Broj rada: R5-10
DOI:10.46793/CIRED2026.R5-10_106

PERSPEKTIVA ZASNOVANA NA HIJERARHIJI MUDROSTI ZA PODRŠKU DONOŠENJU ODLUKA U DISTRIBUTIVNIM SISTEMIMA U USLOVIMA NEIZVESNOSTI

A WISDOM HIERARCHY-BASED PERSPECTIVE FOR SUPPORTING DECISION-MAKING UNDER UNCERTAINTY IN DISTRIBUTION SYSTEMS

Željko POPOVIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Srbija*

KRATAK SADRŽAJ

Ovaj rad razmatra donošenje odluka pod neizvesnošću u operativnim i planskim procesima proširenja distributivnih sistema (DSO – operator distributivnog sistema). On pruža uvid u stubove procesa donošenja odluka povezivanjem sa elementima DIKW (Data, Information, Knowledge, Wisdom – Podaci, Informacije, Znanje, Mudrost) hijerarhije. Rad razmatra koncept kolektivnog rešavanja problema i povezuje ga sa elementima znanja i mudrosti u DIKW hijerarhiji. Na osnovu toga, predlaže se okvir zasnovan na kolektivnom rešavanju problema za unapređenje rešavanja stvarnih (složenih) problema donošenja odluka u okviru ADMS-a u uslovima neizvesnosti.

Ključne reči: Hijerarhija mudrosti, Donošenje odluka, Neizvesnost, Rizik, Kolektivno rešavanje problema

ABSTRACT

This paper considers decision-making under uncertainty in DSO's (Distribution System Operator) operational and expansion planning business processes. It provides insight into the pillars of decision-making processes by linking them to the elements of the DIKW (Data, Information, Knowledge, Wisdom) hierarchy. The paper discusses a collective problem-solving concept and links it to knowledge and wisdom elements of the DIKW hierarchy. Based on that, it proposes a collective problem-solving-based framework to improve solving real-life (complex) decision-making problems within an ADMS in an uncertain environment.

Keywords: Wisdom hierarchy, Decision making, Uncertainty, Risk, Collective problem-solving

UVOD

U ovom radu razmatramo problem donošenja odluka u poslovnim procesima distributivnih kompanija, gde je potrebno utvrditi šta treba raditi u mreži, gde i kada to uraditi kako bi se ostvarili ciljevi donosioca odluka (DSO-a). Dakle, diskusija se odnosi na probleme donošenja odluka u kratkom roku (npr. planiranje obnove napajanja), kratkom i srednjem roku (npr.

* Korespondirajući autor: Željko Popović, zpopovic@uns.ac.rs

Public

planiranje rekonfiguracije mreže, planiranje održavanja), kao i u dugom roku (npr. planiranje proširenja mreže). Kod ovih problema, pored velike dimenzije distributivnih mreža, jedan od glavnih izazova jeste neizvesnost ulaznih podataka i informacija, koja nastaje iz više različitih razloga [1]. Zbog toga se budućnost ne može sa sigurnošću predvideti, odnosno, u prisustvu neizvesnosti može nastupiti više mogućih budućih stanja (stanja prirode). U takvom okruženju, cilj donosioca odluka jeste da definiše rešenje koje će najefikasnije odgovoriti na bilo koju verodostojnu buduću situaciju, što značajno povećava složenost procesa donošenja odluka [1]. Proces donošenja odluka u uslovima neizvesnosti ovde je predstavljen korišćenjem DIKW (Data, Information, Knowledge, Wisdom – Podaci, Informacije, Znanje, Mudrost) hijerarhije [2], kako bi se napravila razlika između različitih komponenti znanja i pružio uvid u koncepte podrške donošenju odluka predložene u radu, a koji se odnose na elemente znanja i mudrosti. Specifična tumačenja DIKW elemenata prilagođena su kontekstu podrške donošenju odluka u naprednim sistemima za upravljanje distribucijom (ADMS), sa ciljem dobijanja najboljeg rešenja u uslovima neizvesnosti, tj. rešenja koje na odgovarajući način reaguje na operativne i finansijske rizike.

Postoji mnogo perspektiva rizika. U oblasti pomenutih problema donošenja odluka, rizik se uopšteno može predstaviti na sledeći način: Rizik = (P, N, C, U) [3]. Dakle, rizik se posmatra kao četvorka: rešenja (planovi, scenariji) P, moguća stanja prirode (moguće budućnosti) N, posledice C i pripadajuće neizvesnosti U (ukoliko je izabran plan/rešenje P, koje će biti posledice C uzimajući u obzir stanja prirode N i njihove neizvesnosti U).
U tom kontekstu, znanje poprima oblik pristupa koji donosiocu odluka omogućava da dobije skup relevantnih rešenja (planova) i njihovih posledica za razmatrani problem, dok mudrost predstavlja sposobnost da se, među tim relevantnim rešenjima, izabere ono najbolje i to na pravi način.

Rad predlaže koncept kolektivnog rešavanja problema kako bi se definisali pristupi koji se koriste u elementima znanja i mudrosti unutar DIKW hijerarhije opisane gore. Kolektivno rešavanje problema podrazumeva da, pod uslovima definisanim u radu, „nasumično izabrana grupa rešavalaca problema nadmašuje grupu najboljih pojedinačnih rešavalaca problema“ [4]. Predloženi koncept omogućava da se teški problemi rešavaju upotrebom jednostavnih, umesto složenih modela i alata, čime se potencijalno unapređuje rešavanje stvarnih problema donošenja odluka u okviru ADMS-a.

Pošto se koncept oslanja na inteligenciju i mudrost mnogih sposobnih rešavalaca problema, može se posmatrati i kao koncept zasnovan na znanju i mudrosti veštačke inteligencije. Cilj rada nije da predloži konkretan algoritam ili pristup za primenu kolektivnog rešavanja problema, već da ponudi opšti okvir za korišćenje kolektivnog rešavanja problema radi unapređenja rešavanja stvarnih (složenih) problema donošenja odluka u distributivnim sistemima u prisustvu neizvesnosti.

1 HIJERARHIJA MUDROSTI

Hijerarhija mudrosti (DIKW) je prikazana na slici 1 [2], a kratki opisi njenih elemenata dati su u nastavku.

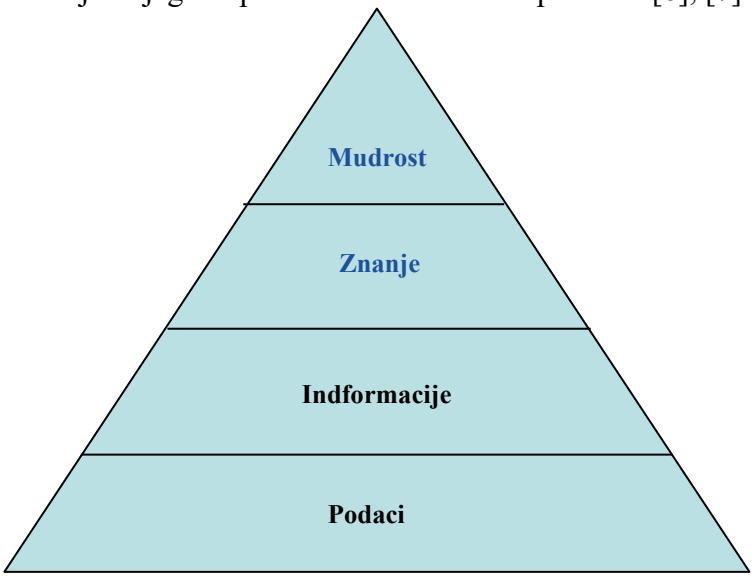
Podaci. „Podaci su diskretne, objektivne činjenice ili opažanja, koja su neorganizovana i neobrađena, i ne prenose nikakvo specifično značenje“ [2].

Informacije. Informacije su podaci obrađeni tako da imaju smisao i budu korisni za relevantno

donošenje odluka [2], [5].

Znanje. Znanje kombinuje podatke i informacije, obično unutar modela, kako bi se dobila objašnjenja i predviđanja koja se mogu koristiti kao podrška donošenju odluka [2], [6].

Mudrost. Mudrost se može opisati kao akumulirano znanje koje omogućava izbor relevantnog modela ili znanja i njegovu primenu na razmatrani problem [6], [7].



Slika 1 – Hijararhija mudrosti (DIKW)

Gornji rezime DIKW elemenata obuhvata samo pojedine definicije i perspektive. Detaljnija diskusija o definicijama podataka, informacija, znanja i mudrosti može se naći u drugim izvorima [2], [8].

Donošenje odluka u distributivnim sistemima, razmatrano u ovom radu, odnosi se na odluke o tome šta uraditi u mreži, gde i kada, kako bi se ostvarili ciljevi donosioca odluka (ODS-a). Međutim, očigledna karakteristika budućnosti jeste da je ona neizvesna. Na primer, ne možemo sa sigurnošću znati (predvideti) buduće potrošnje, proizvodnju iz obnovljivih izvora energije ili stope kvarova elemenata distributivne mreže. Dakle, nesavršeni (nekompletni i neprecizni) podaci onemogućavaju savršena predviđanja, što dovodi do neizvesnosti u informacijama. U takvom okruženju može nastupiti mnogo mogućih budućih stanja (stanja prirode).

Stoga, tumačenje znanja u DIKW hijerarhiji mora da uključi znanje o neizvesnosti i istovremeno znanje o riziku. Ovde se rizik posmatra kao četvorka: rešenja (planovi) P, moguća stanja prirode (moguće budućnosti) N, posledice C i pripadajuće neizvesnosti U. Dakle, u prisustvu neizvesnosti možemo definisati znanje kao sredstvo (pristup) koje pomaže donosiocu odluka da dobije skup relevantnih rešenja i njihovih posledica (ishoda) za razmatrani problem. U prisustvu neizvesnosti, mudrost se može definisati kao sposobnost da se, u skupu relevantnih rešenja i njihovih posledica, izabere najbolje rešenje (plan) na pravi način. U okviru procesa donošenja odluka, „pravi način“ odnosi se na balansiranje različitih atributa, korišćenje različitih preferencija i njihovo različito ponderisanje [3]. Na primer, možemo izabrati najbolje rešenje na osnovu odluka grupe donosilaca odluka sa različitim sklonostima ka riziku, kao što je predloženo u odeljku 4.

2 KONCEPTUALNI OKVIR ZA POVEZIVANJE KOLEKTIVNOG REŠAVANJA PROBLEMA I ELEMENATA HIJERARHIJE MUDROSTI

2.1 Kolektivno predviđanje i rešavanje problema

Grupa (skup) ljudi, čak i kada u njima nema eksperata ili veštih prognozera, imaju dokazanu sposobnost da daju tačna predviđanja [6]. Teorema o raznolikosti u predviđanju, koja se primenjuje na modele (ljude) koji daju numerička predviđanja, navodi sledeće:
„Greška mnogih modela = (prosečna greška modela − raznolikost predikcija modela)“ [6].
Ona je formulisana na sledeći način [6]:

$$(\bar{P} - T)^2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{(P_i - T)^2}{N} - \sum_{i=1}^{N} \frac{(P_i - \bar{P})^2}{N} \quad (1)$$

gde P_i predstavlja predikciju modela (osobe) i, $\bar{P}$ označava prosečnu vrednost predikcija modela (ljudi), T predstavlja stvarnu vrednost, a N označava broj modela (ljudi). Teorema definiše da će bilo koji skup raznolikih modela (ljudi) dosledno biti tačnija od svog prosečnog člana. Raznoliki modeli (ljudi) odnose se na modele (ljude) koji ne dele iste pristrasnosti.

Pored toga, Kondorseova porotna teorema [6] navodi da je procena grupe ljudi (modela) superiorniji od procene pojedinaca, pod uslovom da pojedinci imaju razuman nivo kompetentnosti. Ona implicira da ćemo formiranjem grupe razumno kompetentnih ljudi (modela) i korišćenjem pravila većine postići veću tačnost u odnosu na jedan pojedinačni model.

Napred navedeno predstavlja dobro poznati fenomen poznat kao „mudrost mase“ (wisdom-of-crowds) [9].

Teoreme koje opisuju sposobnosti grupe (skupa) rešavalaca problema date su u nastavku:

i. Teorema o nadmoći raznolikosti (diversifikacije) nad homogenosti [4] navodi da kolekcija raznolikih (diversifikovanih) rešavalaca problema uopšteno, tj. u većini slučajeva, nadmašuje kolekciju homogenih rešavalaca problema. Važno je napomenuti da homogena kolekcija rešavalaca problema (modela) može sadržati samo jedan model (jednog rešavaoca problema).
ii. Teorema da raznolikost nadmašuje sposobnost navodi da, pod datim uslovima, nasumično izabrana grupa (skup) rešavalaca problema nadmašuje grupu (skup) najboljih pojedinačnih rešavalaca problema [4]. Ovi uslovi su sledeći [4], [10]:
    a. problem mora biti težak tako da pojedinačni rešavalac problema ne može uvek da pronađe najbolje rešenje (globalni optimum),
    b. rešavaoci problema moraju imati određenu sposobnost rešavanja problema,
    c. rešavaoci problema moraju biti raznoliki tako da neki od njih mogu pronaći poboljšanje za svako rešenje koje nije globalni optimum,
    d. populacija rešavalaca problema mora sadržati više od nekoliko rešavalaca.

U narednom odeljku razmatramo kako se grupa (skup) rešavalaca problema, koja zadovoljava gore navedene uslove, može povezati sa elementima znanja i mudrosti u DIKW hijerarhiji.

2.2 Povezivanje kolektivnog rešavanja problema i elemenata hijerarhije mudrosti

2.2.1 Povezivanje kolektivnog rešavanja problema i znanja. Koncept kolektivnog rešavanja problema, koji pomaže donosiocu odluka da dobije skup relevantnih rešenja (planova) (P) u problemima sa prisustvom neizvesnosti, sastoji se iz dve faze:

i. faza učenja (istraživanja),
ii. faza agregacije (iskorišćavanja).

U fazi učenja, kolekcija rešavalaca problema (grupa rešavalaca) istražuje i uči o domenu problema. U fazi agregacije, oni iskorišćavaju naučene informacije da bi smanjili prostor rešenja, suzili pretragu i, na taj način, istražili obećavajuće delove prostora rešenja. Dakle, primenom ove dve faze sekvencijalno, može se pronaći najbolje (visokokvalitetno) rešenje za problem.

Ovaj pristup može se primeniti u svakom stanju prirode (N), tj. u svakoj mogućoj budućnosti, i na taj način omogućava dobijanje skupa relevantnih rešenja (P) za razmatrani problem.

Primer primene koncepta kolektivnog rešavanja problema za pronalaženje rute minimalne dužine u lavirintu prikazan je u [11]. U predloženom pristupu koristi se veći broj pojedinaca (rešavalaca problema), od kojih svaki sprovodi nasumičnu pretragu unutar lavirinta. Pošto pojedinci (rešavaoci problema) u fazi učenja sprovode nasumičnu pretragu, oni zadovoljavaju uslov raznolikosti [11]. Naučene informacije se dele između rešavalaca problema kroz sekvence faza učenja i faza agregacije. Na taj način najbolje rešenje se pronalazi korišćenjem jednostavnog pristupa (nasumične pretrage) i primenom sekvencijalnih faza učenja i agregacije. Predloženi koncept kolektivnog rešavanja problema podrazumeva da neke teške probleme donošenja odluka, kao što su problemi donošenja odluka u distributivnim sistemima, možemo rešavati korišćenjem kolekcije jednostavnih pristupa (modela). Na primer, možemo sekvencijalno sprovoditi fazu učenja u kojoj koristimo kolekciju rešavalaca problema koji primenjuju nasumičnu pretragu unutar iste heuristike (npr. poznatog branch-exchange algoritma), čime se zadovoljava uslov raznolikosti, i fazu agregacije u kojoj koristimo rezultate individualnih rešenja da suzimo prostor pretrage.
Koncept kolektivnog rešavanja problema nudi dodatne prednosti:

a. Pošto su u predloženom konceptu pojedinačni pristupi (modeli) međusobno nezavisni, moguće je dodatno smanjiti računsku složenost problema tako što se pojedinačni pristupi (modeli/heuristike) istovremeno primenjuju na različitim procesorima/računarima.
b. Iskustva iz različitih stvarnih ADMS projekata širom sveta pokazuju da je jednostavnost alata za donošenje odluka unutar ADMS-a ključna za njihovo prihvatanje i korišćenje od strane donosilaca odluka u elektrodistribucijama. Dakle, jednostavnost predloženog koncepta može povećati razumevanje i upotrebu alata za donošenje odluka, čime se unapređuje kvalitet odluka koje se donose u elektrodistribucijama.

2.2.2 Povezivanje kolektivnog rešavanja problema i mudrosti. U prisustvu neizvesnosti, zajednički cilj u elektrodistribucijama jeste pronalaženje rešenja koje na pravi način odgovara na operativne i finansijske rizike. U većini slučajeva, odluke donosi pojedinačni donosilac odluka u skladu sa sopstvenim preferencijama prema riziku [1], [12], ili grupa eksperata [13] koja koristi svoje znanje i alate za merenje rizika kako bi izabrala rešenje minimalnog rizika. Međutim, eksperti u elektrodistribucijama obično imaju sličnu naučnu pozadinu i iskustvo, te predstavljaju homogenu grupu.

Teorema da raznolikost nadmašuje homogenost i Kondorseova porotna teorema ukazuju na to da kolekcija raznolikih donosilaca odluka generalno može nadmašiti pojedinačne donosioce odluka, kao i kolekciju homogenih donosilaca odluka. Dakle, mudrost u donošenju odluka pod neizvesnošću može se posmatrati kao sredstvo (pristup) koje koristi kolekciju raznolikih donosilaca odluka — tj. donosilaca odluka sa različitim preferencijama prema riziku — da bi se izabralo najbolje rešenje na pravi način. Takav pristup upravljanja rizikom predložen je u narednom odeljku.

3 PRISTUP ZA UPRAVLJANJE RIZIKOM ZASNOVAN NA MUDROSTI MASE

Razmatramo perspektive rizika predstavljene na sledeći način: Rizik = (P, N, C, U). Ova perspektiva uzima u obzir različita rešenja (P) problema i njihove ishode (C), dobijene za moguća stanja prirode (N) i pripadajuće neizvesnosti (U), sa ciljem definisanja pravog (najboljeg) rešenja. Dalje, smatramo da se, kao posledica neizvesnosti, atributi/kriterijumi u problemu (npr. troškovi i koristi) opisuju intervalima [1], [12]. Uopšteno, kriterijumi mogu biti konfliktni i izraženi u različitim jedinicama.

U takvom okruženju, predlažemo pristup zasnovan na mudrosti mase, prikazan u nastavku, za izbor najboljeg rešenja među različitim rešenjima (P). Pristup koristi intervalnu ekstenziju metode TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), koja primenjuje Hurvicov kriterijum za merenje rizika kako bi se omogućilo rangiranje intervalnih kriterijuma u skladu sa preferencama donosioca odluka prema riziku [12].

3.1 Hurvicov (Hurwicz) kriterijum za merenje rizika

Hurvicov kriterijum za rangiranje intervala $\bar{c} = [c_L, c_R]$i $\bar{d} = [d_L, d_R]$definiše se na sledeći način [1]:

$$c = \delta \cdot c_L + (1 - \delta) \cdot c_R, \quad b = \delta \cdot d_L + (1 - \delta) \cdot d_R \tag{2}$$

Ovde $c_L(d_L)$ označava levi, a $c_R(d_R)$ desni kraj intervala. Relacija (2) preslikava intervale $\bar{c}$ i $\bar{d}$ u realne brojeve, a zatim upoređuje te vrednosti. Preferencija prema riziku (odnos prema riziku) donosioca odluka opisana je parametrom δ, pri čemu $\delta \in [0,1]$. Vrednost $\delta = 1$ opisuje ekstremno optimističnog, a $\delta = 0$ ekstremno pesimističnog donosioca odluka kada su kriterijumi troškovi [1]. Obrnuto važi za koristi.

Važno je napomenuti da izborom različitih vrednosti parametra δ u (2) možemo predstavljati više ili manje optimistične (pesimistične) donosioce odluka.

3.2 Pristup zasnovan na mudrosti mase za dobijanje pravog rešenja

Pristup (procedura) zasnovan na mudrosti mase za dobijanje pravog (najboljeg) rešenja u skupu relevantnih rešenja (P) je sledeći:

1) Nasumično izabrati vrednost parametra $\delta \in [0,1]$u (2) za kriterijume troškova.
2) Nasumično izabrati vrednost parametra δza kriterijume koristi.
3) Koristeći vrednosti parametra δiz koraka 1) i 2) i intervalnu ekstenziju metode TOPSIS [12], odrediti najbolje (najviše rangirano) rešenje u skupu relevantnih rešenja (P).
4) Ponavljati korake 1)–3) N puta, gde N predstavlja broj donosilaca odluka u grupi (masi).
5) Kao najbolje rešenje izabrati plan koji je najčešće rangiran kao najbolji.

Napominjemo da se raznolikost u proceduri 1)–5) postiže nasumičnim izborom preferencija donosioca odluka prema riziku, tj. vrednosti parametra δ.

Razmotrimo primer koji je diskutovan u [14], gde posmatramo tri rešenja (plana) (P1, P2, P3) i četiri kriterijuma (C1, C2, C3, C4) opisana intervalima u Tabeli 1. C1 i C2 su kriterijumi koristi, dok su C3 i C4 kriterijumi troškova. Pretpostavljamo da su kriterijumi jednako važni, tj. da imaju jednake težine, i da parametar δmože da uzima samo diskretne vrednosti, $\delta \in \{0,0.1,0.2,\ldots,0.9,1\}$.

Koristeći proceduru opisanu u koracima 1)–5) i za N = 150, dobijeni su sledeći rezultati: 58 puta P1 je rangiran kao najbolji, a 92 puta P2. Dakle, prava (mudra) odluka je izabrati P2 kao najbolje rešenje.

Tabela 1 – Podaci za donošenje odluke

	C_1	C_2	C_3	C_4
P_1	[6,22]	[10,15]	[16,21]	[18,20]
P_2	[15,18]	[8,11]	[20,30]	[19,28]
P_3	[9,13]	[12,17]	[42,48]	[40,49]

4 ZAKLJUČAK

Ovaj rad pruža uvid u stubove procesa donošenja odluka u distributivnim sistemima u uslovima neizvesnosti povezivanjem sa elementima DIKW hijerarhije. On povezuje element znanja u DIKW hijerarhiji sa konceptom kolektivnog rešavanja problema i time daje uvid u mogući način korišćenja ovog koncepta za unapređenje rešavanja stvarnih (složenih) problema donošenja odluka u distributivnim sistemima u okviru ADMS-a u okruženju neizvesnosti. Takođe, rad pruža uvide u procenu rizika zasnovanu na elementu mudrosti i predlaže pristup zasnovan na mudrosti mase za upravljanje rizikom i dobijanje pravih (mudrih) odluka pod neizvesnošću.

LITERATURA

[1] Z. N. Popovic, , S. D. Knezevic, „Dynamic reconfiguration of distribution networks considering hosting capacity: A risk-based approach”, *IEEE Trans. Power Syst.*, 38, 2023, 3440-3450.
[2] J. Rowley, “The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy”, *J. Inf. Sci.*, 33, 2007, 163-180.
[3] T. Aven, “A conceptual framework for linking risk and the elements of the data–information–knowledge–wisdom (DIKW) hierarchy”, *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 111, 2013, 30-36.
[4] S.E. Page, „The difference: How the power of diversity creates better groups, firms, schools, and societies“, Princeton University Press, 2007, 424.
[5] E.M. Awad, H.M. Ghaziri, „Knowledge Management“, Pearson Education International, 2004, 480.
[6] S.E. Page, „The Model Thinker“, Basic Books, 2018, 448.
[7] L.M. Jessup , J.S. Valacich, „Information systems today“, Prentice Hall, 2003, 595.
[8] C. Zins, „Conceptual approaches for defining data, information, and knowledge“, *J. Am. Soc. Inf. Sci. Tec.*, 58, 2007, 479 – 493.
[9] J. Surowiecki, „The wisdom of crowds“, Anchor Books, 2005, 306.

[10] L. Hong, S.E. Page, „Groups of diverse problem solvers can outperform groups of high-ability problem solvers“, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 101, 2004, 16385-16389.
[11] N. L. Johnson, K. Dautenhahn, „Collective problem solving: Functionality beyond the individual“, *Los Alamos National Laboratory*, 1998, 1-38.
[12] Z.N. Popovic, V. D. Krsman, M. P. Rakic, „A risk-based multi-criteria maintenance planning of distribution feeders“, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 165 (110375), 2025, 1-14.
[13] S. Bahrami, M. Rastegar, P. Dehghanian, „An FBWM-TOPSIS approach to identify critical feeders for reliability cantered maintenance in power distribution systems“, *IEEE Syst. J.*, 15, 2021, 3893-3901.
[14] L. Dymova, P. Sevastjanov, A. Tikhonenko, „A direct interval extension of TOPSIS method“, *Expert Syst. Appl.*, 40, 2013, 4841–4847.