluation*, 47(2), 1405-1426.
- [35] Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Brauers, W.K. M., & Karabašević, D. (2015). An Extension of the MULTIMOORA Method for Solving Complex Decision-Making

- Problems based on the Use of Interval-valued Triangular Fuzzy Numbers, *Transformations in Business and Economics*, 14, 2B (35B), 355–377.
- [36] Zhang, C., Chen, C., Streimikiene, D., & Balezentis, T. (2019). Intuitionistic fuzzy MULTIMOORA approach for multi-criteria assessment of the energy storage technologies. *Applied Soft Computing*, 79, 410–423.
- [37] Shim, Y. H., Kim, K. Y., Cho, J. Y., Park, J. K., & Lee, B. G. (2009). Strategic priority of green ICT policy in Korea: Applying analytic hierarchy process. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 3(10), 301–305.
- [38] Masud, M., & Malik, N. (2012). A strategic model for evaluating energy efficient ICT infrastructures for sustainable environment. *J. Appl. Sci. Res*, 8(9), 4842-4853.
- [39] Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Smarandache, F., & Turskis, Z. (2017). The use of the pivot pairwise relative criteria importance assessment method for determining the weights of criteria, *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 2017, 20, 4, 116–133.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Imajući u vidu način izrade doktorske disertacije kao i da svako poglavlje u doktorskoj disertaciji ima zaključak, u ovom delu će biti dat osvrt i generalni zaključak za svako poglavlje te će se izvesti i diskusija vezana za hipoteze.

Poglavlje 2 nosi naziv “Integrirana simple weighted sum product metoda – WISP”. U navedenom poglavlju predložena je *crisp* VKO metoda koja se u velikoj meri bazira na MULTIMOORA metode, kao in a WASPAS i CoCoSo metodama. Može se reći da predstavlja pojednostavljeniju verziju MULTIMOORA metode. WISP metoda koristi mnogo jednostavniju postupak normalizacije i četiri mere korisnosti za određivanje ukupne korisnosti alternativa, samim tim i njihovo mnogo lakše rangiranje. Glavna prednost WISP metode je da ima računsku procedure koja je veoma laka i razumljiva. Sprovedeni numerički primer je potvrdio jednostavnost, primenljivost i korisnost WISP metode. Komparacijom rezultata WISP metode sa drugim metodama primetno je da su oni u skladu sa ostalim VKO metodama, shodno tome, time je predložena WISP metoda pokazala i svoju opravdanost. Verifikacija metode je izvršena publikacijom rada: “Stanujkic, D., Popovic, G., Karabasevic, D., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Ulutaš, A. (2021). An integrated simple weighted sum product method—WISP. IEEE Transactions on Engineering Management. – M21 kategorija”

Poglavlje 3 nosi naziv “Komparativna analiza simple WISP metode i nekih istaknutih VKO metoda: Python pristup”. U ovom poglavlju je sprovedeno poređenje rezultata primenom WISP metode i nekih istaknutih VKO metoda. Programski jezik *Python* i njegova *NumPy* biblioteka je korišćena za sve neophodne kalkulacije. Nakon nekoliko analiza, sprovedene numeričke ilustracije, dobijeni rezultati ukazuju i potvrđuju postojanje visoke korelacije rezultata dobijenih WISP metodom sa drugim VKO metodama, što dodatno potvrđuje upotrebljivost WISP metode za rešavanje VKO problema. Verifikacija analize je izvršena publikacijom rada: “Stanujkić, D., Karabašević, D., Popović, G., Zavadskas, E. K., Saračević, M., Stanimirović, P. S., Ulutaš, A., Katsikis, V. N. & Meidute-Kavaliauskiene, I. (2021). Comparative Analysis of the Simple WISP and Some Prominent MCDM Methods: A Python Approach. Axioms, 10(4), 347. – M22 kategorija”

Poglavlje 4 nosi naziv “Nova Fuzzy ekstenzija *simple* WISP metode”. U prethodnim poglavljima je predstavljena WISP metoda koja je namenjena za primenu sa *crisp* brojevima. Međutim, većina problema odlučivanja se odvija u okruženju koje često uključuje predviđanja,

neodređenost i nepreciznost podataka, što predstavlja značajna ograničenja kada je u pitanju primena klasičnih VKO metoda koje se zasnivaju na *crisp* brojevima. U ovom poglavlju je predstavljena ekstenzija WISP metode koja se zasniva na upotrebi trougaonih *fuzzy* brojeva. Predloženo proširenje je primenjeno za rešavanje dva primera, te nisu uočene bilo kakve slabosti predloženog proširenja. Shodno tome, *fuzzy* ekstenzija WISP metode se uspešno može koristiti za rešavanje problema odlučivanja u prisustvu neizvesnosti. Predloženi pristup je verifikovan i publikacijom rada “Karabašević, D., Ulutaš, A., Stanujkić, D., Saračević, M., & Popović, G. (2022). A New Fuzzy Extension of the Simple WISP Method. *Axioms*, 11(7), 332. – M22 kategorija”

Poglavlje 5 nosi naziv “*Single valued neutrosophic* ekstenzija *simple* WISP metode”. U navedenom poglavlju je predložena ekstenzija *simple* WISP metode koja se temelji na upotrebi *single-valued neutrosophic* brojeva. Upravo se ekstenzija i predlaže kako bi se rešili složeni problemi odlučivanja a koji su povezani sa procenama, nesigurnošću predviđanja, nepreciznostima i sl. Takođe, u cilju lakšeg prikupljanja stavova, predložen je i posebno dizajniran upitnik kao i odgovarajuće lingvističke varijable. U radu se predlaže i pristup za *deneutrosophy*-kaciju, odnosno transformaciju *single-valued neutrosophic* broja u *crisp* broj. Predložena ekstenzija se pokazala izuzetno korisnom zbog upotrebe tri funkcije članova kdo SVN brojeva. Rezultati sprovedenog ilustrativnog primera dokazuju pouzdanost i upotrebljivost pristupa. Predloženi pristup je verifikovan i publikacijom rada “Stanujkić, D., Karabasević, D., Popović, G., Smarandache, F., Stanimirović, P. S., Saračević, M., & Katsikis, V. N. (2022). A Single Valued Neutrosophic Extension of the Simple WISP Method. *Informatica*, 1-17. doi:10.15388/22-INFOR483. - M21a kategorija”

Poglavlje 6 nosi naziv “Ekstenzija TOPSIS metode zasnovana na primeni *single-valued neutrosophic* skupova i *Hamming* rastojanja”. U ovom poglavlju je predložena jedna od ekstenzija TOPSIS metode koje se zasniva na primeni *neutrosophic* skupova i *Hamming* rastojanja. TOPSIS metoda je izabrana kao jedan od istaknutih i najkorišćenijih VKO metoda, dok je dodatni cilj studije bio i da uvede upotrebu *Hamming* rastojanja kao jednu od alternative Euklidskom rastojanju. Shodno tome, istraživanje je i potvrdilo na opravdanu primenu *Hamming* rastojanja umesto Euklidskog rastojanja, upravo zbog jednostavnijeg računskog postupka, posebno kada je u pitanju upotreba *neutrosophic* skupova. Sprovedena numerička ilustracija je potvrdila pouzdanost predložene ekstenzije TOPSIS metode zasnovane na SVNN brojevima. Štaviše, predložena ekstenzija se pokazala efikasnom i lakom za upotrebu pri rešavanju složenih problema u domenu odlučivanja koji su često povezani sa nejasnoćama i

neizvesnostima. Predloženi pristup je verifikovan i publikacijom rada: “Karabašević, D., Stanujkić, D., Zavadskas, E. K., Stanimirović, P., Popović, G., Predić, B., & Ulutaš, A. (2020). A novel extension of the TOPSIS method adapted for the use of single-valued neutrosophic sets and hamming distance for e-commerce development strategies selection. *Symmetry*, 12(8), 1263. – M22 kategorija”.

Finalno poglavlje 7 nosi naiv “Primena *bipolar fuzzy* MULTIMOORA metode na primeru uvođenja zelenih IKT”. Cilj poglavlja je bio da se prethodno predložena ekstenzija *bipolar fuzzy* MULTIMOORA metode koristi za rešavanje problema uvođenja zelenih informaciono-komunikacionih tehnologija u tekstilnoj industriji. U numeričkoj studiji učestvovalo je tri domenska eksperta koji su imali za cilj da evaluiraju pet alternativa. Na osnovu uspešno sprovedenog numeričkog primera, može se reći da se predloženi integrisani pristup (model) pokazao uspešnim za rešavanje navedenog problema, te da je lak, efikasan i primenljiv. Verifikacija pristupa je izvršena dodatno sprovedenom analizom osetljivosti. Verifikacija integrisanog pristupa je izvršena publikacijom rada “Karabasevic, D., Radanov, P., Stanujkic, D., Popovic, G., & Predic, B. (2021). Going green: strategic evaluation of green ICT adoption in the textile industry by using bipolar fuzzy MULTIMOORA method. *Industria Textila*, 72(1), 3-10. – M23.”.

Nakon detaljne diskusije svih poglavlja, publikovanih radova u časopisima sa SCI liste, može se zaključiti da su polazne posebne hipoteze dokazane:

1. „Razvoj efikasnog modela / pristupa zasnovanog na višekriterijumskom odlučivanju olakšava proces odlučivanja i unapređuje proces donošenja odluka“.
2. „Razvoj ekstenzija metoda višekriterijumskog odlučivanja koje su prilagođene za primenu *fuzzy* i *neutrosophic* brojeva obezbeđuje mogućnost rešavanja problema odlučivanja koji su povezani sa neodređenostima i neizvesnostima“.

Imajući u vidu da su dokazane posebne hipoteze, samim tim, smatra se da je dokazana i glavna hipoteza koja glasi:

„Ukoliko se u procesu odlučivanja više primenjuju metode višekriterijumskog odlučivanja, koje nisu suviše zahtevne i kompleksne, utoliko će i donosioci odluka lakše sprovesti izbor alternativa i proces odlučivanja će biti efikasniji“.

FINALNI POPIS LITERATURE

Spisak literature na kojima se zasnivaju poglavlja u doktorskoj disertaciji

- Stanujkic, D., Popovic, G., Karabasevic, D., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Ulutaş, A. (2021). An integrated simple weighted sum product method—WISP. *IEEE Transactions on Engineering Management*. doi: 10.1109/TEM.2021.3075783.
- Stanujkić, D., Karabašević, D., Popović, G., Zavadskas, E. K., Saračević, M., Stanimirović, P. S., Ulutaş, A., Katsikis, V. N. & Meidute-Kavaliauskiene, I. (2021). Comparative Analysis of the Simple WISP and Some Prominent MCDM Methods: A Python Approach. *Axioms*, 10(4), 347.
- Karabašević, D., Ulutaş, A., Stanujkić, D., Saračević, M., & Popović, G. (2022). A New Fuzzy Extension of the Simple WISP Method. *Axioms*, 11(7), 332.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., Popovic, G., Smarandache, F., Stanimirović, P. S., Saračević, M., & Katsikis, V. N. (2022). A Single Valued Neutrosophic Extension of the Simple WISP Method. *Informatica*, 1-17. doi:10.15388/22-INFOR483.
- Karabašević, D., Stanujkić, D., Zavadskas, E. K., Stanimirović, P., Popović, G., Predić, B., & Ulutaş, A. (2020). A novel extension of the TOPSIS method adapted for the use of single-valued neutrosophic sets and hamming distance for e-commerce development strategies selection. *Symmetry*, 12(8), 1263
- Karabasevic, D., Radanov, P., Stanujkic, D., Popovic, G., & Predic, B. (2021). Going green: strategic evaluation of green ICT adoption in the textile industry by using bipolar fuzzy MULTIMOORA method. *Industria Textila*, 72(1), 3–10.

Spisak literature iz integralnog teksta doktorske disertacije

- Abdel-Basset, M., & Mohamed, M. (2019). A novel and powerful framework based on neutrosophic sets to aid patients with cancer. *Future Generation Computer Systems*, 98, 144–153.
- Abdel-Basset, M., Gamal, A., Manogaran, G., Son, L. H., & Long, H. V. (2020). A novel group decision making model based on neutrosophic sets for heart disease diagnosis. *Multimedia Tools and Applications*, 79(15), 9977-10002.
- Abdel-Basset, M., Mohamed, M., Elhoseny, M., Chiclana, F., & Zaiied, A. E. N. H. (2019). Cosine similarity measures of bipolar neutrosophic set for diagnosis of bipolar disorder diseases. *Artificial Intelligence in Medicine*, 101, 101735.
- Abdulsalam, K., Ighravwe, D., & Babatunde, M. (2018). A fuzzy-TOPSIS approach for techno-economic viability of lighting energy efficiency measure in public building projects. *Journal of Project Management*, 3(4), 197–206.
- Abootalebi, S., Hadi-Vencheh, A., & Jamshidi, A. (2019). Ranking the alternatives with a modified TOPSIS method in multiple attribute decision making problems. *IEEE transactions on engineering management*, 66(1), 1–6.
- Ahmad, U. (2016). Application of multiple criteria decision making techniques in tourism and hospitality industry: A systematic review. *Transformations in Business & Economics*, 15(1), 37.
- Alptekin, G. I., & Büyüközkan, G. (2011). An integrated case-based reasoning and MCDM system for Web based tourism destination planning. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2125–2132.
- Andreopoulou, Z. (2012). Green Informatics: ICT for green and Sustainability. *Agrárinformatika/Journal of Agricultural Informatics*, 3(2), 1–8.
- Ansari, A. Q., Biswas, R., & Aggarwal, S. (2011). Proposal for applicability of neutrosophic set theory in medical AI. *International Journal of Computer Applications*, 27(5), 5–11.
- Ansari, A., & Mela, C. F. (2003). E-customization. *Journal of marketing research*, 40(2), 131-145.

- Arabameri, A., Lee, S., Tiefenbacher, J. P., & Ngo, P. T. T. (2020). Novel ensemble of MCDM-artificial intelligence techniques for groundwater-potential mapping in arid and semi-arid regions (Iran). *Remote Sensing*, 12(3), 490.
- Atanassov, K., & Gargov, G. (1989). Interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 31, 343–349.
- Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, 20(1), 87–96.
- Aytaç Adalı, E., & Tuş Işık, A. (2017). The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem. *Journal of Industrial Engineering International*, 13(2), 229–237.
- Aytekin, A. (2021). Comparative analysis of the normalization techniques in the context of MCDM problems. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 4(2), 1–25.
- Bai, C., Rezaei, J., & Sarkis, J. (2017). Multicriteria green supplier segmentation. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 64(4), 515–528.
- Baležentis, A., & Baležentis, T. (2011). An innovative multi-criteria supplier selection based on two-tuple MULTIMOORA and hybrid data. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 45(2), 37–56.
- Baležentis, A., Baležentis, T., & Brauers, W. K. (2012). MULTIMOORA-FG: a multi-objective decision making method for linguistic reasoning with an application to personnel selection. *Informatica*, 23(2), 173–190.
- Baležentis, A., Baležentis, T., & Brauers, W. K. (2012). Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA. *Expert Systems with applications*, 39(9), 7961-7967.
- Baležentis, T., & Zeng, S. (2013). Group multi-criteria decision making based upon interval-valued fuzzy numbers: an extension of the MULTIMOORA method. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 543–550.
- Bana e Costa, C.A., & Vansnick, J.C. (1994). MACBETH—An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International transactions in operational Research*, 1(4), 489–500.

- Baušys, R., & Juodagalvienė, B. (2017). Garage location selection for residential house by WASPAS-SVNS method. *Journal of civil engineering and management*, 23(3), 421-429.
- Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management science*, 17(4), B-141.
- Bera, T., & Mahapatra, N. K. (2021). Ranking of thermal power plants focusing on air pollution: A Neutrosophic assessment. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128250.
- Bhangale, P. P., Agrawal, V. P., & Saha, S. K. (2004). Attribute based specification, comparison and selection of a robot. *Mechanism and Machine Theory*, 39(12), 1345-1366.
- Biswas, P., Pramanik, S., & Giri, B. C. (2016). TOPSIS method for multi-attribute group decision-making under single-valued neutrosophic environment. *Neural computing and Applications*, 27(3), 727–737.
- Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). Note - A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management science*, 31(6), 647–656.
- Brans, J.P. (1982). *L'ingénierie de la décision. Elaboration d'instruments d'aide à la décision. Méthode PROMETHEE*. In *L'aide à la Décision: Nature, Instruments et Perspectives d'avenir*; Nadeau, R., Landry, M., Eds.; Presses de l'Université Laval: Québec, QC, Canada, 183–214.
- Brauers, W. K. M. (2004). *Optimization Methods for a Stakeholder Society, a Revolution in Economic Thinking by Multi-Objective Optimization*. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- Brauers, W. K. M., & Ginevičius, R. (2010). The economy of the Belgian regions tested with MULTIMOORA. *Journal of Business Economics and management*, 11(2), 173–209.
- Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies. *Technological and economic development of economy*, 16(1), 5–24.
- Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2012). Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-objective optimization. *Informatika*, 23(1), 1–25.

- Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and cybernetics*, 35(2), 445–469.
- Broumi, S., Ye, J., & Smarandache, F. (2015). An extended TOPSIS method for multiple attribute decision making based on interval neutrosophic uncertain linguistic variables. *Neutrosophic Sets and Systems*, 8, 22–31.
- Buckley, J. J., Feuring, T., & Hayashi, Y. (2001). Fuzzy hierarchical analysis revisited. *European Journal of Operational Research*, 129(1), 48–64.
- Büyüközkan, G., Göçer, F., & Feyzioğlu, O. (2018). Cloud computing technology selection based on interval-valued intuitionistic fuzzy MCDM methods. *Soft Computing*, 22(15), 5091-5114.
- Cavallaro, F., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., & Mardani, A. (2019). Assessment of concentrated solar power (CSP) technologies based on a modified intuitionistic fuzzy topsis and trigonometric entropy weights. *Technological Forecasting and Social Change*, 140, 258–270.
- Chaffey, D., Hemphill, T., & Edmundson-Bird, D. (2019). *Digital business and e-commerce management*. Pearson UK.
- Chakraborty, S., & Zavadskas, E. K. (2014). Applications of WASPAS method in manufacturing decision making. *Informatica*, 25(1), 1–20.
- Chang, C. H., Lin, J. J., Linc, J. H., & Chiang, M. C. (2010). Domestic open-end equity mutual fund performance evaluation using extended TOPSIS method with different distance approaches. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4642-4649.
- Chattopadhyay, R., Das, P. P., & Chakraborty, S. (2022). Development of a rough-MABAC-DoE-based metamodel for supplier selection in an iron and steel industry. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 5(1), 20–40.
- Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 114(1), 1–9.
- Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). Fuzzy multiple attribute decision making methods. In *Fuzzy multiple attribute decision making* (pp. 289-486). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Chen, S. X., Wang, J. Q., & Wang, T. L. (2019). Cloud-based ERP system selection based on extended probabilistic linguistic MULTIMOORA method and Choquet integral operator. *Computational and Applied Mathematics*, 38(2), 1–32.
- Chen, T. Y., & Tsao, C. Y. (2008). The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis. *Fuzzy sets and systems*, 159(11), 1410-1428.
- Cheng, C. B. (2004). Group opinion aggregation based on a grading process: A method for constructing triangular fuzzy numbers. *Computers & Mathematics with Applications*, 48(10-11), 1619-1632.
- Chu, T. C., & Lin, Y. C. (2003). A fuzzy TOPSIS method for robot selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21(4), 284–290.
- Colombini, D., & Occhipinti, E. (2018). Scientific basis of the OCRA method for risk assessment of biomechanical overload of upper limb, as preferred method in ISO standards on biomechanical risk factors. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 44(4), 436–438.
- Ćurčić, N., Piljan, I., & Simonović, Z. (2019). Marketing concept in insurance companies. *Ekonomika*, 65(3), 21–33.
- Datta, S., Sahu, N., & Mahapatra, S. (2013). Robot selection based on grey-MULTIMOORA approach. *Grey Systems: Theory and Application*, 3(2), 201–232.
- Davison, C. (2005). *Information technology and innovation in language education (Vol. 1)*. Hong Kong University Press.
- Din, N., Haron, S., & Ahmad, H. (2013). The level of awareness on the green ICT concept and self directed learning among Malaysian Facebook users. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 85, 464–473.
- Dorfeshan, Y., Mousavi, S. M., Mohagheghi, V., & Vahdani, B. (2018). Selecting project-critical path by a new interval type-2 fuzzy decision methodology based on MULTIMOORA, MOOSRA and TPOP methods. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 160–178.
- dos Santos, B. M., Godoy, L. P., & Campos, L. M. (2019). Performance evaluation of green suppliers using entropy-TOPSIS-F. *Journal of cleaner production*, 207, 498–509.

- Efe, B. (2019). Website Evaluation Using Interval Type-2 Fuzzy-Number-Based TOPSIS Approach. In *Multi-Criteria Decision-Making Models for Website Evaluation* (pp. 166-185). IGI Global.
- Elhassouny, A., & Smarandache, F. (2016). Neutrosophic-simplified-TOPSIS multi-criteria decision-making using combined simplified-TOPSIS method and neutrosophics. In *Proc. of 2016 IEEE international conference on fuzzy systems (FUZZ-IEEE), 24-29 July 2016, Vancouver, BC, Canada.* (pp. 2468-2474).
- Elhassouny, A., Idbrahim, S., & Smarandache, F. (2019). Machine learning in Neutrosophic Environment: A Survey. *Neutrosophic Sets and Systems*, 28(1), 58–68.
- Farshidi, S., Jansen, S., España, S., & Verkleij, J. (2020). Decision support for blockchain platform selection: Three industry case studies. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(4), 1109-1128.
- Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A., & Stević, Ž. (2019). FUCOM method in group decision-making: Selection of forklift in a warehouse. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49–65.
- Fedajev, A., Stanujkic, D., Karabašević, D., Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2020). Assessment of progress towards “Europe 2020” strategy targets by using the MULTIMOORA method and the Shannon Entropy Index. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118895.
- Garg, H. (2020). Decision making analysis based on sine trigonometric operational laws for single-valued neutrosophic sets and their applications. *Applied and Computational Mathematics*, 19(2), 255–276.
- Garg, H. (2020). Multiple attribute decision making based on immediate probabilities aggregation operators for single-valued and interval neutrosophic sets. *Journal of Applied Mathematics and Computing*, 63(1), 619–653.
- Garg, H. (2020). Novel neutrality aggregation operators-based multiattribute group decision making method for single-valued neutrosophic numbers, *Soft Computing*, 24(14), 10327–10349.
- Garg, H. (2022). SVNMPR: A new single-valued neutrosophic multiplicative preference relation and their application to decision-making process. *International Journal of Intelligent Systems*, 37(3), 2089–2130.

- Gautam, S. S., & Singh, S. R. (2018). An improved-based TOPSIS method in interval-valued intuitionistic fuzzy environment. *Life Cycle Reliability and Safety Engineering*, 7(2), 81-88.
- Genç, T., & Filipe, J. A. (2016). A fuzzy MCDM approach for choosing a tourism destination in Portugal. *International Journal of Business and Systems Research*, 10(1), 23–44.
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Amiri, M., & Esmaeili, A. (2016). Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets. *Journal of Cleaner Production*, 137, 213–229.
- Goyal, S., Sergi, B. S., & Esposito, M. (2019). Literature review of emerging trends and future directions of e-commerce in global business landscape. *World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development*, 15(1/2), 226–255.
- Gul, M., Ak, M. F., & Guneri, A. F. (2019). Pythagorean fuzzy VIKOR-based approach for safety risk assessment in mine industry. *Journal of Safety Research*, 69, 135–153.
- Gupta, H., & Barua, M. K. (2017). Supplier selection among SMEs on the basis of their green innovation ability using BWM and fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 152, 242–258.
- Gupta, R., Sachdeva, A., & Bhardwaj, A. (2012). Selection of logistic service provider using fuzzy PROMETHEE for a cement industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23, 899–921.
- Hafezalkotob, A., & Hafezalkotob, A. (2016). Extended MULTIMOORA method based on Shannon entropy weight for materials selection. *Journal of Industrial Engineering International*, 12(1), 1–13.
- Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., & Sayadi, M. K. (2016). Extension of MULTIMOORA method with interval numbers: an application in materials selection. *Applied Mathematical Modelling*, 40(2), 1372-1386.
- Hajli, M. (2013). A research framework for social commerce adoption. *Information Management & Computer Security*, 21(3), 144–154.
- Hassanpour, M., & Pamucar, D. (2019). Evaluation of Iranian household appliance industries using MCDM models. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(3), 1–25.

- Hosseini, S. M., & Paydar, M. M. (2022). Examining and prioritizing the factors affecting tourist absorption for ecotourism centers utilizing MCDM tools. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 15(1), 17–30.
- Hua, N., Hight, S., Wei, W., Ozturk, A. B., Zhao, X. R., Nusair, K., & DeFranco, A. (2019). The power of e-commerce. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 31(4), 1906-1923.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*. Berlin: Springer –Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Işık, A. T., & Adalı, E. A. (2016). A new integrated decision making approach based on SWARA and OCRA methods for the hotel selection problem. *International Journal of Advanced Operations Management*, 8(2), 140–151.
- Izadikhah, M. (2009). Using the Hamming distance to extend TOPSIS in a fuzzy environment. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 231(1), 200–207.
- Jaukovic Jovic, K., Jovic, G., Karabasevic, D., Popovic, G., Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., & Thanh Nguyen, P. (2020). A Novel Integrated PIPRECIA–Interval-Valued Triangular Fuzzy ARAS Model: E-Learning Course Selection. *Symmetry*, 12(6), 928.
- Jayaparthasarathy, G., Little Flower, V. F., & Dasan, M. A. (2019). Neutrosophic Supra Topological Applications in Data Mining Process. *Neutrosophic Sets and Systems*, 27(1), 80–97.
- Johnson, G., Whittington, R., Scholes, K., Angwin, D. N., & Regnér, P. (2017). *Exploring strategy* (No. 11th e). Pearson.
- Kahraman, C., & Otay, İ. (2019). *Fuzzy multi-criteria decision-making using neutrosophic sets*. Springer.
- Kahraman, C., Oztaysi, B., & Cevik Onar, S. (2020). Single & interval-valued neutrosophic AHP methods: Performance analysis of outsourcing law firms. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(1), 749–759.

- Karabasevic, D., Maksimovic, M., Stanujkic, D., Brzakovic, P., & Brzakovic, M. (2018). The evaluation of websites in the textile industry by applying ISO/IEC 9126-4 standard and the EDAS method. *Industria Textila*, 69(6), 489–494.
- Karabasevic, D., Stanujkic, D., Maksimovic, M., Popovic, G., & Momcilovic, O. (2019). An Approach to Evaluating the Quality of Websites Based on the Weighted Sum Preferred Levels of Performances Method. *Acta Polytechnica Hungarica*, 16(5), 195–215.
- Karabasevic, D., Stanujkic, D., Urosevic, S., & Maksimovic, M. (2015). Selection of candidates in the mining industry based on the application of the SWARA and the MULTIMOORA methods. *Acta Montanistica Slovaca*, 20(2), 116–124.
- Karabašević, D., Stanujkić, D., Zavadskas, E. K., Stanimirović, P., Popović, G., Predić, B., & Ulutaš, A. (2020). A novel extension of the TOPSIS method adapted for the use of single-valued neutrosophic sets and hamming distance for e-commerce development strategies selection. *Symmetry*, 12(8), 1263.
- Karagoz, S., Deveci, M., Simic, V., Aydin, N., & Bolukbas, U. (2020). A novel intuitionistic fuzzy MCDM-based CODAS approach for locating an authorized dismantling center: a case study of Istanbul. *Waste Management & Research*, 38(6), 660–672.
- Karamaşa, Ç. (2021). Ranking service quality using multi-criteria decision-making methods: Example of erzurum province. *Journal of process management and new technologies*, 9(3-4), 1–12.
- Kazimieras Zavadskas, E., Baušys, R., & Lazauskas, M. (2015). Sustainable assessment of alternative sites for the construction of a waste incineration plant by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set. *Sustainability*, 7(12), 15923-15936.
- Kelemenis, A., & Askounis, D. (2010). A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection. *Expert systems with applications*, 37(7), 4999-5008.
- Kelemenis, A., Ergazakis, K., & Askounis, D. (2011). Support managers' selection using an extension of fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2774-2782.
- Kersuliene, V., & Turskis, Z. (2011). Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(4), 645–666.

- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243–258.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435–451.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 50(3), 25–44.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2018). Simultaneous evaluation of criteria and alternatives (SECA) for multi-criteria decision-making. *Informatica*, 29(2), 265–280.
- Khan, N. Z., Ansari, T. S. A., Siddiquee, A. N., & Khan, Z. A. (2019). Selection of E-learning websites using a novel Proximity Indexed Value (PIV) MCDM method. *Journal of Computers in Education*, 6(2), 241–256.
- Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B. T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., ... & Prakash, I. (2019). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 573, 311–323.
- Kildiene, S. (2013). Assessment of opportunities for construction enterprises in European Union member states using the MULTIMOORA method. *Procedia Engineering*, 57, 557–564.
- Kokeza, G., & Urošević, S. (2018). Strategic directions of the development of the textile and clothing industry in the Republic of Serbia. *Tekstilna industrija*, 66(4), 69–78.
- Kumar, R., & Ray, A. (2015). Selection of material under conflicting situation using simple ratio optimization technique. In *Proceedings of Fourth International Conference on Soft Computing for Problem Solving* (pp. 513-519). Springer, New Delhi.
- Kutlu Gundogdu, F., & Kahraman, C. (2019). Extension of WASPAS with spherical fuzzy sets. *Informatica*, 30(2), 269–292.

- Kwok, P. K., & Lau, H. Y. (2019). Hotel selection using a modified TOPSIS-based decision support algorithm. *Decision Support Systems*, 120, 95–105.
- Laudon, K. C., & Traver, C. G. (2016). *E-commerce: business, technology, society*. Pearson, Essex, England.
- Li, D.F. (2010). A ratio ranking method of triangular intuitionistic fuzzy numbers and its application to MADM problems. *Computers & Mathematics with Applications*, 60, 1557–1570.
- Li, Y., Liu, P., & Chen, Y. (2016). Some single valued neutrosophic number heronian mean operators and their application in multiple attribute group decision making. *Informatica*, 27(1), 85–110.
- Liou, T. S., & Wang, M. J. J. (1992). Ranking fuzzy numbers with integral value. *Fuzzy sets and systems*, 50(3), 247–255.
- Liu, H. C., Zhao, H., You, X. Y., & Zhou, W. Y. (2018). Robot evaluation and selection using the hesitant fuzzy linguistic MULTIMOORA method. *Journal of Testing and Evaluation*, 47(2), 1405-1426.
- Lloyd, M. (2006). Towards a definition of the integration of ICT in the classroom. *AARE'05 Education Research Creative Dissent: Constructive*, 1-18.
- Lu, S., Mok, P. Y., & Jin, X. (2017). A new design concept: 3D to 2D textile pattern design for garments. *Computer-Aided Design*, 89, 35–49.
- Luo, M., Wu, L., Zhou, K., & Zhang, H. (2019). Multi-criteria decision making method based on the single valued neutrosophic sets. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 37, 2403–2417.
- MacCrimmon, K. R. (1968). *Decisionmaking among multiple-attribute alternatives: a survey and consolidated approach*. Rand Corp Santa Monica Ca.
- Madić, M., Petković, D., & Radovanović, M. (2015). Selection of non-conventional machining processes using the OCRA method. *Serbian Journal of Management*, 10(1), 61–73.
- Magnusson, D., & Hermelin, B. (2019). ICT development from the perspective of connectivity and inclusion—the operation of a local digital agenda in Sweden. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 1–15.

- Mamun, S. A. K., Danaher, P. A., & Rahman, M. M. (2017). University teachers' interactions with their online students at an Australian university. In *Blended learning: Concepts, methodologies, tools, and applications* (pp. 1565-1595). IGI Global.
- Masud, M., & Malik, N. (2012). A strategic model for evaluating energy efficient ICT infrastructures for sustainable environment. *J. Appl. Sci. Res*, 8(9), 4842-4853.
- Mathew, M., Chakraborty, R. K., & Ryan, M. J. (2020). Selection of an optimal maintenance strategy under uncertain conditions: An interval type-2 fuzzy AHP-TOPSIS method. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 66, 1–14.
- Meng, F., Tang, J., Zhang, S., & Xu, Y. (2020). Public-private partnership decision making based on correlation coefficients of single-valued neutrosophic hesitant fuzzy sets. *Informatica*, 31(2), 359–397.
- Miller, D. W., & Starr, K. (1969). *Executive Decisions and Operations Research*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Murray, J. (2011). Cloud network architecture and ICT-Modern network architecture, Retrieved from TechTarget Expert Community: <http://itknowledgeexchange.techtarget.com/modern-network-architecture/cloud-network-architecture-and-ict>
- Nabeeh, N. A., Abdel-Monem, A., & Abdelmouty, A. (2019). A hybrid approach of neutrosophic with multimoora in application of personnel selection, *Neutrosophic Sets and Systems*, 30, 1–21
- Nanayakkara, C., Yeoh, W., Lee, A., & Moayedikia, A. (2019). Deciding discipline, course and university through TOPSIS. *Studies in Higher Education*, 1-16, doi:10.1080/03075079.2019.1616171.
- Nica, E. (2015). ICT innovation, internet sustainability, and economic development. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 3(3), 24–29.
- Opricovic, S. (1998). *Multicriteria optimization of civil engineering systems*. Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2003). Defuzzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 11(05), 635–652.

- Özdağoğlu, A., Keleş, M. K., Altınata, A., & Ulutaş, A. (2021). Combining different MCDM methods with the Copeland method: An investigation on motorcycle selection. *Journal of process management and new technologies*, 9(3-4), 13–27.
- Pamučar, D., & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). *Expert systems with applications*, 42(6), 3016-3028.
- Pamucar, D., Stevic, Z., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full consistency method (FUCOM). *Symmetry*, 10(9), 393.
- Parkan, C. (1994). Operational competitiveness ratings of production units. *Managerial and Decision Economics*, 15(3), 201–221.
- Peng, J. J., Wang, J. Q., Zhang, H. Y., & Chen, X. H. (2014). An outranking approach for multi-criteria decision-making problems with simplified neutrosophic sets. *Applied Soft Computing*, 25, 336–346.
- Peng, K. H., & Tzeng, G. H. (2012). Strategies for promoting tourism competitiveness using a hybrid MCDM model. In *Intelligent decision technologies*. Springer, Berlin, Heidelberg. (pp. 107–115)
- Peng, X., & Huang, H. (2020). Fuzzy decision making method based on CoCoSo with critic for financial risk evaluation. *Technological and Economic Development of Economy*, 26(4), 695–724.
- Peng, X., & Smarandache, F. (2020). A decision-making framework for China's rare earth industry security evaluation by neutrosophic soft CoCoSo method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39(5), 7571-7585.
- Peng, X., Zhang, X., & Luo, Z. (2020). Pythagorean fuzzy MCDM method based on CoCoSo and CRITIC with score function for 5G industry evaluation. *Artificial Intelligence Review*, 53(5), 3813-3847.
- Popovic, G., Stanujkic, D., Mimovic, P., Milovanovic, G., Karabasevic, D., Brzakovic, P., & Brzakovic, A. (2021). An integrated SWOT–extended PIPRECIA model for identifying key determinants of tourism development: The case of Serbia. *Acta geographica Slovenica*, 61(2), 23–40.
- Popović, M. (2021). An MCDM approach for personnel selection using the CoCoSo method. *Journal of process management and new technologies*, 9(3-4), 78–88.

- Pratihari, J., Kumar, R., Dey, A., & Broumi, S. (2020). Transportation problem in neutrosophic environment. In *Neutrosophic Graph Theory and Algorithms* (pp. 180-212). IGI Global.
- Radu, L. D. (2016). Determinants of green ICT adoption in organizations: a theoretical perspective. *Sustainability*, 8(8), 731.
- Rani, P., Ali, J., Krishankumar, R., Mishra, A. R., Cavallaro, F., & Ravichandran, K. S. (2021). An Integrated Single-Valued Neutrosophic Combined Compromise Solution Methodology for Renewable Energy Resource Selection Problem. *Energies*, 14(15), 4594.
- Ranjbar, H. R., & Nekooie, M. A. (2018). An improved hierarchical fuzzy TOPSIS approach to identify endangered earthquake-induced buildings. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 76, 21–39.
- Reimsbach-Kounatze, C. (2009). *Towards Green ICT Strategies: Assessing Policies and Programmes on ICT and the Environment*. OECD Digital Economy Papers, No. 155, OECD Publishing, <http://dx.doi.org/10.1787/222431651031>.
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57.
- Romania-tours Available online: <https://www.viator.com/Romania-tours/Nature-and-Wildlife/> (pristupljeno 29.09. 2021).
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, 2(8), 57–75.
- Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of electre methods. *Theory and Decision*, 31, 49–73. <https://doi.org/10.1007/BF00134132>
- Ryglova, K., Rasovska, I., & Sacha, J. (2017). Rural tourism-evaluating the quality of destination. *European Countryside*, 9(4), 769–788.
- Saaty, L. T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill Company, New York, NY, USA.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T.L. (1978). Modeling unstructured decision problems—The theory of analytical hierarchies. *Mathematics and computers in simulation*, 20(3), 147–158.

- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- Sahin, R. (2014). Multi-criteria neutrosophic decision making method based on score and accuracy functions under neutrosophic environment. arXiv preprint arXiv:1412.5202.
- Samanlioglu, F., Taskaya, Y. E., Gulen, U. C., & Cokcan, O. (2018). A fuzzy AHP–TOPSIS-based group decision-making approach to IT personnel selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20(5), 1576-1591.
- Sandberg, K. W., & Håkansson, F. (2020). Strategical Use of ICT in Microenterprises: A Case Study. *International Journal of E-Entrepreneurship and Innovation (IJEI)*, 10(1), 1-13.
- Sang, X., Liu, X., & Qin, J. (2015). An analytical solution to fuzzy TOPSIS and its application in personnel selection for knowledge-intensive enterprise. *Applied Soft Computing*, 30, 190–204.
- Sarkar, A., Panja, S. C., Das, D., & Sarkar, B. (2015). Developing an efficient decision support system for non-traditional machine selection: an application of MOORA and MOOSRA. *Production & Manufacturing Research*, 3(1), 324–342.
- Sarkis, J., & Zhu, H. (2008). Information technology and systems in China's circular economy: Implications for sustainability. *Journal of Systems and Information Technology*, 10, 3, 202–217
- Satty, T. L. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.
- Sen, R. (2005). Optimal search engine marketing strategy. *International Journal of Electronic Commerce*, 10(1), 9–25.
- Sengur, A., Budak, U., Akbulut, Y., Karabatak, M., & Tanyildizi, E. (2019). A survey on neutrosophic medical image segmentation. In *Neutrosophic Set in Medical Image Analysis* (pp. 145-165). Academic Press.
- Shanian, A., & Savadogo, O. (2006). TOPSIS multiple-criteria decision support analysis for material selection of metallic bipolar plates for polymer electrolyte fuel cell. *Journal of Power Sources*, 159(2), 1095-1104.
- Shao, Q. G., Liou, J. J., Weng, S. S., & Su, P. (2020). Constructing an entrepreneurship project evaluation system using a hybrid model. *Journal of Business Economics and Management*, 21(5), 1329-1349.

- Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., & Tarokh, M. J. (2011). A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting. *Expert systems with applications*, 38(10), 12160-12167.
- Shim, Y. H., Kim, K. Y., Cho, J. Y., Park, J. K., & Lee, B. G. (2009). Strategic priority of green ICT policy in Korea: Applying analytic hierarchy process. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 3(10), 301–305.
- Smarandache, F. (1998). *Neutrosophy Probability Set and Logic*. Rehoboth, American Research Press, USA.
- Smarandache, F. (1999). *A Unifying Field in Logics. Neutrosophy: Neutrosophic Probability, Set and Logic*. Rehoboth, American Research Press, USA.
- Smarandache, F. (2005). Neutrosophic set-a generalization of the intuitionistic fuzzy set. *International journal of pure and applied mathematics*, 24(3), 287.
- Smarandache, F. (2020). The Score, Accuracy, and Certainty Functions determine a Total Order on the Set of Neutrosophic Triplets (T, I, F). *Neutrosophic Sets and Systems*, 38, (1), 1–14.
- Smith, P. (2019). Exploring public transport sustainability with neutrosophic logic. *Transportation Planning and Technology*, 42(3), 257–273.
- Solangi, Y. A., Tan, Q., Mirjat, N. H., & Ali, S. (2019). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117655.
- Srinivasan, V., & Shocker, A. D. (1973). Linear programming techniques for multidimensional analysis of preferences. *Psychometrika*, 38(3), 337–369.
- Stanujkić, D., & Karabašević, D. (2018). An extension of the WASPAS method for decision-making problems with intuitionistic fuzzy numbers: a case of website evaluation. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 29–39.
- Stanujkic, D., & Zavadskas, E. K. (2015). A modified weighted sum method based on the decision-maker's preferred levels of performances. *Studies in Informatics and Control*, 24(4), 461–470.

- Stanujkic, D., Djordjevic, B., & Djordjevic, M. (2013). Comparative analysis of some prominent MCDM methods: A case of ranking Serbian banks. *Serbian journal of management*, 8(2), 213–241.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., & Maksimovic, M. (2018). The application of information and communication technologies in the textile industry. *International scientific conference Contemporary trends in the textile industry*, 18th may, Belgrade, 55–62.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., Maksimovic, M., Popovic, G., & Brzakovic, M. (2019). Evaluation of the e-commerce development strategies. *Quaestus*, 1(14), 144–152.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., Popovic, G., & Sava, C. (2021). Simplified Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment (Piprecia-S) Method. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 24(4), 141–154.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., Popovic, G., Smarandache, F., Stanimirović, P. S., Saračević, M., & Katsikis, V. N. (2022). A Single Valued Neutrosophic Extension of the Simple WISP Method. *Informatica*, 1–17. <https://doi.org/10.15388/22-INFOR483>
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., Smarandache, F., & Popovic, G. (2020). A novel approach for assessing the reliability of data contained in a single valued neutrosophic number and its application in multiple criteria decision making. *International Journal of Neutrosophic Science*, 11(1), 22–29.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., Smarandache, F., Zavadskas, E. K., & Maksimovic, M. (2019). An innovative approach to evaluation of the quality of websites in the tourism industry: A novel MCDM approach based on bipolar neutrosophic numbers and the hamming distance. *Transformations in Business & Economics*, 18, 1(46), 149–162.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., Smarandache, F., & Brauers, W. K. (2019). A bipolar fuzzy extension of the MULTIMOORA method. *Informatica*, 30(1), 135–152.
- Stanujkic, D., Magdalinovic, N., Milanovic, D., Magdalinovic, S., & Popovic, G. (2014). An efficient and simple multiple criteria model for a grinding circuit selection based on MOORA method. *Informatica*, 25(1), 73–93.
- Stanujkic, D., Popovic, G., Karabasevic, D., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Ulutaş, A. (2021). An integrated simple weighted sum product method—WISP. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–12. doi: 10.1109/TEM.2021.3075783.

- Stanujkic, D., Popovic, G., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., & Binkyte-Veliene, A. (2020). Assessment of progress towards achieving Sustainable Development Goals of the “Agenda 2030” by using the CoCoSo and the Shannon Entropy methods: The case of the EU Countries. *Sustainability*, 12(14), 5717.
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Brauers, W. K., & Karabasevic, D. (2015). An extension of the MULTIMOORA method for solving complex decision-making problems based on the use of interval-valued triangular fuzzy numbers. *Transformations in Business and Economics*, 14(2B), 355–375.
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Smarandache, F., & Turskis, Z. (2017). The use of the pivot pairwise relative criteria importance assessment method for determining the weights of criteria. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 20, 116–133.
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Turskis, Z., & Keršulienė, V. (2017). New group decision-making ARCAS approach based on the integration of the SWARA and the ARAS methods adapted for negotiations. *Journal of Business Economics and Management*, 18(4), 599–618.
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Liu, S., Karabasevic, D., & Popovic, G. (2017). Improved OCRA method based on the use of interval grey numbers. *Journal of Grey System*, 29(4), 49–60.
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Smarandache, F., Brauers, W. K., & Karabasevic, D. (2017). A neutrosophic extension of the MULTIMOORA method. *Informatika*, 28(1), 181–192.
- Stanujkic, D., Zavadskas, K.E., & Tamošaitienė, J. (2015). An approach to measuring website quality in the rural tourism industry based on Atanassov intuitionistic fuzzy sets. *E+M Ekonomie a Management*, 18(4), 461–470.
- Štirbanović, Z., Stanujkić, D., Miljanović, I., & Milanović, D. (2019). Application of MCDM methods for flotation machine selection. *Minerals Engineering*, 137, 140–146.
- Sun, C. C. (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert systems with applications*, 37(12), 7745-7754.
- Sun, C. C., & Lin, G. T. (2009). Using fuzzy TOPSIS method for evaluating the competitive advantages of shopping websites. *Expert Systems with Applications*, 36(9), 11764-11771.

- Tavana, M., Shaabani, A., Mansouri Mohammadabadi, S., & Varzgani, N. (2021). An integrated fuzzy AHP-fuzzy MULTIMOORA model for supply chain risk-benefit assessment and supplier selection. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 8(3), 238–261.
- Tazhina, G. (2020). Regional University Partnership for Sustainable Development in the Age of Digital Technologies. In *Toward Sustainability Through Digital Technologies and Practices in the Eurasian Region* (pp. 152–174). IGI Global.
- Thompson, F. M., Tuzovic, S., & Braun, C. (2019). Trustmarks: Strategies for exploiting their full potential in e-commerce. *Business Horizons*, 62(2), 237–247.
- Toomey, R. (2001). *Schooling Issues Digest No 2: information and communication technology for teaching and learning*. Commonwealth Department of Education, Science and Training.
- True-Romania Available online: <https://true-romania.tours/rural-tourism/> (pristupljeno 27.09.2021.).
- Tsai, W. H., & Kuo, H. C. (2011). Entrepreneurship policy evaluation and decision analysis for SMEs. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8343-8351.
- Tsai, W. H., Lee, P. L., Shen, Y. S., & Hwang, E. T. (2014). A combined evaluation model for encouraging entrepreneurship policies. *Annals of Operations Research*, 221(1), 449-468.
- Tuan, T. M., Chuan, P. M., Ali, M., Ngan, T. T., & Mittal, M. (2019). Fuzzy and neutrosophic modeling for link prediction in social networks. *Evolving Systems*, 10(4), 629–634.
- Tudor, L. (2018). Change in textile and clothing industry. *Industria Textila*, 69(1), 37–43.
- Turksen, I. B. (1986). Interval valued fuzzy sets based on normal forms. *Fuzzy sets and systems*, 20(2), 191–210.
- Turskis, Z., & Zavadskas, E. K. (2010). A new fuzzy additive ratio assessment method (ARAS-F). Case study: The analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location. *Transport*, 25(4), 423–432.
- Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., & Boranbayev, S. (2019). Information security risk assessment in critical infrastructure: a hybrid MCDM approach. *Informatika*, 30(1), 187–211.

- Turskis, Z., Goranin, N., Nurusheva, A., & Boranbayev, S. (2019). A fuzzy WASPAS-based approach to determine critical information infrastructures of EU sustainable development. *Sustainability*, 11(2), 424.
- Ulucay, V., Kılıç, A., Şahin, M., & Deniz, H. (2019). A new hybrid distance-based similarity measure for refined neutrosophic sets and its application in medical diagnosis. *Matematika*, 35(1), 83–94.
- Urošević, S., Stanujkić, D., & Karabašević, D. (2018). Trendovi u menadžmentu ljudskih resursa – Savremeni pristup izboru kadrova. Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, Tercija Bor.
- Veljović, A., Vulović, R., & Damnjanović, A. (2009). Information and Communication Technologies in Management. Faculty of Technical Sciences Čačak, Serbia.
- Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y., & Sunderraman, R. (2010). Single valued neutrosophic sets. *Review of the Air Force Academy*, 1(16), 10–14.
- Wang, Y. M., & Elhag, T. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 31(2), 309-319.
- Xu, D., Wei, X., Ding, H., & Bin, H. (2020). A new method based on PROMETHEE and TODIM for multi-attribute decision-making with single-valued neutrosophic sets. *Mathematics*, 8(10), 1816.
- Yang, T., & Hung, C. C. (2007). Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(1), 126-137.
- Yazdani, M., Wen, Z., Liao, H., Banaitis, A., & Turskis, Z. (2019). A grey combined compromise solution (CoCoSo-G) method for supplier selection in construction management. *Journal of Civil Engineering and Management*, 25(8), 858-874.
- Yazdani, M., Zarate, P., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2018). A Combined Compromise Solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57, 2501–2519.
- Ye, J. (2013). Multicriteria decision-making method using the correlation coefficient under single-valued neutrosophic environment. *International Journal of General Systems*, 42(4), 386–394.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.

- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information sciences*, 8(3), 199–249.
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—II. *Information sciences*, 8(4), 301–357.
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. *Information sciences*, 9(1), 43–80.
- Zavadskas, E. K., Baušys, R., & Lazauskas, M. (2015). Sustainable assessment of alternative sites for the construction of a waste incineration plant by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set. *Sustainability*, 7(12), 15923-15936.
- Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2008). A new logarithmic normalization method in games theory. *Informatica*, 19(2), 303–314.
- Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and economic development of economy*, 16(2), 159–172.
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Razavi Hajiagha, S. H., & Hashemi, S. S. (2015). The interval-valued intuitionistic fuzzy MULTIMOORA method for group decision making in engineering. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- Zavadskas, E. K., Bausys, R., Juodagalviene, B., & Garnyte-Sapranaviciene, I. (2017). Model for residential house element and material selection by neutrosophic MULTIMOORA method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 64, 315–324.
- Zavadskas, E. K., Baušys, R., Stanujkic, D., & Magdalinovic-Kalinovic, M. (2016). Selection of lead-zinc flotation circuit design by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set, *Acta Montanistica Slovaca*, 21(2), 85–92.
- Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Sarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and economic development of economy*, 1(3), 131–139.
- Zavadskas, E. K., Stanujkic, D., Turskis, Z., & Karabasevic, D. (2022). An Intuitionistic Extension of the Simple WISP Method. *Entropy*, 24(2), 218.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2015). Selecting a contractor by using a novel method for multiple attribute analysis: Weighted Aggregated Sum Product

- Assessment with grey values (WASPAS-G). *Studies in Informatics and Control*, 24(2), 141–150.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., & Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6), 3-6.
- Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., & Sarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1(3), 131–139.
- Zeleny, M. (1973). Compromise programming. In *Multiple Criteria Decision Making: Cochrane, J.L., Zeleny, M., Eds. Columbia, University of South Carolina Press, SC, USA*, 262–301.
- Zhang, C., Chen, C., Streimikiene, D., & Balezentis, T. (2019). Intuitionistic fuzzy MULTIMOORA approach for multi-criteria assessment of the energy storage technologies. *Applied Soft Computing*, 79, 410–423.
- Zhang, C., Li, D., Broumi, S., & Sangaiah, A. K. (2018). Medical diagnosis based on single-valued neutrosophic probabilistic rough multisets over two universes. *Symmetry*, 10(6), 213.
- Zhang, H. Y., Ji, P., Wang, J. Q., & Chen, X. H. (2015). An improved weighted correlation coefficient based on integrated weight for interval neutrosophic sets and its application in multi-criteria decision-making problems. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8(6), 1027-1043.
- Zhang, W. R. (1998). (Yin)(Yang) bipolar fuzzy sets. In *1998 IEEE international conference on fuzzy systems proceedings. IEEE world congress on computational intelligence (Cat. No. 98CH36228) (Vol. 1, pp. 835-840). IEEE*.
- Zia-Ur-Rehman, M., Baig, S. A., Abrar, M., Hashim, M., Amjad, F., Baig, I. A., & Usman, M. (2019). The impact of intellectual capital, organizational capabilities and innovation on firm performance of textile sector: a moderating effect of GSP plus. *Industria Textila*, 70(6), 572–578.