

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

Ksenija P. Mandić

**Uključivanje logičkih interakcija atributa
u metode višekriterijumske analize**

– Doktorska disertacija –

Beograd, 2015.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Ksenija P. Mandić

**The inclusion of logical interactions of
attributes in the multi-criteria analysis
methods**

– Doctorial Dissertation –

Belgrade, 2015.

Mentor:

Prof. dr Boris Delibašić

Vanredni profesor

Univerzitet u Beogradu

Fakultet organizacionih nauka

Članovi komisije:

Prof. dr Milija Suknović

Redovni profesor

Univerzitet u Beogradu

Fakultet organizacionih nauka

Prof. dr Dragan Radojević

Naučni savetnik

Institut Mihajlo Pupin

Datum odbrane:

Zahvalnost

Posebnu zahvalnost dugujem izuzetnom mentoru prof. dr Borisu Delibašiću na nesebičnoj pomoći, strpljenju, posvećenosti i dragocenim savetima koji su mi pomogli da prevaziđem sve prepreke tokom doktorskih studija.

Veliko hvala mojim najmilijima, ocu Predragu i sestri Ivani na neizmernoj ljubavi, voljenom Radetu na bezrezervnoj podršci i osloncu i dragim prijateljima na iskrenim osmesima.

Ovu doktorsku disertaciju želim da posvetim najsajnijoj zvezdi – mojoj majci Oliveri.

Uključivanje logičkih interakcija atributa u metode višekriterijumske analize

Rezime: Cilj ove doktorske disertacije jeste da se razviju hibridni modeli koji će omogućiti unapređenje procesa višekriterijumskog odlučivanja. Postojeći alati, koji služe kao podrška višekriterijumskom odlučivanju, su se u praksi pokazali kao pouzdani i efikasni. Međutim, analizom istih uočeno je da je njihov glavni nedostatak to što ne posvećuju dovoljno pažnje međusobnoj komparaciju, uslovljenosti i logičkoj zavisnosti između atributa odlučivanja. Stoga, u okviru rada su predloženi višekriterijumski modeli za rešavanje problema odlučivanja koji se baziraju na kombinovanju klasičnih i fazi metoda višekriterijumske analize, kao i primeni interpolativne Bulove algebre.

Glavna hipoteza od koje se polazi u okviru disertacije je da se kombinovanjem interpolativnog Bulovog pristupa, fazi logike i metoda višekriterijumske analize može bolje modelovati proces odlučivanja, nego korišćenjem pojedinačnih metoda višekriterijumske analize. Klasične metode višekriterijumske analize su u literaturi najčešće primenjivane za rešavanje problema odlučivanja, mada je njihovo osnovno ograničenje ne posedovanje adekvatnog okvira za prikazivanje neizvesnih/nepreciznih atributa. Takvi uslovi su pogodovali razvoju teorije fazi skupova, koja omogućava analizu neizvesnih atributa uz pomoć fazi brojeva. Stoga, u okviru doktorske disertacije razvijeni su hibridni modeli koji kombinuju klasične i fazi metode višekriterijumske analize, kako bi se prevazišli identifikovani nedostaci i postigli pouzdaniji rezultati. Takođe, predloženi su i modeli bazirani na interpolativnoj Bulovoj algebri koji uključuju logičke interakcije atributa. Na taj način se proširuju mogućnosti lingvističkih iskaza donosilaca odluke i omogućava se realniji prikaz problema.

Predloženi modeli su testirani na primerima rangiranja poslovnih banaka i snabdevača telekomunikacione opreme. Za rešavanje problema izbora poslovnih banaka predložen je integrisani model koji kombinuje klasičnu i fazi metodu višekriterijumske analize. S druge strane, za rešavanje problema rangiranja snabdevača predložen je integrisani model koji kombinuje dve fazi metode višekriterijumske analize i hibridni model koji u

analizu uključuje logičke interakcije između atributa uz upotrebu Bulove algebre i uz poštovanje svih Bulovih zakona.

Rezultati koji su postignuti u okviru istraživanja pokazali su da se kombinovanjem metoda višekriterijumske analize mogu prevazići nedostaci klasičnih i nadmašiti rezultati pojedinačnih višekriterijumskih metoda. Sa druge strane, primenom interpolativne Bulove algebre omogućeno je modelovanje interakcija i uslovljenosti između atributa, a time je donosiocima odluke značajno olakšano jasnije predstavljanje stvarnog problema odlučivanja.

Ključni doprinos doktorske disertacije je unapređenje sistema odlučivanja, razvojem kombinovanih višekriterijumskih modela, u situacijama kada se atributi odlučivanja ne mogu precizno odrediti i kada između njih postoje izvesne uslovljenosti i logičke interakcije. Osnovna motivacija izrade ovog rada je prevashodno njegova praktična primena u realnim poslovnim sistemima.

Ključne reči: Višekriterijumska analiza; Fazi logika; Fazi višekriterijumsko odlučivanje; Interpolativna Bulova algebra; Interakcija između atributa; Rangiranje poslovnih banaka; Rangiranje snabdevača.

Naučna oblast: Kvantitativni menadžment

Uža naučna oblast: Modeliranje poslovnih sistema i poslovno odlučivanje

UDK broj: 519.816

The inclusion of logical interactions of attributes into the multi-criteria analysis methods

Abstract: The aim of this doctoral dissertation is to develop hybrid models that will allow improving the process for multi-criteria decision making. Existing tools that can support the multi-criteria decision-making have proven to be reliable and efficient. However, by the analysis it was observed that their main disadvantage is that they do not pay enough attention to the mutual comparison, conditionality and logical dependencies between the decision making attributes. Therefore, multi-criteria models are proposed in the thesis for solving decision problems that are based on a combination of classical and fuzzy methods of multi-criteria analysis, as well as the application of the interpolate Boolean algebra.

The main hypothesis in the thesis is that by combining interpolate Boolean approach, fuzzy logic and multi-criteria analysis method the decision-making process can be better modeled than by using a single method of multi-criteria analysis. Classical methods of multi-criteria analysis in the literature are most often applied to solve the problem of decision-making, although their main limitation is the lack of adequate framework for the presentation of the uncertain/imprecise attributes. Such conditions are favorable for the development of the theory of fuzzy sets, which enables analysis of uncertain attributes with the help of fuzzy numbers. Therefore, in this doctoral dissertation were developed hybrid models that combine classical and fuzzy methods of the multi-criteria analysis, in order to overcome the identified deficiencies and achieve more reliable results. Also, the models are proposed based on the interpolate Boolean algebra involving logical interactions of attributes. In this way the capabilities are extended of the linguistic statements of decision makers, and a more realistic view of the problem is allowed.

The proposed models are tested on the examples of ranking business banks and telecommunications equipment suppliers. To solve the problem of selecting the business banks is proposed an integrated model that combines classical and fuzzy method of multi-criteria analysis. On the other hand, for solving the problem of ranking suppliers

is proposed an integrated model that combines a two-stage multi-criteria analysis method and a hybrid model that includes an analysis of the logical interaction between the attributes using the Boolean algebra in compliance with all the Boolean laws.

The results achieved in the framework of the research showed that by the combination of multi-criteria analysis method one can overcome the shortcomings of classical and surpass the results of individual multi-criteria methods. On the other hand, by the application of the interpolate Boolean algebra it was enabled modeling of the interactions and interdependence between the attributes, and thus it is significantly easier to the decision makers to clearly present the actual decision making problem.

The key contribution of doctoral dissertation is to improve decision-making system, by the development of combined multi-criteria models, in situations where the decision making attributes cannot be accurately determined if among them there are certain conditionalities and logical interactions. The main motivation for this paper is primarily its practical application in the real business systems.

Keywords: Multi-criteria analysis; Fuzzy logic; Fuzzy multi-criteria decision making; Interpolative Boolean algebra; Interaction between attributes; Ranking commercial banks; Ranking suppliers.

Scientific area: Quantitative Management

Specific scientific area: Modelling Business Systems and Business Decision-Making

UDK number: 519.816

Sadržaj

1.	Uvod	1
1.1.	Definisanje predmeta istraživanja.....	5
1.2.	Ciljevi istraživanja	8
1.3.	Polazne hipoteze istraživanja.....	9
1.4.	Naučne metode istraživanja	9
1.5.	Očekivani doprinos istraživanja.....	11
1.6.	Plan istraživanja	11
2.	Višekriterijumsko odlučivanje.....	13
2.1.	AHP (eng. <i>Analytic hierarchy process</i>).....	15
2.2.	TOPSIS (eng. <i>Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution</i>)	19
3.	Fazi logika	21
3.1.	Fazi višekriterijumsko odlučivanje	22
3.2.	Fazi skupova, fazi brojevi i operacije	24
3.2.1.	FAHP (eng. <i>Fuzzy Analytic hierarchy process</i>)	27
3.2.2.	FTOPSIS (eng. <i>Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>)	31
4.	Interpolativna Bulova algebra	36
4.1.	Generalizovani Bulov polinom	40
4.2.	Logička i pseudologička agregacija.....	42
5.	Kombinovanje metoda klasične i fazi VKA.....	44
5.1.	FAHP-TOPSIS model za rangiranje banaka	44
5.1.1.	Osvrt na literaturu	45
5.1.2.	Studija slučaja.....	46
5.2.	FAHP-FTOPSIS model za rangiranje snabdevača	57
5.2.1.	Osvrt na literaturu	58
5.2.2.	Studija slučaja.....	61
6.	Primena IBA pristupa za rešavanje problema rangiranja snabdevača.....	73
6.1.	Osvt na literaturu	75
6.2.	IBA-TOPSIS model za rangiranje snabdevača.....	76

6.3.	IBA-pseudo LA model za rangiranje snabdevača	83
6.4.	IBA-FTOPSIS model za rangiranje snabdevača.....	84
7.	Zaključak	87
7.1.	Kritički osvrt na sprovedeno istraživanje	87
7.2.	Budući pravci istraživanja.....	90
	Literatura	91
	Prilog A	110
	Biografija	112

1. Uvod

Prilikom rešavanja realnih problema, a u cilju donošenja kvalitetne odluke, neophodno je uzeti u obzir veliki broj često složenih parametara. Iz tih razloga razvoj alata za modelovanje procesa odlučivanja poslednjih godina beleži značajan rast, a među njima su se izdvojili višekriterijumski modeli kao korisni za rešavanje kompleksnih i konfliktnih pojava. Višekriterijumski modeli olakšavaju donosiocima odluke pronalaženje optimalnog rešenja u situacijama u kojima postoji mnoštvo raznorodnih kriterijuma, koji često mogu biti i međusobno suprotstavljeni (Roy, 1990). Višekriterijumska analiza – VKA (eng. *Multi-Criteria Analysis – MCA*) predstavlja naučnu disciplinu koja privlači veliku pažnju istraživača pri rešavanju realanih problema odlučivanja. Ona ima široku primenu prilikom vrednovanja, ocenjivanja i rangiranja alternativa u različitim oblastima istraživanja. Specifično za VKA je to da predstavlja multidisciplinarnu oblast koja uključuje: operaciona istraživanja, matematiku, ekonomiju, teoriju odlučivanja i informacione sisteme. Od 1960. godine postavljeni su temelji ove discipline, a od tada su nastali brojni teorijski i primenjeni radovi (Roy, 2005). VKA predstavlja pod-disciplinu ili ogranak operacionih istraživanja, a suštinski se bavi projektovanjem matematičkih i računarskih modela koji služe kao podrška za evaluaciju konačnog skupa alternativa u prostoru konačnog skupa kriterijuma od strane jednog ili više donosilaca odluke (Lootsma, 1999). Pošto ovaj pristup analizira veliki broj najčešće suprotstavljenih kriterijuma, njegov primarni cilj je da razvije metodologiju koja će omogućiti agregaciju skupa kriterijuma na osnovu subjektivnih preferencija donosilaca odluke (Zopounidis & Doumpos, 2002). Postizanje pomenutog cilja zahteva, najčešće, primenu složenih procedura i metodologija.

Metode VKA su dizajnirane tako da određuju poredak alternativa na osnovu nekoliko odabranih kriterijuma. One omogućavaju komparaciju kako kvantitativnih tako i kvalitativnih kriterijuma, a ujedno u analizu uključuju i kriterijume koji su iskazani različitim jedinicama mere (Triantaphyllou, 2000). Među brojnim metodama VKA koje su razvijene za rešavanje realnih problema izdvojile su se metode: AHP (eng. *Analytic hierarchy process*), TOPSIS (eng. *Technique for Order Performance by Similarity to*

Ideal Solution), PROMETHEE (eng. *Performance Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*), ELECTRE (eng. *ELimination and Choice Expressing the REality*), VIKOR (*VišeKriterijumska Optimizacija i Kompromisno Rešenje*) i IKOR (*Iterativno KOmpromisno Rangiranje*), jer su se pokazale kao korisni alati pri modelovanju problema u različitim oblastima primene. U okviru ove doktorske disertacije naglasak će biti na primeni AHP i TOPSIS metode za rešavanje problema rangiranja alterantiva.

Metoda AHP je predstavljena od strane Saaty (1980) kao tehnika za rangiranje alternativa u procesu odlučivanja. Glavna prednost ove metode je ta što adekvatno tretira nematerijalne (kvalitativne) informacije koje su prisutne gotovo u svakom problemu odlučivanja. Triantaphyllou & Lin (1996) i Duran & Aguilo (2007) su sumirali osnovne prednosti AHP metode, kao što su: merenje konzistentnosti procena donosilaca odluke, projektovanje kritičnih aspekata problema u hijerarhijsku strukturu, upotreba komparativnih matrica kojima donosioci odluke određuju prioritetne težine kriterijuma, mogućnost kombinovanja sa ostalim tehnikama VKA i jednostavna primena.

Metodu TOPSIS predložili su Hwang & Yoon (1981) kao efikasan način za rangiranje alternativa koji se zasniva na relativnoj sličnosti sa idealnim rešenjem. Ova metoda rangira alternative prema udaljenosti od tzv. pozitivnog i negativnog idealnog rešenja. Optimalna alternativa je ona koja je u geometrijskom smislu najbliža pozitivnom, a najdalja od negativnog idealnog rešenja (Seçme et al. 2009).

Ipak, ove metode su često u literaturi izložene kritici jer ne uzimaju u obzir činjenicu da su ljudske procene često nejasne i neprecizne. One ne obezbeđuju zadovoljavajuće rezultate u situacijama koje se mogu okarakterisati kao neodređene/neizvesne. Mnogi realni problemi odlučivanja upravo uključuju faktor neizvesnosti. Takođe, većina ljudskih procena se ne mogu uvek precizno iskazati. Sem toga, kriterijumi su često subjektivne i kvalitativne prirode, što negativno utiče na donosiocima odluke u smislu iskazivanja sopstvenih preferencija numeričkim vrednostima i kasnijeg poređenja procena. Upravo pomenuti uslovi su naveli istraživače da predlože Fazi

višekriterijumsko odlučivanje - FVKO (eng. *Fuzzy Multi Criteria Decision Making – FMCDM*), kao i fazi verzije pomenutih metoda FAHP i FTOPSIS.

Fazi višekriterijumski pristup se zasniva na fazi logici, tj. teoriji fazi skupova (Zadeh, 1965), koja predstavlja efikasan način da se matematički predstave neizvesne i neprecizne ljudske procene. FVKO omogućava poređenje značaja kriterijuma i rangiranje alternativa, na taj način što se kriterijumi procenjuju na osnovu fazi lingvističkih promenljivih. Koncept lingvističkih promenljivih je veoma koristan u radu sa problemima koji su po prirodi kompleksni, odnosno koji su loše definisani i ne mogu se lako opisati konvencionalnim kvalitativnim izrazima.

FAHP (eng. *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*) je tehnika koja je bazirana na AHP metodi i fazi logici (Zadeh, 1965), a implementira se korišćenjem trougaonih fazi brojeva. FTOPSIS (eng. *Fuzzy Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*) je metoda kod koje su težine kriterijuma predstavljene lingvističkim varijablama, koje se potom prevode u trougaone fazi brojeve. Prilikom rešavanja stvarnih problema, donosilac odluke često zbog neizvesnih faktora nije u mogućnosti da svoje preferencije iskaže jednom numeričkom vrednošću. Navedeno se smatra osnovnim nedostatkom konvencionalne AHP i TOPSIS metodologije. Stoga, za donosioca odluke je pogodnije da svoje procene predstave trougaonim fazi brojevima.

Metode VKA se često međusobno kombinuju, osim toga svojstvena im je i kombinacija sa fazi metodama. Naime, svaka od metoda ima svoje prednosti i nedostatke u smislu potenciranja jednih i marginalizovanja drugih faktora koji utiču na iskazivanje preferencija donosioca odluka. Kombinovanjem više metoda pokušava se preciznije odrediti realan odnos uticaja pojedinih parametara na ukupan učinak.

Predmetna doktorska disertacija ima za cilj da predloži kombinaciju (hibrid) metoda VKA, kao što su AHP i TOPSIS u fazi okruženju, kao podršku procesu odlučivanja. U okviru rada analizirana su dva problema odlučivanja: rangiranje poslovnih banaka i snabdevača telekomunikacione opreme. Za rešavanje postavljenih problema kombinovane su jedna fazi i jedna klasična metoda VKA (FAHP-TOPSIS) na primeru

rangiranja poslovnih banaka, dok je prikaz kombinovanja dve fazi metode VKA (FAHP-FTOPSIS) predstavljen na primeru rangiranja snabdevača. Od interesa u okviru rada je da ispita da li se kombinovanjem fazi metoda može razviti unapređeni model koji će iskoristiti prednosti pojedinačnih metoda VKA.

Rangiranje poslovnih banaka ostvaruje se kroz vrednovanje finansijskih parametara banaka i od suštinskog značaja za poverioce, investitore i druge zainteresovane strane jer se na taj način utvrđuje njihova sposobnost i efikasnost. Banke su specifične finansijske institucije kojima pripada centralno mesto u okviru finansijskog sistema, kako zbog funkcija koje obavljaju, tako i zbog relativnog obima finansijskog potencijala koji se nalazi na njihovim računima. Samim tim, u sektoru finansijskih usluga, posebno u bankarskim aktivnostima, povećava se potreba za vrednovanjem performansi. Usled povećane neizvesnosti i konkurencije na globalnim bankarskim tržištima merenje performansi primenom fazi tehnika obezbeđuje pouzdane rezultate.

Selekcija snabdevača predstavlja jednu od najvažnijih komponenti upravljanja proizvodnjom i logistikom za mnoga preduzeća. Izbor odgovarajućeg snabdevača igra stratešku ulogu u određivanju konkurentnosti preduzeća. Interes donosioca odluke za proces odabira snabdevača neprekidno raste, jer pouzdan snabdevač omogućava smanjenje troškova i unapređenje kvaliteta proizvoda/usluge (Braglia & Petroni, 2000). U suštini ovaj proces se može svesti na problem višeatributivnog odlučivanja, jer se uzima u obzir veliki broj atributa, kako kvantitativnih (cena, udaljenost, vreme) tako i kvalitativnih (kvalitet, dizajn, tehničke performanse).

U okviru teze od značaja je i ispitati da li se predloženi fazi višekriterijumski model može poboljšati uvođenjem logičkih interakcija između atributa. Uspostavljanje logičkih uslovljenosti između atributa realizuje se primenom konzistentne fazi logike, koja na određeni način predstavlja proširenje konvencionalnog fazi okvira (Radojević, 2000a). U literaturi kao glavni nedostatak fazi logike navodi se to što ona nije u Bulovom okviru. Takvi uslovi su pogodovali razvoju pristupa koji predstavlja konzistentan okvir za tretiranje gradacije i fazi promenljivih, a zasnovan na interpolativnoj Bulovoj algebri, odakle je i proistekao njegov naziv Intepolativna Bulova

Algebra – IBA (eng. *Interpolative Boolean Algebra*). IBA je predložena od strane Radojević (2000a, 200b) kao konzistentna viševrednosna realizacija Bulove algebre u smislu očuvanja svih zakona na kojima počiva Bulova algebra (Milošević et al., 2014). U svojim radovima Radojević (2000a, 2005, 2007a, 2008a, 2013a) je ukazao da je IBA posvećena tretiranju generalizovane realizacije vrednosti. Ono što ovaj pristup izdvaja u poređenju sa drugim viševrednosnim logikama je očuvanje svih Bulovih aksioma i teorema (Radojević, 2006b). Specifično za IBA je poštovanje zakona isključenja trećeg, dok zakon kontradikcije posmatra drugačije nego što je to slučaj sa fazi logikom (Radojević, 2007b). IBA po prvi put jasno razdvaja strukturu i vrednost elemenata Bulove algebre, na taj način što se sve strukturne transformacije izvode pre nego što se uvedu numeričke vrednosti. Time se Bulova algebra osposobljava za rešavanje čitavog niza realnih problema, uključujući i modelovanje interakcije između atributa odlučivanja.

1.1. Definisanje predmeta istraživanja

Predmet istraživanja doktorske disertacije je razvoj modela koji se baziraju na kombinovanju metoda VKA. Namera je da se kreiraju integrisani modeli koji će iskoristiti sve prednosti pojedinačnih metoda, kako klasičnog tako i fazi višekriterijumskog pristupa. Takođe, u okviru teze biće provereno da li se predloženi fazi višekriterijumski model može poboljšati uvođenjem logičkih interakcija između atributa koje će omogućiti postavljanje fazi logike u Bulov okvir. U te svrhe biće primenjena IBA, koja predstavlja konzistentan pristup za modelovanje logičkih interakcija.

U okviru disertacije biće predloženi kombinovani višekriterijumski modeli predstavljeni na konkretnim slučajevima rangiranja poslovnih banaka i snabdevača telekomunikacione opreme.

Model za rangiranje poslovnih banaka je razvijen za analizu celokupnog srpskog bankarskog sektora u periodu od 2005. do 2010. godine. Za ovu studiju slučaja korišćeni su finansijski podaci 35 komercijalnih banaka koje posluju na teritoriji Srbije.

Vrednovanje finansijskih parametara banaka je od ključnog značaja za privredu. Neizvesnost i kompleksnost globalnog tržišta, kao i porast protoka informacija su najveće prepreke za preciznu evaluaciju parametara. Iz tih razloga, od suštinske važnosti za predmetnu evaluaciju je da se primene odgovarajuće metode VKA koje će obezbediti pouzdane rezultate.

Model za rangiranje snabdevača je razvijen kao podrška u procesu nabavke u okviru jedne telekomunikacione kompanije koja posluje na teritoriji Srbije. Rangiranje i selekcija snabdevača u telekomunikacionom sektoru predstavlja bitnu komponentu lanca snabdevanja. Izbor pogrešnog snabdevača može biti dovoljan razlog da poremeti poslovanje u finansijskom i operativnom smislu. S druge strane, izbor pravog snabdevača značajno smanjuje troškove nabavke, povećava konkurentnost i bitno utiče na zadovoljenje zahteva krajnjih korisnika. Baš iz tih razloga, neopodno je da se izvrši izbor relevantnih metoda VKA koje će obezbediti pouzdane rezultate i omogućiti adekvatno rangiranje snabdevača telekomunikacione opreme.

Kao što je u uvodnom razmatranju već spomenuto, u literaturi AHP je najrasprostranjenija metodologija i tehnika koja služi za rešavanje problema rangiranja i često se koristi u kombinaciji sa drugim metodama VKA. Razlozi popularnosti AHP metoda su sledeći (Bruno et al., 2011):

- široko je primenjivana za rešavanje problema VKA (Byun, 2001; Ngai, 2003; Sarkis & Talluri, 2002);
- pruža hijerarhijski prikaz problema i na taj način pomaže pri donošenju odluka;
- može da obradi kvantitativne i kvalitativne attribute;
- obezbeđuje mehanizme koji prerađuju subjektivne procene donosilaca odluke;
- omogućava merenje konzistentnosti procena donosilaca odluke;
- može se kombinovati sa mnogim drugim pristupima (fazi teorija skupova, optimizacija, itd.).

Iako je AHP metoda široko rasprostranjena za rešavanje problema VKA, osnovni nedostatak ove metode je to što koristi skalu od 1 do 9 (Saaty, 1972), koja nije pogodna za donošenje odluka u nejasnim/neodređenim situacijama. Donosiocu odluke je potrebno više od 9 poena na nominalnoj skali kako bi opisao određene nejasne događaje. Sa druge strane, postoje donosioci odluke kojima je skala od 9 tačaka previše složena. Stoga, počeli su da se koriste trougaoni fazi brojevi koji predstavljaju zamenu za tradicionalnu skalu. Takvi uslovi su pogodovali razvoju fazi AHP metode (Van Laarhoven & Pedrycz, 1983) koji se bazira na AHP metodi i fazi logici (Zadeh, 1965), a implementira korišćenjem trougaonih fazi brojeva (Chang, 1996). Kao i klasični AHP metod, FAHP je vrlo pogodan za kombinovanje sa metodama konvencionalne i fazi VKA.

U okviru ove teze za rešavanje problema rangiranja poslovnih banaka biće razvijen integrisani model koji kombinuje klasičnu i fazi metodu VKA, konkretno FAHP i TOPSIS metodu. Za rešavanje problema rangiranja snabdevača biće korišćen model koji kombinuje dve fazi metode VKA, tj. FAHP i FTOPSIS. Cilj je razmotriti da li se primenom fazi logike mogu amortizovati nedostaci klasičnih metoda VKA, kao i da li se kombinovanjem metoda može razviti model koji će iskoristiti pogodnosti pojedinačnih metoda VKA.

Takođe, od interesa je proveriti da li se problem rangiranja snabdevača može efikasnije rešiti uvođenjem logičkih interakcija između atributa. Logičke uslovljenosti se baziraju na uvođenju operatora Bulovih algebre ($\wedge, \vee, C, \Leftrightarrow, \Rightarrow$) kojima menadžeri, tj. donosioci odluka, mogu jasnije da predstave zavisnosti i poređenja između atributa. Na taj način se Bulovom algebrom može izraziti mnoštvo realnih problema koji u analizu uključuju veći broj kvantitativnih i kvalitativnih atributa. Uvođenje logičkih interakcija između atributa omogućeno je primenom IBA (Radojević, 2000a, 2000b), koja predstavlja konzistentnu realizaciju fazi logike. Ono što je čini efikasnijim pristupom u odnosu na fazi je to što jasno razdvaja strukturu i vrednost elemenata, a pored toga poštuje sve zakone Bulove algebre (Radojević, 2006a, 2008a, 2013c).

Sve veći broj istraživanja je posvećen razvoju različitih metodologija za rešavanje pomenutih problema rangiranja. Pored toga što broj istraživanja u okviru ove oblasti raste, malo je empirijskih dokaza o praktičnoj korisnosti ovih alata (Weber et al., 1991; De Boer & Van Der Wegen, 2003). Vrlo često se predloženi modeli testiraju na generičkim aplikacijama, numeričkim primerima i računarskim eksperimentima (Bhutta & Huk, 2002; Dahel, 2003; Sean, 2007; Ting & Cho, 2008; Ordoobadi, 2009), sa malim osvrtnom na praktičnu implementaciju metodologije, kao i nedostatkom povratne informacije od strane menadžera koji učestvuju u procesu donošenja odluka.

Osnovni razlog razvoja kombinovanog fazi modela u ovom radu je prevashodno njegova praktična primena u korporativnom okruženju. Prednosti primene ovog modela u poslovnom sistemu su višestruke. Pre svega menadžerima se pruža značajna podrška u procesu odlučivanja i razvija se dobar alat za rangiranje poslovnih banaka i snabdevača. Bitno je ukazati i na pogodnosti koje se ostvaraju kreiranjem IBA modela za modelovanje interakcije među atributima, koji unapređuje proces odlučivanja jer se donosiocima odluka pruža mogućnost da putem interakcija jasnije iskažu zavisnosti između atributa odlučivanja. Primenom IBA pristupa donosioci odluke mogu logičkom algebrom da iskažu svoje zahteve koji se potom svode na vrednost, tj. omogućeno im je da prvenstveno izvrše sve strukturne transformacije, a zatim da prevedu u numeričku vrednost, što nije slučaj kod fazi pristupa.

1.2. Ciljevi istraživanja

Osnovni cilj i zadatak izrade doktorske disertacije je razvoj kombinovanog modela VKA koji podržava modelovanje interakcije između atributa, upravljanje nejasnim/nepreciznim ocenama donosilaca odluke o odnosima među atributima, kao i rangiranje alternativa. U okviru disertacije od interesa je proveriti da li se kombinovanjem klasičnih i fazi višekriterijumskih metoda može kreirati hibridni model koji će iskoristiti sve prednosti pojedinačnih metoda i dati pouzdanije rezultate. Takođe, razmotriće se i mogućnost uvođenja logičkih interakcija i uslovljenosti između atributa odlučivanja. Na taj način donosiocima odluka je značajno olakšano predstavljanje

subjektivnih procena, jer im je omogućeno da postavljaju lingvističke zahteve i logičke međuzavisnosti između atributa pre nego se uvedu numeričke vrednosti. Predloženi modeli su testirani kao podrška procesima rangiranja poslovnih banaka i snabdevača.

1.3. Polazne hipoteze istraživanja

Polazna hipoteza u okviru doktorske disertacije je sledeća:

1. Kombinovanjem IBA, fazi logike i metoda VKA moguće je bolje modelovati proces odlučivanja, nego korišćenjem pojedinačnih metoda VKA.

Posebna hipoteza je:

- 1.1. Uvođenjem logičkih interakcija između atributa može se poboljšati kombinovana metoda fazi logike i VKA, tako što se proširuje mogućnost lingvističkih iskaza donosilaca odluke.

1.4. Naučne metode istraživanja

Tokom izrade doktorske disertacije, u cilju uspešne realizacije ideja istraživanja, biće korišćene sledeće opšte naučne metode: deskripcija, analitičko-sintetička metoda, komparativna metoda, modelovanje, metoda merenja rezultata i zaključivanje.

Metoda deskripcije se primenjuje kako bi se opisale analizirane pojave i procesi, kao i međusobne uslovljenosti i zavisnosti između njih. Analitičko-sintetička metoda omogućava analizu prikupljenih podataka i metoda odlučivanja. Analizom se vrši uvid u postojeće višekriterijumske metode odlučivanja i postignute rezultate u oblasti teorije fazi skupova. Takođe, analizom se ostvaruje rastavljanje predmeta istraživanja na njegove sastavne delove, kako bi se identifikovali bitni atributi za donošenje odluke. Sintezom se omogućava uopštavanje sastavnih pojedinačnih delova predmeta istraživanja u složeni proces odlučivanja. Metoda komparacije vrši upoređivanje

rezultata istraživanja, kroz utvrđivanje sličnosti i razlika u njihovom ponašanju. Modelovanje predstavlja izradu modela koji oslikavaju realan proces, sa ciljem da dobijena rešenja i unapređenja imaju primenu na stvaran proces. Metoda merenja omogućava vrednovanje relevantnih parametara, analizu i izvođenje zaključaka na osnovu dobijenih rezultata.

Osim opštih naučnih metoda, u radu su korišćene i konkretne naučne metode i tehnike za rešavanje problema istraživanja, kao što su: metode VKA, metode FVKO i IBA.

Metode VKA omogućavaju određivanje prioriteta težina atributa odlučivanja i rangiranje alternativa. Ove metode imaju široku primenu pri rešavanju problema odlučivanja koji u analizu uključuju veliki broj, raznorodnih atributa. U okviru rada biće korišćene metode AHP i TOPSIS, kao jedne od najefikasnijih tehnika VKA.

Metode FVKO uključuju teoriju fazi skupova u VKA. Probleme odlučivanja često karakterišu atributi koji se ne mogu jasno prikazati jednom numeričkom vrednošću sa nominalne skale. Razvojem teorije fazi skupova omogućeno je predstavljanje neizvesnih/nejasnih atributa primenom trougaonih fazi brojeva, koji uzimaju vrednosti sa realnog intervala $[0,1]$. Uvođenje teorije fazi skupova u VKA predstavlja efikasan način da se nadomeste nedostaci klasičnih VKA metoda. U okviru doktorske disertacije biće korišćene FAHP i FTOPSIS metode za rešavanje predmeta istraživanja.

IBA predstavlja konzistentnu realizaciju teorije fazi skupova. Ova tehnika omogućava uspostavljanje logičkih interakcija i uslovljenosti između atributa odlučivanja, primenom Bulovih operatora i uz poštovanje svih Bulovih zakona. Ono što joj je svojstveno je da se svi zahtevi donosilaca odluke (strukturne transformacije) postavljaju pre nego što se uvedu numeričke vrednosti (vrednosne transformacije), što nije slučaj kod fazi logike. Primenom IBA pristupa omogućeno je postavljanje fazi logike u Bulov okvir i time se na izvestan način proširuje mogućnost upotrebe teorije fazi skupova.

1.5. Očekivani doprinos istraživanja

Ključni doprinos doktorske disertacije biće unapređenje sistema odlučivanja, razvojem kombinovanih modela, u situacijama kada se atributi odlučivanja ne mogu precizno odrediti i kada između njih postoje izvesne uslovljenosti i logičke interakcije.

Istovremeno, naučni doprinos rada ogleda se i u:

- analizi postojećih pojedinačnih i kombinovanih fazi višekriterijumskih modela koji se koriste za rešavanje problema odlučivanja;
- identifikovanju najbitnijih nedostataka u postojećim višekriterijumskim modelima;
- utvrđivanju metodologija kojima se identifikovani nedostaci mogu prevazići;
- razvoju originalnih hibridnih modela koji kombinuju metode višekriterijumskog odlučivanja u fazi okruženju, kao i kreiranju modela koji uključuje logičke interakcije između atributa odlučivanja;
- primeni predloženih hibridnih višekriterijumskih modela u ostalim domenima istraživanja.

Konkretno unapređenje sistema odlučivanja biće predstavljeno na procesima rangiranja poslovnih banaka i snabdevača telekomunikacione opreme.

1.6. Plan istraživanja

Plan istraživanja predstavljen je u sledećim fazama:

Faza I – Identifikovanje predmeta istraživanja u realnim poslovnim sistemima. Osnovni zadatak je definisanje polaznog problema odlučivanja, što podrazumeva određivanje relevantnih atributa, pod-atributa i alternativa za donošenje odluke. U okviru ove faze koristiće se metoda deskripcije, kako bi se detaljno opisao predmet istraživanja. Potom će se pristupiti analitičko-sintetičkoj metodi, gde se predmet istraživanja dekomponuje na sastavne delove (atribute, pod-atribute i alternative) i struktuiru u hijerarhijsko stablo.

Faza II – Analiza postojećih metoda VKA za rešavanje predmeta istraživanja. Ključni zadatak je identifikovanje klasičnih i fazi metoda VKA koje se u literaturi koriste za rešavanje problema odlučivanja. Takođe, od interesa je utvrditi i mogućnosti njihovog kombinovanja, kako bi se postigli pouzdaniji rezultati. U okviru ove faze od opštih naučnih metoda koristiće se metoda analize, kao i komparativna metoda kojom se omogućava upoređivanje metoda VKA.

Faza III – Izbor klasičnih i fazi metoda VKA za rešavanje predmeta istraživanja. Na osnovu analize VKA metoda iz prethodne faze, moguće je utvrditi koje su se tehnike u literaturi izdvojile kao pogodne za rešavanje predmetnog problema odlučivanja. Razmatraće se kako klasični tako i fazi VKA pristupi. Od opštih naučnih metoda u okviru ove faze koristiće se analitičko-sintetička i komparativna, dok će od konkretnih naučnih metoda biti primenjene AHP i TOPSIS, kao i njihove fazi verzije.

Faza IV – Kombinovanje klasičnih i fazi metoda VKA za rešavanje predmeta istraživanja. Osnovni zadatak je razmotriti mogućnosti kombinovanja metoda VKA i teorije fazi skupova, kako bi se nadomestili nedostaci pojedinačnih metoda. Od konkretnih naučnih metoda u okviru ove faze biće predstavljene sledeće kombinacije: FAHP-TOPSIS i FAHP-FTOPSIS.

Faza V – Uključivanje logičkih interakcija između atributa u proces rešavanja predmeta istraživanja. Osnovni zadatak je uvođenje logičkih funkcija koje posredstvom operatora Bulove algebre uspostavljaju međuzavisnosti između atributa odlučivanja. Konkretna naučna metoda koja će se primenjivati u okviru ove faze je IBA. Pomoću IBA pristupa uspostaviće se korelacije između atributa, dok će rangiranje alternativa, u okviru ove doktorske disertacije, biti omogućeno primenom: klasične VKA metode TOPSIS, fazi VKA metode FTOPSIS i pseudo-logičke agregacije.

Faza VI – Evaluacija dobijenih rezultata. Osnovni zadatak je komparacija rezultata istraživanja dobijenih kombinovanjem metoda VKA, kao i rezultata dobijenih primenom IBA pristupa. Opšte metode koje će se koristiti u okviru ove faze su: metoda komparacije, metoda merenja rezultata i zaključivanje.

2. Višekriterijumsko odlučivanje

Višekriterijumsko odlučivanje - VKO (eng. *Multi-Criteria Decision Making – MCDM*) je jedna od najpoznatijih grana odlučivanja koja se generalno bazira na subjektivnim procenama donosilaca odluka na osnovu većeg broja kvantitativnih i kvalitativnih kriterijuma koji su često suprotstavljeni. Primarni cilj VKO je da razvije metodologiju koja omogućava agregaciju kriterijuma, uz uključivanje subjektivnih preferencija donosilaca odluke (Doumpos & Zopounidis, 2002). Postizanje ovog cilja zahteva primenu složenih procedura. Najčešće primenjivane metode odlučivanja su intuicija i delovanje po pravilima. Međutim, ove metode su prilično neprecizne kada je u pitanju rešavanje kompleksnih problema odlučivanja. Roy (1990) je tvrdio da rešavanje problema VKO nije potraga za optimalnim rešenjem, već ovaj vid odlučivanja pomaže donosiocima odluke da obrade složene podatke koji su uključeni u njihov problem i na taj način napreduju ka najprihvatljivijem rešenju. Razvoj modela VKO umnogome zavisi od realnog problema i razlikuje se od slučaja do slučaja. Teško je konstruisati univerzalan model i naći optimalno rešenje problema. Zato ne čudi što se metode VKO pojavljuju na jedan prilično difuzan način, bez ikakve opšte metodologije (Vincke, 1992). Metodu VKO je potrebno pažljivo odabrati u skladu sa prirodom problema, vrstom izbora, mernom skalom, tipom neizvesnosti, zavisnostima između kriterijuma, očekivanjima donosilaca odluke, kao i u zavisnosti od kvaliteta i kvantiteta raspoloživih podataka i procena (Vincke, 1992). Pronalaženje „najboljeg“ višekriterijumskog okvira je cilj kome se stalno teži, a koji ne može biti u potpunosti postignut (Triantaphyllou, 2000).

VKO predstavlja moćno sredstvo koje ima široku primenu pri rešavanju problema odlučivanja koji uključuju veliki broj najčešće suprotstavljenih kriterijuma. Metode za rešavanje višekriterijumskih problema se prema Hwang & Yoon (1981) mogu klasifikovati u dve kategorije, u zavisnosti da li se analizira problem selekcije ili problem dizajniranja: višeatributivno odlučivanje - VAO (eng. *Multi-Attribute Decision Making - MADM*) i višeciljno odlučivanje - VCO (eng. *Multi-Objective Decision Making - MODM*), respektivno. U savremenoj literaturi VAO se često poistovećuje sa

nazivom višekriterijumska analiza (Čupić et al., 2003) – VKA (eng. *Multi-Criteria Analysis – MCA*). Ovaj naziv biće usvojen i u okviru predmetne doktorske disertacije.

U skladu sa problemom koji će se analizirati pažnja će biti usmerena ka metodama VKA. Ove metode se koriste za rešavanje problema sa unapred određenim ili limitiranim brojem alternativa. VKA pristup omogućava procenu alternativa na osnovu različitih atributa koji su predstavljeni različitim jedinicama mere. To je bitna prednost naspram metoda gde se svi atributi prevode na istu jedinicu mere. Pogodnosti metoda VKA su sledeće (Dağdeviren & Yüksel, 2008):

- omogućena je subjektivna evaluacija konačnog broja alternativa u odnosu na skup atributa od strane donosilaca odluke;
- matematička i računska svojstva ovih metoda su pogodna za primenu na širok spektar realnih problema;
- analizirani problem se prevodi u hijerarhijsku strukturu kako bi se pojednostavio ulaz informacija i na taj način omogućilo donosiocima odluke da se fokusiraju na manje delove složenog problema;
- pogodne su za procenu od strane većeg broja donosilaca odluke.

Shodno navedenom, pristupi VKA su postali vrlo efikasni za rešavanje problema koji u analizu uključuju veći broj raznorodnih atributa. U okviru ove doktorske disertacije biće analizirana primena sledećih VKA metoda: AHP (*Analytic hierarchy process*) i TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*).

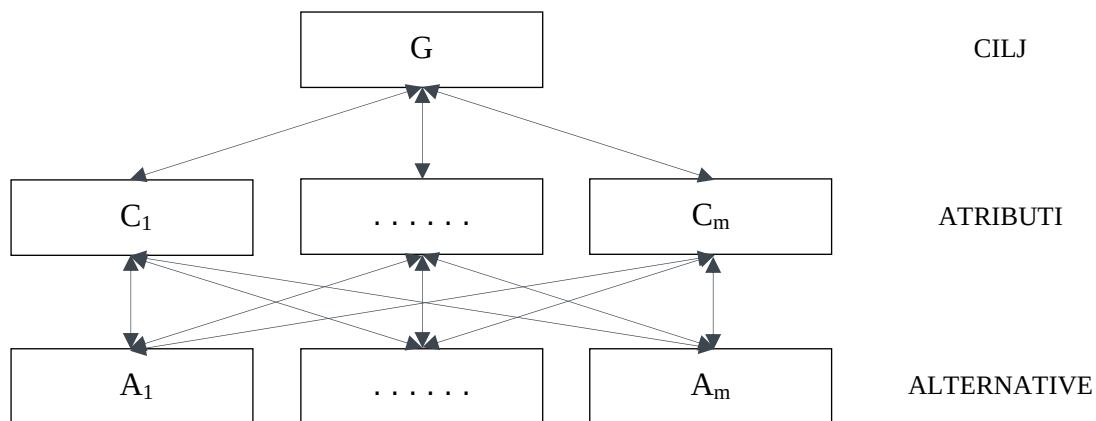
U većini problema VKO, informacije o alternativama mogu biti nepotpune zbog nedostataka podataka, neopipljivosti nekog kriterijuma, ograničene pažnje ili ograničenja u obradi informacija (Kahneman et al., 1982). Chen & Hwang (1992) u svojim radovima su istakli da većina realnih problema VKO sadrži kombinaciju rasplinutih (eng. „*fuzzy*“ – maglovito, neprecizno) i nerasplinutih (eng. „*crisp*“ – oštro, precizno) podataka. Jasno je da u nekim slučajevima vrednosti koje određene alternative uzimaju po pojedinim kriterijumima nisu date kvantitativno, već kroz odgovarajuće lingvističke izraze. Zato postojeće metode VKO nisu adekvatne za rešavanje problema

koji su nejasni i neodređeni. U mnogim realnim situacijama informacije o alternativama u odnosu na kriterijume se ne mogu precizno predstaviti. U takvim slučajevima, da bi se efikasno izborili sa nepotpunim, nejasnim, nekvantitativnim i neodređenim informacijama uvodi se Fazi višekriterijumsko odlučivanje – FVKO. Generalno, u literaturi se problemi VKO klasifikuju u dve grupe: klasični problemi VKO kod kojih su rejtinzi i težine kriterijuma mereni preciznim vrednostima i problemi FVKO koji rejtinge i težine kriterijuma vrednuju na osnovu nepreciznih, nejasnih i subjektivnih podataka, a izražavaju ih na osnovu lingvističkih varijabli koje se potom prevode u fazi brojeve (Amiri et al., 2009).

2.1. AHP (eng. *Analytic hierarchy process*)

AHP kao jedna od najpoznatijih metoda VKA predložena je od strane Satija (orig. Saaty, 1980). Ova tehnika je pogodna za rešavanje kompleksnih problema koji zahtevaju selekciju optimalne alternative iz skupa alternativa. Njihov odabir je omogućen međusobnim poređenjem velikog broja kvantitativnih i kvalitativnih atributa (Badri, 2001). AHP metoda se sprovodi na osnovu četiri koraka (Albayrak & Erensal, 2004):

Korak 1: strukturiranje modela. Kompleksan problem se dekomponuje na jednostavnije delove i strukturira u hijerahijsko stablo, koje se sastoji od najmanje tri nivoa: opšti cilj problema je na vrhu stabla, u sredini su više različitih atributa odlučivanja, a kraj stabla čine alternative (***Slika 1***).



Slika 1: Hijerahijsko stablo AHP metode

Korak 2: komparativna procena alternativa i atributa. U okviru ovog koraka određuju se relativni prioriteti atributa na svakom hijerahijskom nivou. Matrice međusobnog poređenja započinju od drugog nivoa hijerahije (nivo atributa), a završavaju se sa poslednjim nivoom na kome se nalaze alteranative. Karakteristično za matrice međusobnog poređenja je da koriste Satijevu skalu od 9 tačaka (**Tabela 1**). Na svakom hijerahijskom nivou atributi se porede na osnovu stepena uključenosti u attribute koji su na višem nivou.

Ako se pretpostavi da je $C = \{C_j, j = 1, 2, \dots, n\}$ skup atributa, matrica odlučivanja se može definisati tako da svaki element a_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) predstavlja relativni prioritet atributa, **Izraz (1)**:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, (1)$$

gde za element a_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) važe sledeći uslovi, **Izraz (2)**:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ii} = 1, a_{ij} > 0 (2)$$

Tabela 1. Standardizovana komparativna skala od devet tačaka

Definicija	Vrednost
Jednako	1
Slabo	3
Prilično	5
Značajno	7
Apsolutno	9
Srednje vrednosti	2,4,6,8

Korak 3: sinteza relativnih prioriteta. Kako bi se odredio globalni prioritet alternativa neophodno je izvršiti agregaciju relativnih prioriteta atributa. Računanje relativnih prioriteta atributa vrši se na osnovu **Izraza (3)**:

$$A * W = \lambda_{max} * W, (3)$$

gde se λ_{max} izračunava na sledeći način: ako je λ_{max} jednaka n , a rang matrice A je n , tada je A konzistentna matrica. U tom slučaju, relativni prioritet atributa se dobija normalizacijom bilo kog reda ili kolone matrice A (Wang & Yang, 2007).

Korak 4: test konzistentnosti. AHP metoda mora da ispuni uslov konzistentnosti matrice A . Dakle, potrebno je razmotriti dva parametra: indeks konzistentnosti (eng. *consistency index* – CI) i ratio konzistentnosti (eng. *consistency ratio* – CR). Oba parametra su definisana na sledeći način, **Izrazima (4, 5)**, respektivno:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, (4)$$

$$CR = \frac{CI}{RI}. (5)$$

gde je RI slučajni indeks. Za različite attribute ovaj indeks ima različite vrednosti (**Tabela 2**).

Tabela 2. Odnos između RI vrednosti i atributa

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Ukoliko je CR manji od 0,10, rezultat je prihvatljiv i matrica A je konzistentna. U protivnom, neophodan je povratak na **Korak 1** i ponovno sprovođenje procedure.

Prednosti AHP metode su sledeće: omogućava sveobuhvatnije razumevanje problema i sistemski pristup za procenu potencijalnih alternativa, struktura problem odlučivanja u hijerarhiju tako da se svaki atribut može analizirati ponaosob, uključuje u analizu preferencije, lične presude i iskustva različitih aktera uključenih u rešavanje problema, uzima u obzir konzistentnost procena donosilaca odluke, fokusira se na cilj odlučivanja, omogućava modelovanje kvantitativnih i kvalitativnih atributa, razmatra sve relevantne attribute sve dok se ne ostvari konačan izbor alternative, jednostavnost u proračunima i korišćenju, a pored toga ne zahteva matematičko znanje donosilaca odluke.

Međutim, AHP metoda ima i izvesne nedostatke kao npr.: utvrđivanje relativnog prioriteta jednog atributa naspam drugog je prilično otežavajuće kada postoji veliki broj atributa. Sam Sati (orig. Saaty, 1977) je u svojim istraživanjima naveo da broj atributa koji se analiziraju za postavljeni problem treba ograničiti na sedam. Takođe, pojednostavljenje problema u hijerarhiju može da utiče na gubljenje nekih važnih međuzavisnosti između pojedinih atributa. Sem toga, složene hijerarhije mogu da povećaju vreme i komplikacije u računanju matrica poređenja. U slučaju promena broja atributa ili alternativa donosioci odluka treba ponovo da izvrše procenu istih.

I pored toga što AHP metoda uključuje mišljenja eksperata i omogućava evaluaciju više atributa, ona nije efikasna da reflektuje nejasne i neodređene ljudske misli (Secme et al., 2009). Ono što je svojstveno ovom pristupu je da donosilac odluke svoje preferencije iskazuje preciznim vrednostima na Satievoj skali od 1 do 9. Pored toga što je ova skala jednostavna za upotrebu i često se koristi, ona ne uključuje neodređenosti i nepreciznosti prilikom prevođenja preferencija donosilaca odluke u numeričke vrednosti (Büyüközkan et al., 2008). Često donosioci odluka nisu u mogućnosti da svoje

preferencije predstave eksplicitno zbog fazi prirode procesa poređenja (Büyüközkan et al., 2008). U cilju da se izbore sa neizvesnostima i neodređenostima kao i sa subjektivnim ljudskim percepcijama i iskustvima, mnogi autori predlažu fazi verziju AHP metode.

2.2. TOPSIS (eng. *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*)

TOPSIS predstavlja jednu od najčešće primenjivanih klasičnih metoda VKA. Ova metoda rangira alternative prema udaljenosti od tzv. Pozitivnog Idealnog Rešenja (eng. *Positive Ideal Solution* - PIS) i Negativnog Idealnog Rešenja (eng. *Negative Ideal Solution* - NIS). PIS predstavlja rešenje koje maksimizira attribute koji predstavljaju korist (eng. *benefit attribute*) i minimizira attribute koji predstavljaju trošak za poslovanje (eng. *cost attribute*). NIS poseduje suprotnu logiku, odnosno maksimizira troškovne attribute i minimizira korisne attribute (Benitez et al. 2007). TOPSIS metoda razmatra istovremeno PIS i NIS rastojanja, tako da je optimalna alternativa ona koja je u geometrijskom smislu najbliža PIS, odnosno najdalja od NIS (Seçme et al. 2009). Rangiranje alternativa se zasniva na relativnoj sličnosti sa idealnim rešenjem, čime se izbegava situacija da alternativa ima istovremeno jednaku sličnost sa PIS i NIS.

PIS se definiše pomoću najboljeg rejtinga alternativa za svaki pojedinačni atribut. S druge strane, NIS predstavlja najgori rejting alternativa. Pojmovi „najbolji“ i „najgori“ interpretiraju se za svaki atribut ponaosob, zavisno od toga da li je u pitanju maksimizacija ili minimizacija atributa.

TOPSIS metoda je široko prihvaćena tehnika VKA između ostalog zbog logičnosti, simultanog razmatranja idealnog i anti-idealnog rešenja i jednostavne procedure računanja (Karsak, 2002). U okviru ovog rada biće predstavljena TOPSIS metodologija koju su predložili Hwang & Yoon (1981), a koja se sastoji od sledećih koraka:

Korak 1: Matrica odlučivanja se normalizuje primenom **Izraza (6)**:

$$r_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^J w_{ij}^2}}, \quad j = 1, 2, \dots, J; i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Korak 2: Ponderisana normalizovana matrica odlučivanja se dobija kada se normalizovana matrica pomnoži težinama atributa, **Izraz (7)**:

$$V_{ij} = W_i^* r_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, J; i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Korak 3: PIS (maksimalna vrednost) i NIS (minimalna vrednost) se određuju primenom **Izraza (8, 9)**, respektivno:

$$A^* = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_n^*\}, \quad (8)$$

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\}, \quad (9)$$

Korak 4: Udaljenost svake alternative od PIS i NIS se računa primenom **Izraza (10, 11)**:

$$d_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2}, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (10)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (11)$$

Korak 5: Koeficijent sličnosti za svaku alternativu (CC_i) se izračunava uz pomoć **Izraza (12)**:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \cdot (12)$$

Korak 6: Na kraju analize, rangiranje alternativa je omogućeno poređenjem CC_i vrednosti.

3. Fazi logika

Klasična (binarna) logika (eng. *Classical logic*) je predstavljena u Bulovom okviru i bazira se na dvovrednosnoj realizaciji Bulove algebre. Engleski matematičar George Boole (1848) je prvi postavio osnove Bulove aksiome i teoreme i time značajno doprineo razvoju klasične logike. Ono što karakteriše klasičnu Bulovu logiku je da jedan iskaz može biti tačan ili netačan (1 ili 0, istinit ili neistinit). Međutim, ovakvo tretiranje iskaza se nije pokazalo kao adekvatan način za rešavanje realnih problema.

Takvi uslovi pogodovali su razvoju viševrednosne logike (eng. *Many-valued logic*) koja je predložena od strane Lukasiewicz (1970). Ova logika je trovrednosna i realizuje se uključivanjem međuvrednosti $\frac{1}{2}$, uz obavezne vrednosti 1 i 0. Viševrednosna logika predstavlja međufazu između klasične i fazi logike. Fazi logika (eng. *Fuzzy logic*) je sledeći korak uopštavanja i postavljena je na osnovama Lukasiewicz logike (Milošević et al., 2014).

Fazi logika (eng. „fuzzy“ – nejasno, neodređeno) predstavlja generalizaciju klasične logike. Razvijena je nad teorijom fazi skupova, predložene od strane Lotfi Zadeh (1965). Prema Zadeh (1972), teorija fazi skupova (eng. *Fuzzy set theory*) je efikasan način da se matematički predstave neizvesne i neprecizne ljudske procene. Ova teorija smatra se najpogodnijom metodom za upravljanje neodređenim i nejasnim problemima. Za razliku od klasične Bulove logike koja se bazira na vrednostima 0 ili 1, fazi logika omogućava rad sa bilo kojom međuvrednošću na intervalu $[0,1]$. Zadeh je među prvim prepoznao neophodnost gradacija u opštim relacijama (teorija fazi skupova – fazi skupovi (Zadeh, 1965), logika – fazi logika (Zadeh & Bellman, 1977), relacije – fazi relacije (Zadeh, 1972)).

Može se reći da teorija fazi skupova predstavlja preciznu logiku nepreciznosti i aproksimativnog rezonovanja (Zadeh, 2008). Ono što je čini efikasnijim pristupom u odnosu na klasičnu logiku jeste sposobnost da adekvatnije odražava stvarni svet (Ertugrul & Tus, 2007). Ona se prvenstveno bavi kvantifikacijom nejasnoća u ljudskim mislima i percepcijama, tako da je pogodna za modelovanje neizvesnih situacija jer

omogućava robusnost i fleksibilnost modela. Uloga teorije fazi skupova dolazi do izražaja kada se primenjuje nad složenim modelima koji se ne mogu lako predstaviti klasičnim matematičkim metodama.

Glavna prednost teorije fazi skupova je ta što ne zahteva potpuno egzaktna, cifrom izražene podatke (Milošević et al., 2013). Ova logika je pogodna za rad sa jezičkim izrazima, na taj način što omogućava transformaciju lingvističkih varijabli u numeričke vrednosti. Lingvističke varijable su promenljive čije vrednosti nisu brojevi, već reči i rečenice iz svakodnevnog govora. Sam Zadeh (1988) je konstatovao da je rad sa rečima veoma važan jer su one sastavni deo ljudskog govora. Osim toga, lingvistički izrazi su lakši za korišćenje prilikom iskazivanja subjektivnih i nepreciznih ljudskih stavova. Ljudsku procenu generalno karakteriše neprecizan jezik, kao što su termini „jednako“, „umereno“, „snažno“, „veoma snažno“, „izuzetno“ i „značajno“. Koncept lingvističkih promenljivih se pokazao kao veoma pogodan za korišćenje u situacijama koje su okarakterisane kao izrazito složene ili u slučajevima gde se performanse ne mogu jasno opisati konvencionalnim kvantitativnim izrazima (Kaufmann & Gupta, 1991; Zadeh, 1965; Zimmermann, 1991). Sve navedeno vodi ka zaključku da fazi logika može da bude osnov za brojne metode u okviru kojih se kvalitativne procene mogu izraziti kvantitativnim podacima.

3.1. Fazi višekriterijumsko odlučivanje

Teorija fazi skupova je dragoceno sredstvo koje utiče na povećanje sveobuhvatnosti i opravdanosti procesa odlučivanja. Ljudski faktor je prilično uključen u proces odlučivanja, pa je prilikom donošenja odluka bitno pored objektivnih ljudskih procena uzeti u obzir i njihove subjektivne (neprecizne) stavove. Primenom teorije fazi skupova donosiocima odluke je omogućeno da se uspešno izbore sa neizvesnostima. Kako bi se dobro postavio višekriterijumski model neophodno je da se tolerišu nejasnoće i dvosmislenosti koje su zajednički imenitelj za mnoge probleme odlučivanja (Yu, 2002). Budući da konvencionalne metode VKA prilikom komparacije i određivanja preferencija performansi koriste jednu numeričku vrednost sa odabrane skale, ove metode ne obezbeđuju zadovoljavajuće rezultate u neizvesnim situacijama. U klasičnom

višekriterijumskom pristupu rejting kriterijuma se tačno zna i može se predstaviti preciznim vrednostima. Međutim, u realnom svetu koje se nalazi u neizvesnom i nepreciznom okruženju, ne možemo pretpostaviti da su znanja i procene donosilaca odluke egzaktna (Chan & Kumar, 2007; Shyur & Shih, 2006). Stoga, korišćenje preciznih vrednosti predstavlja problematičnu tačku evaluacije. Donosiocima odluka je praktičnije da svoje preferencije prikažu na intervalu, umesto da za njihovo predstavljanje koriste jednu numeričku vrednost sa nominalne skale (Kahraman et al., 2003). S tim u vezi, neki od kriterijuma se i ne mogu predstaviti preciznim vrednostima, pa su često zapostavljeni tokom evaluacije. Iz tih razloga, konvencionalne metode VKA se ne mogu izboriti sa problemima koji su praćeni dvosmislenostima, neodređenostima, neizvesnostima u procenama donosilaca odluka, u takvim situacijama je neefikasno koristiti egzaktna procena.

Sve pomenuto je dovelo do razvoja fazi višekriterijumskog odlučivanja - FVKO (eng. *Fuzzy Multi Criteria Decision Making – FMCDM*). Ovaj pristup je razvijen zahvaljujući nepreciznim procenama relativnog značaja kriterijuma i nejasnih preferencija alternativa u odnosu na posmatrane kriterijume. Nepreciznost i nejasnoće u analizi problema mogu nastati iz više razloga: postojanje informacija koje se ne mogu kvantifikovati, nepotpune informacije, nerealne informacije i informacije proistekle iz neznanja. Dakle, da bi se opisale i uključile nepreciznosti i neizvesnosti elemenata prisutnih u procesu odlučivanja, uvodi se pojam fazi lingvističkih promenljivih. Njihovom implementacijom donosiocima odluke je omogućeno da se lakše izbore sa informacijama koje se ne mogu kvantitativno iskazati, koje su nepotpune i neproverene (Kulak et al., 2005).

Teorija fazi skupova ostvaruje fleksibilniju komparaciju kriterijuma i pogodan je pristup za iskazivanje preferencija donosilaca odluke (Kahraman et al., 2003). Ova teorija koristi lingvističke vrednosti čiji je stepen pripadnosti praćen trougaonim fazi brojevima (Liang & Wang, 1994). Upotrebom fazi lingvističkog pristupa prilikom iskazivanja preferencija od strane donosilaca odluke razmatraju se optimistički i pesimistički rejting kriterijuma. Model koji su predložili Chen & Hwang (1992) za rešavanje problema VKA pomoću fazi logike sastoji se iz dva koraka. U prvom koraku, lingvistički izrazi se

preslikavaju u odgovarajuće realne brojeve. Na taj način što se najpre vrši konverzija izraza u fazi brojeve, a zatim se fazi brojevi transformišu u realne vrednosti. Dakle, svi podaci u matrici odlučivanja su realni brojevi, pa se u sledećem koraku može primeniti bilo koja od klasičnih metoda VKA. U okviru ovog rada analizirane su fazi verzije metoda VKA koje su predstavljene u prethodnom poglavlju: FAHP i FTOPSIS.

3.2. Fazi skupova, fazi brojevi i operacije

Fazi skup predstavlja proširenje klasičnog pojma skup. Naime, u klasičnoj teoriji skupova, pripadnost članova skupu je iskazana binarno, prema bivalentnom stanju – jedan element pripada ili ne pripada skupu (Liou et al., 2008; Wu & Lee, 2007). Teorija fazi skupova je bazirana na fazi skupovima koji predstavljaju klasu objekata sa stepenom pripadnosti (Negoita, 1985; Zimmermann, 1985). Funkcija pripadnosti se dodeljuje svakom objektu iz klase sa rangom koji se kreće u intervalu $[0,1]$. Matematičke operacije koje su dozvoljene nad fazi skupovima su: sabiranje, oduzimanje, množenje i deljenje (Dubois & Prade, 1979; Kaufmann & Gupta, 1988).

Fazi skupovi generalno koriste trougaone, trapezoidne i Gausove fazi brojeve, koji konvertuju neizvesne brojeve u fazi brojeve. Korišćenje komplikovanijih fazi brojeva kao što su trapeziodni ili Gausovi, omogućavaju precizniji opis problema odlučivanja. Međutim, trougaoni fazi brojevi se dosta primenjuju i to naročito u sledećim situacijama (Mentes & Helvacioğlu, 2012):

- kada složene funkcije prouzrokuju veću kompleksnost izračunavanja;
- kada njihova upotreba pojednostavljuje fazi matematičke operacije;
- kada složeni fazi brojevi otežavaju definisanje funkcije pripadnosti;
- kada se njihovom primenom mogu efikasno reprezentovati procene donete od strane većeg broja donosilaca odluke.

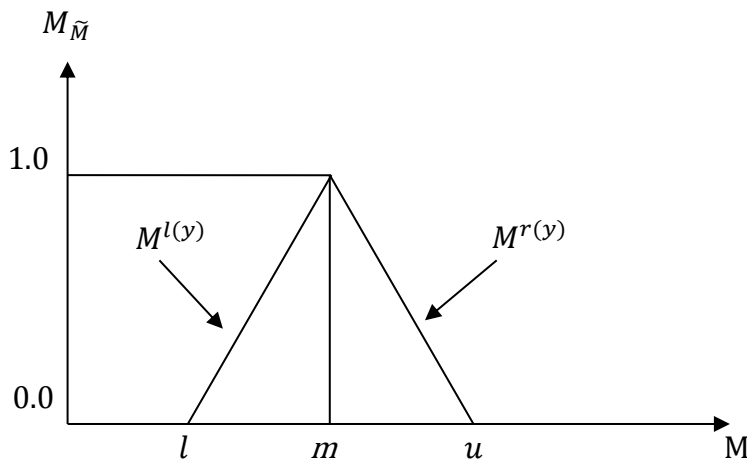
Za rešavanje problema u okviru ovog rada biće korišćeni trougaoni fazi brojevi, koji se definišu na sledeći način:

Definicija 1. Fazi skup je klasa objekata okarakterisana funkcijom pripadnosti, u kojoj se svakom objektu dodeljuje stepen pripadnosti na intervalu $[0,1]$. Fazi skup se najčešće predstavlja oznakom " $\sim$ ", a definiše se podskupom $\tilde{M}$ sa funkcijom pripadnosti $\mu(x|\tilde{M})$ (*Slika 2*).

Definicija 2. Konveksan i normalizovan fazi skup definisan je na R , čiji su delovi kontinuirane funkcije pripadnosti i nazivaju se fazi brojevi.

Definicija 3. Trougaoni fazi brojevi se označavaju kao $(l|m,m|u)$ ili (l,m,u) . Parametri l, m, u predstavljaju najmanju, najperspektivniju i najveću moguću vrednost koja opisuje neki fazi događaj, respektivno. Funkcije pripadnosti $\tilde{M}$ trougaonog fazi broja može biti predstavljan na sledeći način, primenom **Izraza (13)** (Cheng, 1999; Lee et al., 2005; Lee, 2009):

$$\mu(x|\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (13)$$



Slika 2: Trougaoni fazi broj $\tilde{M}$

Definicija 4. Operacioni zakoni dva trougaona fazi broja $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ i $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$, definisani su **Izrazima (14, 15, 16, 17, 18)**:

$$\tilde{M}_1 \oplus \tilde{M}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2), (14)$$

$$\tilde{M}_1 \ominus \tilde{M}_2 = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2), (15)$$

$$\tilde{M}_1 \otimes \tilde{M}_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2), (16)$$

$$\tilde{M}_1 \oslash \tilde{M}_2 = (l_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / l_2), (17)$$

$$(\tilde{M}_1)^{-1} = (1 / u_1, 1 / m_1, 1 / l_1). (18)$$

Temeljnu analizu teorije fazi skupova dao je Zimmermann (1991, 1996) u svojim radovima. Bellman & Zadeh (1970) su prvi uključili teoriju fazi skupova u proces odlučivanja i to u situacijama kada se koriste nejasni, neprecizni i neizvesni podaci za generisanje odluke. Yager & Basson (1975) su predložili uvođenje teorije fazi skupova u rešavanje problema odlučivanja. Sem pomenutih autora, ovom tematikom bavili su se Kahraman et al. (2006); Klir & Yuan (1995); Lootsma (1997).

Algebarske operacije između fazi brojeva predstavljene su u radovima Kahraman (2001); Kahraman et al. (2002). Fazi skupove, fazi brojeve i lingvističke promenljive proučavali su Zadeh (1965); Zimmermann (1987, 1991); Kaufmann & Gupta (1991); Chen (2000). U dostupnoj literaturi postoji mnoštvo metoda za rangiranje alternativa uz pomoć fazi brojeva. One daju različite rezultate rangiranja i zahtevaju kompleksan matematički proračun.

3.2.1. FAHP (eng. *Fuzzy Analytic hierarchy process*)

Fazi verzija AHP metode predstavlja kombinaciju klasične AHP metode (Saaty, 1980) i teorije fazi skupova (Zadeh, 1965), a implementira se korišćenjem trougaonih fazi brojeva (Chang, 1996). Ova tehnika koristi teoriju fazi skupova, dok se obračun vrši korišćenjem AHP metode i po tom principu se selektuje optimalna alternativa (Bozbura et al., 2007). Trougaoni fazi brojevi se primenjuju da bi se odredio prioritet različitih elemenata odlučivanja, a proširena AHP metoda određuje konačan rang elemenata.

FAHP metoda primenjuje se u brojnim oblastima, tako da su istraživači razvili različite metodologije (Van Laarhoven & Pedrycz, 1983; Buckley, 1985; Boender et al., 1989; Chen, 1996; Chang, 1996; Lee et al., 2005; Lee, 2009). Van Laarhoven & Pedrcyz (1983) predlažu prvu studiju koja uvodi principe fazi logike u AHP metodu, u kojoj su koristili trougaone fazi brojeve. Buckley (1985) inicira da se trapeziodnim fazi brojevima izražava procena donosioca odluke u vezi alternativa u odnosu na svaki atribut. Boender et al. (1989) predstavljaju modifikaciju fazi višekriterijumske metode predložene od strane Van Laarhoven & Pedrcyz (1983).

Fazi proširenje AHP metode predstavljeno je sledećim koracima:

Neka je $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ skup objekata, a $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ skup ciljeva. Prema metodologiji proširene analize koju je postavio Čeng (orig. Chang, 1992, 1996), za svaki uzeti objekat vrši se proširena analiza cilja gi . Vrednosti proširene analize m za svaki objekat mogu biti predstavljene na sledeći način, **Izraz (19)**:

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^n, i = 1, 2, \dots, n, (19)$$

gde su M_{gi}^j ($j = 1, 2, \dots, m$) trougaoni fazi brojevi. Proširena analiza predložena od strane Čenga sadrži sledeće korake:

Korak 1: Vrednost fazi proširenja za i -ti objekat definiše se **Izrazom (20)**:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}, \quad (20)$$

Da bi se dobilo izraz $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$, potrebno je izvršiti dodatne fazi operacije sa m vrednostima proširene analize, što je predstavljeno **Izrazom (21)**:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_i \sum_{j=1}^m m_i \sum_{j=1}^m u_i \right),$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^n l_i \sum_{j=1}^n m_i \sum_{j=1}^n u_i \right), \quad (21)$$

Odnosno, potrebno je izračunati inverzan vektor, **Izraz (22)**:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right), \quad (22)$$

Korak 2: Stepen mogućnosti $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ i $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ definisan je **Izrazom (23)**:

$$V(M_2 \geq M_1) = y \geq x \left[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)) \right], \quad (23)$$

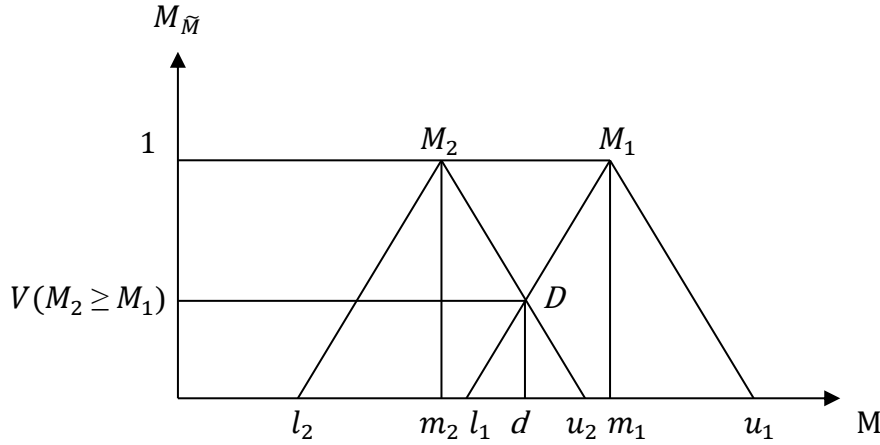
koji se može izraziti na sledeći način, **Izraz (24)**:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d), \quad (24)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{ako je } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{ako je } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{inače,} \end{cases}$$

gde je d ordinata najvećeg preseka u tački D između μ_{M_1} i μ_{M_2} (**Slika 3**).

Za poređenje M_1 i M_2 , potrebno je uzeti u obzir obe vrednosti $V(M_1 \geq M_2)$ i $V(M_2 \geq M_1)$.



Slika 3: Presek između M_1 i M_2

Korak 3: Stepen mogućnosti da konveksni fazi broj bude veći od k konveksnog broja M_i ($i = 1, 2, \dots, k$) može se definisati **Izrazom (25)**:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \wedge (M \geq M_2) \wedge \dots \wedge (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (25)$$

Ako se pretpostavi da važi sledeći **Izraz (26)**:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \quad (26)$$

za $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$. Težinski vektor je dat **Izrazom (27)**:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T, \quad (27)$$

gde je A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) n elemenata.

Korak 4: Putem normalizacije, težinski vektori se svode na **Izraz (28)**:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T. \quad (28)$$

gde W predstavlja broj koji nije fazi, tj. realan broj (Büyüközkan et al., 2008; Kahraman et al., 2006).

Kako bi se proverilo da li su preferencije donosilaca odluke objektivno postavljene i da li je omogućeno pravilno donošenje odluka neophodno je primeniti već spomenuti test konzistentnosti. Kao i u klasičnom AHP metodu i u fazi verziji se koriste **Izrazi (4, 5)** za računanje parametara: indeks konzistentnosti i ratio konzistentnosti. Ukoliko je vrednost racia konzistentnosti jednaka ili manja od 0,10, kvalitet odlučivanja je odgovarajuć, u suprotnom (vrednost veća od 0,10) donosilac odluke je u obavezi da ponovi proces komparacije i da preispita sopstvene preferencije (Bobar, 2014a).

U cilju određivanja vrednosti λ_{max} iz **Izraza 3** neophodno je da se procene donosioca odluke, koje su predstavljene fazi trougaonim brojevima, prevedu u precizne numeričke vrednosti, tj. potrebno je izvršiti defazifikaciju. U literaturi su se mnogi autori bavili načinima defazifikacije, a za potrebne predmetne doktorske disertacije usvojen je pristup predložen od strane Liou & Wang (1992).

Ako je $\widetilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ trougaoni fazi broj. U tom slučaju potrebno je ovaj fazi broj prevesti u peciznu vrednost primenom sledećeg **Izraza (29)**:

$$a_{ij} = [\lambda * l_{ij}^\alpha + (1 - \lambda) * u_{ij}^\alpha], 0 \leq \lambda \leq 1, 0 \leq \alpha \leq 1, \quad (29)$$

gde je:

α - preferencije donosioca odluke;

λ – rizik tolerancije od strane donosioca odluke;

l_{ij}^α – leva krajnja vrednost α za a_{ij} koja se izračunava upotrebom **Izraza (30)**:

$$l_{ij}^\alpha = (m_{ij} - l_{ij}) * \alpha + l_{ij}, \quad (30)$$

u_{ij}^α – desna krajnja vrednost α za a_{ij} koja se izračunava upotrebom **Izraza (31)**:

$$u_{ij}^\alpha = u_{ij} - (u_{ij} - m_{ij}) * \alpha, (31)$$

Vrednost α se posmatra kao uslov koji je stabilan ili varira (Hus & Yang, 2000). Kada je $\alpha = 0$ tada je opseg neodređenosti najveći, što znači da sa povećanjem vrednosti za α , okruženje za donošenje odluke postaje stabilnije (Chang, Wu & Lin, 2009). Sem toga, λ se posmatra kao stepen optimizma donosioca odluke i ova vrednost varira u opsegu između 0 i 1. Ukoliko je $\lambda = 0$ donosilac odluke je optimističniji, važi i obrnuta logika, kada je $\lambda = 1$ donosilac odluke je pesimističniji (Do & Chen, 2013).

U okviru ove doktorske disertacije za pomenute parametre uzete su prosečne vrednosti, i to $\alpha = 0,5$ i $\lambda = 0,5$, što ukazuje na prilično stabilno okruženje za odlučivanje i na pravično postavljene preferencije donosioca odluke. Nakon izvršene defazifikacije fazi matrice odlučivanja moguće je izračunati λ_{max} iz **Izraza (3)**, gde W predstavlja vektor sopstvenih vrednosti matrice odlučivanja A .

3.2.2. FTOPSIS (eng. *Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*)

TOPSIS metoda (Hwang & Yoon, 1981) nastoji da rangira skup alternativa na osnovu njihove udaljenosti od najoptimističnije (PIS) i najpesimističnije (NIS) tačke. Kao što je već rečeno, PIS je rešenje koje maksimizira korisne attribute a minimizira troškovne attribute. NIS rešenje predstavlja obrnutu logiku, maksimizira troškovne attribute a minimizira korisne attribute (Wang & Elhag, 2006). Osnovno pravilo ove metode je da optimalna alternativa treba da ima „najkraće“ rastojanje od PIS i „najdalje“ od NIS (Aydoğan, 2011). U klasičnoj TOPSIS metodi težine atributa i rejtinzi alternativa se precizno znaju i mogu se predstaviti egzaktnim vrednostima. Korišćenje egzaktnih vrednosti predstavlja jednu od ključnih problematika u procesu vrednovanja, jer precizni podaci nisu adekvatni za modelovanje realnih problema odlučivanja. Takvi uslovi su za posledicu imali razvoj fazi verzije TOPSIS metode. U okviru ove metode težine atributa i rejtinzi atributa predstavljeni su lingvističkim promenljivim koje se

potom prevode u fazi brojeve. Na taj način su predupređeni nedostaci koji su uočeni u klasičnoj TOPSIS metodi.

Poslednjih godina je predloženo mnoštvo FTOPSIS metodologija. Chen & Hwang (1992) su među prvima upotreбили fazi brojeve u TOPSIS metodi. Triantaphyllou & Lin (1996) su razvili FTOPSIS u kojoj se relativna blizina svake alternative izračunava na osnovu fazi aritmetičkih operacija. Chen (2000) je proširio TOPSIS metodu na situacije fazi grupnog odlučivanja, na taj način što je koristio trougaone fazi brojeve i definisano precizno Euclidean rastojanje između dva fazi broja. Chu (2002) i Chu & Lin (2003) su poboljšali metodologiju predloženu od strane Chen (2000).

U okviru teze biće korišćeno fazi proširenje TOPSIS metode predloženo od strane Chen (2000), koje se sastoji od sledećih koraka:

Korak 1: Prva faza je formiranje komisije sačinjene od donosilaca odluke. Komisija se sastoji od K donosilaca odluke, fazi rejting svakog donosioca odluke $D_k (k = 1, 2, \dots, K)$ predstavljen je trougaonim fazi brojem $\tilde{R}_k (k = 1, 2, \dots, K)$ sa funkcijom pripadnosti $\mu_{\tilde{R}_k}(x)$.

Korak 2: Identifikovanje osnovnih atributa odlučivanja.

Korak 3: Odabir odgovarajućih lingvističkih promenljivih za evaluaciju atributa.

Korak 4: Agregacija težina atributa.

Fazi rejtinzi donosilaca odluke su iskazani pomoću trougaonih fazi brojeva $\tilde{R}_k(a_k, b_k, c_k)$, $k = 1, 2, \dots, K$, dok se agregirani fazi rejting može predstaviti kao $\tilde{R} = (a, b, c)$, $k = 1, 2, \dots, K$ koristeći **Izraz (32)**:

$$a = \min_k \{a_k\}, b = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_k, c = \max_k \{c_k\}, (32)$$

Ukoliko su fazi rejting i težina k^{th} donosioca odluke $\tilde{x}_{ijk}(a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk})$ i $\tilde{w}_{ijk}(w_{jk1}, w_{jk2}, w_{jk3})$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ respektivno, tada je agregirani fazi rejting $(\tilde{x}_{ij})$ alternative u odnosu sa određenim atribut dat $(\tilde{x}_{ij}) = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$, što se može predstaviti pomoću **Izraza (33)**:

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ijk}, c_{ij} = \max_k \{c_{ijk}\}, (33)$$

Agregirane fazi težine $(\tilde{w}_{ij})$ svakog atributa izračunate su korišćenjem **Izraza (34, 35)**:

$$(\tilde{w}_j) = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}), (34)$$

$$\text{gde je, } w_{j1} = \min_k \{w_{jk1}\}, w_{j2} = \min_k \{w_{jk2}\}, w_{j3} = \min_k \{w_{jk3}\}, (35)$$

Korak 5: Fazi matrica odlučivanja je konstruisana na osnovu **Izraza (36)**:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, (36)$$

dok se atributi izračunavaju koristeći **Izraz (37)**:

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n], (37)$$

gde $(\tilde{x}_{ij}) = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ i $(\tilde{w}_j) = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ mogu biti aproksimirani pozitivnim trougaonim fazi brojevima.

Korak 6: Nakon konstruisanja fazi matrice odlučivanja, izvršena je normalizacija matrice korišćenjem linearne skale transformacije. Obračun je izvršen pomoću **Izraza (38)**:

$$\check{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), c_j^* = \max_i c_{ij}, (38)$$

Normalizovana fazi matrica je obračunata pomoću **Izraza (39)**:

$$\check{R} = [\check{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (39)$$

gde je $\check{r}_{ij}$ normalizovana vrednost $(\tilde{x}_{ij}) = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$.

Korak 7: Imajući u vidu različite pondere za svaki atribut, ponderisana normalizovana fazi matrica odlučivanja je konstruisana uz pomoć **Izraza (40, 41)**:

$$\check{V} = [\check{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (40)$$

$$\check{v}_{ij} = \check{r}_{ij}(\cdot) \check{w}_j, \quad (41)$$

gde $\check{w}_j$ reprezentuje težinu atributa C_j .

U okviru ponderisane normalizovane fazi matrice odlučivanja, normalizovani pozitivni trougaoni fazi brojevi mogu aproksimirati elemente $\check{v}_{ij}$, $\forall i, j$.

Korak 8: Fazi pozitivno idealano rešenje ($FPIS, A^*$) i Fazi negativno idealno rešenje ($FNIS, A^-$) su predstavljeni sledećim **Izrazima (42, 43)**:

$$A^* = \{\check{v}_1^*, \check{v}_2^*, \dots, \check{v}_i^*\} = \{\max_i v_{ij} | (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)\}, \quad (42)$$

$$A^- = \{\check{v}_1^-, \check{v}_2^-, \dots, \check{v}_i^-\} = \{\min_i v_{ij} | (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)\}, \quad (43)$$

Na osnovu ponderisane normalizovane fazi matrice odlučivanja, rang pripada zatvorenom intervalu $[0,1]$. Dakle, FPIS i FNIS mogu biti definisani kao $(1,1,1)$ i $(0,0,0)$, respektivno.

Korak 9: U sledećem koraku rastojanje svake alternative od FPIS i FNIS se izračunava **Izrazima (44, 45):**

$$D_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), i = 1, 2, \dots, m, (44)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1, 2, \dots, m, (45)$$

gde udaljenost između dva broja $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ i $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ može biti obračunata posredstvom Vertex metode, prema sledećem **Izrazu (46):**

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]}, (46)$$

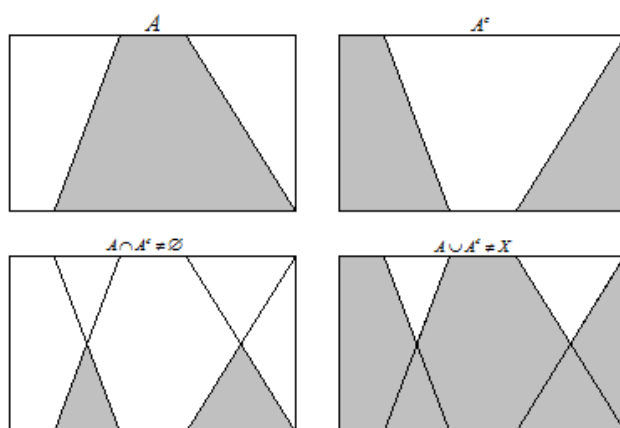
Korak 10: Koeficijent sličnosti sa idealnim rešenjem se izračunava korišćenjem **Izraza (47):**

$$CC_i = \frac{D_j^-}{D_j^* + D_j^-}, i = 1, 2, \dots, m, (47)$$

Korak 11: Rangiranje alternativa omogućeno je analizom koeficijenta sličnosti. Optimalna alternativa je ona sa najvećim koeficijentom sličnosti CC_j , a poredak alternativa se može predstaviti na osnovu rangiranja CC_j po opadajućem redosledu.

4. Interpolativna Bulova algebra

U mnogim realnim aplikacijama klasična dvovrednosna relalizacija Bulove algebre (Boole, 1848) nije adekvatna, jer situacije posmatra kroz okvir istina/neistina, tačno/netačno, belo/crno. Često je nemoguće izraziti se na apsolutno precizan način već smo primorani da koristimo neprecizne konstalacije. Takvi uslovi su doveli do razvoja viševrednosne logike koja pored istine i neistine uključuje i treću logičku vrednost, tj. pored vrednosti 1 i 0 uvodi se vrednost $\frac{1}{2}$ (Lukasiewicz, 1970). Viševrednosna logika nije klasična logika, iako joj je slična jer prihvata princip istinitosne funkcionalnosti (Gottwald, 2000): koji ukazuje da se računanje složenog izraza dobija direktnim računanjem njegovih komponenti. Međutim, glavni nedostatak viševrednosne logike je u tome što zbog nepoštovanja zakona isključenja trećeg i kontradikcije ona nije u Bulovom okviru. U literaturi kao sledeći oblik uopštavanja prepoznata je fazi logika (Zadeh, 1965), koja u svojoj realizaciji koristi princip viševrednosne logike. Glavna prednost fazi logike je to što je prilično bliska ljudskoj percepciji i ne zahteva potpuno egzaktna podatke. Kod ovog pristupa nije precizno definisana pripadnost jednog elementa određenom skupu, već elementi mogu uzimati vrednosti sa intervala $[0,1]$. Međutim, glavni nedostatak viševrednosne logike je prenet i na fazi logiku, tako da zbog nepoštovanja zakona isključenja trećeg i kontradikcije ni ova logika nije u Bulovom okviru (**Slika 4**) (Dubois et al., 2005; Zhang, 2011; Milošević, 2012).



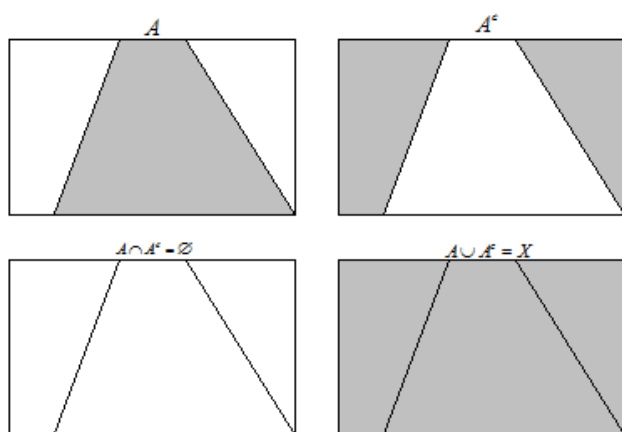
Slika 4: Fazi skup i njegov komplement po konvencionalnoj fazi logici (Milošević, 2012).

Takvi uslovi su pogodovali razvoju metodologije koja će omogućiti postavljanje fazi logike u Bulov okvir. Novorazvijeni pristup omogućava konzistentno tretiranje gradacije i fazi promenljivih i zasnovan na interpolativnoj Bulovoj algebri, odakle je i proistekao njegov naziv Interpolativna Bulova Algebra – IBA (eng. *Interpolative Boolean algebra*). IBA je predložena od strane Radojevića (2000a, 2000b) kao konzistentna viševrednosna realizacija Bulove algebre u smislu očuvanja svih zakona na kojima počiva Bulova algebra (Milošević et al., 2014). U svojim radovima Radojević (2000a, 2002, 2005, 2013b) je ukazao da je ovaj novi okvir posvećen tretiranju generalizovane realizacije vrednosti. IBA predstavlja realno vrednosnu, i/ili, $[0,1]$ vrednosnu realizaciju Bulove algebre (Dragojević et al., 2013). Elementi IBA mogu imati više od dve vrednosti sa realnog intervala $[0,1]$. Ovaj pristup je moguće koristiti za rad sa logikom, skupovima (Radojević, 2008a) i relacijama (Radojević, 2005). Ono što ga diferencija u poređenu sa drugim viševrednosnim logikama je očuvanje svih Bulovih aksioma i teorema (Radojević, 2006b). Time se Bulova algebra osposobljava za rešavanje čitavog niza realanih problema, uključujući i problem odlučivanja.

S druge strane, IBA ima konačan broj elemenata i suštinski je drugačiji gradacioni pristup u odnosu na fazi. Generalno, ona predstavlja atomsku algebru (kao posledica konačnog broja elemenata). Atomi kao najjednostavniji elementi algebre imaju fundamentalnu ulogu (Radojević, 2006a). Ono što je specifično za IBA pristup je da po prvi put jasno razdvaja strukturu i vrednost elemenata Bulove algebre. Sastoji se od dva nivoa: a) simbolički ili kvalitativni - ovaj nivo je stvar konačnog Bulovog okvira i b) semantički ili vrednosni - u opštem slučaju je stvar interpolacije (Radojević, 2008a, 2007a).

- 1) Simbolički ili kvalitativni nivo – objekti na ovom nivou su zakoni Bulove algebre koji moraju biti ispunjeni. Jedan od osnovnih pojmova simboličnog nivoa je struktura IBA elemenata. Struktura elemenata određuje koji atom (iz konačnog IBA skupa elemenata) je uključen i/ili nije uključen u analizu. Umesto principa istinitosne funkcionalnosti na kome se baziraju druge viševrednosne logike, na ovom nivou se uvodi princip strukturne funkcionalnosti. Struktura bilo kog IBA elementa i/ili princip strukturne funkcionalnosti (Radojević, 2002)

je most između ova dva nivoa i osnova generalizacije sve dok su elementi vrednosno nezavisni. Princip strukturne funkcionalnosti ukazuje da se struktura bilo kog IBA elementa može direktno izračunati na bazi strukture njegovih komponenti (Radojević, 2002; Poledica, 2013). U okviru ovog nivoa obavljaju se sve strukturne transformacije pre uvođenja numeričkih vrednosti. Struktura je vrednosno nezavisna i to je ključ očuvanja svih Bulovih zakona, kako na simboličkom tako i na vrednosnom nivou (Radojević 2006b). Karakteristično je da se kontradikcija tretira na drugačiji način, tj. da se negirana promenljiva ne transformiše odmah u vrednost što je slučaj u konvecionalnoj fazi logici. Pravilno posmatranje kontradikcije elemenata predstavlja novi okvir kako negaciju fazi skupa treba tretirati. Na sledećoj slici (**Slika 5**), dat je grafički prikaz poštovanja zakona isključenja trećeg ($a \vee \neg a = 1$) i kontradikcije prema IBA (Milošević et al., 2013). Sa **Slike 5** može se zaključiti da unija bilo kog IBA elementa i njegovog komplementa je jednaka jedinici. Kao i da, presek bilo kog IBA elementa i njegovog komplementa je jednak nuli. Zakon isključenja trećeg i kontradikcije važe za strukturu IBA elemenata (na simboličkom nivou), ali ujedno važe i pri vrednosnoj realizaciji (na vrednosnom nivou) (Radojević, 2006a).



Slika 5: Fazi skup i njegov komplement po IBA (Milošević, 2012)

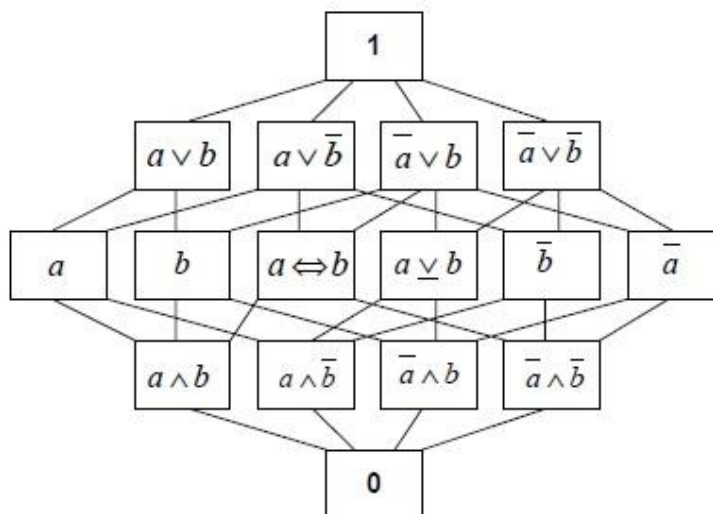
- 2) Vrednosni ili semantički nivo - predstavlja konkretizaciju simboličkog nivoa u smislu vrednosti. IBA elementi sa simboličkog nivoa se na ovom nivou prevode u odgovarajuće numeričke vrednosti (Radojević, 2002). Na vrednosnom nivou se čuvaju svi zakoni koji su postavljeni na simboličkom nivou. U opštem slučaju to je stvar interpolacije (Radojević, 2008a, 2007a).

IBA je identična Bulovoj algebri sa konačnim brojem elemenata, koja se može predstaviti sledećim **Izrazom (48)** (Radojević, 2006a):

$$\langle BA, \wedge, \vee, \neg \rangle \quad (48)$$

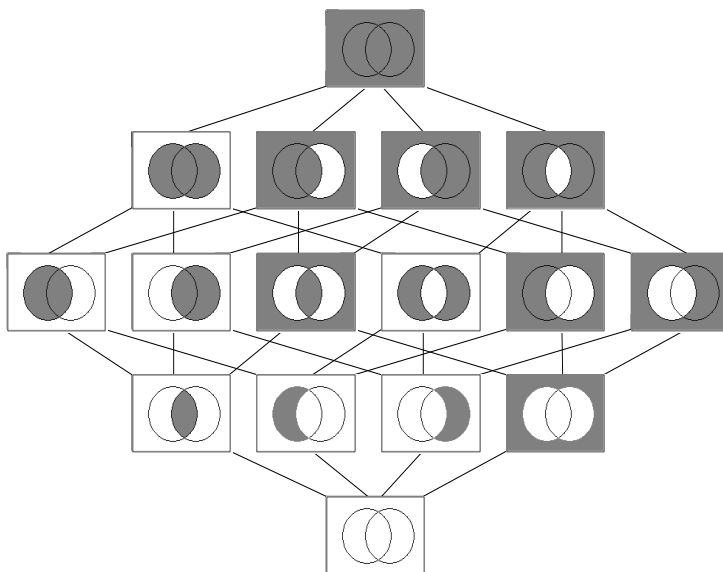
gde je BA skup sa konačnim brojem elemenata, binarni operatori konjukcije $\wedge$ disjunkcije $\vee$ i unarni operator negacije $\neg$, za koje su svi aksiomi i teoreme Bulove algebre važeći.

Bulovu algebru je moguće grafički predstaviti uz pomoć Haseovih (orig. Hasse) dijagrama (**Slika 6**). Oni faktički predstavljaju grafički prikaz Bulove algebra generisane sa $n = 2$ nezavisne varijable a i b . Ova generisana algebra ima $2^{2^n} = 2^{2^2} = 16$ elemenata. Linije dijagrama predstavljaju relacije uključenosti jednog elementa u drugi (Radojević, 2005; Milošević, 2012).



Slika 6: Haseov dijagram Bulove algebre za dva elementa a i b (Radojević, 2005).

Bulova algebra generisana na osnovu dva nezavisna elementa a i b ima $2^n = 2^2 = 4$ atoma. Elementi $a \wedge b$, $a \wedge \bar{b}$, $\bar{a} \wedge b$ i $\bar{a} \wedge \bar{b}$ predstavljaju atomske elemente. Sa Haseovog dijagrama (**Slika 6**) se mogu uočiti operacije koje se drugačije tretiraju u odnosu na konvencionalnu fazi logiku, to su ekvivalencija i ekskluzivna disjunkcija (Radojević, 2010), gde je: $a \Leftrightarrow b = (a \wedge b) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b})$ i $a \underline{\vee} b = (a \wedge \bar{b}) \vee (\bar{a} \wedge b)$.



Slika 7: Haseov dijagram klasičnih skupova (Radojević, 2008)

Na **Slici 7** je predstavljen Haseov dijagram sa koga se može videti kako se svaka od operacija između dva IBA elementa može ilustrovati upotrebom klasičnih skupova. Sa dijagrama se uočava da je suma atomskih elemenata jednaka jedinici, bez obzira na vrednosnu realizaciju varijabli a i b .

4.1. Generalizovani Bulov polinom

IBA se bazira na generalizovanom Bulovom polinomu (eng. *Generalized Boolean Polynomial* - GBP) (Radojević, 2006a, 2007a). Tehnički, ako bilo koji element Bulove algebre može biti prikazan na kanonsko disjuktivan način, on može biti reprezentovan i odgovarajućim GBP. Kod ovog polinoma promenljive predstavljaju elemente Bulove algebre. Njime se svaki element konačne Bulove algebre može jednoznačno prikazati.

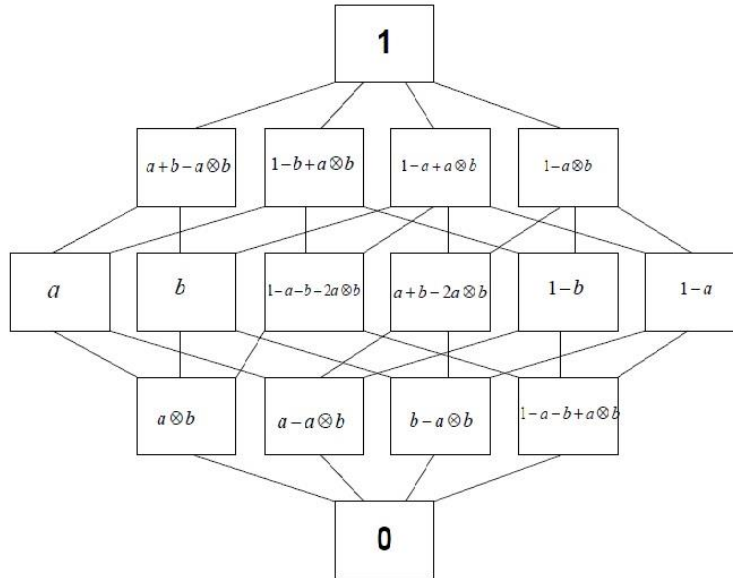
Na taj način, on omogućava procesiranje odgovarajućeg elementa Bulove algebre u vrednost sa intervala $[0,1]$, korišćenjem operatora kao što su klasično sabiranje (+), klasično oduzimanje (-) i generalizovani proizvod ($\otimes$) (Milošević et al, 2013). Generalizovani proizvod može biti bilo koja funkcija $\otimes: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ koja zadovoljava sve uslove da jedna funkcija bude t -norma, što je predstavljeno **Izrazima (49, 50, 51, 52, 53)** (Radojević, 2008a, 2013c):

1. Komutativnost: $A_i \otimes A_j = A_j \otimes A_i$, (49)
2. Asocijativnost: $A_i \otimes (A_j \otimes A_k) = (A_i \otimes A_j) \otimes A_k$, (50)
3. Monotonost: $A_i \leq A_j \Rightarrow A_i \otimes A_k \leq A_j \otimes A_k$, (51)
4. Ograničenost: $A_i \otimes 1 = A_i$, (52)
5. Nenegativnost: $\sum_{K \in P(\Omega/S)} (-1)^{|K|} \otimes A_i(x) \geq 0$, $S \in P(\Omega)$, $A_i(x) \in [0,1]$, $A_i \in \Omega$, $i = 1, \dots, n$, $\Omega = \{a_1, \dots, a_n\}$, (53)

U cilju kalkulacije svih IBA elemenata, prvi korak je konstruisanje polinoma za atomske elemente upotrebom generalizovanog proizvoda, **Izrazi (54, 55, 56, 57)** (kao funkcija kontradikcije koristi se $\neg a = 1 - a$):

1. $a \wedge b \rightarrow a \otimes b$, (54)
2. $a \wedge \neg b \rightarrow a \otimes (1 - b) \rightarrow a - a \otimes b$, (55)
3. $\neg a \wedge b \rightarrow (1 - a) \otimes b \rightarrow b - a \otimes b$, (56)
4. $\neg a \wedge \neg b \rightarrow (1 - a) \otimes (1 - b) \rightarrow 1 - a - b + a \otimes b$, (57)

Uvođenjem ovih vrednosti u Haseov dijagram za konzistentnu fazi logiku (**Slika 6**) dobijaju se polinomi koji odgovaraju elementima izložene Bulove algebre (**Slika 8**).



Slika 8: GBP kojima odgovaraju elementi sa Haseov dijagrama za dve varijable a i b (Radojević, 2005).

Teorija interpolativnih skupova predstavlja realizaciju ideje fazi skupova u Bulovom okviru. Glavne karakteristike su ilustrovane na primeru dva interpolativna skupa a i b . GBP ili odgovarajući skupovi su dati izrazima sa **Slika 8** (Radojević, 2006a).

4.2. Logička i pseudologička agregacija

U okviru IBA pristupa, metod koji omogućava objedinjavanje faktora naziva se Logička agregacija – LA (eng. *Logical Aggregation*). Glavni zadatak LA je spajanje primarnih atributa koji su predstavljeni skupom $\Omega = \{a_1, \dots, a_n\}$ u jednu globalnu vrednost, primenom logičke ili pseudo-logičke funkcije. LA je adekvatan alat za agregaciju u opštem smislu. Ako uzmemo u obzir problem VKA, koji je predmet ovog rada, LA se može realizovati u dva koraka (Mirković et al., 2006):

1. Normalizovanje vrednosti atributa, primenom **Izraza (58)**:

$$||\cdot||: \Omega \rightarrow [0,1], (58)$$

2. Agregiranje normalizovanih atributa u jednu globalnu vrednost, primenom logičke ili pseudo-logičke funkcije kao LA operatora, **Izraz (59)** (Radojević 2008a):

$$Aggr [0,1]^n \rightarrow [0,1], (59)$$

Bulova logička funkcija omogućava agregaciju faktora, tj. to je izraz koji se pretvara u GBP. Parcijalni zahtevi za agregacijom su obično logički zahtevi i mogu se adekvatno opisati samo logičkim funkcijama (Radojević, 2008b, 2008c). IBA tretira logičke funkcije (parcijalne zahteve za agregacijom) kao GBP, koji može da procesira neku od vrednosti sa realnog intervala $[0,1]$. GBP u logičkoj agregaciji ima ulogu logičkog kombinovanja IBA elemenata (Radojević, 2010). Glavna uloga LA je da svede međuzavisnosti između atributa u jednu globalnu vrednost korišćenjem logičkih funkcija kao operatora. U opštem smislu LA je ponderisana suma parcijalnih zahteva. Ona se uglavnom koristi za merenje performansi i pri modelovanju u neizvesnim situacijama (Dobrić et al., 2010; Milošević et al., 2013, Poledica et al., 2012).

Pseudo-logička funkcija (pseudo GBP) je linearno konveksna kombinacija GBP. Ona omogućava definisanje nekoliko ciljeva i njihovo spajanje u jedan reprezentativan cilj, upotrebom adekvatnih alata agregacije (Radojević 2013c, 2014).

5. Kombinovanje metoda klasične i fazi VKA

Cilj predmetne doktorske disertacije je da istraži performanse modela za rešavanje problema rangiranja koji kombinuje metode VKA, kao što su AHP i TOPSIS u fazi okruženju. Pretpostavka je da se na taj način može razviti integrisani model koji će iskoristiti prednosti pojedinačnih metoda VKA. Kombinovanjem više metoda za određivanje vrednosti težinskih koeficijenata pokušava se preciznije odrediti realan odnos uticaja pojedinih parametara na ukupan učinak. Takođe, razlog kombinacije više metoda leži u činjenici da svaka od metoda ima svoje prednosti i nedostatke u smislu potenciranja jednih i marginalizovanja drugih faktora koji utiču na iskazivanje preferencija donosilaca odluke.

5.1. FAHP-TOPSIS model za rangiranje banaka

Rezultati koji su predstavljeni u okviru ovog poglavlja su publikovani u međunarodnom naučnom časopisu sa SCI liste, kategorisanom kao M23, Economic Modelling u sklopu rada pod naslovom „Analysis of the financial parametres of Serbian banks through the application of the fuzzy AHP and TOPSIS methods“ (Mandić et al., 2014b). Pomenuti naučni rad predstavlja studiju slučaja baziranu na vrednovanju finansijskih parametara komercijalnih banaka koje posluju u Srbiji.

Banke spadaju u subjekte finansijskog tržišta i ukupnog sistema finansiranja privrede, odnosno one postaju direktno ili indirektno pokretači i kontrolni mehanizam finansijskog sistema. Kao specifičnim finansijskim institucijama, bankama pripada centralno mesto u okviru finansijskog sistema, kako zbog funkcija koje obavljaju, tako i zbog relativnog obima finansijskog potencijala koji se nalazi na njihovim računima. U sektoru finansijskih usluga, posebno u bankarskim aktivnostima, povećava se potreba za merenjem performansi. Usled povećane neizvesnosti i konkurencije na globalnim bankarskim tržištima merenje performansi primenom fazi tehnika obezbeđuje pouzdane rezultate. Vrednovanje rada banaka je od suštinskog značaja za poverioce, investitore i druge zainteresovane strane jer se na taj način utvrđuje sposobnost banke da se takmiči u sektoru.

Cilj ove studije je da predloži višeatributivni model koji će olakšati procenu finansijskih performansi banaka, a koji se zasniva na kombinovanju klasične i fazi metode VKA. Metode kao što su FAHP i TOPSIS su integrisane u predloženi model. U prvoj fazi su određene prioritetne težine atributa primenom FAHP, dok je u drugoj fazi izvršeno rangiranje banaka primenom metode TOPSIS.

5.1.1. Osvrt na literaturu

U literaturi mnogi autori su koristili metode VKA za procenu finansijskog poslovanja bankarskog sektora. Metod koji je u brojnim studijama prepoznat kao koristan i sistematičan način za merenje bankarskih performansi je AHP (Saaty, 1980). Ta & Kar (2000) su u svojoj studiji AHP metodu upotrebili za selekciju banaka u Singapuru. Frei & Harker (1999) su primenjivali AHP pristup kao alternativu za DEA metodu prilikom merenja bankarskih performansi i ispitivanja odnosa između finansijskih i operativnih performansi. Yurdakul & Iç (2004) su koristili AHP radi istraživanja kredibiliteta kompanija koje su neophodne u bilateralnim odnosima između proizvodnih preduzeća i banaka u Turskoj.

Kao što je već spomenuto, često je AHP metoda u literaturi izložena kritici jer ne uzima u obzir neizvesnost prilikom procene (Dyer et al., 1992; Chen & Tsao, 2008). Iako AHP ima široku primenu pri rešavanje problema VKA u realnim aplikacijama, ovaj pristup ne daje zadovoljavajuće rezultate u situacijama koje se mogu okarakterisati kao neizvesne. Većina ljudskih procena se ne može iskazati brojevima. Sem toga, atributi su često subjektivne i kvalitativne prirode, što negativno utiče na donosiocima odluke u smislu iskazivanja sopstvenih preferencija numeričkim vrednostima i kasnijeg poređenja procena (Chan & Kumar, 2007). Upravo to je navelo istraživače da predlože fazi verziju AHP metode prilagođenu situacijama neizvesnosti (Mikhailov, 2002; Bottani & Rizzi, 2005). Fazi ocena u procesu donošenja odluka je veoma korisna kako bi se nadomestio navedeni nedostatak klasične AHP metode.

Fazi pristup za merenje finansijskih pokazatelja koristili su mnogi autori u literaturi. Seçme et al. (2009) su merili finansijske i ne-finansijske performanse komercijalnih

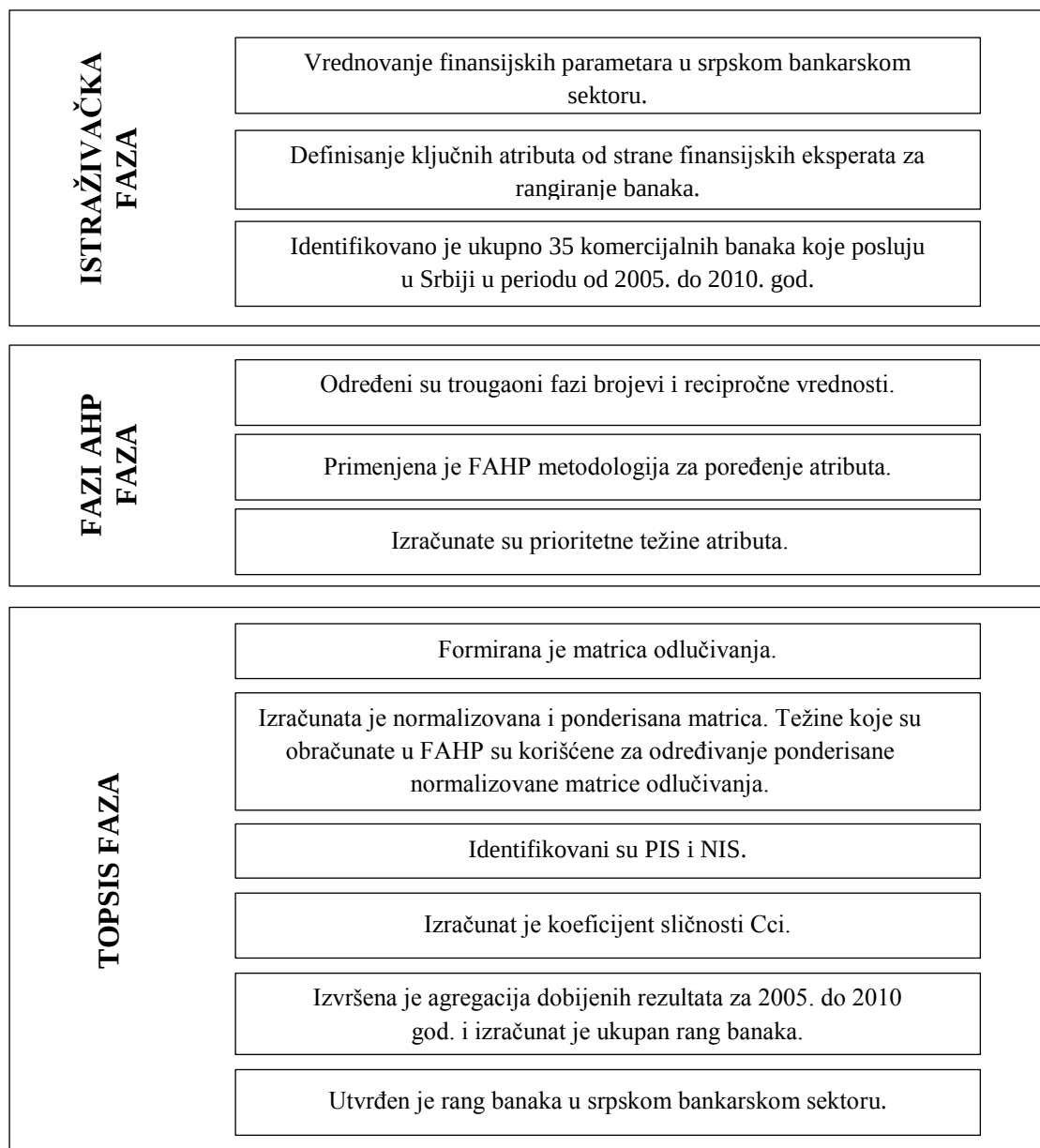
banaka koje posluju u Turskoj. Koristili su FAHP i TOPSIS metode kako bi odredili težine glavnih kriterijuma, pod-kriterijuma i kako bi omogućili procenu učinka banaka. Takođe, Akkoç & Vatansever (2013) su predložili FAHP i FTOPSIS model za analizu Turskog bankarskog sektora nakon globalne finansijske krize. Mahrooz et al. (2013) su vrednovali performanse banaka u Iranu korišćenjem FAHP i TOPSIS metode. Che et al. (2010) su primenili FAHP i DEA metodu kao podršku prilikom donošenja menadžerskih odluka za odabir bankarskih kredita za mala i srednja preduzeća na Tajvanu. S druge strane, Ishizaka & Nguyen (2013) su uz pomoć FAHP vršili selekciju bankovnih računa. Weifeng & Huihuan (2008) su za procenu uspešnosti komercijalnih banaka primenjivali FAHP pristup. Kaya & Kahraman (2011) su predložili integrisani FAHP-ELECTRE model za procenu kvaliteta e-bankarskih sajtova.

5.1.2. Studija slučaja

Srpski bankarski sektor je zavisao od inostranih banaka, i to pre svega onih iz zemalja Evropske unije koju već duže vreme potresa dužnička kriza, a čije se negativne posledice već osećaju, pri čemu bi svako dalje produbljivanje krize imalo još jače negativne efekte po domaći bankarski sektor. Akutni problem srpskog bankarskog sektora je značajno učešće loših plasmana, zbog čega je posebno važno imati adekvatnu metriku za efikasno upravljanje finansijskim performansama (Bulajić et al., 2012). Pored toga, bankarski sektor Srbije karakteriše i visok nivo konkurencije, tj. nizak nivo koncentracije s obzirom na veliki broj banaka sa malim učešćem u najznačajnijim kategorijama bankarskog poslovanja, kao što su: aktiva, krediti, depoziti, prihodi od kamata, prihodi od naknada i provizija i sl.

Podaci koji su uzeti u obzir za modelovanje ove studije slučaja obuhvataju celokupni bankarski sektor u Srbiji u periodu od 2005. do 2010. godine. U radu su korišćeni finansijski podaci 35 komercijalnih banaka koje posluju na teritoriji Srbije. Razmatrano je 8 atributa, tj. finansijskih parametara (Knežević, 2011): kapital (eng. *equity*), portfolio (eng. *portfolio*), izvori (eng. *sources*), likvidna sredstva (eng. *liquid assets*), gotovina i gotovinski ekvivalenti (eng. *cash*), neto prihodi od kamata (eng. *net interest income - NII+*), neto prihodi od glavnih aktivnosti (eng. *core business net income - CBNI+*),

dobitak pre oporezivanja (eng. *earning before tax* – EBT) (Knežević, 2011). Za analizu ovog modela kombinovana je jedna fazi i jedna klasična metoda VKA, tj. FAHP i TOPSIS. Metoda FAHP omogućava određivanje prioritetnih težina atributa, dok je rangiranje banaka izvršeno primenom metode TOPSIS (**Slika 9**).



Slika 9: Predloženi FAHP-TOPSIS pristup za rangiranje banaka

Prvo je primenjena FAHP metodologija kako bi se omogućilo određivanje težinskih vektora za svaki finansijski parametar pojedinačno. FAHP postupak se može predstaviti na osnovu dve faze:

Faza I: definisanje osnovnih atributa u odnosu na cilj. Kao cilj istraživanja identifikovano je „Vrednovanje finansijskih parametara u srpskom bankarskom sektoru“. Analizirano je osam atributa, odabranih od strane finansijskih eksperata, za proces rangiranja poslovnih banaka: kapital, portfolio, izvori, likvidna sredstva, gotovina, NII+, CBNI+ i EBT.

Kretanje atributa *kapital* predstavlja osnov za vrednovanje uspešnosti banaka. *Portfolio* obuhvata opozive depozite i kredite, potraživanja na osnovu kamata i nadoknada, date kredite i depozite, hartije od vrednosti i ostale plasmane. Prosečan portfolio, koji je u okviru ovog rada uzet kao jedan od parametara, je značajan jer njegovom upotrebom dolazi do generisanja neto prihoda od banaka. Atribut *izvor* obuhvata transakcione depozite, ostale depozite, primljene kredite, obaveze po hartijama od vrednosti, obaveze po osnovu kamata, naknade i promene vrednosti derivata. Adekvatna upotreba ovih izvora finansiranja, utiče na profitabilnost banku. Imajući u vidu činjenicu da banke po svojoj prirodi delatnosti često preuzimaju rizik u poslovnim transakcijama, bitno je prilikom analize efikasnosti banaka uzeti u obzir atribut *likvidna sredstva*. *Gotovina i gotovinski ekvivalenti* predstavljaju najlikvidniji deo aktive, a ujedno i sintetizovani odraz uticaja poslovnih aktivnosti banke u izveštaju o tokovima gotovine (po osnovu poslovnih aktivnosti, kao i aktivnosti finansiranja i investiranja) na visinu gotovine i gotovinskih ekvivalenata. *Neto prihodi od banaka (NII+)* predstavljaju neto dobitak od kamate umanjene za indirektno otpise i jedan od najvažnijih prihoda banaka. *Prihodi od glavnih aktivnosti (CBNI+)* je značajan atribut koji obuhvata neto prihode od banaka i prihode od naknada i provizija umanjene za indirektno otpise. *Dobitak pre oporezivanja (EBT)* je veoma bitan atribut za ocenu uspešnosti poslovanja banaka u odnosu na uloženi kapital. Takođe, ovaj pokazatelj predstavlja indikator za merenje produktivnosti (EBT/prosečan broj zaposlenih).

Faza II: Prioritetne težine svakog atributa izračunavaju se primenom FAHP metodologije. Finansijskim ekspertima, tj. donosiocima odluke, je poređenje atributa olakšano korišćenjem Lingvističke skale značajnosti (**Tabela 3**). U okviru **Tabele 3** (Kilinci & Onal, 2011) lingvističke varijable se konvertuju u trougaone fazi brojeve, tj.

u njihove recipročne vrednosti. U **Tabeli 4** data je fazi matrica poređenja osam osnovnih atributa. Detaljna primena FAHP metode predstavljena je u **Prilogu A**.

Tabela 3. Lingvistička skala značajnosti

Lingvistička skala značajnosti	Trougaoni fazi brojevi	Recipročna vrednost trougaonih fazi brojeva
Jednako	(1,1,1)	(1,1,1)
Umereno	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
Snažno	(3/2,2,5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Veoma snažno	(5/2,3,7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
Izrazito	(7/2,4,9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)

Tabela 4. Fazi matrica poređenja osam osnovnih atributa i njihovi prioritetni vektori

Atributi	Kapital	Portfolio	Izvori	Likvidna sred.	Gotovina	NII+	CBNI+	EBT	Prioritet. vektori (Wc)
Kapital	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0,246
Portfolio	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0,07
Izvori	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0,145
Likvidna sred.	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0,068
Gotovin	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0,145
NII+	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	0,008
CBNI+	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0,07
EBT	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	0,246
CI = 0,0198; RI = 1,41, CR = 0,014									

Iz **Tabele 4** može se uvideti da atribut kapital ima umerenu značajnost naspram atributa izvori. Pod kapitalom se podrazumeva imovina banke finansirana sopstvenim kapitalom, dok su izvori imovina banke finansirana sopstvenim i tuđim kapitalom. Samim tim, u datom poređenju kapital predstavlja bitniji pokazatelj jer ukazuje na stvarnu snagu banke, a ujedno je i garant za poverioce. U komparaciji sa atributom likvidna sredstva parametar kapital ima snažnu značajnost. Likvidna sredstva su pokazatelj za adekvatno izmirivanje obaveza prema poveriocima, dok kapital predstavlja efikasnost upotrebe sredstava od strane menadžmenta banke. Ukoliko uporedimo attribute likvidna sredstva i gotovinu, likvidna sredstva su značajniji pokazatelj jer predstavlja širi pojam. Takođe, može se zaključiti da parametar EBT ima

snažnu značajnost naspram atributa NII+. Glavni razlog je to što je EBT širi pojam, koji predstavlja sintetizovan pokazatelj svih prihoda i rashoda, dok se NII+ odnosi samo na prihode i rashode od kamata. Sem toga, iz **Tabele 4** vidi se da je racio konzistentnosti 0,014 (manji od 0,1) što ukazuje da su preferencije donosilaca odluke objektivno postavljene i da su stvoreni uslovi za donošenje ispravne odluke.

Iz navedenog može se sumirati da u procesu vrednovanja finansijskih parametara srpskih banaka, atributi kapital i EBT su najznačajniji sa težinskim vektorom od 0.246, zatim slede atributi izvori i gotovina sa vektorom 0.145, potfolio i CBNI+ sa 0.070, likvidna sredstva sa 0,068 i NII+ sa 0.008. Dobijeni rezultati istraživanja ne iznenađuju. Naime, EBT je posebno važan finansijski indikator jer je profitabilnost u centru poslovne politike banaka, a kapital je amortizer rizika za banke. Kapital ima veoma važnu ulogu u ostvarivanju ravnoteže između rizika i prinosa, odnosno, osnovna funkcija kapitala banke je u smanjenju rizika poslovanja banke.

U **Tabeli 5** je dat finansijski izveštaj sa realanim podacima za 2005. godinu, sa obračunatim težinskim vektorima za attribute. U obzir je uzeto 35 komercijalnih banaka, koje čine kompletan bankarski sektor u Srbiji.

Tabela 5. Vrednost osnovnih finansijskih atributa banaka za 2005. god.

Naziv banke	Kapital (0,246)	Portfolio (0,070)	Izvori (0,145)	Likvidna sred. (0,068)	Gotovina (0,145)	NII+ (0,008)	CBNI+ (0,070)	EBT (0,246)
KBC banka	4.674.248	7.529.267	5.484.645	2.489.656	1.996.988	-1.216.203	-616.461	266.687
Agrobanka	7.575.127	33.554.503	37.309.083	4.831.266	3.478.618	-3.683.433	-2.856.436	-804.955
AIK banka	43.815.850	65.750.619	32.698.091	9.113.789	7.503.246	-19.887.113	-18.358.174	5.485.859
Alpha bank	30.215.095	50.955.454	45.972.489	10.936.589	5.331.921	-2.812.523	-1.231.497	93.597
Piraeus banka	4.647.179	17.838.357	18.757.681	6.738.577	4.538.342	-98.070	419.826	220.217
Čačanska	5.917.898	8.854.011	6.105.806	1.839.556	1.422.617	541.845	954.437	384.678
Marfin banka	5.963.314	19.689.686	19.283.472	4.647.057	3.235.310	-1.286.385	-532.271	223.486
NLB banka	13.719.829	34.750.365	32.745.389	8.834.345	5.797.981	317.759	1.534.179	624.950
Credy banka	4.424.473	7.183.281	8.564.107	4.003.597	3.536.943	-3.392.499	-2.785.631	-105.897
Banca Intesa	41.002.983	211.852.222	228.401.370	63.269.715	36.909.066	-2.157.920	3.576.260	4.785.404
EFGEurobank	7.003.188	33.781.801	30.273.495	5.026.643	1.581.784	-260.635	214.976	-2.493.887
UniCredit	9.560.485	99.404.007	99.711.669	24.122.515	6.511.772	516.278	1.474.817	989.864
Hypo-Alpe	21.410.568	163.851.518	161.774.652	32.131.001	7.921.379	-16.768.708	-15.521.895	2.409.257
Jubmes banka	7.621.709	11.568.424	6.265.952	1.648.327	738.197	311.186	481.141	265.863
Jugobanka	3.557.363	27.026.669	24.422.333	121.837	121.837	-396.513	-378.651	94.519
Komercijalna	28.382.304	198.332.100	218.980.414	62.210.242	39.310.649	-1.271.374	3.994.981	677.924
Dunav banka	916.579	420.847	566.887	484.166	480.308	7.264	79.274	59.849
OTP banka	21.342.365	32.671.822	19.946.407	4.812.523	3.201.711	-7.761.745	-6.877.686	1.759.094
Creditagricole	10.705.436	25.781.518	23.332.265	6.158.998	3.992.141	382.896	1.682.748	1.167.178
RBVojvodine	9.060.688	10.339.435	10.155.445	4.872.842	4.142.965	414.177	912.582	568.972
Moskovska	0	0	0	0	0	0	0	0
Findomestic	3.996.221	7.009.978	6.691.430,00	3.270.374	2.210.340	218.363	560.534	32.261
Erste bank	7.932.994	34.341.662	32.945.526	6.873.829	3.490.147	-955.949	-227.855	-491.417
Opportunity	0	0	0	0	0	0	0	0
PB Beograd	4.095.663	10.615.582	12.941.839	6.644.800	5.534.790	-268.577	109.796	66.171
PB Pančevo	11.382.415	14.909.441	5.727.505	2.315.389	1.877.914	-3.158.295	-2.843.887	1.411.330
Poštanskašted	6.450.450	32.848.419	40.326.171	17.744.272	15.097.894	1.038.158	4.664.459	280.641
ProCredit	7.048.894	68.331.421	64.414.698	9.464.816	2.356.74	3.279.224	4.315.318	1.219.485
Raiffeisebank	25.360.453	348.049.568	333.021.604	64.441.263	13.904.384	-5.482.492	-3.853.019	1.426.161
SocieteGener.	11.997.847	104.284.608	99.045.156	22.838.242	6.837.662	1.021.356	2.898.158	-114.687
Srpska banka	9.740.857	27.004.849	23.122.051	7.877.240	3.911.693	-2.013.669	-1.682.436	453.580
Univerzal	6.127.969	12.354.397	11.518.498	4.375.872	2.679.306	-1.749.839	-934.684	428.914
Vojvodanska	17.060.041	113.646.955	123.374.586	21.105.366	12.704.755	-16.212.025	-13.383.155	-3.731.307
Volks banka	3.686.314	27.631.966	28.186.251	7.150.754	2.734.363	-1.550.894	-1.454.733	-1.243.481
Druge banke	55.674.201	225.117.248	217.601.033	41.443.740	25.213.232	-8.490.645	-3.931.015	49.690

Nakon određivanja težinskih vektora atributa primenom FAHP, predložena je primena metode TOPSIS koja omogućava rangiranje banaka na osnovu finansijskih atributa. U TOPSIS obračunu prvi korak je normalizacija matrice odlučivanja (**Tabela 5**), korišćenjem **Izraza (6)**. Na taj način dobijene su vrednosti iz **Tabele 6**.

Tabela 6. Normalizovana matrica odlučivanja za 2005. god.

Naziv banke	Kapital	Portfolio	Izvori	Likvidna sred.	Gotovina	NII+	CBNI+	EBT
KBC banka	0,0433	0,0129	0,0094	0,0188	0,0295	-0,0354	-0,02	0,0274
Agrobanka	0,0701	0,0576	0,0643	0,0365	0,0513	-0,1073	-0,0925	-0,0828
AIK banka	0,4057	0,1128	0,0563	0,0689	0,1107	-0,5792	-0,5943	0,5646
Alpha bank	0,2798	0,0875	0,0792	0,0827	0,0787	-0,0819	-0,0399	0,0096
Piraeus banka	0,043	0,0306	0,0323	0,051	0,067	-0,0029	0,0136	0,0227
Čačanska	0,0548	0,0152	0,0105	0,0139	0,021	0,0158	0,0309	0,0396
Marfin banka	0,0552	0,0338	0,0332	0,0351	0,0477	-0,0375	-0,0172	0,023
NLB banka	0,127	0,0596	0,0564	0,0668	0,0856	0,0093	0,0497	0,0643
Credy banka	0,041	0,0123	0,0147	0,0303	0,0522	-0,0988	-0,0902	-0,0109
Banca Intesa	0,3797	0,3636	0,3933	0,4786	0,5447	-0,0628	0,1158	0,4925
EFGEurobank	0,0649	0,058	0,0521	0,038	0,0233	-0,0076	0,007	-0,2567
UniCredit	0,0885	0,1706	0,1717	0,1825	0,0961	0,015	0,0477	0,1019
Hypo-Alpe	0,1983	0,2812	0,2786	0,243	0,1169	-0,4884	-0,5025	0,248
Jubmes banka	0,0706	0,0199	0,0108	0,0125	0,0109	0,0091	0,0156	0,0274
Jugobanka	0,0329	0,0464	0,0421	0,0009	0,0018	-0,0115	-0,0123	0,0097
Komercijalna	0,2628	0,3404	0,3771	0,4706	0,5802	-0,037	0,1293	0,0698
Dunav banka	0,0085	0,0007	0,001	0,0037	0,0071	0,0002	0,0026	0,0062
OTP banka	0,1976	0,0561	0,0343	0,0364	0,0473	-0,226	-0,2226	0,181
Creditagricole	0,0991	0,0442	0,0402	0,0466	0,0589	0,0112	0,0545	0,1201
RBVojvodine	0,0839	0,0177	0,0175	0,0369	0,0611	0,0121	0,0295	0,0586
Moskovska	0	0	0	0	0	0	0	0
Findomestic	0,037	0,012	0,0115	0,0247	0,0326	0,0064	0,0181	0,0033
Erste bank	0,0735	0,0589	0,0567	0,052	0,0515	-0,0278	-0,0074	-0,0506
Opportunity	0	0	0	0	0	0	0	0
PB Beograd	0,0379	0,0182	0,0223	0,0503	0,0817	-0,0078	0,0036	0,0068
PB Pančevo	0,1054	0,0256	0,0099	0,0175	0,0277	-0,092	-0,0921	0,1453
Poštanskašted	0,0597	0,0564	0,0694	0,1342	0,2228	0,0302	0,151	0,0289
ProCredit	0,0653	0,1173	0,1109	0,0716	0,0348	0,0955	0,1397	0,1255
Raiffeisebank	0,2348	0,5973	0,5735	0,4874	0,2052	-0,1597	-0,1247	0,1468
SocieteGener.	0,1111	0,179	0,1706	0,1727	0,1009	0,0297	0,0938	-0,0118
Srpska banka	0,0902	0,0463	0,0398	0,0596	0,0577	-0,0586	-0,0545	0,0467
Univerzal	0,0567	0,0212	0,0198	0,0331	0,0395	-0,051	-0,0303	0,0441
Vojvodanska	0,158	0,195	0,2125	0,1596	0,1875	-0,4721	-0,4332	-0,384
Volks banka	0,0341	0,0474	0,0485	0,0541	0,0404	-0,0452	-0,0471	-0,128
Druge banke	0,5156	0,3864	0,3747	0,3135	0,3721	-0,2473	-0,1273	0,0051

Zatim se normalizovana matrica množi FAHP težinskim vektorima za attribute, primenom **Izraz (7)**, na taj način dobija se ponderisana normalizovana matrica (**Tabela 7**).

Tabela 7. Ponderisana normalizovana matrica odlučivanja za 2005. god.

Naziv banke	Kapital	Portfolio	Izvori	Likvidna sred.	Gotovina	NII+	CBNI+	EBT
KBC banka	0,0106	0,0009	0,0014	0,0013	0,0043	-0,0003	-0,0014	0,0068
Agrobanka	0,0173	0,0041	0,0093	0,0025	0,0075	-0,0009	-0,0065	-0,0204
AIK banka	0,0998	0,0079	0,0082	0,0047	0,0161	-0,0047	-0,0418	0,1389
Alpha bank	0,0688	0,0062	0,0115	0,0056	0,0114	-0,0007	-0,0028	0,0024
Piraeus banka	0,0106	0,0022	0,0047	0,0035	0,0097	0	0,001	0,0056
Čačanska	0,0135	0,0011	0,0015	0,0009	0,0031	0,0001	0,0022	0,0097
Marfin banka	0,0136	0,0024	0,0048	0,0024	0,0069	-0,0003	-0,0012	0,0057
NLB banka	0,0313	0,0042	0,0082	0,0046	0,0124	0,0001	0,0035	0,0158
Credy banka	0,0101	0,0009	0,0021	0,0021	0,0076	-0,0008	-0,0063	-0,0027
Banca Intesa	0,0934	0,0256	0,0572	0,0326	0,0792	-0,0005	0,0081	0,1212
EFGEurobank	0,016	0,0041	0,0076	0,0026	0,0034	-0,0001	0,0005	-0,0631
UniCredit	0,0218	0,012	0,025	0,0124	0,014	0,0001	0,0034	0,0251
Hypo-Alpe	0,0488	0,0198	0,0405	0,0166	0,017	-0,004	-0,0353	0,061
Jubmes banka	0,0174	0,0014	0,0016	0,0008	0,0016	0,0001	0,0011	0,0067
Jugobanka	0,0081	0,0033	0,0061	0,0001	0,0003	-0,0001	-0,0009	0,0024
Komercijalna	0,0647	0,0239	0,0549	0,0321	0,0844	-0,0003	0,0091	0,0172
Dunav banka	0,0021	0,0001	0,0001	0,0002	0,001	0	0,0002	0,0015
OTP banka	0,0486	0,0039	0,005	0,0025	0,0069	-0,0019	-0,0157	0,0445
Creditagricole	0,0244	0,0031	0,0058	0,0032	0,0086	0,0001	0,0038	0,0296
RBVojvodine	0,0206	0,0012	0,0025	0,0025	0,0089	0,0001	0,0021	0,0144
Moskovska	0	0	0	0	0	0	0	0
Findomestic	0,0091	0,0008	0,0017	0,0017	0,0047	0,0001	0,0013	0,0008
Erste bank	0,0181	0,0041	0,0083	0,0035	0,0075	-0,0002	-0,0005	-0,0124
Opportunity	0	0	0	0	0	0	0	0
PB Beograd	0,0093	0,0013	0,0032	0,0034	0,0119	-0,0001	0,0002	0,0017
PB Pančevo	0,0259	0,0018	0,0014	0,0012	0,004	-0,0008	-0,0065	0,0357
Poštanskašted	0,0147	0,004	0,0101	0,0091	0,0324	0,0002	0,0106	0,0071
ProCredit	0,0161	0,0082	0,0161	0,0049	0,0051	0,0008	0,0098	0,0309
Raiffeisebank	0,0578	0,042	0,0834	0,0332	0,0298	-0,0013	-0,0088	0,0361
SocieteGener.	0,0273	0,0126	0,0248	0,0118	0,0147	0,0002	0,0066	-0,0029
Srpska banka	0,0222	0,0033	0,0058	0,0041	0,0084	-0,0005	-0,0038	0,0115
Univerzal	0,014	0,0015	0,0029	0,0023	0,0058	-0,0004	-0,0021	0,0109
Vojvođanska	0,0389	0,0137	0,0309	0,0109	0,0273	-0,0039	-0,0305	-0,0945
Volks banka	0,0084	0,0033	0,0071	0,0037	0,0059	-0,0004	-0,0033	-0,0315
Druge banke	0,1268	0,0272	0,0545	0,0214	0,0541	-0,002	-0,009	0,0013

Sledeći korak u TOPSIS metodi je određivanje najkraće razdaljine od PIS, primenom **Izraza (10)**, i najdalje razdaljine od NIS, primenom **Izraza (11)**. Nakon obračuna PIS i NIS primenom **Izraza (12)** omogućeno je dobijanje koeficijenta sličnosti (CC_i) za svaku alternativu, tj. banku. U **Tabela 8** dat je kompletan prikaz parametara PIS, NIS, CC_i i rang banaka. TOPSIS metod razmatra istovremeno PIS i NIS rastojanja, tako da se na kraju dobija idealno rešenje koje je najbliže PIS, a najdalje od NIS.

Tabela 8. PIS, NIS, Cci i rang banaka za 2005.god

Naziv banke	D ⁺	D ⁻	CC _i	RANG
KBC banka	0,2167	0,1095	0,3357	23
Agrobanka	0,2269	0,0845	0,2714	30
AIK banka	0,1257	0,2538	0,6687	2
Alpha bank	0,1864	0,1253	0,402	12
Piraeus banka	0,2136	0,1098	0,3395	21
Čačanska	0,2136	0,1138	0,3476	19
Marfin banka	0,2131	0,1091	0,3386	22
NLB banka	0,1934	0,1239	0,3904	13
Credy banka	0,2217	0,0991	0,309	28
Banca Intesa	0,0492	0,2618	0,8417	1
EFGEurobank	0,2606	0,0554	0,1754	33
UniCredit	0,1837	0,1336	0,421	8
Hypo-Alpe	0,1465	0,1702	0,5375	6
Jubmes banka	0,214	0,1111	0,3418	20
Jugobanka	0,2203	0,1057	0,3242	25
Komercijalna	0,1408	0,1753	0,5545	4
Dunav banka	0,2265	0,1049	0,3165	27
OTP banka	0,174	0,1492	0,4617	7
Creditagricole	0,1915	0,1346	0,4127	11
RBVojvodine	0,2042	0,1193	0,3688	15
Moskovska	0	0	0	34
Findomestic	0,2208	0,105	0,3224	26
Erste bank	0,2208	0,0941	0,2989	29
Opportunity	0	0	0	35
PB Beograd	0,2168	0,106	0,3285	24
PB Pančevo	0,1922	0,1371	0,4164	10
Poštanskašted	0,2001	0,1203	0,3755	14
ProCredit	0,1916	0,1377	0,4183	9
Raiffeisebank	0,1367	0,1787	0,5665	3
SocieteGener.	0,1991	0,1118	0,3596	17
Srpska banka	0,2038	0,115	0,3606	16
Univerzal	0,2111	0,1135	0,3496	18
Vojvodanska	0,2669	0,0588	0,1806	32
Volks banka	0,24	0,0749	0,2378	31
Druge banke	0,1465	0,1813	0,5531	5

Identičan postupak je primenjen pri rangiranju banaka za 2006., 2007., 2008., 2009. i 2010. godinu. Rezultati koji su dobijeni prikazani su u zbirnoj **Tabeli 9**, iz koje se može zaključiti da Banka Intesa ima najbolju poziciju za sve posmatrane godine.

Table 9. CCI i rang banaka od 2005.do 2010.god.

Naziv banke	CCI	RANG (2005)	CCI	RANG (2006)	CCI	RANG (2007)	CCI	RANG (2008)	CCI	RANG (2009)	CCI	RANG (2010)
KBC banka	0,336	23	0,358	24	0,231	32	0,106	30	0,221	23	0,127	24
Agrobanka	0,271	30	0,395	16	0,191	33	0,283	12	0,378	9	0,266	9
AIK banka	0,669	2	0,689	2	0,724	3	0,595	3	0,656	3	0,618	2
Alpha banka	0,402	12	0,371	21	0,331	14	0,256	14	0,142	33	0,133	21
Piraeus banka	0,34	21	0,29	30	0,244	28	0,172	20	0,217	26	0,154	18
Čacanska	0,348	19	0,382	18	0,301	18	0,157	21	0,249	17	0,135	20
Marfin banka	0,339	22	0,301	29	0,238	30	0,096	31	0,201	30	0,129	23
NLB banka	0,39	13	0,38	19	0,312	17	0,177	19	0,208	29	0,16	16
Credy banka	0,309	28	0,344	26	0,243	29	0,084	35	0,21	28	0,08	32
Banca Intesa	0,842	1	0,7	1	0,809	1	0,893	1	0,93	1	0,829	1
EFG bank	0,175	33	0,248	31	0,508	9	0,576	5	0,551	5	0,441	6
UniCredit	0,421	8	0,53	5	0,53	7	0,455	7	0,528	6	0,49	5
Hypo-Alpe	0,537	6	0,418	10	0,576	6	0,48	6	0,503	7	0,329	7
Jubmes	0,342	20	0,401	14	0,292	19	0,294	10	0,259	16	0,137	19
Jugobanka	0,324	25	0,346	25	0,246	25	0,123	26	0,233	18	0,121	26
Komercijalna	0,554	4	0,661	3	0,655	4	0,595	4	0,573	4	0,569	4
Dunav banka	0,317	27	0,341	27	0,245	27	0,121	27	0,23	20	0,119	28
OTP banka	0,462	7	0,543	4	0,368	11	0,275	13	0,178	31	0,072	34
Credit Agricole	0,413	11	0,379	20	0,186	34	0,094	32	0,164	32	0,078	33
RB Vojvodine	0,369	15	0,39	17	0,33	15	0,086	34	0,218	25	0,154	17
Moskovska	0	0	0	0	0	0	0,116	29	0,219	24	0,106	30
Findomestic	0,322	26	0,318	28	0,235	31	0,127	24	0,212	27	0,094	31
Erste bank	0,299	29	0,16	33	0,275	20	0,212	18	0,308	14	0,174	14
Opportunity	0	0	0	0	0,246	24	0,124	25	0,223	22	0,107	29
PB Beograd	0,329	24	0,365	23	0,267	22	0,138	22	0,229	21	0,126	25
PB Pancevo	0,416	10	0,408	12	0,258	23	0,091	33	0,087	34	0,13	22
Postanska sted.	0,376	14	0,191	32	0,245	26	0,246	16	0,323	13	0,239	11
ProCredit bank	0,418	9	0,415	11	0,358	12	0,25	15	0,356	12	0,198	13
Raiffeisenbank	0,567	3	0,502	8	0,79	2	0,824	2	0,736	2	0,606	3
Societe Generale	0,36	17	0,511	6	0,515	8	0,376	9	0,434	8	0,317	8
Srpska banka	0,361	16	0,401	13	0,268	21	0,121	28	0,231	19	0,12	27
Univerzal	0,35	18	0,401	15	0,317	16	0,214	17	0,266	15	0,161	15
Vojvodjanska	0,181	32	0,495	9	0,597	5	0,383	8	0,374	10	0,21	12
Volks banka	0,238	31	0,366	22	0,357	13	0,287	11	0,365	11	0,264	10
Druge banke	0,553	5	0,51	7	0,374	10	0,13	23	0	0	0	0

Agregacijom rezultata za period od 2005. do 2010. godine iz **Tabele 9** omogućen je uvid u ukupan rang banaka, prikazan u **Tabeli 10**.

Tabela 10. Ukupan CCI i rang za period od 2005. do 2010. god.

Naziv banke	Ukupan Cci	RANG
Banca Intesa	0,8337	1
Raiffeisenbank	0,6708	2
AIK banka	0,6584	3
Komercijalna banka	0,6014	4
Hypo-Alpe-Adria	0,4739	5
Societe Generale	0,4188	6
EFG Eurobank	0,4166	7
UniCredit banka	0,4045	8
Druge banke	0,3918	9
Vojvođanska banka	0,3732	10
ProCredit banka	0,3325	11
OTP banka	0,3162	12
Volks banka	0,3129	13
Agrobanka	0,2972	14
Jubmes banka	0,2877	15
Univerzal banka	0,2849	16
Alpha banka	0,2726	17
NLB banka	0,2714	18
Poštanska štedionica	0,27	19
Čačanska banka	0,2619	20
RB Vojvodine	0,2578	21
Srpska banka	0,2504	22
PB Beograd	0,2423	23
Erste banka	0,238	24
Piraeus banka	0,2362	25
Jugobanka	0,2322	26
PB Pančevo	0,2319	27
KBC banka	0,2299	28
Findomestic banka	0,2181	29
Marfin banka	0,2172	30
Credy banka	0,2117	31
CreditAgricole banka	0,2032	32
Dunav banka	0,1904	33
Opportunity banka	0,1751	34
Moskovska banka	0,1469	35

Iz **Tabele 10** se može rezimirati da za period od 2005. do 2010. godine Banka Intesa ima najviši rang uzimajući u obzir sve razmatrane atribute. Zatim slede Raiffeisenbank, AIK banka, Komercijalna banka, Hypo-Alpe-Adria banka, itd.

U perspektivi će razvoj bankarstva u Srbiji biti u značajnoj meri determinisan kvalitetom i visinom domaćih štednih uloga. U uslovima poslovanja koje karakteriše finansijska kriza, mnoge banke će neminovno preći na model održivog finansiranja. U takvim okolnostima, od posebnog je značaja efikasno upravljanje performansama banaka. Merenje bankarskih parametara je od ključnog značaja za privredu. Neizvesnost i kompleksnost globalnog tržišta, kao i porast protoka informacija su najveće prepreke za precizno vrednovanje performansi. U takvim situacijama, tradicionalna evaluacija finansijskih pokazatelja ne daje zadovoljavajuće rezultate. Međutim, kombinovanje klasičnih i fazi metoda VKA se uspešno koristi za prevazilaženje ovog problema.

5.2. FAHP-FTOPSIS model za rangiranje snabdevača

Izbor najpovoljnijeg snabdevača je strateška odluka koja osigurava profitabilnosti i dugoročan opstanak na tržištu. Cilj svake kompanije je da pažljivom procenom odabere pravog snabdevača koji će obezbediti kvalitetan proizvod po odgovarajućoj ceni i u predviđeno vreme. U većini slučajeva prednosti i slabosti snabdevača variraju tokom vremena, tako da je kompanija u situaciji da mora da donose kompleksne odluke prilikom izbora. Kao jedan od najvažnijih problema odlučivanja, proces selekcije snabdevača uključuje kako kvantitativne (cena, udaljenost, vreme) tako i kvalitativne (kvalitet, dizajn, tehničke performanse) attribute koji su često suprotstavljeni. Suštinski se ovaj proces može svesti na problem VKA (Bhutta & Huk, 2002; Bhutta, 2003; Sonmez, 2006; Ramanathan, 2007; Ordoobadi, 2009).

Selekcija odgovarajućeg snabdevača se smatra strateškim pitanjem za efikasno upravljanje lancima snabdevanja. S tim vezi, izbor pogrešnog snabdevača može biti dovoljan razlog da poremeti poslovanje u finansijskom i operativnom smislu. S druge strane, izbor pravog snabdevača značajno smanjuje troškove nabavke, povećava konkurentnost i bitno utiče na zadovoljenje zahteva krajnjih korisnika. Selekcija snabdevača predstavlja jednu od najvažnijih komponenti upravljanja proizvodnjom i logistikom za mnoge kompanije. Samim tim, broj istraživanja koja se bave ovom tematikom je u porastu, kao i razvoj različitih metodologija za rešavanje ove vrste problema. U dostupnoj literaturi problem selekcije snabdevača je proučavan još od

1960. godine (Dickson, 1966; Weber et al., 1991). Interes donosilaca odluke za proces selekcije snabdevača neprekidno raste, jer pouzdan snabdevač omogućava smanjenje troškova i unapređenje kvaliteta proizvoda/usluge.

Problem selekcije i rangiranja snabdevača koji će biti analiziran u okviru ovog rada dat je na primeru telekomunikacione kompanije koja posluje na teritoriji Srbije. Prvi korak u procesu odlučivanja je odabir relevantnih atributa i pod-atributa za analizu problema od strane formiranih timova i kreiranje modela za rangiranje snabdevača. Zatim sledi primena različitih metoda odlučivanja na postavljeni model i analiza dobijenih rezultata. U disertaciji predstavljeni su rezultati istraživanja dobijeni kombinovanjem dve metode FVKO, i to FAHP i FTOPSIS.

5.2.1. Osvrt na literaturu

Selekcija snabdevača je jedna od kritičnih tačaka problema odlučivanja za mnoge kompanije, jer sa unapređenjem ove aktivnosti kompanije ostvaruju konkurentsku prednost. Da bi se postigao ovaj cilj neophodno je da donosioci odluke konstruišu adekvatan model za rangiranje i selekciju snabdevača kao i da obaderu relevantne attribute i pod-attribute. U literaturi se koriste različiti atributi za merenje performansi snabdevača. Prvi pokušaji da se obezbedi sveobuhvatan okvir atributa dao je Dikson (orig. Dickson, 1966). On je identifikovao 23 različita atributa za izbor snabdevača (npr. kvalitet proizvoda, rok isporuke, garancije i reklamacije, cena, tehničke sposobnosti, finansijski sposobnosti, itd.). Ovaj okvir su usvojili i Weber et al. (1991). Takođe, i oni su predložili niz atributa za merenje performansi snabdevača kao što su: cena, rok isporuke, kvalitet proizvoda, proizvodna sposobnost, lokacija, tehničke sposobnosti, menadžment i organizacija, reputacija i industrijski položaj, finansijska stabilnost, istorijat performansi i snabdevačka sposobnost. Evans (1980) i Shipley (1985) su ukazali da cena, kvalitet i isporuka predstavljaju ključne attribute za procenu snabdevača u industrijskom tržištu. Ellram (1990) i Pi & Low (2005) su naveli da prilikom procesa selekcije snabdevača kompanije mora da uzme u obzir kvalitet proizvoda, cenu, rok isporuke i totalni kvalitet usluga. Tam & Tummala (2001) su predložili AHP model za selekciju telekomunikacionih sistema koji je baziran na kvalitetu sistema, ceni, roku

isporuke, sposobnosti za rešavanje problema, ekspertizi, odgovoru na zahteve korisnika, reputaciji i industrijskom položaju.

U literaturi su mnoge studije bazirane na analizi Diksonovih 23 atributa. Cheraghi et al. (2004) je naveo da će se broj atributa za selekciju snabdevača povećavati sa ubrzanom globalizacijom tržišta. Ha & Krishnan (2008) su ažurirali Diksonov skup atributa i zaključili su da su cena, kvalitet i isporuka tri najčešće korišćenja atributa. Takođe, ukazali su i da je priroda atributa specifična i da se ne može uvek prevesti u merljive karakteristike. Chen et al. (2006) su usvojili fazi pristup u odlučivanju kako bi rešili problem selekcije snabdevača u lancu snabdevanja. Uključili su pet atributa: kvalitet proizvoda, profesionalni odnosi, tehničke sposobnosti, odgovor na zahteve korisnika i sposobnost rešavanja konfliktnih situacija. Lin & Chang (2008) su tvrdili da su komunikacioni sistem, reputacija i industrijski položaj, profesionalni odnosi i sposobnost rešavanja problema bitni atributi za selekciju. Dodatno, uloga organizacione veličine je predložena od strane Wang et al. (2009). U **Tabeli 11** su sumirani atributi koji su usvojeni u literaturi od 1966. godine. Iz priloženog se može zaključiti da većina autora ukazuje da se među najbitnijim atributima izdvajaju kvalitet, cena i isporuka.

Tabela 11. Atributi za selekciju snabdevača identifikovani u literaturi

Atributi za selekcija snabdevača	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cena (trošak)	x	x	x	x	x	x			
Kvalitet proizvoda	x	x	x	x	x	x	x		
Rok isporuke	x	x	x	x	x	x			x
Garancije i reklamacije	x		x						
Postprodajna usluga	x		x			x			
Tehnička podrška/ekspertiza			x			x			
Stav	x		x						
Totalni kvalitet usluga				x					
Obuka	x		x						
Istorijat preformasi	x		x		x	x			
Finansijska stabilnost	x		x		x		x		x
Lokacija	x		x		x				
Radni odnos	x		x						
Profesionalni odnosi							x	x	
Menadžment i organizacija	x		x		x				
Konflikt/sposobnost rešavanja problema						x	x	x	
Sistem komunikacije	x		x					x	
Odgovor na zahteve korisnika			x				x		
Tehnička sposobnost	x		x		x				
Proizvodna sposobnost	x		x		x				
Pakovanje	x		x						
Operativna kontrola	x		x						
Prethodni poslovi	x		x						
Reputacija i položaj u industriji	x		x		x	x		x	x
Uzajamni dogovori	x		x						
Impresija	x								
Poslovni pokušaji	x								
Snabdevačka sposobnost	x		x		x				
Veličina			x						x
Katalog tehnologija			x						
Jednostavno korišćenje proizvoda			x						
Ekološki proizvodi			x						

1. Dickson (1966); 2. Evans (1980), Shipley (1985); 3. Ha & Krishnan (2008);
 4. Ellram (1990), Pi & Low (2005); 5. Weber et al. (1991); 6. Tam & Tummala, (2001);
 7. Chen et al. (2006); 8. Lin & Chang (2008); 9. Wang et al. (2009)

U literaturi su usvojene različite metodologije za rangiranje i selekciju snabdevača koje su prilično pojednostavljene u odnosu na realne percepcije u procesu donošenja odluka (Chen et al., 2006). U stvarnoj praksi, prilikom izbora snabdevača kompanije se suočavaju sa visokim stepenom neizvesnosti i nepreciznosti. U suštini, proces selekcije snabdevača je okarakterisan kao neizvestan, u takvim situacijama teorija fazi skupova

pomaže da se preferencije i iskustva donosilaca odluke predstave lingvističkim izrazima. Upotreba lingvističkih promenljivih je preporučljiva, jer se često vrednosti performansi ne mogu iskazati preciznim numeričkim vrednostima.

U skorašnjim radovima koji se bave problemom rangiranja i selekcije snabdevača primećuje se da većina autora koristi integrisani pristup, tj. da kombinuje različite metodologije odlučivanja. U okviru ove disertacije biće predstavljeno kombinovanje metoda FAHP i FTOPSIS za rešavanje problema rangiranja snabdevača. Autori koji su u literaturi kombinovali ove metode na primeru izbora snabdevača su: Constantino et al. (2011) su konstruisali FAHP-FTOPSIS model za selekciju snabdevača na primeru javnih nabavki. Baskar et al. (2011) su primenili ovaj integrisani model za selekciju snabdevača u okviru livnice. Chen & Yang (2011) su povezali FAHP i FTOPSIS metodu za rangiranje i selekciju snabdevača. Jamil et al. (2013) su kombinovali iste metode za selekciju snabdevača u automobilske industriji. Rostamzadeh et al. (2013) su vrednovali troškovno isplative atribute u upravljanju lancima snabdevanja. Takođe, u te svrhe su predložili FAHP-FTOPSIS model.

5.2.2. Studija slučaja

U ovoj studiji slučaja integrisani FAHP-FTOPSIS model je primenjen za rangiranje snabdevača u okviru jedne srpske telekomunikacione kompanije. Kompanija koja je specijalizovana za proizvodnju opreme neophodne za izgradnju, nadzor i održavanje telekomunikacionih sistema, želi da izabere najbolju snabdevačku firmu za isporuku ripitera prenosne frekvencije koji omogućavaju pokrivanje prostora bez GSM signala ili sa veoma slabim signalom. Stoga, sačinjen je stručni tim u sastavu: tehnički direktor, komercijalni direktor i predstavnik rukovodstva za kvalitet kako bi definisali osnovne atribute i pod-atribute u skladu sa zahtevima, tj. specifikacijama korisnika. Ujedno, prilikom utvrđivanja relevantnih atributa i pod-atributa, stručni tim je imao uvid u primere korišćene u literaturi (**Tabela 11**). S tim u vezi, identifikovano je četiri osnovna atributa i devetnaest pod-atributa (Bobar et al., 2014a):

- **Proizvodne karakteristike (PK)** – predstavlja ključni atribut kojim su obuhvaćena sva važna svojstva proizvoda koje je potrebno uzeti u obzir prilikom procesa nabavke. Cilj svake kompanije je da pažljivom procenom odabere pravog snabdevača koji će obezbediti kvalitetan proizvod, u zahtevanoj količini i u predviđeno vreme. Analizom ovog atributa biće obuhvaćeni i sledeći pod-atributi:

- *Tehnička specifikacija (TS)* – predstavlja najznačajaniji pod-atribut, s obzirom da je predmet analize u ovom radu proces rangiranja i selekcije snabdevača telekomunikacione opreme. Bitna stavka prilikom izbora snabdevača je njegova sposobnost da odgovori na tehničku specifikaciju zahtevanu od strane korisnika.
- *Neophodna količina (NK)* – pokazuje da li je snabdevač u mogućnosti da isporuči zahtevanu količinu proizvoda.
- *Pravovremena isporuka (RI)* – ukazuje na blagovremenost isporuke proizvoda, tj. sposobnost snabdevača da ispoštuje plan isporuke.
- *Garantni rok (GR)* – snabdevač garantuje da će isporučena telekomunikaciona oprema, uz pravilno korišćenje, tj. uz poštovanje tehničkog uputstva, zadovoljavati navedene tehničke performanse u određenom vremenskom periodu, tzv. garantnom roku. Naravno, u interesu svake kompanije je da taj period bude što duži.
- *Kvalitet pakovanja (KP)* – kako je telekomunikacione oprema osetljiva na mehaničke uticaje, od snabdevača se zahteva da omogući kvalitetno pakovanje kako bi se proizvod obezbedio od oštećenja prilikom transporta.
- *Kvalitet proizvoda (QP)* – veoma bitan pod-atribut koji podrazumeva skup svojstvenih karakteristika koje zadovoljavaju zahteve korisnika. U direktnoj je spezi sa cenom proizvoda i na krajnjeg korisnika ostavlja jak utisak.

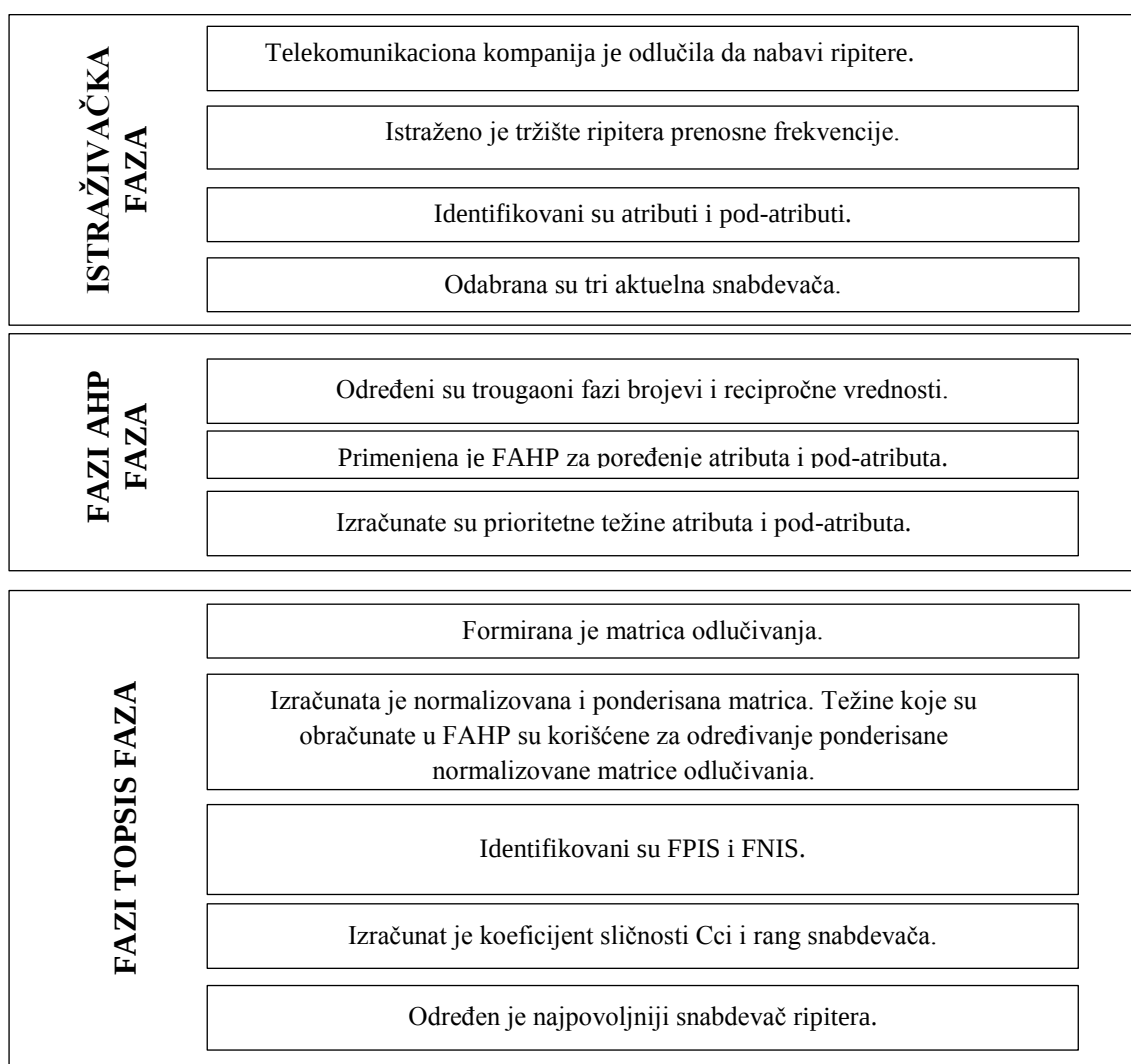
- **Profil snabdevača (PS)** – ovaj pod-atribut bitan je pokazatelj finansijkog statusa, reputacije i kompetentnosti/profesionalnosti snabdevača. Sastoji se od sledećih pod-atributa:

- *Solventnost (SO)* – pokazuje platežnu sposobnost snabdevača, odnosno njegovu sposobnost da izmiri svoje obaveze u iznosu i roku dospeća.
- *Brend pozicija (BP)* – ovaj pod-atribut omogućava diferenciranje snabdevača, tj. njegovog proizvoda u odnosu na konkurenciju.

- *Referenc lista (RL)* – pruža uvid u informacije o značajnim poslovima izvršenim od strane snabdevača.
- *Profesionalni odnosi (PO)* – obuhvataju ekspertizu, iskustvo, profesionalizam i pouzdanost snabdevača. U praksi za kompaniju je jednostavnije da sarađuje sa već poznatim snabdevačima sa kojima ima dugoročne poslovne odnose, mada je od interesa uspostavi i saradnju sa novim/potencijalnim snabdevačima.
- **Finansijski aspekt (FA)** – predstavlja jedan od ključnih parametara u odnosu između kompanije i snabdevača. Pod-atributi koji se uzimaju u razmatranje su:
 - *Cena proizvoda (CP)* – ovaj pod-atribut je usko povezan sa kvalitetom proizvoda i igra bitnu ulogu prilikom selekcije snabdevača.
 - *Logistički troškovi (LT)* – prilikom odabira snabdevača potrebno je uzeti u obzir i visinu logističkih troškova, koji uključuju troškove: distributivnih kanala, transporta, osiguranja, itd.
 - *Carine i takse (CK)* – prilikom analize najpovoljnijeg snabdevača potrebno je uvrstiti i pod-atribut carinske troškove i takse uvoza tražene opreme, jer one mogu bitno uticati na visinu cene proizvoda.
 - *Način plaćanja (NP)* – od značaja za kompaniju je da od snabdevača dobije što povoljnije uslove plaćanja, naročito ako je u pitanju nabavke opreme velike vrednosti.
- **Servis i podrška (SP)** – pod ovim atributom podrazumeva se servisna podrška u garantnom i vangarantnom periodu. Servis obuhvata sledeće stavke:
 - *Servis (SE)* – sposobnost snabdevača da izvrši blagovremeni i kvalitetni servis opreme je bitan pod-atribut za analizu prilikom selekcije snabdevača.
 - *Obuka i usavršavanje (OU)* – proces nabavke telekomunikacione opreme često je praćen obukom korisnika za korišćenje iste. Bitno je ispitati dostupnost stručnih obrazovnih aktivnosti i adekvatnih stručnjaka za sprovođenje obuke. Značajno je razmotriti i njihove godišnje planove obuke.
 - *Tehnička podrška (TP)* – ukazuje na pravovremeno reagovanje snabdevača na svaki tehnički problem koji se pojavi u funkcionisanju opreme, to iziskuje dostupnost eksperata za tehnička pitanja.

- *Održavanje (OD)* – telekomunikaciona oprema podložna kvarovima, snabdevač je taj koji treba da obezbedi redovno održavanje.
- *Rezervni delovi (RD)* – usled kvara opreme snabdevač je dužan da obezbedi potrebne rezervne delove u definisanom vremenskom intervalu.

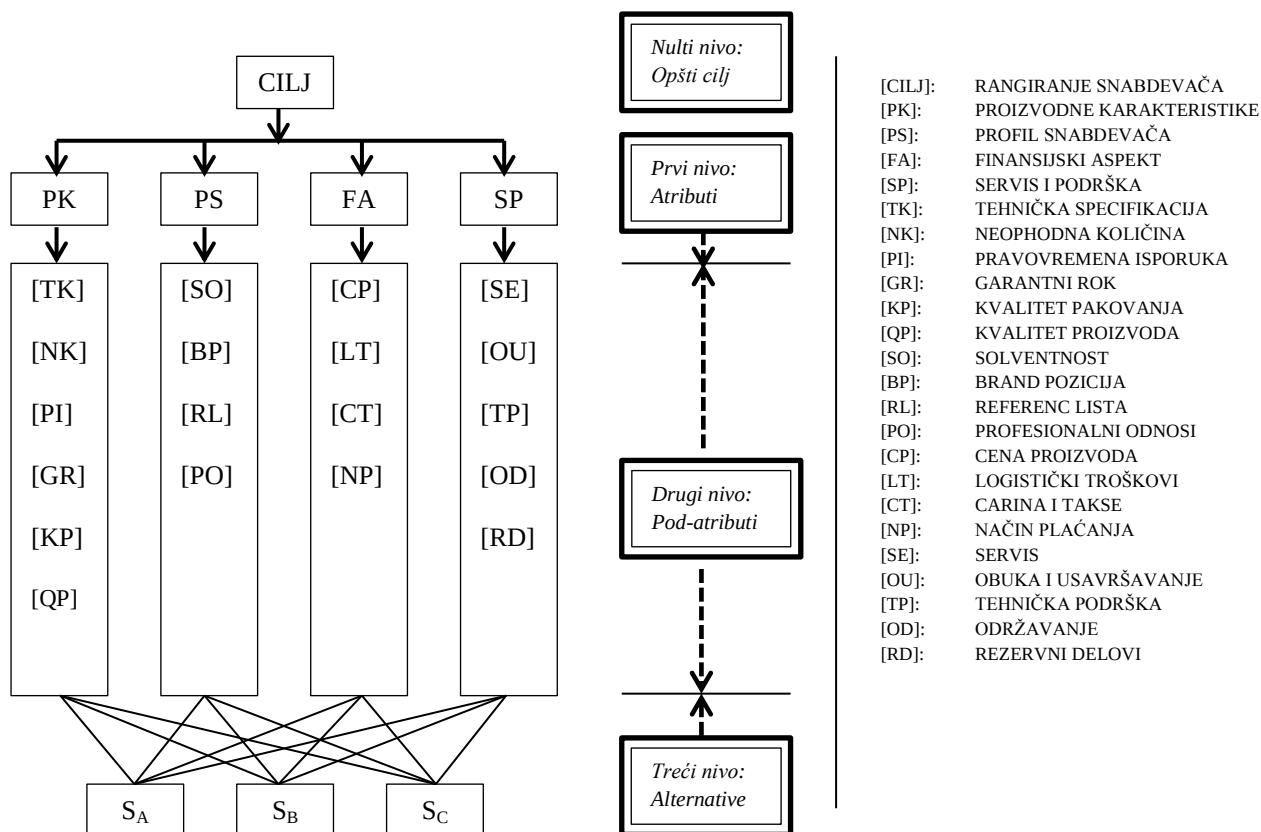
Nakon što su utvrđeni osnovni atributi i pod-atributi za analizu problema sledi primena metoda VKA kako bi se izvršio izbor najpovoljnijeg snabdevača telekomunikacione opreme. U ovom radu kombinovane su dve metode FVKO: FAHP i FTOPSIS. Faze integracija ove dve fazi metode predstavljene su u okviru **Slike 10**.



Slika 10: Predloženi FAHP-FTOPSIS pristup za rangiranje snabdevača

FAHP metoda je predstavljena na osnovu dve fazi:

Faza I: određivanje cilja istraživanja i struktuiranje osnovnih atributa i pod-atributa u hijerahijsko stablo. Identifikovan je cilj istraživanja „Rangiranje snabdevača telekomunikacione opreme“. U skladu sa ciljem analizirano je četiri osnovna atributa i devetnaest pod-atributa, sve to za tri snabdveča (**Slika 11**).



Slika 11: Hijerahijsko stablo za problem rangiranja snabdevača

Faza II: računanje prioritetnih težina atributa i pod-atributa. Komparacija atributa i pod-atributa olakšana je primenom već spomenute Lingvističke skale značajnosti (**Tabela 3**), koja konvertuje lingvističke promenljive u trougaone fazi brojeve, odnosno u njihove recipročne vrednosti. Primenom FAHP metodologije (**Izrazi 19-28**) moguće je izračunati prioritetne težine osnovnih atributa i pod-atributa. **Tabela 12** predstavlja fazi matricu komparacije četiri osnovna atributa sa pripadajućim prioritetnim težinama.

Tabela 12. Fazi matrica komparacije četiri atributa i njihove prioritetne težine.

Atribut	PK	PS	FN	SU	Prioritetne težine (Wc)
PK	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	0,349
PS	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,1,3/2)	0,131
FN	(2/3,1,2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	0,299
SU	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	0,220
CI = 0,073; RI = 0,9; CR = 0,082					

Iz **Tabele 12** se može zaključiti da je najznačajniji atribut Proizvodne karakteristike sa prioritetnom težinom od 0.349, zatim slede atribut Finansijski aspekt sa 0.299, potom Servis i podrška sa 0.220 i na kraju Profil snabdevača sa 0.131. Sem toga, $CR = 0,082 (\leq 0,1)$ što znači da je poređenje četiri osnovna atributa objektivno i da su stvoreni uslovi za donošenje ispravne odluke.

U okviru **Tabele 13** dato je komparativno poređenje šest pod-atributa u sklopu atributa *Proizvodne karakteristike (PK)*.

Tabela 13. Fazi matrica komparacije šest pod-atributa u odnosu na osnovni atribut PK

Pod-atribut	TS	NK	PI	GR	KP	QP	Prioritetne težine (Wc)
TS	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(5/2,3,7/2)	(1,1,1)	0,226
NK	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)	0,185
PI	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(2/3,1,2)	0,187
GR	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	0,131
KP	(2/7,1/3,2/5)	(2/5,1/2,2/3)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	0,069
QP	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1/2,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	0,202
CI = 0,068; RI = 1,12, CR = 0,061							

Iz **Tabele 13** se može zaključiti da je u sklopu atributa *Proizvodne karakteristike (PK)* najznačajniji pod-atribut Tehnička specifikacija sa prioritetnom težinom od 0.226, zatim slede Kvalitet proizvoda sa 0.202, Pravovremena isporuka sa 0.187, Neophodna količina sa 0.185, Garantni rok sa 0.131 i Kvalitet pakovanja sa težinom od 0.069. Racio konzistentnosti $CR \leq 0,1$ što znači da je matrica poređenja dobro postavljena.

Ista procedura primenjena je za računanje prioriteta težina ostalih pod-atributa, rezultati su predstavljeni u zbirnoj **Tabeli 14**.

Tabela 14. Prioritetne težine atributa/pod-atributa dobijene primenom FAHP metode

Varijable nivo 1	Prioriteti nivo 1	Varijable nivo 2	Prioriteti nivo 2
Proizvodne karakteristike (PK)	0,349	Tehnička specifikacija (TS)	0,226
		Neophodna količina (NK)	0,185
		Pravovremena isporuka (PI)	0,187
		Garantni rok (GR)	0,131
		Kvalitet pakovanja (KP)	0,069
		Kvalitet proizvoda (QP)	0,202
		CI = 0,076; RI = 1,12, CR = 0,067	
Profil Snabdevača (PS)	0,131	Solventnost (SO)	0,289
		Brand Pozicija (BP)	0,244
		Referenc lista (RL)	0,289
		Profesionalni odnosi (PO)	0,178
		CI = 0,081; RI = 0,9, CR = 0,090	
Finansijski Aspekt (FA)	0,299	Cena proizvoda (CP)	0,349
		Logistički troškovi (LT)	0,131
		Carine i takse (CT)	0,258
		Način plaćanja (NP)	0,262
		CI = 0,086; RI = 0,9, CR = 0,096	
Servis i podrška (SP)	0,22	Servis (SE)	0,248
		Obuka i usavršavanje (OU)	0,148
		Tehnička podrška (TP)	0,218
		Održavanje (OD)	0,191
		Rezervni delovi (RD)	0,195
		CI = 0,103; RI = 1,12, CR = 0,092	

Nakon što su primenom FAHP metode obračunate prioriteta težine za attribute i pod-attribute problema rangiranja snabdevača telekomuniacione opreme, sledi primena metode FTOPSIS kojom je omogućeno rangiranje snabdevača i odabir najpovoljnijeg.

Primena FTOPSIS metode može biti predstavljena na osnovu četiri faze:

Faza I: Stručni tim u sastavu: tehnički direktor, komercijalni direktor i predstavnik rukovodstva za kvalitet (u daljem tekstu donosioci odluke – eng. *Decision makers (DM)*) su definisali matricu poređenja alternativa na osnovu devetnaest pod-atributa (**Tabela 16**). Komparacija alternativa je olakšana primenom Lingvističkih varijabli za određivanje rejtinga alternativa (**Tabela 15**).

Tabela 15. Lingvističke varijable za određivanje rejtinga alternativa

Lingvističke varijable	Težine
Veoma slabo (VS)	(0,0,2)
Slabo (S)	(1,2,3)
Srednje slabo (SS)	(2,3,5,4)
Prosečno (P)	(4,5,6)
Srednje dobro (SD)	(5,6,5,8)
Dobro (D)	(7,8,9)
Veoma dobro (VD)	(8,10,10)

Tabela 16. Fazi težine pod-atributa postavljene od strane tri donosioca odluke.

Pod-atributi	Alt.	Donosioci odluke			Pod-atributi	Alt.	Donosioci odluke		
Proizvodne karakterist. (PK)		DM1	DM2	DM3	Servis i podrška (SP)		DM1	DM2	DM3
Tehnička specifikacija (TS)	S _A	D	SD	SD	Servis (SE)	S _A	VD	SD	SD
	S _B	VD	D	VD		S _B	SD	P	P
	S _C	P	SD	P		S _C	SD	SD	P
Neophodna količina (NK)	S _A	VD	D	D	Obuka i usavršav. (OU)	S _A	SD	P	P
	S _B	D	SD	SD		S _B	SD	SD	P
	S _C	D	D	D		S _C	D	SD	SD
Pravovrem. isporuka (PI)	S _A	S	S	VS	Tehnička podrška (TP)	S _A	SD	P	SS
	S _B	VD	VD	VD		S _B	SD	D	D
	S _C	S	VS	SS		S _C	D	P	P
Garantni rok (GR)	S _A	D	D	VD	Održavanje (OD)	S _A	P	S	S
	S _B	P	P	P		S _B	SD	D	VD
	S _C	SD	D	SD		S _C	SD	P	D
Kvalitet pakovanja (KP)	S _A	D	D	D	Rezervni delovi (RD)	S _A	SD	SD	SD
	S _B	D	D	D		S _B	SD	SD	P
	S _C	D	D	D		S _C	P	P	P
Kvalitet proizvoda (QP)	S _A	D	D	VD					
	S _B	D	D	VD					
	S _C	VS	S	S					
Profil snabdevača (PS)		DM1	DM2	DM3	Finansijski aspekt (FA)		DM1	DM2	DM3
Solventnost (SO)	S _A	D	D	VD	Cena proizvoda (CP)	S _A	SD	D	VD
	S _B	P	P	P		S _B	P	S	VS
	S _C	SD	SD	SD		S _C	SD	P	SD
Brand Pozicija (BP)	S _A	VS	VS	VS	Logistički troškovi (LT)	S _A	VS	VS	VS
	S _B	SD	D	D		S _B	S	S	VS
	S _C	D	D	VD		S _C	D	D	VD
Referenc lista (RL)	S _A	P	P	SS	Carine i takse (CT)	S _A	P	P	P
	S _B	P	P	P		S _B	P	S	SS
	S _C	SD	VD	SD		S _C	D	VD	SD
Profesionalni odnosi (PO)	S _A	D	D	VD	Način plaćanja (NP)	S _A	SS	S	P
	S _B	P	P	SS		S _B	SD	P	SD
	S _C	P	P	SD		S _C	P	P	P

Težine alternativa definisane od strane donosilaca odluke (**Tabela 16**) je potrebno agregirati primenom **Izraza (32,33)**, rezultati su predstavljeni u **Tabeli 17**.

Tabela 17. Agregirane težine donosilaca odluke za tri alternative

			Pod-atributi				
Alt.	TS	NK	PI	GR	KP	QP	SO
S _A	(5,7,9)	(7,8.67,10)	(0,1.33,3)	(7,8.67,10)	(7,8,9)	(7,8.67,10)	(7,8.67,10)
S _B	(7,9.33,10)	(5,7,9)	(8,10,10)	(4,5,6)	(7,8,9)	(7,8.67,10)	(4,5,6)
S _C	(4,5.5,8)	(7,8,9)	(0,1.83,4)	(5,7,9)	(7,8,9)	(0,1.33,3)	(5,6.5,8)
	BP	RL	PO	CP	LT	CT	NP
S _A	(0,0,2)	(2,4.5,6)	(7,8.67,10)	(5,8.17,10)	(0,0,2)	(4,5,6)	(1,3.5,6)
S _B	(5,7.5,9)	(4,5,6)	(2,4.5,6)	(0,2.33,6)	(0,1.33,3)	(1,3.5,6)	(4,6,8)
S _C	(7,8.67,10)	(5,7.67,10)	(4,5.5,8)	(4,6,8)	(7,8.67,10)	(5,8.17,10)	(4,5,6)
	SE	OU	TP	OD	RD		
S _A	(5,7.67,10)	(4,5.5,8)	(2,5,8)	(1,3,6)	(5,6.5,8)		
S _B	(4,5.5,8)	(4,6,8)	(5,7.5,9)	(5,8.17,10)	(4,6,8)		
S _C	(4,6,8)	(5,7,9)	(4,6,9)	(4,6.5,9)	(4,5,6)		

Faza II: Nakon što je utvrđena fazi matrica odlučivanja (**Tabela 16**) i izvršena agregacija rejtinga alternativa (**Tabela 17**), potrebno je odrediti normalizovanu i ponderisanu matricu odlučivanja. Normalizovanu fazi matricu odlučivanja moguće je odrediti primenom **Izraza (38, 39)**, što je predstavljeno u **Tabeli 18**.

Tabela 18. Normalizovana fazi matrica odlučivanja

	Pod-atributi						
Alt.	TS	NK	PI	GR	KP	QP	SO
S _A	(0.5,0.7,0.9)	(0.7,0.87,1)	(0,0.13,0.3)	(0.7,0.87,1)	(0.7,0.8,0.9)	(0.7,0.87,1)	(0.7,0.87,1)
S _B	(0.7,0.93,1)	(0.5,0.7,0.9)	(0.8,1,1)	(0.4,0.5,0.6)	(0.7,0.8,0.9)	(0.7,0.87,1)	(0.4,0.5,0.6)
S _C	(0.4,0.55,0.8)	(0.7,0.8,0.9)	(0,0.18,0.4)	(0.5,0.7,0.9)	(0.7,0.8,0.9)	(0,0.13,0.3)	(0.5,0.65,0.8)
FAHP težine	0,226	0,185	0,187	0,131	0,069	0,202	0,289
	BP	RL	PO	CP	LT	CT	NP
S _A	(0,0,0.2)	(0.2,0.45,0.6)	(0.7,0.87,1)	(0.5,0.82,1)	(0,0,0.2)	(0.4,0.5,0.6)	(0.1,0.35,0.6)
S _B	(0.5,0.75,0.9)	(0.4,0.5,0.6)	(0.2,0.45,0.6)	(0,0.23,0.6)	(0,0.13,0.3)	(0.1,0.35,0.6)	(0.4,0.6,0.8)
S _C	(0.7,0.87,1)	(0.5,0.77,1)	(0.4,0.55,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7,0.87,1)	(0.5,0.82,1)	(0.4,0.5,0.6)
FAHP težine	0,244	0,289	0,178	0,349	0,131	0,258	0,262
	SE	OU	TP	OD	RD		
S _A	(0.5,0.77,1)	(0.4,0.55,0.8)	(0.2,0.5,0.8)	(0.1,0.3,0.6)	(0.5,0.65,0.8)		
S _B	(0.4,0.55,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.5,0.75,0.9)	(0.5,0.82,1)	(0.4,0.6,0.8)		
S _C	(0.4,0.6,0.8)	(0.5,0.7,0.9)	(0.4,0.6,0.9)	(0.4,0.65,0.9)	(0.4,0.5,0.6)		
FAHP težine	0,248	0,148	0,218	0,191	0,195		

Sledeći korak je određivanje ponderisane normalizovane fazi matrice. Ona je rezultat proizvoda normalizovanih fazi vrednosti alternativa (**Tabela 18**) i FAHP težine

pod-atributa. Ponderisanu normalizovanu fazi matricu moguće je odrediti primenom **Izraza (40, 41)**, rezultati su predstavljeni u **Tabeli 19**. U okviru ove faze definiše se Fazi Pozitivno Idealno Rešenje (FPIS, A^*) i Fazi Negativno Idealno Rešenje (FNIS, A^-), primenom **Izraza (42, 43)**. Na taj način što su referentne težine za pod-atribute koji predstavljaju korist za kompaniju $\tilde{V}_i^* = (1,1,1)$ i $\tilde{V}_i^- = (0,0,0)$, dok su referentne težine za pod-atribute koji predstavljaju trošak za kompaniju $\tilde{V}_i^* = (0,0,0)$ i $\tilde{V}_i^- = (1,1,1)$. U ovoj studiji slučaja pod-atributi koji predstavljaju trošak za kompaniju su CP, LT i CT, dok ostali pod-atributi predstavljaju korist za poslovanje (**Tabela 19**).

Tabela 19. Ponderisana normalizovana fazi matrica

Pod-atributi							
Alt	TS	NK	PI	GR	KP	QP	SO
S_A	(0.11,0.16,0.20)	(0.13,0.16,0.18)	(0.0,0.02,0.06)	(0.09,0.11,0.13)	(0.04,0.05,0.06)	(0.14,0.18,0.2)	(0.2,0.25,0.28)
S_B	(0.16,0.21,0.23)	(0.09,0.13,0.17)	(0.15,0.19,0.19)	(0.05,0.06,0.08)	(0.04,0.05,0.06)	(0.14,0.18,0.2)	(0.11,0.14,0.17)
S_C	(0.09,0.12,0.18)	(0.13,0.15,0.17)	(0.0,0.03,0.07)	(0.06,0.09,0.12)	(0.04,0.05,0.06)	(0.0,0.03,0.06)	(0.14,0.18,0.23)
A^*	$V_1 = (1,1,1)$	$V_2 = (1,1,1)$	$V_3 = (1,1,1)$	$V_4 = (1,1,1)$	$V_5 = (1,1,1)$	$V_6 = (1,1,1)$	$V_7 = (1,1,1)$
A^-	$V_1 = (0,0,0)$	$V_2 = (0,0,0)$	$V_3 = (0,0,0)$	$V_4 = (0,0,0)$	$V_5 = (0,0,0)$	$V_6 = (0,0,0)$	$V_7 = (0,0,0)$
	BP	RL	PO	CP	LT	CT	NP
S_A	(0.0,0.05)	(0.06,0.13,0.17)	(0.12,0.15,0.18)	(0.17,0.29,0.35)	(0.0,0.03)	(0.1,0.13,0.15)	(0.03,0.09,0.16)
S_B	(0.12,0.18,0.22)	(0.12,0.14,0.17)	(0.04,0.08,0.1)	(0.0,0.08,0.21)	(0.0,0.02,0.04)	(0.03,0.09,0.15)	(0.1,0.16,0.21)
S_C	(0.17,0.21,0.24)	(0.14,0.22,0.29)	(0.07,0.1,0.14)	(0.14,0.21,0.28)	(0.09,0.11,0.13)	(0.13,0.21,0.26)	(0.1,0.13,0.16)
A^*	$V_8 = (1,1,1)$	$V_9 = (1,1,1)$	$V_{10} = (1,1,1)$	$V_{11} = (0,0,0)$	$V_{12} = (0,0,0)$	$V_{13} = (0,0,0)$	$V_{14} = (1,1,1)$
A^-	$V_8 = (0,0,0)$	$V_9 = (0,0,0)$	$V_{10} = (0,0,0)$	$V_{11} = (1,1,1)$	$V_{12} = (1,1,1)$	$V_{13} = (1,1,1)$	$V_{14} = (0,0,0)$
	SE	OU	TP	OD	RD		
S_A	(0.12,0.19,0.25)	(0.06,0.08,0.12)	(0.04,0.11,0.17)	(0.02,0.06,0.11)	(0.1,0.13,0.16)		
S_B	(0.1,0.14,0.2)	(0.06,0.09,0.12)	(0.11,0.16,0.2)	(0.1,0.16,0.19)	(0.08,0.12,0.16)		
S_C	(0.1,0.15,0.2)	(0.07,0.10,0.13)	(0.09,0.13,0.2)	(0.08,0.12,0.17)	(0.08,0.1,0.12)		
A^*	$V_{15} = (1,1,1)$	$V_{16} = (1,1,1)$	$V_{17} = (1,1,1)$	$V_{18} = (1,1,1)$	$V_{19} = (1,1,1)$		
A^-	$V_{15} = (0,0,0)$	$V_{16} = (0,0,0)$	$V_{17} = (0,0,0)$	$V_{18} = (0,0,0)$	$V_{19} = (0,0,0)$		

Faza III: U okviru ove faze određuju se udaljenosti svake od alternativa od FPIS i FNIS. One su predstavljane vrednostima D^* i D^- , a izračunavaju se primenom **Izraza (44, 45)**. Kako bi se obračunala razdaljina između dva fazi broja primenjuje se **Izraz (46)**. Rezultati dobijeni primenom navedenih izraza dati u **Tabeli 20**.

Tabela 20. FTOPSIS rezultati za tri alternative

Alternative	D^-	D^+	CC_i	Rang
S_A	14,566	4,561	0,238	2
S_B	14,123	4,994	0,261	1
S_C	14,609	4,492	0,235	3

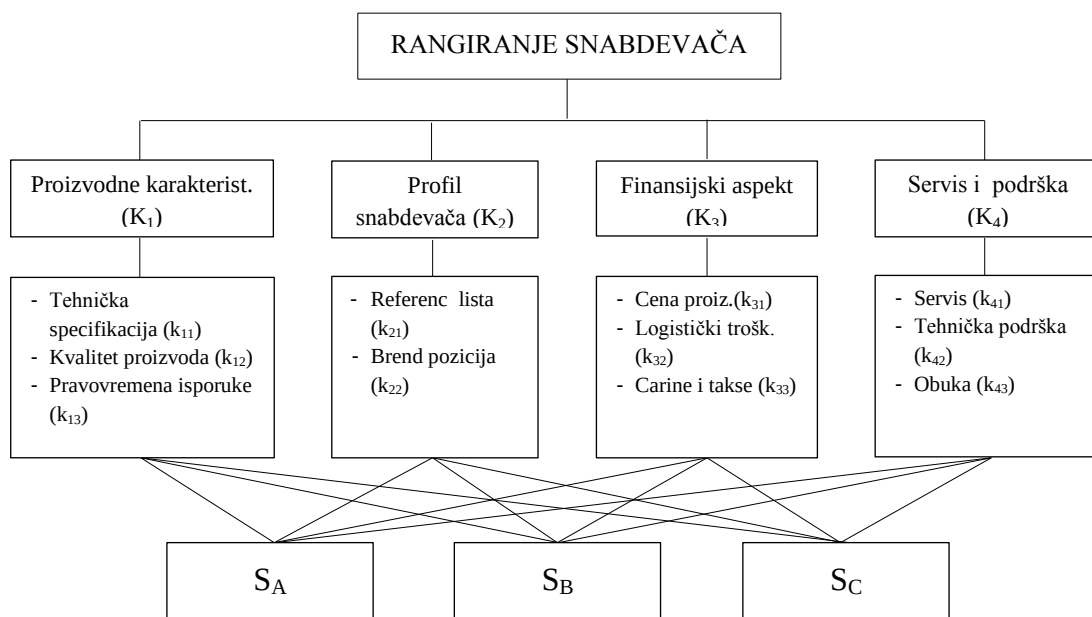
Faza IV: U završnoj fazi obračunava se koeficijent sličnosti CC_i primenom **Izraza (47)**, vrednosti CC_i za sve tri alternative predstavljene su u **Tabeli 20**. Poređenjem ovih koeficijenata moguće uspostaviti poredak alternativa, tj. odabrati najpovoljnijeg snabdevača.

Iz **Tabele 20** se može zaključiti da je najpovoljniji snabdevač S_B sa koeficijentom sličnosti od 0.261, potom slede S_A sa 0.238 i S_C sa 0.235. Poredak snabdevača je sledeći $S_B > S_A > S_C$. Samom analizom **Tabele 17** može se uvideti da snabdevač S_B ima najviše rejtinge za najznačajnije pod-atribute, kao što su: TS, PI, QP, CP, što je u kasnijim proračunima rezultovalo najvišim rangom.

6. Primena IBA pristupa za rešavanje problema rangiranja snabdevača

U mnogim tehnikama odlučivanja koristi se ponderiski pristup koji omogućava isključivo linearnu relaciju između atributa/pod-atributa. Međutim, prilikom rešavanjem problema VKA, kao što je problem rangiranja i selekcije snabdevača, često su atributi/pod-atributi međuzavisni i potrebno je između njih uspostaviti logičke interakcije. U okviru ovog rada logičke interakcije se baziraju na uvođenju operatora Bulovih algebre, kojima donosioci odluke mogu da predstavljaju zavisnosti i poređenja između atributa/pod-atributa. Na taj način se Bulovom algebrom može izraziti veliki broj realnih problema.

U ovom poglavlju će biti analiziran problem rangiranja i selekcije najpovoljnijeg snabdevača u okviru telekomunikacione kompanije, s tim što će se koristiti pojednostavljen model (**Slika 12, Tabela 21**). Za rešavanje ovog modela korišćen je ponderiski pristup u kombinaciji sa logičkim interakcijama između atributa i pod-atributa. Postavljanje logičkih funkcija između atributa/pod-atributa izvršeno je primenom IBA. Zatim se logičke funkcije transformišu u GBP, koji se putem LA prevode u jednu globalnu vrednost. Na samom kraju, kad su zavisnosti između atributa svedene na brojeve, izvršeno je rangiranje alternativa i to na tri načina. Prvi način uključuje primenu metode TOPSIS, klasične metode VKA (Mandić et al., 2014c). Sledeći se zasniva na upotrebi ponderisane pseudo-logička funkcija koja predstavlja linearnu konveksnu kombinaciju GBP (Mandić & Delibašić, 2014a). Treći način koristi FTOPSIS metodu, kojom se rangiraju alternative uz kombinovanje logičkih funkcija i trougaonih fazi brojeva. Cilj ove studije je da razvije praktični alat koji će biti od posebnog značaja za donosiocima odluka, tj. stručni tim koji odlučuje u procesu rangiranja i selekcije snabdevača. Donosioci odluke će upotrebom ovog modela moći da jasnije iskažu svoje zahteve kroz logičke uslove, odnosno biće u mogućnosti da izvrše sveobuhvatniju analizu problema i da donesu ispravnu odluku.



Slika 12: Hijerarhijsko stablo problema rangiranja snabdevača

Tabela 21. Prikaz osnovnih atributa i pod-atributa

Atributi	Pod-atributi	Tip pod-atributa	Jedinice mere	Max/Min
Proizvodne karakteristike (K ₁)	Tehnička specifikacija (k ₁₁)	Kvalitativan	OD, VD, D, ZA, NZ	Max
	Kvalitet proizvoda (k ₁₂)	Kvalitativan	OD, VD, D, ZA, NZ	Max
	Pravovremena isporuka (k ₁₃)	Kvantitativan	Dan	Max
Profil snabdevača (K ₂)	Referenc lista (k ₂₁)	Kvalitativan	OD, VD, D, ZA, NZ	Max
	Brend pozicija (k ₂₂)	Kvalitativan	OD, VD, D, ZA, NZ	Max
Finansijski aspekt (K ₃)	Cena proizvoda (k ₃₁)	Kvantitativan	Eur	Min
	Logistički troškovi (k ₃₂)	Kvantitativan	Eur	Min
	Carina i takse (k ₃₃)	Kvantitativan	Eur	Min
Servis i podrška (K ₄)	Servis (k ₄₁)	Kvalitativan	OD, VD, D, ZA, NZ	Max
	Tehnička podrška (k ₄₂)	Kvalitativan	OD, VD, D, ZA, NZ	Max
	Obuka (k ₄₃)	Kvalitativan	OD, VD, D, ZA, NZ	Max

OD-odličan, VD-vrlo dobar, D-dobar, ZA-zadovoljavajuć, NZ-nezadovoljavajuć

6.1. Osvt na literaturu

U literaturi je mali broj istraživača koji se bavio problemom uključivanja interakcija između atributa u procesu selekcije snabdevača. Neki od autora koji su se izdvojili su:

Kannan et al. (2009) su razvili višekriterijumski grupni model odlučivanja (eng. *Multi-criteria group decision making - MCGDM*) u fazi okruženju koji omogućava odabir najpovoljnije alternative. Pre nego što je doneta odluka o izboru optimalne alternative iz skupa od 15 različitih alternativa, istraživana je interakcija između kriterijuma. Analiza je ostvarena upotrebom ISM (eng. *Interpretive structural modeling*) i FTOPSIS metode. Predloženi model se odnosi na studiju slučaja u industriji proizvodnje baterija u Indiji.

Takođe, Mehregan et al. (2014) su proučavali interakciju između održivih kriterijuma prilikom selekcije snabdevača. U te svrhe, po prvi put u literaturi, su koristili ISM i fazi DEMATEL (eng. *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) metodu. ISM metod su primenili kako bi se utvrdila interakcija između održivih kriterijuma za vrednovanje snabdevača, dok je pomoću FDEMATEL pristupa utvrđen intezitet tih međuzavisnosti. Osim toga, ilustrovali su kako integrisani model ISM-FDEMATEL može da bude značajno menadžersko sredstvo za evaluaciju i analizu interakcija između kriterijuma. Predloženi pristup je primenjen na primeru iranske kompanije za gasni razvoj i inženjering.

S druge strane, Vindoh et al. (2011) je koristio fazi ANP (eng. *Analytic network process*) za selekciju snabdevača u proizvodnoj organizaciji. Holistički pristup, kao što je ANP, se koristi u situacijama kada su atributi u okviru sistema umreženi i između njih postoje međuzavisnosti. Studija slučaja je primenjena na primeru indijske elektronske proizvodne kompanije.

Slično, Nguyen et al. (2014) su razvili fazi višeatributivni model za selekciju mašinskih delova uzimajući u obzir interakciju između atributa. Za potrebe ovog rada koristili su fazi ANP i COPRAS-G (eng. *COMplex Proportional ASsessment of alternatives with Grey relations*). Fazi ANP je korišćen kako bi se izašlo na kraj sa

nepreciznim/neizvesnim informacijama, modelovale interakcije između atributa i odredile njihove težine. COPRAS-G pristupom se predstavlja ratio preferencija alternativa na intervalu u odnosu na svaki atribut i obračunavaju se prioritete težine za alternative.

Što se tiče upotrebe Bulove algebre, Jigeesh (2014) je kreirao novi pristup za području odlučivanja, pri rešavanju problema selekcije snabdevača, koji se zasniva na upotrebi Bulove algebre. Ovaj pristup je nazvan BDM (eng. *Bit Decision Making*) metoda, ona razlaže kompleksne sisteme odlučivanja na pod-sisteme i identifikuje relevantne kriterijume na svakom pod-sistemu. Bulova logika i algebra se koriste kako bi se dodelile binarne vrednosti selektovanim kriterijumima i generisale matematičke jednačine, koje vrše korelaciju ulaza u izlaze na svakom pod-sistemu odlučivanja.

Originalnost pristupa koji će biti predložen u okviru doktorske disertacije ogleda se u primeni Bulove algebra i Bulovih operatora kako bi se odredila međusobna interakcija između atributa pri rešavanju problema rangiranja i selekcije snabdevača. Primenu IBA pristupa za utvrđivanje međuzavisnosti između atributa u različitim oblastima istraživanja predstavili su neki od autora (Dobrić et al., 2010; Dragović et al., 2013; Milošević et al., 2013).

6.2. IBA-TOPSIS model za rangiranje snabdevača

Rezultati studije slučaja koji će biti predstavljeni u okviru ovog poglavlja su prezentovani na vodećoj međunarodnoj naučnoj konferenciji Group Decision and Negotiation Conference u sklopu rada „Supplier selection using Interpolative Boolean algebra and TOPSIS method“ (Mandić et al., 2014c). Pomenuti rad je proglašen za najbolji rad, dodelom nagrade EWG-DSS- EURO Working on Decision Support Systems 2014-AWARD.

U mnogim praktičnim slučajevima pri rešavanju problema rangiranja i selekcije snabdevača razmatra se veliki broj kvantitativnih i kvalitativnih atributa/pod-atributa. Kvalitativni atributi/pod-atributi su često predstavljeni lingvističkim promenljivim, pa

ih je neophodno prevesti na numeričke vrednosti (Bobar et al., 2014b). Kvantitativne i kvalitativne vrednosti pod-atributa za konkretni model su prezentovane u **Tabeli 22**. Ova tabela je generisana na osnovu ocena donosilaca odluka predstavljenih u **Tabeli 16**.

Table 22. Kvantitativne i kvalitativne vrednosti pod-atributa

	Proizvodne karakteristike (K ₁)			Profil snabdevača (K ₂)		Finansijski aspekt (K ₃)			Servis i podrška (K ₄)		
Alt.	k ₁₁	k ₁₂	k ₁₃	k ₂₁	k ₂₂	k ₃₁	k ₃₂	k ₃₃	k ₄₁	k ₄₂	k ₄₃
S _A	VD	VD	80	D	NZ	85	220	120	VD	D	D
S _B	OD	VD	30	D	VD	150	175	185	D	VD	VD
S _C	D	ZA	60	VD	VD	90	98	100	VD	D	VD

Problem rangiranja snabdevača analiziran je na inicijalnom intervalu [1,5], vrednosti iz **Tabele 22** se prevode u kvantitativne vrednosti predstavljene u **Tabeli 23**.

Table 23. Kvantitativne vrednosti pod-atributa

	Proizvodne karakteristike (K ₁)			Profil snabdevača (K ₂)		Finansijski aspekt (K ₃)			Servis i podrška (K ₄)		
Alt.	k ₁₁	k ₁₂	k ₁₃	k ₂₁	k ₂₂	k ₃₁	k ₃₂	k ₃₃	k ₄₁	k ₄₂	k ₄₃
S _A	4	4	1	3	1	4	1	3	4	3	3
S _B	5	4	5	3	4	2	2	2	3	4	4
S _C	3	2	2	4	4	4	4	4	4	3	4

Kao što je u Poglavlju 3 navedeno, fazi logika uzima vrednosti sa intervala [0,1], to ukazuje da je vrednosti pod-atributa potrebno sa inicijalnog intervala [1,5] prevesti na interval [0,1], tj. da je potrebno izvršiti normalizaciju. Nakon izvršene normalizacije, vrednosti pod-atributa su predstavljene u **Tabeli 24**.

Table 24. Normalizovane vrednosti pod-atributa

	Proizvodne karakteristike (K ₁)			Profil snabdevača (K ₂)		Finansijski aspekt (K ₃)			Servis i podrška (K ₄)		
Alt.	k ₁₁	k ₁₂	k ₁₃	k ₂₁	k ₂₂	k ₃₁	k ₃₂	k ₃₃	k ₄₁	k ₄₂	k ₄₃
S _A	0.8	0.8	0.2	0.6	0.2	0.8	0.2	0.6	0.8	0.6	0.6
S _B	1	0.8	1	0.6	0.8	0.4	0.4	0.4	0.6	0.8	0.8
S _C	0.6	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8

Ono što je svojstveno IBA je to da ne tretira logičke izraze na isti način kao što to čini konvencionalna fazi logika. U stvari, ovaj pristup odvojeno posmatra strukturu od vrednosti elemenata, osim toga poštuje zakon isključena trećeg i kontradikcije. U okviru ove metodologije, određeni atribut/pod-atribut može uticati ili biti pod uticajem nekog drugog atributa/pod-atributa, takođe značaj određenog atributa/pod-atributa može vremenom varirati u odnosu na nivo uključenosti drugih atributa/pod-atributa, to je neophodno uzeti u obzir prilikom procesa odlučivanja (Dragović et al., 2013). U IBA pristupu koriste se logičke funkcije kako bi se definisao značaj atributa/pod-atributa u skladu sa ciljem, dok se u fazi logici u te svrhe koriste komparacione matrice. Logička funkcija koja uzima u obzir korelacije između atributa/pod-atributa, definisana je u Bulovom okviru. Drugim rečima, glavni zadatak LA je kombinovanje inicijalnih atributa u jedan globalni atribut korišćenjem logičkih funkcija kao operatora agregacije (Dragović et al., 2012).

U daljem tekstu predstavljeni su logički uslovi postavljeni od strane donosilaca odluke, tj. stručnog tima, prilikom analize problema rangiranja snabdevača telekomunikacione opreme:

Uslov 1: "Ako su proizvodne karakteristike na zavidnom nivou, onda je proizvod prihvatljiv, ukoliko nisu onda obratiti pažnju na profil snabdevača, finansijski aspekt i podršku i usluge." Atributska logička funkcija data je **Izrazom (60)**:

$$k_1 \vee (\neg k_1 \wedge k_2 \wedge k_3 \wedge k_4), (60)$$

Uslov 2: "Ako je profil snabdevača zadovoljavajući razmotriti i proizvodne karakteristike, ukoliko profil snabdevača nije zadovoljavajući obratiti pažnju na finansijski aspekt i podršku i usluge." Što je predstavljeno **Izrazom (61)**:

$$(k_2 \wedge k_1) \vee (\neg k_2 \wedge k_3 \wedge k_4), (61)$$

Uslov 3: "Ako je finansijski aspekt visok, obratiti pažnju i na proizvodne karakteristike, ukoliko nije visok, obratiti pažnju na profil snabdevača." Atributska logička funkcija glasi, **Izraz (62)**:

$$(k_3 \wedge k_1) \vee (\neg k_3 \wedge k_2), (62)$$

Uslov 4: "Ako su servis i podrška na visokom nivou, obratiti pažnju i na finansijski aspekt, a ukoliko nisu na visokom nivou, razmotriti proizvodne karakteristike i profil snabdevača". Logički uslov iskazan **Izrazom (63)**:

$$(k_4 \wedge k_3) \vee (\neg k_4 \wedge k_1 \wedge k_2), (63)$$

Kako bi se odredila uključenost pod-atributa u osnovne attribute donosioci odluke uvode ponderski pristup, **Izraz (64)**:

$$w_1 * k_1 + w_2 * k_2 + \dots + w_n * k_n = p, (64)$$

gde su vrednosti w_i , $i = 1, \dots, n$ težine pod-atributa u odnosu na glavni atribut, a vrednosti k_i , $i = 1, \dots, n$ se odnose na odgovarajuće pod-atribute, dok je p prioritetni vektor osnovnog atributa.

Osim ponderskih težina, u nekim slučajevima, neophodno je uspostaviti i logičke interakcije između pod-atributa. S tim u vezi, u sledećem delu predstavljene su pod-atributske logičke funkcije:

Uslov 5: Analizom atributa Proizvodne karakteristike, donosioci odluke su ustanovili da pod-atributi Tehnička specifikacija i Kvalitet proizvoda su jednake važnosti, tj. jedan pod-atribut ne isključuje drugi. Između ova dva pod-atributa uspostavljenja je logička funkcija, korišćenjem binarnog operatora konjukcije $\wedge$. Za pomenute pod-atribute donosioci odluke su ustanovili pondersku težinu od 0.7, dok je za pod-atribut Pravovremena isporuka određena težina od 0.3. U ovom slučaju, pod-atributska logička funkcija ima sledeći oblik, **Izraz (65)**:

$$0,7 * (k_{11} \wedge k_{12}) + 0,3 * k_{13} = p, (65)$$

Uslov 6: U sklopu atributa Finansijski aspekt, donosioci odluke su za pod-atribut Cena proizvoda odredili pondersku težinu od 0.7, dok je za pod-atribute Logistički troškovi i

Carine i takse propisana težina od 0.3 i uspostavljena logička funkcija upotrebom operatora konjukcije $\wedge$, što je i predstavljeno sledećim **Izrazom (66)**:

$$0,7 * k_{31} + 0,3 * (k_{32} \wedge k_{33}) = p, (66)$$

Svaka od navedenih logičkih atributskih/pod-atributskih funkcija se transformiše u GBP, uz upotrebu standardnog proizvoda kao operatora generalizovanog proizvoda. GBP u okviru LA ima ulogu logičkog kombinovanja elemenata. Kao uvod u proces transformacije logičkih funkcija u GBP, dat je pregled osnovnih Bulovih operatora i polinoma za dva elementa a i b (**Izrazi (67, 68, 69, 70)**):

$$a(x) = a(x), b(x) = b(x), (67)$$

$$a^\neg(x) = 1 - a(x), b^\neg(x) = 1 - b(x), (68)$$

$$(a \wedge b)(x) = a(x) \otimes b(x), (69)$$

$$(a \vee b)(x) = a(x) + b(x) - a(x) \otimes b(x), (70)$$

Navedeni operatori i polinomi će biti korišćeni u okviru ove studije, s tim što će se koristiti za kombinovanje više od dve promenljive (atributa/pod-atributa).

Transformacija atributske logičke funkcije proistekle iz **Uslova 1** u GBP je predstavljena **Izrazom (71)**:

$$\begin{aligned} k_1 \vee (\neg k_1 \wedge k_2 \wedge k_3 \wedge k_4) &= k_1 + (\neg k_1 \wedge k_2 \wedge k_3 \wedge k_4) - k_1 \otimes (\neg k_1 \wedge k_2 \wedge k_3 \wedge k_4) \\ &= k_1 + ((1 - k_1) \otimes k_2 \otimes k_3 \otimes k_4) - k_1 \otimes ((1 - k_1) \otimes k_2 \otimes k_3 \otimes k_4) = \\ &= k_1 + k_2 \otimes k_3 \otimes k_4 - k_1 \otimes k_2 \otimes k_3 \otimes k_4, (71) \end{aligned}$$

Na identičan način su izvršene transformacije za preostale atributske logičke funkcije proistekle iz **Uslova 2**, **Uslova 3** i **Uslova 4**, što je i predstavljeno **Izrazima (72, 73, 74)**:

$$(k_2 \wedge k_1) \vee (\neg k_2 \wedge k_3 \wedge k_4) = k_2 \otimes k_1 + k_3 \otimes k_4 - k_2 \otimes k_3 \otimes k_4, (72)$$

$$(k_3 \wedge k_1) \vee (\neg k_3 \wedge k_2) = k_2 - k_2 \otimes k_3 + k_3 \otimes k_1, (73)$$

$$(k_4 \wedge k_3) \vee (\neg k_4 \wedge k_1 \wedge k_2) = k_4 \otimes k_3 + k_1 \otimes k_2 - k_4 \otimes k_1 \otimes k_2, (74)$$

Dok su transformacije pod-atributskih logičkih funkcija proisteklih iz **Uslova 5** i **Uslova 6** predstavljene **Izrazima (75, 76)**:

$$0,7 * (k_{11} \wedge k_{12}) + 0,3 * k_{13} = 0,7 * (k_{11} \otimes k_{12}) + 0,3 * k_{13}, (75)$$

$$0,7 * k_{31} + 0,3 * (k_{32} \wedge k_{33}) = 0,7 * k_{31} + 0,3 * (k_{32} \otimes k_{33}), (76)$$

Uzimajući u obzir atribut Profil snabdevača, donosioci odluke su uspostavili ponderisanu pod-atributsku funkciju sa pripisanim težinama od 0.6 i 0.4 za pod-atribute Referenc lista i Brend pozicija, respektivno. Prikazano **Izrazom (77)**:

$$0,6 * k_{21} + 0,4 * k_{22} = p, (77)$$

Imajući u vidu atribut Servis i podrška, donosioci odluke su uspostavili težine od 0.5, 0.3 i 0.2 za pod-atribute Servis, Tehnička podrška i Obuka, respektivno. Prezentovano **Izrazom (78)**:

$$0,5 * k_{41} + 0,3 * k_{42} + 0,2 * k_{43} = p (78)$$

Kad su transformacije obavljene i kada je konačna struktura postavljena tada se uvode vrednosti (Dragović et al., 2013). Ovo je glavna razlika između konvencionalnog i konzistentnog Bulovog pristupa. Takođe, sve tautologije i kontadikcije na simboličkom nivou su prenete i na vrednosni nivo (Milošević et al., 2014).

Uključivanjem normalizovanih k -vrednosti iz **Tabele 24** u **Izraze (75, 76, 77, 78)** pod-atributske logičke funkcije su postavljene, a upotrebom LA omogućeno je svođenje GBP na jednu reprezentativnu vrednost.

Primer uključivanja normalizovanih vrednosti u GBP (**Izraz 75**) i svođenje na jednu globalnu vrednost upotrebom LA je predstavljen za snabdevača S_A , **Izrazom (79)**:

$$0,7 * (k_{11} \otimes k_{12}) + 0,3 * k_{13} = 0,7 * (0,8 \otimes 0,8) + 0,3 * 0,2 = 0,508, (79)$$

Vrednosti četiri osnovna atributa za tri snabdevača date su u sledećoj **Tabele 25**.

Table 25. Vrednosti četiri osnovna atributa za tri snabdevača

Alternative	Proizvodne karakteristike (K_1)	Profil snabdevača (K_2)	Finansijski aspekt (K_3)	Servis i podrška (K_4)
S_A	0.508	0.44	0.448	0.472
S_B	0.860	0.68	0.765	0.415
S_C	0.288	0.8	0.414	0.616

U GBP predstavljene **Izrazima (71, 72, 73, 74)** uvode se vrednosti atributa iz **Tabele 25**, a potom se upotrebom LA dobijaju se vrednosti u **Tabeli 26**. Primer uključivanja vrednosti atributa u logički **Uslov 1** dat je za snabdevača S_A , **Izraz (80)**:

$$k_1 \vee (\neg k_1 \wedge k_2 \wedge k_3 \wedge k_4) = k_1 + k_2 \otimes k_3 \otimes k_4 - k_1 \otimes k_2 \otimes k_3 \otimes k_4 = 0,508 + 0,44 \otimes 0,448 \otimes 0,472 - 0,508 \otimes 0,44 \otimes 0,448 \otimes 0,472 = 0,554, (80)$$

Vrednosti četiri logička uslova za tri snabdevača data su u **Tabeli 26**.

Table 26. Vrednosti četiri logička uslova za tri snabdevača

Alternative	Uslov 1	Uslov 2	Uslov 3	Uslov 4
S_A	0.554	0.342	0.470	0.329
S_B	0.890	0.686	0.817	0.659
S_C	0.433	0.281	0.588	0.343

Finalni rang snabdevača omogućen je primenom TOPSIS metode. U prethodnim koracima je već određena normalizovana i ponderisana matrica, tako da je moguće krenuti od treće faze TOPSIS metode. Osnovni zadatak je da se odredi udaljenost svake alternative od PIS upotrebom **Izraza (10)** i NIS primenom **Izraza (11)**. Kao referentne tačke za PIS uzeto je $A^* = \{1,1,1\}$, a za NIS $A^- = \{0,0,0\}$. Prateći kalkulacije za PIS i NIS, primenom **Izraza (12)**, moguće je odrediti koeficijent sličnosti (CC_i) za svaku alternativu ponaosob. **Tabela 27** prikazuje parametre PIS, NIS, CC_i i konačni rang snabdevača.

Table 27. Rangiranje alternativa upotrebom TOPSIS meotde

Alternative	D^+	D^-	CC_i	Rang
S_A	0.679	0.135	0.167	2
S_B	0	0.776	1	1
S_C	0.725	0.119	0.141	3

U klasičnom ponderskom pristupu nije moguće modelovati uslovljenost ili povezanost između atributa/pod-atributa korišćenjem logičkih operatora. Nedostatak ponderskog pristupa je u tome što se on ne može koristiti za modelovanje logičkih izraza. On razmatra attribute odvojeno i između njih se ne mogu uspostaviti korelacije. Takvi uslovi su pogodovali razvoju logike i logičkih operatora, koji mogu da pruže više operacija za agregaciju (Milošević et al., 2013). U okviru ovog rada su uvedene logičke interakcije između atributa/pod-atributa koje omogućavaju konvertovanje verbalnih izjava donosilaca odluke u logičke funkcije. Logičke funkcije rezultuju novom strukturom komponenti za razliku od ponderskog pristupa. Na taj način, uključivanjem logičkih interakcija, je omogućeno poboljšanje klasičnog ponderskog pristupa. Iz **Tabele 27** se uočava da je poredak snabdevača sledeći $S_B > S_A > S_C$.

6.3. IBA-pseudo LA model za rangiranje snabdevača

U okviru ovog poglavlja dat je prikaz rangiranja snabdevača primenom pseudo-logičke agregacije (pseudo LA). Rezultati koji su postignuti prezentovani su na vodećoj naučnoj međunarodnoj konferenciji Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems (IPMU 2014) u sklopu rada „Supplier Selection using Interpolative Boolean Algebra and Logical Aggregation“ (Mandić & Delibašić, 2014a).

Pseudo LA predstavlja linearnu konveksnu kombinaciju GBP. U okviru ove studije je analiziran postojeći model za rangiranje snabdevača, s tim što se umesto TOPSIS metode za rangiranje alternativa koristi pseudo LA. Rangiranje alternativa započinje od **Tabele 26**. Pošto su obračunate vrednosti atributskih/pod-atributskih logičkih funkcija primenom LA, dobijene vrednosti su uključene u logičke uslove, a potom je izvršeno rangiranje snabdevača.

Konačni rang snabdevača moguće je odrediti postavljanjem još jedne ponderisane funkcije, tzv. pseudo-logička funkcije. Donosioci odluke su svakom od logičkih uslova dodelili ponderisane težine, i to 0.4, 0.1, 0.3, 0.2, respektivno, **Izraz (81)**:

$$0,4 * (k_1 \vee (\neg k_1 \wedge k_2 \wedge k_3 \wedge k_4)) + 0,1 * ((k_2 \wedge k_1) \vee (\neg k_2 \wedge k_3 \wedge k_4)) + 0,3 * (k_3 \wedge k_1) \vee (\neg k_3 \wedge k_2) + 0,2 ((k_4 \wedge k_3) \vee (\neg k_4 \wedge k_1 \wedge k_2)) = p, (81)$$

Unosom vrednosti logičkih uslova iz **Tabele 26** u **Izraz (81)** i primenom pseudo LA dobijaju se vrednosti iz **Tabele 28**.

Tabela 28. Konačan rang snabdevača

Alternative	Pseudo-logička funkcija	Rang
S_A	0.462	2
S_B	0.801	1
S_C	0.446	3

U **Tabeli 28** predstavljen je poredak snabdevača: $S_B > S_A > S_C$. Identičan poredak alternativa je ostvaren i u prethodnoj analizi.

6.4. IBA-FTOPSIS model za rangiranje snabdevača

U ovom poglavlju dat je prikaz primene IBA pristupa u fazi okruženju. U okviru ovog modela, za definisanje preferencija donosilaca odluke umesto preciznih vrednosti koriste se trougaoni fazi brojevi. Takođe, kako bi se omogućilo rangiranje alternativa predstavljena je primena FTOPSIS metode. **Tabela 29** je generisana iz **Tabele 18** i predstavlja normalizovane fazi vrednosti za pod-atribute.

Tabela 29. Normalizovana fazi matrica odlučivanja

Pod – atributi						
Alt.	k ₁₁	k ₁₂	k ₁₃	k ₂₁	k ₂₂	k ₃₁
S _A	(0.5,0.7,0.9)	(0.7,0.87,1)	(0,0.13,0.3)	(0.2,0.45,0.6)	(0,0,0.2)	(0.5,0.82,1)
S _B	(0.7,0.93,1)	(0.5,0.87,1)	(0.8,1,1)	(0.4,0.5,0.6)	(0.5,0.75,0.9)	(0,0.23,0.6)
S _C	(0.4,0.55,0.8)	(0,0.13,0.3)	(0,0.18,0.4)	(0.5,0.77,1)	(0.7,0.87,1)	(0.4,0.6,0.8)
	k ₃₂	k ₃₃	k ₄₁	k ₄₂	k ₄₃	
S _A	(0,0,0.2)	(0.4,0.5,0.6)	(0.5,0.77,1)	(0.2,0.5,0.8)	(0.4,0.55,0.8)	
S _B	(0,0.13,0.3)	(0.1,0.35,0.6)	(0.4,0.55,0.8)	(0.5,0.75,0.9)	(0.4,0.6,0.8)	
S _C	(0.7,0.87,1)	(0.5,0.82,1)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.9)	(0.5,0.7,0.9)	

Kako bi se utvrdila uključenost analiziranih pod-atributa u odgovarajuće attribute, korišćene su već navedene logičke pod-atributske funkcije. Fazi vrednosti pod-atributa iz **Tabele 29** su uvršćene u **Izraze (75, 76, 77, 78)** i na taj način su dobijene vrednosti iz **Tabele 30**, tj. formirana je ponderisana normalizovana fazi matrica.

Table 30. Ponderisana normalizovna fazi matrica odlučivanja

Alt.	Proizvodne karakteristike (K ₁)	Profil snabdevača (K ₂)	Finansijski aspekt (K ₃)	Servis i podrška (K ₄)
S _A	(0.245,0.465,0.72)	(0.12,0.27,0.44)	(0.35,0.574,0.736)	(0.39,0.645,0.9)
S _B	(0.485,0.866,1)	(0.44,0.6,0.72)	(0,0.17,0.474)	(0.43,0.62,0.83)
S _C	(0,0.104,0.288)	(0.58,0.81,1)	(0.385,0.634,0.86)	(0.42,0.62,0.85)

Sledeći korak je uključivanje fazi vrednosti iz **Tabele 30** u logičke atributske funkcije, **Izraze (71, 72, 73, 74)**. Na taj način su obračunate fazi vrednosti za sva četiri logička uslova i predstavljene su u **Tabeli 31**.

Table 31. Fazi vrednosti za četiri logička uslova u odnosu na tri snabdevača

Alt.	Uslov 1	Uslov 2	Uslov 3	Uslov 4
S _A	(0.257,0.518,0.801)	(0.149,0.395,0.687)	(0.163,0.381,0.646)	(0.154,0.415,0.694)
S _B	(0.485,0.874,1)	(0.213,0.561,0.830)	(0.44,0.645,0.852)	(0.121,0.302,0.515)
S _C	(0.093,0.389,0.808)	(0.067,0.159,0.288)	(0.356,0.362,0.387)	(0.162,0.425,0.774)

Kako bi se izvršilo rangiranje snabdevača primenjena je FTOPSIS metoda. Pošto su već određene normalizovana i ponderisana fazi matrica, prvi korak u sprovođenju ove

metode je određivanje Fazi Pozitivnog Idealnog Rešenja (FPIS, A^+) i Fazi Negativnog Idealnog Rešenja (FNIS, A^-), primenom **Izraza (42, 43)**. Kao referentne težine za logičke uslove određene su sledeće vrednosti, $\tilde{V}_i^+ = (1,1,1)$ i $\tilde{V}_i^- = (0,0,0)$. Primenom **Izraza (44, 45, 46)** su obračunate udaljenosti svake od alternativa od FPIS i FNIS, dok se koeficijent sličnosti (CC_i) za alternative obračunava upotrebom **Izraza (47)**, što je predstvaljeno u **Tabeli 32**.

Tabela 32. FTOPSIS rezultati za tri alternative

Alternative	D^+	D^-	CC_i	Rang
S_A	2,406	1,956	0,448	2
S_B	1,932	2,425	0,556	1
S_C	2,706	1,599	0,371	3

Iz **Tabele 32** može se zaključiti da je poredak alternative identičan kao u prethodna dva modela: $S_B > S_A > S_C$.

7. Zaključak

Procesi rangiranja i selekcije poslovnih banaka i snabdevača predstavljaju oblast koja je ima veliki značaj kako na ekonomičnost, tako i na efikasnost poslovanja. Za mnoge kompanije od izrazite važnosti je da odaberu adekvatnu poslovnu banku, kao i da selektuju odgovarajućeg snabdevača, kako bi smanjili troškove poslovanja i opstali na globalnom tržištu. S tim u vezi, u želji da se razviju praktičnija i fleksibilnija rešenja za navede probleme u okviru predmetne doktorske teze predstavljeno je nekoliko hibridnih višekriterijumskih modela.

7.1. Kritički osvrt na sprovedeno istraživanje

U okviru sprovedenog istraživanja glavni cilj je da se pronađe adekvatan i praktičan alat za modelovanje problema rangiranja. Namera je da se razviju efikasni sistemi, kao podrška procesu odlučivanja, koji će koristiti metode višekriterijumske analize. Upotreba ovih metoda svojstvena je za situacije koje u analizu uključuju mnoštvo kvantitativnih i kvalitativnih atributa, često međuzavisnih ili suprotstavljenih.

Metode koje su najčešće primenjivane za analiziranje problema rangiranja, kao što je klasični ponderski pristup, attribute predstavljaju linearano tako da je nemoguće modelovati povezanost ili uslovljenost između njih. One posmatraju attribute kao nezavisne elemente između kojih se ne mogu uspostaviti korelacije. Imajući u vidu da u realnim situacijama određeni atribut može uticati ili biti pod uticajem nekog drugog atributa i da značaj određenog atributa može vremenom varirati u odnosu na nivo uključenosti drugih atributa, javila se potreba za uključivanjem interakcija između atributa u proces odlučivanja. Takvi uslovi su za posledicu imali razvoj logike i logičkih operatora.

U okviru disertacije predloženi su modeli za rangiranje koji se baziraju na upotrebi višekriterijumske analize, konvencionalne i konzistentne fazi logike. Upotreba fazi logike pri rešavanju problema višekriterijumskog odlučivanja doprinela je razvoju fazi

metoda VKA koje u analizu uključuju kako kvantitativne tako i kvalitativne attribute. Time se osposobljavaju za rešavanje velikog broja realnih problema iz različitih domena istraživanja. Osim toga, bitna karakteristika fazi metoda je ta što u proces odlučivanja uključuju neprecizne/neodređene attribute koje predstavljaju fazi brojevima. Na taj način se omogućava modelovanje situacija koje se mogu okarakterisati kao neizvesne. Samim tim, uvođenje fazi logike u proces odlučivanja rezultovalo je brojnim prednostima naspram klasičnih metoda VKA, koje su pogodne samo za rad sa podacima koji se mogu predstaviti preciznim, egzaktnim vrednostima.

U istraživanju sprovedenom u okviru ove doktorske disertacije razvijeni su hibridni modeli koji se baziraju na kombinovanju klasičnih i fazi metoda VKA. Time je omogućeno prevazilaženje nedostataka svojstvenih klasičnim VKA metodama, a ujedno i postizanje pouzdanijih rezultata u odnosu na rezultate dobijene primenom pojedinačnih VKA pristupa. Ovi modeli su testirani na primerima rangiranja poslovnih banaka i snabdevača telekomunikacione opreme. Za rešavanje problema rangiranja poslovnih banaka razvijen je hibridni model koji kombinuje klasičnu i fazi metodu VKA, konkretno FAHP-TOPSIS model. Ovaj model se pokazao kao efikasan alat za vrednovanje finansijskih performansi poslovnih banaka. Na taj način što je posredstvom FAHP metode omogućeno određivanje prioriternih težina finansijskih atributa upotrebom fazi brojeva i komparativnih matrica, dok je klasična TOPSIS metoda korišćena za rangiranje banaka. Sličan integrisani fazi višekriterijumski model je primenjen za rangiranje snabdevača telekomunikacione opreme, s tim što su kombinovane dve fazi metode VKA, i to FAHP-FTOPSIS. Primenom ovog modela atributi i pod-atributi su predstavljeni na intervalu $[0,1]$, korišćenjem trougaonih fazi brojeva. Takođe, omogućeno je njihovo međusobno poređenje upotrebom komparativnih matrica. Kao glavna prednost predloženih modela može se istaći mogućnost predstavljanja preferencija donosioca odluke na intervalu, a ne njihovo fiksiranje na jednu numeričku vrednost, što je svojstveno klasičnim VKA metodama.

Dodatno, jedna od bitnih tema koja je razmatrana u okviru teze je mogućnost postavljanja fazi logike u Bulov okvir, što je rezultovalo razvojem konzistentne fazi logike, tj. interpolativne Bulove algebre. Kao jedno od osnovnih ograničenja fazi logike

navodi se nemogućnost uspostavljanja zavisnosti između atributa. Stoga, konzistentna fazi logika na izvestan način predstavlja proširenje konvencionalne fazi logike, a bazira se uključivanju Bulovih operatora u proces odlučivanja uz poštovanje svih Bulovih aksioma i teorema. Svi verbalni zahtevi postavljeni od strane donosilaca odluke se uz pomoć Bulovih operatora predstavljaju kao logičke funkcije, time se omogućava realno prikazivanje svih međuzavisnosti i interakcija između atributa/pod-atributa.

Takođe, primena konzistentne fazi logike predstavljena je za rešavanje problema rangiranja snabdevača telekomunikacione opreme. Sve interakcije između atributa i pod-atributa su procesirane posredstvom logičkih funkcija, koje se potom svode na generalizovane Bulove polinome. Uz pomoć logičke agregacije omogućena je transformacija generalizovanog Bulovog polinoma na jednu reprezentativnu numeričku vrednost. U okviru ovog modela, problem rangiranja snabdevača je rešen primenom: klasične VKA metode TOPSIS, pseudo LA i fazi VKA metode FTOPSIS. Iz sprovedenog istraživanja se može zaključiti da je primena konzistentne fazi logike umnogome doprinela realnijem predstavljanju problema. Ono što ovaj pristup čini efikasnijim u poređenju sa fazi metodama je to što se prvenstveno definišu svi verbalni zahtevi i strukturne transformacije od strane donosilaca odluke, a potom se uvode brojevi (vrednosti). Time se omogućava sveobuhvatnija analiza problema odlučivanja.

Na samom kraju, može se zaključiti da je ključni naučni doprinos doktorske disertacije unapređenje sistema odlučivanja, razvojem kombinovanih modela, u situacijama kada se atributi odlučivanja ne mogu precizno odrediti i kada između njih postoje izvesne uslovljenosti i logičke interakcije. Osnovni motiv razvoja hibridnih modela u ovom radu je prevashodno njihova praktična primena u korporativnom okruženju.

7.2. Budući pravci istraživanja

Konvencionalna, kao i konzistentna, fazi logika predstavljaju tehnike koje otvaraju veliki broj mogućnosti za dalja istraživanja. U okviru ove doktorske disertacije su predloženi hibridni modeli sa željom da se unaprede sistemi koji su bazirani na klasičnim metodama VKA. Ono što predložene hibridne modele čini efikasnim je pre svega mogućnost analiziranja atributa koji su neizvesni/neodređeni i međusobno uslovljeni. Samim tim, ove metodologije se osposobljavaju za rešavanje niza problema iz različitih oblasti istraživanja.

Buduća istraživanja biće usmerena ka daljem grupnom kombinovanju IBA pristupa, fazi logike i metoda VKA, kako bi se omogućilo efikasnije modelovanje procesa odlučivanja. Pre svega predmet interesovanja biće uvođenje Bulove algebre i Bulovih operatora u metode VKA, kao što su AHP, TOPSIS, DEA, ELECTRE, IKOR i njihove fazi verzije. Takođe, dalja istraživanja biće posvećena pronalaženju pouzdanog alata kojim bi se merio kvalitet dobijenih rešenja. U postojećoj literaturi je malo radova koji se bave analizom konzistentnosti ostvarenih rezultata, tako da se otvaraju mogućnosti za dalja istraživanje ove tematike.

Literatura

Akkoç, S. & Vatansever, K. (2013). Fuzzy performance evaluation with AHP and TOPSIS methods: evidence for turkish banking sector after the global financial crisis. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 6(11), pp. 53-74.

Albayrak, E. & Erensal, Y. C. (2004). Using analytic hierarchy process (AHP) to improve human performance: an application of multiple criteria decision making problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15, pp. 491-503.

Amiri, M., Zandieh, M., Soltani, R. & Vahdani, B. (2009). A hybrid multi-criteria decision-making model for firms competence evaluation. *Expert Systems with Applications*, 36, pp. 12314-12322.

Aydogan, E. K. (2011). Performance measurement model for Turkish aviation firms using the rough-AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 38(4), pp. 3992–3998.

Badri, M. A. (2001). A combined AHP-GR model for quality control systems. *International Journal of Production Economics*, 72(1), pp. 27-40.

Baskar, C., Parameshwaran, R. & Devasenapathy, T. (2011). An Integrated strategic decision making model by FAHP and its evaluation by FTOPSIS for foundry industry. *Fuzzy Systems*, 3(6), pp. 253-257.

Bellman, R. E. & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, 17, pp. 141-164.

Benitez, J. M., Martin, J. C. & Roman, C. (2007). Using fuzzy number for measuring quality of service in the hotel industry. *Tourism Management*, 28(2), pp. 544-555.

Bhutta, K. B. & Huk, F. (2002). Supplier selection problem: a comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(3), pp. 126–135.

Bhutta, M. K. S. (2003). Supplier selection problem: methodology literature review. *Journal of International Technology and Information Management*, 12(2), pp. 53–72.

Bobar, V. (2014a). Mogućnost unapređenja sistema poslovnog odlučivanja u procesu e-nabavke. Doktorska disertacija. Fakultet organizacionih nauka.

Bobar, V., Mandić, K. & Suknović, M. (2014b). Bidder Selection in Public Procurement. Group Decision and Negotiation Conference 2014, Proceedings of the Joint International Conference of the INFORMS GDN Section and the EURO Working Group on DSS, Toulouse University, France, ISBN 978-2-917490-27-3, pp. 191-198.

Boender, C. G. E., De Graan, J. G. & Lootsma, F. A. (1989). Multiple-criteria decision analysis with fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy Sets and Systems*, 29, pp. 133–143.

Boole, R. G. (1848). The calculus of logic. *Cambridge and Dublin Mathematical Journal*, 3, pp. 183-198.

Bottani, E. & Rizzi, A. (2005). A fuzzy multi-attribute framework for supplier selection in an e-procurement environment. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 8(3), pp. 249–266.

Bozbura, F. T., Beskese, A. & Kahraman, C. (2007). Prioritization of human capital measurement indicators using FAHP. *Expert Systems with Applications*, 32(4), pp. 1100–1112.

Braglia, M. & Petroni, A. (2000). A quality assurance-oriented methodology for handling tradeoffs in supplier selection. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(2), pp. 96-11.

Bruno, G., Esposito, E., Genovese, A. & Passaro, R. (2011). AHP based methodologies for suppliers selection: A critical review. *International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, pp. 1-15.

Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17, pp. 233–247.

Bulajić, M., Jeremić, V., Knežević, S. & Žarkić-Joksimović, N. (2012). Towards a framework for evaluating bank efficiency. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*, 8(2), pp. 377-384.

Büyüközkan, G., Feyzioglu, O. & Nebol, E. (2008). Selection of the strategic alliance partner in logistics value chain. *International Journal of Production Economics*, 113(1), pp. 148–158.

Byun, D. H. (2001). The AHP approach of selecting an automobile purchase model. *Information and Management*, 38, pp. 289–297.

Chan, F. T. S. & Kumar, N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP based approach. *Omega*, 35(4), pp. 417–431.

Chang, C. W., Wu, C. R. & Lin, H. L. (2009). Applying fuzzy hierarchy multiple attributes to construct an expert decision making process. *Expert Systems with Applications*, 36(4), pp. 7363-7368.

Chang, D. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95, pp. 649–655.

Chang, D. Y. (1992). Extent analysis and synthetic decision. *Optimization Techniques and Applications*, 1, pp. 352–355.

Che, Z. H., Wang, H. S. & Chuang, C. L. (2010). A fuzzy AHP and DEA approach for marketing bank loan decisions for small and medium enterprises in Taiwan. *Expert Systems With Applications*, 37, pp. 7189-7199.

Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, pp. 1–9.

Chen, C. T., Lin, C. T. & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2), pp. 289–301.

Chen, S. J. & Hwang, C. L. (1992). *Fuzzy multiple attribute decision-making: methods and application*, Springer-Verlag, New York.

Chen, S. M. (1996). Forecasting enrollments based on fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, 81(3), pp. 311–319.

Chen, T. Y. & Tsao, Ch. Y. (2008). The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 159(11), pp. 1410-1428.

Chen, Z. & Yang, W. (2011). An MAGDM based constrained FAHP and FTOPSIS and its application to supplier selection. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, pp. 2802-2815.

Cheng, C. H. (1999). Evaluating weapon systems using ranking fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 107, pp. 25-35.

Cheraghi, S. H., Dadashzadeh, M. & Subramaniam, M. (2004). Critical success factors for supplier selection: An update. *Journal of Applied Business Research*, 20(2), pp. 91-108.

Chu, T. C. (2002). Facility location selection using fuzzy TOPSIS under group decisions. *International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 10(6), pp. 687–701.

Chu, T. C. & Lin, Y. C. (2003). A fuzzy TOPSIS method for robot selection. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21(4), pp. 284–290.

Constantino, N., Dotoli, M., Falagario, M. & Fanti, M. P. (2011). Using fuzzy decision making for supplier selection in public procurement. *Journal of Public Procurement*, 11(3), pp. 404-428.

Čupić, M., Rao Tummala, V. M. & Suknović, M. (2003). *Odlučivanje: Formalni pristup*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd.

Dağdeviren, M. & Yüksel, I. (2008). Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based satisfy management. *Information Sciences*, 178, pp. 1717-1733.

Dahel, N. (2003). Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments. *Supply Chain Management: An International Journal* 8(4), pp. 335–342.

De Boer, L. & Van Der Wegen, L. (2003). Practice and promise of formal supplier selection: a study of four empirical cases. *Journal of Purchasing & Supply Management*, 9(3), pp. 109-188.

Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 2(1), pp. 5–17.

Do, Q. H. & Chen, J. F. (2013). Prioritizing the Factor Weights Affecting Tourism Performance by FAHP. *International Journal of Engineering Business Management*, 5, pp. 1-10.

Dobrić, V., Poledica, A. & Petrović, B. (2010). Supply chain performance measurement using logical aggregation, in: D. Ruan, T. Li (Eds.). *Computational Intelligence. Foundation and Application: Proceedings of the 9th International FLINS Conference*, World Scientific Publishing Co., Singapore, pp. 616–621.

Doumpos, M. & Zopounidis, C. (2002). *Multicriteria decision aid classification methods*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Dragović, I., Turajlić, N. & Radojević, D. (2012). Extending AHP with Boolean Consistent Fuzzy Logic and Its Application in Web Service Selection. *Proceedings of the 12th International FLINS Conference*, World Scientific Publishing Co., Istanbul, pp. 576-591.

Dragović, I., Turajlić, N., Radojević, D. & Petrović, B. (2013). Combining Boolean consistent fuzzy logic and AHP illustrated on the web service selection problem. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 7(1), pp. 84-93.

Dubois, D., Gottwald, S., Hajek, P., Kacprzyk, J. & Prade, H. (2005). Terminological difficulties in fuzzy set theory – the case of “intuitionistic fuzzy sets”. *Fuzzy Set Systems*, 156, pp. 485-491.

Dubois, D. & Prade, H. (1979). Operations in a fuzzy-valued logic. *Information and Control*, 43(2), pp. 224-240.

Duran, O. & Aguilo, J. (2007). Computer-aided machine-tool selection based on a fuzzy-AHP approach. *Expert Systems with Applications*, 34(3), pp. 1787–1794.

Dyer, J. S., Fishburn, P. C., Steuer, R. E., Wallenius J. & Zionts, S. (1992). Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: the next ten years. *Management Science*, 38(5), pp. 645-654.

Ellram, L. (1990). The supplier selection decision in strategic partnerships. *Journal of Purchasing and Material Management*, 26(1), pp. 8–14.

Ertugrul, I. & Tus, A. (2007). Interactive fuzzy linear programming and an application sample at a textile firm. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 6, pp. 29–49.

Evans, R. H. (1980). Choice criteria revisited. *Journal of Marketing*, 44(1), pp. 55–56.

Frei, F. X. & Harker, P. T. (1999). Measuring aggregate process performance using AHP. *European Journal of Operational Research*, 116(2), pp. 436-442.

Gottwald, S. (2000). *A treats of many-valued logics*. Studies in Logic and Computation, Research Studies Press, Bladock.

Ha, H. S. & Krishnan, R. (2008). A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. *Expert Systems with Applications*, 34(2), pp. 1303–1311.

Hus, T. H. & Yang, T. H. (2000). Application of fuzzy analytic hierarch process in the selection of advertising media. *Journal of Management and Systems*, 7(1), pp. 19-39.

Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981). *Multiple attributes decision making methods and applications*, Berlin: Springer.

Ishizaka, A. & Nguyen, N. H. (2013). Calibrated fuzzy AHP for current bank selection. *Expert Systems with Applications*, 40(9), pp. 3775-3783.

Jamil, N., Besar, R. & Sim, H. K. (2013). A study of multticriteria decision making for supplier selection in automative industry. *Journal of Industrial Engineering*, pp. 1-22.

Jigeesh, N. (2014). A New Decision Support System for Supplier Selection using Boolean Algebra. *International Journal of Managing Public Sector Information and Communication Technologies*, 5(3), pp. 11-24.

Kahneman, D., Slović, P. & Tversky, A. (1982). *Judgment under uncertainty: heuristics and basis*. New York, Cambridge University Press.

Kahraman, C. (2001), Fuzzy versus probabilistic benefit/cost ratio analysis for public work projects. *International Journal of Applied Mathtical Computer Science*, 11(3), pp. 705-718.

Kahraman, C., Cebeci U., & Ulukan Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, 16(6), pp. 382-394.

Kahraman, C., Gulbay, M. & Kabak, O. (2006). *Applications of Fuzzy Sets in Industrial Engineering: A Topical Classification in: Fuzzy Application in Industrial Engineering*, Springer, New York, pp. 1-55.

Kahraman, C., Ruan, D. & Doğan, I. (2003). Fuzzy group decision-making for facility location selection. *Information Sciences - Informatics and Computer Science: An International Journal*, 157(1-2), pp. 135-153.

Kahraman, C., Ruan, D. & Tolga, E. (2002). Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows. *Information Sciences*, 142, pp. 57-76.

Kannan, G., Pokharel, S. & Sasi Kumar, P. (2009). A Hybrid Approach using ISM and Fuzzy TOPSIS for the Selection of Reverse Logistics provider. *Resources, Conservation and Recycling*, 54 (1), pp. 28-36.

Karsak, E. E. (2002). Distance-based fuzzy MCDM approach for evaluating flexible manufacturing system alternatives. *International Journal of Production Research* 40(13), pp. 3167–3181.

Kauffman, A. & Gupta, M. (1991). Introduction to fuzzy arithmetic: theory and applications. Van Nostrand Reinhold, New York.

Kaufmann, A. & Gupta, M. M. (1988) Fuzzy mathematical models in engineering and management science, Elsevier Science Inc., New York,.

Kaya, T. & Kahraman, C. (2011). Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. Expert Systems with Applications, 38, pp. 6577–6585.

Kilinci, O. & Onal, S. A. (2011). Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. Expert Systems with Applications, 38(8), pp. 9656-9664.

Klir, G. J. & Yuan, B. (1995). Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall PTR. Upper Saddle River, New Jersey.

Knežević, P. S. (2011). Bank capital management - allocation and measurement of financial performance: finance. Journal for the Theory and Practice in Finance, 1(6), pp. 233-255.

Kulak, O., Durmuşoğlu, M. B. & Kahraman, C. (2005). Fuzzy multi-attribute equipment selection based on information axiom. Journal of Materials Processing Technology, 169(3), pp. 310-319.

Lee, A. H. I. (2009). A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits opportunities, costs and risks. Expert Systems with Applications, 36(2), pp. 2879–2893.

Lee, A. H. I., Kang, H. Y. & Wang, W. P. (2005). Analysis of priority mix planning for semiconductor fabrication under uncertainty. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28(3–4), pp. 351–361.

Liang, S. L. & Wang, M. J. (1994). Personnel selection using fuzzy MCDM algorithm. *European Journal of Operational Research*, 78, pp. 22–33.

Lin, H. T. & Chang, W. L., (2008). Order selection and pricing methods using flexible quantity and fuzzy approach for buyer evaluation. *European Journal of Operational Research*, 187(2), pp. 415-428.

Liou, J. J. H., Yen, L. & Tzeng, G. H. (2008). Building an affective safety management system for airlines. *Journal of Air Transport Management*, 13(4), pp. 243-249.

Lious, T. S. & Wang, M. J. J. (1992). Ranking fuzzy numbers with integral value. *Fuzzy Sets and Systems*, 50, pp. 247-255.

Lootsma, F. A. (1997). *Fuzzy logic for planning and decision making*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, pp. 195.

Lootsma, F. A. (1999). *Multi-criteria decision analysis via ratio and difference judgement*. Kluwer Academic Publishers.

Lukasiewicz, J. (1970). *Selected Works*. (ed.: Borowski, L.), North-Holland Publ. Comp., Amsterdam and PWN, Warsaw.

Mahtooz, A., Maedeh, S. & Morteza, P. (2013). Performance evaluation of banks using fuzzy AHP and TOPSIS, Case study: State-owned Banks, Particully Private and Private Banks in Iran. *Caspain Journal of Applied Sciences Research*, 2(3), pp. 128-138.

Mandić, K. & Delibašić, B. (2014a). Supplier Selection using Interpolative Boolean Algebra and Logical Aggregation. *Communications in Computer and Information Science*, Proceedings of the IPMU conference 2014, Montpellier, France, 15-19. July, pp. 1-9.

Mandić, K., Delibašić, B., Knežević, S. & Benković, S. (2014b). Analysis of the financial parametres of Serbian banks through the application of the fuzzy AHP and TOPSIS methods. *Economic Modelling*, 43, pp. 30-37.

Mandić, K., Delibašić, B. & Radojević, D. (2014c). Supplier selection using Interpolative Boolean algebra and TOPSIS method. *Group Decision and Negotiation Conference 2014, Proceedings of the Joint International Conference of the INFORMS GDN Section and the EURO Working Group on DSS*, Toulouse University, France, 10-13. June, pp. 134-142.

Mehregan, M. R., Hashemi, S. H., Karimi, A. & Merikhi, B. (2014). Analysis of interactions among sustainability supplier selection criteria using ISM and fuzzy DEMATEL. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 7 (3), pp. 270-294.

Mentes, A. & Helvacioğlu, I. H. (2012). Fuzzy decision support system for spread mooring system selection. *Expert Systems with Applications*, 39(3), pp. 3283-3297.

Mikhailov, L. (2002). Fuzzy analytical approach to partnership selection in formation of virtual enterprises. *Omega*, 30(5), pp. 393–401.

Milošević, P. (2012). *Softverska podrška za primenu interpolativne Bulove algebre*. Master rad, Fakultet organizacionih nauka.

Milošević, P., Nesić, I., Poledica, A., Radojević, D. & Petrović, B. (2013). Models for ranking students: selecting applicants for a master of science Studies. *Soft Computing Applications – Advances in Intelligent Systems and Computing*, 195, pp. 93-103.

Milošević, P., Petrović, B., Radojević, D. & Kovačević, D. (2014). A software tool for uncertainty modeling using interpolative Boolean algebra. *Knowledge-based Systems*, 62, pp. 1-10.

Mirković, M., Hodolić, J. & Radojević, D. (2006). Aggregation for Quality Management. Yugoslav Journal for Operational Research – YUJOR, 16(2), pp. 177-188.

Negoita, C. V. (1985). Expert systems and fuzzy systems. Benjamin/Cummings Pub. Co.

Ngai, E. W. T. (2003). Selection of web sites for online advertising using the AH. Information & Management, 40, pp. 233-242.

Nguyen, H. T., Dawal, S. Z. M., Nukman, Y. & Aoyama, H. (2014). A Hybrid Approach for Fuzzy Multi-Criteria Decision Making in Machine Tool Selection with Consideration of the Interactions of Attributes. Expert Systems with Applications, 41, pp. 3078-3090.

Ordoobadi, S. (2009). Application of Taguchi loss functions for supplier selection. Supply Chain Management: An International Journal, 14(1), pp. 22–30.

Pi, W. N. & Low, C. (2005). Supplier evaluation and selection using Taguchi loss functions. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 26(1-2), pp. 155–160.

Poledica, A., Milošević, P., Dragović, I., Radojević, D. & Petrović, B. (2013). A consensus model in group decision making based on interpolative Boolean algebra. 8th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT-13).

Poledica, A., Rakićević, A. & Radojević, D. (2012). Multi-expert decision making using logical aggregation, in: C. Kahraman, E.E. Kerre, F.T. Bozbura (Eds.), Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making: Proceedings of the 10th International FLINS Conference, World Scientific Publishing Co., Singapore, pp. 561–566.

Radojević, D. (2000a). Logical measure of continual logical function. 8th International Conference IPMU – Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems, Madrid, pp. 574-578.

Radojević, D. (2000b). New $[0, 1]$ – valued logic: A natural generalization of Boolean logic. Yugoslav Journal of Operational Research – YUJOR, 10(2), pp. 185-216.

Radojević, D. (2002). Logical measure - structure of logical formula. Technologies for Constructing Intelligent Systems 2. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer, 90, pp. 417-430.

Radojević, D. (2005). Interpolative relations and interpolative preference structures. Yugoslav Journal of Operations Research – YUJOR, 15(2), pp. 171-189.

Radojević, D. (2006a). Interpolative realization of Boolean algebra. Proceedings of the NEUREL 2006, The 8th Neural Network Applications in Electrical Engineering, pp. 201-206.

Radojević, D. (2006b). Boolean frame is adequate for treatment of gradation or fuzziness equally as for two-Valued or classical case. 4th Serbian-Hungarian Joint Symposium on Intelligent Systems, SISY 2006, pp. 43-57.

Radojević, D. (2007a). Interpolative realization of Boolean algebra as consistent frame for gradation and/or fuzziness. Studies in Fuzziness and Soft Computing: Forging New Frontiers: Fuzzy Pioneers II, pp. 295-318.

Radojević, D. (2007b). Real probability (R-probability): fuzzy probability idea in Boolean frame. Paper presented at the 28th Linz Seminar on Fuzzy Set Theory, Linz, Austria.

Radojević, D. (2008a). Fuzzy set theory in Boolean frame. International Journal of Computers, Communications & Control, 3, pp. 121-131.

Radojević, D. (2008b). Logical aggregation based on interpolative Boolean algebra. *Mathware & Soft Computing*, 15, pp. 125-141.

Radojević, D., Perović, A., Ognjanović, Z., & Rašković, M. (2008c). Interpolative Boolean logic. In: Dochev, D., Pistore, M., Traverso, P. (Eds.). *The International Conference on Artificial Intelligence: Methodology, Systems, Applications - AIMSA 2008*, LNCS (LNAI), Springer, Heidelberg, 5253, pp. 209-219.

Radojević, D. (2010). Logical aggregation – why and how. *Proceedings of the 10th International FLINS Conference*, World Scientific Publishing Co., Chengdu, pp. 511-517.

Radojević, D. (2013a). Real-valued realizations of Boolean algebras are a natural frame for consistent fuzzy logic. In: R. Sesing, E. Trillas, C. Moraga, S. Termini (Eds.), *On Fuzziness: A Homage to Lotfi A. Zadeh*, *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Springer Verlag, Berlin, 299, pp. 559–565.

Radojević, D. (2013b). Real-valued implication as generalized Boolean polynomial. *New concepts and applications in soft computing. Studies in Computational Intelligence* Volume, 471, pp. 57-69.

Radojević, D. (2013c). Real-valued implication function based on real-valued realization of Boolean algebra. *1th Serbian-Hungarian Joint Symposium on Intelligent systems, SISY 2013*, pp. 45-50.

Radojević, D. (2014). Structural functionality as a fundamental property of Boolean algebra and base for its real-valued realizations. Paper presented at the *15th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems IPMU 2014*, pp. 28-36.

Ramanathan, R. (2007). Supplier selection problem: integrating DEA with the approaches of total cost of ownership and AHP. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12 (4), pp. 258–261.

Rostamzadeh, R., Sabaghi, M. & Esmaili, A. (2013). Evaluation of costeffectiveness criteria in supply chain management: case study. *Advances in Decision Sciences*.

Roy, B. (1990). Decision-aid and decision-making. *European Journal Of Operational Research*, 45, pp. 324-331.

Roy, B. (2005). In: J. Figueira, S. Greco, & M. Ehrgott (Eds.), *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. Springer Science, Business Media, Inc. pp. 3-24.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, NY.

Saaty, T. L. (1972). An eigenvalue allocation model for prioritization and planning. Working paper, Energy Management and Policy Center, University of Pennsylvania.

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in a hierarchichal structure. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, pp. 234–281.

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York, NY: McGraw-Hill.

Saen, R. F. (2007). A new mathematical approach for suppliers selection: accounting for non-homogeneity is important. *Applied Mathematics and Computation*, 185(1), pp. 84-95.

Seçme, N. Y., Bayrakdaroglu, A. & Kahraman, C. (2009). Fuzzy performance evaluation in Turkish banking sector using analytic hierarchy process and TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 36(9), pp. 11699-11709.

Sarkis, J. & Talluri, S. (2002). A model for strategic supplier selection. *Journal of Supply Chain Management*, 38(1), pp. 18–28.

Shipley, D. D. (1985). Reseller's supplier selection criteria for different consumer products. *European Journal of Marketing*, 19(7), pp. 26–36.

Shyur, H. J. & Shih, H. S. (2006). A hybrid MCDM model for strategic vendor selection. *Mathematical and Computer Modelling*, 44(7), pp. 749-761.

Sonmez, M. (2006). A review and critique of supplier selection process and practices. *Business School Occasional Papers Series*, Loughborough.

Ta, H. P. & Kar, Y. H. (2000). A study of bank selection decisions in Singapore using the analytical hierarchy process. *The International Journal of Bank Marketing*, 18(4), pp.170-180.

Tam, M .C. Y. & Tummala, V. M. R. (2001). An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system. *Omega*, 29(2), pp. 171-182.

Ting, S. & Cho, D. I. (2008). An integrated approach for supplier selection and purchasing decisions. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(2), pp. 116–127.

Triantaphyllou, E. & Lin, C. L. (1996). Development and evaluation of five fuzzy multi attribute decision making methods. *International Journal of Approximate Reasoning*, 14(4), pp. 281–310.

Triantaphyllou, E. (2000). Multi-criteria decision making methods: A Comparative Study, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Van Laarhoven, P. J. M. & Pedrcyz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11, pp. 229–241.

Vincke, P. (1992). *Multicriteria decision-aid*, John Wiley and Sons, Chichester.

Vinodh, S., Anesh Ramiya, R. & Gautham, S. G. (2011). Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organization. *Expert Systems with Applications*, 38(1), pp. 272-280.

Wang, J. J. & Yang, D. L. (2007). Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing. *Computers and Operation Research*, 34, pp. 3691-3700.

Wang, Y. M. & Elhag, T. M. S. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 31(2), pp. 309–319.

Wang, Z., Li, K. W. & Wang, W. (2009). An approach to multiattribute decision making with interval-valued intuitionistic fuzzy assessments and incomplete weights. *Information Sciences*, 179, pp. 3026-3040.

Weber, C. A., Current, J. R. & Benton, W. C. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, 50, pp. 2–18.

Weifeng, X. & Huihuan, G. (2008). Using fuzzy analytic hierarchy process and balances scorecard for commercial bank performance assessment. *Business and Information Management*, ISBIM 08, pp. 432-435.

Wu, W. W. & Lee, Y. T. (2007). Developing global managers competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert Systems with Applications*, 32(2), pp. 499–507.

Yager, R. & Basson, D. (1975). Decision making with Fuzzy Sets. *Decision Sciences*, 6, pp. 590-600.

Yu, C. S. (2002). A GP-AHP method for solving group decision-making fuzzy AHP problems. *Computers & Operations Research*, 29, pp. 1969-2001.

Yurdakul, M. & İç, Y. T. (2004). AHP Approach in the credit evaluation of the manufacturing firms in Turkey. *International Journal of Production Economics*, 88(3), pp. 269-289.

Zadeh, L. A. & Bellman, R. E. (1977). Modern users of multiple-valued logic. Local and fuzzy logics. J. M., Dunn and G. Epstein (eds.), Dordrecht: D. Reidel, pp. 103-165.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8, pp. 338-353.

Zadeh, L. A. (1972). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *Man and Computer*. Bordeaux, France, IEEE, pp. 130-165.

Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *IEEE Computer* 21(4), pp. 83-93.

Zadeh, L. A. (2008). Is there a need for fuzzy logic? *Information Science*, 178(3), pp. 2571-2779.

Zhang, X. (2011). Duality and pseudoduality of dual disjunctive normal forms. *Knowledge Based Systems*, 24(7), pp. 1033-1036.

Zimmermann, H. J. (1987). *Fuzzy set, decision making and expert system*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Zimmermann, H. J. (1991). Fuzzy set theory and its applications (2nd ed.). London: Kluwer Academic Publishers.

Zimmermann, H. J. (1996). Fuzzy set theory and its applications. Kluwer:Massachusetts.

Zimmermann, H. J. (1985). Fuzzy set theory-and its applications. Kluwer-Nijhoff Publishing.

Zopounidis, C. & Doumpos, M. (2002). Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. European Journal of Operational Research, 138, pp. 229-246.

Prilog A

FAHP procedura na primeru rangiranja poslovnih banaka.

Korak 1: Primenom **Izraza (20)** na analizirani problem dobijamo sledeće rezultate:

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^8 M_{g_1}^j &= (1,1,1) \oplus (1,1,1) \oplus (1/2,1,3/2) \oplus (3/2,2,5/2) \oplus (1,1,1) \oplus (1,1,1) \oplus (1,1,1) \oplus (1,1,1) \\ &= (8,9,10) \\ \sum_{j=1}^8 M_{g_2}^j &= (8,8,8), \quad \sum_{j=1}^8 M_{g_3}^j = (7.67,8,9), \quad \sum_{j=1}^8 M_{g_4}^j = (6.9,7.5,8.17), \quad \sum_{j=1}^8 M_{g_4}^j = (7.67,8,9), \\ \sum_{j=1}^8 M_{g_4}^j &= (7.4,7.5,7.67), \quad \sum_{j=1}^8 M_{g_4}^j = (8,8,8), \quad \sum_{j=1}^8 M_{g_4}^j = (8.5,9,9.5)\end{aligned}$$

Primenom **Izraza (21)** proračun je sledeći:

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 M_{g_i}^j &= (8,9,10) \oplus (8,8,8) \oplus (7.67,8,9) \oplus (6.9,7.5,8.17) \oplus (7.67,8,9) \oplus (7.4,7.5,7.67) \oplus (8,8,8) \\ &\oplus (8.5,9,9.5) = (62.13,65,69.33)\end{aligned}$$

Inverzni vektor se računa upotrebom **Izraza (22)**:

$$\left[\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{69.33}, \frac{1}{65}, \frac{1}{62.13} \right) = (0.0141, 0.015, 0.016)$$

$$\text{Equity: } M_1 = (8,9,10) \oplus (0.0141, 0.015, 0.016) = (0.115, 0.138, 0.161)$$

$$\text{Portfolio: } M_2 = (8,8,8) \oplus (0.0141, 0.015, 0.016) = (0.115, 0.123, 0.128)$$

$$\text{Sources: } M_3 = (7.67,8,9) \oplus (0.0141, 0.015, 0.016) = (0.110, 0.123, 0.145)$$

$$\text{Liquid Assets: } M_4 = (6.9,7.5,8.17) \oplus (0.0141, 0.015, 0.016) = (0.099, 0.115, 0.131)$$

$$\text{Cash: } M_5 = (7.67,8,9) \oplus (0.0141, 0.015, 0.016) = (0.110, 0.123, 0.145)$$

$$\text{NII+: } M_6 = (7.4,7.5,7.67) \oplus (0.0141, 0.015, 0.016) = (0.106, 0.115, 0.123)$$

$$\text{CBNI+: } M_7 = (8,8,8) \oplus (0.0141, 0.015, 0.016) = (0.115, 0.123, 0.129)$$

$$\text{EBT: } M_8 = (8.5,9,9.5) \oplus (0.0141, 0.015, 0.016) = (0.122, 0.138, 0.152)$$

Korak 2: U okviru ovog koraka stepen mogućnosti se računa na osnovu poređenja dva trougaona fazi broja, primenom **Izraza (23, 24)**. Dat je primer za poređenje fazi brojeva M_2 i M_1 :

$$M_1 = (0.115, 0.138, 0.161) \quad V(M_2 \geq M_1) = \frac{0.115-0.128}{(0.123-0.128)-(0.138-0.115)} = 0.464$$

$$M_2 = (0.115, 0.123, 0.128)$$

$$V(M_1 \geq M_2) = 1; V(M_1 \geq M_3) = 1; V(M_1 \geq M_4) = 1; V(M_1 \geq M_5) = 1; V(M_1 \geq M_6) = 1;$$

$$V(M_1 \geq M_7) = 1; V(M_1 \geq M_8) = 1$$

$$V(M_2 \geq M_1) = 0.464; V(M_2 \geq M_3) = 1; V(M_2 \geq M_4) = 1; V(M_2 \geq M_5) = 1; V(M_2 \geq M_6) = 1;$$

$$V(M_2 \geq M_7) = 1; V(M_2 \geq M_8) = 0.285$$

$$V(M_3 \geq M_1) = 0.656; V(M_3 \geq M_2) = 1; V(M_3 \geq M_4) = 1; V(M_3 \geq M_5) = 1; V(M_3 \geq M_6) = 1;$$

$$V(M_3 \geq M_7) = 1; V(M_3 \geq M_8) = 0.591$$

$$V(M_4 \geq M_1) = 0.41; V(M_4 \geq M_2) = 0.676; V(M_4 \geq M_3) = 0.73; V(M_4 \geq M_5) = 0.73;$$

$$V(M_4 \geq M_6) = 1; V(M_4 \geq M_7) = 0.676; V(M_4 \geq M_8) = 0.277$$

$$V(M_5 \geq M_1) = 0.656; V(M_5 \geq M_2) = 0; V(M_5 \geq M_3) = 0; V(M_5 \geq M_4) = 0; V(M_5 \geq M_6) = 0;$$

$$V(M_5 \geq M_7) = 0; V(M_5 \geq M_8) = 0.591$$

$$V(M_6 \geq M_1) = 0.257; V(M_6 \geq M_2) = 0.509; V(M_6 \geq M_3) = 0.624; V(M_6 \geq M_4) = 1;$$

$$V(M_6 \geq M_5) = 0.624; V(M_6 \geq M_7) = 0.509; V(M_6 \geq M_8) = 0.033$$

$$V(M_7 \geq M_1) = 0.464; V(M_7 \geq M_2) = 0; V(M_7 \geq M_3) = 0; V(M_7 \geq M_4) = 0; V(M_7 \geq M_5) = 0;$$

$$V(M_7 \geq M_6) = 0; V(M_7 \geq M_8) = 0.285$$

$$V(M_8 \geq M_1) = 1; V(M_8 \geq M_2) = 1; V(M_8 \geq M_3) = 1; V(M_8 \geq M_4) = 1; V(M_8 \geq M_5) = 1;$$

$$V(M_8 \geq M_6) = 1; V(M_8 \geq M_7) = 1$$

Korak 3: Sledeći korak je obabir minimalnih vrednosti stepena mogućnosti, primenom **Izraza (25):**

$$V(M_1 \geq M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8) =$$

$$= \min(V(M_1 \geq M_2), V(M_1 \geq M_3), V(M_1 \geq M_4), V(M_1 \geq M_5), V(M_1 \geq M_6), V(M_1 \geq M_7), V(M_1 \geq M_8)) = 1$$

$$V(M_2 \geq M_1, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8) = 0.285$$

$$V(M_3 \geq M_1, M_2, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8) = 0.591$$

$$V(M_4 \geq M_1, M_2, M_3, M_5, M_6, M_7, M_8) = 0.277$$

$$V(M_5 \geq M_1, M_2, M_3, M_4, M_6, M_7, M_8) = 0.591$$

$$V(M_6 \geq M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_7, M_8) = 0.033$$

$$V(M_7 \geq M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_8) = 0.285$$

$$V(M_8 \geq M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7) = 1$$

Primenom **Izraza (26, 27)**, dobijamo težinski vektor:

$$W' = (1, 0.285, 0.591, 0.277, 0.591, 0.033, 0.285, 1)$$

Korak 4: Putem normalizacije (**Izraz 28**) težinski vektor se svodi na vektor W gde vrednosti nisu fazi brojevi.

$$W = \begin{pmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 & M_7 & M_8 \\ 0.246 & 0.070 & 0.145 & 0.068 & 0.145 & 0.008 & 0.070 & 0.246 \end{pmatrix}$$

Biografija

Ksenija Mandić rođena 21. novembra 1982. godine u Beogradu, gde je završila osnovnu školu „Marija Bursać“ i V beogradsku gimnaziju. Fakultet organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu, upisala je 2001. godine. Diplomirala je 26. septembra 2006. godine na Fakultetu organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, na odseku Upravljanje kvalitetom sa opštim uspehom 8,64 u toku studija i ocenom 10 na diplomskom ispitu. Tema diplomskog rada je bila „Postupak sticanja i održavanja prava intelektualne svojine“, mentor prof. dr Mile Pešaljević. Time je stekla zvanje diplomiranog inženjera organizacionih nauka – odsek upravljanje kvalitetom.

Po završetku osnovnih studija u oktobru 2006. godine upisuje master studije na Fakultetu organizacionih nauka, koje završava 27. februara 2008. godine sa opštim uspehom 9,29 tokom studija i ocenom 10 na master ispitu. Tema master rada je bila „Mesto i uloga intelektualne svojine u integrisanim sistemima menadžmenta u organizaciji“, mentor prof. dr Mile Pešaljević. Na taj način je stekla zvanje master inženjer organizacionih nauka.

Doktorske studije upisala je 2008. godine na Fakultetu organizacionih nauka, smer Menadžment. Tokom studiranja položila je 9 ispita sa prosečnom ocenom 9.67. Spisak ispita: Akreditacija i sertifikacija, Sistem standardizacije, Nauka o menadžmentu, Sistem kvaliteta, Sistem menadžmenta životnom sredinom, Menadžerski stres, Menadžment ljudskih resursa – odabrana poglavlja, Upravljanje lancima snabdevanja, Teorija odlučivanja.

Od 2007. godine stalno je zaposlena u preduzeću „Crony“ na poziciji Inženjer za upravljanje kvalitetom. U međuvremenu pohađala je obuku za internog ocenjivača – Internal Auditor Training Course (ISO 9001:2000), American Quality and Environmental Group.

Govori, piše i čita engleski i italijanski jezik, a pasivno se služi ruskim jezikom.

Učešće na konferencijama za vreme trajanja doktorskih studija:

1. Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems IPMU 2014, July 15-19, 2014. Montpellier, France.
2. Group Decision and Negotiation Conference GDN 2014, Jun 10-13, 2014. Toulouse, France.
3. IX Internacionalni simpozijum SYMORG 2014, Jun 6-10, 2014. Zlatibor, Serbia.
4. Konferencija e-Trgovina 2014, April 15-17, 2014. Palić, Serbia.
5. IV International Conference on Information Society and Technology, March 9-13, 2014. Kopaonik, Serbia.
6. XL Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2013, Septembar 8-12, 2013. Zlatibor, Serbia.
7. XIII Internacionalni simpozijum SYMORG 2012, Jun 5-9, 2012. Zlatibor, Serbia.

Objavljen radovi:

1. Mandić, K., Delibašić, B., Knežević, S., Benković, S. (2014). Analysis of the financial parametres of Serbian banks through the application of the fuzzy AHP and TOPSIS methods. *Economic Modelling*, 43, pp. 30-37. IF (2014): 0,736 (M23).
2. Mandić, K., Delibašić, B. (2014). Supplier Selection using Interpolative Boolean Algebra and Logical Aggregation. *Communications in Computer and Information Science, Proceedings of the IPMU conference 2014, Montpellier, France, 15-19. July*, Zbornik radova ISBN 978-3-319-08854-9, 1-9.
3. Mandić, K., Delibašić, B., Radojević, D. (2014). Supplier selection using Interpolative Boolean algebra and TOPSIS method. *Konferencija Group Decision and Negotiation Conference 2014, Proceedings of the Joint International Conference of the INFORMS GDN Section and the EURO Working Group on DSS, Toulouse University, France, 10-13. June*, Zbornik radova ISBN 978-2-917490-27-3, 134-142.
4. Bobar, V., Mandić, K., Suknović, M. (2014). A fuzzy Decision Support System for Bidder Selection in Public Procurement. *Konferencija Group Decision and*

- Negotiation Conference 2014, Proceedings of the Joint International Conference of the INFORMS GDN Section and the EURO Working Group on DSS, Toulouse University, France, 10-13. June, Zbornik radova ISBN 978-2-917490-27-3, 191-198.
5. Bobar, V., Mandić, K., Delibašić, B., Suknović, M. (2014). An Integrated Fuzzy Approach to Bidder Selection in Public Procurement: Serbian Government Case Study", Journal of Acta Polytechnica Hungarica, rad prihvaćen 23.08.2014. (dobijen acceptance letter), IF (2013): 0.471 (M23).
 6. Bobar, V., Mandić, K. (2014). An Architecture for Public e-Procurement System in Serbia, Konferencija ICIST 2014 (4th International Conference on Information Society and Technology), 09-13.03.2014., Kopaonik, Srbija, Zbornik radova ISBN 978-86-85525-14-8, 338-343.
 7. Bobar, V., Mandić, K., Suknović, M. (2014). The Decision Making in Public Procurement Based on Fuzzy Methodology, SYMORG, 2014, 06-10.06.2014, Zlatibor, Srbija, Zbornik radova ISBN 978-86-7680-295-1, 52-59.
 8. Bobar, V., Mandić, K. (2014). Arhitektura Sistema za javnu elektronsku nabavku CLOUD okruženju u Srbiji. Konferencija e-Trgovina 2014, 15-17.04.2014, Palić, Srbija.
 9. Mandić, K., Delibašić, B., Leskovic, R., Baggia, A. (2013). Fazi AHP pristup za selekciju dobavljača: studija slučaja za telekomunikacionu kompaniju. XL Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2013, Septembar 8-12, 2013. Zlatibor, Srbija, 909-915.
 10. Mandić K., Delibašić B. (2012). Application of Multi-Agent Systems in Supply Chain Management, Management, 63, 75-85.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а _____ Ксенија П. Мандић _____

број индекса _____ 07/2008 _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Укључивање логичких интеракција атрибута у методе вишекритеријумске анализе“

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанта

У Београду, 08.03.2015. :

Mandić Ksenija

Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске
верзије докторског рада**

Име и презиме аутора: Ксенија П. Мандић

Број индекса: 07/2008

Студијски програм: докторске академске студије

Наслов рада: "Укључивање логичких интеракција атрибута у методе
вишекритеријумске анализе"

Ментор: проф. Др Борис Делибашић

Потписани/а: Ксенија П. Мандић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 09.03.2015.

Mandić Ksenija

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Укључивање логичких интеракција атрибута у методе вишекритеријумске анализе“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
- ☒ 3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 08.03.2015.

Miroslav Kenezy