

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И
ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ

Горан Ђ. Марковић

**МОДЕЛ РЕГИОНАЛНЕ ЛОГИСТИКЕ
ТРАНСПОРТНИМ СИСТЕМИМА**

Докторска дисертација

Краљево, 2014. год.



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И
ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ

Горан Ђ. Марковић

**МОДЕЛ РЕГИОНАЛНЕ ЛОГИСТИКЕ
ТРАНСПОРТНИМ СИСТЕМИМА**

Докторска дисертација

Краљево, 2014. год.

ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

<i>I. Аутор</i>
Име и презиме: <i>Горан Марковић</i>
Датум и место рођења: <i>05.11.1971. Краљево</i>
Садашње запослење: <i>асистент на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву</i>
<i>II. Докторска дисертација</i>
Наслов: <i>Модел регионалне логистике транспортним системима</i>
Број страница: 183
Број слика: 61
Број библиографских података: 122
Установа и место где је рад израђен: <i>Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Краљево</i>
Научна област (УДК): <i>Транспортна техника (621.86)</i>
Ментор: <i>проф. др Миломир Гашић</i>
<i>III. Оцена и одбрана</i>
Број одлуке и датум прихватања докторске дисертације: 204/13, 27.09.2009.год
Комисија за оцену подобности теме и кандидата: др Милан Букумировић, ред. проф, др Миломир Гашић, ред. проф. др Зоран Маринковић, ред. проф. др Јован Владић, ред. проф. др Томислав Симовић, доцент
Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације: др Јован Владић, ред. проф., председник др Драгослав Јаношевић, ред. проф., члан др Миле Савковић, ред. проф., члан др Миломир Гашић, ред. проф., ментор
Датум одбране дисертације:

Овај рад посвећујем својој породици

Огњену, Урошу и Наташи

Захвалност аутора

Ова докторска дисертација представља резултат вишегодишњег образовања и истраживачког рада и из тог разлога осећам потребу да искажем своју искрену захвалност и поштовање бројним професорима, колегама, пријатељима и породици који су ми на том путу пружили велику помоћ и подршку.

Своју дубоку захвалност дугујем ментору, проф. др Миломиру Гашићу за свестрану помоћ и савете током израде ове дисертације. Посебну захвалност желим да искажем и професорима др Зорану Маринковићу са Машинског факултета у Нишу и др Милану Букумировићу са Саобраћајног факултета у Београду за несебичну помоћ и сугестије од тренутка дефинисања, затим у току и на самом крају израде докторске дисертације.

Такође, захвалност дугујем свим садашњим и бившим члановима Катедре за конструкције и пројектовање у машиноградњи и осталим колегама на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву на посредној или непосредној подршци у досадашњем раду.

Захваљујем се искрено својим родитељима и својој породици на стрпљењу, пуно љубави и разумевања.

У Краљеву, јун 2014.

Горан Марковић

МОДЕЛ РЕГИОНАЛНЕ ЛОГИСТИКЕ ТРАНСПОРТНИМ СИСТЕМИМА

РЕЗИМЕ

Стратешка савремена оријентација наше привреде која предвиђа развој малих и средњих предузећа истиче потребу новог прилаза унапређењу регионалног привређивања. Стварање основе за пројектовање новог решења логистичког концепта у основи се поклапа и везује за процес развоја логистичких центара који би били опремљени савременим транспортно-складишним системима уз максимално учешће механизације и аутоматизације. Савремени услови пословања намећу таквим системима потребу за континуалним, ефикасним и квалитетним одлучивањем. Због особености и природе самог процеса одлучивања у домену логистике и логистичких система, очекује се да је могуће развити универзални вишекритеријумски приступ за избор оптималне локације регионалног дистрибутивног центра, као и транспортних система у оквиру истог, а након тога извршити управљање истог савременим информационим технологијама, што би на крају дало кључан допринос унапређењу привреде и пословања. Комплексност и учесталост реалних вишекритеријумских проблема намеће потребу за коришћењем групе метода вишекритеријумске анализе. У оваквим случајевима постоји велики број технички остваривих алтернатива и задатак пројектанта је да из скупа могућих решења изабере оно које најбоље испуњава техничке и економске услове дефинисане пројектним задатком.

У самом истраживању, комбиновањем метода за одређивање релативне важности критеријума и модификованих метода рангирања алтернатива доноси се оптимална одлука о извесном проблему без обзира на природу параметара који га описују. Специфичности наведеног приступа огледају се у функцији преферентности, промени постојећих и увођењу нових генерализованих критеријума, аутоматизацији поступка избора генерализованих критеријума и анализи утицаја промене тежинских коефицијената на коначан редослед алтернатива, а у циљу идентификације најкритичнијих и најјачих критеријума у процесу одлучивања. Такође, приступ карактерише могућност узимања у обзир лингвистичких израза о важности критеријума и вредности алтернатива по истим, смањење броја критеријума уз неопходну верификацију и упоредну анализу тако добијених резултата са осталим приступима вишекритеријумске анализе.

Кључне речи: логистички центар, транспортно-складишни систем, вишеатрибутивно одлучивање, тежински коефицијенти, квалитативне карактеристике, fuzzy скупови, корелацијски тест, АНП, PROMETHEE;

MODEL OF REGIONAL LOGISTICS WITH TRANSPORT SYSTEMS

ABSTRACT

The strategic modern orientation of our economy that foresees development of small and medium-sized enterprises highlights the need for new approaches to the improvement of regional economy. Creation of the basis for design of a new solution of the logistics concept essentially coincides and is connected with the process of development of logistics centers which would be equipped with modern transport and storage systems with the maximum participation of mechanization and automation. Modern business conditions impose on such systems the need for continuous, efficient and quality decision-making. Due to the characteristics and nature of the decision-making process in the domain of logistics and logistics systems, it is expected that it is possible to develop a universal multicriteria approach for the selection of the optimal location of a regional distribution center and transportation systems within it, and then control it by modern information management technologies, which would ultimately provide a key contribution to the improvement of economy and business. The complexity and frequency of real multicriteria problems impose the need to use a group of methods of multicriteria analysis. In these cases, there is a large number of technically feasible alternatives and the task of the designer is to choose, from a set of possible solutions, the solution that best meets the technical and economic requirements defined by the project task.

In this research, the combination of methods for determining the relative importance of criteria and modified methods of ranking alternatives results in the optimal decision on a certain problem regardless of the nature of parameters that describe it. The specific characteristics of this approach are reflected in the preference function, the change of the existing generalized criteria and introduction of new ones, the automation of the procedure for selection of generalized criteria and the analysis of the impact of changes in weights on the final order of alternatives for the purpose of identification of the most critical and most powerful criteria in the decision-making process. Also, the approach is characterized by the possibility of taking into account the linguistic expressions of the importance of criteria and values of alternatives, the reduction of the number of criteria with the necessary verification and the comparative analysis of thus obtained results with other multicriteria analysis approaches.

Keywords: *logistics center, transport and storage systems, multiple criteria decision-making, relative importance, qualitative characteristics, fuzzy sets, correlation test, AHP, PROMETHEE;*

Садржај

1. Увод	1
1.1 Предмет истраживања.....	5
1.2 Циљ истраживања.....	7
1.3 Значај истраживања.....	8
1.4 Структура рада.....	10
2. Приказ досадашњих истраживања урбане (city) логистике.....	12
2.1 Тренутна ситуација у Србији у поређењу са окружењем.....	13
2.2 Дефинисање интереса Србије - стратегије даљег развоја	18
2.2.1 Стратешки развој логистичких центара и интермодализма: стање, мере и инструменти.....	23
2.3 Савремени приступ развоју и решавању логистичких система и урбане логистике.....	25
3. Регионални логистички концепт.....	29
3.1 Суштина и значај формирања регионалног логистичког концепта.....	29
3.2 РТЦ – предуслов развоја концептуалних решења.....	34
4. Вишекритеријумско одлучивање у процесу развоја новог решења регионалне логистике.....	40
4.1 Примена метода вишекритеријумског одлучивања-терминологија и концепт.....	40
4.1.1 Уводна разматрања.....	40
4.1.2 Робни токови, подсистеми и функције транспортно складишних система у ланцима снабдевања.....	44
4.1.3 Доношење одлука-општи принципи.....	51
4.1.4 Методе вишекритеријумског одлучивања и подела.....	52
4.1.5 Вишеатрибутивно одлучивање - ВАО (енг. MADM).....	54
4.2 Проблеми избора локације логистичких центара и опреме за руковање материјалом.....	56
4.2.1 Развој локацијске теорије.....	57
4.2.1.1 Типови локацијских проблема и методологије за решавање.....	58
4.2.1.2 Преглед досадашњих истраживања у области решавања вишекритеријумских локацијских проблема.....	61
4.2.2 Транспортно-складишни системи у сегменту руковања материјалом.....	66
4.2.2.1 Приказ опреме за руковање материјалом.....	71
4.2.2.2 Преглед досадашњих истраживања у области решавања вишекритеријумских проблема избора опреме за руковање материјалом.....	74
5. Развој комбинованог приступа вишекритеријумског одлучивања.....	78
5.1 Одређивање релативне тежине критеријума за оцену алтернатива.....	78
5.1.1 Аналитичко хијерархијски процес - АНР као подршка доношењу одлука.....	79
5.1.2 Fuzzy Аналитичко хијерархијски процес – математичка позадина.....	84
5.1.2.1 Fuzzy логика – fuzzy теорија скупова.....	84
5.1.2.2 Фазе fuzzy АНР приступа – FАНР.....	89
5.1.3 Одређивање система критеријума за оцену алтернативних решења.....	93

5.1.3.1	Хипотезе о коефицијенту корелације-математичка позадина.....	94
5.2	Избор методе за успостављање ранга алтернатива.....	101
5.2.1	PROMETHEE методе - математичка позадина.....	102
5.2.2	Алгоритам модификованих PROMETHEE метода-MODIPROM.....	105
5.2.3	Предложен метод дефазификације fuzzy бројева.....	111
5.2.4	Поступак решавања рангирања алтернатива критеријумским функцијама на више нивоа.....	116
5.3	Комбиновани приступ вишекритеријумске анализе - FAMOD (fuzzy АHP-MODIPROM).....	120
6.	Примена вишекритеријумског приступа одлучивања у решавању различитих задатака процеса развоја регионалног логистичког концепта.....	125
6.1	Решавање процеса избора локације.....	125
6.1.1	Дефинисање потенцијалних локација	127
6.1.2	Методологија избора локације регионалног логистичког центра.....	131
6.1.2.1	Идентификација фактора који утичу на избор локације.....	132
6.1.2.2	Одређивање релативне тежине кључних критеријума.....	133
6.1.2.3	Процес евалуације алтернатива без увођења сложених критеријумских функција.....	137
6.1.2.4	Процес евалуације алтернатива сложеним критеријумским функцијама.....	141
6.1.2.5	Анализа резултата и осетљивости (промена релативне тежине)..	144
6.2	Решавање проблема избора опреме за руковање материјалом.....	150
6.2.1	Формирање алтернатива транспортних система.....	151
6.2.2	Дефинисање система критеријума за избор процеса и опреме.....	153
6.2.2.1	Поређење резултата рангирања мењањем броја критеријума за избор опреме.....	159
6.2.3	Резултати рангирања опреме комбинованим приступом у оквиру исте групе.....	161
7.	Закључак и правци даљих истраживања.....	168
7.1	Закључак.....	168
7.2	Правци даљих истраживања.....	171
7.3	Преглед оригиналних доприноса у дисертацији.....	172
	Литература.....	173
	Прилог.....	181
	Прилог 1.	181

Списак слика

ПОГЛАВЉЕ 1

-

ПОГЛАВЉЕ 2

Слика 2.1 Коридори X, XI и VII-Дунав.....	16
Слика 2.2 План робно транспортних центара – Просторни план Србије 1996.....	17

ПОГЛАВЉЕ 3

Слика 3.1 Логистика као систем.....	31
Слика 3.2 Кључни фактори у city логистици.....	32
Слика 3.3 Локација логистичких система.....	36
Слика 3.4 Карактеристике регионалних транспортних и дистрибутивних центара.....	37
Слика 3.5 РТЦ- место концентрације логистичких активности.....	38
Слика 3.6 Дефинисање логистичког концепта регионалне целине.....	40

ПОГЛАВЉЕ 4

Слика 4.1. Модел ланца снабдевања-шема савременог ланца снабдевања (Supply Chain-a).....	42
Слика 4.2. Пример транспортног система и токова робе у изведеном складишту.....	44
Слика 4.3 Ланац снабдевања (а) и Дистрибуциони центар (ДЦ) (б) као чворна тачка у ланцима снабдевања са својим улазом и излазом као местима пресека.....	45
Слика 4.4 Пример ланца снабдевања у здравству - сегмент дистрибутивног ланца.....	46
Слика 4.5 Разграничење појмова: логистика-ток материјала-транспортна техника.....	47
Слика 4.6 Структура интегралног логистичког система.....	48
Слика 4.7 Подсистеми и функције транспортно складишних система у ланцима снабдевања.....	49
Слика 4.8 Интердисциплинарност логистичких задатака.....	50
Слика 4.9 Фазе у поступку одлучивања.....	52
Слика 4.10 Класификација локацијских проблема.....	59
Слика 4.11 Приступ и методе решавања локацијских проблема.....	60
Слика 4.12 Резултати анализе везане за примену вишекритеријумског одлучивања у решавању локацијских проблема за комбинацију кључних речи бр. 1.....	63
Слика 4.13 Резултати анализе везане за примену вишекритеријумског одлучивања у решавању локацијских проблема за комбинацију кључних речи бр. 2.....	64

Слика 4.14 Резултати анализе везане за примену вишекритеријумског одлучивања у решавању локацијских проблема за комбинацију кључних речи бр.3.....	65
Слика 4.15 Модели појаве подсистема претовара и руковања.....	67

ПОГЛАВЉЕ 5

Слика 5.1 Пример хијерархије у АНР-у.....	79
Слика 5.2 Функција припадности троугластог fuzzy броја.....	86
Слика 5.3 Fuzzy скуп А и неки његови α пресеци.....	89
Слика 5.4 Fuzzy функција припадности.....	90
Слика 5.5 α -пресек fuzzy броја.....	91
Слика 5.6 Алгоритам одређивања релативних тежина критеријума.....	92
Слика 5.7 Студентова t – расподела са одређеним бројем степена слободе.....	97
Слика 5.8 Правила прихватања хипотезе H_0 као тачне а одбацивања алтернативне H_1	97
Слика 5.9 Кориснички интерфејс модула за корелацијски тест у оквиру развијеног приступа.....	99
Слика 5.10 Кориснички интерфејс модула за Spearman-ов корелацијски тест.....	100
Слика 5.11 Оријентисани граф рангирања.....	103
Слика 5.12 Типови генерализованих критеријума.....	106
Слика 5.13 Алгоритам ИКОР методе.....	109
Слика 5.14 Кориснички интерфејс програма MODIPROM.....	111
Слика 5.15 Скала са 5 исказа за конверзију лингвистичких израза у fuzzy број.....	113
Слика 5.16 Функције припадности максималног, минималног скупа fuzzy бројева А и В.....	114
Слика 5.17 Кориснички интерфејс модула за дефазификацију.....	115
Слика 5.18. Алгоритам методе за решавање вишекритеријумских проблема са сложеним критеријумским функцијама.....	119
Слика 5.19 Предложен алгоритам модела доношења одлуке-комбиновани приступ...	122
Слика 5.20 Предложени под-алгоритам комбинованог приступа за рангирање алтернатива.....	124

ПОГЛАВЉЕ 6

Слика 6.1. Логистички центри регионалног значаја.....	126
Слика 6.2 Потенцијалне локације регионалног логистичког центра са гравитационом зоном.....	130
Слика 6.3 Структура проблема одлучивања о локацији регионалног логистичког центра.....	130
Слика 6.4 Кориснички интерфејс програма РТК.....	134
Слика 6.5 Кориснички интерфејс програма FAMOD.....	138
Слика 6.6 Облици генерализованих функција за критеријум K_1	139

Слика 6.7 Извештај са резултатима ВКА- коначни редослед разматраних алтернатива и интервални поредак.....	140
Слика 6.8 Извештај са резултатима ВКА-покретне тежине: вредности чистих токова за разматране алтернативе и релативних тежина критеријума.....	140
Слика 6.9 Извештај са резултатима ВКА: интервални поредак и коначни редослед алтернатива у случају сложених критеријумских функција.....	144
Слика 6.10 Коначни ранг алтернатива добијен у Visual PROMETHEE Academic.....	146
Слика 6.11 Резултати рангирања PROMETHEE I, PROMETHEE II (Visual PROMETHEE Academic)	146
Слика 6.12 Коначан редослед алтернатива разматраног проблема променом тежина коефицијената у корацима -25%, -10%, +10% и +25%.....	149
Слика 6.13 Коначан број алтернатива који задовољава захтеване радне карактеристике.....	152
Слика 6.14 Вредности за t_p за студентову расподелу са n степени слободе.....	154
Слика 6.15 Функција припадности за ТФБ безбедност и ергономија.....	162
Слика 6.16 Функција припадности за ТФБ фиксни трошкови.....	163
Слика 6.17 Функција припадности за ТФБ варијабилни трошкови.....	163
Слика 6.18 Извештај са резултатима ВКА: интервални поредак и вредности чистих токова за разматране алтернативе.....	167

ПОГЛАВЉЕ 7

-

Списак табела

ПОГЛАВЉЕ 1

-

ПОГЛАВЉЕ 2

Табела 2.1 Основни циљеви одрживог развоја према врсти и виду превоза сходно захтевима транспортне политике ЕУ.....	26
---	----

ПОГЛАВЉЕ 3

Табела 3.1 Структура фактора city логистике.....	33
Табела 3.2 Основне карактеристике логистичких центара.....	35

ПОГЛАВЉЕ 4

Табела 4.1 Упоредна анализа метода вишекритеријумског одлучивања.....	53
Табела. 4.2 Правила за избор опреме.....	69
Табела. 4.3 Транспортна средства за унутрашњи транспорт.....	72
Табела. 4.4 Опрема за руковање материјалом.....	73
Табела. 4.5 Главне карактеристике опреме за транспорт.....	74

ПОГЛАВЉЕ 5

Табела 5.1 Сатијева скала релативног значаја.....	80
Табеле 5.2 Случајни индекси RI.....	83
Табела 5.3 t-вредности за студентову t-расподелу са n степени слободе.....	98
Табела 5.4 Лингвистички изрази и њихови кореспондентни fuzzy бројеви.....	113
Табела 5.5 Формализован запис проблема критеријумским функцијама на више нивоа.....	117

ПОГЛАВЉЕ 6

Табела 6.1 Спољнотрговински промет Републике Србије – децембар 2013. у млрд.РСД.....	128
Табела 6.2 Увозни токови у Србији за 2012. годину у 1000 t.....	128
Табела 6.3 Извоз и увоз по одабраним земљама за 2011 и 2012. годину.....	129
Табела 6.4 Кључни фактори за лоцирање логистичког центра.....	132
Табела 6.5 Поређење критеријума - fuzzy матрица поређења.....	134
Табела 6.6 α -пресек fuzzy матрица поређења критеријума.....	135
Табела 6.7 Вектор сопствених вредности за матрицу поређења критеријума.....	135
Табела 6.8 Релативне тежине критеријума.....	136

Табела 6.9	Максимална сопствена вредност, индекс и степен конзистентности.....	136
Табела 6.10	Улазни подаци за вишекритеријумску анализу.....	137
Табела 6.11	Стандардна девијација критеријума.....	138
Табела 6.12	Вредности вишекритеријумског индекса преферентности.....	138
Табела 6.13	Улазна табела за рангирање алтернатива на основу подкритеријумских функција k_1 , k_2 и k_3	141
Табела 6.14	Стандардна девијација и генерализована критеријумска функција за подкритеријуме k_1 , k_2 и k_3	142
Табела 6.15	Вредности индекса преференције, улазних и излазних токова.....	142
Табела 6.16	Трансформисане вредности чистих токова након фазе 1 за критеријум KI	142
Табела 6.17	Трансформисане вредности чистих токова након фазе 1.....	142
Табела 6.18	Улазни подаци за вишекритеријумску анализу у фази 2.....	143
Табела 6.19	Стандардна девијација и изабрана генерализована критеријумска функција.....	143
Табела 6.20	Коначни ранг алтернатива.....	143
Табела 6.21	Упоредна анализа резултата методама вишекритеријумске анализе.....	146
Табела 6.22	Упоредна анализа резултата рангирања.....	147
Табела 6.23	Анализа осетљивости за разматран проблем избора локације.....	148
Табела 6.24	Карактеристичне вредности виљушкара за 20 критеријума.....	155
Табела 6.25	Корелациони коефицијент и р-вредности за парове критеријума: А – до G; В – до G, С – до G, D – до G; Е – до G, F – до G.....	156
Табела 6.26	Корелација критеријумских парова (парови у корелацији означени са "X").....	157
Табела 6.27	Упоредни резултати рангирања са 20 и 6 критеријума.....	159
Табела 6.28	Упоредни резултати рангирања између више приступа ВКА.....	160
Табела 6.29	Критеријуми избора опреме за руковање материјалом у оквиру исте групе доступни у литератури и коришћени у FAMOD-у.....	161
Табела 6.30	Критеријуми избора врсте опреме за руковање материјалом.....	161
Табела 6.31	Улазни подаци – матрица вредности алтернатива.....	163
Табела 6.32	Поређење критеријума - fuzzy матрица поређења.....	164
Табела 6.33	α -пресек fuzzy матрица поређења критеријума.....	164
Табела 6.34	Вектор сопствених вредности за матрицу поређења критеријума.....	164
Табела 6.35	Релативне тежине критеријума.....	164
Табела 6.36	Максимална сопствена вредност, индекс и степен конзистентности.....	165
Табела 6.37	Улазни подаци за вишекритеријумску анализу.....	165
Табела 6.38	Вредности вишекритеријумског индекса преферентности.....	165
Табела 6.39	Коначни ранг алтернатива приликом избора опреме.....	166
Табела 6.40	Упоредна анализа резултата методама вишекритеријумске анализе.....	166

ПОГЛАВЉЕ 7

1. Увод

"Појам логистика се односи на интеграцију више активности у циљу планирања, покретања и контроле токова материјала, полупроизвода и готових производа од тренутка њиховог настајања до тренутка потрошње. Ове активности укључују предвиђање тражње, комуникације везане за дистрибуцију, управљање залихама, руковање материјалима, обраду наруџбина, сервис после продаје и обезбеђења резервних делова, избор локација фабрика и складишта, амбалажу, транспорт, итд."

Америчка институција: NCPDM-National Council of Physical Distribution Management [12]

Укупна проблематика развоја и функционисања регије, као сложеног система у оквиру којег делују бројне законитости, још је крајем XIX и почетком XX века покушана да се стави у теоријске оквире. Основна сврха таквог теоријског приступа је открити и изградити аналитичке методе праћења развојне проблематике, метода идентификације развојних фактора и ограничења и утврдити моделе оптимизације развојних процеса у регији. Сам теоријски приступ обухвата теорије, моделе и анализе, а структуру истог чине групе теорија (теорија локација и сл.), групе модела (локацијски и просторни) и групе аналитичких метода.

Због важности логистике, као основе сигурног и правовременог снабдевања, њен развој има велики утицај на функционисање и целокупни развој како појединог града или региона тако и једне земље у целини. Развојем логистике ће порасти интерес за улагање у градске средине као носиоце привредног раста како у самој логистици и повезаним делатностима, тако и за улагања у индустрију и развој високе технологије. Стратешка савремена оријентација наше привреде [58], која предвиђа развој малих и средњих предузећа, истиче потребу новог прилаза унапређењу регионалног привређивања. При томе се полази од основних захтева: смањење трошкова производње, цене коштања роба и подизања нивоа квалитета услуга.

Стварање основе за пројектовање новог решења логистичког концепта у основи се поклапа и везује за процес развоја логистичких центара који би били опремљени савременим транспортно складишним системима уз максимално учешће механизације и аутоматизације. Савремени услови пословања намећу таквим системима потребу за континуалним, ефикасним и квалитетним одлучивањем. У том случају, с обзиром на значај коју имају локација објекта или избор транспортних средстава као елемената ланца снабдевања, јасно је и сасвим оправдано овим проблемима придати одговарајући значај и пажњу.

Због особености самог процеса одлучивања (неодређеност, неизвесност и непрецизност) на једној страни, као и имајући у виду чињеницу да је природа самог процеса одлучивања у домену логистике и логистичких система вишекритеријумска на другој, очекује се да је могуће развити вишекритеријумски приступ за избор оптималне локације регионалног дистрибутивног центра као и транспортних система у оквиру истог, а након тога извршити управљање савременим информационим технологијама и на тај начин дати кључан допринос унапређењу привреде и пословања.

Да би се испунили све већи захтеви за квалитетном логистичком услугом, кооперацијом појединих видова транспорта, повезивањем токова макро и микро дистрибуције уз очување животне средине потребно је елиминисати последице недовољног сагледавања робног транспорта и логистике у одређеном региону [59]. Те последице су углавном:

- децентрализација логистичких активности, а нарочито просторна дисперзија логистичких система (складиштење, паковање, претовар, транспорт и др.) и неповезаност логистичких процеса,
- заступљеност већег броја транспортних средстава у ужим градским зонама што доводи до проблема у саобраћају и животном окружењу,
- генерално низак ниво логистичке услуге (присуство великих залиха, поседовање сопствених возних паркова и складишних система и сл.) и
- непостојање информационог система за праћење логистичких токова и система.

Када се урбани логистички систем односи на неку регионалну природну географску целину, која може да обухвата и више градова или насељених места, тада се ради о урбаној-city логистици у ширем смислу, односно о регионалном логистичком систему. Константан пораст логистичких активности у региону нарочито теретног транспорта и обрта роба, односно логистичких услуга, битно утичу на регионални привредни развој и уопште привредни амбијент. Имајући у виду проблеме робног транспорта у градским срединама (урбани теретни транспорт) као и географски положај истих, повећање нивоа укупне робне размене, планирани индустријски развој (након приватизације, реинжењеринга опреме и технологија) може се констатовати да сваки град, захтева сопствени концепт city логистике који се мора непрекидно пратити и развијати. Да би дошло до реализације једног оваквог пројекта потребно је сагледати и анализирати мноштво параметара везаних за ову проблематику.

Транспорт представља кључни део сваке логистичке стратегије. Савремена економија зависи од ефикасности токова материјала, који се реализују кроз ланце снабдевања, а чије су основне компоненте: производни, транспортни и складишни системи.

Захтеви транспорта у ланцима снабдевања, еколошки захтеви и потреба обезбеђења квалитета живљења у градовима, а у уз то и тежња компанија да што више удовоље захтевима купаца, посебно истичу значај ефикасних робних токова. Наиме, савремени тренд урбанизације градских подручја на једној страни, резултира већим обимом урбаног теретног транспорта са свим негативним ефектима које исти има на саобраћај и животно окружење (оптерећење саобраћајне мреже, временски и енергетски губици, оштећење саобраћајне инфраструктуре и др.), а на другој страни додатним трошковима и смањењу продуктивности због основних функција и карактеристика транспортно-складишних система.

Активности планирања, моделирања и оптимизације логистичких процеса зависе од правилног тумачења одређеног појма. Из опредељења да се логистика односи на урбану средину (регион и град) проистичу задаци и циљеви урбане логистике. Задаци се односе на економију, безбедност, производњу, енергетску потрошњу, квалитет логистике и живљења и активности у граду и региону, екологију, производњу (у извесној мери) итд. Из постављених задатака проистичу и циљеви њихових решења који се могу сврстати у неколико група [12]:

- унапређење транспорта и транспортних система у градовима и региону,
- смањење економских трошкова која се заснива на смањењу погонске енергије у логистичким процесима и
- унапређење еколошких фактора и животне средине за житеље урбаних средина који су истовремено и корисници логистичких услуга и процеса.

Сва решења логистичких процеса односно задатака у урбаним срединама са сегментом региона, подразумевају и њихову оптимизацију. Често су ова решења парцијална, тј. односе се само на поједине групе задатака. Комплексност и учесталост таквих проблема, иначе често по природи вишекритеријумски, намећу потребу за разматрањем мноштва различитих идеја тј. алтернатива и издвајање најприхватљивијих. Проблем робног транспорта у градским срединама, за већину европских земаља постаје актуелан оног тренутка када у њима број становника прелази 100 000, а транспорт се реализује на растојању до 50 км. Анализе показују да се око 80% транспорта реализује управо на растојању мањем од 50 км.

Важно је истаћи и то да се око 50% трошкова друмског транспорта оствари у градском транспорту и достави. Осим финансијских параметара важно је напоменути и податке да теретна возила производе буку до 10 пута већу од путничких као и то да је учешће саобраћаја у укупној емисији штетних гасова 50% [12]. На другој страни трошкови транспорта и складиштења процентуално су најзаступљенији у укупним трошковима и представљају области са највећим могућностима за рационализацију.

У циљу унапређења регионалног привредног развоја предвиђа се нова концепција логистике региона које се базира на изградњу савремених логистичких центара (ЛЦ- а) који делују самостално или као подсистеми робно-транспортног центра (РТЦ-а). У таквом окружењу ЛЦ-и интегришу функцију добављачког транспорта, складиштења и дистрибуције до корисника. Тиме ЛЦ-и поред унапређења општег привредног развоја региона, унапређују и саобраћај, транзитни транспорт, међусобно повезивање региона (регионални логистичко–транспортни систем) и квалитет логистичких услуга.

Дакле, равојем методологије дефинисања профила регионалне логистике – логистичког концепта тј. уз помоћ излазних резултата који ће настати из одговарајућих оптималних концептуалних логистичких решења одговарајућег региона могуће је доћи до новог решења које би истовремено представљало добру основу за даља истраживања усмерена на анализу оптималне величине ЛЦ-а, анализу економских и еколошких ефекта променом структуре транспортних средстава и система при допреми и дистрибуцији робе [32]. Осим тога, кључни део сваке логистичке стратегије, односно део великог ланца снабдевања који спаја произвођаче, испоручиоце и потрошаче представља и транспортно-складишни систем.

Стање савремене транспортне технике карактерише стални развој уређаја за транспорт и манипулацију и чини основу за планирање и пројектовање. Генерално, при разматрању проблема било избора локације или опреме у оквиру транспортовања и складиштења материјала не сме се занемарити потреба за континуалним, ефикасним и квалитетним одлучивањем. У оваквим случајевима постоји велики број технички остваривих алтернатива и задатак пројектанта је да из скупа могућих решења изабере оно које најбоље испуњава техничке и економске услове дефинисане пројектним задатком. Основна хипотеза од које се полази у овом истраживању је да постоји могућност формирања комбинованог приступа решавању широког спектра задатака вишекритеријумског одлучивања.

Оваквим приступом, развила би се методологија избора на основама вишекритеријумског одлучивања, и тиме генерално створила основа за касније побољшање квалитета логистичке услуге која је у потпуној сагласности са токовима роба усклађеним са Европском Унијом (ЕУ). Уз усклађено законодавство то је и најбољи начин за наставак и побољшање привредног развоја и европских интеграција. Наравно на основу овог реално је очекивати да би ново решење регионалног логистичког концепта у блиској будућности било покретач свих промена на подручју решавања проблема снабдевања, што ће уз оријентацију на квалитет логистичке услуге, значајно елиминисати последице тренутно недовољног сагледавања робног транспорта и логистике у региону.

1.1 Предмет истраживања

Предмет истраживања у докторској дисертацији је развој методологије на основама вишекритеријумског одлучивања намењене решавању кључних задатака у процесу дефинисања профила регионалне логистике. Такви задаци представљају комплексан интердисциплинарни процес са високим степеном експертске активности.

Полазећи од анализе логистичких токова и процеса у репрезентативном региону, пажња је усмерена на главне задатке који се решавају приликом пројектовања технолошких структура (избор оптималне локације логистичког центра) и транспортних елемената, средстава (уређаја) и система за манипулацију, као битних елемената таквих структура и фактора у снабдевању урбаних јединица (структура) и грађана (потрошача). Полази се од претпоставке и сазнања да у логистичком ланцу снабдевања, привредних организација, градских инфраструктурних објеката и грађана, логистички дистрибутивни центри имају врло значајну улогу. Од њихових могућности располагања робама и пружања квалитетних логистичких услуга зависи успешност рада привреде и градске инфраструктуре. Претпоставка је да постојање регионалног логистичко-дистрибутивног центра са оптималном локацијом, асортиманом и количинама робе са фокусом на елементе и транспортно-складишне системе даје кључни допринос унапређењу привреде и пословања.

Приликом решавања таквих проблема процес доношења одлуке захтева коришћење великог броја правила, разматрање великог броја алтернатива и критеријума уз чињеницу да атрибути који описују поједина стања могу бити квалитативне или квантитативне природе. Наиме, у савременом процесу доношења одлуке тренд је и укључивање великог броја експертских тимова и заинтересованих страна (енг. *stakeholder*) који су егзистенцијално заинтересовани и лоцирани на изучаваном простору и који могу осетити директне или индиректне утицаје самим процесом решавања проблема. При томе не треба заборавити и чињеницу да сваки објекат интегрисан у један логистички систем утиче на ефикасност, ефективност и трошкове функционисања истог.

Робни токови су узрочно-последични фактор сталног пораста просторних, временских и количинских трансформација у непрекидној смењивости активности паковања, утовара, транспорта, складиштења, поновног претовара, транспорта, истовара, складиштења, испоруке итд. [120]. Управо ова подручја се непрекидно истражују и анализирају у погледу могућности рационализације, убрзања протока робе, повећања ефикасности логистичких система, хармонизације логистичких процеса и кооперације учесника у логистичким ланцима. Потреба за изградњом логистичких центара је

неминовна. Међутим досадашњи концепт хаотичног настајања логистичких центара националног нивоа мора бити прекинут [31,58].

Дакле, морају се чињенице да географски положај и саобраћајна инфраструктура дају у старту предност, оставити по страни, и као што је речено на самом почетку, елиминисати последице недовољног сагледавања робног транспорта и логистике у региону па и шире. У прилог овој констатацији ићи ће и предложена методологија код које полазећи од анализе постојећих и/или процене будућих робних токова, пажња мора бити усмерена првенствено на локацијске варијанте регионалног центра и избор опреме за руковање материјалом, при чему би сам управљачки задатак био решен применом вишекритеријумске анализе.

Ваља нагласити, да само подручје истраживања, а све са циљем дефинисања профила логистике (нажалост тренутно непостојећи) репрезентативног региона, осим анализе робних токова у урбаним срединама једног региона мора укључити и логистичке активности у транспортно дистрибутивним подсистемима. Анализа логистичких токова и развој одговарајуће методологије је комплексан и сложен процес, а нарочито на овом простору где не постоји никаква база података али и спремност субјеката за праћење робних токова. У сагласности са плановима изградње и преднацртом генералног урбанистичког плана и стратегијама развоја неке регије, уз констатацију да су створени услови за покретање пројекта развоја регионалне city логистике, тако изабрана локација је најближа најпогоднијој (идеалној) и као таква ствара предуслов за реализацију логистичког центра, који има одговарајуће саобраћајне, технолошке и информационо-комуникационе везе на међународном, републичком и локалном нивоу. Глобално, то би касније имало велики утицај на развој целокупног саобраћајног система и укупне привреде, поготово мање развијених подручја. Наравно, не треба заборавити чињеницу да модернизацију постојећих и изградњу нових терминала би требало реализовати на основу сарадње јавног и приватног сектора уз развој одговарајуће техничке базе: транспортна и претоварна средства, товарне јединице и технологије компатибилне у свим карикама логистичког ланца. Развојем интегралног логистичко-информационог система, сви учесници би били повезани у јединствен логистичко-транспортни систем земље (железница, шпедитерска и транспортна предузећа и др.), али и логистичко-транспортни систем Републике Србије и транспортни систем Балкана и Европе.

Дакле, полазна хипотеза у овом истраживању базирана је на могућности доношења одлука у условима где је потребно уважити постојање више супростављених критеријума тј. када је решење приказано избором једне од низа алтернатива у процесу развоја новог решења регионалног логистичког концепта, а посебно избора локације ЛЦ-а и средстава за руковање материјалом у оквиру транспортног складишног система. Постојање више алтернатива и критеријума, од којих неке треба максимизирати а неке минимизирати, показује да одлуке доносе у конфликтним условима и да се у тим

случајевима за решавање морају применити флексибилнији инструменти од строго математичких техника чисте оптимизације.

1.2 Циљ истраживања

Основни циљ дисертације је да представи и предложи приступ у оквиру процеса планирања и дефинисања оптималног логистичког концепта намењен за подршку решавању локацијских проблема и проблема избора опреме за руковање као значајног елемента за функционисање једног регионалног логистичког центра.

Разлог за то свакако лежи у чињеници да се стварање основе за пројектовање новог решења логистичког концепта у основи везује и поклапа за процес развоја логистичких центара као и потребе за доношење квалитетне и ефикасне одлуке. Развијен приступ би требало да служи као основа за вишекритеријумску оптимизацију процеса избора оптималне локације и техничких подсистема логистичког центра, а у циљу испуњења постављених задатака истог. Осим тога, циљ је показати како се применом комбинације метода за одређивање реалтивних тежина (значајности) критеријума и рангирања алтернатива доноси коначна одлука. Исто тако циљ је и применити развијени приступ на избор и других техничких система или решавање широког спектра техничких проблема у домену логистике и логистичких система. Другим речима, оптимизација процеса планирања логистичког система у склопу оптималне локације има за циљ да понуди одговоре на нека од најчешће постављених питања регионалног развоја сходно савременом тренду урбанизације.

Само истраживање у оквиру дисертације тј. њени резултати треба да понуде у основи нови приступ који је научно утемељен и заснован на статистичком праћењу стања система, обради прикупљених информација и одређивању оптималних решења применом савремених оптимизационих алата. Такође основни циљ је и допринос унапређењу теоријских и практичних сазнања о примени савремених статистичких алата у решавању проблема транспортне технике и логистике. Модел развоја нових решења логистичког профила иначе прати одређен степен неодређености и неизвесности улазних величина и потребно је конципирати га тако да се умање или елиминишу у највећој мери неизвесност и непредвидивост у процени будућих робних токова и структури робне размене као и избора самих транспортних система у оквиру будућег логистичког центра. Примена моделирања у истраживању и решавању проблема транспорта робе у градовима (или региону) има за циљ димензионисање логистичких система (складишта, претоварна места, возни парк за дистрибуцију и др.), утврђивање броја и локације city терминала, рутирање и др., па је на тај начин могуће проналажење оптималног решења у складу са квалитетом и временом испоруке. Очекује се да буде потврђена полазна хипотеза истраживања којом се коришћењем комбинованог приступа

приликом решавања кључних задатака развоја технолошких структура успешно решавају проблеми рангирања по критеријумима који се при томе описију различитим величинама.

1.3 Значај истраживања

Захтеве за квалитетном логистичком услугом као што су: комплетност, брзина, тачност, поузданост, безбедност, флексибилност, економичност и др., успешно могу да испуне једино транспортни системи засновани на логистичким принципима, кооперацији, координацији и технологијама комбинованог и интермодалног транспорта. Парцијални транспортни системи и носиоци услуга никада не могу самостално и успешно реализовати строге тржишне захтеве. Логистички центар представља систем који маркетиншким, информационим, организационим, технолошким и другим решењима обухвата различите видове транспорта, различите даваоце и кориснике услуга, а у циљу пружања комплетне логистичке услуге. Позитивни ефекти, велике уштеде у трошковима дистрибуције, повећање квалитета услуге, уштеде енергије у примени савремених технологија, и др., у потпуности надокнађује велика инвестициона улагања у формирању целокупног комплекса РТЦ-а, што се уклапа у следећа опредељења и циљеве [12]:

- 1) *Циљеви саобраћајне политике:* стварају се предуслови за успешну и продуктивну кооперацију у транспорту, посебно између друмског и железничког транспорта, значајнија унапређења (производне) привреде, саобраћајне привреде.
- 2) *Циљеви регионалне привреде:* побољшање дистрибуције, регионалног и ширег снабдевања робом не само на индустријском и комерцијалном подручју већ и на подручју потрошње, увоза и извоза.
- 3) *Циљеви заштитне природне и животне средине:* растерећењем градских саобраћајница, преношењем процеса транспорта и претовара на РТЦ-а смањује се загађеност и бука у стамбеним и другим подручјима градова смањује се ноћно паркирање теретног друмског саобраћаја у стамбеним подручјима града и др.
- 4) *Циљеви урбанизма:* боље коришћење даљинских друмских саобраћајница и градске саобраћајне мреже, рационалнија експлоатација возила; растерећење мреже друмских саобраћајница унутар града пресељавањем транспортних организација у РТЦ, концентрацијом рада и јединственим рационалнијим коришћењем и опслуживањем градских површина.

С обзиром на циљеве и задатке градске и регионалне логистике, позитивни и практични резултати истраживања, осим стварања флексибилнијих инструмента чисте оптимизације, у ширем смислу тј. на глобалном нивоу би се огледали у:

Побољшању квалитета услуга:

- скраћењем времена транспорта, дистрибуције и повећањем брзине доставе робе;
- преузимањем специјалних услуга (нпр. комисионирање, паковања робе, и др.).

Снижавању трошкова транспорта и складиштења робе:

- експлоатацијом оптималних типова опреме и возила;
- смањењем трајања времена и трошкова за утовар, истовар и претовар;
- смањењем трајања времена и трошкова за манипулисање робом у складишту;
- смањењем потребе за складишним простором.

Побољшању ефикасности функционисања читавог дистрибутивног система, посебно града и места локације ЛЦ-а:

- стварањем могућности за унапређење дистрибутивног система;
- концентracијом складиштења, јединственим опслуживањем урбаних целина и др.

Побољшању саобраћајне структуре путем:

- растерећења друмских саобраћајница;
- интеграције носилаца транспорта и сл.;

Дакле, у ужем смислу, предложени поступак се заснива на побољшању фамилије метода за вишекритеријумско рангирање. Сам проблем је интересантан и са теоријског и практичног аспекта тј. састоји се у што реалнијој поставци проблема и развоју ефикасних и егзактних метода вишекритеријумске анализе као и објективнијем упоређивању утицаја појединачних разнородних критеријума. Утицај искуства и субјективне оцене доносиоца одлуке који прати сам процес доношења одлуке приликом избора генерализованих критеријума је у овом случају сведен на најмању меру. Такође потребно је нагласити да је при избору критеријума битна њихова моћ у погледу селективног деловања на алтернативна решења као и одређивање њихове релативне значајности - тежина. Предложен приступ омогућује за сваку критеријумску функцију сагледавање облика усвојених генерализованих критеријума и положај експерименталних тачака, а када је у питању одређивање релативне значајности скупа атрибута или критеријума искоришћен је концепт баланса који карактерише методу Аналитичких хијерархијских процеса АНР (Analytic Hierarchy Process) [84]. Очекује се да предложена методологија односно развијен приступ буде свеобухватна алатка доносиоца одлуке приликом решавања широког спектра реалних и техничких проблема.

Истраживања у оквиру овог рада су интердисциплинарног типа, јер за решавање предметне проблематике, неопходно је коришћење већег броја научних дисциплина. У раду ће бити коришћене методе рачунарске симулације и анализе, статистичке методе анализе података и инжењерске методе прорачуна, методологија избора и рангирања различитих оптималних локација и оптималне структуре регионалног дистрибуционог центра и то модификованим методама вишекритеријумске оптимизације.

Коначан циљ таквог приступа је свођење субјективног утицаја доносилаца одлука на најмању меру и узимања у обзир подједнако и квалитативних и квантитативних параметара. Значај истраживања је утолико већи, што ће се, уз стратегију развоја региона а самим тим и уз будућа детаљнија истраживања регионалног логистичког концепта са развијањем методологије дистрибуције роба у поменутом региону, омогућити генерално побољшање квалитета логистичке услуге и усклађеност са смерницама и дефинисаном политиком развоја регионалних целина у ЕУ. Уз усклађено законодавство као и јасно дефинисане стратегије развоја на локалном и националном нивоу може се на најбољи начин наставити побољшање привредног развоја и започетих европских интеграција.

1.4 Структура рада

У складу са постављеним циљем дисертације, реализована истраживања су приказана кроз седам поглавља. У овом раду биће понуђен приступ решавања кључних задатака у процесу развоја новог профила регионалне логистике и то у домену вишекритеријумског одлучивања, а који се састоји из модификације и комбинације више познатих приступа решавања представљених проблема како би се боље одговорило на комплексност процеса пројектовања и развоја логистичког центра.

У првом поглављу изнете су полазне основе истраживања и дефинисани предмет, циљ истраживања и хипотезе. Тиме су идентификована питања на која треба да се одговори у наставку истраживања као и очекивани резултати и допринос истраживања.

Друго поглавље је посвећено анализи и приказу постојећих решења логистичког концепта – искуствима и трендовима развоја у државама ЕУ као и приказу досадашњих истраживања у Србији, дефинисању потреба и интереса датог региона, прегледу законодавства и стратегија развоја на локалном и националном нивоу.

У трећем поглављу дат је кратак осврт на суштину и значај појма логистички концепт. Посебна пажња је усмерена на системски приступ, квалитетно планирање и предвиђање развоја једног свеобухватног и крајње одрживог концептуалног логистичког решења као и на чињеницу да се основа за пројектовање новог решења логистичког концепта, процеса оптимизације и рационализације логистичких процеса поклапа и везује за процес развоја логистичких центара.

Четврто поглавље даје методолошки приступ развоја новог профила регионалне логистике. Дакле, сам методолошки приступ у овом раду усмерен је на развој модела подршке доношењу одлуке при решавању кључних задатака развоја и реализације новог логистичког концепта, и то кроз неколико корака: одређивањем локације логистичког центра и избором одговарајућих елемената транспортно складишног система уз анализу осетљивости у циљу идентификације најкритичнијих и најјачих критеријума у процесу одлучивања.

Представљене су теоријске основе везане за ланце снабдевања, токове робе и транспортно-складишне процесе, њихови подсистеми и функције, са посебним освртом на разграничење и дефиницију појмова логистике и физичке дистрибуције робе. Посебан значај је дат дефинисању логистике у којем доминантно место имају токови робе и утврђивање улоге транспорта и складиштења у реализацији транспортног ланца. Други део овог поглавља нуди преглед и објашњење постојећих методологија за решавање проблема у области избора локације и опреме за руковање материјалом као и досадашњих истраживања у истим.

Дефинисање и приказ нове методологије решавања кључних задатака извршено је у петом поглављу. Посебна пажња је усмерена на одлучивање и то кроз избор могућих алтернатива и критеријума разматраног проблема. Понуђен је систем квантификовања или фазификације квалитативних атрибута, поступак смањења броја критеријума у поступку одлучивања као и проблем одређивања и дефинисања њихових тежинских коефицијената или релативне значајности. Методологија избора је употпуњена модификацијом PROMETHEE (The Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations) методе за успостављање коначног ранга алтернатива уз приказ и развој адекватног софтверског решења које подржава тако модификовану методу.

У шестом поглављу је тестирана и верификована предложена методологија вишекритеријумског одлучивања у решавању различитих задатака у процесу развоја регионалног логистичког концепта, тачније кроз избор локације будућег регионалног логистичког центра и избор опреме за руковање материјалом у оквиру истог. Ово поглавље суштински даје допринос дисертације и преглед постигнутих резултата као и анализу модела узимањем у обзир карактеристике посматраног процеса и разних спољашњих фактора.

Седмо поглавље формулише закључке и правце даљег истраживања у складу са идентификованим критичним тачкама у процесу вишекритеријумског одлучивања.

На крају дисертације дат је приказ или попис коришћене литературе и прилози.

2. Приказ досадашњих истраживања урбане (city) логистике

"City логистика обухвата све стратегије, технологије и сва решења логистике која дају подршку свим учесницима и функцијама урбаног простора без обзира на њихову величину и број, простор и границе, а у складу са њиховим појединачним и општим интересима и циљевима ."

С.Зечевић[121]

Правилно тумачење неког појма може пресудно утицати на квалитет активности планирања, моделирања и оптимизације логистичких процеса и система. Савремени трендови у производњи и дистрибуцији базирани су на ниском нивоу залиха и временски прецизно дефинисаним испорукама (JIT- Just In Time стратегија) [119]. Нова стратегија снабдевања у урбаним срединама проистиче из увећаних производних могућности фабрика као произвођача (генератора) токова материјала, производа и робе, повећане куповне моћи корисника услуга и појава моћних мултинационалних компанија које се појављују као интегратори производње и услуга и међународних интеграција у глобализацији. Намећу се дилеме да ли city логистика подразумева логистику насељеног места, централне зоне, дела или целог града, агломерације или региона. С обзиром да се актуелизује проблем животне средине уз оптимизацију снабдевања становништва у урбаним срединама, онда је у светлу урбанизације региона и потребе нове стратегије теретног транспорта оправдано градску (city) логистику у примени посматрати као *регионалну* или *урбану* логистику. У том смислу се ови појмови преплићу и изједначавају [12]. Наравно градска логистика све више постаје предмет интересовања научне и стручне јавности, јер је уочен њен друштвени значај, односно економски утицај, а уз то и утицај на еколошке захтеве и потребе обезбеђења квалитета живљења. Значајна истраживања и иновације на овом пољу почела су седамдесетих година прошлог века, а у последњих 10-так година она одговарају садашњем тумачењу појма урбане логистике. Пресудан и ограничавајући фактор при дефинисању концепција и увођење одређених мера city логистике представљају социолошке, културолошке, демографске карактеристике, архитектонско наслеђе као и навике и схватања становништва [119].

Приликом конципирања садржаја овог дела рада пошло се од чињенице да је у протеклом времену у Европи дошло до великих стратегијских, техничких, технолошких и информационих промена у подручју логистике.

Дакле на једној страни имамо интензиван развој логистике и њених подсистема у протеклој деценији док у исто време на другој страни бројне резултате привредне и сваке друге изолације. Наравно реално и оправдано је очекивати скромне резултате досадашњих истраживања урбане логистике у Србији па и на регионалном нивоу.

Истраживања ланца снабдевања, логистичких токова и процеса, услуга и квалитета услуга, система управљања и заштите животне средине као и планирања развоја градова и/или региона и урбаног планирања треба да су комплементарна са истраживањима у ЕУ и индустријски развијеним земљама. Утолико је значајнија критична веза овог рада са ранијим истраживањем логистичких центара на територији Србије као и истраживањима индустријских токова материјала и производа. У оквиру овог разматрања узети су у обзир транспортни захтеви, очекивани развој транспорта на Паневропским коридорима који транзитирају нашу земљу и посматран регион, као и захтеви и услови развоја логистичких центара. Такође дате су анализе структурних промена нашег саобраћајног система, оцена предвиђања промена у величини логистичких захтева и развој и примена нових информационих технологија у транспорту и логистици. Циљ је био приказати са знатним степеном хронологије и детаљности стање и развој логистичких система, суштину развоја регионалног и европског транспортног система и стандарде стратегије заштите животне средине засноване на регионалном приступу и логистичком принципу. Остала истраживања везана за решавање конкретних проблема применом вишекритеријумске анализе (дефинисање критеријума и алтернатива посматраног проблема, избор адекватне методологије вишекритеријумске анализе за рангирање, елиминисање субјективности, неодређености и непрецизности процеса доношења одлуке и др.), дата су у каснијим редовима дисертације.

2.1 Тренутна ситуација у Србији у поређењу са окружењем

Захваљујући повољном географском положају, Србија је вековима имала улогу транзитне земље између западне и југо-источне Европе. Ова улога је била од значаја за економски развој земље у прошлости и очекује се да буде важна и у будућности. Ова очекивања за будућност су додатно појачана скорим почетком радова на Коридорима X и VII и даљом интеграцијом Србије у Европу. На самом почетку неопходно је дати преглед релевантних студија и пројеката коришћених у току истраживања, а који су представљали вредан извор информација и помогли да се на адекватан начин опише тренутна ситуација у Србији кроз анализу организационог, институционалног, законодавног оквира и описа будућих планова и пројеката [45,77]. На такав начин могуће је обезбедити широку основу за даље активности на овом раду или основу за дискусију о томе што се може реализовати и постићи у области урбане или регионалне логистике у посматраном региону.

Истраживања из домена логистике, логистичких центара и савремених интермодалних система транспорта започела су израдом најзначајнијих стратешких и других студија, планова и пројеката и то кроз: Студију дефинисања мреже и структуре контејнерских терминала СФРЈ (1970), Студију дефинисања мреже РТЦ-а као логистичких центара (1986), израду дванаест технолошких пројеката конкретних РТЦ-а и терминала као логистичких центара, израду транспортних студија градова и региона базираних на логистичким принципима (1989-1998), кроз израду четири технолошка просторна решења структуре слободних зона самостално и у оквиру РТЦ-а као и мреже логистичких центара на базним коридорима, иначе усвојене у просторном плану Србије и Црне Горе (1995).

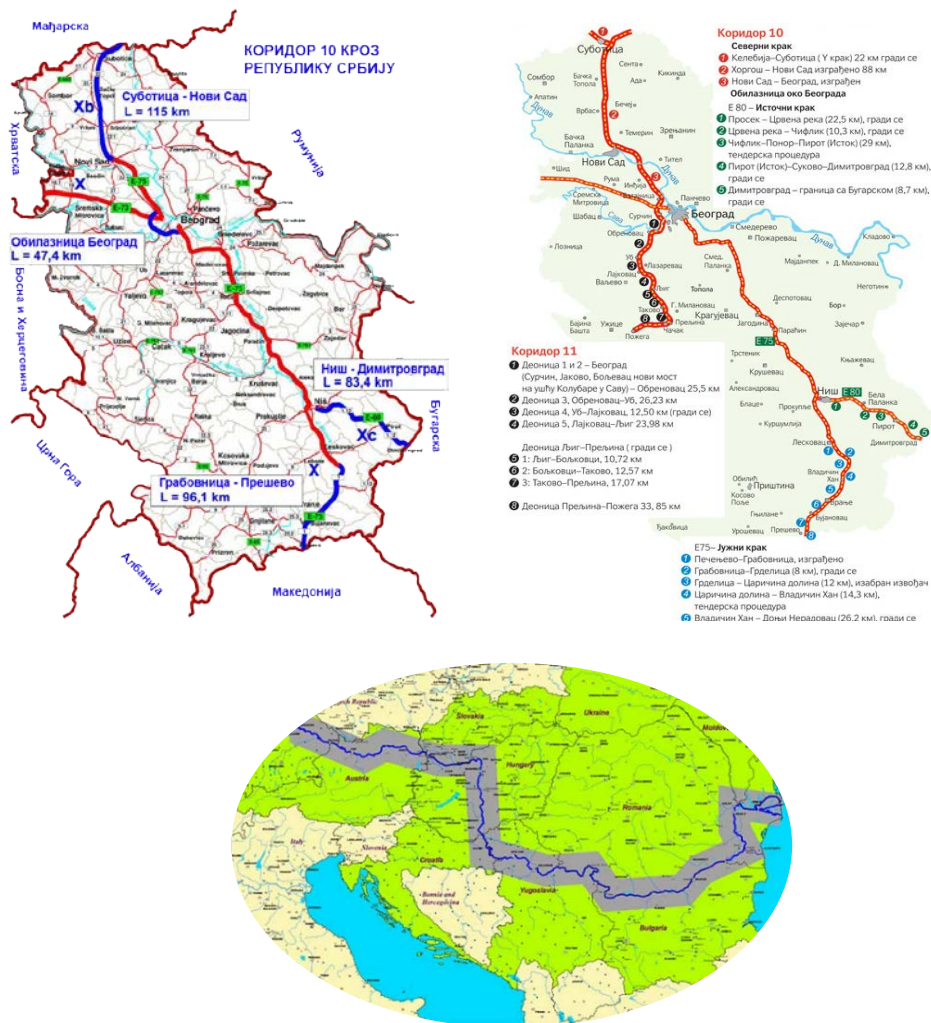
Не сме се занемарити констатација да би већина значајних студија, планова и пројеката из тог периода била и реализована да се земља у протеклим деценијама из познатих разлога није нашла у економском назадовању. Заправо значајно је питање колико данас примећујемо или непримећујемо најважније промене око нас, посебно проблеме везане за транспорт и логистику [77]. Они пред нас као изразито транзитну земљу постављају бројне захтеве. Као резултат обимних истраживања [77], презентовано је стање нашег и европског саобраћајног система, структурне промене и визија будућег развоја на савременим начелима Европске Уније (ЕУ). Анализиране су нове стратегије развоја транспорта и заштите животне средине базирано на регионалном приступу и логистичким принципима као и суштина промене и развоја информатичке технологије, интермодализма, паневропских коридора и пруга великих брзина. Уз то треба додати свакако и анализу транспортних захтева и очекивани развој на коридорима који транзитирају нашу земљу и у исто време захтевају и условљавају развој интермодализма, мултимодализма и логистичких центара као основних везних тачака. Претходно изнесене констатације потврђује само један податак, а то је да се на усвојеним коридорима у блиској будућности очекује обављање око 80% укупног нашег транспортног рада.

Пре свега констатовано је да је стање развијености робно-транспортних центара - РТЦ-а и интермодалних терминала, као основних инфраструктурних елемената, и са квалитативног и квантитативног аспекта незадовољавајуће. Више пута дефинисана мрежа контејнерских терминала (први пут 1970) у којима се реализује и највећи обим саобраћаја реализована је само у неколико појединачних случајева: Лука Бар и Београд, контејнерски терминал Железнички Интегрални Транспорт - ЖИТ Београд и неколико случајева мањих терминала Нови Сад, Панчево, Апатин, Смедерево, Шабац, Ниш, Ужице и др. Резултати наведених истраживања захтевали су осавремењавање постојећих или изградњу нових РТЦ-а, терминала у чворним тачкама Паневропских мултимодалних коридора на подручју Југославије и то:

- на утврђеним коридорима VII и X са крацима Xb и Xc извршити изградњу односно доградњу РТЦ-а,
- на планираном Паневропском мултимодалном саобраћајном коридору XI и краку Xe потенцијални и мултимодални терминали у: Панчеву, Вршцу, Ужицу, Подгорици и Бару.

Паневропски саобраћајни коридори су дефинисани путеви у централној и источној Европи који својом важношћу захтевају инвестирање у наредних 10 до 15 година. Ти коридори дефинисани су на три Паневропске транспортне конференције, одржане на нивоу министара транспорта. Прва таква конференција била је у Прагу 1991., недуго након пада Берлинског зида. На њој није било могуће донети детаљније закључке због релативно бурних политичких промена у источној и централној Европи. Развијена је само концепција за будуће договоре. Девет транспортних коридора дефинисано је на другој конференцији на Криту 1994., док је десети коридор дефинисан на трећој конференцији у Хелсинкију 1997. године. Иначе треба напоменути да међународни Коридор X (слика 2.1) представља главни друмски коридор на територији Србије [45]. Пружа се на једној страни од Салзбурга до Солуна, преко Љубљане, Загреба, Београда, Ниша и Скопља. Кроз Србију се протеже од границе са Хрватском до границе са Македонијом, и у његов састав такође улазе грана Xb, од границе са Мађарском до Београда, и грана Xc, од Ниша до границе са Бугарском. Укупна дужина Коридора X кроз Србију, заједно са гранама b и c, је 785 км. На регионалном нивоу, овај коридор представља осовину Балкана и повезује Србију са суседним земљама (Хрватском, Мађарском, Бугарском и Македонијом), земљама Централне Европе на северу, као и са Турском на истоку и Грчком на југу. На националном нивоу, коридор се пружа од северозапада ка југоистоку, повезујући Београд са главним регионалним центрима у Србији (Новим Садом на северу, Нишом на југоистоку, као и са осталим већим градовима у земљи). Значај овог коридора се огледа и у интензитету саобраћајног оптерећења који је нарочито висок на деоници Београд–Ниш.

Види се да на подручју коридора долази до укрштања низа интереса појединих земаља, како ЕУ, тако и Србије и нашег окружења, па ако се уз то дода и коридор VII-Дунав онда је сасвим јасна слика овог простора. Коридор XI, односно аутопут и пруга од Темишвара, преко Вршца, Београда, Чачка, Пожеге, Подгорице, па до Бара, а морским путем, преко Јадрана био би повезан са Баријем, у Италији. Четири земље Европске уније ће га користити и припреме за Коридор XI потребно је почети на време. Италијани су због непосредног значаја овог коридора отворили могућност код Европске комисије да Европска унија прогласи Коридор XI паневропским.

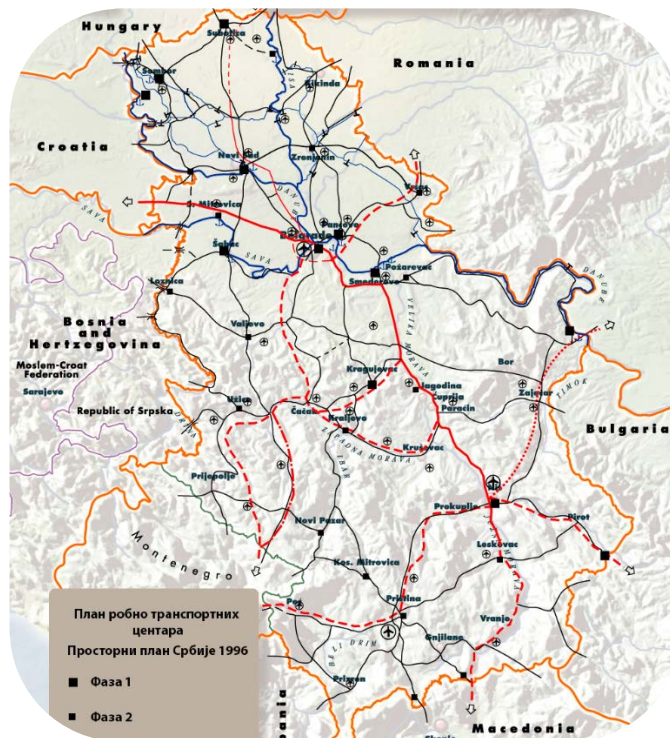


Слика 2.1 Коридори X, XI и VII-Дунав

Када је у питању стање развијености робно-транспортних центара - РТЦ-а и интермодалних терминала, сви неопходни центри су предвиђени и усвојени још у Просторном плану Србије и Црне Горе 1995/96 (слика 2.2) [45]. Њихова локација и изградња је усвојена 1986, а за добар део њих у периоду од 1986-1996 урађен и технолошки пројекат са транспортном студијом региона (Нови Сад, Београд, Панчево, Смедерево, Ниш, Ужице, Бар и др.). Појава захтева за комплетном логистичком услугом (врата на врата, мањи временски губици, без оштећења) као и тежња за смањењем трошкова транспорта и потрошње енергије условили су потребу настанка и развоја других видова транспорта, а посебно интермодалних технологија транспорта¹.

¹ Под појмом интермодализма подразумева се систематична и осмишљена употреба два или више начина превоза са циљем повећања укупне ефикасности транспортног система и умањења негативних утицаја на животну средину.

Пажња на развој интермодализма усмерена је кроз велики број пројеката и студија, како на националном тако и на међународном нивоу. Тачније, неколико студија из области транспортног сектора Србије и Балкана је већ урађено или је сада у току.



Слика 2.2 План робно транспортних центара – Просторни план Србије 1996

Једна од најзначајнијих је REBIS (*Regional Balkan Infrastructure Study*) студија која је завршена јула 2003. године. Циљ REBIS студије је био да дефинише главну, основну мултимодалну транспортну мрежу на Балкану и предложи краткорочне и дугорочне пројекте за њено побољшање. Једна од препорука REBIS студије је да регион Балкана и Коридор X треба да искористе могућности за развој интермодалног транспорта, па је у складу са тим предложено да се детаљније студије везане за организацију и услове конкурентности интермодалног транспорта на тржишту спроведу пре доношења крајње одлуке о успостављању истог. Треба напоменути и листе пројеката погодних за имплементацију, а добијене као резултат [45]:

- Регионалне студије о транспортној инфраструктури на Балкану. (*TIRS-Transport Infrastructure Regional Study*) од 2001. у оквиру које је дефинисана мрежа од регионалног значаја која представља основу за планирано и координисано инвестирање у развој инфраструктуре у региону. Ова мрежа обухвата думску и железничку мрежу, унутрашње пловне путеве, аеродроме и луке од регионалног значаја.

- *Пилот студија Јапанске банке за међународну сарадњу за формирање листе пројеката за развој транспортне мреже западног Балкана (JBIC Pilot Study for Project Formation for Transport Network Development in Western Balkans)* покренута је 2005. године,
- *Мастер план и студија изводљивости саобраћаја на унутрашњим пловним путевима у Србији (Master Plan and Feasibility Study for Inland Waterway Transports in Serbia)* покренут 2003. године и Студије изводљивости за три пројекта: Обнова несметане пловидбе (пројекат 1), Рехабилитација мреже пловних путева у Србији, узимајући у обзир препоруке из Мастер плана (пројекат 2) и План развоја лука (пројекат 3),и др.

Све ове студије и пројекти, као и заинтересованост надлежних институција за развој уопште логистике и транспортне инфраструктуре послужили су као основа за почетак пројекта IMOD-X (Интермодална решења и конкурентност у транспортном сектору Србије) [45]. Иначе пројекат је финансиран од стране Норвешке владе са учешћем Саобраћајног факултета Београд и Министарства за капиталне инвестиције Републике Србије. Кроз своје фазе овај пројекат је био усредсређен на документовање постојеће ситуације у области робног транспорта и интермодалних решења. Закључено је да је неопходно усресредити се на смањење трошкова железничке услуге и развој интермодалног hub-а у Београду, као и на развој 1-2 додатна железничко-друмска терминала довољног капацитета и одрживе гравитационе зоне (највероватније са локацијом у већим градовима и/или регионима Србије са интезивним робним токовима). Констатовано је да је од највећег значаја успостављање мреже директних учесника и заинтересованих организација са што је могуће више заједничког разумевања и мотива у погледу развоја интермодалних решења.

У претходним редовима покушано је да се у што краћим цртама прикаже врло комплексна проблематика развоја урбане логистике, односно ниво до кога се стигло са истраживањима исте код нас. Може се констатовати да је у протеклим деценијама теоретски урађено доста, али практично мање него у суседним земљама и у Европи. Разлози су вишеструки, а најзначајнији свакако леже у политици, стратегији развоја и конкретним плановима.

2.2 Стратегије даљег развоја- дефинисање интереса Србије

Тренутно, законодавни односно регулаторни оквир у Србији карактеришу постојећи планови и стратегије [94,95,96] које је потребно ускладити адекватним и компатибилним документима прилагођеним законодавном оквиру и трендовима развоја у Европске Уније (ЕУ) у домену урбане логистике.

Корисници данас траже рационалне концепције логистичких услуга, а тенденције у процесу рационализације и оптимизације дистрибуције и транспорта робе углавном воде ка формирању и развоју логистичких центара и интермодализма. Тек у задњих неколико година држава је почела да креира политику и стратегију усмерену ка њиховом развоју. Званично у Србији документи који представљају својеврстан стратешки оквир транспортног сектора и дају опште смернице развоја интермодалног транспорта и логистичких центара, па самим тим и урбане логистике су:

1.Просторни план Републике Србије од 2010 до 2020 год.[79], који даје солидан и правноважећи оквир за дугорочно планирање. Планом је покривена и област развоја и размештаја саобраћајне и телекомуникационе инфраструктуре као и развоја интермодалног транспорта и логистичких центара. *Просторни план Србије од 2010. до 2020.* даје основне циљеве развоја интермодалног транспорта: јачање институционалног оквира, оптимизација транспортне мреже коришћењем свих расположивих природних, инфраструктурних, привредних и људских ресурса на принципу интермодалности, повећање укупне транспортне ефикасности, висок ниво квалитета транспортне услуге и смањење трошкова. Развој интермодалног транспорта и логистичких центара је препознат и дефинисан као један од фактора који могу допринети убрзаном привредном развоју Републике Србије и самим тим њеном придруживању и приступању Европској Унији. Запостављање питања развоја инфраструктуре у целости, или делова инфраструктурних система регионалних или локалних, за последицу може имати ланчане негативне последице на развој одређених територијалних целина. Значај и потреба за развојем инфраструктуре, као и повезивање комплексних система саобраћајница, хидротехничких, енергетских и телекомуникационих објеката и водова интегрисаних у јединствене и целовите просторне системе је предуслов успешнијег просторног развоја Републике Србије. Посматрајући стање инфраструктурних система у Републици Србији добија се незадовољавајућа слика, као последица вишегодишњег изостанка озбиљних улагања, као и делимично и једнострано третирање инфраструктурних система као техничких, функционалних система. Више пута дефинисана мрежа терминала и логистичких центара, као и стратешки планови развоја нису реализовани, па се за потенцијалне локације могу усвојити резултати урађених студија и анализа, Просторног плана из 1996. године као и иницијативе локалних самоуправа и привредних центара. Концепција развоја интермодалног транспорта директно је повезана са реконструкцијом и изградњом друмско-железничког Коридора X, ревитализацијом пруга Београд-Врбница (Бар), Београд-Вршац са једне и изградњом терминала и логистичких центара са друге стране. Дуж Коридора X и VII, на местима њиховог укрштања као и регионима дуж поменутих пруга постоје могућности развоја логистичких центара.

Потенцијалне локације логистичких центара свакако треба планирати и у близини постојећих слободних зона: Суботица, Зрењанин, Нови Сад, Шабац, Крагујевац и Пирот. Логистички центар као простор у оквиру кога се на економичан и квалитетан начин реализују активности везане за набавку, транспорт, дистрибуцију мора да садржи један интермодални терминал. Логистички центри међународно-регионалног карактера развијаће се у великим чвориштима: Београд, Нови Сад и Ниш, док ће се логистички центри националног-локалног карактера развијати у гравитационим зонама регионалних и привредних центара. Предлажу се следеће потенцијалне локације интермодалних терминала и логистичких центара: Суботица, Сента, Сомбор-Апатин, Вршац, Зрењанин, Нови Сад, Сремска Митровица, Београд, Шабац, Смедерево, Панчево, Прахово, Јагодина, Ваљево, Ужице, Чачак, Крагујевац, Краљево, Ниш, Димитровград-Пирот и др.

2. *Стратегија развоја железничког, друмског, водног, ваздушног и интермодалног транспорта у Републици Србији од 2008. до 2015. године* [95], утврђује стање у тим областима транспорта, успоставља концепт развоја инфраструктуре и транспорта, дефинише дугорочне и орочене циљеве развоја транспортног система и акциони план за њихову реализацију, а имајући у виду потребу за одрживим развојем транспорта у Републици Србији. На пример интермодални транспорт у Републици Србији до 2005. године учествовао је у укупном транспорту са око 0.5%, а у земљама ЕУ 6-9%. С обзиром на величину земаља у региону и ограничен потенцијал за ову врсту транспорта, важно је да суседне државе сарађују, како стратешки, на бази регионалних и билатералних иницијатива за интермодални транспорт, тако и оперативно преко оператера за интермодални транспорт. После позитивног искуства у економичности и повећању интермодалних робних токова на железници, и продора контејнера на транспортно тржиште, створени су услови за реализацију одређених сценарија за развој терминала за интермодални транспорт посебно на основу резултата пројекта *IMOD-X* [45]. Терминали морају бити стратешки лоцирани и пројектовани у близини укрштања важне транспортне инфраструктуре (друм-железница-река) уз флексибилност и могућност проширења у складу са потребама тржишта.

3. *Стратегија привредног развоја Републике Србије за период од 2006. до 2012. године* [94] је представљала први развојни документ који на конзистентан и целовит начин дефинисао развојне приоритете земље. Наиме, указано је да би развој савременог концепта логистике и интермодалног транспорта могао да утиче на смањење учешћа логистичких трошкова у укупном друштвеном производу (на испод 7,6%), а базирао би се на растућој тражњи за логистичким услугама у земљи и иностранству, географском положају земље, повољном макролокацијском аспекту за развој РТЦ-а, осигурању потребних институција, и др.

Стратегија развоја сектора обухватала је изградњу и развој мреже робно транспортних центара, првенствено изградњу једног центра на подручју Београда, регионалног и балканског карактера, којим би се омогућило прикључење на европску и светску логистичку мрежу. Развој терминала интермодалног транспорта је постављен као предуслов за примену савремених технологија транспорта и дистрибуције. Кључне стратешке активности требало је усмерити ка изградњи мреже РТЦ-а, примени савремених логистичких стратегија (*just in time, logistic controlling, supply chain management*, итд.), развоју *city* логистике, реконструкцији и модернизацији постојећих логистичких система, дефинисању инвестиционе политике и стимулативних мера, дефинисању правне регулативе и мера организације транспортних ланаца и др. Финална разматрања дата у оквиру *Стратегије привредног развоја Србије*, предвиђала су да уколико се реализују све секторске стратегије, привреда Србије би остварила следеће економске резултате:

- друштвени производ целе привреде би забележио пораст по просечној годишњој стопи од 8.55%,
- друштвени производ извозно оријентисаних сектора би забележио раст по просечној годишњој стопи од 15,1%,
- извоз би 2010. године износио барем 33%, а највероватније 45% бруто друштвеног производа,
- друштвени производ привреде би са 10 милијарди \$ из 2000. године, порастао на 22% до 2010. године.

У оквиру Министарства за капиталне инвестиције (Сектор за железнице и интермодални транспорт) формирано је одељење за интермодални транспорт. Његов задатак је обављање: студијско-аналитичких послова из области интермодалног транспорта, креирање саобраћајне политике транспорта интермодалних јединица, праћење развоја савремених технологија транспорта и предлагање мера за њихов подстицај и имплементацију, предлагање мера за развој логистичких центара, као и припремање предлога основа за закључивање билатералних и мултилатералних споразума о регулисању интермодалног транспорта. Развој терминала представља предуслов за развој савремених технологија транспорта и дистрибуције. У Републици Србији не постоји ниједан потпуно развијен терминал интермодалног транспорта док се манипулација контејнерима одвија само у Јавном предузећу „Железнице Србије” и у Луци „Београд”. Терминал у Београду функционише у оквиру Железничког интегралног транспорта - ЖИТ, који је у саставу Јавног предузећа „Железнице Србије”. У Републици Србији не постоје савремене товарно манипулативне јединице, транспортна и претоварна средства, товарне јединице и технологија компатибилна у свим карикама логистичког ланца.

Логистичке услуге у предузећима Републике Србије ниског су квалитета у погледу времена и трошкова испоруке, поузданости испоруке, без примене савремених логистичких стратегија (*just-in-time*, *make-or-buy*, и др.), што утиче на цену и конкурентност производа. Некадашња државна заједница Србија и Црна Гора потписала је споразуме о комбинованом транспорту са: Републиком Бугарском, Републиком Хрватском, Републиком Мађарском и Словачком Републиком. Циљеви на које треба обратити пажњу, односили су се на:

- израду Стратешких студија и дефинисање праваца развоја овог вида саобраћаја;
- изградњу и развој мреже савремених терминала и робно транспортних центара;
- набавку савремених транспортних, претоварних средстава и товарне јединице;
- формирање специјализованих друштава и организација која ће се бавити развојем интермодалног транспорта;
- развој интегралног логистичко-информационог система;
- формирање законског и институционалног оквира;
- потписивање и ратификација међународних конвенција.

4. *Знатан број урбанистичких планова градова у Србији* [45] који предвиђају и промовишу развој логистичких центара у њиховом окружењу и дају значајну подлогу за истраживања у овом раду. Па тако, треба издвојити нпр.:

- а) *Генерални план Београда до 2021.* који предлаже развој комбинованог централизованог-децентрализованог система логистике и робног транспорта Београда, који подразумева развој:
 - два робно-транспортна центра (Добановци и Врчин)
 - два робна терминала (подручје луке Београд и зона Горњи Земун)
 - једног робно-дистрибутивног центра (Ада Хуја) и
 - два дистрибутивна центра (зона Аутопут и Батајница).
- б) *Генерални план града Новог Сада до 2021.* године предвиђа формирање робнотранспортног центра у Луци "Нови Сад", уз могућност реализације секундарних центара у деловима града где су повезане железничке и друмске комуникације, као што су: теретне станице у Новом Саду, Петроварадину, Сајлову, Подбари и сл.
- в) У оквиру Нацрта првих измена и допуна *Генералног урбанистичког плана Ниша 1995-2010.* који је донет још 1995. год. предвиђала се изградња комбинованог друмско-железничко-авио терминала за обављање

интегралног транспорта у оквиру Робно-транспортног центра, на локацији између ранжирне станице Поповац и аеродром.

2.2.1 Стратешки развој логистичких центара и интермодализма: стање, мере и инструменти

Развој урбане логистике и мултимодалног транспорта у Републици Србији налази се и даље на самом почетку. Не постоји законска регулатива која дефинише овај вид транспорта. У оквиру краткорочних-будућих мера које је требало предузети у периоду од 2007-2009. године истичу се израда студија и пројекта којима би се идентификовале потребе и захтеви за развојем интермодалних транспортних услуга у Републици Србији. Кроз пројекте је било потребно дефинисати структуре, моделе и функције технолошко-организационих решења: терминала интермодалног транспорта, робно- транспортних центара (РТЦ), логистичко-дистрибутивних центара, на јединственој транспортно-саобраћајној мрежи Републике Србије, Балкана и Европе. Затим, формирање законског и институционалног оквира, требало је ускладити са Европским споразумом који се односи на комбиновани транспорт (*European Agreement on Important International Combined Transport Lines and Related Installations - AGTC*), Директивом Европске Уније 92/106/ЕЕС и Белом књигом о Европској политици транспорта до 2010. године. Континуирано је требало наставити са потписивањем билатералних споразума са другим земљама о комбинованом транспорту и формирати друштва за организацију и експлоатацију интермодалног транспорта, у складу са искуством земаља у окружењу (Словенија, Мађарска, Словачка, Аустрија, и др).

Скупштина Србије и Црне Горе је 29. јуна 2005. године ратификовала *AGTC Споразум* којим се земље потписнице залажу да у своје националне програме уведу системски приступ реконструкције, изградње и опремања железничких пруга од највећег међународног значаја и терминала, граничних прелаза и осталих пратећих постројења, како би се створила алтернатива друмском транспорту робе. До сада је усаглашено и потписано неколико билатералних споразума, а крајњи циљ представља закључивање билатералних споразума са свим европским земљама на Коридору X и VII. Неке од мера и инструмента развоја интермодалног транспорта и логистичких центара, садржани у *Просторном плану Републике Србије од 2010 до 2020 год. су:*

- израда Акционог плана развоја интермодалног транспорта и логистичких центара у Републици Србији,
- израда пројектне документације за први савремени терминал од међународно-регионалног карактера и његова изградња,

- формирање оптималног капацитета терминала за интермодални транспорт,
- потреба да се капацитети терминала постепено развијају, сходно захтевима тржишта,
- формирање националног друштва за мултимодални транспорт по европским узорима и израда конститутивних аката и Статута,
- усвајање и потврда конвенција и других међународних споразума,
- увођење конкурентне цене транспорта и др.

Може се констатовати да више пута дефинисана мрежа терминала и логистичких центара као и стратешки планови развоја интермодалног транспорта нису реализовани. Постоји делимично израђена инфраструктура, при чему код постојећих решења постоје значајна ограничења условљена локацијом, застарелом опремом и расположивим инвестицијама за развој. Ако се погледа дугорочна развојна политика, може се констатовати да на основу урађених студија о концепцији развоја интермодалне мреже РТЦ требало би развијати и градити оптималну мрежу робно транспортних центара и савремених терминала. Изградња логистичких центара и интермодалних терминала представљала би инвестивцију са високом стопом уложених средстава (5 до 10 година). На тај начин омогућиће се интензивније привлачење транзитних и транспортних робних токова, а исто тако кроз процес развоја и изградње логистичких центара и значајно ангажовање предузећа и индустрије. То би имало велики утицај на развој целокупног саобраћајног система и укупне привреде, поготово мање развијених подручја.

У претходним редовима покушало се доћи до одговора на питање: *Где је наша земља и шта је урађено у погледу логистике и интегралног (интермодалног) транспорта?* Констатација која стоји и која се не сме занемарити је свакако и чињеница да после неког периода од две па чак и три деценије постоји велики број решења и студија и у пракси примењених решења, па их свакако не треба занемарити или игнорисати у новим истраживањима већ их треба допуњавати и модификовати. За потенцијалне локације логистичких центара, као што је већ речено, могу се узети у обзир урађене студије и анализе и иницијативе локалних самоуправа и привредних центара који су већ начинили почетне кораке за њихову изградњу.

Ово је у потпуности у складу са мишљењем да “*права наука и права решења немају рок трајања*”[77]. Наравно познати разлози кашњења у примени нових технологија базираних на логистичким принципима, бар они из деведестих година су иза нас, па уз отклањање недостатака на националном нивоу стратешких документа о транспорту, побољшање искоришћења складишних капацитета, развој мреже РТЦ-а, преусмеравање робних токова на водни транспорт, усклађивање са прописима ЕУ и

сл., потребно је и да држава креира јасну политику и стратегију. Тако креирана стратегија мора бити усмерена ка развоју процеса рационализације и оптимизације дистрибуције и транспорта робе, што коначно води ка формирању и развоју логистичких центара и интермодализма.

2.3 Савремени приступ развоју и решавању логистичких система и урбане логистике

Истраживања у ЕУ завршена око 2000. године, садрже решења која се морају прихватити и код нас, и обухваћена су пројектима [12]:

- 1) Транспорт и животна средина – регионални аспект и
- 2) Студија градског робног транспорта - city логистика.

Прва студија истражује и прецизира мере са аспекта транспорта и животне средине, а друга рационализацију градског робног–дистрибутивног система са предлогом формирања градских (city) логистичких центара и других робно-дистрибутивних центара као основних носилаца интермодализма. Рационализацију друмског транспорта у градовима треба спроводити применом савремене стратегије развоја транспорта и заштите животне средине у градовима. То обухвата: формирање развоја дистрибутивних центара; увођење рестрикције саобраћаја и уградњом техничких уређаја на возилима. Учинак ових мера на околину зависи од многих чинилаца, локалне структуре и економске основе, градског планирања и др.

Актуелизација проблема животне средине и транспорта је све већа, и имајући у виду ограничене резултате који су до сада постигнути на том пољу, Европска комисија је још 1998. године покренула пројекат финансиран из програма PFARE²- Транспорт и животна околина: регионални приступ. Пројекат је обухватао све PFARE земље нашег окружења а имао је за циљ снимање постојећег стања у земљама источне и централне Европе, формулацију стратегије, акциони план и имплементацију истог. Иначе представљао је заједнички оквир постизања циљева заштите околине у региону са дефинисаним конкретним акцијама за сваку земљу учесницу.

Потреба за регионалним приступом је сасвим оправдана, јер очигледно је да много еколошких проблема саобраћаја утиче на шири регион, а исто тако на другој

² PFARE- програм за техничку помоћ земљама источне и централне Европе

страни активности морају бити спроведене на међународном нивоу да би се спречило функционисање тржишта.

Основа регионалног приступа развоју транспорта и решавања еколошких проблема дата је у Табели 2.1. Неопходност је да се у стратегији развоја ови циљеви надзиру и реализују као једна целина, јер ниједан није сам по себи довољан за постизање постављених циљева.

Табела 2.1 Основни циљеви одрживог развоја према врсти и виду превоза а сходно захтевима транспортне политике ЕУ [77]

Вид транспорта	Категорија	Основни циљеви
ДРУМСКИ ТРАНСПОРТ	A	КО 1: Подршка за промену чистијих, економичнијих и тихих возила
	A	КО 2: Подршка примени чистијих горива
	B	КО 3: Ограничење пораста урбаног градског аутомобилског саобраћаја
ЖЕЛЕЗНИЦА	A	КО 4: Смањење буке основне саобраћајне мреже
ВОДНИ ТРАНСПОРТ	A	КО 5: подршка транспорту са шинским врстама превоза (железница, метро, трамвај и сл.)
	B	КО 6: Промоција одрживог развоја унутрашњег и спољашњег водног транспорта
ВАЗДУШНИ ТРАНСПОРТ	A/B	КО 7: Да се тежи самоодрживом развоју ваздушног саобраћаја
УРБАНИ (ГРАДСКИ)	B/B	КО 8: Да се побољша урбани градски саобраћај применом city логистике и еколошким мерама
ТРАНСПОРТ ГЕНЕРАЛНО	B	КО 9: Да се побољшају еколошке карактеристике постојеће и нове инфраструктуре
		КО 10: Да се оптимизира комбиновани интермодални превоз и дистрибуција
		КО 11: Да се побољша безбедност превоза опасних материја

А. Циљеви редукције емисија;
 Б. Циљеви смањења потражње за превозом и за утицај на модалну расподелу;
 В. Циљеви за побољшање еколошких својстава инфраструктуре.

Резултати и оцене бројних истраживања и развојних програма у ЕУ (COST 321, IDIOMA, LEAN, BESTUFS, FRESA, REFORM и др.) као јединствену констатацију намећу да је:

1. Потребно предузимање пакета мера у појединим градовима и то појединачно за сваки град зависно од локалне ситуације.
2. Најбољи приступ је сигурно различит од града до града, зато што насеље, економска и транспортна структура има своје посебне карактеристике, и људи и компаније у једном граду имају своје системе владања и операционих процедура.
3. Неизбежна последица увођења еколошких потребних мера свакако могућност постојања негативних ефеката на економске аспекте саобраћајног управљања.

Стратегија логистике града усмерена је првенствено на решавање проблема теретног саобраћаја у градовима, узимајући у обзир фактор екологије економије и безбедности. У основи овога логистичког концепта су по правилу садржане две концепције и то:

- 1) Концентрација и рационализација робних токова, односно њихово физичко спајање у савременим логистичким центрима који омогућавају комплексну логистичку понуду и тражњу у циљу реализације интегрисаних логистичких ланаца.
- 2) Обједињавање информационих токова, (информација о робним и транспортним токовима) са циљем оптималног искоришћења могућности спајања истих применом централне диспозиције, и реализације јединствене управљачке функције и веза градског магистралног транспорта.

Истраживања у Европи (COST 321³) [12] су показала да сваки град поседује значајне своје специфичности и различитости. Из тог разлога решења градске логистике има колико и градова, али је заједничко код свих да се њеном применом постижу исти ефекти:

- смањење обима саобраћаја на ужем и ширем подручју, града, смањење нивоа буке и аеро загађења,
- боља координација и повезаност робних токова у граду, и већи ниво управљања токовима,
- смањење броја возила која врше доставу,
- смањење временских губитак, и смањење циклуса за доставе,
- смањење укупних трошкова, транспорта, складиштења, претовара и дистрибуције,
- побољшање квалитета услуга,
- повећање безбедности и растерећење градских улица и паркинга,
- побољшање оштрих услова за живот и рад у граду (унапређење ”квалитета живота” и ”квалитета града”),
- ослобађање заједничких површина у градском језгру (и коришћења истих за друге намене),
- боља кооперација са магистралним транспортом, за друге градске активности,

³ COST 321 –пројекат завршен 2000 године, покренут од 12 земаља (Данска, Швајцарска, Велика Британија, Француска, Финска, Немачка, Грчка, Италија, Холандија, Словенија, Шпанија, Шведска) уз помоћ ЕУ а са циљем проучавања облика и операције нових мера посвећених градској логистици ради побољшања еколошке ситуације у градовима.

- измештањем транспортних капацитета и складишта на обод града.

Основни циљ пројекта је да обезбеди пут до локалних, односно градских органа и да инструкције избора најприкладнијег робног транспорта односно остварење ефикасних и ефективних мера у градском робном транспорту базираних на логистичким принципима и начелима и његовом везом са магистралним транспортом. Тек последњих година дошло се до сазнања да је значај тока робе и градског робног транспорта у сваком граду врло изражен. Резултати и оцене ових истраживања као закључак намећу да:

1. Градске власти могу и морају имати велики утицај на вођење савременог развоја робног транспорта у градовима. Политика транспорта (локална) мора бити обликована да врши робни транспорт тамо где је потребно брзо поступати, и да рестриктивно делује када је у питању заштита становника од штетних ефеката саобраћаја.
2. Успостављају се облици селективне сарадње између индустријских и комерцијалних компанија, транспортних оператора и градских власти у одређивању најбржих и најпогоднијих начина обављања робних и транспортних токова и развоја успешних решења. У том смислу се захтева сарадња транспортних и шпедитерских предузећа коришћењем начела city логистике.
3. Градске власти на нов начин иницирају рационализацију робних токова стимулишући примену логистичких начела, побољшању градске мреже саобраћајница, стимулисањем развоја дистрибутивних логистичких центара.

Стратегија city логистике - решавање проблема теретног саобраћаја у градовима у координацији са еколошким, економским и безбедоносним факторима спроведена кроз бројне истраживачке пројекте у неколико европских земаља указала је на неколико важних констатација:

- проблеме везане за испоруке робе има око 60% градова,
- 80% друског саобраћаја се реализује на растојању до 50 км,
- 95% превезене робе остварује се са 15% покретања возила за 5 % робе покреће се 85% возила што за последицу има да 2/3 укупних трошкова испоруке отпада на манипулативне трошкове у граду,
- мали проценат градских служби који се баве проблемом урбане логистике.

3. Регионални логистички концепт

Логистика почива на системском приступу, који се у логистици испољава преко логистичког концепта. У овом поглављу дат је кратак осврт на суштину и значај појма логистички концепт. Развој једног свеобухватног и крајње одрживог концептуалног логистичког решења би свакако захтевало системски приступ, квалитетно планирање, предвиђање и одлучивање. Системски приступ, који се испољава преко логистичког концепта, пружа могућности једноставнијег моделирања и оптимизације понашања сложених логистичких система. Основа за пројектовање новог решења логистичког концепта, процесе оптимизације и рационализације логистичких процеса поклапа се и везује за процес развоја логистичких центара. Решење или развој једног или више логистичких центара намеће потребу за опремљеношћу истих савременим подсистемима транспорта и складиштења уз максимално учешће механизације и аутоматизације рада.

3.1 Суштина и значај формирања регионалног логистичког концепта

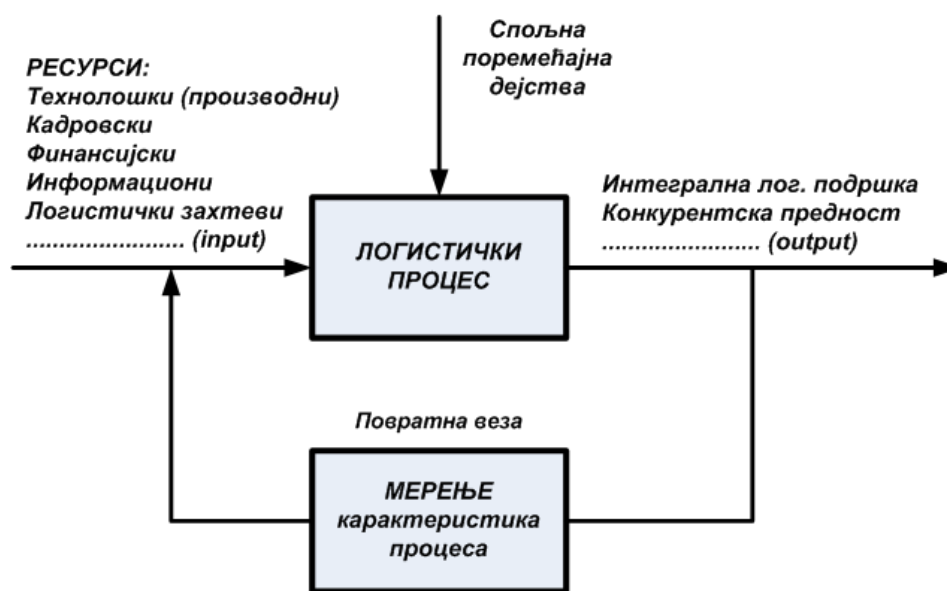
Суштину и значај појма логистички концепт у процесу развоја новог логистичког решења неког региона или уопште географског простора треба посматрати са посебном пажњом, утолико пре што се у том процесу сам појам *логистички концепт* може посматрати са различитих гледишта и нема своју јасну дефиницију. Логистика почива на *системском приступу*, који се у логистици испољава преко *логистичког концепта*. Логистички концепт заснива се на посматрању система као скупа међусобно повезаних елемената, за чије схватање није довољно само познавање елемената, већ и разумевање односа који постоје између њих. Генерално ако желимо превазићи урбано логистичке проблеме, проблеме везане за транспорт и физичку дистрибуцију робе сасвим је оправдано окренути се процесу свеобухватне мултидисциплинарне анализе урбаних логистичких процеса и система [69].

Концепт као такав – мисли се на општи израз који се може наћи у свакодневном животу, представља: *општи поглед и извесну апстрактну идеју, коју је уз примену одређених принципа потребно преточити у план који ће представљати форму за повезивање више елемената на један савремено научно заснован начин* [46]. Као што је и поменуто, различита тумачења појма логистички концепт са различитих гледишта су присутна у литератури. Циљ је изнети само нека гледишта и дати општу слику значења појма. Логистички концепт представља модел конфигурације логистичког система, који у себи садржи све елементе, тако да се може допринети

креирању структурних параметара и може омогућити креирање новог општег структурног приказа, стварајући тако основе за развој новог система [69].

Наиме, логистички систем представља функционални део хијерархијски вишег организационог система који је задужен за генерисање, праћење перформанси и усклађивање елемената подршке у интегралном облику (слика 3.1). Тиме се доприноси стварању предности организационог система у односу на конкуренцију. Уствари, логистички систем се састоји из више целина (елемената) који су међусобно логички повезани и који на неки начин утичу на реализацију и трошкове транспорта, складиштења и руковања материјалима, односно робом. Улазну компоненту система чине расположиви иницијални ресурси. Процес трансформације ресурса у временски и просторно позициониране и обједињене елементе логистичке подршке назива се логистички процес.

Излазна компонента система је резултат процеса у виду интегрисане логистичке подршке и повећања конкурентности организације. Утицаји околине представљају спољна поремећајна дејства (нпр. поремећаји у снабдевању, тржишни утицаји, законска ограничења, итд.). Поремећајна дејства у самом логистичком процесу се називају унутрашњим.



Слика 3.1 Логистика као систем [12]

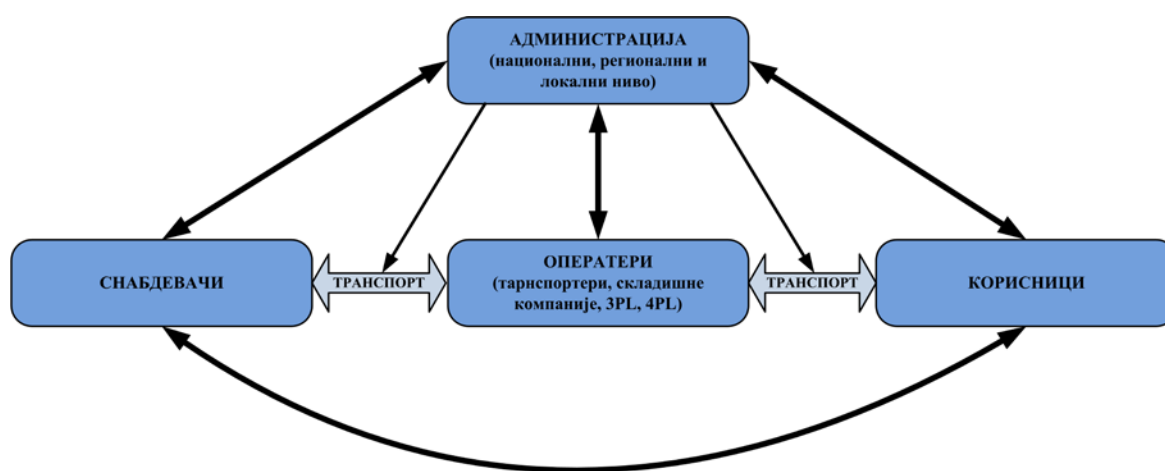
У процесу развоја регионалног логистичко - транспортног система може се рећи да логистички концепт представља поступак развоја вишедимензионог модела за процес тоталне оптимизације регионалне логистике што у првом реду утиче на развој привредних, транзитних и снабдевачких функција агломерације са циљем

постизања већих економских, просторних и техничко-технолошких и еколошких ефеката.

Нова стратегија снабдевања у урбаним срединама, као што је и поменуто у уводном делу рада, проистиче из увећаних производних могућности фабрика као произвођача (генератора) токова материјала, производа и робе, повећане куповне моћи корисника услуга и појава моћних мултинационалних компанија које се појављују као интегратори производње и услуга и међународних интеграција у глобализацији. С обзиром да се урбанизација градова десила у прошлом веку великом брзином, као и моторизација становништва и сада урбанизација региона, актуелизује се проблем животне средине уз оптимизацију снабдевања становништва у урбаним срединама.

Градска (city) логистика подразумева оптимално решавање (планирање, управљање и контролу) логистичких и транспортних (теретног саобраћаја) активности и процеса појединачних и свих ангажованих компанија у градовима – урбаном простору узимајући истовремено у обзир саобраћајно окружење, гужву и закрченост, енергетску потрошњу, факторе безбедности и екологије у оквиру тржишне економије и заштите животне средине.

Наравно градска логистика све више постаје предмет интересовања научне и стручне јавности, јер је уочен њен друштвени значај односно економску утицај а уз то утицај на еколошке захтеве и потребе обезбеђења квалитета живљења у градовима. Кључни елементи који утичу на развој нових урбаних логистичких концептуалних решења (слика 3.2) имају различиту структуру захтева (Табела 3.1).



Слика 3.2 Кључни фактори у city логистици [102]

Табела 3.1 Структура фактора city логистике [46,102]

	ОПИС ЗАХТЕВА
Општи захтеви (администрација)	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Смањење броја теретних возила у урбаним срединама, ✚ Смањење нивоа буке и загађења ваздуха, ✚ Боље снабдевање градова робом и одвођење секундарних сировина из градских средина, ✚ Стварање услова за више продајних објеката у градовима и др.
Захтеви снабдевача	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Допрема робе најкраћим путем, ✚ Могућност реализације допреме минималним бројем возила, ✚ Већа искоришћеност возила, ✚ Краће време истовара возила.
Захтеви оператера	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Минимизирање трошкова и већа економска корист, ✚ Добра кооперација и координација са осталим учесницима у процесу физичке дистрибуције, ✚ Смањење времена чекања при истовару робе, ✚ Повећање степена искоришћења капацитета и др.
Захтеви корисника	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Ниже цене логистичке услуге, ✚ Рад на развоју транспортне мреже, ✚ Бржа обрада приспелих жалби, ✚ Смањење броја губитака и оштећења на роби, ✚ Краће време реаговања снабдевача на приспели захтев, ✚ Одговарајућа фреквенција транспортних средстава и др.

Из свега претходно реченог, могуће је идентификовати у основи следеће задатке развоја новог системског решења у *city логистици* [46,58]:

- ✚ **Mobility** – захтев код кога је пажња усмерена на мобилност испоруке роба по ЈИТ (*Just In Time*) стратегији и успостављање баланса између транспортних капацитета, друмске саобраћајне мреже и броја покретања возила;
- ✚ **Sustainability** - захтев код кога је пажња усмерена на боље праћење потреба окружења и рад на развоју и примени одрживих урбаних еколошких решења;
- ✚ **Liveability** - захтев код кога је пажња усмерена на развој модела за повећање квалитета живота у урбаним срединама и повећање њихове безбедности и атрактивности.

3.2 РТЦ – предуслов развоја концептуалних решења

Развој једног свеобухватног и крајње одрживог регионалног концептуалног логистичког решења би свакако захтевало квалитетно планирање и предвиђање што би као крајњи циљ омогућило отклањање последица недовољног сагледавања робног транспорта и логистике у региону. Стварање основе за пројектовање новог решења логистичког концепта који садржи план повезивања привредних, транзитних и снабдевачких функција региона у основи се поклапа и везује за процес развоја логистичких центара (ЛЦ) који подразумевају концентracију, координацију и рационализацију токова робе.

Логистички центри као идеја и реална форма егзистирају већ дужи низ година; међутим њихови оснивачи, функција, структура и циљеви развоја су током времена добијали различите облике и различите називе и функције, како у терминолошком тако и у технолошком смислу [60]. Робни токови су узрочно-последични фактор сталног пораста просторних, временских и количинских трансформација у непрекидној смењивости активности паковања, утовара, транспорта, складиштења, поновног претовара, транспорта, истовара, складиштења, испоруке итд. Управо ова подручја се непрекидно истражују и анализирају у погледу могућности рационализације, убрзања протока робе, повећања ефикасности логистичких система, хармонизације логистичких процеса и кооперације учесника у логистичким ланцима.

Постојање различитих модела логистичких центара утиче на постојање и примену различитих облика системских решења, тј. постојећа искуства и трендови утицали су на

издвајање четири основна типа центара: главни међународни логистички центри, међународни логистички центри, међународно транспортни и дистрибутивни центри и регионални транспортни и дистрибутивни центри (Табела 3.2).

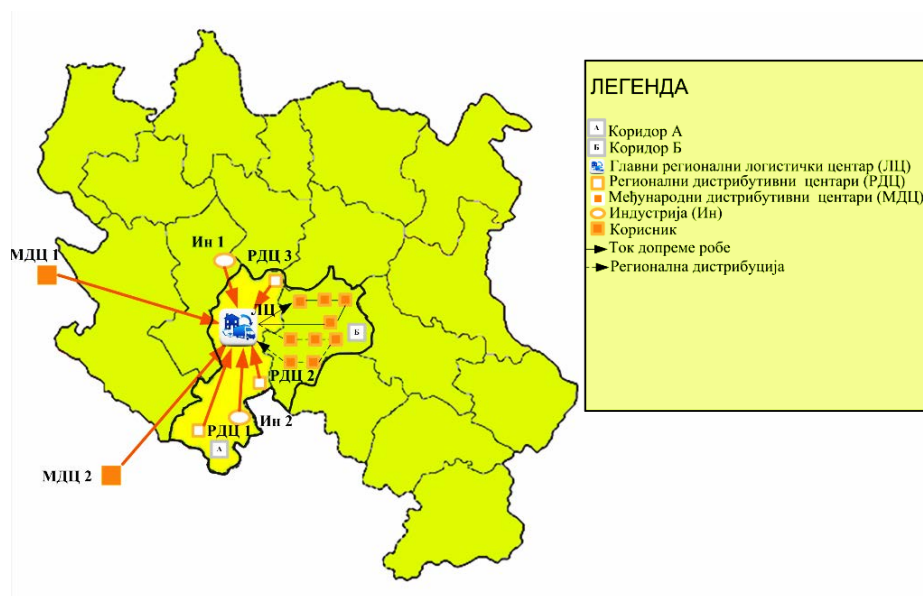
Табела 3.2 Основне карактеристике логистичких центара [120]

ТИП ЦЕНТРА	КАРАКТЕРИСТИКЕ
Главни међународни логистички центар	<ul style="list-style-type: none"> • Положај на главним осовинама привредног, економског и транспортног развоја, • Усмерени на реализацију интерконтиненталних робних и транспортних токова, • Заступљен висок ниво технологије • Потребни велики капацитети и површине за транспортне, претоварне и складишне операције, • Положај на главним европским транспортним осовинама
Међународни логистички центар	<ul style="list-style-type: none"> • Усмерени на реализацију робних токова у различитим интернационалним мрежама • Наглашена сабирно дистрибутивна функција транспорта • Савремене технологије комбинованог транспорта • Положај на важним међународним транспортним правцима
Међународни транспортни и дистрибутивни центар	<ul style="list-style-type: none"> • Има развијене функције транспорта, складиштења, претовара и дистрибуције • Има доминантно заступљен друмски вид транспорта, • Усмерен на технологије интермодалног транспорта • Положај у гравитационим зонама привредних региона (центара) и урбаних агломерација, • Доминантна сабирно дистрибутивна функција на подручју од 50 км
Регионални транспортни и дистрибутивни центар	<ul style="list-style-type: none"> • Има доминантно заступљен друмски вид транспорта • Величина и структура система зависи од величине и карактеристике тржишта, броја становника агломерације

Измене у структури производње и снабдевања крајњих потрошача условљавају примену модерне логистике, односно савремену и оптималну технологију протока материјала. Ово нарочито има вишеструки значај у урбаним (градским) срединама и

густо насељеним регионима. Велики привредни региони, индустријске зоне и велике урбане средине одувек су били центри извора и понора значајних робних токова и њихове трансформације из макро у микродистрибуцију и обрнуто.

На местима сучељавања токова макро и микродистрибуције данас се постављају захтеви за кохерентном логистичком услугом. Овим захтевима највише одговара форма робно-транспортног центра као најкомплекснијег облика логистичког центра. Развој мреже логистичких центара на националном и међународном плану представља предуслов оптимизације транспортних и логистичких ланаца.



Слика 3.3 Локација логистичких система [58]

Функционисање и развој различитих форми и концепција логистичких центара носи са собом читав низ *директних и индиректних ефеката* који се односе на саобраћајни систем, економске показатеље и еколошке услове [12].

- *Директни ефекти* односе се на повећање ефикасности, побољшање спектра логистичке понуде, рационалније коришћење и одржавање ресурса (боље коришћење возног парка, примена нових система транспорта и система интермодалности, што омогућује оптималну расподелу транспортних захтева по видовима саобраћаја) и рационализацију "city logistics" процеса у опслуживању градова и коначно већег квалитета услуга.
- *Индиректни позитивни ефекти* се остварују кроз редукцију оптерећења саобраћајне мреже развојем мреже по базним правцима, посебно мање оптерећење градског језгра, што резултира мањим загађењем ваздуха и смањењем буке. Све ово

омогућује нови квалитет логистичких услуга које карактерише ефикасност задовољења захтева купаца уз повољније еколошке услове. При томе се у реализацији робног рада у логистичким центрима примењују савремене претоварно-манипулативне и складишне технологије.

И поред суштинских разлика модела логистичких центара (оснивачи и власници, организационе форме, припадност виду транспорта, врсти робе, структури и обиму логистичких функција, локацији у односу на саобраћајну инфраструктуру и др.) хијерархијски посматрано за потребе овог рада треба издвојити, а никако не умањити значај и осталих, регионалне транспортне и дистрибутивне центре са својим карактеристикама.



Слика 3.4 Карактеристике регионалних транспортних и дистрибутивних центара

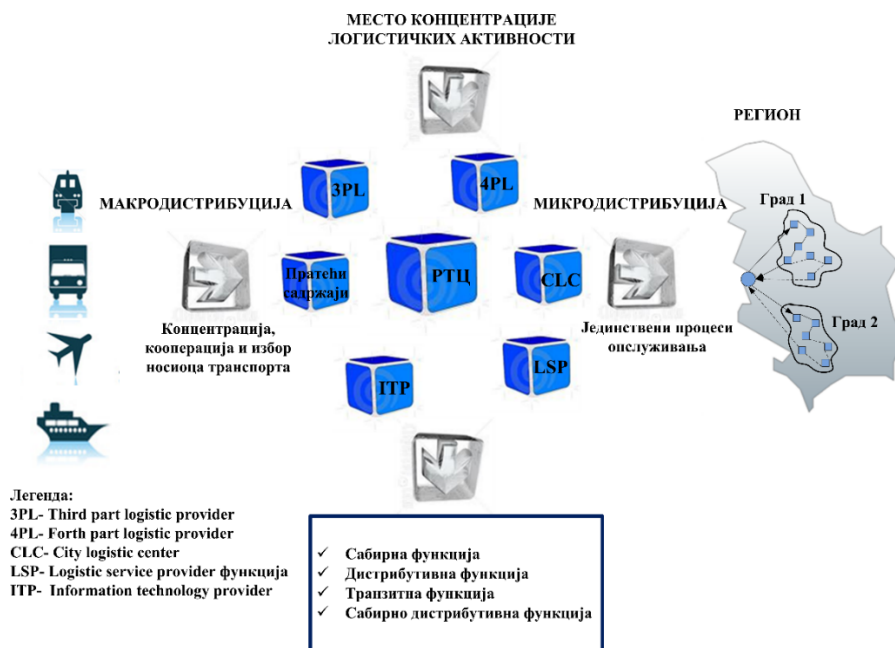
Оцена развоја и изградње логистичког центра на подручју великих агломерација, подразумева да носиоци одлучивања и потенцијални инвеститори имају дефинисан систем циљева. Циљеви су саставни део модела стратешког и оперативног одлучивања, на чијој основи се развијају критеријуми и утврђују релевантне оцене за и против развоја логистичког центра. Оснивањем и развојем робно-транспортних центара као главног ЛЦ-а вишеструко се остварују циљеви саобраћајне политике једне земље, циљеви урбанизације, циљеви регионалне привреде као и циљеви заштите природне и животне средине. За место и улогу робно-транспортних центара у логистичким токовима постоје две основне опције [12]:

- робно-транспортни центри се налазе у простору привредних система који шаљу или примају робу, као што су индустријски комплекси, трговачки центри итд.,

- робно-транспортни центри се налазе негде на путу између пошиљаоца (предузећа) и примаоца робе (потрошача), и у функцији су логистике набавке, логистике дистрибуције или логистике повратних материјала.

У урбаној логистици - у градским срединама преко одговарајућих категорија логистичких центара и њихових специјализованих РТЦ-а тежи се остварењу ефеката свих структура сагласно потребама градова и региона.

Основне карактеристике и сврха РТЦ-а је тзв. "ефекат међусобног повезивања" или обједињавање свих битних логистичких делатности у дистрибуцији и транспорту што се остварује на тај начин што су понуђачи услуга и корисници РТЦ-а и физички присутни на једној локацији. У складу са логистичким трендовима и потребама, добијање одговора на стратешка питања везана за примену логистичких стратегија захтевају детаљне анализе и истраживања, што је случај и са процесом доношења стратешких одлука приликом развоја новог регионалног концептуалног решења.



Слика 3.5 РТЦ- место концентрације логистичких активности

Оптимизација транспорта и дистрибуције материјалних добара је основни циљ и кључни допринос формирања РТЦ-а, са свим њиховим пратећим делатностима и подсистемима, применом савремених технологија транспорта на логистичким принципима. У једном ужем или ширем гравитационом подручју РТЦ обезбеђује такав квалитет услуге који одговара савременим захтевима дистрибуције и транспорта. РТЦ обезбеђује сврсисходну, оперативну и економски оправдану кооперацију између носилаца транспорта и пратећих делатности. Позитивни ефекти,

велике уштеде у трошковима дистрибуције, повећање квалитета услуге, уштеде енергије у примени савремених технологија, и др., у потпуности надокнађује велика инвестициона улагања у формирању целокупног комплекса РТЦ-а. Развој логистике и интермодалног транспорта у свету карактеришу следећи трендови: увођење и примена нових логистичких стратегија, формирање и изградња логистичких центара и мрежа, примена интермодалног транспорта, развој логистичких технологија, едукација логистичких стручњака, оснивање логистичких друштава и удружења.

Логистичка стратегија и нови трендови на тржишту привредно развијених земаља директно утиче на обликовање, пројектовање, дизајнирање система и технологија транспорта, складиштења, претовара, наручивања, паковања и др. Привредни систем под све јачим дејством захтева тржишта у погледу квалитета логистичке услуге и у погледу логистичких трошкова подлеже променама у правцу примене нових стратегија (JIT – *Just In Time*, 3PL, 4PL, МОВ – *Make Or Buy* и др.). Примена нових стратегија подразумева промене и прилагођавање логистичких система у погледу структуре система, процедура, знања, система вредности и стварања стручњака који су способни да креирају и примењују нове логистичке технологије. Наравно у прилог овој чињеници иде и констатација да су нове логистичке стратегије оријентисане према робним токовима као и избору локације ЛЦ. У складу са логистичким трендовима и потребама, добијање одговора на стратешка питања везана за примену логистичких стратегија захтевају детаљне анализе и истраживања, што је случај и са процесом доношења стратешких одлука приликом развоја новог регионалног концептуалног решења.

Поштујући резултате истраживачких пројеката у ЕУ везаних за проблеме урбане логистике као и искуства и предложене методологије решавања проблема логистике од стране домаћих истраживача [46], концепт развоја једног одрживог решења регионалног логистичког концепта (слика 3.6), састојао би се из следећих фаза (корака):

- *почетна фаза - припрема истраживања* (анализа и приказ постојећих решења логистичког концепта – искуства и трендови развоја у државама ЕУ као и приказ досадашњих истраживања у Србији, дефинисање потреба и интереса датог региона, преглед законодавства и стратегија развоја на локалном и националном нивоу као и карактеристике региона (границе, економски потенцијал региона, привредна структура итд.),
- *фаза 1* – анализа логистичких токова у оквиру региона (анализа генератора логистичких токова, утврђивање квантитативних и квалитативних карактеристика робних токова и др.)
- *фаза 2* – дефинисање новог решења регионалног логистичког концепта (дефинисање критеријума за развој региона, сагласно дефинисаним критеријумима даје се предлог потенцијалних локација логистичких центара регионалног нивоа и избор оптималне локације)

- фаза 3 – структура дистрибутивног (логистичког) центра - димензионисање у склопу оптималне локације, избор техничке инфраструктуре и елемената у складу са задацима
- фаза 4 – дефинисање и вредновање симулационог модела (симулациони експеримент) са анализом ефеката промене карактеристика транспортног система.



Слика 3.6 Дефинисање логистичког концепта регионалне целине

Структура решења логистичког концепта зависи од структуре и карактеристика робних токова који се појављују или ће се појављивати у наредном периоду, стратегије развоја регионалне целине, броја, положаја и распореда корисника услуга итд. [46]. Претпоставка је да ће у свакој варијанти решења новог логистичког концепта бити заступљен логистички центар, јер се стварање основе за пројектовање профила у основи везује и поклапа са развојем логистичког центра тј. избор оптималне локације центра или логистичких провајдера представља структурно питање за развој.

Предложене варијанте са својим предностима и недостацима морају бити у сагласности са основним критеријумима и коначно решење подразумева њихову оптимизацију. На другој страни, решење једног или више логистичких центара намеће потребу за опремљеношћу истих савременим подсистемима транспорта и складиштења уз максимално учешће механизације и аутоматизације рада. У том смислу разматрање и утврђивање квантитативних и квалитативних карактеристика самог центра и подсистема транспорта и складиштења представља кључну фазу пројектовања и развоја новог решења урбане логистике.

Генерално, из претходних редова је потребно уочити и издвојити за потребе овог истраживања полазну хипотезу да у домену логистике и логистичких система већина проблема је по природи вишекритеријумска и да за њихово решење тј. доношење одлуке у конфликтним условима треба развити флексибилније инструменте од строго математичких техника чисте оптимизације.

4. Вишекритеријумско одлучивање у процесу развоја новог решења регионалне логистике

Стварање основе за пројектовање новог решења логистичког концепта у основи се поклапа и везује за процес развоја логистичких центара (ЛЦ), који обједињавају различите подсистеме и пружају комплексне логистичке услуге. Кључни део сваке логистичке стратегије, односно део великог ланца снабдевања који спаја произвођаче, испоручиоце и потрошаче такође представља и транспортно-складишни систем. Стање савремене транспортне технике карактерише стални развој уређаја за транспорт и манипулацију и чини основу за планирање и пројектовање. Генерално, при разматрању сваког проблема у домену логистике и логистичких система (било избора локације или опреме у оквиру транспортовања и складиштења материјала), постоји велики број технички остваривих алтернатива и задатак пројектанта је да из скупа могућих решења изабере оно које најбоље испуњава техничке и економске услове дефинисане пројектним задатком.

4.1 Примена метода вишекритеријумског одлучивања – терминологија и концепт

4.1.1 Уводна разматрања

Једнокритеријумско или интуитивно одлучивање у садашњем времену само случајно може бити исправно, како због врло сложених релација и интерактивних односа међу концептима реалног света тако и због чињенице да нема доминантних критеријума у већини данашњих проблема [60]. Постојање више алтернатива и критеријума, од којих неке треба максимизирати а неке минимизирати, значи да се одлуке доносе у конфликтним условима и да се као што је раније речено за решавање таквих вишекритеријумских задатака морају применити флексибилнији инструменти од строго математичких техника чисте оптимизације.

У такве задатке свакако спадају и проблеми избора локације логистичког центра или опреме за руковање (транспорт или манипулацију) материјалом у оквиру транспортно-складишног система истог, тј. проблеми које карактерише постојање великог броја технички остваривих алтернатива, при чему је задатак пројектанта да из скупа могућих решења изабере оно које најбоље испуњава техничке и економске услове. Дакле потребно је пажњу усмерити на значајно питање при поступку моделирања ланца снабдевања - потребу доношења правилних одлука упркос појави одређених неодређености.

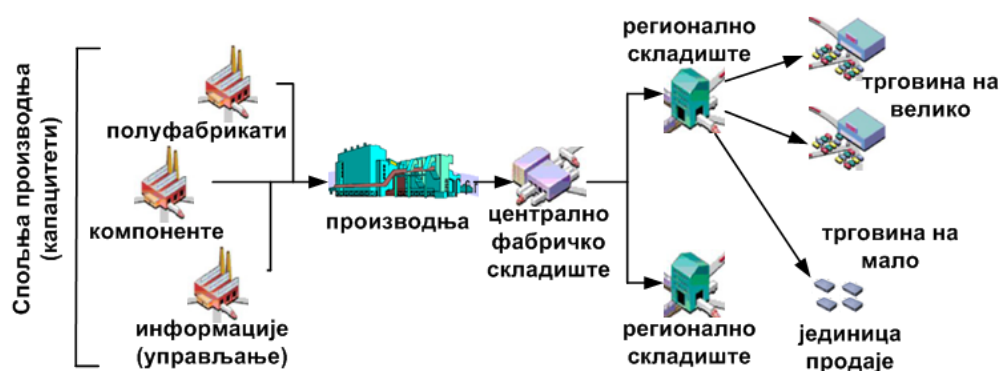
Позадина сваке квалитетне и одрживе одлуке је сложен процес одлучивања тј. синергија деловања људског фактора, математичких метода и рачунарских алата. Поступак или процес формирања новог концептуалног решења регионалне логистике у основи захтева разматрање следећих питања [46]:

- Како планирати систем реализације логистичких токова?
- Која је оптимална организациона структура новог решења?
- Како управљати логистичким процесима и реализовати модел информационог повезивања?

Генерално, структуру новог решења за одређени регион у основи одређује: структура и карактеристике постојећих и будућих технолошких захтева, закон настанка технолошких захтева, број и положај корисника логистичких услуга по општинама, стратегије развоја поменутог региона итд.

За потребе развоја новог концептуалног решења регионалне логистике у овом истраживању, кључни задатак је дефинисање потенцијалних локација – логистичких зона, које имају своје предности и недостатке (одређени ниво логистичке јачине и стабилности). У поступку њиховог дефинисања битна је чињеница да свака од потенцијалних локација мора задовољити основне критеријуме за развој. Пошто је сама природа процеса одлучивања у домену логистике и логистичких система вишекритеријумска, то одлуке свакако треба доносити на бази резултата примене одговарајућег вишекритеријумског приступа. Тако предложене зоне у следећем кораку је потребно тестирати вишекритеријумском анализом у циљу избора оптималне локације. Наиме, избор оптималне локације је структурно питање развоја новог решења тј. од њеног избора зависи и квалитет логистичке услуге. Дакле, избор локације у земљама у транзицији каква је Србија је дуготрајан процес, и огледа се кроз бројне отежавајуће факторе (низ техничких, друштвених и законодавних питања и др.). Сам процес избора локације захтева директно учешће свих заинтересованих страна, укључивање економског утицаја окружења и примену бројних техника и поступака оптимизације који треба да смање утицај субјективности која најчешће води доношењу погрешних одлука и исто тако да уваже постојање више, најчешће супростављених критеријума. Дакле, први задатак у стратешком приступу оптимизације ланца снабдевања представља одређивање оптималне локације објеката у ланцу. Дефинисаним моделом у овом истраживању разматра се проблем лоцирања будућег регионалног логистичког центра са дистрибутивном функцијом, потребног за остварење потражње за конкретним логистичким услугама у дефинисаном подручју (региону).

На другој страни, све сложенији услови пословања и конкуренција на тржишту захтевају висок степен ефикасности у свим деловима ланца снабдевања. Ланци снабдевања представљају носиоце реализације робних токова који су генератори захтева за услугама транспорта, складиштења, претовара, комисионирања и других логистичких активности. Дакле, токови робе представљају логистичку активност без које није могуће успешно пословати у савременим тржишним условима. Ток материјала у логистичком ланцу обезбеђује примена транспортне технике прилагођене потребама унутрашњег и спољашњег транспорта (саобраћаја). Модел ланца снабдевања представља логистички ток са транспортом од производње укључујући и спољну производњу из кооперације до дистрибуције трговини на мало и/или трговини на велико (слика 4.1).

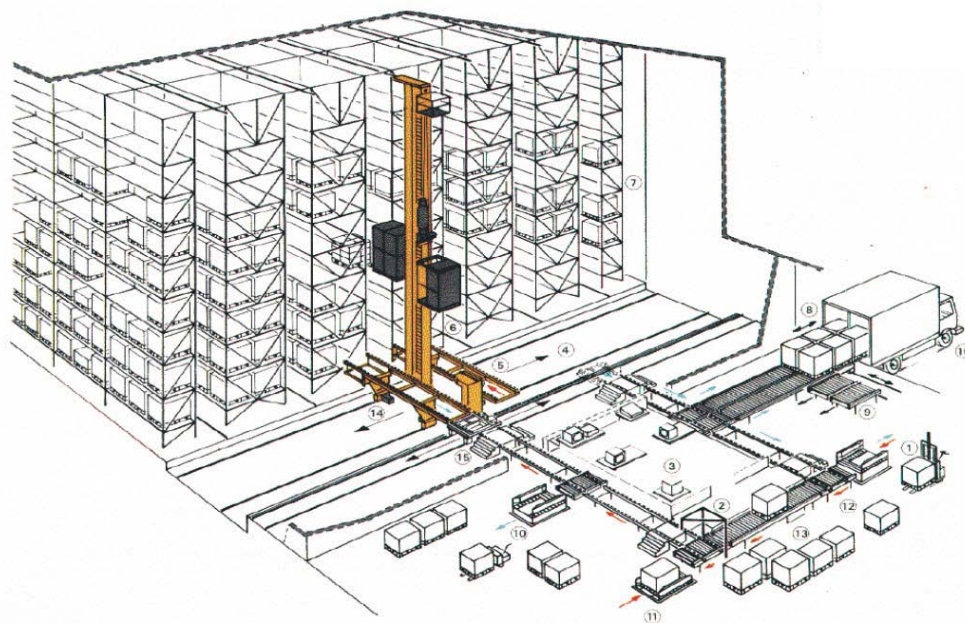


Слика 4.1 Модел ланца снабдевања-шема савременог ланца снабдевања (Supply Chain-a)

На данашњем нивоу развоја науке и технике, а у циљу оптимизације и смањења трошкова, неопходно је обједињавање токова материјала у домену унутрашњег и спољашњег транспорта, или другим речима свеобухватно посматрање проблематике кретања робе од њеног настанка до потрошача. Транспортни системи обухватају машине, уређаје и опрему са основним задатком да изврше пренос и омогуће привремено одлагање материјала. Неки од сегмената транспортних система су руковање материјалом у производњи, претовар, комисионирање, складиштење, привремено одлагање, паковање, палетизација и др. Тачније, повезивање подсистема складиштења са осталим елементима логистичког процеса се по правилу одвија уз ангажовање транспортног система. Интеграцијом ова два процеса настају транспортно-складишни процеси. Поменути процеси представљају широко подручје у коме је могуће остварити значајне уштеде и то кроз оптимизацију токова материјала, избора локације или адекватне опреме за руковање материјалом, а у оквиру транспортно - складишног система.

Транспортно-складишни системи обухватају машине, уређаје и опрему са основним задатком преноса и привременог одлагања материјала (слика 4.2) [122]. Основни задатак транспортног система је премештање терета и обједињавање (сабирање, скупљање) и раздвајање (дељење) транспортних токова материјала.

Такође, приликом решавања транспортног проблема, а посебно избора транспортних средстава као елемената ланца снабдевања не постоји идеално решење тј. на одређена питања се мора одговорити пре него што се почне концепцијски решавати транспортни систем. Транспортни ланац се дефинише као синхронизована, временски и просторно усклађена реализација операција транспорта, претовара и складиштења којима се обезбеђује проток робе од испоручиоца до примаоца. Значајна побољшања је могуће остварити само посматрањем транспорта и складиштења као интегрисаног процеса, јер примена одређених мера у засебним процесима може довести до негативних ефеката на други.



Слика 4.2 Пример транспортног система и токова робе у изведеном складишту

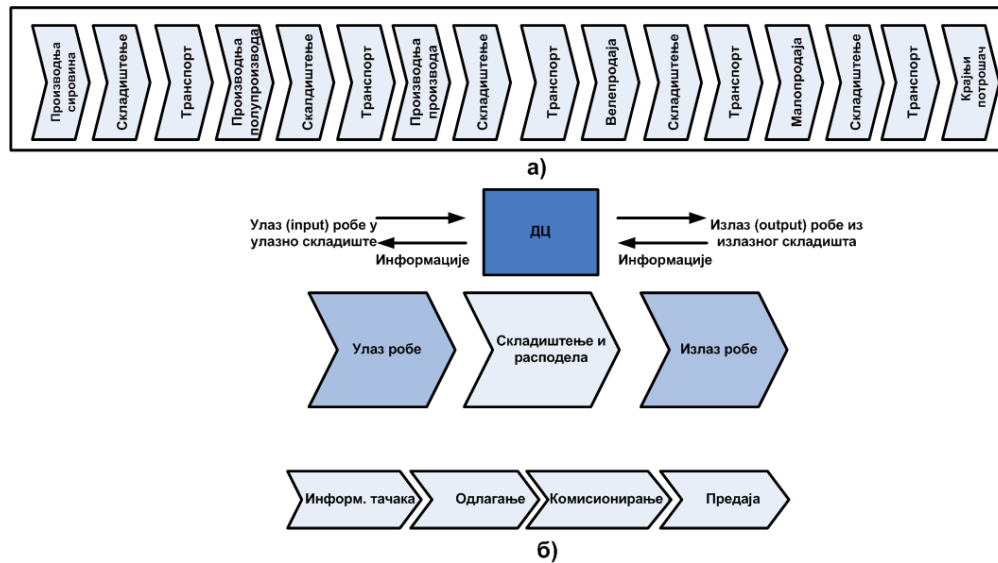
Моделирање ланца снабдевања па самим тиме и решавање широког спектра логистичких проблема, ослања се на оптимизацију, симулацију и хеуристику. Вишекритеријумско одлучивање и вишекритеријумска анализа значајно олакшавају доношење одрживих одлука и с обзиром на развој нових научних дисциплина у области информационих технологија као и на савремене услове компјутерске инструментације он је у великој мери убрзан и олакшан.

Основни циљ изложеног истраживања јесте израда комбинованог приступа одлучивања као подршке при решавању кључних задатака развоја новог логистичког концепта тј. одређивања локације центара и адекватне технологије односно уређаја транспортног ланца. Осим тога важно је да модел има примену у решавању широког спектра реалних проблема. Главни правци ка којима су усмерена истраживања су: примена и модификација постојећих метода вишекритеријумске оптимизације, објективније упоређивање утицаја критеријума, укључивање у модел појединих параметара који могу имати квалитативне и квантитативне вредности уз анализу осетљивости у циљу идентификације најкритичнијих и најјачих критеријума у процесу одлучивања. На тај начин створила би се подлога за доношење адекватних тактичких и/или оперативних одлука у процесу развоја новог концептуалног логистичког решења.

У безброј свакодневних ситуација одлуке доноси појединац, групе људи, привредни и други субјекти, управе региона, држава и сл. У циљу доношења одлука спроводи се одговарајући процес одлучивања, што код сложенијих ситуација укључује коришћење модела у разматраном систему и оптимизације посредством решења усвојеног на моделима. С обзиром на значај као и услед неопходности лакшег разумевања представљене методологије (приступа), потребно је представити теоријске основе везане за ланце снабдевања, токове робе и транспортно-складишне процесе, њихове подсистеме и функције, са посебним освртом на разграничење и дефиницију појмова логистике и физичке дистрибуције робе. Посебан значај је дат дефинисању логистике у којем доминантно место имају токови робе и утврђивање улоге транспорта и складиштења у реализацији транспортног ланца.

4.1.2 Робни токови, подсистеми и функције транспортно складишних система у ланцима снабдевања

Из претходних разматрања, као прво, јасно је да се урбана логистика заснива на примени логистичког концепта опслуживања (елемената) у простору. У том смислу и логистички концепт у региону подразумева системски приступ у повезивању и координацији свих логистичких елемената и процеса и њихово унапређење у просторним границама региона. Реч је дакле, о вишедимензионалном сложеном и великом логистичком систему који обухвата ланац и/или ланце снабдевања у региону. Ланци снабдевања (*Supply Chain*) који се односе на регион, без обзира на мноштво постојећих дефиниција, односе се и обухватају структуру објеката производње сировина, материјала, полуфабриката, готових производа, добављачких система, и служби, дистрибутивних система и служби, корисника, токова разноврсних роба увезаних преко информационог система и лоцираних на подручје региона (слика 4.3а).



Слика 4.3 Ланац снабдевања (а) и Дистрибуциони центар (ДЦ (б)) као чворна тачка у ланцима снабдевања са својим улазом и излазом као местима пресека

Приликом структурирања ланца снабдевања мора се водити рачуна о захтевима тржишта, корисничком сервису, организацији транспорта, ценовним ограничењима итд. Ови фактори подложни су непрестаним, у данашње време, брзим и честим променама које могу бити неочекиване и непредвидиве.

Савремени ланац снабдевања представља садашњу фазу примене логистичког концепта. Из дате структуре ланца снабдевања (слика 4.4) очигледна је сва сложеност проблема њихових дефинисања (одређивање елемената модела). У свим евидентним проблемима истиче се питање дистрибутивног центра (ДЦ-а) као и питања дистрибутивног ланца.

Дакле, у склопу ланца снабдевања истакнуто место имају дистрибутивни центри. Формирање и димензионисање једног дистрибутивног центра у директној је вези са процесом дистрибуције робе. Ту се узима у обзир мноштво фактора, од којих су најистакнутији:

- постојећи устаљени (фиксни) захтеви регионалног-градског окружења (број производа, њихова величина и фреквенције изузимања и претовара);
- захтеви за капацитетом-држањем и протоком робе, (врсте робе, број производа, број налога);
- основне површине зграда које условљавају концепт технологије складиштења.



Слика 4.4 Пример ланца снабдевања у здравству - сегмент дистрибутивног ланца [12]

Наравно, најчешћа питања на које је при томе потребно дати одговоре су:

- број и положај локација за смештај дистрибутивних центара по регионима,
- величина дистрибутивних центара,
- одређивање тока материјала у оквиру дистрибутивне мреже,
- распоред купаца према дистрибутивним центрима (гравитационо подручје ДЦ-а),
- залихе које су неопходне у њима ДЦ-а,
- организација структуре и одвијања рада центра и укупне мреже,
- вредновање (оцена) дистрибутивне мреже (трошкови, квалитет, услуга),
- захтеви које треба да испуне системи информативне повезаности.

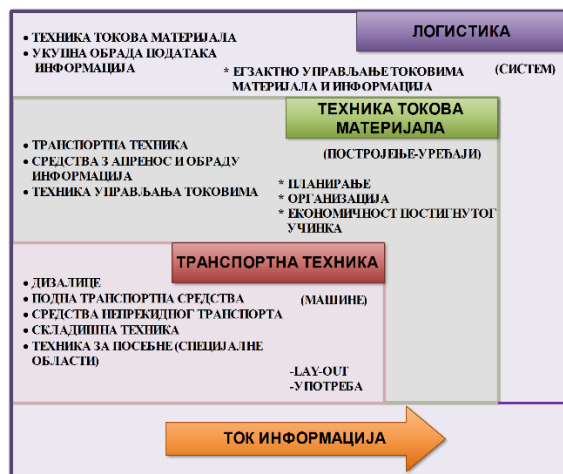
Из свега напред истакнутог очигледно је да се логистика као појам, израз и реч употребљава у два значења у једном, то је научна дисциплина, а у другом то је специфична функција у оквиру техничких, организационих, друштвених и других система, чији је основни циљ подршка повећању ефикасности самог система.

Логистика је систем активности који омогућава обликовање, пројектовање, усмеравање, вођење и регулисање протока материјала, робе, енергије и информација унутар система и између система [12]. Логистика је, у ствари, један уређени систем, састављен од читавог низа логичних и међусобно повезаних система. Елементе система логистике треба пратити и проучавати са више становишта-функционалног, економског, тржишног и сл. Логистика намеће изоловано посматрање снабдевања, производње, трговине, транспорта, складиштења, дистрибуције робе и примењује се системско свеобухватно посматрање свих токова материјала-робе, енергије и информација.

Развој логистике као научне дисциплине за планирање, управљање и надзор токова материјала, енергије и информација базиран је на примени операционих истраживања и то на самом почетку развоја у области оптимизације робног транспорта, а касније, посебно крајем прошлог века, и у области унутрашњег транспорта. Овакво обједињавање појмова логистике и транспортне технике изазвало је код бројних аутора несугласице око јасног дефинисања подручја појединих области.

Транспортна техника је обухватала проблематику пројектовања, производње и експлоатације транспортних машина, уређаја и складишне опреме као појединачних уређаја који су омогућавали механизацију транспортно-складишних радова. Неопходно разграничење појмова [33] на линији: *логистика - техника токова материјала - транспортна техника*, дато је на слици 4.5. Дакле, појам логистика означава систем који обједињава технику тока материјала и свеукупну обраду података, па се самим тим и бави управљањем токова материјала и информација. Појам техника тока материјала бави се планирањем, организацијом и економијом (уштедом), а у свом саставу има: транспортну технику, информациона средства и технику управљања.

Појам транспортна техника односи се на одређене транспортне машине (дизалице, подна возила, транспортери, складишна техника и специјалне машине и др.), а задаци у оквиру транспортне технике јесу њихова конструкција и примена. Као што је споменуто у претходним редовима у циљу оптимизације и смањења трошкова, неопходно је обједињавање токова материјала у домену унутрашњег и спољашњег транспорта, или другим речима свеобухватно посматрање проблематике кретања робе од њеног настанка до потрошача.

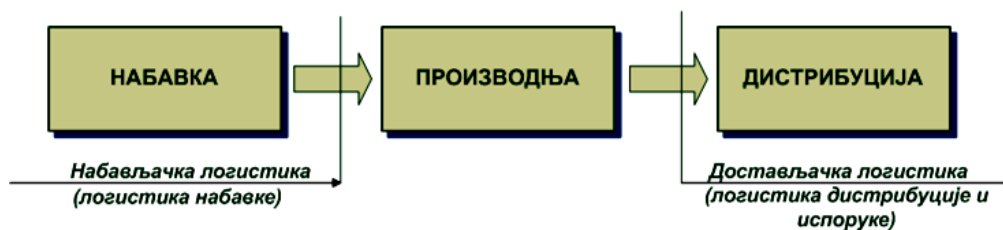


• ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМА
* ПОЉА РАДА

Слика 4.5 Разграничење појмова: логистика-ток материјала-транспортна техника

На другој страни, неопходно је такође и разграничење појмова логистике и физичке дистрибуције робе. Бројни аутори дефинишу различито појмове који у суштини представљају сличне активности а имају скоро идентичан циљ. Логистика је повезана са обављањем низа физичко-дистрибутивних активности који су у функцији физичког трансфера производа од произвођача до потрошача [90]. Савет за управљање логистиком дефинише логистику као ”екстензију физичке дистрибуције и као логику управљања финансијским и људским ресурсима који су ангажовани у физичкој дистрибуцији, производњи и операцијама набавке” [122]. Под физичком дистрибуцијом робе се подразумевају активности којима се омогућава достава сировина до процеса производње, а готових производа од произвођача до потрошача под најповољнијим условима [35]. Логистички процес у оквиру производног система се завршава пословима складиштења готових производа (уколико није реч о производњи без складишта) и припремом за испоруку купцу или упућивање дистрибуционој мрежи. Ту престаје логистика производње и почиње логистика физичке дистрибуције. Задатак физичке дистрибуције је да права роба у одговарајућем паковању правовремено и уз уговорене трошкове буде испоручена пословном партнеру.

Логистици производње, дакле, претходи фаза набавке која обезбеђује неопходне ресурсе идентификоване у процесу планирања ресурса, а следи је фаза дистрибуције која повезује производњу и потрошњу, односно коришћење производа. Набавка, производња и физичка дистрибуција представљају подручја (елементе) интегралног логистичког система (слика 4.6).

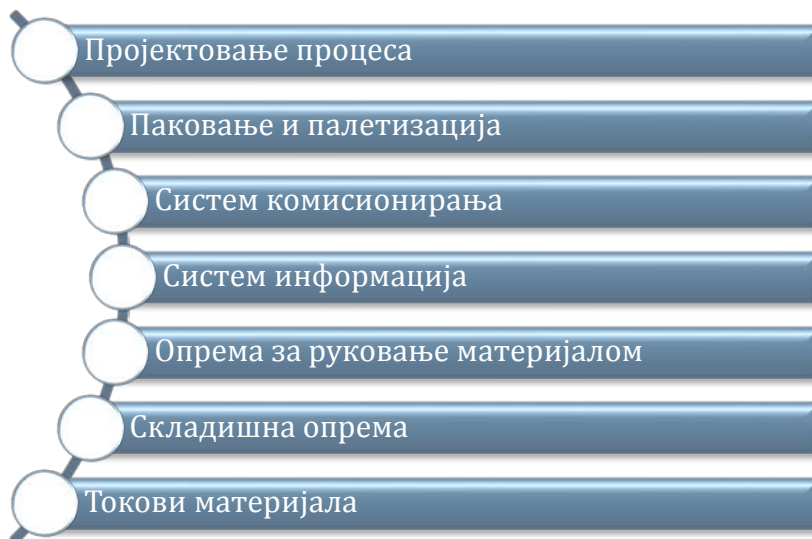


Слика 4.6 Структура интегралног логистичког система

Савремена дефиниција логистике посматра транспорт као једну од најзначајнијих активности у логистичком систему физичке дистрибуције робе. На другој страни складиште, као један од подсистема логистичког система, може се дефинисати као чување различитих материјалних добара са циљем да се обезбеди

синхронизација процеса који претходе и процеса који се реализују након процеса складиштења.

Увођењем нових технологија и улагањем средстава у транспортну опрему, постављају се основе за пројектовање сврсисходног тока материјала и коришћење расположивог потенцијала за рационализацију. Да би се у савременим транспортно-складишним системима избегли најчешћи проблеми потребно је обезбедити успешну имплементацију и координисан рад различитих подсистема и функција (слика 4.7).



Слика 4.7 Подсистеми и функције транспортно складишних система у ланцима снабдевања

Потребно је пажњу усмерити на значајно питање у ланцу снабдевања - *потребу доношења правилних одлука* упркос појави одређених неодређености. Истраживања у овом раду покривају проблематику моделирања ланаца снабдевања па самим тиме и решавање логистичких проблема у оквиру система складиштења и дистрибуције који се ближе може расчланити на:

- *системе складиштења* (складиштење роба - материјала са аспекта логистике представља планирани процес којим се временским задржавањем робе реагује на стање набавке, производње или тржишта. Систем складиштења састоји се из ресурса, као што су технички уређаји, персонал итд. и одвијања радних операција.)
- *дистрибуциони центар* (представља чворну тачку логистичких активности са основном функцијом да временски премости расположивост робе у односу на захтеве купаца односно да врши расподелу робе према захтевима купаца. Реализација дистрибуционог центра остварује се уз помоћ различитих

складишних система који су димензионисани на основу захтева производње и купаца.)

Логистички начин управљања процесима токова материјала и информацијама у производњи, а посебно у дистрибуцији постао је најважнији фактор конкурентности с циљем побољшања перформанси токова материјала. Потребно је поћи од чињенице да у основи сваки процес води ка остварењу неког циља и уколико је на неки начин могуће утицати на врсту или редослед дешавања промена онда је и крајњи исход другачији. Поменути процеси представљају широко подручје у коме је могуће остварити значајне уштеде и то кроз оптимизацију токова материјала (управљање залихама материјала), али исто тако и кроз поступак избора локације објеката или адекватне опреме за руковање материјалом у оквиру транспортно - складишног система.

По својој природи логистички задаци су веома различити па се може говорити о њиховој интердисциплинарности. Логистички задаци на различите начине повезују привреду са неопходном техником и пратећим информацијама. Тако се у пресеку ових области дефинише логистички систем (слика 4.8), који мора бити способан да брзо и компетентно реагује на сваки поремећај планираног тока материјала и информација. Већ сам преглед логистичких задатака показан на слици указује на њихову интердисциплинарност.

Када је у питању област технике, онда она може бити: класична транспортна техника, складишна техника, техника која се користи за комисионирање, производна техника или аутоматизациона техника.



Слика 4.8 Интердисциплинарност логистичких задатака [33]

Привреда мора да буде одговарајуће организована, да користи одређене стратегије које је чине економичном и да се одвија управљањем. И техници и привреди стоји на располагању информатика са својим системима за управљање и развој неопходних софтвера [33]. Важно је напоменути чињеницу да као и код других проблема менаџмента, проблеми одлучивања код логистичке поставке задатака могу се поделити на стратешке, тактичке и оперативне проблеме:

- *стратешка одлучивања* су дефинисана на дужи рок (дугорочно), (нпр. физички layout једног складишта)
- *тактичка одлучивања* крећу се унутар граничних услова који су задати стратешким оквиром, (нпр. избор методе планирања за распоређивање робе по складиштим местима).
- *оперативна одлучивања* имају највиши степен расчлањавања и тичу се одвијања сопственог управљања (нпр. метода планирања рута - путања) при комисионирању роба).

4.1.3 Доношење одлука-општи принципи

Доношење одлука или одлучивање је процес бирања између више могућности. Може се рећи да представља темељни мисаони процес који разликује људска бића од осталих створења и састоји се од препознавања и бирања могућих решења која воде до неког жељеног стања. Оно што је најтеже и најодговорније у поступку руковођења јесте доношење одлука, а крајњи резултат је одабир акције или стратегије коју треба предузети и применити у пракси. Изучавање процеса одлучивања за који се може сматрати да је стар колико и човечанство, почело је тридесетих година XX века, када су формирана одређена правила (дефинисана кроз математичка знања и теорију економије) на основу којих је доносиоцу одлуке омогућено да одабере најбоље решење. Одлучивање је дуго посматрано као друштвена а не техничка активност. Разлог лежи пре свега у чињеници да сам процес карактерише непредвидивост и комплексан избор између различитих алтернатива које су под утицајем мањег или већег броја фактора, као и присутна синергија неколико фактора: човек, математичке методе и рачунарски алати.

Дакле, појмови одлука и одлучивање се користе свакодневно, а да при томе они који их изговарају нису у потпуности сигурни шта је њихово право значење. Одлучивање или доношење одлука представља резултат спроведене акције или стратегије у практичној примени. Бројне су дефиниције одлучивања, али можда најједноставнију је изрекао Raiffa Н. (1957): “*Одлучивање је избор између одређеног*

броја алтернатива”. Од доношења праве одлуке у право време готово увек зависи и остварење планираног циља.

Фазе у поступку одлучивања и доношења одлука приказане су на слици 4.9. Свакако прва и најделикатнија фаза процеса одлучивања која утиче на поступак решавања разматраног проблема јесте што конкретније дефинисање и идентификовање истог. Дефинисањем циљева и утврђивањем критеријума одлучивања потребно је дефинисати адекватан модел одлучивања којим је могуће на што бољи начин извршити евалуацију могућих решења. Генерисање листе могућих решења је фаза у којој се обликују могуће варијанте одлуке односно решења проблема. Након генерисања могућих решења вреднују се сва предложена решења која се оцењују. Потребно је што објективније упоредити утицаје критеријума и презентираним методологијом односно скупом оперативних процедура извршити доношење одлуке и адекватно их спровести у пракси. У фази доношења одлуке бира се једно од претходно генерисаних решења. Донесена одлука се реализује у фази спровођења, док се у фази праћења извршења проверава и прати спровођење одлуке у дело. Ова фаза може укључивати праћење резултата одлуке, праћење исправности имплементације и сл.. За квалитетно доношење одлуке не би требало прескочити ни једну наведену фазу.



Слика 4.9 Фазе у поступку одлучивања

4.1.4 Методе вишекритеријумског одлучивања и подела

Очигледна је чињеница да се доносилац одлуке у великом броју реалних разматраних проблема/ситуација мора сусрети или са једним или више циљева као и

са великим бројем различитих конфликтних критеријума (вишекритеријумска анализа).

Управо та чињеница трансформише или класификује проблеме доношења одлука на: вишециљне проблеме одлучивања - *ВЦО* (енг. *Multi-Objective Decision Making - MODM*) и вишеатрибутне проблеме одлучивања - *ВАО* (енг. *Multi-Attribute Decision Making - MADM*). Заједнички назив за ове ситуације у којима је присутно постојање већег броја критеријума је вишекритеријумско одлучивање (енг. *Multi-Criteria Decision Making - MCDM*). Разлика ове две групе метода када су у питању општи проблеми одлучивања најбоље је приказана у Табели 4.1.

Табела 4.1 Упоредна анализа метода вишекритеријумског одлучивања [20]

КАРАКТЕРИСТИКЕ	МЕТОДА ВКО-а	
	Вишеатрибутивно одлучивање	Вишециљно одлучивање
ОСНОВА ОДЛУЧИВАЊА	Критеријуми (атрибути, карактеристике)	Циљеви
ЦИЉ	Имплицитан (лоше дефинисан, избор између коначног броја алтернативних решења)	Експлицитан (дефинисан min. или max.)
КРИТЕРИЈУМ	Експлицитан, детерминисан, може бити квантитативни или квалитативни)	Имплицитан, недетерминисан
ОГРАНИЧЕЊА	Неактивна, укључења у саме критеријуме	Активна, саставни део модела
АКЦИЈЕ	Коначан број, при чему је то скуп алтернативних варијантних решења	Бесконачан број, функција циља је континуална, најчешће се тражи min. или max.)
ИНТЕРАКЦИЈА СА ДОНОСИОЦЕМ ОДЛУКЕ	Доносилац одлуке је укључен у фази моделирања и дефинисања критеријума. За време анализе није изразита.	Изразита и за време моделирања и за време анализе
ПРИМЕНА	Избора најбољег алтернативног решења из предложеног скупа	Оптимизација функције циља у систему задатих ограничења

Узимање у обзир претходно изнетих чињеница на једној страни представља значајан корак ка формирању реалнијег модела којим описујемо разматран проблем, али на другој страни у математичком смислу доводи до стварања сложенијих модела и потребе за развојем општих метода за њихово решавање. Теоријски посматрано, технике вишекритеријумског одлучивања се баве недовољно структурираним проблемима (енг. *ill structured problems*) чија је формална страна интересантна и изазовна. На другој страни практичари у овим методама виде велику помоћ у решавању свакодневних практичних задатака доношења одлука и управљачких акција. Без обзира да ли је у питању стратегијска или оперативна одлука/управљачка акција, да ли је у питању проблем са доминантно техничким или претежно економским садржајем, или је реч о проблему који се тиче једне јединице или неког система, методе вишекритеријумског одлучивања представљају значајан алат у

поступку избора правих решења у задацима одлучивања/управљања у пројектовању и експлоатацији система као што је логистички центар.

Метод вишекритеријумског одлучивања (*ВКО*) је посебно корисно користити у следећим ситуацијама:

- када се доноси одлука о избору између две или више могућих, алтернативних решења;
- када се одлука односно избор мора спровести на основу целовите анализе проблема, узимајући у обзир два или више критеријума;
- када је пожељно учешће у одлучивању свих заинтересованих страна (транспарентност);
- када се жели равнотежа очигледних супротности између економских, друштвених и других интереса (нпр. еколошких) ради задовољена дугорочних циљева;
- када се тежи најбољем компромисном решењу;
- када се жели да се анализом осетљивости анализирају решења која проистичу из преферирања различитих заинтересованих и/или група;

Решење добијено неком од метода вишекритеријумског одлучивања не треба схватити као идеално тј. најбоље (једино) решење. Напред је већ речено да је ово компромисно решење. Сама методологија доносиоцима одлуке помаже у целовитом схватању проблема, и у складу с тим доношењу квалитетног и спроводљивог решења.

4.1.5 Вишеатрибутивно одлучивање - ВАО (енг. MADM)

Вишеатрибутивно одлучивање (*ВАО*) или вишекритеријумску анализу карактерише реалности и животност проблематике што је условило интензиван и брз развој метода тако да се данас располаже моћним скупом метода за решавање великог броја реалних проблема [20]. Услед непостојања довољног броја информација, конфликта критеријума, неодређености у субјективном вредновању и различитих приоритета више доносиоца одлука у процесу групног одлучивања, исти проблем разматран дискретном вишекритеријумском анализом често може имати више решења. Стога се у литератури дефинишу тзв. идеална, недоминантна, задовољавајућа и пожељна решења.

Примена било које од метода вишекритеријумског одлучивања се спроводи у неколико мање - више истих фаза:

- идентификују се сва могућа решења за разматрани проблем тј. алтернативе;

- анализирају се све стране проблема и испитују фактори који су битни за доношење одлуке, и на тај начин се долази до листе критеријума за одлучивање;
- сваком критеријуму се додаје припадајућа тежинска вредност, на основу стручне процене и процене осталих учесника одлучивања, због чега је пожељно укључити што шири круг стручњака и свих других заинтересованих страна;
- утврђује се вредност сваког критеријума за свако алтернативно решење;
- врши се прорачун применом неке од метода (најчешће уз програмску подршку) за добијање поредка алтернатива (рангирање).

Овако представљен кратак приказ, фокусиран је на проблеме вишекритеријумског одлучивања у случају када је број критеријума и алтернатива коначан и када су алтернативе и њихови атрибути задати експлицитно у матричној форми. Дакле, посматра се коначан скуп алтернативних одлука/управљачких акција у задатку било које природе. Свака алтернатива је описана са више атрибута (показатеља или критеријума). Проблеми овог типа познати су као вишеатрибутивно одлучивање. У ВАО обично постоји ограничен број предефинисаних алтернатива. С обзиром на природу атрибута, вредности су или бројеви или лингвистички изрази (нпр. скуп исказа: *велики*, *средњи*, *мали* или бинарни искази: *да*, *не* итд.). Атрибути нису подједнако важни, али се њихова релативна важност-тежина исказује на разне начине (субјективне оцена важности појединих парова атрибута, принцип недовољног резоновања и др.). У овом делу вишекритеријумске анализе долази до изражаја субјективизам, који се не може одстранити али се може уређено уводити и ригорозно третирати. Свака алтернатива задовољава сваки од циљева у одређеном нивоу и доносилац одлуке (ДО) бира најбоље решење из скупа алтернатива сагласно значају сваког критеријума и односа између њих.

Иначе, проблеми овог типа могу се поделити у три групе: проблеми вишекритеријумског избора, проблеми вишекритеријумског рангирања и проблеми вишекритеријумског сортирања. Из прегледа литературе уочљива је доступност великог броја метода вишеатрибутивног одлучивања као и велики број начина за њихову класификацију.

Прво, могуће је класификовати их, према врсти података које користе, на: *детерминистичке*, *стохастичке* и *fuzzy* методе ВАО. Наравно постоје ситуације које укључују комбинацију горе наведених података (нпр. стохастички и *fuzzy*).

Други начин за класификацију је према броју доносиоца одлуке укљученим у процес доношења одлука. Па сагласно томе, разликујемо методе са једним или

групом доносиоца одлуке (енг. *Single and group decision making MADM*). Две најважније фамилије метода вишекритеријумске анализе су оне које су базиране на вишеатрибутивној теорији корисности (енг. *Multi - Attribute Utility Theory - MAUT*) и методама вишег ранга (енг. *outranking methods*).

Развијене су бројне методе за решавање ове врсте проблема, а најпопуларније које нарочито привлаче пажњу теоретичара и практичара су: метода доминације, *maximin*, *maximax*, конјуктивна метода, дисјунктивна метода, метода линеарног додељивања, адитивни метод (енг. *Simple Additive Weighting-SAW*), лексикографска метода, ELECTRE (*Elimination and choice expressing reality*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), АHP (*Analytic hierarchy process*), LINMAP (*LINear programming techniques for Multidimensional Analysis of Preference*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) и др. [10].

У области операционих истраживања, теоретичари и практичари развили су велики број метода и приступа вишекритеријумског одлучивања али је потребно генерално нагласити њихове заједничке карактеристике:

- присуство великог броја критеријума креираних од стране доносиоца одлуке,
- реалне проблеме карактерише конфликт између критеријума,
- неупоредиве јединице мера различитих критеријума,
- избор алтернативног решења (најбоље решење или најбоља акција) из скупа претходно дефинисаног коначног броја решења (акција).

Запажена је тенденција да методе "вишег ранга" (*outranking methods*) избијају у први план, како због своје прилагодљивост реалним проблемима тако и због чињенице да су у поређењу са сличним методама врло разумљиве "доносиоцу одлука". Осим тога, досадашњи преглед литературе, генерално јасно указује на коришћење метода вишекритеријумске оптимизације у сврху оперативног одлучивања у различитим областима и у различите сврхе (урбано планирање, економско планирање, управљање производњом и снабдевањем, локацијски проблеми, набавка техничких средстава и сл.).

4.2 Проблеми избора локације логистичких центара и опреме за руковање материјалом

Управљање ланцима снабдевања, осим традиционалних функција транспорта и складиштења, подразумева доношење великог броја одлука. При томе, лоцирање (складишта, дистрибутивног центра, и сл.) или избора одговарајуће опреме за манипулацију представљају један од најзначајнијих и најкомплекснијих задатака. Циљ наредних редова је да се укаже на основне поставке теорије локација и избора опреме за руковање - манипулацијом материјалом као кључне задатке приликом

решења или развоја конкретног логистичког центра, са освртом на досадашње напоре и развијене методологије за решавање оваквих проблема. Очигледно је да је свест о значају тих проблема иницирала велики број истраживања и радова из ове области.

4.2.1 Развој локацијске теорије

Посебна пажња у савременим операционим истраживањима усмерена је и на решавање локацијских задатака. Такви проблеми познати су и под називом *локацијски проблеми*. *Теорија локације*, као део операционих истраживања, бави се формулацијом и решавањем локацијских проблема. Разматране проблеме је могуће класификовати у односу на: број објеката који се лоцирају, карактер расположивих локација, критеријуме који се користе при избору локације, карактер задатака који се решавају, тип циљне функције, приступ и методе које се користе при избору локације итд.. Када је у питању примена теорије локација може се рећи да не постоји ограничење.

Бројни су примери комплексних задатака стратешког планирања, а посебно у логистици (проблеми се односе на лоцирање ресурса, дистрибутивног центра, складишних објеката, терминала, претоварних места, и сл.). Посматрајући у прошлост, може се констатовати да теорија локација представља научну дисциплину стару стотинак година као и да се њени почеци и развој углавном везују за агрономију и географију. Посматрано са аспекта математичке формулације, неки експерти верују да су разматрање локацијских проблема започели *Pierre de Fermat*, *Evangelista Torricelli* и *Battista Cavallieri* још почетком XVII века. Задатак се односио на следећи проблем: “За задате три тачке у равни пронаћи четврту тачку, тако да збир растојања између четврте тачке и задате три буде минималан”[26].

Сматра се да је теорију локације формално у складишну проблематику увео *Alfred Weber (1909)* [112], који је разматрао проблем лоцирања једног складишта са циљем минимизирања укупног пређеног растојања између складишта и скупа просторно дистрибуираних корисника тј. ради минимизације транспортних трошкова објекте је потребно лоцирати што ближе тржишту или потрошачима.

Од тог времена теорију локација карактерише све динамичнији развој, математички се формулишу различити локацијски проблеми и упоредно развијају методе за њихово решавање. Само интересовање за локацијске проблеме, њихово решавање и структурирање приказано је кроз бројне радове у овој области [23,27,34,37,67,72].

Све претходно наведене чињенице довољно говоре о комплексности наведене проблематике, али је неопходно нагласити да овим прегледом нису обухваћени сви

аспекти и класе проблема теорије локација. Циљ је овим приказом указати на заступљеност, типичне технике и методе решавања локацијских проблема.

4.2.1.1 Типови локацијских проблема и методологије за решавање

Локација има значајну улогу у обављању активности сваког привредног субјекта. Лоцирање неког објекта унутар неког допуштеног простора свакако није довољан услов за његову инсталацију. У литератури [37,74], проблем избора локације се најчешће рашчлањује на следеће фазе:

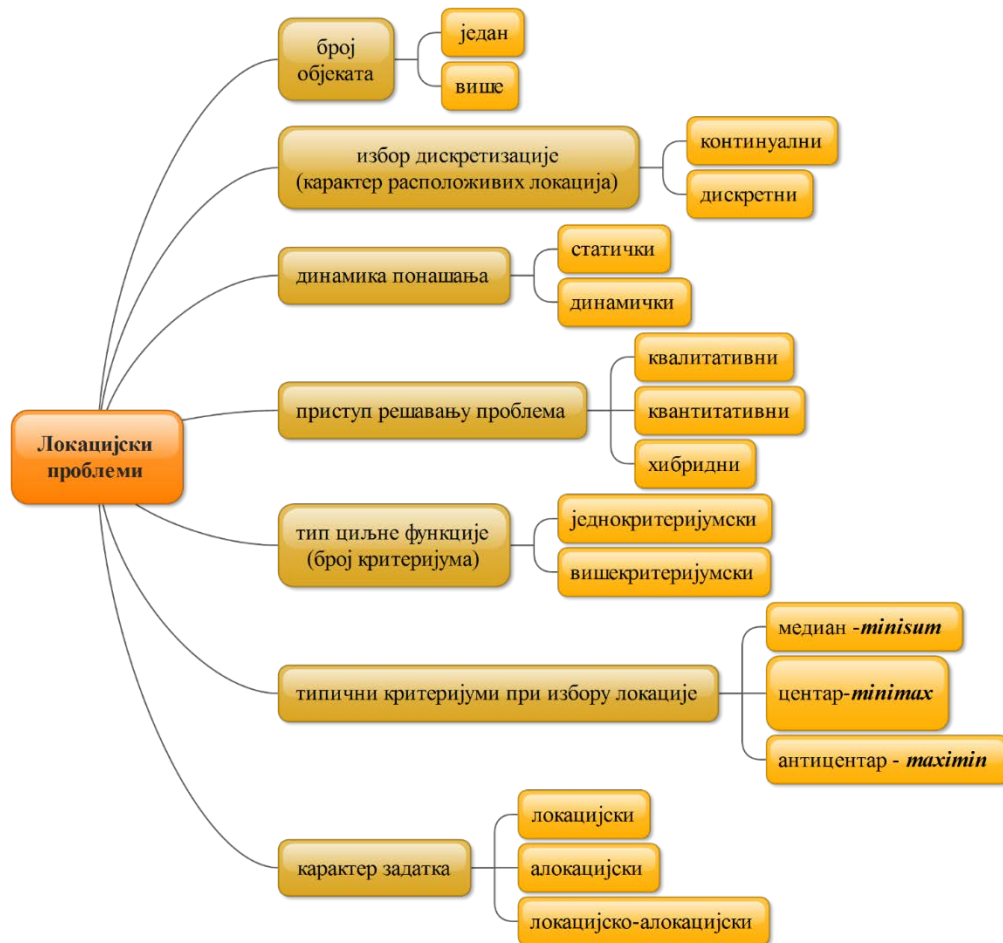
- *макро анализа*-има за циљ одређивање броја и приближне локације складишта,
- *микро анализа*-има за циљ ближе одређивање локације (уже подручје),
- *прецизан избор* – детаљна анализа са различитих аспеката на основу којих се доноси одлука.

Генерално, теорију локације као део операционих истраживања карактерише вишедимензионалност и велики број различитих критеријума који се могу искористити при структурирању или категоризацији локацијских проблема. Класификација локацијских проблема према различитим аспектима посматрања дата је на слици 4.10.

Управо раније поменута вишедимензионалност, уз велики број различитих критеријума указује на постојање великог броја различитих приступа и модела за формулисање и решавање истих. Број објеката које треба лоцирати директно дефинише начин решавања локацијских проблема. У зависности од укључења динамике понашања захтева у планирање разликује се статичка и динамичка формулација проблема. Код статичких проблема не обухвата се динамика промене релевантних параметара за избор локације. На другој страни динамички проблеми у анализу укључују и одређен степен неизвесности који је могуће очекивати у перспективи. Према избору дискретизације постоје проблеми код којих изабрана локација може бити било где у допуштеном простору (континуални), док са друге стране у случају дискретних проблема бира се једна или више од скупа потенцијално расположивих локација.

Расположиве технике операционих истраживања и методе подршке одлучивању нуде поступке тражења оптималног решења у простору једног или више критеријума. У односу на приступе и методе који се користе за решавање локацијских проблема, груба класификација проблема односно избор конкретне локације могао би се реализовати на бази: квалитативног (субјективног) приступа базираног на

интуитивном приступу, квантитативног приступа базираног на квантитативним параметрима (оптимизациони, хеуристички и сл.) и хибридног приступа као мешавине квалитативних и квантитативних приступа и модела.



Слика 4.10 Класификација локацијских проблема

Уколико се циљна функција формира на начин да се локација објекта реализује на бази минимизације средњег времена путовања или растојања између корисника и објекта који се лоцира имамо проблем медијан или *minisum*, што је и најчешћи проблем у логистици. Ако се као типични критеријум приликом лоцирања објекта појави минимизација растојања до најудаљенијег корисника (минимизација максималног времена пута) имамо проблем центар или *minimax* (типични случај су проблеми лоцирања станице хитне помоћи, ватрогасне јединице и др.).

Антицентар или *maximin*, означава проблем у којем се циљна функција реализује на бази максимизације минималног времена пута (максимизација

растојања до најближег корисника - лоцирање депонија за отпад, складишта отпадних вода и слично). Према карактеру задатка који се решава, проблем лоцирања, генерално садржи следеће групе подпроблема: број објеката који се лоцирају, њихове позиције на мрежи и повезивање корисника са локацијама.

Локацијски проблеми присутни су у случају лоцирања једног објекта кад се сви корисници ослањају на ту једну локацију. Када је број објеката већи јавља се потреба за алоцирањем корисника (сваког корисника *доделити* неком од објеката). Алокацијски проблеми се односе на додељивање корисника складишним локацијама и реализује се често на бази најкраћег пута. Међутим оптимална алокација за познате параметре (локација корисника и складишта, токови реализације, трошкови транспорта) утврђује се решавањем транспортног задатка. Локацијско-алокацијски проблеми решавају се у случају лоцирања више од једног складишног објекта и када је реч о лоцирању складишта и локацијским проблемима у логистици ова група проблема је најчешћа.

Очигледно је да сам процес решавања локацијских проблема захтева обимне и комплексне анализе података што утиче и на постојање великог броја приступа и метода за формулацију и решавање истих (слика 4.11.).



Слика 4.11 Приступ и методе решавања локацијских проблема

Често примењиван приступ решавању локацијских проблема, који карактеришу интуиција, искуство и лична способност је интуитиван приступ. Резултати добијени једноставним прорачуном често су задовољавајући при чему се кроз грубу анализу узимају субјективни фактори, изузеци и ограничења. Овај приступ се често користи као једна од фаза у избору локације уз примену неке егзактније технике. Као алат за решавање локацијских проблема користи се и симулација.

Симулације представљају имитацију понашања реалног процеса или система током времена у специфичним и задатим условима. Посматрањем различитих конфигурација система уз спровођење експеримента на моделу (готови софтверски пакети LOCATE, LSD,...) у односу на аналитичке или математичке моделе може се значајно допринети оптималном избору, односно могуће је експериментисати са минималном ценом и понављати процес без фактора ризика [109].

Решавање комплекснијих локацијских модела са већим бројем параметара могуће је кроз примену хеуристичких техника. Овакав приступ решавања проблема је много флексибилнији и ефикаснији са аспекта дефинисања циљне функције, ограничења и трошкова и углавном се користи за решавање вишекритеријумских оптимизационих проблема. Њихова примена не гарантује добијање егзактног решења. Оптимизациони модели (гравитациони модел, p-median проблем,...) гарантују најбоље решење у односу на постављену функцију циља и реализују се на бази оптимизације односа транспортних и трошкова складиштења. Компјутерски системи (експертски системи) базирани на вештачкој интелигенцији користећи базу експертског знања решавају проблеме слично експертском тиму. Системи за подршку одлучивању представљају комбинацију базе података са различитим алатима и техникама моделирања, прорачуна и евалуације. Реч је о програмима који садрже одговарајуће базе података уз одговарајуће оптимизационе методе и хеуристичке технике.

Полазећи од претходно наведених и изнетих чињеница о општим принципима везаним за формулацију и решавање локацијских проблема очигледно је присуство широког спектар приступа, метода и техника. Међутим, посебна пажња у овом раду је усмерена на вишекритеријумске локацијске моделе и поступке за њихово решавање приликом стратешког одлучивања нарочито у области дефинисања и развоја новог логистичког концепта неког региона.

4.2.1.2 Преглед досадашних истраживања у области решавања вишекритеријумских локацијских проблема

Значајан број радова, нарочито у последњој декади презентује и решава вишекритеријумске локацијске проблеме и тиме отвара нове оквире у теорији локација у различитим областима и у различите сврхе (нпр. од урбаног и економског планирања, преко управљања производњом и снабдевањем па до решавања локацијских проблема или набавке техничких средстава). Детаљаним прегледом досадашњих напора као и развоја у области вишекритеријумских локацијских проблема [8,26] и коришћених критеријума и метода за решавање наведених проблема, запажена је тенденција да поједине методе избијају у први план, како због

своје прилагодљивост реалним проблемима тако и због чињенице да су упоређењу са сличним методама врло разумљиве "доносиоцу одлука".

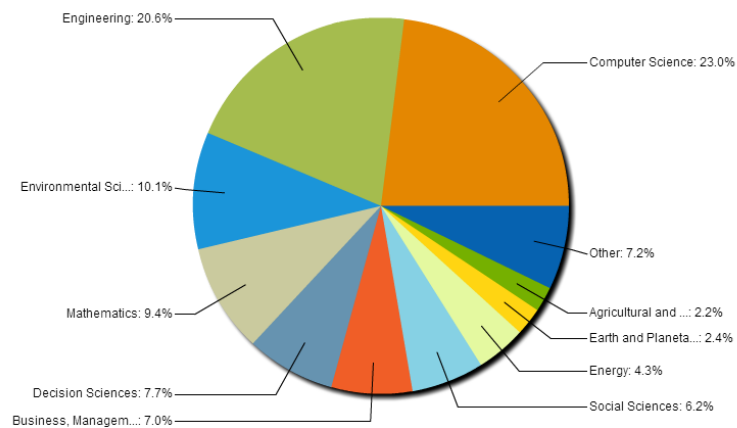
Посебна пажња у овом прегледу литературе има за коначни циљ да укаже на трендове и примену појединих метода у процесу доношења одлука у различите сврхе, а пре свега одређивања локација логистичког центра имајући у виду његову улогу и значај у процесу успешног планирања и оптимизације. Такође, потребно је фокусирати се на циљеве као саставне делове модела стратешког одлучивања на чијој основи се и развијају критеријуми, као и проблеме одређивања тежине/релативног значаја истих.

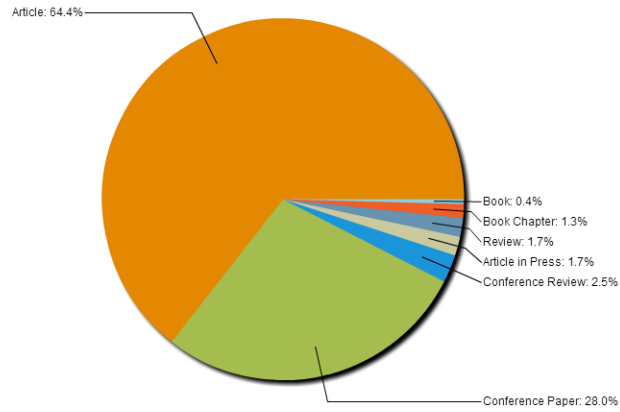
Farahani R. Z и остали аутори [26] дају детаљан приказ и преглед, као и трендове у решавању разних локацијских проблема до 2009. године. Осим класификације и особености везаних за локацијске проблеме и вишекритеријумско одлучивање у уводном делу, у петом и шестом поглављу овог рада, аутори су пажњу усмерили на вишекритеријумску анализу. Разматрани су дотадашњи напори и најчешће методологије решавања локацијских проблема. Критеријум је компонента присутна у свим локацијским проблемима и методологијама, па су аутори у седмом делу дали приказ различитих критеријума коришћених у разматраним радовима. Уочене чињенице у овом раду иду у прилог констатацији са почетка овог поглавља а везану за примену у различитим областима и у различите сврхе. Заступљеност локацијских проблема у разматраном периоду пронађена је у скоро 730 наслова. У тежњи да се сагледају трендови после тог периода као и методологије вишекритеријумске анализе коришћене у сврхе пројектовања новог логистичког концепта а посебно у процесу развоја и изградње новог логистичког центра, за потребе овог рада користиће се SCOPUS као највећа база апстракта и цитата. У те сврхе примениће се различите комбинације кључних речи таквих задатака: *локацијски проблем, логистички центар, вишекритеријумска анализа, критеријум*. Резултати анализе везане за примену вишекритеријумског одлучивања у решавању локацијских проблема за период од 2010. дати су на дијаграмима (слика 4.12-4.14), а за следеће комбинације кључних речи (филтере):

1. *decision AND (location problem OR facility location) AND (multiple OR multi) AND (criteria OR attribute)*
2. *multi-criteria AND decision AND location problem*
3. *multi AND (criteria OR attribute) AND (logistics centre OR distribution centre) AND location.*

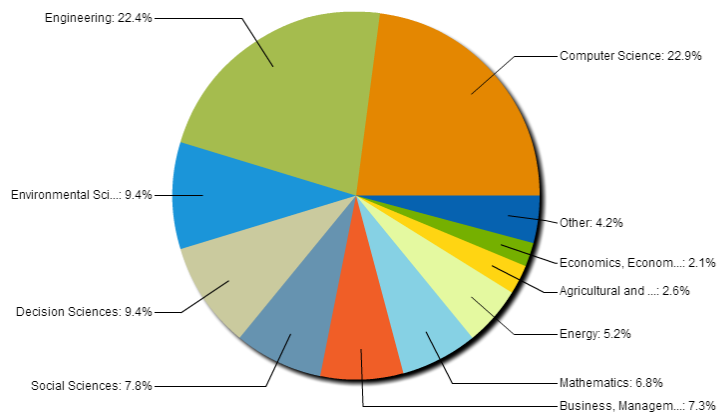
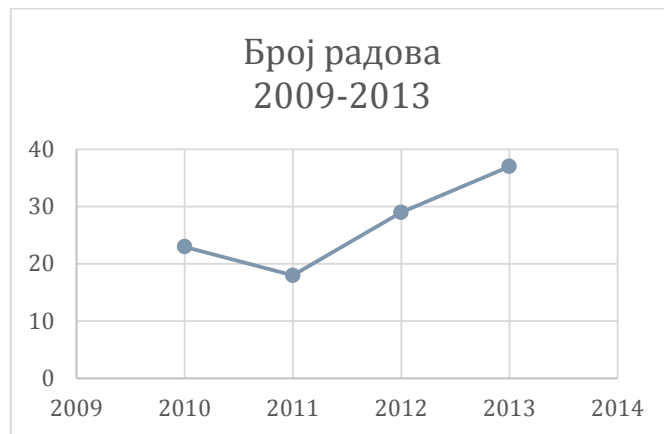
Растући тренд ове проблематике и чињеница да просечно преко 80% материјала отпада на радове објављене у часописима и конференцијама указују и потпуно оправдавају заинтересованост истраживача за ову тематику.

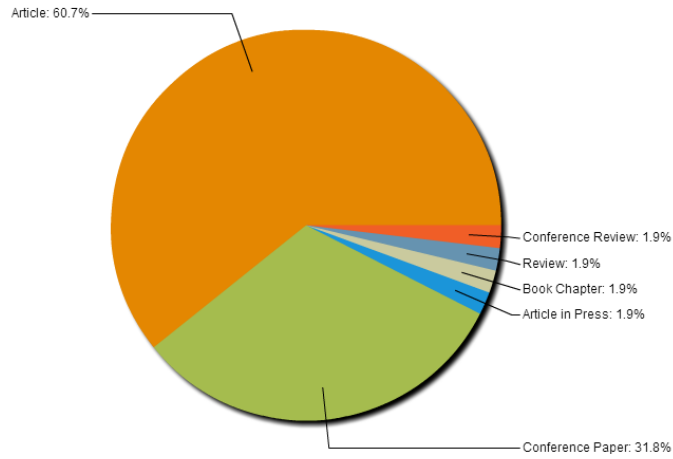
Значајан део вишекритеријумских метода [9,10,11,30] припада методама вишег реда (outranking methods) због велике прилагодљивости истих реалним проблемима и увођења нових типова генерализованих критеријума за исказивање преференција доносиоца одлуке о конкретним критеријумима решаваног проблема. У међувремену развијени су многи нови концепти у оквиру овог приступа (проблематика одлучивања, дискриминација снаге критеријума и др.) [63], док је сам поступак решавања различитих вишекритеријумских задатака и локацијских проблема овим приступом разматран у великом броју радова, и то методама fuzzy или комбиноване природе [19,24,26,32,88,99,108].



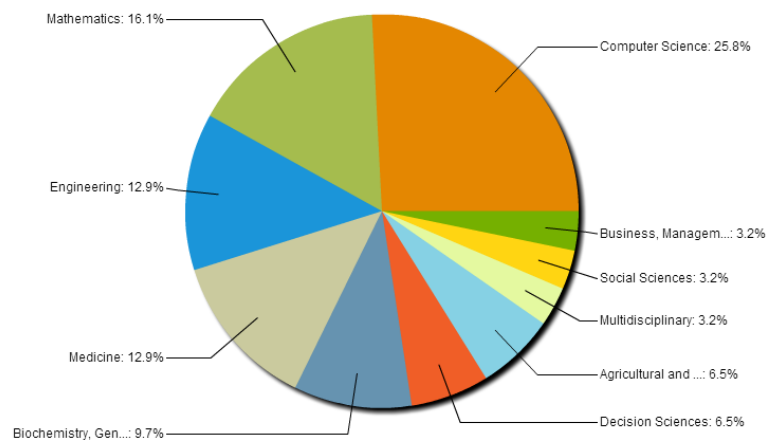


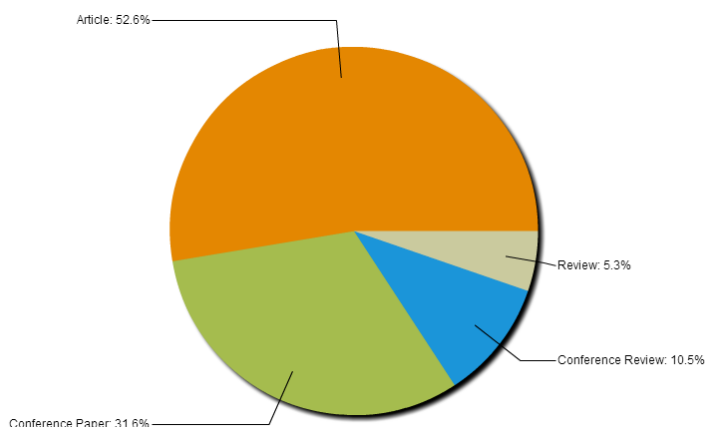
Слика 4.12 Резултати анализе везане за примену вишекритеријумског одлучивања у решавању локацијских проблема за комбинацију кључних речи бр. 1





Слика 4.13 Резултати анализе везане за примену вишекритеријумског одлучивања у решавању локацијских проблема за комбинацију кључних речи бр. 2





Слика 4.14 Резултати анализе везане за примену вишекритеријумског одлучивања у решавању локацијских проблема за комбинацију кључних речи бр.3

Коначни редослед алтернатива, дакле зависи од примењене технике вишекритеријумског одлучивања а посебно од поступка дефинисања критеријума за вредновање, трансформације (нормализације) критеријума и одређивања њиховог релативног значаја. Присутан је значајан број теорија и поступака трансформације критеријума који су у основи различитих димензија [36,85]. Када је у питању релативни значај критеријума, у литератури је могуће уочити, осим традиционалног приступа, неколико новијих метода за дефинисање релативне тежине и то у зависности од улаза доносиоца одлуке тј. приступа коришћеног за поређење различитих критеријума. Специфичне функције за дефинисање релативних тежина и боље рангирање алтернатива предложене су од стране неколико аутора [6,55,56,93].

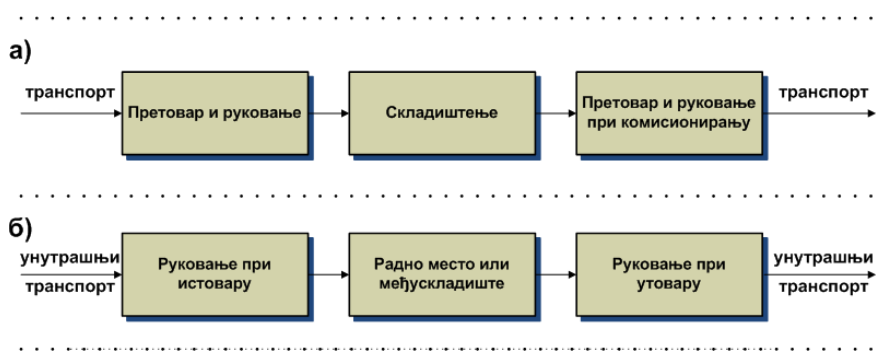
4.2.2 Транспортно-складишни системи у сегменту руковања материјалом

Потребно је још једном поновити чињеницу да савремена дефиниција логистике посматра транспорт као једну од најзначајнијих активности у логистичком систему физичке дистрибуције робе. Приликом решавања транспортног проблема, а посебно избора транспортних средстава као елемената ланца снабдевања не постоји идеално решење тј. на одређена питања се мора одговорити пре него што се почне концепцијски решавати транспортни систем. Осим тога на другој страни складиште, обезбеђује чување различитих материјалних добара са циљем да се оствари синхронизација процеса који претходе и процеса који се реализују након процеса складиштења. Увођењем нових технологија и улагањем средстава у транспортну опрему, постављају се основе за пројектовање сврсисходног тока материјала и коришћење расположивог потенцијала за рационализацију. Управљање процесима токова материјала и информацијама логистичким приступом у производњи а посебно

у дистрибуцији постао је најважнији фактор конкурентности с циљем побољшања перформанси токова материјала.

Ток материјала у логистичком ланцу обезбеђује примена транспортне технике прилагођене потребама унутрашњег и спољашњег транспорта (саобраћаја). На данашњем нивоу развоја науке и технике, а у циљу оптимизације и смањења трошкова, неопходно је обједињавање токова материјала у домену унутрашњег и спољашњег транспорта. Витални део складиштења, терминала или производње је кретање материјала без потешкоћа. Руковање материјалом (енг. *material handling*) је активност која често бива непримећена или занемарена. Формална дефиниција руковања материјалом је **умеће и наука преношења, паковања и складиштења материјала у било ком облику**. Руковање материјалом је подручје логистике које се бави кретањем (унутрашњи транспорт), мировањем (складиштењем), заштитом (паковање) и контролом материјала кроз процесе производње, дистрибуције, потрошње и одлагања. Тачније односи се на системе и опрему транспорта, складиштења и паковања ради остварења физичког тока материјала.

Подсистем претовара и руковања (робама, материјалом) везан је за складиштење и транспорт, и практично се посматра интегрално са овим подсистемима (слика 4.15) [12]. Претовар и руковање у спрези са логистичким подсистемом складиштења обухватају утовар и истовар транспортних средстава и руковање робама у зонама улаза и излаза из складишта. На овај начин се повезује складишни и транспортни процеси (слика 4.15 а). Претовар и руковање у производним процесима представља утовар и истовар на улазном и излазном складишту готових производа, складишту, међускладиштима и радним местима. Ту је посебно заступљено руковање материјалима и предметима рада, према потребама процеса (слика 4.15 б). Истоветни захтеви за претовар и руковање се јављају у логистичким центрима, с тим што је обим рада повећан.



Слика 4.15 Модели појаве подсистема претовара и руковања

Проблем са руковањем материјалом је што не изазива директне новчане токове али је очигледно да захтева одређена новчана средства (радна снага, средства, простор и сл.). Пошто се ова средства издвајају или у дужем временском периоду

(набавка транспортних средстава) или периодично, они се не везују директно за активности због којих су направљени, што јасно указује на њихов значај али и на чињеницу да су ретко предмет неке анализе или оптимизације.

Уочава се да је претовар елеменат структуре сваког производног, складишног и транспортног система или комбинације било којих од наведених система, у којима се реализују главне операције а уз помоћ транспортно-манипулативних средстава (механизација). Усавршавање технологија руковања с обзиром на хемијско технолошка, физичка својства као и појавни облик материјала, захтеве у времену и др., створило је разна техничка решења у оквиру фамилије средстава, почев од класичних механичких до потпуно аутоматизованих средстава са применом у врло сложеним технолошким процесима. Руковање материјалом у логистици се не може избећи у потпуности, али наравно може бити редуковано на минимум. Производни потенцијали логистике могу се искористити избором праве опреме за руковање материјалом.

Наравно избор опреме за руковање материјалом не може се посматрати изоловано без разматрања и складишног система. Улагање у системе за руковање материјалом биће узалудно уколико није у потпуној сагласности са структуром складишта, јер ће иста поставити препреке за слободно кретање опреме и робе и резултовати ниским степеном продуктивности опреме. Дистрибуција, производња и складиштење су дакле подручја у којима руковање материјалом игра главну улогу. У ствари, системи за руковање материјалом повећавају дистрибутивне и производне могућности тј. представљају скривено оружје у оквиру логистичких операција побољшања продуктивности самог логистичког система. Заинтересованост за ове системе у последњих неколико година бележи значајан раст. Основни циљеви ефикасног руковања материјалом се тичу следећих области: кретање материјала, време, количина и простор [81]. Ефикасно кретање помаже управљању трошковима и унапређује услугу кориснику. Време је фактор који указује на чињеницу да роба мора бити расположива када је потребна на производним местима, местима утовара/истовара и терминалима. Постојање у неадекватним колочинима и не на правом месту и у право време указује на озбиљан проблем. Потребне количине робе се морају кретати између места као и према кориснику. Последњи елемент је простор. Руковање материјалом мора ефикасно искористити расположиви простор у складишту или терминалу. Углавном се разликују три система руковања материјалом: мануелни, механизовани и аутоматизовани. Систем зависи од типа и броја потребне опреме. Једначина за избор опреме [1] може се дефинисати на следећи начин:

ШТА+ГДЕ+КАДА=СПЕЦИФИКАЦИЈА ОПРЕМЕ

Реч *шта*, указује на врсту материјала којим се рукује и укључује карактеристике, величину, размеру, капацитет. Реч *где*, указује на све што је укључено у путању материјала кроз систем: тип кретања, дужину путање, ограничења кретања, грађевинска ограничења, захтеве мобилности/покретљивости, захтеве трансфера, продружене транзитне операције. Реч *када*, указује на право време када материјал мора да буде на правом месту. Руковање материјалом утиче на ефикасност и брзину операција у процесу складиштења, што само по себи повлачи продужење или скраћење комплетног процеса наручивања робе.

Правила за избор опреме за руковање дата су у Табели. 4.2. У зависности од области примене, трошкови руковања материјалом износе од 30 до 70% трошкова производње, тако да је очигледна потреба за елиминисањем било какве неефикасности у овој области. Најчешћи индикатори лошег организованог руковања материјалом су:

- често премештање материјала да би се ослободио простор или пролаз,
- непостојање гравитационих токова материјала,
- честа оштећења транспортних средстава и саме транспортоване робе,
- неорганизованост приликом складиштења,
- неефикасан ток материјала и др.

Табела. 4.2 Правила за избор опреме

ПРАВИЛА ЗА ИЗБОР ОПРЕМЕ	
Користити механизовану опрему	<ul style="list-style-type: none"> • Снижава трошкове рада • Смањује амортизацију • Повећава сигурност • Повећава обим производње и убрзава проток материјала
Користити постојећу опрему кад је могуће	<ul style="list-style-type: none"> • Уштеде
Стално анализирање трошкова	<ul style="list-style-type: none"> • Правилан избор опреме снижава укупне трошкове
Стандардизовати опрему	<ul style="list-style-type: none"> • Смањују се залихе, међусобна модулarna замењивост опреме, повољно одржавање
Интеграција опреме	<ul style="list-style-type: none"> • Опрема се уклапа у систем материјалног пословања
Обезбедити алтернативне методе	<ul style="list-style-type: none"> • При отказу система предвидети другу опрему
Изучити захтеве и ограничења примене у објекту	<ul style="list-style-type: none"> • Посебни услови рада за поједине врсте опреме
Јединични трошак	<ul style="list-style-type: none"> • Опрема се бира на основу компаративних јединичних трошкова руковања
Планирати за будућност	<ul style="list-style-type: none"> • Предвидети будуће потребе емњања материјалног пословања

У решавању проблема тока материјала врло често се осим егзактних - теоријских сазнања, користе и емпиријска – искуствена. Још давне 1966 год., College-Industry on Material Handling Education (СИСМНЕ) дефинисао је 20 принципа руковања материјалом. Резултирајући принципи прихваћени су данас и покривају проблематику руковања материјалом у свету (најчешће путем 10 најзначајнијих принципа) [38,81]:

- *Принцип планирања* (енг. *Planning Principle*): Руковање материјалом треба бити резултат промишљеног плана у којем су потребе, циљеви и спецификације предложених метода комплетно дефинисани на почетку. План је прописани скуп активности дефинисан пре имплементације. У својој најједноставнијој форми план руковања материјалом дефинише материјал (шта/what) и ток (када, где/when, where), што заједно дефинише методу (како, ко/how,who). План би требао бити развијен у сарадњи планера и свих корисника опреме која ће се имплементирати.
- *Принцип стандардизације* (енг. *Standardisation Principle*): Методе, опрема, контрола и софтвер за руковање материјалом морају бити стандардизовани унутар граница постизања свеукупних перформанси (циљева) и без жртвовања потребне флексибилности, модуларности и протока. Пројектант треба одабрати методе и опрему која може обављати различите задатке, у различитим радним условима, те узевши у обзир и могуће промењене захтеве у будућности.
- *Принцип рада* (енг. *Work Principle*): Рад руковања материјалом треба бити минимализован, али без жртвовања продуктивности и нивоа услуге.
- *Принцип ергономичности* (енг. *Ergonomic Principle*): Људске могућности и ограничења морају се препознати и узети у обзир приликом обликовања задатака и избора опреме руковања материјалом, како би се осигурао сигуран и ефикасан рад.
- *Принцип јединичног терета* (енг. *Unit Load Principle*): Јединични терети морају бити тако димензионисани и обликовани да се остваре циљеви токова материјала (кретања и мировања) у свакој фази ланца снабдевања. Јединични терет је онај терет којим се рукује (транспортује и складишти) као једним

ентитетом и једним захватом (палета, сандук,...), независно од броја појединачних комада који чине такав терет.

- *Принцип искоришћења простора* (енг. *Space Utilization Principle*): Расположиви простор мора бити ефективно и ефикасно искоришћен.
- *Систематски принцип* (енг. *Systems Principle*): Активности кретања и складиштења материјала морају бити потпуно интегрисани у координирани оперативни систем који спаја пријем, контролу, складиштење, изradу, монтажу, паковање, формирање јединичних терета, отпрему, транспорт, руковање повраћајем.
- *Принцип механизације/аутоматизације* (енг. *Mechanization/Automation Principle*): Операције руковања материјалом треба да буду механизоване и/или аутоматизоване да омогуће побољшање оперативне ефикасности, повишење одговорности, унапређење конзистентности и предвидљивости, смањење оперативних трошкова и елиминисање понављајућих и потенцијално несигурних мануелних радова.
- *Принцип бриге за околину* (енг. *Environmental Principle*): Утицај на околину и потрошња енергије морају се узети у обзир као критеријуми код обликовања или избора алтернатива опреме и система руковања материјалом.
- *Принцип трошкова животног циклуса* (енг. *Life Cycle Cost Principle*): У економској анализи се морају узети у обзир сви трошкови опреме за руковање материјалом у укупном животног циклусу.

Инжењерски приступ обликовању система за руковање материјалом може се приказати и следећом методологијом:

1. Дефинисање опсега и циљева система руковања материјалом (одредити пројектни задатак).
2. Анализирање потребе кретања, складиштења, паковања и контроле: израдити биланс материјала, разврстати и одабрати карактеристике материјала, одредити токове материјала, направити матрице транспортних путева и учестаности (интензитета).
3. Разрадити варијанте решења.
4. Упоредивање варијанти.
5. Избор најповољније варијанте.
6. Имплементација решења: избор опреме, добављача, остали потребни елаборати и др.

Наиме, код израде варијанти решења у игру улази вештина обликовања, интуиција и искуство пројектаната, због готово бесконачног броја могућих различитих решења кретања материјала и великог броја различите опреме и метода руковања материјалом. Као помоћ у стварању варијанти решења и њиховој евалуацији развијене су бројне смернице тј. споменути принципи руковања материјалом.

4.2.2.1 Приказ опреме за руковање материјалом

Посматрано са ширег аспекта, системи за унутрашњи транспорт и руковање материјалом представљају један целовит систем. Овакав приступ подразумева све операције транспорта и руковања материјалом: преношење материјала од извора снабдевања, целокупни транспорт и дистрибуцију до потрошача. Опрема за руковање материјалом даје могућност обављања функције премештања материјала као и одлагања. Свака од ових фаза тј. активности руковања материјалом захтева различиту опрему за руковање а неке од њих и интеграцију више типова исте. Дизајн или избор одговарајуће опреме је једна од најважнијих одлука које експерт (менаџер, планер) може донети.

Различити типови транспортних средстава за унутрашњи транспорт као и опреме за руковање материјалом приказани су у Табелама 4.3 и 4.4.

Табела. 4.3 Транспортна средства за унутрашњи транспорт [81]

<i>Континуално дејство</i>	• покретни столови
	• тракасти транспортери
	• транспортери са ваљцима
	• транспортери са куглицама
	• ламеластни транспортери
	• плочасти транспортери
	• конвејери
	• постројења подземног транспорта
	• ланчани транспортери
	• ваљчасти транспортери
	• клизни транспортери
	• спиралне клизнице
	• елеватори
	<i>Периодично дејство</i>	• мосне
• viseће	
• дизалична возила	
• обртна дизалица	
• портална дизалица	
• покретна дизалица	
<i>Дизалице</i>	• утоварна дизалица
	• уређаји за опслуживање регала
<i>Регална манипулативна</i>	• уређаји за утовар регала

<i>средства</i>	<ul style="list-style-type: none"> • viseћа дизалица • утоварна дизалица
<i>Лифтови</i>	<ul style="list-style-type: none"> • за терет • за особље • покретне степенице
<i>Подна транспортна средства</i>	Безшинска <ul style="list-style-type: none"> • виљушкар • портални виљушкар • тегљач • колица са дизалицом • колица са високим дизањем
	Шинска <ul style="list-style-type: none"> • колица са платформом-локомобици • кипери
	Вожена <ul style="list-style-type: none"> • транспортна средства без возача

Генерално се могу класификовати у следећих пет категорија [18]:

1. *Опрема за транспорт.* Опрема која се користи за премештање робе са једне на другу локацију. Главне подкатегорије су: транспортери, дизалице и индустријска возила. Такође, материјал се може транспортовати и ручно.
2. *Опрема за позиционирање.* Опрема која се користи за допремање материјала на потребну локацију (нпр. додавање материјала и/или манипулација материјалом тако да се исти нађе у правом положају за транспорт, обраду или складиштење).
3. *Опрема за формирање јединичног терета-логистичких јединица.*
4. *Опрема за складиштење.* Опрема која се користи за чување и одлагање материјала, при чему нека од опреме може укључити и премештање материјала (нпр. аутоматски складишни системи AS/RS, карусел систем и сл.).
5. *Опрема за идентификацију и контролу.* Опрема која се користи у циљу прикупљања информација које се могу користити у координисању током материјала.

Табела. 4.4 Опрема за руковање материјалом [81]

Транспортна средства			
<i>Транспортери</i>	<i>Дизалице</i>	<i>Индустријска возила</i>	<i>Без опреме</i>
1. Тракасти транспортери	1. Мосне дизалице	1. Ручни виљушкар	1. Ручна
2. Покретни столови	2. Рамне дизалице	2. Моторни виљушкар	
3. Транспортери са ваљцима	3. Обртна дизалица	3. Ручна колица	
4. Плочасти транспортери	4. Портална дизалица и др.	4. Покретна палетна колица	
5. Конвејери		5. Регални виљушкари	
6. Постројења подземног транспорта		6. Аутоматски вођена возила и др.	
7. Ланчани транспортери			
8. Ваљчати транспортери			
9. Клизни транспортери			
10. Спиралне клизнице			

Опрема за позиционирање	Опрема за формирање јединичног терета	Опрема за складиштење	Опрема за идентификацију и контролу
1. Ручна (без опреме)	1. Равне палете	1. Подно складиштење (без опреме)	1. Ручна (без опреме)
2. Манипулатор	2. Бокс палете	2. Регали	2. Бар код
3. Индустијски робот	3. Стубне палете	3. Регали са полицама	3. RFID
4. Трансфер сто	4. Сандук	4. Регали са проточним полицама	4. Препознавање гласа
5. Додавачи	5. Кутије	5. Регали са окретним полицама	5. Магнетне траке и др.
6. Витла и др.	6. Вреће	6. Палетни регали	
	7. Бурад	7. Покретни регали	
	8. Интермодални контејнери и др.	8. Карусел системи	
		9. Аутоматизовани складишни системи AS/RS и др.	

Генерално, главне карактеристике опреме које се користе за опис функциониланих разлика између транспортера, дизалица и индустријских возила (Табела 4.5) [81], су:

- **Путања:** *фиксна*- померање између две специфичне тачке
променљива- померање између великог броја тачака
- **Површина:** *ограничена*- кретање обезбеђено у ограниченем простору
неограничена- неограничен простор за кретање
- **Учестаност померања:** *ниска*- мали број померања у одређеном периоду
висока- велики број померања
- **Повезано кретање:** *да*- померање између повезаних(суседних) активности
не-померање је између активности које нису повезане

Табела. 4.5 Главне карактеристике опреме за транспорт

Путања	Фиксна		Променљива			
Површина	Ограничена		Ограничена	Неограничена		
Учестаност	Висока	Ниска	Висока	Ниска	-	
Суседно кретање	-	Да	Не	-	-	
Категорија опреме	<i>Транспортер</i>	<i>Транспортер</i>	<i>Индустријско возило/ дизалица</i>	<i>Индустријско возило</i>	<i>Дизалица</i>	<i>Индустријско возило</i>

4.2.2.2 Преглед досадашњих истраживања у области решавања вишекритеријумских проблема избора опреме за руковање материјалом

Поступак избора опреме за руковање материјалом је важна област доношења одлуке у дистрибуцији, производњи и складиштењу, дакле области у којима руковање

материјалом игра главну улогу, и при томе са директним ефектима на производњу и дистрибуцију и на квалитет услуге. Ови директни ефекти указују на чињеницу да процес избора опреме, генерално представља базу за стратешко доношење одлука. Сврха овог поглавља је да пружи преглед радова из области вишекритеријумског одлучивања посебно у сегментима избора опреме и истакне актуелност теме у литератури заједно са идентификацијом праваца будућих истраживања.

Избор опреме за руковање материјалом за типичне услове и радно окружење спада у проблеме вишекритеријумске анализе тј. поступак избора је недовољно структуриран, зависан од широке области знања и захтева примену ефикасних и ефективних алата за доношење одлука. Такође, и у овом случају потребно је указати на потребу, као и код избора локације, да се на адекватан начин вреднују и укључе у модел за одређивање најповољније алтернативе по задатим критеријума, све битне карактеристике и параметри критеријума и то било да су у квантитивном или квалитативном облику. Осим тога, на другој страни коначни редослед алтернатива, зависи од примењене технике вишекритеријумског одлучивања а посебно од поступка дефинисања критеријума за вредновање.

Велики је број радова у литератури, који је усмерен на проблеме избора одговарајуће опреме за руковање материјалом, а посебно у сегментима производње и складиштења. Толики број публикованих радова чини задатак прегледа досадашњих истраживања јако комплексним и указује на чињеницу да истраживање избора опреме за руковање може ићи у више правца.

Једно од кључних питања приликом избора опреме је и разматрање фазе примене адекватне технологије а сагласно производним, дистрибутивним операцијама и захтевима. Приликом избора опреме, доносиоци одлука обично су суочени са следећим захтевима: изабрати опрему које ће највише донети добити, оправдати финансијска улагања и осигурање испуњења планираних циљева приликом примене исте. Осим тога, моделирање ланаца снабдевања и решавање логистичких проблема се ослања на оптимизацију, симулацију и хеуристику. Тежња је развити методе за одређивање приближно оптималних решења за проблеме које класичне методе оптимизације не могу да реше и при томе утицати на доношење правилних одлука упркос појави неодређености и управо су ово поља и правци у којима су усмерена истраживања у овом раду. Преглед литературе, указује да поступак истраживања избора опреме прате и извесни недостаци [107]. Посебно у јавном сектору, услед недостатка системског приступа приликом избора као и неспособности за квантификацијом нематеријалних фактора, трошкови се издвајају као најсигурнији фактор приликом избора опреме. Такође, експерти (менаџери, планери) не разматрају процес евалуације учинка изабране опреме. Наиме немогуће је предвидети и укључити у модел и учинак опреме а пре самог процеса примене [25]. Један правац истраживања је усмерен на разматрање проблема избора опреме

као проблема где постоји више алтернатива које морају бити рангиране сагласно више различитих и конфликтних критеријума. Према томе, проблем избора опреме се може разматрати као проблем вишекритеријумске анализе [22]. Посебна пажња у овом прегледу литературе има за коначни циљ да укаже на трендове и примену појединих метода у процесу доношења одлука применом вишекритеријумске анализе, имајући у виду при томе улогу избора опреме и њен значај у процесу успешног планирања и оптимизације.

Управо раније поменути вишедимензионалност и велики број различитих критеријума присутних код оваквих проблема указује на постојање великог броја различитих приступа и модела за формулисање и решавање истих. Уочљива је чињеница да у великом броју радова као најзаступљенији приступ у ову сврху је и примена аналитичко хијерархијског поступка - АНР [13]. Zahedi [117], анализира АНР технику и њену примену у проблемима доношења одлуке, са посебним освртом на правце побољшања технике и њене недостатке. Наиме, класична техника чини процес поређења сувише компликованим и гломазним у циљу прикупљања на прави начин оцене доносиоца одлуке.

У циљу отклањања тог недостатка приликом поређења на свим хијерархијским нивоима користи се fuzzy логика тј. fuzzy АНР [5]. Тако ради правилног и ефикасног процеса избора, доносилац одлуке мора располагати и анализирати велику количину података и размотрити велики број фактора [4]. Dagdeviren [22] у сврху избора најпогодније опреме користи интегрисан приступ АНР-PROMETHEE. У сврху набавке нове опреме за одређивања релативних тежина критеријума у разматраном проблему користи се АНР техника а рангирање алтернатива изводи се применом методе вишег реда PROMETHEE. И управо овакав приступ је послужио као основа за методологију развијену у оквиру овог истраживања. У питању су радови у области тзв. комбинованих или хибридних метода (базиране на комбинованој примени различитих метода одлучивања ELECTRE, TOPSIS, ANP и др.) које решавају избор опреме која задовољава доносиоца одлуке [14,92]. Последњих година, проблеме везане са групним одлучивањем, субјективношћу доносиоца одлуке као и коришћење квалитативних израза за вредности алтернатива по појединим критеријумима приказују бројне проширене методе базиране на генерализованим fuzzy бројевима, и то у случају избора опреме [52,107,111] или карактеристика опреме [4,80,116].

Даљи преглед литературе показује да је један део истраживања у овој области усмерен и на развој експертских система као подршке доношењу одлуке о избору адекватне опреме. Tabucanon и др. [100] представили су експертски систем интегрисан са АНР-ом који комбинује АНР технику за рангирање алтернатива са техником формирања базе правила. Такође у литератури [15] је развијен интелегентан систем под називом MHESA (*Material Handling Equipment Selection Advisor*): подршка

доношењу одлуке при избору опреме у којем је експертски систем интегрисан са АНР техником. Модели базирани на хеуристици постају популарнији у процесу избора опреме у последње време. Значај овог приступа лежи у чињеници да ове методе могу разматрати и квалитативне и квантитативне утицаје у поступку избора. Интелигентни компјутерски системи могу бити развијени као експертски системи (енг. *Expert system - ES*) и системи подршке доношењу одлуке (енг. *Decision Support Systems - DSS*). Најзаступљенију су у процесу селекције експертски системи, својом функцијом захтевају од корисника унос жељених вредности карактеристика опреме у циљу избора најпогодније варијанте из скупа унапред дефинисаних алтернатива. База знања углавном обухвата правила генерисана из литературе, документације опреме или консултација са експертима. Неки од најуспешнијих експертских система су SEMH (*Selection of Equipment for Material Handling*) [29], MATHES (*MATerial Handling Equipment Selection expert system*) [28], FUMAHES (*FUzzy Multi-Attribute material Handling Equipment Selection*) [52], EXCITE (*EXpert Consultant for In-plant Transportation Equipment*) [97], MAHSES (*Material Handling Selection expert System*) [48] и др.

Заступљеност ових проблема у литератури као и чињеница да и у овој области велики део материјала отпада на радове објављене у часописима и конференцијама указује и потпуно оправдава заинтересованост истраживача за ову тематику.

Пажња у даљем истраживању је усмерена на модификацију постојећих хибридних (комбинованих) приступа као подршке доношењу одлуке и то при решавању проблема вишекритеријумске оптимизације, са циљем објективнијег упоређивања утицаја појединачних разнородних критеријума и њиховог свођења на заједничку функцију критеријума. У сврху трансформације и одређивања релативних тежина (важности) критеријума коришћене су модификоване класичне методе за подршку одлучивању АНР техника и модификована фамилија метода PROMETHEE уз коришћење fuzzy бројева тј. квалитативних израза за вредности алтернатива по појединим атрибутима.

5. Развој комбинованог приступа вишекритеријумског одлучивања

У области операционих истраживања, теоретичари и практичари, развили су велики број метода и приступа вишекритеријумског одлучивања. Комбиновањем метода за одређивање релативне важности критеријума и класичних метода рангирања алтернатива доноси се оптимална одлука о извесном проблему без обзира на природу параметара који га описују. Предложена методологија избора у домену логистике и логистичких система чини комбинацију позитивних искустава у примени познатих метода одлучивања и њихових модификација. Примена и модификација постојећих метода вишекритеријумске оптимизације уз објективније упоређивање утицаја критеријума, укључивање у модел појединих параметара који могу имати квалитативне и квантитативне вредности и анализу осетљивости у циљу идентификације најкритичнијих и најјачих критеријума у процесу одлучивања су главни правци ка којима су усмерена истраживања.

5.1 Одређивање релативне тежине критеријума за оцену алтернатива

Поменуто је чињеница да се доносилац одлуке у великом броју реалних разматраних проблема/ситуација мора сусрети или са једним или више циљева као и са великим бројем различитих конфликтних критеријума (вишекритеријумска анализа). Коначни редослед алтернатива неког проблема, дакле зависи од примењене технике вишекритеријумског одлучивања, а посебно од поступка дефинисања критеријума за вредновање, трансформације (нормализације) критеријума и одређивања њиховог релативног значаја. Када је у питању релативни значај критеријума, наине сваком критеријуму се додаје припадајућа тежинска вредност, на основу стручне процене и процене осталих учесника одлучивања, због чега је пожељно укључити што шири круг стручњака и свих других заинтересованих страна [110]. Из прегледа литературе уочљива је чињеница да се у великом броју радова, као најзаступљенији приступ за ову сврху, користи аналитичко хијерархијски поступак – АНР.

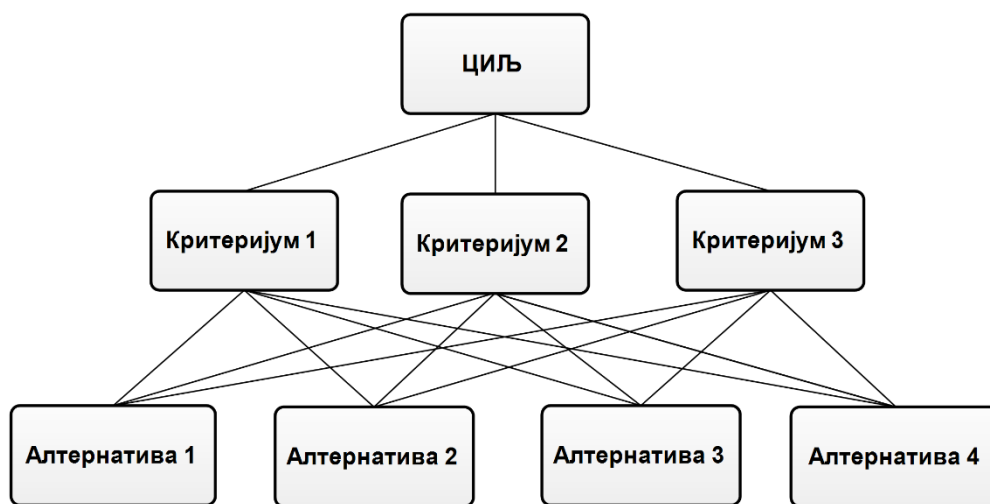
Потребно је нагласити чињеницу да у поступку одређивања релативних тежина критеријума субјективне одлуке имају пресудну улогу, и у литератури је присутна тежња да субјективни став о тежинама критеријума (значајност) је лакше изразити поредећи важности критеријума по паровима него одједном.

Међутим, класична техника чини процес поређења сувише компликованим и гломазним у циљу прикупљања на прави начин оцене доносиоца одлуке па се у сврху отклањања тог недостатка приликом поређења на свим хијерархијским нивоима проблема користи fuzzy логика тј. fuzzy АНР техника. У предложеном приступу као поступак за одређивање релативних тежина критеријума коришћена је fuzzy АНР техника, док се рангирање алтернатива изводи применом модификоване методе вишег реда PROMETHEE.

5.1.1 Аналитичко хијерархијски процес - АНР као подршка доношењу одлука

Посматрано методолошки и математички, АНР представља вишекритеријумску технику која се заснива на разлагању сложеног проблема у хијерархију. АНР представља један од најчешће коришћених метода вишекритеријумске анализе, а идеју и поставку дао је Thomas Saaty [86]. Процес одлучивања се посматра као хијерархијски процес са више нивоа. Циљ се налази на врху хијерархије, док су критеријуми, подкритеријуми и алтернативе на нивоима и поднивоима хијерархије. Техника се заснива на међусобном поређењу елемената на датом хијерархијском нивоу у односу на елементе на вишем нивоу.

Пример хијерархије приказан је на слици 5.1, и важно је напоменути чињеницу да хијерархија не мора бити комплетна тј. елемент на неком нивоу не мора да буде критеријум за све елементе у поднивоу, тако да се хијерархија може поделити на подхијерархије којима је заједнички једино елемент на врху.



Слика 5.1 Пример хијерархије у АНР-у

Сама техника представља квалитативну технику која се ослања на расуђивање и искуство доносиоца одлука. Након формирања хијерархијског модела посматраног проблема доносилац одлуке врши поређење елемената у паровима на сваком нивоу хијерархије у односу на елемент на вишем нивоу и тиме се добијају тежински коефицијенти свих елемената. Тежински коефицијенти у поступку доношења одлуке представљају меру релативног значаја елемената. Одређивање тежинских коефицијената n елемената, поређењем по два елемента, врши се коришћењем Сатијеве скале релативног значаја (Табела 5.1).

Табела 5.1 Сатијева скала релативног значаја [86]

Нумеричка вредност	Дефиниција	Значај
1	<i>Једнако</i>	Два елемента су идентичног значаја у односу на циљ
3	<i>Слаба доминација</i>	Искуство или расуђивање незнатно фаворизују један елемент у односу на други
5	<i>Јака доминација</i>	Искуство или расуђивање знатно фаворизују један елемент у односу на други
7	<i>Врло јака доминација</i>	Доминантност једног елемента потврђена у пракси
9	<i>Апсолутна доминација</i>	Доминантност највишег степена
2,4,6,8	<i>Међувредности</i>	Потребан компромис или даља подела
1/2,1/3, ..., 1/9	<i>Супротна доминација</i>	

Резултати поређења формирају матрицу A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Реципрочна вредност резултата поређења се смешта на место a_{ji} да би се сачувала конзистентност расуђивања. Поједностављено, аксиоми на којима се заснива АНР гласе [47]:

- *Аксиом реципрочности.* Ако је елемент A n пута значајнији од елемента B , тада је елемент B $1/n$ пута значајнији од елемента A .
- *Аксиом хомогености.* Поређење има смисла једино ако су елементи упоредиви.
- *Аксиом зависности.* Дозвољава се поређење међу групом елемената једног нивоа у односу на елемент вишег нивоа, тј. поређења на нижем нивоу зависе од елемента вишег нивоа.
- *Аксиом очекивања.* Свака промена у структури хијерархије захтева поново рачунање приоритета у новој хијерархији.

Када је матрица A потпуно конзистентна, онда је она иста као матрица X , где је w_i релативни тежински коефицијент елемента i .

$$X = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ w_1 & w_2 & w_3 & \dots & w_n \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \\ w_1 & w_2 & w_3 & \dots & w_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

Постоји неколико метода за одређивање вредности вектора тежинских коефицијената $\{w_i\}$ из матрице A , који представљају блиске апроксимације одговарајућих елемената матрице X . Један од начина је да се за матрицу A најпре одреди њена максимална сопствена вредност - λ_{\max} , а потом и одговарајући вектор сопствених вредности који се може узети као вектор приближних вредности тежинских коефицијената $\{w_i\}$, јер важи:

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ w_1 & w_2 & w_3 & \dots & w_n \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \\ w_1 & w_2 & w_3 & \dots & w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Вектор $\{w_i\}$ може се добити решавањем следећег система хомогених линеарних једначина:

$$Aw = nw \quad (A - nI)w = 0 \quad (4)$$

Приказан систем има нетривијално решење ако и само ако је n сопствена вредност матрице A , тј. ако је детерминанта матрице $(A - nI)$ једнака нули. Сада матрица X има ранг 1, пошто је сваки ред матрице производ константе и првог реда матрице. Због тога су све сопствене вредности, сем једне, једнаке нули. Сума сопствених вредности матрице једнака је трагу матрице. У овом случају траг матрице X једнак је n .

Према томе, n је сопствена вредност матрице A и систем једначина има нетривијално решење. Да би се постигло да w буде јединствено, његови елементи се нормализују тако што се поделе са њиховом сумом. Друге технике за одређивање вектора тежинских коефицијената $\{w_i\}$, а које такође препоручује Saaty [86], укључују сумирање редова матрице резултата поређења и нормализације добијених сума, јер је:

$$\sum_{j=1}^n \frac{w_i}{w_j} = w_i \left(\sum_{j=1}^n w_j \right) \quad i=1, \dots, n \text{ (по редовима)} \quad (5)$$

Вектор тежинских коефицијената $\{w_i\}$ такође се може добити тако што се реципрочне вредности сума колона нормализују пошто је:

$$\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_j} = w_i \left(\sum_{i=1}^n w_i \right) \quad j=1, \dots, n \text{ (по колонама)} \quad (6)$$

Такође, треба поменути да и нормализована геометријска средња вредност редова матрице такође даје вектор релативних тежинских коефицијената, $\{w_i\}$. Вектор тежинских коефицијената се затим множи са тежинским коефицијентом елемената са вишег нивоа који је коришћен као критеријум при поређењу. Процедура се понавља идући ка нижим нивоима хијерархије. Тежински коефицијенти се рачунају за сваки елемент на датом нивоу и исти се затим користе за одређивање тзв. композитних релативних тежинских коефицијената елемената у нижом нивоима. На крају се бира алтернатива са највећим композитним тежинским коефицијентом.

Када би постојала могућност да се прецизно одреде вредности тежинских коефицијената свих елемената који се међусобно пореде на датом нивоу хијерархије, сопствене вредности матрице A биле би потпуно конзистентне. У случају, ако се нпр. тврди да је A много већег значаја од B , B нешто већег значаја од C и C нешто већег значаја од A , настаје неконзистентност у решавању проблема и смањује се поузданост резултата.

Грешке у расуђивању мере се израчунавањем индекса конзистентности (CI) за добијену матрицу поређења, а затим и степена конзистентности (CR). Индекс конзистентности (CI) израчунава се према следећој релацији:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

где је λ_{\max} , максимална сопствена вредност матрице поређења.

Што је λ_{max} ближе броју n , мања ће бити неконзистентност. Да би се израчунала вредност λ_{max} , прво треба помножити матрицу у којој се налазе резултати поређења са вектором тежинских коефицијената (вектор приоритета):

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

Затим се подели први елемент добијеног вектора $\{b_i\}$ са првим елементом вектора $\{w_i\}$, други елемент са другим, итд.:

$$\begin{bmatrix} \frac{b_1}{w_1} \\ \frac{b_2}{w_2} \\ \dots \\ \frac{b_n}{w_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

Коначно је:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (10)$$

Заменом вредности λ_{max} из релације (10) у релацију (7) одређује се индекс конзистентности (**CI**). Степен конзистентности (**CR**) је однос индекса конзистентности и случајног индекса (**RI**):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (11)$$

Случајни индекс (**RI**) зависи од реда матрице, а узима се из Табеле 5.2, у којој први ред представља ред матрице, а други случајни индекс.

Табеле 5.2 Случајни индекси **RI**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,0	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Ако је степен конзистентности мањи од 0,10, резултат је довољно тачан и нема потребе за корекцијама у поређењима и понављању прорачуна. У супротном, ако је степен већи од 0,10, резултате би требало поново анализирати и установити разлоге неконзистентности, уклонити их делимичним понављањем поређења у паровима, а ако понављање процедуре у неколико корака не доведе до снижења степена конзистентности до толерантног лимита, све резултате треба одбацити и поновити цео поступак из почетка. У наредним редовима за потребе даљих истраживања су описани основни елементи fuzzy логике и теорије скупова, а затим и предложен поступак модификације стандардног АНР-а. Наиме ови концепти су коришћени за решавање задатака одређивања локације и елемената транспортно-складишног система предложеном методологијом и то у циљу одређивања тежинских коефицијената критеријума у моделу вишекритеријумског одлучивања.

5.1.2 Fuzzy Аналитичко хијерархијски процес – математичка позадина

5.1.2.1 Fuzzy логика – fuzzy теорија скупова

Fuzzy логика је настала као последица покушаја да се моделира човеково размишљање, искуство и интуиција у процесу доношења одлука на основу непрецизних података [91]. У стандардној методи АНР, међусобно поређење елемената на датом хијерархијском нивоу у односу на елементе на вишем нивоу, као што је и споменуто у претходним редовима, изводи се коришћењем скале релативног значаја са 9 вредности. Примена fuzzy логике се показала одлична у моделима у којима су интуиција и процена примарни елементи. До примене fuzzy теорије и скупова дошло је због честог поступања доносиоца одлуке у условима неодређености или тзв. парцијалних истина.

На самом почетку разматрања овог проблема потребно је дати и одговоре на нека важна питања и указати на особености fuzzy логике, теорије скупова и бројева. Као прво, да би одговорили на питање *Шта је fuzzy логика?*, најбоље је упоредити овај приступ са конвенцијалном логиком. Основе класичне логике је учврстио још у античкој Грчкој познати филозоф Аристотел и она се заснива на јасним и прецизно утврђеним правилима, а почива на теорији скупова. Неки елемент може да припада неком скупу или да не припада. Скупови имају јасно одређене границе. Тако су овакви скупови, па са њима и логика, названи енглеском речи *crisp*, која има значење – *јасан, бистар*. *Fuzzy* је енглеска реч која би могла да се преведе као *магловито, нејасно, мутно* [105]. На другој страни, у fuzzy логици није прецизно дефинисана припадност једног елемента одређеном скупу, већ се припадност мери у процентима. Ове мере припадности, скалиране, могу да узимају вредности од 0 до 1.

Fuzzy logika kao koncept je puno prirodniји nego што се то на први моменат мисли. Наиме, постоје ситуације у којима није могуће знање о систему репрезентовати на апсолутно прецизан начин. Чак је више ситуација у којима морамо да користимо непрецизне констатације. Да бисмо били у стању репрезентовати знање о оваквим системима (а има их јако пуно) морамо да се одрекнемо класичне (бинарне) логике у којој је нешто или тачно или нетачно (црно или бело) и да користимо fuzzy логику („све је нијанса сиве боје“). Захваљујући изузетној употребљивости fuzzy логике у третирању несигурности и неодређености, употреба модела процене базираних на теорији fuzzy скупова и бројева може обезбедити прихватљиво решење. Идејни творац fuzzy логике је L. A. Zadeh (1965) [104], и он дефинише два различита значења појма:

- у ширем смислу, fuzzy logika представља синоним за теорију fuzzy скупова или теорију која се односи на класу објеката са нејасним границама чија се припадност мери одређеним степеном,
- у ужем смислу, fuzzy logika је логички систем који представља проширење класичне логике.

Основни елеменат за представљање и обраду непрецизности у fuzzy технологијама је fuzzy скуп. Fuzzy скуп представља скуп елемената са сличним својствима. Fuzzy скупови су основни елементи којима описујемо непрецизност. Наиме, дискретан скуп (класичан) садржи елементе са истим својствима (нпр. скуп целих бројева итд.), док fuzzy скупови садрже елементе са сличним својствима (скуп високих људи, скуп ниских људи, итд.). У дискретним скуповима елемент или припада или не припада одређеном скупу, ако то представимо математички кажемо да је степен припадности скупу 1 (ако припада) или 0 (ако не припада). Са друге стране елементи у fuzzy скуповима могу делимично да припадају, математички то можемо да представимо на следећи начин 1 (100% припада), 0 (уопште не припада скупу), 0,7 (70% припада скупу). Дакле, овим приступом можемо прецизније да репрезентујемо непрецизне исказе. Класичан скуп је дефинисан тако да дели све елементе универзалног скупа у две категорије: своје чланове и оне које нису.

Сваки класичан скуп се може дефинисати преко карактеристичне функције:

$$\mu_A = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (12)$$

Fuzzy скуп \tilde{A} скупа X може се дефинисати као скуп уређених парова:

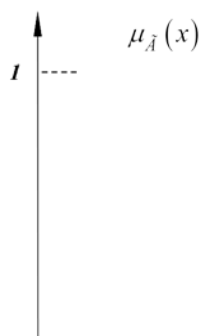
$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X, 0 \leq \mu_A(x) \leq 1\} \quad (13)$$

где је X скуп разматрања на којем је дефинисан fuzzy скуп A , а $\mu_A(x)$ је функција припадности елемента x скупу A .

Fuzzy логика уводи појам функције припадности која се интерпретира као степен истинитости тврдње и на тај начин је ближе повезана са проблемима и догађајима из свакодневног живота. Сваки fuzzy скуп је у потпуности одређен својом функцијом припадности која представља степен припадања елемената x fuzzy скупу A :

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (14)$$

Fuzzy бројеви се дефинишу као конвексни нормализовани fuzzy скупови. Fuzzy скуп је нормализован ако бар један елемент припада том скупу са степеном припадности 1. Према fuzzy теорији избор функције припадности, односно облика функције и ширине интервала поверења најчешће се изводи на основу субјективне процене или искуства. Најчешћи облици функције припадности су: троугаони, трапезоидни, Gausovski и звонасти [91].



Слика 5.2 Функција припадности троугластог fuzzy броја

Fuzzy број \tilde{A} скупа X је троугласти број ако је његова функција припадности $x \in \tilde{A}, \mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u \\ 0, & \text{остало} \end{cases} \quad (15)$$

Њега одређују три величине:

- l - лева граница fuzzy броја

- u – средња вредност fuzzy броја
- m - десна граница fuzzy броја

Основне операције са троугластим fuzzy бројевима изводе се сагласно следећим изразима [101]:

- збир два fuzzy броја:

$$(l_1, m_1, u_1) + (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (16)$$

- разлика два fuzzy броја:

$$(l_1, m_1, u_1) - (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \quad (17)$$

- Производ два fuzzy броја:

$$(l_1, m_1, u_1) \times (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (18)$$

- Количник два fuzzy броја:

$$(l_1, m_1, u_1) / (l_2, m_2, u_2) = (l_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / l_2) \quad (19)$$

- Инверзни број:

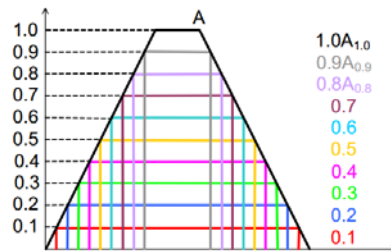
$$(l_1, m_1, u_1)^{-1} = (1/l_1, 1/m_1, 1/u_1) \quad (20)$$

- Производ fuzzy броја и било ког реалног броја α :

$$\alpha x(l_1, m_1, u_1) = (\alpha l_1, \alpha m_1, \alpha u_1) \quad (21)$$

Fuzzy број се представља помоћу интервала поверења и одговарајућег степена уверености (коришћењем α -пресека). Fuzzy скуп се може представити помоћу уније дискретних скупова (његових α -пресека) тј. α -пресек fuzzy скупа A представља скуп свих елемената надскупа X са особином да у оригиналном fuzzy скупу имају вредност степена припадности већи од α . Ако се степен уверености означи са α , тада су границе интервала поверења апсисе тачака које се добијају у пресеку функције припадности fuzzy броја и праве чија је једначина $y=\alpha$. Увођењем α -пресека и дефинисањем интервала поверења и одговарајућег степена уверености α , троугаони fuzzy број се може приказати као [53]:

$$\forall \alpha \in [0,1] \\ \tilde{A}\alpha = [l\alpha, u\alpha] = [(m-l)\alpha + l, u - (u-m)\alpha] \quad (22)$$



Слика 5.3 Fuzzy скуп А и неки његови α пресеци

Наиме, α -пресек fuzzy скупа је дефинисан ради увођења уверености експерта или доносиоца одлуке на његову/њену преференцију или суд. Као што је споменуто у претходним редовима, до примене fuzzy теорије и скупова дошло је због честог поступања доносиоца одлуке у условима неодређености или тзв. парцијалних истина. Фазификација основног метода АНР која је и основа предложене методологије, извршена је тако што су за одређивање fuzzy тежинских вредности критеријума и алтернатива коришћени троугаони fuzzy бројеви, а у целини је, наравно коришћена fuzzy аритметика, и то почевши од скале релативног значаја и вредновања у паровима па до свих матричних операција.

Генерално, намера је да се предложена методологија примени приликом одређивања релативних тежина критеријума у моделу вишекритеријумског одлучивања. Овај процес генерално, представља специфичан проблем који је неминовно праћен утицајем субјективности, и као такав је веома значајан на крајњи резултат одлучивања. Тежине критеријума немају јасно економско значење, већ представљају мере за увођење релативне значајности критеријума. Задавање вредности тежина критеријума је посебан проблем и његово решавање зависи од структуре преференције доносиоца одлуке и начина њеног исказивања и формулисања. Значи, уочљива је из ових редова констатација, да одређивање важности (тежина) критеријума често представља пресудан параметар за успешну примену методе вишекритеријумског одлучивања. Практично, тежине критеријума дефинисане у облику вектора тежинских коефицијената, представљају размену и међусобни однос међу самим критеријумима.

Применом fuzzy логике се остварују бројне предности:

- користе се лингвистичке променљиве уместо квантитативних променљивих у приказивању непрецизних података,
- велика толеранција и флексибилност код коришћења непрецизних података,
- једноставност и могућност коришћења са конвенционалним техникама управљања.

Дакле, значајну примену fuzzy логика има у случајевима када не постоји одговарајући математички модел за приказ неког комплексног процеса и када је неопходно користити знање експерата. Коришћењем различитих техника моделирања заснованих на fuzzy логици решава се широк спектар проблема и постиже доношење правилних закључака.

5.1.2.2 Фазе fuzzy АНР приступа - FАНР

Након формирања хијерархијског модела посматраног проблема, код стандардне технике АНР, врши се поређење елемената у паровима на сваком нивоу хијерархије у односу на елемент на вишем нивоу и тиме се добијају матрица поређења и тежински коефицијенти свих елемената. Тежински коефицијенти у поступку доношења одлуке представљају меру релативног значаја елемената. У fuzzy АНР приступу, троугаони fuzzy бројеви су искоришћени ради побољшања процеса скалирања при формирању матрице поређења, а fuzzy аритметика ради одређивања fuzzy вектора сопствених вредности. Процедура оваквог приступа може се дати у неколико корака [4,101]:

Корак 1: Одређивање тежинских коефицијената елемената тј. релативног значаја по два елемента на истом нивоу хијерархије коришћењем троугаоних fuzzy бројева $(\tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9})$.

Корак 2: Формирање fuzzy матрице поређења: коришћењем троугаоних fuzzy бројева приликом поређења по два елемента на истом нивоу хијерархије, формира се fuzzy матрица поређења $\tilde{A}(a_{ij})$:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

где је:

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} & i > j \\ 1 & i = j \\ \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} & i < j \end{cases}$$

Корак 3: Одређивање fuzzy вектора сопствених вредности $\tilde{\lambda}$, који представља решење система:

$$\tilde{A}\tilde{x} = \tilde{\lambda}\tilde{x} \quad (24)$$

при чему је: \tilde{A} - $n \times n$ fuzzy матрица која садржи fuzzy бројеве \tilde{a}_{ij} , \tilde{x} је $n \times 1$ fuzzy вектор који садржи елементе \tilde{x}_i .

За све операције користи се fuzzy аритметика тј. за спровођење fuzzy множења и сабирања користи се интервална аритметика и α -пресек, па се добија следећи систем једначина:

$$\begin{aligned} a_{i1l}^\alpha x_{i1}^\alpha + \dots + a_{inl}^\alpha x_{in}^\alpha &= \lambda x_{il}^\alpha \\ a_{i1u}^\alpha x_{i1}^\alpha + \dots + a_{inu}^\alpha x_{in}^\alpha &= \lambda x_{iu}^\alpha \end{aligned} \quad (25)$$

где је:

$$\tilde{a}_{ij}^\alpha = [a_{i1l}^\alpha, a_{i1u}^\alpha], \tilde{x}_i^\alpha = [x_{il}^\alpha, x_{iu}^\alpha], \tilde{\lambda}^\alpha = [\lambda_l^\alpha, \lambda_u^\alpha], \text{ за } 0 < \alpha \leq 1 \text{ и } i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,n.$$

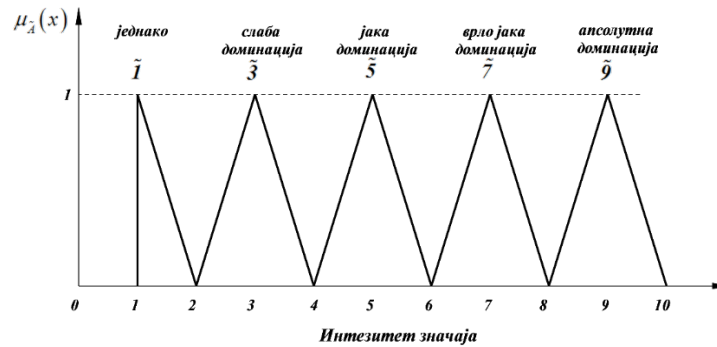
Степен сатисфакције за матрицу поређења одређује се помоћу индекса оптимизма λ . Што је већа вредност индекса λ већи је степен сатисфакције [4]:

$$\tilde{a}_{ij}^\alpha = \lambda a_{iju}^\alpha + (1 - \lambda) a_{ijl}^\alpha, \forall \lambda \in [0,1] \quad (26)$$

Фиксирањем параметра α , може се одредити измењена матрица \tilde{A} подешавањем индекса оптимизма λ при одређивању степена сатисфакције.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12}^\alpha & \dots & \tilde{a}_{1n}^\alpha \\ \tilde{a}_{21}^\alpha & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n}^\alpha \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1}^\alpha & \tilde{a}_{n2}^\alpha & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

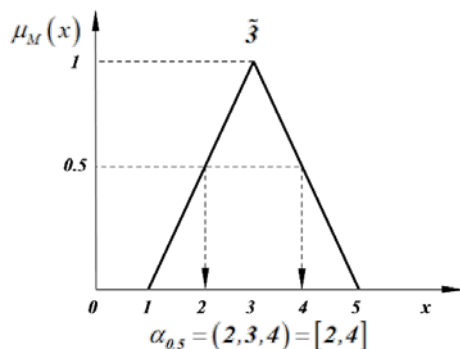
Дефинисано је пет троугаоних fuzzy бројева са одговарајућим интензитетом значаја (слика 5.4).



Слика 5.4 Fuzzy функција припадности

Доња граница l и горња граница u fuzzy бројева (слика 5.5) у односу на α , могу се одредити и на основу израза:

$$\begin{aligned}
 \tilde{1}_\alpha &= [1, 3 - 2\alpha] \\
 \tilde{3}_\alpha &= [1 + 2\alpha, 5 - 2\alpha], \tilde{3}_\alpha^{-1} = [1/5 - 2\alpha, 1/1 + 2\alpha] \\
 \tilde{5}_\alpha &= [3 + 2\alpha, 7 - 2\alpha], \tilde{5}_\alpha^{-1} = [1/7 - 2\alpha, 1/3 + 2\alpha] \\
 \tilde{7}_\alpha &= [5 + 2\alpha, 9 - 2\alpha], \tilde{7}_\alpha^{-1} = [1/9 - 2\alpha, 1/5 + 2\alpha] \\
 \tilde{9}_\alpha &= [7 + 2\alpha, 11 - 2\alpha], \tilde{9}_\alpha^{-1} = [1/11 - 2\alpha, 1/7 + 2\alpha]
 \end{aligned}
 \tag{27}$$



Слика 5.5 α -пресек fuzzy броја [4]

Индекс конзистентности (CI), као и степен конзистентности (CR) одређују се редом, из израза:

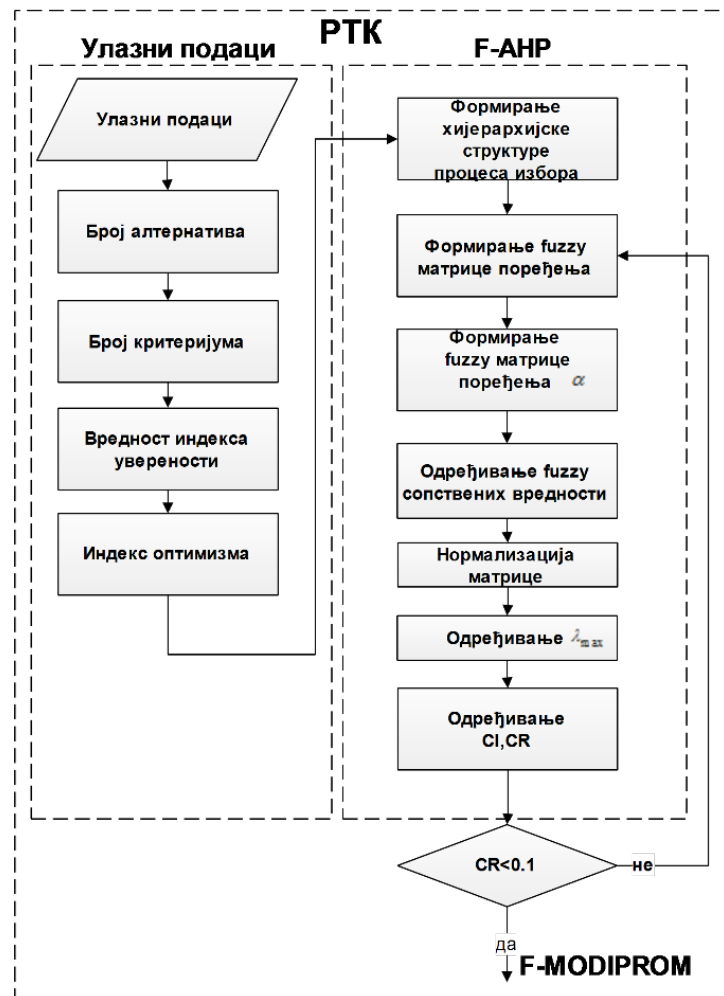
$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \tag{28}$$

$$CR = CI / RI \tag{29}$$

Случајни индекс (RI) зависи од реда матрице, а узима се из Табеле 5.2, као и код стандардне технике. Ако је степен конзистентности мањи од 0,10, резултат је довољно тачан и нема потребе за корекцијама у поређењима и понављању прорачуна.

За потребе даљих истраживања тј. у оквиру развоја комбинованог поступка одлучивања, ради лакшег коришћења представљеног алгоритма за добијање релативних тежина критеријума (слика 5.6) развијен је помоћни алат коришћењем програмског пакета MATLAB R2013а. Добијени програмски додаток је у каснијој фази интегрисан са алатом развијеним у сврху рангирања алтернатива. Програм је назван РТК (Релативне Тежине Критеријума) и карактерише га способност коришћења неограниченог броја критеријума као и брзина и флексибилност у раду. Осим тога развијен алат пружа могућност ДО да као улазне податке користи

различите вредности индекса уверености и оптимизма у интервалу $[0,1]$ и покаже њихов утицај на коначне резултате.



Слика 5.6 Алгоритам одређивања релативних тежина критеријума

Дакле, у оквиру програма РТК сам процес оцењивања и одређивања преференци критеријума се спроводи на следећи начин:

- пошто су на почетку дефинисани основни параметри модела (број критеријума и алтернатива, вредности индекса уверености и оптимизма) генерише се тзв. fuzzy матрица поређења,
- матрица поређења је квадратних димензија, једнаким броју критеријума, и на главној дијагонали се евидентирају јединице, а остале вредности у облику троугаоних fuzzy бројева се уносе као резултат поређења сваког критеријума са сваким на основу скале од пет тачака (слика 5.5). У овом кораку уносе се само директне вредности док се инвертоване аутоматски генеришу.

- коришћењем израза (25) и (26), програм РТК аутоматски генерише α -пресек матрицу,
- а затим се обавља нормализација матрице из претходног корака, одређују се fuzzy сопствене вредности тј. релативне тежине критеријума и степен конзистентности сагласно представљеним корацима fuzzy АНР приступа. Ако је степен конзистентности мањи од 0,10, резултат је довољно тачан и нема потребе за корекцијама у поређењима и понављању прорачуна.

5.1.3 Одређивање система критеријума за оцену алтернативних решења

Решавање проблема одлучивања захтева као прво дефинисање система критеријума, а затим и одређивање њиховог релативног значаја. Почетна основа при дефинисању критеријума је чињеница да се приликом решавања сваког проблема може усвојити различит број и врста критеријума зависно од одговарајућих одлука и информација које стоје на располагању. Такође, јединствен скуп критеријума разматраног проблема најчешће није на располагању доносиоцу одлуке. Дакле, у оквиру примене модела вишекритеријумског одлучивања, углавном се захтева спровођење следећа три корака [2]:

- дефинисање релевантних критеријума и алтернатива,
- додељивање нумеричких вредности за релативну важност (тежину) као и утицаја алтернатива на ове критеријуме,
- добијање нумеричких вредности које одређују коначан резултат рангирања алтернатива.

У литератури, истраживачи у примени модела вишекритеријумског одлучивања, углавном пажњу усмеравају ка другом и трећем кораку, док је први корак везан за дефинисање критеријума у значајној мери запостављен. У примени приступа вишекритеријумског одлучивања, директно се дефинишу критеријуми избора без одређених тестова провере њихове независности или провере других карактеристика. Због независне природе критеријума веома је важно ограничити број критеријума и на тај начин обезбедити довољну осетљивост модела на промене тежине критеријума. Из прегледа литературе [17, 66, 86], уочљива је чињеница да избор критеријума захтева примену формалних процедура одређивања скупа од приближно седам плус или минус два независних критеријума. У ту сврху, могуће је применити корелацијски тест за поређење независних критеријума и редуковање њиховог броја на оперативни и прихватљив ниво. Циљ корелационе анализе је да се утврди да ли између варијација посматраних појава (у овом случају критеријума) постоји квантитативно слагање (корелациона веза) и ако постоји у ком степену. Другим

речима, корелациона анализа показује степен зависности између променљивих, тј. корелацијом се не мери јачина већ утврђене повезаности између две променљиве.

Статистичке методе служе за одређивање репрезентативних својстава скупова значајно различитих елемената. Статистика је субјективна: статистичари покушавају да објасне или предвиде материјални свет произвољним, али разумним начином, коришћењем теорије вероватноће, математике и здравог разума. За разлику од статистике, теорија вероватноће за потпуно дефинисан проблем даје јединствено и поновљиво решење. Наиме, промена једног обележја статистичког скупа често утиче на промену других обележја због међусобне повезаности.

Повезаност између обележја може се разликовати и по смеру и по јачини повезаности. Најјача или најужа веза између обележја је функционална веза, тј. таква веза да свакој вредности једног обележја одговара тачно одређена вредност другог. Лабавија веза између обележја, која су подложна мањим или већим одступањима, назива се корелативном (или стохастичком) везом. Скуп статистичких метода којима се проучавају узајамне везе статистичких обележја и појава (смер, јачина, облик) назива се теоријом корелације, а основни показатељи корелационих веза су једначина регресије и коефицијент корелације.

Дакле, испитивање зависности у статистичкој анализи има два основна правца:

1. облик зависности који испитује регресиона анализа и
2. јачину зависности коју одређује корелициона анализа.

Степен интензитета повезаности између променљивих, које су у линеарном односу мери се:

- коваријансом као апсолутном мером интензитета корелације и
- коефицијентом прости линеарне корелације, као релативном мером интензитета корелационе везе.

Ако се посматрају две појаве реч је о простој корелацији, а ако је реч о више појава онда о вишеструкој корелацији. Такође могуће је испитати да ли је реч о линеарној или криволинијској вези. За разлику од регресионе анализе у корелационој анализи се обе посматране појаве третирају као случајне променљиве. Овде нема разлике између зависне и независне променљиве. Свеједно је коју ћемо појаву означити са X а коју са Y , јер ће се добити идентични резултати. Дакле, уводи се појам коефицијента корелације, који представља показатељ степена квантитативног слагања између променљивих.

5.1.3.1 Хипотезе о коефицијенту корелације-математичка позадина

Популаран метод доказивања теорема у математици је *deductio ad absurdum*, довођење до противречности ако се претпостави супротно тврђење [114]. У већини

области у којима се примењује статистика није могуће извести ригорозан доказ, али метод довођења до противречности је у суштини основа статистичког доказа.

У статистици се, за разлику од математике, апсолутна противречност ретко може појавити. Задатак статистичке теорије тестирања хипотеза јесте да квантификује степен сумње у неку хипотезу. Избор између две хипотезе назовимо их H_0 - нулта хипотеза и H_1 - алтернативна хипотеза, појављује се у различитим областима примене, у ствари кад код треба доказати неко тврђење или верификовати неку нову теорију. Дакле ако желимо да докажемо неко тврђење, онда супротно тврђење (или неутрално или постојеће стање) узимамо за нулту хипотезу, а само тврђење за хипотезу H_1 .

Циљ поступка испитивања је да се испита, на основу резултата има ли доказа против хипотезе H_0 а у корист хипотезе H_1 . Тест је одређен ако је дефинисана статистика S (статистика теста) и скуп вредности за S за које одбацујемо хипотезу H_0 (област одбацивања или критична област) [114]. Закључак теста може бити један од следећа два:

- Одбацујемо H_0 , јер смо добили S у области одбацивања и као објашњење нудимо хипотезу H_1 ;
- Не одбацујемо H_0 , јер смо добили S ван области одбацивања и немамо доказа против H_0 .

При тестирању хипотеза могуће су две врсте грешака:

- *грешка прве врсте* настаје ако се H_0 одбаци када је H_0 тачна,
- *грешка друге врсте* настаје ако се H_0 одбаци када је H_1 тачна.

С обзиром на интерпретацију хипотеза обично нам је важније да не направимо грешку прве врсте, јер би смо тим поступком доказали тврђење које није тачно (хипотеза H_1). Максимална вредност грешке прве врсте је ниво значајности теста и обележава се са α . За величину нивоа значајности се обично узимају стандардне вредности $0,1,0,05,0,01$. Стандардан избор је конвенција које се не морамо придржавати, али омогућава поређење различитих резултата и олакшава израчунавања јер се могу користити стандардне таблице. Смањењем нивоа значајности повећава се вероватноћа грешке друге врсте.

Нека је (X, Y) случајни вектор. Из дводимензионалне расподеле вектора (X, Y) узимамо узорак обима n : $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$. Овде су парови (X_i, Y_i) независни, док случајне величине из истог пара имају одређену заједничку расподелу и могу бити зависне, са коефицијентом корелације ρ . Методом момената добијамо оцену за ρ

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2\right)}} \quad (30)$$

Статистика r назива се узорачким коефицијентом корелације или оцењена вредност параметра ρ . За тестирање хипотеза у вези са ρ , као и налажење интервала поверења, од користи је следећа теорема:

Теорема 1: Ако случајни вектор (X, Y) има дводимензионалну нормалну расподелу са $\rho=0$, тада статистика

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (31)$$

има $t(n-2)$ расподелу.

Тестирање хипотезе о коефицијенту просте линеарне корелације на основном скупу ρ , на основу његове оцене из случајног узорка r се заснива на претпоставци о нормалности заједничке расподеле за променљиве X и Y . Приликом тестирања користимо t расподелу вероватноћа. Приказана теорема се користи за тестирање хипотезе $H_0: \rho=0$ у случају када вектор има нормалну расподелу или када је обим узорка велики, па се може прихватити нормална апроксимација. Две хипотезе, и то редом: Нулта хипотеза $H_0: \rho = 0$ (у основном скупу не постоји линеарна корелација између две променљиве) и Алтернативна хипотеза $H_1: \rho \neq 0$ (у основном скупу постоји линеарна корелација између две променљиве) се тестирају применом корелацијског теста.

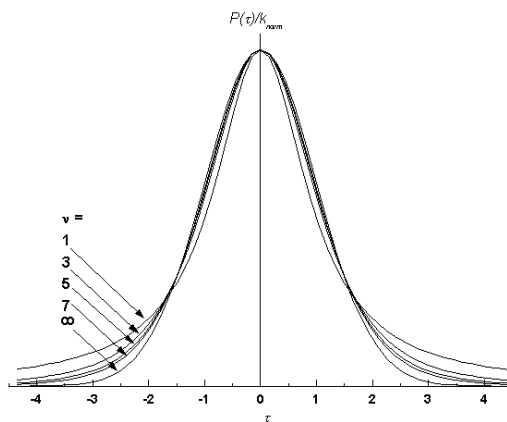
Коефицијент просте линеарне корелације у основном скупу обележава се са ρ , а у узорку са r , и може узети вредности само у интервалу -1 и 1 , тј. $-1 \leq \rho \leq 1$ и $-1 \leq r \leq 1$. Ако су емпиријске тачке распршене свуда по дијаграму тада између две променљиве не постоји линеарна корелација и тада је $r \approx 0$. Ако варијабле нису повезане, r је једнак нули. Када већим вредностима независно променљиве X , одговарају и веће вредности зависно променљиве Y и обрнуто: опадањем вредности независне X , опадају и вредности зависне Y - онда је то позитивна корелација ($r > 0$). Обрнуто, када већим вредностима независно променљиве X , одговарају мање вредности зависно променљиве Y , односно опадањем вредности независне X расту вредности зависне Y - онда је то негативна корелација ($r < 0$). Важи опште правило: што је вредност коефицијента просте линеарне корелације ближа јединици, то је међузависност међу посматраним појавама јача. Коефицијент корелације никада нема вредности 1 или -1 , јер то би значило да између појава постоји математичка, а не статистичка веза.

Најчешће употребљаван параметријски тест значајности за тестирање нулте хипотезе је Студентов t -тест. Користи се за тестирање значајности разлика између две аритметичке средине. Услови за примену t - теста:

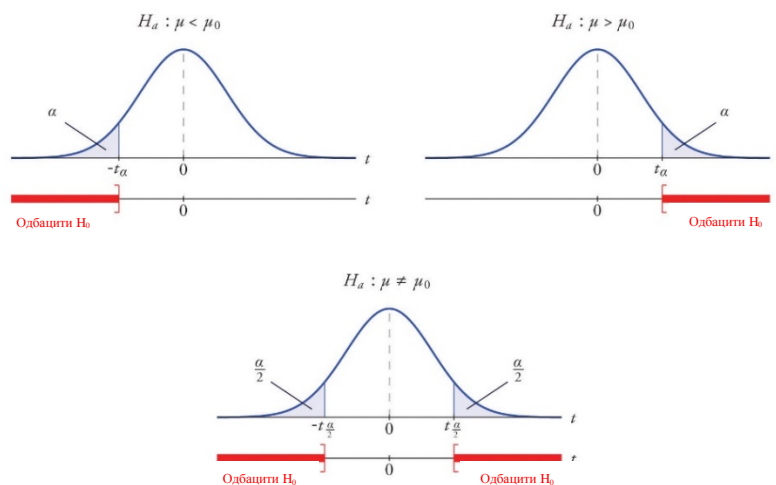
- обе варијабле које се тестирају морају бити нумеричке,
- уколико је величина узорка мања од 30 јединица, распоред треба бити нормалан или бар симетричан.

Тумачење добијене вредности t - теста базира се на Студентовом t – распореду са одређеним бројем степена слободe (слика 5.7) и Студентовим таблицама критичних вредности t – распореда (Табела 5.3).

Функција t -расподеле је симетрично опадајућа, и са повећањем степена слободe површина обухваћена реповима се смањује, а расподела се све више приближава стандардној нормалној расподели.



Слика 5.7 Студентова t – расподела са одређеним бројем степена слободe



Слика 5.8 Правила прихватања хипотезе H_0 као тачне а одбацивања алтернативне H_1

Из свега напред наведеног произилазе следећа правила (слика 5.8):

Ако је реализована t -вредност мања од граничне табличне вредности за одговарајући број степена слободe и праг (ниво) значајности, нулта хипотеза се прихвата као тачна, а одбацује алтернативна хипотеза:

- $t\text{-реализовано} < t_{(CC \text{ и } 0,05)} \Rightarrow H_0$ се не одбацује јер је ризик већи од 5% ($p > 0$)

Обрнуто, ако је реализована t -вредност једнака или већа од граничне табличне вредности, за одговарајући број степена слободe и праг значајности, нулта хипотеза се одбацује као нетачна, а прихвата се алтернативна хипотеза:

- $t\text{-реализовано} \geq t_{(CC \text{ и } 0,05)} \Rightarrow$ одбацује се нулта хипотеза за ниво ризика $p=0,05$, односно за ниво сигурности $P=0,95$ (95%)
- $t\text{-реализовано} \geq t_{(CC \text{ и } 0,01)} \Rightarrow$ одбацује се H_0 и за ниво ризика $p=0,01$, односно за ниво сигурности $P=0,99$ (99%).

Табела 5.3 t -вредности за Студентову t -расподелу са n степени слободe

n	Вредности за t за различите нивое вероватности, p						
	0.75	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995	0.9995

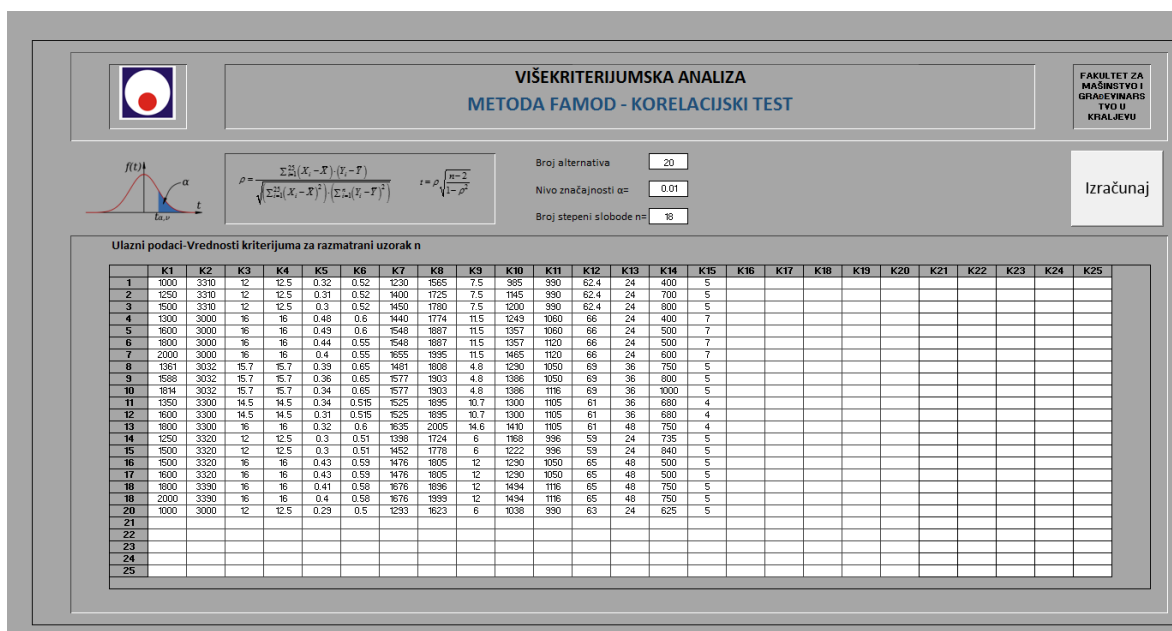
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	.700	1.327	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	.686	1.233	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Дакле, применом корелацијског теста очекује се остварење редукованог и независног скупа критеријума. Разлог лежи у већ поменутој чињеници да у литератури не постоји јасно дефинисана процедура избора критеријума или јединствен скуп критеријума за избор тј. он варира и осим тога што критеријуми избора морају бити независни (предлаже се да њихов број мора бити приближно седам).

Очекује се да модели са мањим бројем критеријума постају осетљивији на промене тежине критеријума и постају способнији да произведу рангирање такво да су резултати рангирања израженије међусобно одвојени [114]. Циљ је успоставити коначан број независних критеријума у ситуацијама када је то неопходно, па онда применити fuzzy АНР приступ за одређивање релативних тежина или значајности истих. На основу корелацијског теста могуће је одредити јачину већ утврђене повезаности између две променљиве и у ту сврху потребно је одредити степен корелације између две случајне променљиве.

Након израчунате вредности корелацијског коефицијента за сваки пар критеријума, тестирање коефицијента просте линеарне корелације се заснива на

Студентовом распореду за $n-2$ степена слобode, а добијена t -вредност се тумачи на исти начин као и код класичног Студентовог t -теста. Статистичка тест, p -вредност (ниво значајности) се пореди са предефинисаним нивоом значаја α који је доказ позитивног односа између два критеријума. Уколико је p -вредност мања од критичне вредности закључује се да постоји доказ позитивног односа између два критеријума и један од њих може бити елиминисан. У практичне сврхе, за потребе овог истраживања, а ради лакшег спровођења обимних прорачуна, представљен поступак је аутоматизован развојем програмског алата у окружењу Microsoft Excel-a (слика 5.9). Дати програмски алат поседује ограничење везано за број критеријума, и у овом случају исти је максимално 25.

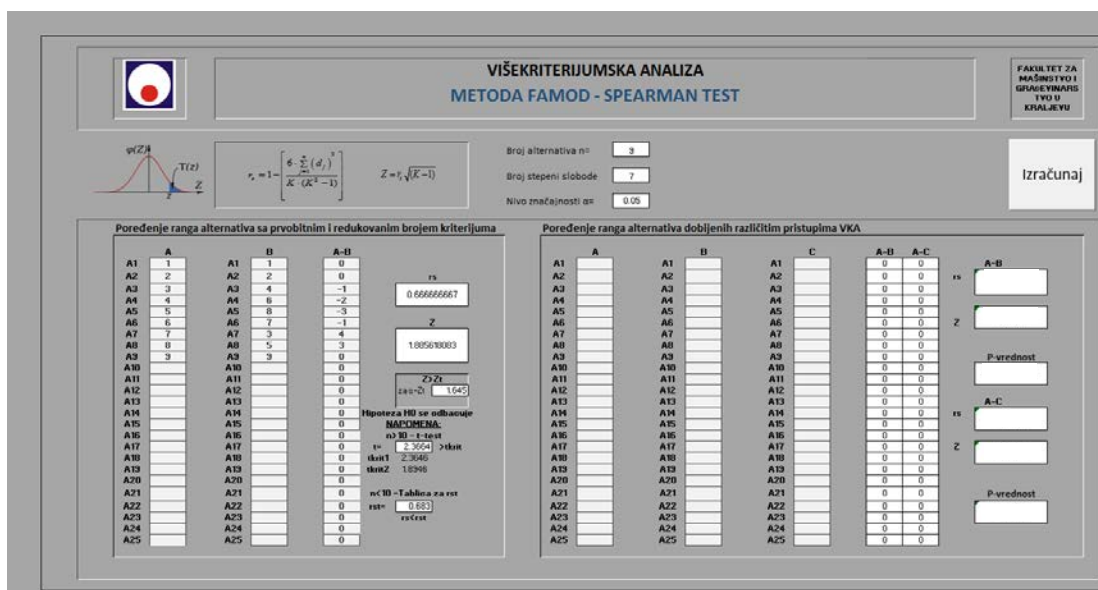


Слика 5.9 Кориснички интерфејс модула за корелацијски тест у оквиру развијеног приступа

За произвољан критеријумски пар програмски додаток рачуна t - вредност, двостране t -расподеле са $n-2$ степена слобode, коришћењем израза (31). Затим одређује редом једнострану и двострану p –вредност у t -расподели. Када је израчуната p -вредност за сваки критеријумски пар, формира се матрица од двостране p -вредности при чему се иста уноси у матрицу испод главне дијагонале, а парови чије p -вредности су мање од унапред дефинисане вредности су означени изнад главне дијагонале са “X”.

Сама процедура елиминације или редукције броја критеријума (променљивих) који су у корелацији се затим обавља на основу правила која су детаљно приказана у поглављу у којем је и извршена илустрација дате процедуре на нумеричком примеру избора опреме. Очигледно је, да смањењем броја критеријума модел постаје

осетљивији на промене тежине критеријума, па је у ту сврху неопходно анализирати и статистички значајне разлике између првобитног и редукованог скупа критеријума на коначно рангирање. На овај начин дошло би се до кључног запажања из примене корелацијског теста, да и ако се рангирање разликује за редукован број критеријума у односу на првобитни скуп, разлике статистички нису значајне. У сврху анализе статистички значајне разлике између првобитног и редукованог броја критеријума развијен је у модул који користи специјалну врсту корелацијског теста тзв. Spearman-ов корелацијски тест (слика 5.10). Развијеним модулом могуће је за одређени ниво значајности упоредити резултате рангирања са редукованим и првобитним критеријумима, као и излазне резултате рангирања добијених коришћењем више приступа вишекритеријумске анализе. Као и у претходном случају, детаљнији преглед спровођења ових тестова дат је у наредном поглављу, тачније приликом илустрације примене комбинованог приступа на решавању конкретних проблема избора опреме.



Слика 5.10 Кориснички интерфејс модула за Spearman-ов корелацијски тест

5.2 Избор методе за успостављање ранга алтернатива

У овој фази бира се метода вишекритеријумске анализе којом се претходно дефинисане алтернативе вреднују на основу усвојених критеријума и њихових тежинских коефицијената. Избор најбољег вишекритеријумског метода је у потпуности дефинисан природом посматране проблематике.

Ниво комплексности проблема као синоним за број критеријума и алтернатива којима је проблем описан, опредељује тип вишекритеријумског метода и степен

дискретности ДО као његов однос према значају појединих критеријума [21]. Број селектованих алтернатива детерминише једну димензију проблема, императивно инсистирајући на развијању више могућих сценарија и очекиваних резултата. Након евидентирања свих алтернатива, аналитичар у интеракцији са ДО бира метод довољно репрезентативан, обухватан и комплексан да врши вредновање, селекцију и диференцирање најбоље или траженог броја алтернатива. У оквиру предложеног поступка рангирања алтернатива пошло се од раније поменуте чињенице, да приликом решавања проблема вишекритеријумског одлучивања у одговарајућој матрици постоји могућност појављивања две врсте података (расплинути и нерасплинути), што наводи на закључак да је потребно извршити модификацију класичних метода ВАО односно ВКА.

Истраживања приказана у наредним редовима су усмерена управо у овом правцу тј. ка коришћењу и модификацији класичних метода вишекритеријумског одлучивања, а у сврху рангирања алтернатива посматраног проблема. Значајан део вишекритеријумских метода као што је раније уочено [9,10,11], припада методама вишег реда (outranking methods) због велике прилагодљивости истих реалним проблемима и увођења нових типова генерализованих критеријума за исказивање преференција доносиоца одлуке о конкретним критеријумима решаваног проблема.

Потребно је на адекватан начин вредновати и укључити у модел за одређивање најповољније алтернативе по задатим критеријума све битне карактеристике и параметре критеријума било да су у квантитивном или квалитативном облику. Тачније, у наредним редовима приказан је поступак формирања ефикасне методе и технике за подршку одлучивању, и то тако да избор генерализованих критеријума не буде препуштен искуству и субјективној оцени доносиоца одлуке. Модификована PROMETHEE метода – MODIPROM (MODIfikovana PROMethee Metoda) представља побољшану фамилију метода за вишекритеријумско рангирање [50,60].

5.2.1 PROMETHEE методе - математичка позадина

Задатак оптимизације је да омогући избор најбоље варијанте (најбољег решења) из низа варијанти односно у математичком облику оптимизација се своди на максимизацију функције критеријума $\max \{f_1(x), \dots, f_n(x)\}$ при задатим ограничењима $x \in A \{a_1, \dots, a_m\}$. При том су познате вредности f_{ij} сваког разматраног критеријума f_j за сваку од могућих алтернатива A_i

$$f_{ij} = f_j(a_i) \quad \forall (i,j); i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n . \quad (32)$$

Специфичан проблем који се јавља у вишекритеријумској анализи су критеријуми за рангирање алтернатива. Поступак рангирања m алтернатива $A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_m\}$ обухвата генерализацију појма n критеријума $f = \{f_1, \dots, f_k, \dots, f_n\}$, формирање релација рангирања и компаративну анализу резултата. Нека је $f_j(a)$ вредност критеријума f_j за алтернативу a . Након формирања почетне матрице врши се придруживање једне преферентне функције $P_j(a,b)$ сваком критеријуму, у односу на кога се пореде две алтернативе, а којом се изражава интезитет преференције алтернативе a у односу на алтернативу b . На основу функција преференција, којих има бесконачно много, бира се тип генерализоване критеријумске функције која има вредност између 0 и 1 и у општем случају та вредност је:

$$P_j(a,b) = \begin{cases} 0, \text{ ако је } f(a) \leq f(b) \\ P_j[f(a) - f(b)] = P_j[d(a,b)] \end{cases} . \quad (33)$$

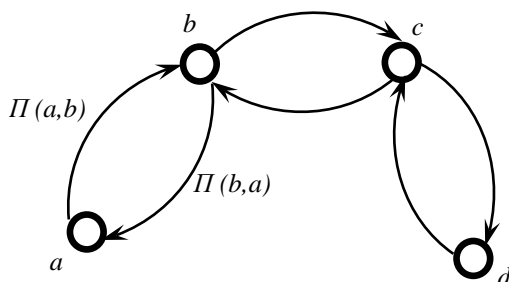
Фамилија PROMETHEE метода развијена је у шест варијанти а од стране више аутора бриселске школе (Brans (1984), Brans i Mareschal (1984), Brans i Vincke (1985), Mareschal (1986)). Шест типова генерализованих критеријумских функција за исказивање преференција доносиоца одлуке о конкретним критеријумима решаваног проблема је основна карактеристика ове фамилије метода, а параметри који описују функције су q – праг који дефинише област индиференције, p – праг који дефинише област стриктне преференције и s – параметар вредности који се налази између p и q . За потребе овог рада интересантне су варијанте I (која даје парцијални поредак алтернатива), варијанта II (која даје потпуни поредак алтернатива) и варијанта III (која даје интервални поредак алтернатива). Међутим, корисник може да уведе нове типове генерализованих критеријума за исказивање преференција доносиоца одлуке о конкретним критеријумима решаваног проблема. Сваком критеријуму је додељена одређена тежина $\omega_j, j = 1, \dots, k$ као мера релативног значаја критеријума, тако да је $\sum_{j=1}^k \omega_j = 1, 0 < \omega_j < 1$.

Вишекритеријумски индекс преферентности, одређује се сагласно изразу:

$$\Pi(a,b) = \sum_{j=1}^k \omega_j p_j(a,b) \quad (34)$$

Индекс представља меру преферентности алтернативе a у односу на алтернативу b и што је ближе јединици преферентност је већа. Узима у обзир све критеријуме истовремено. Тиме је добијен оријентисани граф рангирања чији лук (a,b) има вредност $\Pi(a,b)$ и чини основу за рангирање по методама PROMETHEE.

Дакле, између сваког пара алтернатива (a,b) , увек су два лука, један додељен $\Pi(a,b)$ а други $\Pi(b,a)$ (слика 5.11).



Слика 5.11 Оријентисани граф рангирања

Сада се за сваку алтернативу дефинишу улазни, излазни и чисти ток акције. Чисти ток алтернативе a представља разлику

$$\Phi(a) = \Phi_{out}(a) - \Phi_{in}(a) . \quad (35)$$

где су улазни ток $\Phi_{in}(a)$ и излазни ток $\Phi_{out}(a)$ редом :

$$\Phi_{in}(a) = \sum_{\forall b \in A} \Pi(b,a) , \quad (36)$$

$$\Phi_{out}(a) = \sum_{\forall b \in A} \Pi(a,b) . \quad (37)$$

Сагласно PROMETHEE I утврђује се да што је излазни ток већи, алтернатива a доминира над више осталих алтернатива, а што је мањи улазни ток то мањи број осталих алтернатива доминира над a .

Другим речима:

- ако је $\Phi_{in}(a) \geq \Phi_{in}(b)$ и $\Phi_{out}(a) \leq \Phi_{out}(b)$, каже се да a преферира b .

Једнакост Φ_{in} и Φ_{out} указује на индиферентност у току поређења две алтернативе. Алтернативе a и b су неупоредиве ако је:

- $\Phi_{in}(a) > \Phi_{in}(b)$ и $\Phi_{out}(a) > \Phi_{out}(b)$ или $\Phi_{in}(a) < \Phi_{in}(b)$ и $\Phi_{out}(a) < \Phi_{out}(b)$

У PROMETHEE II чисти ток (разлика излазних и улазних токова) указује колико је свака алтернатива приоритетна у односу на друге и даје потпуни поредак алтернатива. Дакле, вредност разлике токова користи се за рангирање свих алтернатива, и то тако да већој вредности одговара боља алтернатива:

- ако је $\Phi(a) > \Phi(b)$, каже се да a преферира b ,
- ако је $\Phi(a) = \Phi(b)$, каже се да је a индиферентна у односу на b .

Метода PROMETHEE III врши рангирање додељујући свакој алтернативи a интервал $[x_a, y_a]$ на основу којих се одређује потпуни поредак за сваки пар алтернатива (a, b) користећи следеће дефиниције:

- ако је $x_a > x_b$, каже се да a преферира b (има виши ранг),
- ако је $x_a \leq x_b$ и $x_b \leq y_a$, каже се да је a индиферентна у односу на b ,

где су:

$$\begin{aligned} x_a &= \Phi(a) - \alpha_a \\ y_a &= \Phi(a) + \sigma_a \\ \Phi(a) &= \frac{1}{m} \sum_{b \in A} (\Pi(a, b) - \Pi(b, a)) = \frac{1}{m} \Phi(a) \\ \sigma_a &= \frac{1}{m} \sum_{b \in A} (\Pi(a, b) - \Pi(b, a) - \Phi(a)) = \frac{1}{m} \Phi(a) \\ \alpha &> 0 \end{aligned}$$

За практичну примену методе PROMETHEE II потребно је имати на уму неке од карактеристика коришћених параметара и појмова и то да интервал $[x_a, y_a]$ има центар у мери чистог тока и дужину пропорционалну са стандардном грешком дистрибуције величине $\Phi(a)$, затим да избор α зависи од конкретног проблема и ако се захтева да дужина интервала буде мања од удаљености између два сукцесивна тока на који се односи, произилази да је приближна вредност овог параметра $\alpha \approx 0,15$. Што је мања вредност параметра α , већи је интервал стриктног “вишег ранга”, док за $\alpha=0$ произилази да се (P^{III}, I^{III}) подудара са (P^II, I^II) . Ознаке P и I указују на преферентност и индиферентност алтернатива.

5.2.2 Алгоритам модификованих PROMETHEE метода-MODIPROM

Предложени поступак се заснива на побољшању фамилије метода за вишекритеријумско рангирање. Предложена метода MODIPROM (MODIfikovana PROMethee Metoda) [60] се заснива на побољшању групе метода за вишекритеријумско рангирање, и то у следећем:


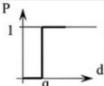

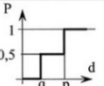
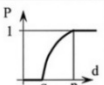
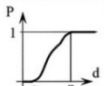
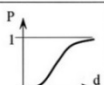
- промени постојећих и увођењу нових генерализованих критеријума,

- поступку избора генерализованих критеријума у оквиру једне критеријумске функције,
- анализи утицаја промене тежинских коефицијената и
- трансформацији средњих вредности чистог тока ради решавања сложених критеријумских функција.

Промене генерализованих критеријума (слика 5.12) састоје се у задржавању генерализованих критеријума I (Обичан критеријум), II (Квази критеријум), IV (степенаст критеријум) и VI (Гаусов критеријум). Критеријум III (Критеријум са линеарном преферентношћу) и V (критеријум са линеарном преферентношћу и области индиферентности) су замењени линеарним критеријумом чији се параметри израчунавају преко линеарне регресије. Уведени су Квадратни и Кубни критеријум чији се параметри израчунавају регресионом анализом.

Утицај искуства и субјективне оцене доносиоца одлуке приликом избора генерализованих критеријума је сведен на најмању меру, другим речима врши се на основу методе најмањих квадрата, тако да се бира генерализовани критеријум код кога је збир квадрата одступања експерименталних тачака од теоријске криве генерализованог критеријума најмањи.

Слика 5.12 показује усвојене генерализоване критеријуме са следећим параметрима q – граница индиференције, p – граница стриктне преференције и σ – стандардна девијација Нормалне расподеле, b_0, b_1, b_2, b_3 , – коефицијенти регресионе линије. Треба напоменути да се избором типа генерализованог критеријума решава и проблем нормализације критеријумских вредности јер се преференције по појединим критеријумима распоређују у интервалу $[0,1]$. На тај начин се избегава утицај различитости мерних јединица појединачних критеријума.

ТИП ГЕНЕРАЛИЗОВАНОГ КРИТЕРИЈУМА			Параметри	$P_j(x)$
Тип	Назив	Изглед		
I	Обичан критеријум		-	$P_j(x) = 1$
II	Квази критеријум		q	$P_j(x) = \begin{cases} 0, & d < q \\ 1, & d \geq q \end{cases}$
III	Критеријум са линеарном преферентношћу		q, p b_0 , b_1	$P_j(x) = \begin{cases} 0, & d < q \\ b_0 + b_1 x, & q \leq d < p \\ 1, & d \geq p \end{cases}$
IV	Степенасти критеријум		q, p	$P_j(x) = \begin{cases} 0, & d < q \\ 0.5, & q \leq d < p \\ 1, & d \geq p \end{cases}$
V	Квадратни критеријум		q, p b_0 , b_1 , b_2	$P_j(x) = \begin{cases} 0, & d < q \\ b_0 + b_1 x + b_2 x^2, & q \leq d < p \\ 1, & d \geq p \end{cases}$
VI	Кубни критеријум		q, p b_0 , b_1 , b_2 , b_3	$P_j(x) = \begin{cases} 0, & d < q \\ b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3, & q \leq d < p \\ 1, & d \geq p \end{cases}$
VII	Гаусов критеријум		σ	$P_j(x) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & d > 0 \end{cases}$

Слика 5.12 Типови генерализованих критеријума

Трансформацијом средњих вредности чистог тока подкритеријумских функција у вредности критеријумске функције вишег нивоа све до формирања јединственог критеријума првог нивоа се могу решавати комплексни проблеми вишекритеријумске анализе као што је вишекритеријумска анализа са сложеним критеријумима који се представљају поткритеријумским функцијама и параметрима.

Комплетна процедура спровођења методе MODIPROM описана је следећим корацима:

а) *Дефинисање матрице вредности критеријума за поједине алтернативе*

Нека су вредности f_{ij} сваког разматраног критеријума f_j за сваку од могућих алтернатива a_i

$$f_{ij} = f_j(a_i) = C_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Заједно алтернативе и критеријуми могу бити приказани матрицом вредности

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1j} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2j} & \dots & C_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ C_{i1} & C_{i2} & \dots & C_{ij} & \dots & C_{in} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mj} & \dots & C_{mn} \end{bmatrix} \quad (38)$$

Одговарајућом трансформацијом критеријуме типа *min* је потребно претворити у тип *max*.

$$C'_{ij} = \begin{cases} C_{ij}, & \text{za } K_j \rightarrow \max \\ \max C_{ij} - C_{ij}, & \text{za } K_j \rightarrow \min \end{cases} \quad (39)$$

На крају ове фазе потребно је за сваки критеријум K_j израчунати стандардну девијацију

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (C_{ij} - \bar{C}_j)^2} \quad (40)$$

б) Избор функције преференције.

Након фазе формирања матрице вредности врши се придруживање једне преферентне функције $P_j(a_i, a_k)$ сваком критеријуму, у односу на кога се пореде две алтернативе. На основу функција преференција, бира се тип генерализоване критеријумске функције која има вредност између 0 и 1. Потребно је формирати табеле разлика $(d_{ik})_j = f_j(a_i) - f_j(a_k)$ и низ позитивних разлика $(d_{ik})_j > 0$ а затим рангирати податке d_{ik} по величини при чему је $l=1, \dots, s$

$$\begin{bmatrix} \min(d_{ik})_j \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \max(d_{ik})_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{j1} \\ \cdot \\ x_{jl} \\ \cdot \\ x_{js} \end{bmatrix}$$

Израчунати границе индиференције - q и стриктне преференције – p , изразима

$$q_j = \frac{1}{3} d_j \max$$

$$p_j = \frac{2}{3} d_j \max$$

и формирати низ емпиријске вредности преферентне функције y_{jl} , при чему је $0 < y_{jl} < 1$. Низ се може приказати у облику

$$\begin{bmatrix} y_{j1} \\ \cdot \\ y_{jl} \\ \cdot \\ y_{js} \end{bmatrix}$$

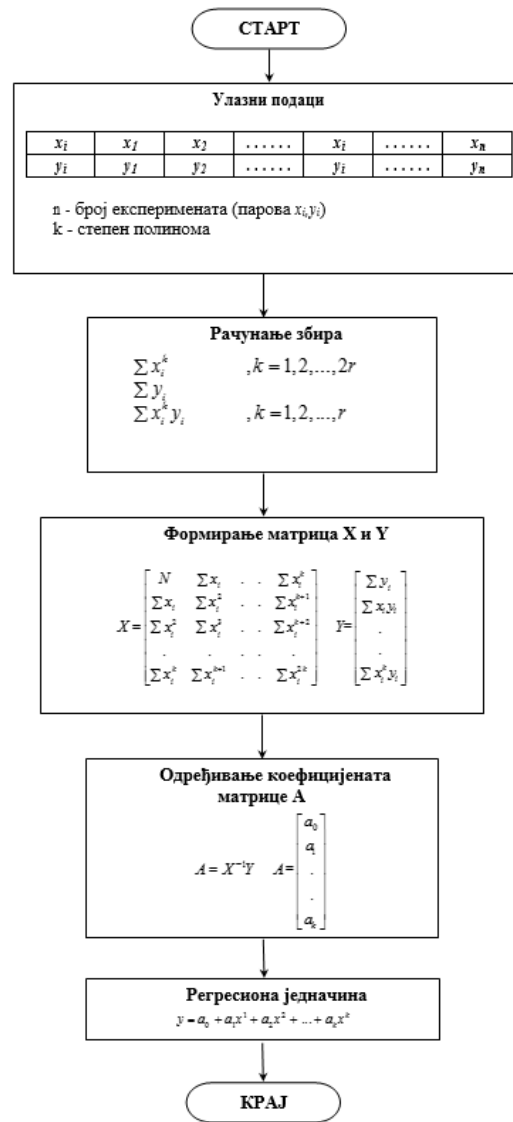
Поступак израчунавања коефицијената регресије за генерализоване критеријуме III, V и VI дат је алгоритмом ИКОР (Израчунавање Коефицијената Регресије)[60] на слици 5.13. За све вредности $(d_{ik})_j$ којих највише може бити $m(m-1)/2$ израчунава се вредност грешке апроксимације $\varepsilon_l = [p_j(x_{jl}) - y_{jl}]$. Од свих генерализованих критеријумских функција за дати скуп тачака $\{(d_{ik})_j, P_{jik}(d_{ik})_j\}$ бира се функција која је најбоља у смислу најмањих квадрата, тј. она функција чија је сума квадрата најмања:

$$S = \sum_{l=1}^s \varepsilon_l^2 = \sum_{l=1}^s [p_j(x_{jl}) - y_{jl}]^2, \quad (41)$$

при чему су ε_l – грешка апроксимације емпиријске вредности преферентне функције y_{jl} вредношћу теоријске функције $p_j(x_{jl})$ за l -ти емпиријски податак и l -комбинација алтернатива a_i и a_k за које је $(d_{ik})_j = f_j(a_i) - f_j(a_k) > 0$, односно

$$P_{jik}[(d_{ik})_j] = \begin{cases} 0, & \text{za } (d_{ik})_j < 0 \\ P_j[(d_{ik})_j], & \text{za } (d_{ik})_j > 0 \end{cases} \quad (42)$$

где је $P_j[(d_{ik})_j]$ одабрана функција генерализованог критеријума.



Слика 5.13 Алгоритам ИКОР методе [60]

- в) *Израчунавање индекса преференције за сваки пар алтернатива (П)*
 За сваки пар алтернатива (a_i, a_k) , индекс преференције одређује се изразом

$$P(a_i, a_k) = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_j P_j(a_i, a_k)}{\sum_{j=1}^n \omega_j}, \quad j=1, \dots, n \quad (43)$$

где је сваком критеријуму додељена одређена тежина $\omega_j, j = 1, \dots, k$.

г) *Израчунавање вредности токова (II)*

Сагласно индексу преференције и изразима (41), (42) и (43) за сваку алтернативу дефинишу се улазни, излазни и чисти ток акције.

д) *Генерисање коначног рангирања*

На основу карактеристика фамилије метода PROMETHEE датих на почетку овог рада, у овом кораку се врши поступак рангирања, и то кроз следеће фазе:

- формирање табеле парцијалног (делимичног) поретка по методи Promethee I, формирање табеле потпуног поретка по методи Promethee II,
- формирање табеле интервалног поретка по методи Promethee III и
- компаративна анализа резултата рангирања

ђ) *Анализа утицаја промене тежинских коефицијената*

Код реалних проблема критеријуми значајности су најчешће различити и доносилац одлуке субјективно дефинише ниво значајности појединих критеријума преко тежинских коефицијената. Како тежински коефицијенти могу имати понекад одлучујући утицај на решење, уграђена је могућност анализе утицаја промене тежинских коефицијената на понашање коначног решења вишекритеријумске анализе. Решење је “стабилно” уколико промене тежинских коефицијената немају битнијег утицаја на коначан резултат.

После модификације методе и фазификације квалитативних атрибута, поступак реализације изабране методе (приступа) у потпуности одговара стандардним методама.

У сврху аутоматизације рада, као и рада са већим бројем критеријума и алтернатива уз чињеницу да је примена рачунара неопходна у свим фазама пројектовања једног логистичког система, развијен је адекватан програмски алат у окружењу Microsoft Office Excel-a. Дакле, поступак вишекритеријумске анализе је аутоматизован развојем софтверског алата за рангирање алтернатива MODIPROM. Ограничење датог алата се огледа у могућности решавања проблема рангирања 10 алтернатива и 25 критеријума разматраног проблема.

На улазној масци програма (слика 5.14) уносе се подаци о вредности критеријумских функција за поједине алтернативе и вредности релативних тежина критеријумских функција, бира се врста оптимизације за сваку функцију (min или max) и уносе остали подаци.

Програм MODIPROM омогућава да се за сваку критеријумску функцију виде и облици усвојених генерализованих критеријума и положај експерименталних тачака у односу на њих јер се на основу методе најмањих квадрата бира генерализовани критеријум код кога је збир квадрата одступања експерименталних тачака од теоријске криве најмањи.

**VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA
METODA FAMOD**

FAKULTET ZA
MAŠINSTVO I
GRADIVINARSTVO
U
KRALJEVU

Naziv projekta: _____
Datum: _____
Uradio: _____

Opis (Napomene): _____

Br. alternativa: 8
Br. kriterijuma: 24
 $\alpha =$ 0.15

Kriterijumi	Podaci										Rel. težine Wj	min/max
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10		
K1	0.82	0.86	0.84	0.9	0.87	0.95	0.92	0.98			0.2	max
K2	0.81	0.85	0.85	0.91	0.89	0.94	0.93	0.98			0.11	max
K3	0.8	0.83	0.95	0.96	0.9	0.92	0.96	0.97			0.05	max
K4	0.8	0.82	0.9	0.93	0.89	0.93	0.94	0.97			0.03	max
K5	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92			0.04	max
K6	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9			0.04	max
K7	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93			0.04	max
K8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9			0.03	max
K9	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93			0.03	max
K10	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9			0.04	max
K11	0.8	0.84	0.82	0.89	0.87	0.93	0.9	0.98			0.04	max
K12	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97			0.04	max
K13	0.83	0.87	0.85	0.92	0.89	0.96	0.93	0.99			0.05	max
K14	0.82	0.86	0.84	0.9	0.87	0.95	0.93	0.99			0.05	max
K15	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.99			0.04	max
K16	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.98			0.03	max
K17	0.83	0.87	0.85	0.9	0.87	0.95	0.93	0.99			0.01	max
K18	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92			0.02	max
K19	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9			0.01	max
K20	0.89	0.92	0.9	0.94	0.9	0.96	0.94	0.98			0.02	max
K21	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94			0.02	max
K22	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88			0.03	max
K23	0.82	0.86	0.84	0.9	0.87	0.95	0.92	0.98			0.03	max
K24	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7			0.01	max
K25												max

START

Слика 5.14 Кориснички интерфејс програма MODIPROM [60]

5.2.3 Предложен метод дефазификације fuzzy бројева

Како би се разматран проблем избора што више приближио људском размишљању, оцене којима се врши вредновање предложених алтернатива у односу на дефинисане критеријуме дате од стране чланова експертског тима, могу бити и у лингвистичкој форми а не само у нумеричкој. Дакле, не сме се заборавити чињеница да у неким случајевима, вредности које одређене алтернативе узимају по појединим критеријумима приликом вишекритеријумске анализе, нису дате квантитативно, већ и кроз одговарајуће лингвистичке изразе.

Овај концепт нарочито долази до изражаја у раду са проблемима који су превише комплексни или лоше дефинисани да би били описани квалитативним изразима. Дакле, постоји више разлога који одређују који ће од критеријума по којима се врши рангирање бити изражен лингвистичким променљивим.

У складу са претходно усвојеним значењем fuzzy скупа, најприродније би било да се одабере она бројна вредност за коју променљива има највећу функцију припадности. Проблем настаје уколико постоји више тачака fuzzy скупа које имају исту максималну вредност или уколико постоји цео сегмент са истом максималном вредношћу [91]. У настојању да се превазиђу наведени проблеми, у литератури се може пронаћи неколико поступака дефазификације: метод центроида (*centroid*), метод средине максимума, метод највећег максимума и др. Улазне променљиве у fuzzy системе су лингвистичке променљиве исказане речима или реченицама. Вредност таквих fuzzy променљивих се кроз процес фазификације често субјективно процењује посматрањем, интуицијом или на основу искуства.

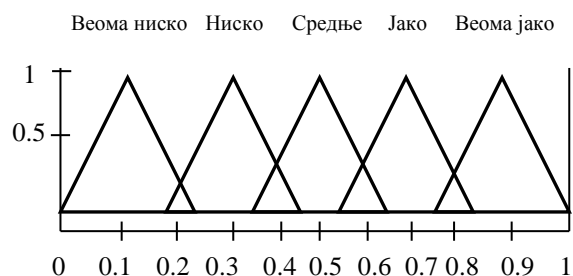
Наиме, неки од критеријума се једноставно не могу квантификовати док се други, услед немогућности обезбеђивања прецизних нумеричких података апроксимативно изражавају помоћу fuzzy бројева. Значи, приликом рангирања нпр. алтернативних решења локације регионалног логистичког центра, неки од критеријума ће бити изражени кроз нумеричке вредности (инвестициона улагања, трошкови радне снаге, енергената и инфраструктуре и сл.) док ће осталима бити прописани лингвистички изрази (добар, лош, ниско, средње, јако и сл.).

На основу претходно реченог, следи да су одређене вредности по неким критеријумима нпр. “добра саобраћајна инфраструктура региона” или “ниске развојне могућности региона” и сл. Чињеница да приликом решавања проблема вишекритеријумског одлучивања се у одговарајућој матрици појављују две врсте података (расплинути и нерасплинути) наводи на закључак да је потребно извршити модификацију класичних метода ВАО односно ВКА.

За конверзију лингвистичких израза у fuzzy број у литератури [87] је предвиђен велики број скала за конверзију (Табела 5.4). Која ће скала бити употребљена зависи од укупног броја лингвистичких исказа који ће се конвертовати у fuzzy бројеве. Коришћењем скала за конверзију лако се одређени лингвистички изрази конвертују у fuzzy број, тако да нпр. лингвистичком изразу “низак“ за скалу од 5 лингвистичких израза (слика 5.15) одговара троугаони fuzzy број (0,0.2,0.4)(Табела 5.4).

Табела 5.4 Лингвистички изрази и њихови кореспондентни fuzzy бројеви

	Лингвистичк и израз	Скала 1	Скала 2	Скала 3	Скала 4	Скала 5	Скала 6	Скала 7	Скала 8
1	Ништа								(0,0,0.1)
2	Веома ниско			(0,0,0.1,0.2)		(0,0,0.2)	(0,0,0.1,0.2)	(0,0,0.2)	(0,0.1,0.2)
3	Ниско-веома ниско							(0,0,0.1,0.3)	(0.1,0.2,0.3)
4	Ниско		(0,0,0.2,0.4)	(0.1,0.25,0.4)	(0,0,0.3)	(0,0.2,0.4)	(0.1,0.2,0.3)	(0,0.2,0.4)	(0.1,0.3,0.5)
5	Подношљиво ниско				(0,0.25,0.5)	(0.2,0.4,0.6)		(0.2,0.35,0.5)	(0.3,0.4,0.5)
6	Мање више ниско						(0.2,0.3,0.4,0.5)		(0.4,0.45,0.5)
7	Средње (задовољавајуће)	(0.4,0.6,0.8)	(0.2,0.5,0.8)	(0.3,0.5,0.7)	(0.3,0.5,0.7)		(0.4,0.5,0.6)	(0.3,0.5,0.7)	(0.3,0.5,0.7)
8	Мање више јако (мање више добро)						(0.5,0.6,0.7,0.8)		(0.5,0.55,0.6)
9	Довољно јако (довољно добро)				(0.5,0.75,1)	(0.4,0.6,0.8)		(0.5,0.65,0.8)	(0.5,0.6,0.7)
10	Јако (добро)	(0.6,0.8,1)	(0.6,0.8,1)	(0.6,0.75,0.9)	(0.7,1,1)	(0.6,0.8,1)	(0.7,0.8,0.9)	(0.6,0.8,1)	(0.5,0.7,0.9)
11	Јако-веома јако (добро-веома добро)							(0.7,0.9,1,1)	(0.7,0.8,0.9)
12	Веома јако (веома добро) (одлично)			(0.8,0.9,1,1)		(0.8,1,1)	(0.8,0.9,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,0.9,1)
13	Изврсно- максимално								(0.9,1,1)



Слика 5.15 Скала са 5 исказа за конверзију лингвистичких изрази у fuzzy број

Предложен метод за решавање оваквих проблема fuzzy ВАО се састоји из два корака. У првом кораку се лингвистички изрази или fuzzy бројеви претварају у реалне бројеве, уз напомену да се у случају лингвистичких изрази најпре врши њихова конверзија у fuzzy бројеве који се затим конвертују у реалне. Након тога су сви бројеви у матрици вредности које алтернативе узимају по појединим критеријумима реални бројеви, тако да се у даљој процедури избора може применити било која метода ВАО.

У првом кораку се користе скале за конверзију, док у следећем кораку, fuzzy бројеви се конвертују у реалне. Дефазификована вредност fuzzy броја A се добија као

средња вредност тзв. максималног и минималног скупа. Функција припадности овим скуповима се дефинише као:

$$\mu_{\max} = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{остало} \end{cases} \quad (44)$$

$$\mu_{\min} = \begin{cases} 1-x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{остало} \end{cases} \quad (45)$$

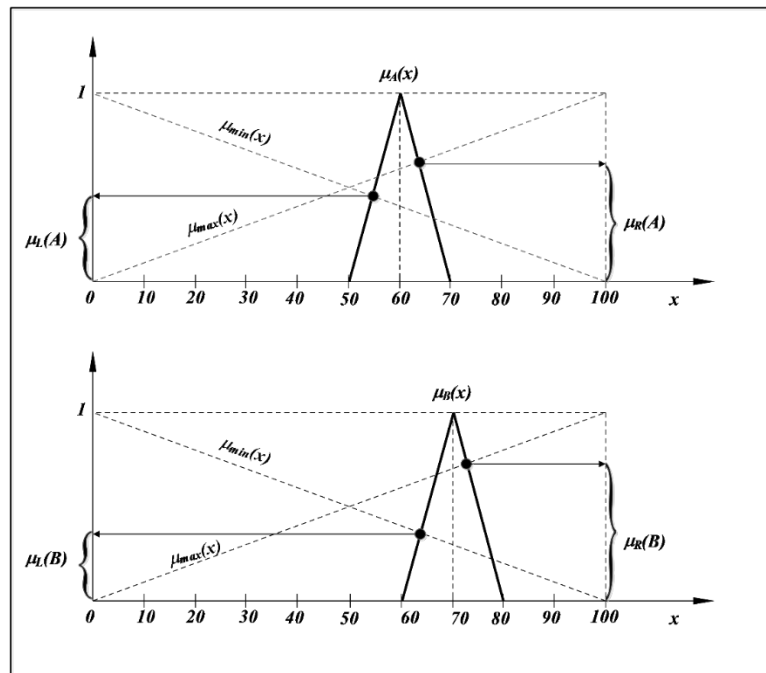
Десна помереност, лева помереност и укупна помереност, fuzzy броја А дефинишу се као:

$$\mu_R(A) = \max_x [\min(\mu_A(x), \mu_{\max}(x))] \quad (46)$$

$$\mu_L(A) = \max_x [\min(\mu_A(x), \mu_{\min}(x))] \quad (46)$$

$$\mu_T(A) = \frac{\mu_R(A) + 1 - \mu_L(x)}{2}$$

На овај начин се за сваки fuzzy број у матрици вредности може израчунати укупна помереност након чега су све вредности у матрици вредности алтернатива реални бројеви. Поступак добијања укупне померености приказан је и помоћу илустрованог примера датог на слици 5.16. Нека у оквиру неког скупа алтернатива, два атрибута узимају лингвистичке вредности “око 60” и “око 70”. Функције припадности тзв. максималног и минималног скупа као и разматрани fuzzy бројеви дати су на слици 5.16.



Слика 5.16 Функције припадности максималног, минималног скупа fuzzy бројева А и В

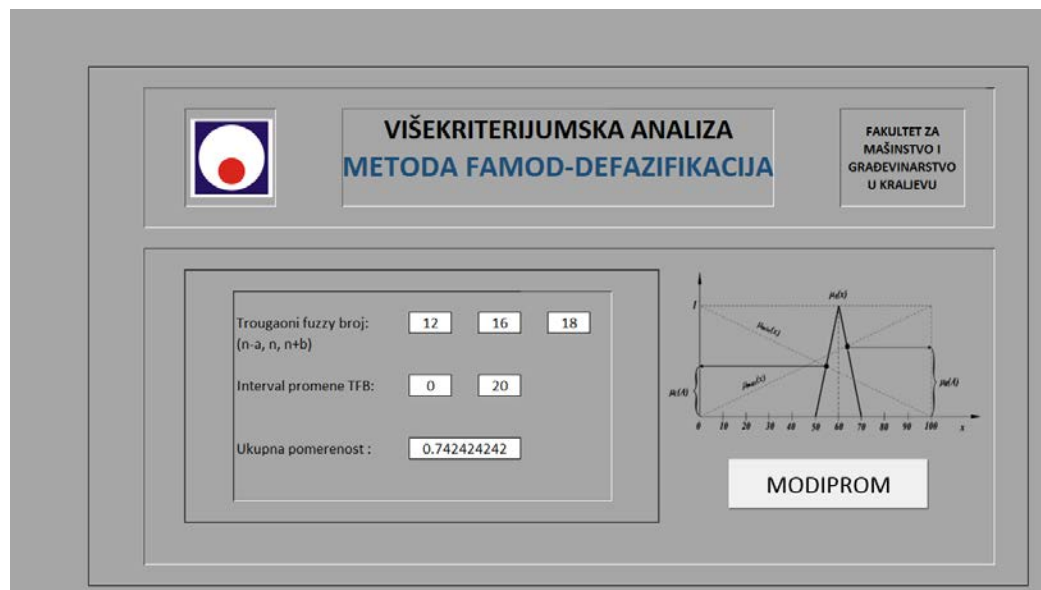
Основни метод дефазификације примењен у дисертацији је метод центроида (*Center of Gravity – COG*). По овој методи вредност закључивања је вредност тежишта површине ограничене функцијом припадности. Излазна вредност се израчунава:

$$x^* = \frac{\int \mu_i(x)xdx}{\int \mu_i(x)dx} \quad (47)$$

где је x^* излазна вредност а $\mu_i(x)$ - одговарајућа функција припадности. Једино ограничење ове методе је комплексност прорачуна у случају сложене функције припадности. Други облик ове методе дефазификације који се често среће у литератури и представља користан начин за поређење fuzzy бројева је Yager индекс [115], који се једноставно за дати облик fuzzy броја може одредити изразом:

$$\tilde{F} = (n - a, n, n + b) = (3n - a + b) / 3 \quad (48)$$

Модел за израчунавање излазне вредности дефазификацијом је развијен уз помоћ Microsoft Office Excel-а (слика 5.17), и саставни је део целокупног алгоритма развијеног комбинованог приступа за доношење одлуке.



Слика 5.17 Кориснички интерфејс модула за дефазификацију

5.2.4 Поступак решавања рангирања алтернатива критеријумским функцијама на више нивоа

Специфичан проблем који се јавља у вишекритеријумској оптимизацији а на који такође треба скренути пажњу, је рангирање већег броја алтернатива помоћу тзв. сложених критеријумских функција чије вредности морају уважавати утицаје свих битних карактеристика и параметара алтернатива.

Проблем постаје комплекснији повећањем броја нивоа подкритеријумских функција. У овом истраживању је предложен модификован поступак заснован на трансформацији средњих вредности чистог тока подкритеријумских функција добијених методом PROMETHEE III. Стварне вредности критеријумских функција се користе само на последњем нивоу рангирања, а на осталим нивоима као вредности се уводе трансформисане вредности чистог тока.

Предложени поступак уз развој одговарајућег софтверског алата омогућава решавање широког спектра реалних и практичних проблема класичним методама вишекритеријумске оптимизације тако да се кроз више фаза итерације дође до јединственог решења.

Класичне методе не уводе директно у модел вредности параметара сложених карактеристика алтернатива већ их интуитивним путем обједињују (нпр. законско-регулативна карактеристика алтернатива обједињује: уклапање у просторно урбанистичке планове; усклађивање са законима који регулишу присуство, удаљеност и заштиту окружења и терминала; власничко регулисање земљишта итд.). Односно, класичне методе су разрађене само за један ниво рангирања алтернатива.

Последице оваквог приступа проблему могу бити велики број критеријума и проблеми одређивања релативне тежине сваког критеријума, и поред чињеница да у теоријском смислу нема ограничења за већину метода и да савремена информатичка технологија омогућава релативно лако и брзо добијање резултата. Потребно је на адекватан начин вредновати и укључити у модел за одређивање најповољније алтернативе по задатим критеријума све битне карактеристике и параметре критеријума било да су у квантитивном или квалитативном облику [25,51].

Специфичан проблем је рангирања већег броја алтернатива помоћу сложених критеријумских функција који се састоје од подкритеријумских функција функција при чему ниво расчлањавања може ићи до одређеног (r -тог) нивоа. На сваком нивоу се одређују коефицијенти релативних тежина критеријума – подкритеријума који испољавају свој утицај на даљи ток рангирања. Формализовани запис таквог проблема је дат Табелом 5.5.

Табела 5.5. Формализован запис проблема критеријумским функцијама на више нивоа

Критеријумски ниво					Алтернативе						Коефицијент релативне тежине							
1	2	...	r-1	r	A ₁	A ₂	...	A _i	...	A _m	r	max/ min	...	2	max/ min	1	max/ min	
K ₁ ¹	K ₁ ²	...	K ₁ ^{r-1}	K ₁ ^r	C ₁₁	C ₂₁	...	C _{i1}	...	C _{m1}	ω ₁ ^r	max/min	...	ω ₁ ²	max/min	ω ₁ ¹	max/min	
				K ₂ ^r	C ₁₂	C ₂₂	...	C _{i2}	...	C _{m2}	ω ₂ ^r	max/min						
			K ₂ ^{r-1}	K ₃ ^r	C ₁₃	C ₂₃	...	C _{i3}	...	C _{m3}	ω ₃ ^r	max/min						
				K ₄ ^r	C ₁₄	C ₂₄	...	C _{i4}	...	C _{m4}	ω ₄ ^r	max/min						
	K ₂ ²	...	K ₃ ^{r-1}	K ₅ ^r	.	.	.	.	.	.	ω ₅ ^r	max/min	...	ω ₂ ²	max/min		
					K ₄ ^{r-1}	K ₆ ^r	ω ₆ ^r	max/min	...	ω ₃ ²			max/min
						K ₇ ^r	.	.	.	.	.	ω ₇ ^r	max/min				
					K ₅ ^{r-1}	K ₈ ^r	.	.	.	.	.	ω ₈ ^r	max/min	...			
.				
K _k ¹	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	ω _k ¹	max/min
							
							
							
							
							
	K ₁ ²	.	.	K _s ^{r-1}	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
					K _n ^r	C _{1n}	C _{2n}	...	C _{in}	...	C _{mn}	ω _n ^r	max/min	.	.	.		
							
					
					
					

Параметри у табели су:

m – број алтернатива

n – број критеријумских функција r -тог нивоа

s – број критеријумских функција $(r-1)$ -ог нивоа

.....
 l – број критеријумских функција 2-ог нивоа

k – број критеријумских функција 1-ог нивоа

Критеријумске функције су означене са K_j и одговарајућим индексом за посматрани ниво рангирања. Тако су основни критеријуми представљени критеријумском функцијом првог нивоа и означени са K_{j1} . Подкритеријумска

функција нпр. петог нивоа је означена са K_{j5} итд. Сваки критеријум има своју релативну тежину која се изражава тежинским коефицијентом означеним са ω_{js} и захтевом за минимизацијом или максимизацијом функције (критеријума).

Није неопходно да подкритеријумске функције одређеног нивоа морају имати исти захтев у погледу минимизације тј. максимизације. Алгоритам предложене методе за решење вишекритеријумске оптимизације са сложеним критеријумским функцијама које у себи садрже подкритеријумске функције је приказан на слици 5.18. У оваквом приступу проблему, препоручује се да број нивоа значајности критеријума односно нивоа рангирања према тим критеријумима-подкритеријумима не буде већи од 3. С обзиром да приказана метода захтева обимне прорачуне, поступак вишекритеријумске анализе је аутоматизован уз примену већ поменутог алата MODIPROM, а комплетна процедура спровођења у овом случају може бити описана следећим корацима:

1. Фаза: Дефинисање матрице вредности критеријума за поједине алтернативе

Дефинисање матрице вредности врши сагласно процедури спровођења методе MODIPROM описана детаљно у поглављу 5.2.2.

2. Фаза: Рангирање алтернатива на основу подкритеријумских функција на k -том нивоу

У првој итерацији вишекритеријумска анализа почиње од последњег r -тог нивоа, где се користе стварне (реалне) вредности критеријумских функција. У следећој итерацији са критеријумским функцијама $r-1$ нивоа, као улазни подаци се користе трансформисане вредности чистих токова Φ добијене у претходној фази. Овако добијене вредности представљају вредности нове матрице алтернатива и критеријума код које су сада критеријуми речлањени на $r-1$ нивоа. Поступак се понавља све до 1 -ог (основног) нивоа. Трансформација средњих вредности чистог тока Φ добијених у претходној фази тј. на k -том нивоу а које се користе за рангирање алтернатива на $(k-1)$ -ом нивоу се врши по обрасцу:

$$e_i = \frac{\bar{\Phi}(a_i) - \min \bar{\Phi}}{R} \quad (49)$$

где је R - "распон" тј. разлика највеће и најмање вредности чистог тока

$$R = \max \bar{\Phi} - \min \bar{\Phi} .$$

Поступак рангирања алтернатива на k -том нивоу се спроводи у неколико корака:

Корак 1- Избор функције преференције

Након фазе формирања матрице вредности врши се придруживање једнепреферентне функције сваком критеријуму у односу на кога се пореде две алтернативе, сагласно изразима (41,42).

Корак 2- Израчунавање индекса преференције з а сваки пар алтернатива (П)

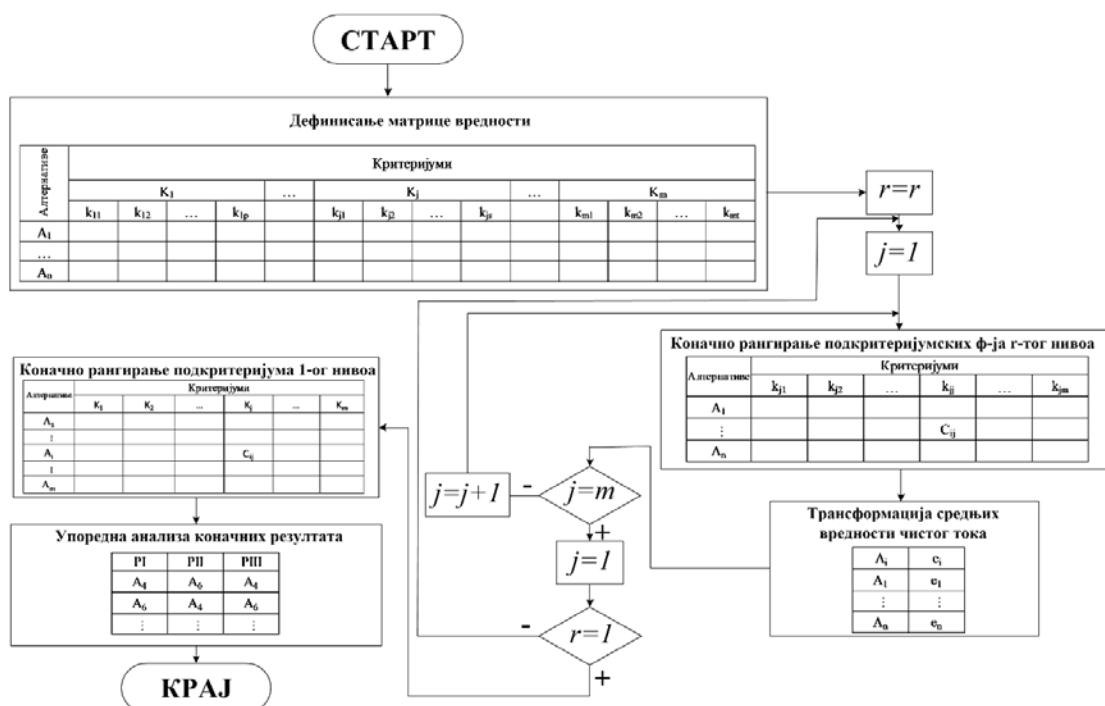
За сваки пар алтернатива (a_i, a_k), индекс преференције се одређује изразом (43).

Корак 3-Трансформација средњих вредности чистих токова (Ф)

Сагласно индексу преференције и изразима (35, 36, 37) за сваку алтернативу дефинишу се улазни, излазни и чисти ток акције. На основу добијених средњих вредности чистог тока Φ на k -том нивоу врши се њихова трансформација по обрасцу (49) и добијене вредности се користе за $(k-1)$ ниво рангирања.

3. Фаза: Завршно рангирање алтернатива

За коначно рангирање алтернатива на 1-ом (основном) нивоу се користе методе PROMETHEE I, II и III. Поступак се врши тако што се формирају: табеле парцијалног (делимичног) поретка по методи PROMETHEE I, табеле потпуног поретка по методи PROMETHEE II и табеле интервалног поретка по методи PROMETHEE III. Компаративном анализом решења доносилац одлуке добија информације које му помажу при избору најбоље алтернативе. Предложени алгоритам са одговарајућим софтверским алатом омогућава решавање проблема класичним методама вишекритеријумске оптимизације тако да се кроз више фаза итерације долази до јединственог решења.



Слика 5.18 Алгоритам методе за решавање вишекритеријумских проблема са сложеним критеријумским функцијама

Програм MODIPROM са својим ограничењима (10 алтернатива конкретног проблема вреднованих по 25 критеријумских функција) даје приказ облика усвојених генерализованих критеријумима, положај експерименталних тачака у односу на њих као и графичку интрепретацију тежинских коефицијената и анализу њиховог утицаја на коначну одлуку. Предложени поступак препоручује да број критеријума на основном нивоу рангирања не буде већи од 12. Исто важи и за поткритеријуме по нивоима. Тиме се поједностављује поступак рангирања уз истовремено уважавање свих карактеристика и параметара алтернатива, обезбеђује се објективније упоређивање утицаја појединачних разнородних критеријума за рангирање алтернатива и њихово свођење на заједничку функцију критеријума. Практичност, ефикасност и применљивост предложеног поступка биће приказана у последњем поглављу, на нумеричком примеру избора локације логистичког центра.

5.3 Комбиновани приступ вишекритеријумске анализе - FAMOD (Fuzzy AHP-MODIPROM)

Дефинисани приступ представља комбинацију и проширење неких до сада формулисаних модела, како за одређивање релативних тежина тако и за рангирање алтернатива разматраног проблема, уз анализу осетљивости коначног редоследа алтернатива услед промене тежинских коефицијената критеријума. Приступ разматра решавање кључних задатака у процесу развоја регионалног логистичког концепта и уз чињеницу да је природа самог процеса одлучивања у домену логистике и логистичких система вишекритеријумска, има за циљ да олакша доношење одрживе одлуке приликом избора оптималне локације регионалног дистрибутивног центра као и транспортних система у оквиру истог. Комбиновањем метода за редуковање броја независних критеријума, одређивање релативне важности критеријума и класичних метода рангирања алтернатива доноси се оптимална одлука о наведеним проблемима без обзира на природу параметара који га описују.

Развој комбинованог приступа названог *FAMOD* (Fuzzy Analytic Hierarchical Process +MODification Promethee Methods) је усмерен ка комбинацији и модификацији постојећих хибридних приступа као подршке доношењу одлуке у поступку решавања проблема вишекритеријумске оптимизације, и то са циљем објективнијег упоређивања утицаја појединачних разнородних критеријума и њиховог свођења на заједничку функцију критеријума. Потребно је на адекватан начин вредновати и укључити у модел за одређивање најповољније алтернативе по

задатим критеријума све битне карактеристике и параметре критеријума било да су у квантитивном или квалитативном облику.

Коначни редослед алтернатива, дакле зависи од примењене технике вишекритеријумског одлучивања, а посебно од поступка дефинисања критеријума за вредновање, трансформације (нормализације) критеријума и одређивања њиховог релативног значаја. Приступ разматра и анализу осетљивости у циљу идентификације најкритичнијих и најјачих критеријума у процесу одлучивања.

Представљен приступ (FAMOD) обухвата и тежњу да се субјективни став о тежинама критеријума (значајност) лакше изрази поредећи важности критеријума по паровима него одједном, будући да у том поступку субјективне одлуке имају пресудну улогу. Недостатак досадашњих класичних техника чини процес поређења сувише компликованим и гломазним у циљу прикупљања на прави начин оцене доносиоца одлуке, па се у сврху отклањања истих приликом поређења на свим хијерархијским нивоима проблема користи fuzzy логика тј. fuzzy АНР техника. На овај начин, развијен комбиновани приступ, решава случајеве када не постоји одговарајући математички модел за приказ неког комплексног процеса и када је неопходно користити знање експерата.

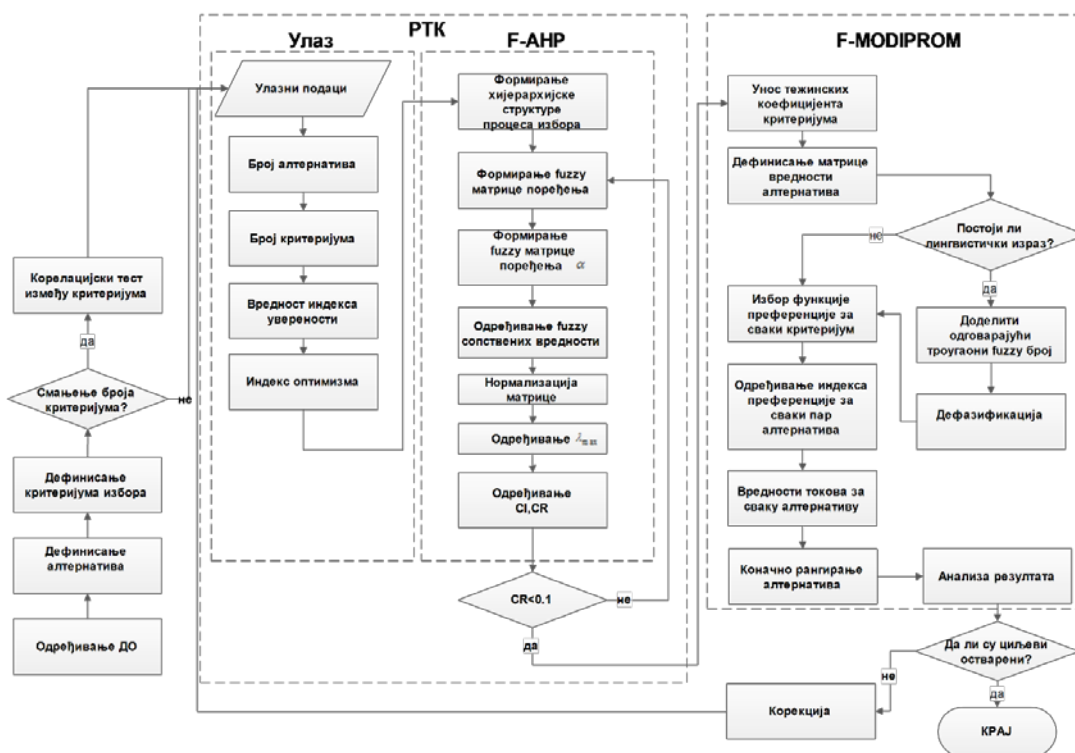
Након формирања хијерархијског модела посматраног проблема доносилац одлуке врши поређење елемената у паровима на сваком нивоу хијерархије у односу на елемент на вишем нивоу и тиме се добијају тежински коефицијенти свих елемената. Осим тога овакав приступ пружа могућност ДО да као улазне податке користи различите вредности индекса уверености и оптимизма у интервалу $[0,1]$ и покаже њихов утицај на коначне резултате, и то редом тежинских коефицијената критеријума на самом почетку као и коначног редоследа алтернатива на самом крају.

Уколико је потребно редуковање броја критеријума на оперативни и прихватљив ниво, развијен приступ даје могућност примене корелацијског теста или анализе којом се показује степен зависности између променљивих, тј. мери јачина већ утврђене повезаности између две променљиве. На тај начин, примена или формирање хијерархијског модела поређења постаје мање подложна променама тежина критеријума. У поступку рангирања алтернатива MODIPROM приступом, утицај искуства и субјективне оцене доносиоца одлуке приликом избора генерализованих критеријума је сведен на најмању меру, другим речима врши се на основу методе најмањих квадрата, тако да се бира генерализовани критеријум код кога је збир квадрата одступања експерименталних тачака од теоријске криве генерализованог критеријума најмањи. Исто тако, не сме се заборавити и чињеница да у неким

случајевима, вредности које одређене алтернативе узимају по појединим критеријумима приликом вишекритеријумске анализе, нису дате квантитативно, већ кроз одговарајуће лингвистичке изразе.

Овај концепт нарочито долази до изражаја у раду са проблемима који су превише комплексни или лоше дефинисани да би били описани квалитативним изразима. У ту сврху, предложени приступ за решавање оваквих проблема користи два корака: у првом, лингвистички изрази или fuzzy бројеви се претварају у ралне бројеве, уз напомену да се у случају лингвистичких израза најпре врши њихова конверзија у fuzzy бројеве који се затим конвертују у реалне.

На тај начин је у наредном кораку могуће користити класичну методу ВАО. Предложени алгоритам комбинованог приступа, са свим претходно наведеним елементима, приказан је на слици 5.19.



Слика 5.19 Предложен алгоритам модела доношења одлуке-комбиновани приступ

Покретању алгоритма претходи дефинисање улазних података, неопходних за решавање проблема вишекритеријумске оптимизације тј. броја алтернатива и критеријума, вредности индекса уверености и оптимизма. Након дефинисања улазних података, проверава се потреба за смањењем или редукцијом критеријума разматраног проблема. Уколико је неопходно извршити смањење спроводи се корелацијски тест. После завршене процедуре корелационе анализе тј. смањења броја

независних критеријума спроводи се поступак подалгоритма (слика 5.6) у којем се формира хијерархијски модел поређења критеријума и одређују релативне тежине коефицијената.

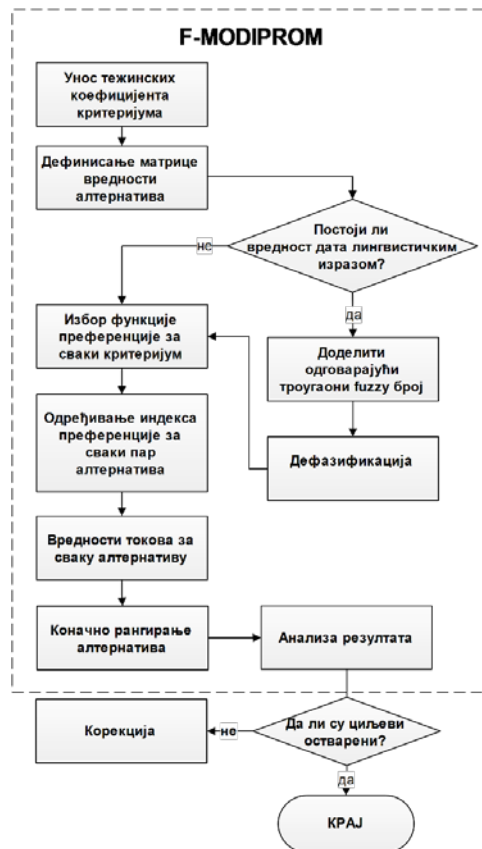
Пошто су као улазни подаци могу користити различите вредности индекса уверености и оптимизма у интервалу $[0,1]$, могуће је показати њихов утицај на коначне резултате. Ако је степен конзистентности мањи од 0,10, резултат је довољно тачан и нема потребе за корекцијама у поређењима и понављању прорачуна.

У супротном поново се почиње са процедуром формирања хијерархијске структуре процеса избора. Након одређивања релативне важности или тежинских коефицијената критеријума, прелази се на следећи подалгоритам рангирања алтернатива. Покретању алгоритма претходи дефинисање матрице вредности које одређене алтернативе узимају по појединим критеријумима. Уколико је нека вредност дата квалитативно тј. у облику лингвистичких израза или fuzzy бројева неопходно је исте претворити у реалне вредности.

Након тога, дефинише се матрица вредности у којој су сви елементи реални бројеви, и даље врши избор функције преференције за сваки критеријум, одређивање индекса преференције за сваки пар алтернатива, одређивање вредности токова за сваку алтернативу и коначно рангирање. Дати приступ, пружа могућност доносиоцу одлуке да изврши анализу резултата, кроз дијаграм покретних тежина тј. анализу утицаја промене тежина критеријума на коначан ранг алтернатива разматраног проблема и ако је потребно да у ту сврху обави корекцију или потврди коначно остварење планираних циљева приликом процеса избора.

Уколико је потребно разматрати специфичан проблем вишекритеријумске оптимизације рангирања, помоћу сложених критеријумских функција, при чему ниво расчлањавања може ићи до одређеног (r -тог) нивоа спроводи се алгоритам дат на слици 5.20. Због проблема одређивања релативних тежина сваког критеријума, у развијеном комбинованом поступку спроводи се следећа процедура:

- У првој итерацији вишекритеријумска анализа почиње од последњег r -тог нивоа, где се користе стварне (реалне) вредности критеријумских функција. У следећој итерацији са критеријумским функцијама $r-1$ нивоа, као улазни подаци се користе трансформисане вредности чистих токова Φ добијене у претходној фази. Овако добијене вредности представљају вредности нове матрице алтернатива и критеријума код које су сада критеријуми расчлањени на $r-1$ нивоа. Поступак се понавља све до 1 -ог (основног) нивоа.



Слика 5.20 Предложени под-алгоритам комбинованог приступа за рангирање алтернатива

6. Примена вишекритеријумског приступа одлучивања у решавању различитих задатака процеса развоја регионалног логистичког концепта

Урбана структурираност једног региона и његова привреда условљавају врсту робе и појаву урбаних робних токова, везаних за поједина насеља и саобраћајне правце. Дакле потребно је дефинисаним смерницама даљег развоја привући капитал и утицати на развој производних програма или привредних активности на повољним локалитетима у региону и при томе уклопити се у савремене трендове премештања робних токова. Потреба за изградњом логистичких центара у ову сврху је неминовна као и обезбеђење услова за њихово квалитетно пружање услуга. Имајући у виду стратешку савремену оријентација наше привреде, која предвиђа развој малих и средњих предузећа, истиче се потреба новог прилаза унапређењу регионалног привређивања. У том случају намеће се потреба за ефикасним и квалитетним одлучивањем. Избор локације центра и опреме транспортно - сладишног система који егзистира у оквиру истог, представљају проблеме који захтевају манипулацију са великим бројем различитих података и истовремено укључивање значајног броја релевантних критеријума и циљева који најчешће могу бити у супротности. Из наведених разлога, дефинисаним комбинованим приступом вишекритеријумског одлучивања анализирано је и подручје града Краљева и околине, а са циљем формирања релативно уједначеног вишекритеријумског модела за решавање различитих задатака у процесу развоја регионалног логистичког концепта.

6.1 Решавање процеса избора локације

Дакле, проблем стратешког одлучивања, приказан у уводном делу, формулисан је кроз рангирање алтернатива потенцијалних локација будућег регионалног логистичког центра. На темељу дугогодишњих практичних искустава као и резултата претходних студија, пројеката и истраживања донесени су закључци о оправданости планирања, градње и пуштања у рад регионалног логистичког центра. С обзиром да је реч о опсежном инфраструктурном пројекту који тражи познавање различитих стручних подручја, актуелна сазнања о саобраћајној инфраструктури и токовима робе, трошковима и правним прописима, пре покретања пројекта изградње потребно је направити и разрадити детаљан план активности. Код његове израде потребно је ослонити се на искуство изградње сличних објеката као и на успостављање контакта са потенцијалним корисницима, превозницима и инвеститорима, без обзира да ли су део државног или приватног сектора. У оквиру почетне фазе изградње, потребно је

нагласити значај избора локације и потребе да предност у том случају треба дати струци, а не политици.

Свака погрешна одлука која не поштује струку води повећању трошкова, а самим тиме и до тржишне неприхватљивости датог логистичког центра или терминала. Дакле, савремене тенденције у рационализацији дистрибуције материјалних добара и оптимизацији транспортног система, крећу се у правцу формирања и развоја логистичких центара.

Врло корисно решење унапређења пословања у регионалним оквирима јесте формирање и развој регионалних логистичких центара са централизованим индустријским складиштем. У логистичким центрима концентрисале би се све активности везане за целокупни проток и задржавање робе у региону. Наравно, ова констатација иде у прилог резултатима на досадашњим истраживањима и студијама, а који упућују на неопходност развоја два нивоа логистичких центара у Србији: ЕУ ниво (Београд, Нови Сад, Суботица, Ниш, Крагујевац и др.) и центри националног нивоа (Крушевац, Краљево, Чачак, Ужице, Нови Пазар, Лесковац, Вршац и сл.).



Слика 6.1. Логистички центри регионалног значаја

Сваки град, или шире, у овом случају регион, захтева сопствени концепт урбане логистике који се мора непрекидно пратити и развијати. Да би дошло до реализације једног оваквог пројекта потребно је сагледати и анализирати мноштво параметара везаних за ову проблематику. Предуслови од којих се пошло у овом истраживању леже у чињеници, да имајући у виду проблеме робног транспорта у градским срединама генерално, као и географски положај Региона у којем централну позицију заузима град Краљево, затим повећање нивоа укупне робне размене Региона и планирани индустријски развој (након приватизације, реинжењеринга опреме и технологија) може се констатовати да су створени услови за покретање пројекта развоја регионалне city (урбане) логистике и новог концепта централизованог индустријског складишта. Основни начин смањења трошкова производње и услуга

јесте управо усвајање нове стратегије која предвиђа снабдевање корисника материјалима-робама "тачно на време", тј. онда када су потребни у производњи или када се врши услуга.

Очигледно је да мала и средња предузећа треба да имају неко централно складиште из којег би се снабдевала потребним материјалима, полупроизводима, компонентама, агрегатима и др., тачно у време потребе непосредне уградње - производње. Решење је, дакле, у формирању заједничког индустријског складишта, најбоље у склопу регионалног логистичког центра. При томе, централно регионално индустријско складиште се може структурирати на два начина, и то као:

- централизовано за цео регион на једној локацији, или
- децентрализовано, на више подрегионалних локација међусобно интегрисаних информационом технологијама.

Научном анализом и вредновањем логистичких процеса у региону или подрегионалним секторима укључујући начине методе прогноза потреба и развоја региона, као и целе њихове градње и експлоатације може се егзактно одредити за тип регионалног индустријског складишта. При одређењу за тип складишта треба имати у виду да примена информационих технологија омогућује да се и децентрализовано складиште функционално третира као централизовано, а оба у склопу регионалног логистичког центра. Међутим главни правци у овом истраживању су усмерени углавном на особеност и природу процеса одлучивања (неодређеност, неизвесност и непрецизност) и тежњу да се развије и унапреди вишекритеријумски приступ у домену логистике за решавање не само кључних задатака развоја регионалног логистичког концепта већ и великог броја реалних проблема.

6.1.1 Дефинисање потенцијалних локација

Правилним избором локације индустријског складишта или логистичког центра суштински се унапређује градска логистика и унапређује градски и регионални транспорт. Анализом резултата робне размене закључује се да је она у порасту и да ће задржати тај тренд (не улазећи у међусобни однос увоза и извоза). Ради дефинисања потенцијалних локација пошло се од сагледавања података спољнотрговинске робне размене Србије тј. посматраног региона. Посматрано глобално и регионално, према подацима Републичког завода за статистику и Управе царина Србије, структура робних токова типичних представника датог региона приказана је у Табелама 6.1, 6.2 и 6.3. На основу података о уделу појединих региона у увозу и извозу, као и у циљу редукције посматраног проблема, пет привредно најразвијених општина датог региона, издвојене су и посматране као главна одредишта робних токова тј. као места потенцијалних локација логистичког центра. Уочљива је чињеница да Краљево у оквиру Региона има положај централне јединице,

општина је достигла ниво популације који се сматра актуелним за развој градске (city) логистике. Близина осталих општина је таква да се може сматрати да се транспорт одвија у "унутар градског подручја".

Табела 6.1 Спољнотрговински промет Републике Србије -децембар 2013. годину у млрд.РСД - (Републички завод за статистику Србије)

	Извоз		Увоз		Удео у укупном извозу у %		Удео у укупном увозу у %	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Република Србија								
Укупно	85,2	102,9	157,5	163,8	100	100	100	100
Енергија	3,5	6,2	37,2	32,0	4,1	6,0	23,6	19,5
Интермедијални производи	24,6	30,6	45,0	44,0	28,8	29,8	28,6	26,9
Капитални производи	24,8	27,4	35,0	37,7	29,1	26,7	22,2	23,0
Трајни производи за широку потрошњу	3,6	4,8	2,8	3,0	4,2	4,7	1,8	1,8
Нетрајни производи за широку потрошњу	20,1	23,7	21,1	23,0	23,6	23,0	13,4	14,1
Некласификовано по намени ЕУ	8,6	10,1	16,4	24,0	10,1	9,8	10,4	14,7
Регион Шумадије и Западне Србије								
Укупно	24,3	31,8	26,5	25,9	28,5	30,9	16,8	15,8
Енергија	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1
Интермедијални производи	5,8	6,8	9,8	9,0	6,9	6,6	6,2	5,5
Капитални производи	12,0	16,7	10,6	11,0	14,1	14,1	6,7	6,7
Трајни производи за широку потрошњу	1,1	1,9	0,2	0,1	1,3	1,3	0,1	0,1
Нетрајни производи за широку потрошњу	4,0	5,1	2,1	1,9	4,7	4,7	1,3	1,2
Некласификовано по намени ЕУ	1,3	1,1	3,7	3,5	1,5	1,5	2,3	2,1

Табела 6.2. Увозни токови у Србији за 2012. годину у 1000 t - (Статистички билтен Управе царина Републике Србије за 2012. год.)

Царинарница	Опрема	Сировине	Широка потрошња	Резервни делови	Остало	Укупно
Краљево	9,5	127,7	122,9	0,1	0,05	260,25
Крагујевац	46,9	982,8	328,5	1,3	3,8	1363,3
Крушевац	10,9	231,9	52,1	0,4	0,3	295,6
Ужице	9,8	156,3	227,4	0,2	0,1	393,8

Све су то чињенице које указују да има места за развој пројекта регионалног индустријског складишта и концепта градске логистике. Имајући у виду да је очекиване токове у Србији па и предметном региону веома тешко одредити због неадекватних статистичких података потенцијалне локације су разматране на основу података различитих извора и различитим приступима (очекивани привредни раст,

структура увоза и извоза и сл.). Генерално, поступак избора локације може бити изведен са два нивоа посматрања (макролокацијски и микролокацијски поступак), при чему оба поступка посматрања захтевају јасно дефинисање скупа критеријума који се могу потпуно или делимично разликовати и подударати.

Табела 6.3 Извоз и увоз по одабраним земљама за 2011 и 2012. годину
(Републички завод за статистику Србије)

Извоз и увоз по одабраним земљама						
у млрд. дин.						
	Јануар - мај					
	извоз			увоз		
	2011	2012	индекс	2011	2012	индекс
Немачка	38.6	44.4	115.0	60.2	70.9	117.8
Руска федерација	20.5	25.4	123.7	79.0	88.2	111.6
Италија	42.7	35.7	83.6	46.2	57.1	123.8
Румунија	25.3	34.2	134.9	29.7	29.6	99.7
Босна и Херцеговина	32.3	36.2	111.8	19.1	17.0	88.9
Кина	0.4	0.6	159.3	42.6	47.8	112.2
Мађарска	9.2	9.2	100.0	26.5	32.2	121.5
Словенија	15.6	15.8	101.6	17.1	20.9	122.2
Аустрија	11.9	9.5	79.2	20.0	22.6	113.3
Хрватска	12.8	12.6	99.0	13.6	17.3	127.0
Република Црна Гора	23.9	25.1	105.1	4.8	4.4	91.8
Француска	10.2	10.0	98.6	15.3	19.0	124.3
Бугарска	8.6	9.6	112.0	15.0	17.4	116.2
Република Македонија	15.3	16.1	104.8	8.3	10.0	121.2

Процес избора локације је мултидисциплинаран и захтева свеобухватан приступ. Идеја је представити актуелан проблем избора локације на макронивоу и при томе га решити коришћењем алата који спада у савремену математичу област теорије одлучивања, иначе примењене у решавању многих практичних проблема. Из тог разлога, приказан проблем је решаван представљеним приступом вишекритеријумског одлучивања, а карактеристишу га присуство великог броја критеријума креираних од стране доносиоца одлуке, конфликт између критеријума, неупоредиве јединице мера различитих критеријума и избор алтернативног решења (најбоље решење или најбоља акција) из скупа претходно дефинисаног коначног броја решења (акција).

Дакле посебна пажња је више усмерена на потребу за објективније упоређивање утицаја појединачних разнородних критеријума као и на њихову природу у процесу избора оптималне локације, него на сам поступак формирања потенцијалних локација тј. алтернатива разматраног проблема. Структура проблема доношења одлуке о потенцијалној локацији будућег решења регионалног логистичког центра са

два нивоа разматрања истог, приказана је на слици 6.3. Истраживање у овом раду је усмерено на приступ у којем је сценарио развоја логистичког система развијен интуитивно, обично на бази искуства и знања експерта. Главну улогу у процесу доношења одлуке разматраног проблема имају локална самоуправа, која представља јавни сектор и оператор који представља приватни сектор.

Локална самоуправа креира могућности за локацију логистичког центра (прихвата план развоја, помаже у формализовању инвестиција и сл.).



П

Слика 6.2 Потенцијалне локације регионалног логистичког центра са гравитационом ЗОНОМ



Слика 6.3 Структура проблема одлучивања о локацији регионалног логистичког центра

Наравно коначну одлуку о локацији доноси оператор, тако што обавља улогу доносиоца одлуке. Ради редукције разматраног проблема, посматрана је само прва фаза тј. макрониво посматрања проблема, при чему је у изабраном региону посматрано и дефинисано пет потенцијалних локација-зона. При томе треба додати и чињеницу да се центар потенцијалних зона налази у пет поменутих најразвијенијих општина, а просечан радијус гравитационе зоне мерен од центра сваке зоне износи око 80 км, што је мање више прихватљиво са аспекта посматрања испоруке робних токова унутар градског подручја. Наравно то је и главна претпоставка од које се и пошло при структурирању датог проблема.

6.1.2 Методологија избора локације регионалног логистичког центра

Након идентификације проблема - непостојање логистичког центра на територији града Краљева и околине, утврђена је чињеница да је овај проблем иначе по природи вишекритеријумски, могуће решити употребом развијеног комбинованог вишекритеријумског приступа. Примена приказане методе вишекритеријумског одлучивања се спроводи у неколико фаза:

- дефинисање проблема;
- идентификација кључних експерата и заинтересованих страна (енг. stakeholdera)
- анализирају се све стране проблема и испитују фактори који су битни за доношење одлуке, и на тај начин се долази до листе критеријума за одлучивање;
- идентификују се сва могућа решења за разматрани проблем тј. алтернативе;
- сваком критеријуму се додаје припадајућа тежинска вредност, на основу стручне процене и процене осталих учесника одлучивања, због чега је пожељно укључити што шири круг стручњака и свих других заинтересованих страна;
- утврђује се вредност сваког критеријума за свако алтернативно решење;
- врши се прорачун применом методе уз програмску подршку и добијање коначног редоследа алтернатива (рангирање).

Потребу за одређивање потенцијалне локације регионалног логистичких центра тј. доношење одлуке појединца или групе људи можемо пронаћи у свим фазама процеса управљања на локалном нивоу. У даљем поступку, извршена је идентификација кључних експерата и заинтересованих страна (енг. stakeholdera) којима је представљен метод одређивања релативних тежина критеријума за процес избора одговарајуће локације. Процес доношења одлуке о избору најбоље локације

веома је комплексан с обзиром на укљученост великог броја заинтересованих особа и институција, дакле од политичара преко стручних лица до појединаца. Одржавањем стручних консултација, експертској групи заједно са осталим представницима заинтересованих страна, ради извођења процеса евалуације, демонстриран је принцип предложене методологије.

Након тога сваки учесник је извршио евалуацију одабраних подкритеријума и критеријума међусобно, а све у односу на елементе на вишем хијерархијском нивоу. Резултати вредновања коришћени су за формирање матрице поређења на различитим хијерархијским нивоима и добијање релативних тежина критеријума неопходних за поступак рангирања предложених алтернатива. Локација регионалног логистичког центра мора бити у складу са потребама корисника који од њега очекују квалитет у погледу услуге и ниску цену исте.

6.1.2.1 Идентификација фактора који утичу на избор локације

Критеријуми се могу генерисати и сврстати према различитим аспектима посматрања система и доносиоца одлуке. У ову сврху, а у циљу гаранције успешне изградње и развоја логистичког центра за изабрани регион критеријуми односно подкритеријуми су на основу експертских знања и претходних искустава класификовани у пет различитих група (Табела 6.4).

Табела 6.4 Кључни фактори за лоцирање логистичког центра

Критеријум	Ознака критеријума	Тежина критеријума	Подкритеријум – 2-ги ниво	Ознака подкритеријума	Тежина подкритеријума
Технолошки	K_I	25%	Саобраћајна инфраструктура друмског транспорта - растојање од аутопута- (km)	K_{11}	40%
			Ефикасан железнички транспорт- (поени)	K_{12}	40%
			Доступност аеродрома-min растојање - (km)	K_{13}	20%
Социјални/ Радна снага	K_{II}	15 %	Ниво незапослености - (поени)	K_{21}	15%
			Смањење незапослености - (%)	K_{22}	20%
			Постојање тех. специјализоване радне снаге - (поени)	K_{23}	25%
			Постојање технички обучене радне снаге - (поени)	K_{24}	25%
			Постојање технички необучених кадрова - (поени)	K_{25}	15%
Законско-регулативни оквири	K_{III}	10%	Доступност земљишта - (поени)	K_{31}	30%
			Могућност регулисања власничких односа - (поени)	K_{32}	30%
			Усаглашеност са урбанистичким плановима - (поени)	K_{33}	20%
			Усаглашеност са законима који регулишу заштиту животне средине - (поени)	K_{34}	20%
Економски	K_{IV}	25%	Трошкови активирања локације - (euro/m ²)	K_{41}	30%
			Просечни трошкови изградње инфраструктуре (водоводни/канализациони систем)- (euro/m ³)	K_{42}	30%
			Улагања у изградњу приступних путева и инфраструктуре - (поени)	K_{43}	30%
			Период повраћаја уложених средстава - (месец)	K_{44}	10%
Технички	K_V	25%	Геолошке карактеристике локације - (поени)	K_{51}	10%
			Техничке могућности повезивања са саобраћајном инфраструктуром железничког транспорта - (поени)	K_{52}	30%

Техничке могућности повезивања са саобраћајном инфраструктуром водног транспорта - (поени)	K_{53}	30%
Техничке могућности повезивања са саобраћајном инфраструктуром друмског транспорта - (поени)	K_{54}	30%

Очигледно је да се ради о комплексности и многобројности циљева и критеријума различитих интересних група. Степен расчлањавања критеријума зависи од конкретне поставке локацијског проблема. Поред тога што нису поменути сви критеријуми, ни сви они који су наведени не морају бити примењени за конкретне локацијске проблеме. У зависности од система који се посматра наведени критеријуми је могуће и расчланити на поткритеријуме.

При избору критеријума битна је њихова моћ у погледу селективног деловања на алтернативна решења локације центара. Генерисање и сврставање критеријума према технолошком, економском, еколошком, законско-регулативном, организационом и техничком карактеру даје могућност селекције и уочавања недостатака локацијских алтернатива са аспекта значајних подручја за развој логистичких центара. Избор критеријума из наведених група јесте гаранција њихове успешне изградње, развоја и одрживости.

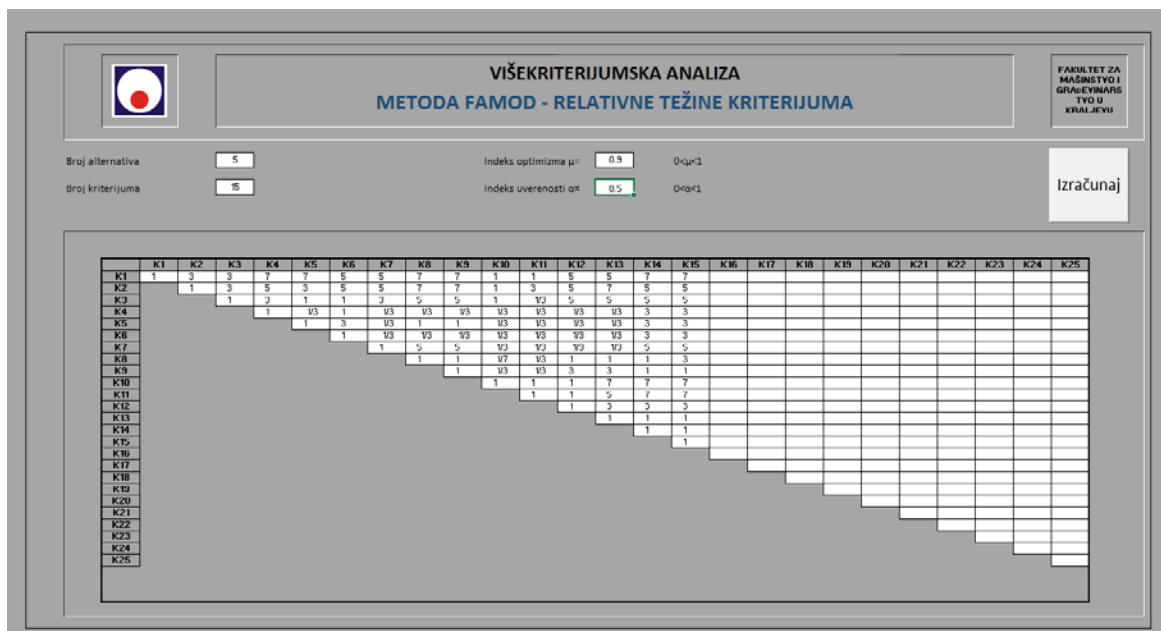
6.1.2.2 Одређивање релативне тежине кључних критеријума

Пошто у поступку одређивања релативних тежина критеријума субјективне одлуке имају пресудну улогу, представљен приступ је заснован на тежњи да је субјективни став о тежинама критеријума (значајност) лакше изразити поредећи важности критеријума по паровима него одједном. Апликација описане методологије одређивања релативних тежина извршена је применом развијеног програмског алата у те сврхе - РТК (Релативне Тежине Критеријума)(слика 6.4).

Предност употребе алата је у стварању могућности коришћења неограниченог броја критеријума, брзина и флексибилност у раду. Осим тога програмски алат пружа могућност ДО да као улазне податке користи различите вредности индекса уверености и оптимизма у интервалу $[0,1]$ и покаже њихов утицај на коначне резултате. Матрице поређења и тежинске вредности елемената приказане су у даљем тексту. Дакле, у оквиру програма РТК сам процес оцењивања и одређивања преференци критеријума се спроводи на следећи начин:

- пошто су на почетку дефинисани основни параметри модела (број критеријума и вредности индекса уверености $\alpha=0,5$ и оптимизма $\mu=0,5$) генерише се тзв. fuzzy матрица поређења, која је квадратних димензија, једнаким броју критеријума, и на главној дијагонали се евидентирају јединице, а остале вредности у облику троугаоних fuzzy бројева се уносе као резултат

поређења сваког критеријума са сваким на основу скале од пет тачака (Табела 6.5). У овом кораку уносе се само директне вредности док се инвертоване аутоматски генеришу.



Слика 6.4 Кориснички интерфејс програма РТК

Табела 6.5 Поређење критеријума - fuzzy матрица поређења

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20
K1	1	3	5	7	9	5	7	9	5	5	7	7	3	3	3	9	9	3	3	3
K2		1	3	5	5	5	7	7	1	3	5	7	5	5	5	9	9	3	3	3
K3			1	3	1	3	5	5	1	3	5	5	5	5	5	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K4				1	3	5	5	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K5					1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K6						1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K7							1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K8								1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K9									1	3	3	3	3	3	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K10										1	3	3	3	3	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K11											1	3	3	3	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K12												1	3	3	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K13													1	3	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K14														1	3	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K15															1	3	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K16																1	3	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K17																	1	3 ⁻¹	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K18																		1	3 ⁻¹	3 ⁻¹
K19																			1	3 ⁻¹

Табела 6.6 α -пресек fuzzy матрица поређења критеријума

Критеријум	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	1	1.25	5	7	7	5	5	7	5	5
K2	0.875	1	5	7	7	5	5	7	5	5
K3	0.204167	0.204167	1	3	1.25	0.354167	0.354167	3	3	3
K4	0.144345	0.144345	0.354167	1	0.354167	0.204167	0.204167	1.25	1.25	1.25
K5	0.144345	0.144345	0.875	3	1	0.354167	0.354167	3	3	3
K6	0.204167	0.204167	3	5	3	1	1.25	5	3	3
K7	0.204167	0.204167	3	5	3	0.875	1	5	3	3
K8	0.144345	0.144345	0.354167	0.875	0.354167	0.204167	0.204167	1	1.25	1.25
K9	0.204167	0.204167	0.354167	0.875	0.354167	0.354167	0.354167	0.875	1	1.25
K10	0.204167	0.204167	0.354167	0.875	0.354167	0.354167	0.354167	0.875	0.875	1
K11	0.144345	0.144345	0.204167	0.354167	0.204167	0.144345	0.144345	0.354167	0.354167	0.354167
K12	0.144345	0.144345	0.204167	0.354167	0.204167	0.144345	0.144345	0.354167	0.354167	0.354167
K13	0.354167	0.354167	3	5	3	3	3	5	5	5
K14	0.354167	0.354167	5	5	3	3	3	5	5	5
K15	0.354167	0.354167	5	5	3	3	3	5	5	5
K16	0.111806	0.111806	0.354167	0.354167	0.354167	0.204167	0.204167	0.354167	0.354167	0.354167
K17	0.111806	0.111806	0.354167	0.354167	0.354167	0.204167	0.204167	0.354167	0.354167	0.354167
K18	0.354167	0.354167	3	5	3	3	3	5	5	5
K19	0.354167	0.354167	3	5	3	3	3	5	5	5
K20	0.354167	0.354167	3	5	3	3	3	5	5	5

Критеријум	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20
K1	7	7	3	3	3	9	9	3	3	3
K2	7	7	3	3	3	9	9	3	3	3
K3	5	5	0.354167	0.204167	0.204167	3	3	0.354167	0.354167	0.354167
K4	3	3	0.204167	0.204167	0.204167	3	3	0.204167	0.204167	0.204167
K5	5	5	0.354167	0.354167	0.354167	3	3	0.354167	0.354167	0.354167
K6	7	7	0.354167	0.354167	0.354167	5	5	0.354167	0.354167	0.354167
K7	7	7	0.354167	0.354167	0.354167	5	5	0.354167	0.354167	0.354167
K8	3	3	0.204167	0.204167	0.204167	3	3	0.204167	0.204167	0.204167
K9	3	3	0.204167	0.204167	0.204167	3	3	0.204167	0.204167	0.204167
K10	3	3	0.204167	0.204167	0.204167	3	3	0.204167	0.204167	0.204167
K11	1	1.25	0.204167	0.204167	0.204167	1.25	1.25	0.204167	0.204167	0.204167
K12	0.875	1	0.204167	0.204167	0.204167	1.25	1.25	0.204167	0.204167	0.204167
K13	5	5	1	1.25	1.25	7	7	1.25	1.25	1.25
K14	5	5	0.875	1	1.25	7	7	1.25	1.25	1.25
K15	5	5	0.875	0.875	1	7	7	1.25	1.25	1.25
K16	0.875	0.875	0.144345	0.144345	0.144345	1	1.25	0.204167	0.204167	0.204167
K17	0.875	0.875	0.144345	0.144345	0.144345	0.875	1	0.204167	0.204167	0.204167
K18	5	5	0.875	0.875	0.875	5	5	1	1.25	1.25
K19	5	5	0.875	0.875	0.875	5	5	0.875	1	1.25
K20	5	5	0.875	0.875	0.875	5	5	0.875	0.875	1

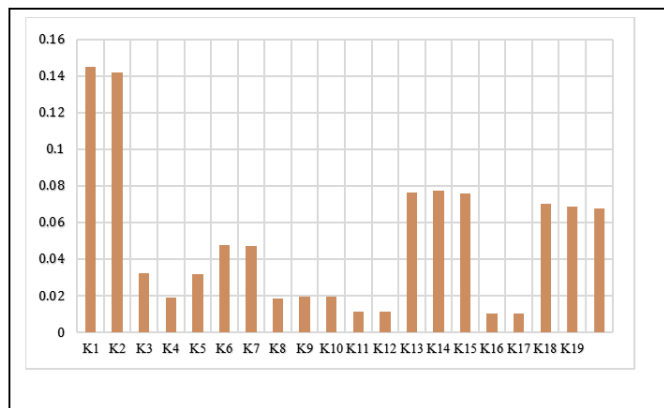
Табела 6.7 Вектор сопствених вредности за матрицу поређења критеријума

Критеријум	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20
K1	0.168	0.197	0.118	0.108	0.164	0.154	0.153	0.107	0.087	0.086	0.084	0.083	0.210	0.206	0.201	0.104	0.104	0.193	0.188	0.184
K2	0.147	0.158	0.118	0.108	0.164	0.154	0.153	0.107	0.087	0.086	0.084	0.083	0.210	0.206	0.201	0.104	0.104	0.193	0.188	0.184
K3	0.034	0.032	0.024	0.046	0.029	0.011	0.011	0.046	0.052	0.052	0.060	0.060	0.025	0.014	0.014	0.035	0.035	0.023	0.022	0.022
K4	0.024	0.023	0.008	0.015	0.008	0.006	0.006	0.019	0.022	0.021	0.036	0.036	0.014	0.014	0.014	0.035	0.035	0.013	0.013	0.013
K5	0.024	0.023	0.021	0.046	0.023	0.011	0.011	0.046	0.052	0.052	0.060	0.060	0.025	0.024	0.024	0.035	0.035	0.023	0.022	0.022
K6	0.034	0.032	0.071	0.077	0.070	0.031	0.038	0.076	0.052	0.052	0.084	0.083	0.025	0.024	0.024	0.058	0.058	0.023	0.022	0.022
K7	0.034	0.032	0.071	0.077	0.070	0.027	0.031	0.076	0.052	0.052	0.084	0.083	0.025	0.024	0.024	0.058	0.058	0.023	0.022	0.022
K8	0.024	0.023	0.008	0.013	0.008	0.006	0.006	0.015	0.022	0.021	0.036	0.036	0.014	0.014	0.014	0.035	0.035	0.013	0.013	0.013
K9	0.034	0.032	0.008	0.013	0.008	0.011	0.011	0.013	0.017	0.021	0.036	0.036	0.014	0.014	0.014	0.035	0.035	0.013	0.013	0.013
K10	0.034	0.032	0.008	0.013	0.008	0.011	0.011	0.013	0.015	0.017	0.036	0.036	0.014	0.014	0.014	0.035	0.035	0.013	0.013	0.013
K11	0.024	0.023	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.006	0.006	0.012	0.015	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.013	0.013	0.013
K12	0.024	0.023	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.006	0.006	0.010	0.012	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.013	0.013	0.013
K13	0.059	0.056	0.071	0.077	0.070	0.093	0.092	0.076	0.087	0.086	0.060	0.060	0.070	0.086	0.084	0.081	0.081	0.080	0.078	0.077
K14	0.059	0.056	0.118	0.077	0.070	0.093	0.092	0.076	0.087	0.086	0.060	0.060	0.061	0.069	0.084	0.081	0.081	0.080	0.078	0.077
K15	0.059	0.056	0.118	0.077	0.070	0.093	0.092	0.076	0.087	0.086	0.060	0.060	0.061	0.060	0.067	0.081	0.081	0.080	0.078	0.077

K16	0.019	0.018	0.008	0.005	0.008	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.012	0.014	0.013	0.013	0.013
K17	0.019	0.018	0.008	0.005	0.008	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.012	0.013	0.013	0.013
K18	0.059	0.056	0.071	0.077	0.070	0.093	0.092	0.076	0.087	0.086	0.060	0.060	0.061	0.060	0.059	0.058	0.058	0.064	0.078	0.077
K19	0.059	0.056	0.071	0.077	0.070	0.093	0.092	0.076	0.087	0.086	0.060	0.060	0.061	0.060	0.059	0.058	0.058	0.056	0.063	0.077
K20	0.059	0.056	0.071	0.077	0.070	0.093	0.092	0.076	0.087	0.086	0.060	0.060	0.061	0.060	0.059	0.058	0.058	0.056	0.055	0.061

Табела 6.8 Релативне тежине критеријума

Релативне тежине	Критеријум
0.145	K1
0.142	K2
0.032	K3
0.019	K4
0.032	K5
0.048	K6
0.047	K7
0.018	K8
0.020	K9
0.019	K10
0.011	K11
0.011	K12
0.076	K13
0.077	K14
0.076	K15
0.010	K16
0.010	K17
0.070	K18
0.069	K19
0.068	K20



Програм РТК аутоматски генерише α -пресек матрицу, врши нормализацију матрице из претходног корака и одређује fuzzy сопствене вредности тј. релативне тежине критеријума и степен конзистентности сагласно представљеним корацима fuzzy АНР приступа. Ако је степен конзистентности мањи од 0,10, резултат је довољно тачан и нема потребе за корекцијама у поређењима и понављању прорачуна (Табела 6.9).

Табела 6.9 Максимална сопствена вредност, индекс и степен конзистентности

Максимална сопствена вредност λ_{max}	21.90690448
Индекс конзистентности CI	0.100363394
Степен конзистентности $CR < 0.1$	0.061421906

На основу добијених резултата уочава се значај критеријума у групи техничких, економских и технолошких фактора у процесу избора одговарајуће локације у односу на социјалне и законско-регулативне. Из приложеног се потврђује и констатација да прихватљивост појединих локалитета (зона) зависи од великог броја фактора, па је из тог разлога примењен одговарајући математички алат за

агрегацију и интеграцију великог броја информација у циљу доношења оптималне одлуке која ће задовољити све задате критеријуме науке, струке и праксе.

6.1.2.3 Процес евалуације алтернатива без увођења сложених критеријумских функција

У овој фази, претходно дефинисане алтернативе се вреднују на основу усвојених критеријума и њихових тежинских коефицијената. Након дефинисања вредности критеријума за поједине алтернативе и одговарајуће трансформације критеријума типа min. у тип max. (Табела 6.10), вредности стандардне девијације, сагласно изразу (42), за сваки критеријум дате су у Табели 6.11.

Табела 6.10 Улазни подаци за вишекритеријумску анализу

Критеријуми	Алтернативе					ω_j	max/ min	
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅			
K _I	K ₁₁	26	75	164	80	24	0.145	min
	K ₁₂	4	5	2	3	3	0.142	max
	K ₁₃	60	10	109	35	70	0.032	min
K _{II}	K ₂₁	23	21.1	39	16.6	21	0.019	min
	K ₂₂	0.6	0.65	0.8	0.65	0.6	0.032	max
	K ₂₃	4	3	2	3	2	0.048	max
	K ₂₄	3	3	2	3	3	0.047	max
	K ₂₅	3	3	3	3	3	0.018	max
K _{III}	K ₃₁	4	3	2	2	2	0.020	max
	K ₃₂	3	2	2	3	3	0.019	max
	K ₃₃	4	3	2	3	3	0.011	max
	K ₃₄	3	3	2	3	3	0.011	max
K _{IV}	K ₄₁	54	60	56	55.2	40.8	0.076	min
	K ₄₂	0.82	0.93	0.64	0.36	1.3017	0.077	min
	K ₄₃	2	3	4	3	2	0.076	min
	K ₄₄	60	84	120	72	72	0.010	min
K _V	K ₅₁	3	3	2	3	3	0.010	max
	K ₅₂	4	4	2	4	4	0.070	max
	K ₅₃	2	4	1	3	3	0.069	max
	K ₅₄	4	3	2	4	3	0.068	max

У наредном кораку предложеног приступа за рангирање алтернатива, сагласно изразима (44), (45) за поређење две алтернативе потребно је сваком критеријуму придружити преферентну функцију $P_j(a_i, a_k)$, одредити коефицијенте регресије (сагласно алгоритму на слици 5.12) и изабрати генерализовани критеријум код кога је збир квадрата одступања експерименталних тачака од теоријске криве генерализованог критеријума најмањи што омогућава смањење утицаја искуства и субјективне оцене доносиоца одлуке. Генерисање коначног рангирања алтернатива потенцијалних локација логистичког центра (централизованог индустријског складишта) захтева израчунавање вредности индекса преференције (Табела 6.12) и токова за сваки пар алтернатива, сагласно изразима (37),(38),(39) и (45). С обзиром да приказана метода захтева обимне прорачуне, комплетан поступак вишекритеријумске анализе је аутоматизован развојем софтверског алата FAMOD. Ограничење датог алата се огледа у могућности решавања проблема рангирања 10 алтернатива помоћу 25 функција критеријума. На улазној масци програма (слика 6.5) уносе се подаци о задатку, назив и број алтернатива и критеријума разматраног проблема.

Подпрограм MODIPROM намењен је рангирању, а сагласно описаном алгоритму у претходном поглављу (слика 5.14), на улазној масци се уносе вредности критеријумских функција за поједине алтернативе, вредности релативних тежина критеријумских функција, бира се врста оптимизације за сваку функцију (min. или max.) и уносе остали подаци.

Табела 6.11 Стандардна девијација критеријума

Критеријум	σ	S-сума квадрата генерализованих критеријумских функција						
		Тип I	Тип II	Тип III	Тип IV	Тип V	Тип VI	Тип VII
K1	50.874	2.8500	2.0500	0.06302	0.2500	0.05683	0.04259	0.08736
K2	1.0198	2.5185	0.8519	0.15995	0.5185	0.14815	2.51852	0.17737
K3	33.391	2.8500	2.0500	0.04051	0.3000	0.02209	0.01237	0.01330
K4	7.721	2.8500	1.0500	0.07384	1.0500	0.05561	0.02372	0.43897
K5	0.0735	2.1875	0.6875	0.09606	0.6875	0.09375	1.21339	0.21212
K6	0.7483	2.1875	1.4375	0.28125	0.3125	2.18750	2.18750	0.42410
K7	0.4	0.8750	0.8750	1.87500	0.8750	1.87500	1.87500	0.75091
K8	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
K9	0.8	1.8571	0.7143	0.14286	0.2857	2.85714	4.00000	0.30915
K10	0.4899	1.5278	1.5278	2.52778	1.5278	2.52778	2.52778	0.99823
K11	0.6325	1.8571	1.8571	0.35714	0.3571	1.85714	1.64425	0.63067
K12	0.4	0.8750	0.8750	1.87500	0.8750	1.87500	1.87500	0.75091
K13	6.5189	2.8500	1.0500	0.05731	1.0500	0.03990	0.01643	0.33602
K14	0.3123	2.8500	2.0500	0.03650	0.4500	0.01273	0.00590	0.01142
K15	0.7483	2.1875	1.4375	0.28125	0.3125	2.18750	2.18750	0.42410
K16	20.646	2.5185	1.1852	0.07555	0.4630	0.07242	0.06914	0.16515
K17	0.4	0.8750	0.8750	1.87500	0.8750	1.87500	1.87500	0.75091
K18	0.8	0.8750	0.8750	1.87500	0.8750	1.87500	1.87500	0.75091
K19	1.0198	2.5185	0.8519	0.15995	0.5185	0.14815	2.51852	0.17737
K20	0.7483	2.1875	1.4375	0.28125	0.3125	2.18750	2.18750	0.42410

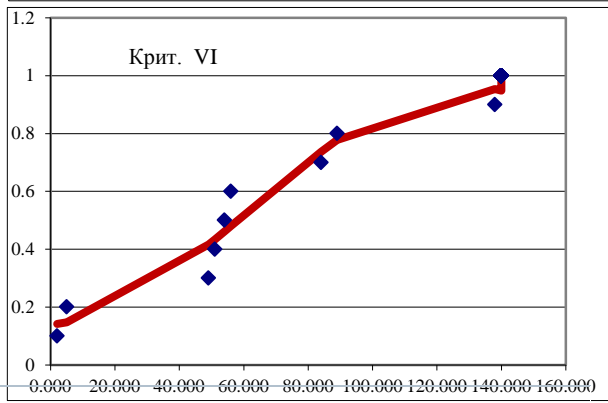
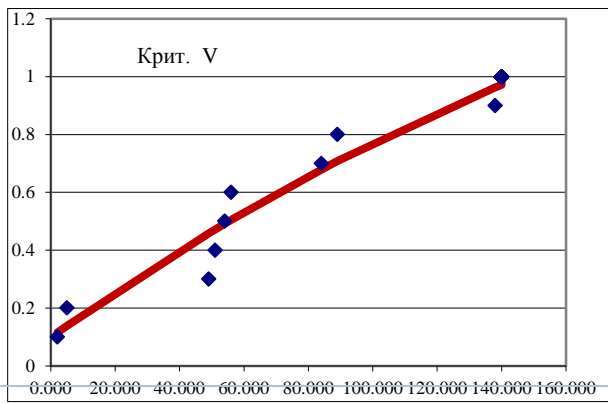
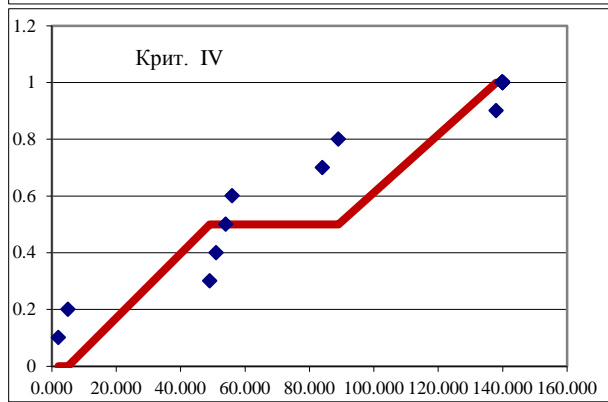
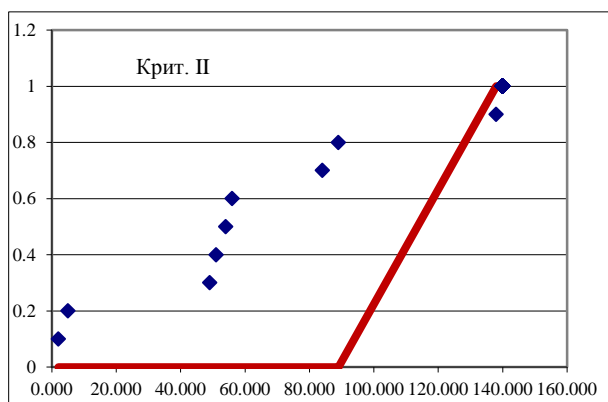
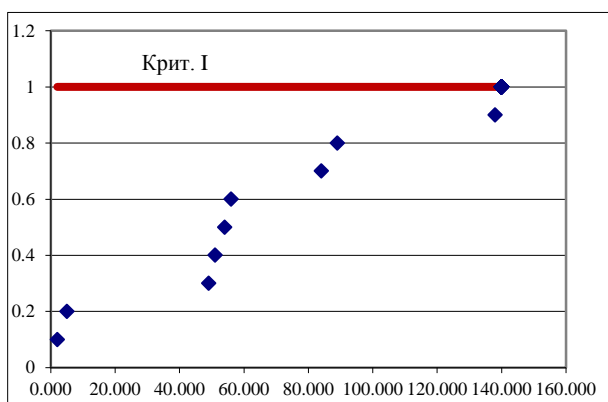
Табела 6.12 Вредности вишекритеријумског индекса преферентности

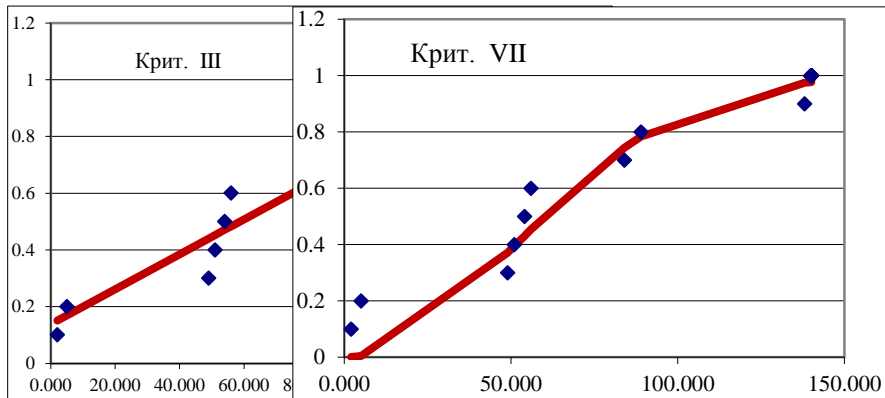
Вредности вишекритеријумског индекса преферентности P(a,b)							
у односу на алтернативе							
Посматране алтернативе	A1	A2	A3	A4	A5	Изразни ток	
	A1	0	0.2297117	0.6937314	0.2076856	0.201672	1.33280
A2	0.13662751	0	0.6066185	0.170472	0.234659	1.14838	
A3	0.04494796	0.0835129	0	0.022	0.099746	0.25021	
A4	0.10107934	0.1569836	0.5737929	0	0.159642	0.99150	
A5	0.10754126	0.1931327	0.5954057	0.1638562	0	1.05994	
Улазни ток	0.39019606	0.6633409	2.4695485	0.5640138	0.695719		

Такође, подпрограм MODIPROM пружа могућност да се за сваку критеријумску функцију виде и облици усвојених генерализованих критеријума и положај експерименталних тачака у односу на њих, јер се у развијеном приступу на основу методе најмањих квадрата бира генерализовани критеријум код кога је збир квадрата одступања експерименталних тачака од теоријске криве најмањи.



Слика 6.5 Кориснички интерфејс програма FAMOD

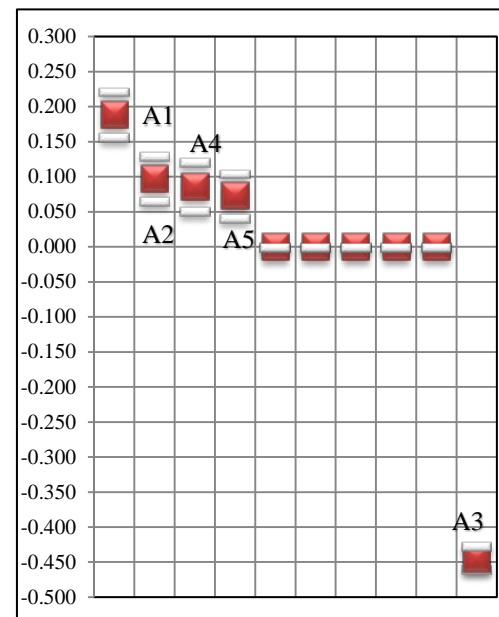




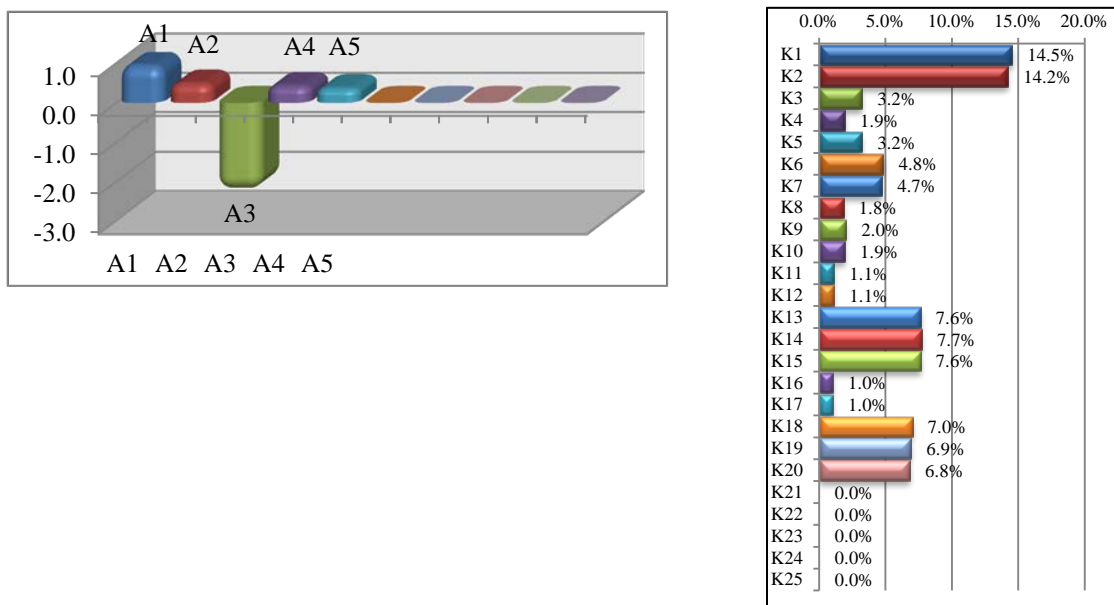
Слика 6.6 Облици генерализованих функција за критеријум K_1

Резултати вишекритеријумске анализе се приказују у виду извештаја на коме се даје коначан редослед алтернатива по PROMETHEE I, PROMETHEE II и PROMETHEE III као и график интервалног поретка алтернатива (сл. 6.7).

PROMETHEE I		PROMETHEE II		PROMETHEE III	
Ранг		Ранг		Ранг	
4	A1	4	A1	4	A1
2	A2	3	A2	1	A2
1	A4	2	A4	1	A4
1	A5	1	A5	1	A5
0	A3	0	A3	0	A3



Слика 6.7 Извештај са резултатима ВКА- коначни редослед разматраних алтернатива и интервални поредак



Слика 6.8 Извештај са резултатима ВКА-покретне тежине: вредности чистих токова за разматране алтернативе и релативних тежина критеријума

Графички приказ вредности тежинских коефицијената као и анализа и ефекти њиховог утицаја на доношење коначне одлуке (решења) се могу видети на дијаграму "Покретних тежина" (сл. 6.8). Доносилац одлуке (ДО) у посматраном примеру, са макро нивоа посматрања поступка избора локације доноси коначну одлуку о лоцирању логистичког центра – концепцијско решење (алтернатива 1) превазилази сва присутна потенцијална ограничења и представља најповољније решење. Сагледавањем дијаграма покретних тежина могуће је донети закључак о стабилности решења тј. да ли тежински коефицијенти имају или немају битнији утицај на коначан резултат.

У следећој фази било би могуће посматрати избор локације у разматраном случају и применом дате методе и са микро нивоа посматрања, при чему би било потребно обратити пажњу на дефинисање скупа критеријума који се могу делимично или потпуно разликовати и подударати.

6.1.2.4 Процес евалуације алтернатива сложеним критеријумским функцијама

Сагласно предложеном моделу, а за претходно дефинисане критеријуме вишекритеријумска анализа у случају увођења сложених критеријумских функција спровела би се кроз две фазе:

Фаза 1 – Вишекритеријумска анализа са критеријумским функцијама 2-ог нивоа методом PROMETHEE III. Поступак ће бити илустрован само за функције k_1 , k_2 и k_3 које представљају потдкритеријумске функције критеријума првог нивоа K_1 . У Табели 6.13 су приказани улазни подаци који се односе на ове потдкритеријумске функције.

Табела 6.13 Улазна табела за рангирање алтернатива на основу подкритеријумских функција k_1 , k_2 и k_3

Критеријум	Алтернативе					ω_j	max/ min
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅		
K_1	K_1	26	75	164	80	24	0.48 min
	K_2	4	5	2	3	3	0.43 max
	K_3	60	10	109	35	70	0.09 min

На основу израза (40), (41) и (42) тј. дефинисањем матрице вредности критеријума алтернатива и одговарајућом трансформацијом критеријума из типа min. у тип max. одређују се вредности стандардне девијације за сваки критеријум. Следећи корак ове фазе усмерен је на придруживање једне преферентне функције P_j (a_i, a_k) сваком критеријуму, у односу на кога се пореде две алтернативе. На основу функција преференција, бира се тип генерализоване критеријумске функције за који је сума квадратног одступања најмања (43). Тиме је утицај искуства и субјективне оцене доносиоца одлуке приликом избора генерализованих критеријума сведен на најмању меру. У Табели 6.14 је приказан поступак избора генерализоване критеријумске функције за критеријуме k_1 , k_2 и k_3 који представљају поткритеријумске функције критеријума првог нивоа K_1 .

Табела 6.14 Стандардна девијација и генерализован критеријумска функција за подкритеријуме k_1 , k_2 и k_3

Подкритеријум	σ	S - сума квадрата генерализованих критеријумских функција							Изабран генерализован критеријум
		Тип I	Тип II	Тип III	Тип IV	Тип V	Тип VI	Тип VII	
k_1	50.874	2.8500	2.0500	0.06302	0.2500	0.05683	0.04259	0.08736	Тип VI
k_2	1.0198	2.5185	0.8519	0.15995	0.5185	0.14815	2.51852	0.17737	Тип V
k_3	33.391	2.8500	2.0500	0.04051	0.3000	0.02209	0.01237	0.01330	Тип VI

Генерисање коначног ранга алтернатива на основу критеријума k_1 , k_2 и k_3 захтева одређивање индекса преференције (45) (Табела 6.15) и токова за сваки пар алтернатива, а аутоматизован је применом адекватног софтверског алата развијеног у ове сврхе.

Табела 6.15 Вредности индекса преференције, улазних и излазних токова

		Вредност индекса преференције P(a,b)						
		У односу на алтернативу						
		A1	A2	A3	A4	A5	Изазани ток	
Посматрана алтернатива	A1	0	0.1998679	0.8491935	0.3649686	0.150901	1.56493	
	A2	0.20128607	0	0.8929126	0.4290899	0.404939	1.92823	
	A3	0	0	0	0	0	0.00000	
	A4	0.02419728	0	0.5813191	0	0.037452	0.64297	
	A5	0.06822893	0.2084976	0.6416482	0.2304981		1.14887	
Улазни ток		0.29371228	0.4083655	2.9650734	1.0245566	0.593292		

Редослед алтернатива добијен на основу интервалног поретка применом методе PROMETHEE III и трансформисане вредности чистих токова које се добијају помоћу израза (38) и (39) за критеријум K_I су дати у табели 6.16.

Табела 6.16 Трансформисане вредности чистих токова након фазе 1 за критеријум K_I .

A_i	C_{ij}
A1	0.94456
A2	1.00000
A3	0.00000
A4	0.57604
A5	0.78500

На исти начин се добијају и вредности чистих токова за остале критеријумске функције 1-ог нивоа K_{II} , K_{III} , K_{IV} и K_V . Вредности су приказане у Табели 6.17.

Табела 6.17 Трансформисане вредности чистих токова након фазе 1

ТРАНСПОНОВАЊЕ ТРАНСФОРМИСАНИХ ВРЕДНОСТИ ЗА ЗБИРНУ АНАЛИЗУ					
	A1	A2	A3	A4	A5
K_I	0.94456	1.00000	0.00000	0.57604	0.78500
K_{II}	1.00000	0.79884	0.00000	0.84777	0.41451
K_{III}	1.00000	0.37388	0.00000	0.56045	0.56045
K_{IV}	0.95437	0.00000	0.20489	0.95249	1.00000
K_V	0.86606	0.96893	0.00000	1.00000	0.85075

Фаза 2 – Вишекритеријумска анализа са критеријумским функцијама 1-ог нивоа, при чему су улазни подаци трансформисане вредности чистих токова добијене у претходној фази (Табела 6.18).

Табела 6.18 Улазни подаци за вишекритеријумску анализу у фази 2

Критеријуми	АЛТЕРНАТИВЕ					ω_j	max/ min
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅		
K_I	0.94456	1.00000	0.00000	0.57604	0.78500	0.266	max
K_{II}	1.00000	0.79884	0.00000	0.84777	0.41451	0.109	max
K_{III}	1.00000	0.37388	0.00000	0.56045	0.56045	0.037	max
K_{IV}	0.95437	0.00000	0.20489	0.95249	1.00000	0.304	max
K_V	0.86606	0.96893	0.00000	1.00000	0.85075	0.284	max

Прорачунате вредности стандардне девијације за сваки критеријум и избор типа генерализоване критеријумске функције су приказани у Табели 6.19. Генерисање коначног ранга алтернатива на основу критеријума K_I , K_{II} , K_{III} , K_{IV} и K_V се врши фамилијом метода PROMETHEE I, II и III (Табела 6.20).

Табела 6.19 Стандардна девијација и изабрана генерализовна критеријумска функција

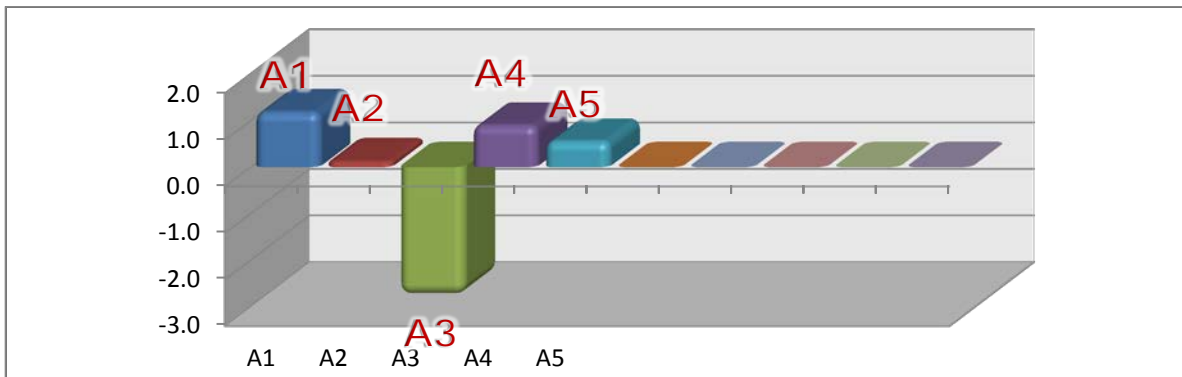
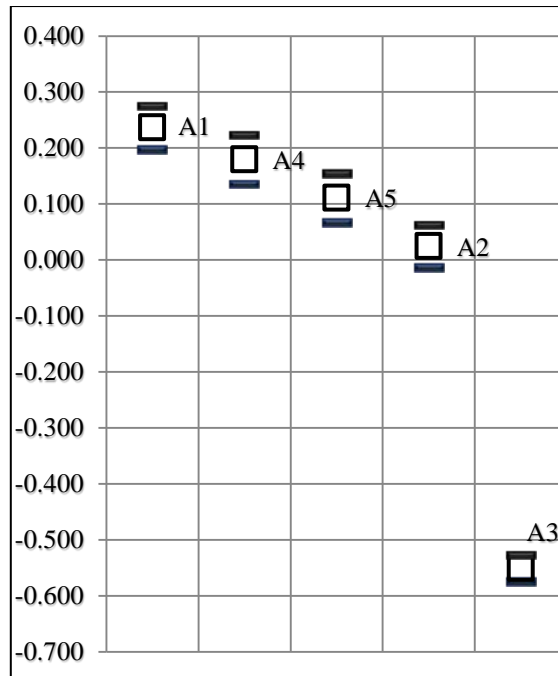
Критеријум	σ	S - сума квадрата генерализованих критеријумских функција							Изабран генерализован критеријум
		Тип I	Тип II	Тип III	Тип IV	Тип V	Тип VI	Тип VII	
K _I	0.361896	2.8500	1.4500	0.03739	0.4000	0.01629	0.01177	0.13363	Тип VI
K _{II}	0.361825	2.8500	1.4500	0.02154	0.2500	0.01586	0.01582	0.07059	Тип VI
K _{III}	0.323484	2.5185	2.5185	0.07451	0.3519	0.05314	0.02051	0.07157	Тип VI
K _{IV}	0.429754	2.8500	0.8500	0.09013	0.8500	0.06826	0.02619	0.36294	Тип VI
K _V	0.373021	2.8500	1.0500	0.14153	1.0500	0.12466	0.02470	0.77938	Тип VI

Табела 6.20 Коначни ранг алтернатива

PROMETHEE I		PROMETHEE II		PROMETHEE III	
Ранг		Ранг		Ранг	
4	A1	4	A1	3	A1
3	A4	3	A4	2	A4
2	A5	2	A5	2	A5
1	A2	1	A2	1	A2
0	A3	0	A3	0	A3

На основу компаративне анализе резултата рангирања потенцијалних локација и предложеног поступка у посматраном примеру доносилац одлуке доноси коначну одлуку – концептуално решење (алтернатива 1) превазилази сва ограничења и представља најоптималније решење.

Резултати вишекритеријумске анализе у форми извештаја који даје упоредне анализе коначног рангирања алтернатива фамилијом и дијаграма интервалног поретка алтернатива дати су на слици 6.9.



Слика 6.9 Извештај са резултатима ВКА: интервални поредак и коначни редослед алтернатива у случају сложених критеријумских функција

6.1.2.5 Анализа резултата и осетљивости (промена релативне тежне)

Примењен поступак је интересантан и са теоријског и практичног аспекта и помаже доносиоцу одлуке да лако анализира све кључне факторе и атрибуте приликом решавања разматраног проблема. Са аспекта теорије, проблем се састоји у што реалнијој поставци проблема и у развоју ефикасних и егзактних метода вишекритеријумске анализе, а у практичном смислу неопходно је објективније упоредити утицаје појединачних разнородних критеријума и свести их на заједничку функцију критеријума.

Предложеним алгоритмом решен је специфичан проблем који се јавља у вишекритеријумској оптимизацији: рангирање већег броја алтернатива помоћу критеријумских функција на више нивоа. Ако се дефинишу основни критеријуми за

избор најповољније алтернативе (нпр. локације логистичког центра) уочљиво је да сваки од њих обухвата низ битних карактеристика и параметара. Све параметре и карактеристике је потребно на адекватан начин вредновати и укључити у математички модел вишекритеријумске оптимизације, а затим датом методологијом кроз више фаза итерације омогућити доношење коначне одлуке. Оваквим приступом је спречено њихово обједињавање интуитивним путем и омогућено директно увођење у модел вредности параметара сложених карактеристика алтернатива.

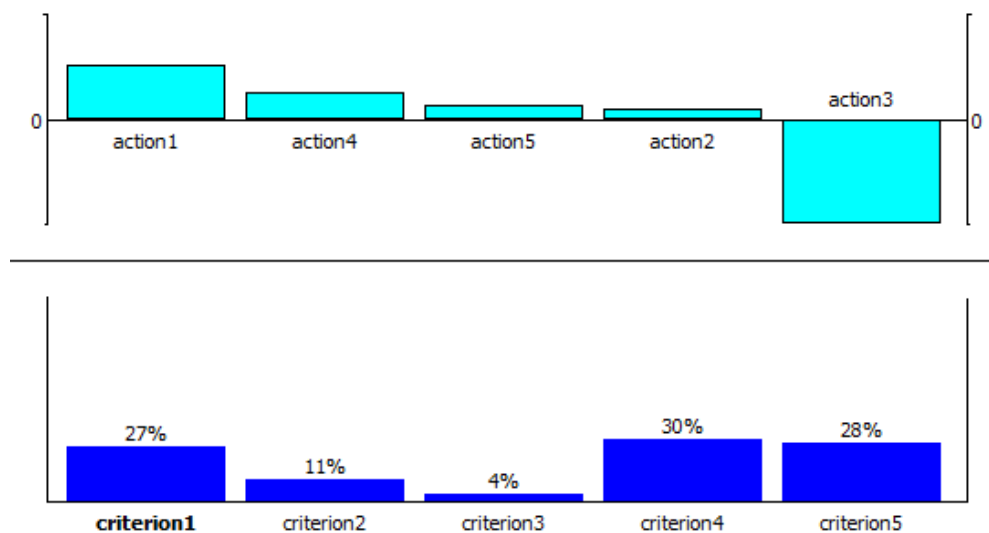
Осим тога предложен приступ узима у обзир промену постојећих и увођење нових генерализованих критеријума, аутоматизован поступак избора генерализованих критеријума и анализу утицаја промене тежинских коефицијената на коначан редослед алтернатива. На овај начин утицај искуства и субјективне оцене доносиоца одлуке приликом избора генерализованих критеријума је сведен на најмању меру, јер се врши на основу методе најмањих квадрата, тако да се бира генерализовани критеријум код кога је збир квадрата одступања експерименталних тачака од теоријске криве генерализованог критеријума најмањи. Специфичност наведеног приступа је функција преферентности, која служи да разлику у вредностима за сваки пар алтернатива сведе у опсег од 0 до 1, по сваком критеријуму. Тиме се постиже нормализација вредности и добијање информација о преферентности (доминантности) сваке алтернативе у односу на сваку, по сваком од критеријума. Аутори методе су предложили 7 типова функција преферентности за које сматрају да покривају већину стандардних захтева у том погледу. Ограничења предложеног приступа су рад са максимално 10 алтернатива конкретног проблема вреднованих по 25 критеријумских функција, док број критеријума на основном нивоу рангирања и поткритеријума по нивоима не сме бити већи од 12. Тиме се поједностављује поступак рангирања уз истовремено уважавање свих карактеристика и параметара алтернатива, обезбеђује објективније упоређивање утицаја појединачних разнородних критеријума за рангирање алтернатива и њихово свођење на заједничку функцију критеријума.

На основу компаративне анализе резултата рангирања потенцијалних локација и предложеног поступка у посматраном примеру дошло се до закључка да концептуално решење (алтернатива 1 –A1) превазилази сва ограничења и представља најоптималније решење у оба случаја (без увођења и са увођењем сложених критеријумских функција). Коначан ранг алтернатива је у првом случају $A1 > A2 > A4 > A5 > A3$ тј. У другом $A1 > A4 > A5 > A2 > A3$. Дакле у оба случаја добија се исто решење када су у питању најоптималнија и најлошија варијанта у односу на разматране критеријуме. Промене у редоследу указују на важност фазе одређивања релативних тежина у процесу вишекритеријумске анализе. У циљу потврде резултата добијених комбинованим приступом као и доказа применљивости и практичности истог, разматран проблем је анализиран и применом стандардних метода вишекритеријумске анализе (F-AHP приступ, TOPSIS метода и фамилије PROMETHEE метода).

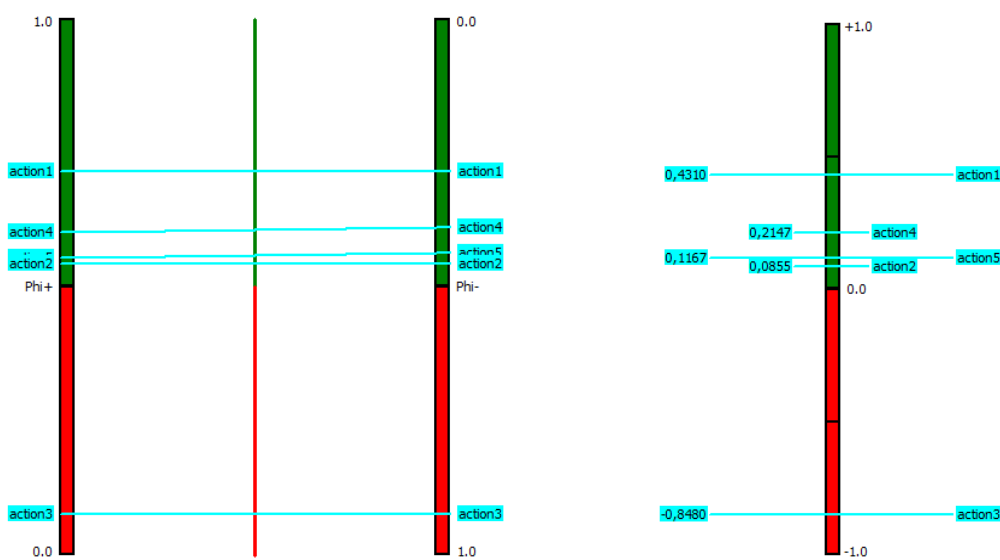
Добијени резултати су приказани у Табели 6.21. Резултати добијени програмским пакетом Visual PROMETHEE Academic приказани су на сликама 6.10 и 6.11.

Табела 6.21 Упоредна анализа резултата методама вишекритеријумске анализе

Комбиновани приступ FAMOD	F-AHP (PTK)	TOPSIS	PROMETHEE (Visual PROMETHEE)
A1	A1	A1	A1
A4	A5	A5	A5
A5	A2	A4	A4
A2	A4	A2	A2
A3	A3	A3	A3



Слика 6.10 Коначни ранг алтернатива добијен у Visual PROMETHEE Academic



Слика 6.11 Резултати рангирања PROMETHEE I, PROMETHEE II (Visual PROMETHEE Academic)

Поређењем резултата разматраног проблема добијеног различитим приступима вишекритеријумске анализе уочава се да најоптималније решење увек остаје исто. Промене у редоследу осталих алтернатива указују такође да дефинисање различитих преферентних функција утиче у значајној мери на доношење коначне одлуке, за разлику од представљеног приступа у којем је поступак сведен на избор генерализованог критеријума код кога је збир квадрата одступања експерименталних тачака од теоријске криве генерализованог критеријума најмањи.

Оправданост излазних резултата представљеног комбинованог приступа, може се показати и поређењем резултата рангирања добијених различитим приступима уз помоћ Spearman-овог корелацијског теста. Резултати поређења дати су у Табели 6.22. Статистички значајне разлике у рангирању (Z), дате су у последњој врсти. У овом случају вредност 1.645 је изабрана за критичну вредност која одговара нивоу значаја $\alpha=0.05$.

Табела 6.22 Упоредна анализа резултата рангирања

Алтернативе	Рангирање			Разлике рангирања	
	FAMOD	TOPSIS	PROMETHEE	A-B	A-C
A1	1	1	1	0	0
A2	4	5	4	2	-1
A3	5	4	5	1	1
A4	2	2	2	-3	0
A5	3	3	3	0	0
Spearman-ов корелацијски коефицијент				0.900	1
Статистички значајна вредност Z				1.800	2.000

За тестирање нулте хипотезе H_0 : да постоји статистички значајна разлика резултата рангирања, уз помоћ Spearman-овог корелацијског теста израчуната вредност Z се пореди са унапред дефинисаном вредношћу која одговара задатом нивоу значаја. Из резултата датих у табели, у оба случаја вредност је већа од 1.645 па се може закључити да одбацујемо нулту хипотезу тј. постоји статистичка сличност резултата рангирања комбинованог приступа и стандардних метода вишекритеријумске анализе.

Вишекритеријумска анализа, као што је познато почиње се поставком проблема, која је креативни посао који карактерише субјективизам појединца или групе у одређивању скупа алтернатива и критеријума. Релативне важности – тежине критеријума се одређују као субјективна процена или у овом случају коришћењем поређења важности по паровима са циљем сузбијања субјективизма.

После избора методе рангирања, последња фаза у вишекритеријумској анализи јесте проучавање стабилности решења (одабране најбоље алтернативе, ранга алтернативе или подскупа добрих алтернатива) на промене извесних улазних података. Разуме се да је најинтересантније проучавати стабилност решења на промене релативних тежина критеријума, као својеврсних репрезентата субјективизма у вишекритеријумској анализи.

У овом случају, издвојена су два критеријума са највећим утицајем на алтернативе, а то су критеријуми k_1 и k_2 . Вредности ових критеријума су мењане у корацима -25%, -10%, +10% и +25% , при чему су вредности осталих критеријума подешаване да при томе њихов укупан збир тежина увек буде 1.

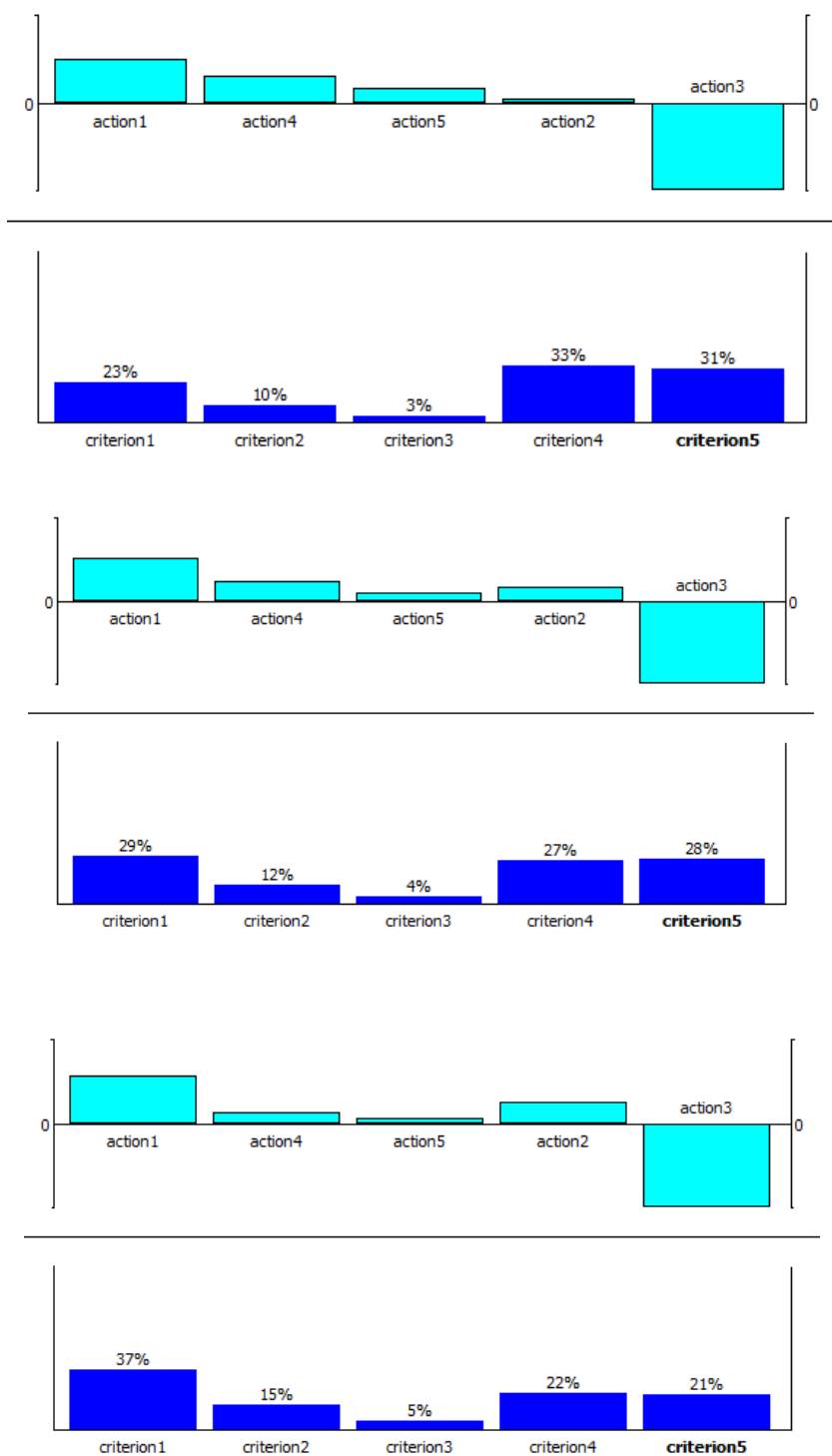
Резултати тако спроведене анализе дати су у Табели 6.23 и на слици 6.12. Уочава се из табеле да промене тежине посматраних критеријума за вредности од +10%,+25% и -10% не доводе до промене у коначном редоследу алтернатива, али за промену вредности од -25% последње две алтернативе мењају позицију у коначном редоследу. У свим случајевима најоптималнија варијанта остаје непромењена што указује на робусност предложеног приступа у решавању оваквих типова вишекритеријумских задатака.

Табела 6.23 Анализа осетљивости за разматран проблем избора локације

Алтернативе	Повећање тежине		Смањење тежине		Комбиновани приступ FAMOD
	25%	10%	10%	25%	
A1	1	1	1	1	1
A2	4	4	4	4	4
A3	5	5	2	2	5
A4	2	2	5	5	2
A5	3	3	3	3	3

Иако у одређивању релативних тежина критеријума субјективизам има важну улогу, у литератури па и у овом приступу тежња је да се ови поступци уреде и по могућству стандардизују, при чему је главна претпоставка од којих се полази да субјективни став о релативним тежинама критеријума је лакше изразити поредећи важности критеријума по паровима него све одједном.

Специфичност наведеног приступа је функција преферентности, промена постојећих и увођење нових генерализованих критеријума, аутоматизован поступак избора генерализованих критеријума и анализе утицаја промене тежинских коефицијената на коначан редослед алтернатива. Могућност узимања у обзир и лингвистичких израза о важности критеријума и вредности алтернатива по истим као и редуковање броја критеријума на оперативни и прихватљив ниво, размотриће се у наредним редовима на примеру избора опреме за руковање материјалом.



Слика 6.12 Коначан редослед алтернатива разматраног проблема променом тежина коефицијената у корацама -25%, -10%, +10% и +25%

6.2 Решавање проблема избора опреме за руковање материјалом

Избор опреме транспортно - складишног система који егзистира у оквиру логистичког система какав је логистички центар или централизовано индустријско складиште, представља проблем који захтева манипулацију са великим бројем различитих података уз истовремено укључивање значајног броја релевантних критеријума и циљева који најчешће могу бити у супротности. Транспорт се у овом случају посматра као једна од најзначајнијих активности у логистичком систему физичке дистрибуције робе. Генерално, приликом решавања транспортног проблема, а посебно избора транспортних средстава као елемената ланца снабдевања не постоји идеално решење тј. на одређена питања се мора одговорити пре него што се почне концепцијски решавати транспортни систем.

Дакле, при постављању пројектног задатка и изради главног пројекта предложеног индустријског складишног система нужно је обухватити и реализовати низ активности строго по редоследу, које се интегришу у више пројеката и/или подпројеката. У самом процесу, углавном се истичу најважнији проблеми (задачи):

- одређивање локације,
- предвиђање и дефинисање врста и количина залиха,
- постављање технологије складиштења и спровођење технолошког пројектовања складишта,
- пројектовање структуре складишног система и
- пројектовање и избор транспортно-претоварне механизације и њена уградња.

Дакле, уочљиво је констатација да примена методе планирања савременог складишног система се практично реализује преко три основне фазе:

- формирање алтернатива,
- вредновање и избор алтернатива и
- динамичка анализа изабране алтернативе система.

За усвојену концепцију и техничка решења, дефинисан простор за механизацију и комисионирање, истовремено и у знатној мери паралелно се планирају (бирају из каталога, прилагођавају и посебно пројектују) машине и уређаји за рад у складиштима. Избор транспортно-манипулативне механизације и помоћних средстава директно зависи од регалне конструкције, композиције простора и усвојене коадне робе – палетне јединице.

Ово су претпоставке од којих се пошло у овом разматрању проблема избора опреме тј. концепција, техничка решења и дефинисање простора за механизацију и комисионирање су остављени по страни и нису предмет истраживања у овој фази. Поступак избора опреме за руковање материјалом је важна област доношења одлуке у дистрибуцији, производњи и складиштењу (области у којима руковање материјалом игра главну улогу), и при томе карактеришу га директни ефекти на производњу и дистрибуцију као и на квалитет услуге. Ови директни ефекти указују на чињеницу да процес избора опреме, генерално представља базу за стратешко доношење одлука. Избор опреме за руковање материјалом за типичне услове и радно окружење спада у проблеме вишекритеријумске анализе тј. поступак избора је недовољно структуриран, зависан од широке области знања, а захтева примену ефикасних и ефективних алата за доношење одлука.

Такође, и у овом случају потребно је указати на потребу да се на адекватан начин вреднују и укључе у модел за одређивање најповољније алтернативе по задатим критеријума, све битне карактеристике и параметри критеријума и то било да су у квантитивном или квалитативном облику. Осим тога, на другој страни коначни редослед алтернатива, зависи од примењене технике вишекритеријумског одлучивања а посебно од поступка дефинисања критеријума за вредновање. Главни правци у овој фази истраживања усмерени су на особеност и природу процеса одлучивања (неодређеност, неизвесност и непрецизност) и тежњу да се развије и унапреди вишекритеријумски приступ у домену решавања различитих задатака у оквиру једног транспортно-складишног система.

6.2.1 Формирање алтернатива транспортних система

Формирање алтернатива транспортних система врши се на основу базе основних податка тј. техничких података о експлоатацији и пословању сличних решења и техничких података произвођача опреме. У овом случају формирање алтернатива и особености процеса дефинисања система критеријума биће илустровано на примеру избора опреме (уређаја) у оквиру транспортно-манипулативне механизације: возила за унутрашњи транспорт - виљушкара.

Коришћењем пројектног захтева, примарни технички параметри се користе као полазни материјал за дефинисање и разраду могућих варијанти-алтернативних решења. За даље истраживање и вредновање се узимају само алтернативе код којих је у свим критеријумима вредновања задовољавајуће испуњење циља.

Разматраће се пример избора електро виљушкара са три точка неопходног за извршење послова у оквиру складишта, а за потребе руковања материјалом. Имајући у виду, робне токове разматране у избору локације за посматрани регион, односно најчешћи појавни облик робе, стање и врсту, могу се претпоставити захтеване радне карактеристике опреме чији се избор треба извршити.

FAMOD врши селекцију из базе која иницијално садржи податке за 25 виљушкара водећих светских произвођача ове опреме, при томе су све битне карактеристике узете са сајтова произвођача. Елиминациони модул, садржи поља за унос захтеваних параметара у форми 8 питања, при чему се кориснику оставља флексибилност да тај број питања буде већи као и број података у наведеној бази.

Потребно је унети захтеве за најважније карактеристике приликом избора виљушкара тј. потребну носивост, максималну висину дизања, брзину дизања са теретом и без њега, радијус окретања, укупну ширину, дужину и др. Када су захтеване вредности унете у елиминациони модул, одговарајући скуп виљушкара који задовољавају захтеване радне карактеристике је избачен на излазном екрану. Такав скуп се након тога пребацује у модул намењен за корелацијски тест или одређивање релативних тежина критеријума.

За следеће унете улазне параметре: потребна носивост 1500 kg, висину дизања 3300 mm, брзину дизања са теретом 0,45 и без терета 0,55 m/s, радијус окретања 1500 mm, укупну ширину 1050 mm, дужину до виљушки 1700 mm на излазном екрану елиминационог модула дато је 8 алтернатива. Излазни екран елиминационог модула је за захтеване радне карактеристике избацио следећих седам алтернатива из почетне базе (слика 6.13).



АЛТЕРНАТИВЕ
ERP15VT
ERP16VT
ERP18VT
7FBEST15
TX35N
TX40N
ERP15VC

Слика 6.13 Коначан број алтернатива који задовољава захтеване радне карактеристике

Значи, након идентификације проблема – избор виљушкара за руковање материјалом за претпостављене и унете захтеване параметре, утврђена је чињеница да је овај проблем иначе по природи вишекритеријумски могуће решити употребом развијеног комбинованог вишекритеријумског приступа.

Примена приказане методе вишекритеријумског одлучивања се спроводи у неколико већ раније споменутих фаза, за више сценарија избора система критеријума (свртаних у групу техничке карактеристике и трошкови), уз могућност узимања у обзир лингвистичких израза о важности критеријума и вредности алтернатива по истим као и потребе за редуковањем броја критеријума на оперативни и прихватљив ниво.

6.2.2 Дефинисање система критеријума за избор процеса и опреме

Наиме, приликом решавања вишекритеријумског проблема одлучивања, а посебно када је у питању избор опреме за руковање материјалом, потребно је размотрити и варијанту када се критеријуми за избор најприхватљивије алтернативе узимају директно из каталога произвођача (техничке карактеристике).

У том случају, применом корелацијског теста очекује се добијање редукованог и независног скупа критеријума. Дакле не постоји јединствен скуп критеријума за избор тј. он варира и осим тога што критеријуми избора морају бити независни, у литератури преовладава тежња да њихов број мора бити приближно седам. На основу корелацијског теста могуће је одредити јачину већ утврђене повезаности између две променљиве тј. за ту сврху потребно је одредити степен корелације између две случајне променљиве.

Почетни узорак (база) који се разматра састоји се од 25 виљушкара различитих произвођача. Основни (почетни) критеријуми су редом (карактеристике из каталога произвођача): А-Носивост (kg), В-Максимална висина дизања (mm), С- Брзина кретања са теретом (km/h), D-Брзина кретања без терета (km/h), Е-Брзина дизања са теретом (m/s), F-Брзина дизања без терета (m/s), G-Радијус окретања (mm), H-Дужина виљушкара до виљушки (mm), I-Снага мотора (kW), J-Растојање оса точкова (mm), K-Укупна ширина (mm), L-Ниво буке (dB), M-Напон батерије (V), N-Капацитет батерије (Ah), O-Максимални угао нагиба (°), P-Маса виљушкара (kg), Q-Дужина виљушки (mm), R-Притисак уља у инсталацији (bar), S-Маса батерије (kg) и T-Укупна висина до заштитног рама (mm). Њихове иницијалне вредности покупљене су из одговарајућих каталога (Табела 6.24).

Задатак је да из узорка од 25 различитих вредности који узима 20 променљивих, применом корелацијског теста одредимо јачину повезаности између две променљиве и на тај начин редукујемо почетни број независних критеријума за оцену алтернативних решења. Дакле, из дводимензионалне расподеле случајног вектора (X,Y) узет је узорак обима n=25: (X₁,Y₁), (X₂,Y₂),..., (X₂₅,Y₂₅). Овде су парови променљивих (X_i,Y_i) независни, док случајне величине из истог пара имају одређену заједничку расподелу и могу бити зависне, са коефицијентом корелације ρ. У примени једначине (50), n одговара величини узорка од 25 виљушкара, X_i,Y_i представљају критеријумске парове за које се рачуна коефицијент корелације, а \bar{X} и \bar{Y} њихове просечне вредности.

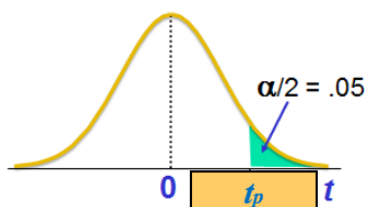
$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{25} (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{25} (X_i - \bar{X})^2\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{25} (Y_i - \bar{Y})^2\right)}} \quad (50)$$

Након израчунате вредности корелацијског коефицијента за сваки пар критеријума, тестирање коефицијента просте линеарне корелације се заснива на

Студентовом распореду за n-2 степена слободe, а добијена t-вредност се тумачи на исти начин као и код класичног Студентовог t-теста.

Статистичка тест p-вредност (ниво значајности) се пореди са предефинисаним нивоом значаја α који је доказ позитивног односа између два критеријума. У овом истраживању $\alpha=0.01$ је изабрана као критична вредност.

Уколико је p-вредност мања од 0.01 закључује се да постоји доказ позитивног односа између два критеријума и један од њих може бити елиминисан. За потребе овог рада, у практичне сврхе ради лакшег спровођења обимних прорачуна, представљен поступак је аутоматизован развојем програмског алата у окружењу Microsoft Excel-а (слика 5.9). Дати програмски алат поседује ограничење везано за број критеријума, и то у овом случају максимално 25.



n	Вредности за t за различите нивое вероватности, p							
	.75	.90	.95	.954	.975	.99	.995	.9995
21	.686	1.233	1.721	.	2.080	2.518	2.831	3.819
22	.686	1.321	1.717	.	2.074	2.508	2.819	3.792
23	.685	1.319	1.714	1.759	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.685	1.318	1.711	.	2.064	2.492	2.797	3.745
25	.684	1.316	1.708	.	2.060	2.485	2.787	3.725
26	.684	1.315	1.706	.	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.684	1.314	1.703	.	2.052	2.473	2.771	3.690
28	.683	1.313	1.701	.	2.048	2.467	2.763	3.674
29	.683	1.311	1.699	.	2.045	2.462	2.756	3.659
30	.683	1.310	1.697	.	2.042	2.457	2.750	3.646

$$\left[\frac{(0,95 - t_p)}{(0,95 - 0,975)} \right] / \left[\frac{(1,714 - 2,013)}{(1,714 - 2,069)} \right] = 0,954$$

једностранa p-вредност $[1 - 0,954] = 0,046$

двострана p-вредност $[2 * 0,028] = 0,056$

Слика 6.14 Вредности за t_p за студентову расподелу са n степени слободe

За произвољан критеријумски пар (нпр. критеријума А: Носивост и G: Радијус окретања) програмски додаток рачуна t - вредност, двостране t-расподеле са 23 (n-2) степена слободe, коришћењем израза (2). Затим одређује редом једнострану и двострану p – вредност у t-расподели (Табела 6.25). Величине, у Табели 6.25. су редом: r – коефицијент корелације, t_p - вредност за Студентову расподелу за ниво вероватности p, PP - ниво вероватности који одговара одређеној вредности t_p , а p-1 и p-2 одговарајућа једнострана и двострана p – вредност у t-расподели.

Када је израчуната p-вредност за сваки критеријумски пар, двострана p-вредност се уноси у матрицу испод главне дијагонале (Табела 6.26), при чему парови,

чије р-вредности су мање од унапред дефинисане вредности 0,01, су означени изнад главне дијагонале са “X”.

Табела 6.24 Карактеристичне вредности виљушкара за 20 критеријума

Произвођач	Модел	Носивост (kg)	Макс. висина дизања (mm)	Брзина кретања са теретом (km/h)	Брзина кретања без терета (km/h)	Брзина дизања са теретом (m/s)	Брзина дизања без терета (m/s)	Радијус окретања (mm)	Дужина до виљушки (mm)	Снага мотора (kW)	Растојање оса точкова (mm)
TOYOTA	7FBEST10	1000	3310	12	12.5	0.32	0.52	1230	1565	7.5	985
TOYOTA	7FBEST13	1250	3310	12	12.5	0.31	0.52	1400	1725	7.5	1145
TOYOTA	7FBEST15	1500	3310	12	12.5	0.3	0.52	1450	1780	7.5	1200
CAT	2ET2500	1300	3000	16	16	0.48	0.6	1440	1774	11.5	1249
CAT	2ETC3000	1600	3000	16	16	0.49	0.6	1548	1887	11.5	1357
CAT	2ETC3500	1800	3000	16	16	0.44	0.55	1548	1887	11.5	1357
CAT	2ETC4000	2000	3000	16	16	0.4	0.55	1655	1995	11.5	1465
HYSTER	J30XNT	1361	3032	15.7	15.7	0.39	0.65	1481	1808	4.8	1290
HYSTER	J35XNT	1588	3032	15.7	15.7	0.36	0.65	1577	1903	4.8	1386
HYSTER	J40XNT	1814	3032	15.7	15.7	0.34	0.65	1577	1903	4.8	1386
NISSAN	TX30N	1350	3300	14.5	14.5	0.34	0.515	1525	1895	10.7	1300
NISSAN	TX35N	1600	3300	14.5	14.5	0.31	0.515	1525	1895	10.7	1300
NISSAN	TX40N	1800	3300	16	16	0.32	0.6	1635	2005	14.6	1410
YALE	ERP13VC	1250	3320	12	12.5	0.3	0.51	1398	1724	6	1168
YALE	ERP15VC	1500	3320	12	12.5	0.3	0.51	1452	1778	6	1222
YALE	ERP15VT	1500	3320	16	16	0.43	0.59	1476	1805	12	1290
YALE	ERP16VT	1600	3320	16	16	0.43	0.59	1476	1805	12	1290
YALE	ERP18VT	1800	3390	16	16	0.41	0.58	1676	1896	12	1494
YALE	ERP20VT	2000	3390	16	16	0.4	0.58	1676	1999	12	1494
JUNGHEINRECH	EFG110	1000	3000	12	12.5	0.29	0.5	1293	1623	6	1038
JUNGHEINRECH	EFG113	1250	300	12	12.5	0.25	0.5	1401	1731	6	1146
JUNGHEINRECH	EFG115	1500	3000	12	12.5	0.24	0.5	1455	1785	6	1200
JUNGHEINRECH	EFG213	1300	3000	10	16	0.48	0.6	1440	1774	11.5	1249
JUNGHEINRECH	EFG218	1800	3000	10	16	0.44	0.55	1655	1995	11.5	1465
JUNGHEINRECH	EFG220	2000	3000	10	16	0.4	0.55	1655	1995	11.5	1465

Произвођач	Модел	Укупна ширина (mm)	Ниво буке (dB)	Напон (V)	Капацитет батерије (Ah)	Угао нагиба (°)	Маса виљушкара (kg)	Дужина виљушки (mm)	Притисак инсталације (bar)	Маса батерије (kg)	Укупна висина до заштите (mm)
TOYOTA	7FBEST10	990	62.4	24	400	5	2550	800	140	372	2055
TOYOTA	7FBEST13	990	62.4	24	700	5	2820	800	140	600	2055
TOYOTA	7FBEST15	990	62.4	24	800	5	2930	800	140	676	2055
CAT	2ET2500	1060	66	24	400	7	2698	1150	200	679	2040
CAT	2ETC3000	1060	66	24	500	7	2957	1150	200	812	2040
CAT	2ETC3500	1120	66	24	500	7	3213	1150	200	812	2040
CAT	2ETC4000	1120	66	24	600	7	3331	1150	200	974	2040
HYSTER	J30XNT	1050	69	36	750	5	2313	1067	155	670	2070
HYSTER	J35XNT	1050	69	36	800	5	2372	1067	155	670	2070
HYSTER	J40XNT	1116	69	36	1000	5	2390	1067	155	700	2070
NISSAN	TX30N	1105	61	36	680	4	2955	1070	140	700	2110
NISSAN	TX35N	1105	61	36	680	4	3155	1070	140	700	2110
NISSAN	TX40N	1105	61	48	750	4	3365	1070	140	1050	2110
YALE	ERP13VC	996	59	24	735	5	2700	1000	155	570	1980
YALE	ERP15VC	996	59	24	840	5	2905	1000	155	642	1980
YALE	ERP15VT	1050	65	48	500	5	2990	1000	180	673	2070
YALE	ERP16VT	1050	65	48	500	5	2990	1000	180	673	2070
YALE	ERP18VT	1116	65	48	750	5	3280	1000	180	962	2070
YALE	ERP20VT	1116	65	48	750	5	3290	1000	180	962	2070
JUNGHEINRECH	EFG110	990	63	24	625	5	2570	1150	160	481	2090
JUNGHEINRECH	EFG113	990	63	24	875	5	2760	1150	185	648	2090
JUNGHEINRECH	EFG115	990	63	24	1000	5	2870	1150	210	730	2090
JUNGHEINRECH	EFG213	1060	66	24	400	7	2698	1100	200	679	2040
JUNGHEINRECH	EFG218	1120	66	24	600	7	3156	1100	200	974	2040
JUNGHEINRECH	EFG220	1120	66	24	600	7	3331	1100	200	974	2040

Табела 6.25 Корелациони коефицијент и р-вредности за парове критеријума: А – до G; В – до G, С – до G, D – до G; E – до G, F – до G

r	0.179	0.345	0.657	0.344	0.339	0.935
t_p	0.871	1.763	4.176	1.759	1.729	12.683
PP	0.804	0.954	1.000	0.954	0.951	1.000
p-1	0.196	0.046	0.000	0.046	0.049	0.000
p-2	0.393	0.091	0.000	0.092	0.097	0.000
r	0.196	0.203	0.242	0.172	0.157	
pt_p	0.956	0.995	1.194	0.838	0.763	
PP	0.826	0.835	0.878	0.795	0.773	
p-1	0.174	0.165	0.122	0.205	0.227	
p-2	0.349	0.330	0.245	0.411	0.453	
r	0.546	0.330	0.569	0.371		
t_p	3.124	1.674	3.318	1.914		
PP	0.998	0.946	0.999	0.966		
p-1	0.002	0.054	0.001	0.034		
p-2	0.005	0.108	0.003	0.068		
r	0.826	0.764	0.727			
t_p	7.019	5.680	5.073			
PP	1.000	1.000	1.000			
p-1	0.000	0.000	0.000			
p-2	0.000	0.000	0.000			
r	0.592	0.397				
t_p	3.521	2.077				
PP	0.999	0.975				
p-1	0.001	0.025				
p-2	0.002	0.049				
r	0.419					
t_p	2.215					
PP	0.982					
p-1	0.018					
p-2	0.037					

Табела 6.26 Корелација критеријумских парова (парови у корелацији означени са "X")

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
A																				
B	0.393																			
C	0.091	0.349																		
D	0.000	0.330	0.005																	
E	0.092	0.245	0.108	0.000																
F	0.097	0.411	0.003	0.000	0.002															
G	0.000	0.453	0.068	0.000	0.049	0.037														
H	0.000	0.479	0.088	0.000	0.068	0.057	0.000													
I	0.013	0.219	0.184	0.001	0.001	0.543	0.009	0.005												
J	0.000	0.377	0.038	0.000	0.009	0.009	0.000	0.000	0.006											
K	0.000	0.299	0.035	0.000	0.004	0.028	0.000	0.000	0.001	0.000										
L	0.081	0.716	0.094	0.000	0.002	0.000	0.060	0.105	0.970	0.018	0.033									
M	0.079	0.162	0.001	0.014	0.465	0.016	0.034	0.064	0.066	0.025	0.042	0.533								
N	0.408	0.317	0.910	0.079	0.000	0.682	0.383	0.482	0.003	0.685	0.496	0.555	0.601							
O	0.200	0.640	0.437	0.035	0.000	0.417	0.301	0.320	0.137	0.173	0.185	0.015	0.008	0.006						
P	0.000	0.443	0.643	0.113	0.314	0.230	0.001	0.001	0.000	0.003	0.005	0.241	0.256	0.499	0.414					
Q	0.217	0.064	0.405	0.039	0.205	0.400	0.109	0.067	0.434	0.089	0.051	0.113	0.629	0.969	0.049	0.625				
R	0.079	0.203	0.862	0.031	0.004	0.602	0.128	0.188	0.083	0.075	0.190	0.029	0.286	0.172	0.000	0.139	0.001			
S	0.000	0.713	0.229	0.000	0.065	0.197	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.234	0.119	0.667	0.142	0.000	0.075	0.034		
T	0.993	0.442	0.158	0.625	0.248	0.736	0.669	0.520	0.518	0.836	0.354	0.682	0.015	0.347	0.009	0.808	0.536	0.276	0.676	

Сама процедура елиминације или редукције броја критеријума (променљивих) који су у корелацији, из приказане табеле, могла би се приказати кроз неколико следећих корака:

1. проверити постоје ли критеријуми који нису у корелацији са било којим другим критеријумом (и по врсти и по колони дате табеле), и уколико је то случај њих треба изабрати за независне критеријуме;
2. проверити корелацију сваког критеријума (по врсти) са осталим члановима, и уколико постоји тај критеријум изабрати за независан, остале критеријуме у корелацији одбацити;
3. уколико су остали неизбрисани критеријуми вратити се на корак 1, у супротном процес је завршен.

Коришћењем, наведених правила елиминационе процедуре, број критеријума у конкретном случају је сведен са првобитних 20, на следећих шест критеријума: А-Носивост (kg), В-Максимална висина дизања (mm), С- Брзина кретања са теретом (km/h), Е-Брзина дизања са теретом (m/s), Q-Дужина виљушки (mm) и Т-Укупна висина до заштитног рама (mm). Овако добијен, скуп независних критеријума (седам плус минус два) могуће је искористити у следећој фази решавања вишекритеријумских проблема тј. поступку одређивања релативних тежина истих, а касније и у коначном рангирању предложених алтернатива разматраног вишекритеријумског проблема.

Очигледно је, да смањењем броја критеријума модел постаје осетљивији на промене тежине критеријума, па је у ту сврху неопходно анализирати и статистички значајне разлике између првобитног и редукованог скупа критеријума на коначно рангирање. На овај начин дошло би се до кључног запажања из примене корелацијског теста, да и ако се рангирање разликује за редукован број критеријума у односу на првобитни скуп, разлике статистички нису значајне. Као што је и поменуто у претходном поглављу, у сврху анализе статистички значајне разлике између првобитног и редукованог броја критеријума развијен је у оквиру комбинованог приступа FAMOD и модул који користи специјалну врсту корелацијског теста тзв. Spearman-ов корелацијски тест (слика 5.10). Развијеним модулом могуће је за одређени ниво значајности упоредити резултате рангирања са редукованим и првобитним критеријумима, као и излазне резултате рангирања добијених коришћењем више приступа вишекритеријумске анализе.

Тестирање нулте хипотезе H_0 , тј. у Spearman-овом тесту статистичка Z вредност је одређена коришћењем израза (51) и (52) и пореди се са унапред дефинисаном вредношћу која одговара одређеном нивоу значајности α .

$$r_s = 1 - \left[\frac{6 \cdot \sum_{j=1}^K (d_j)^2}{K(K^2 - 1)} \right] \quad (51)$$

$$Z = r_s \sqrt{K-1} \quad (52)$$

У овом истраживању, за $\alpha=0,05$ критична вредност за $Z=1.645$. Уколико израчуната вредност за Z добијена тестом прелази критичну вредност нулта хипотеза се одбацује и закључује се да постоји доказ позитивног односа – слагања између два скупа рангирања. У претходним изразима d_j представља разлике у рангу, K број резултата који се пореде а r_s Spearman-ов корелацијски коефицијент.

6.2.2.1 Поређење резултата рангирања мењањем броја критеријума за избор опреме

Да би се упоредили резултати рангирања са првобитним и редукованим бројем критеријума (у посматраном случају број је редукован са 20 на скуп од 6 независних критеријума), неопходно је за даље прорачуне одредити и релативне тежине - значај истих. Резултати коначног рангирања седам алтернатива разматраног проблема приказани су у Табели 6.27.

Табела 6.27 Упоредни резултати рангирања са 20 и 6 критеријума

	Коначни ранг				Анализа разлика коришћењем Spearman-овог корелационог теста			
	(А) Првобитни скуп од 20 критеријума		(Б) Редукован скуп од 6 критеријума		А-Б		А	Б
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1-T2	T1-T2
Виљушкар								
ERP15VT	3	2	4	3	-1	-1	1	1
ERP16VT	2	1	2	2	0	-1	1	0
ERP18VT	1	3	1	1	0	2	-2	0
7FBEST15	7	7	7	7	0	0	0	0
TX35N	5	5	5	5	0	0	0	0
TX40N	4	4	3	4	1	0	0	-1
ERP15VC	6	6	6	6	0	0	0	0
Spearman-ов корелациони коефицијент r_s					0,96428	0,8928	0,8928	0,9642
Статистички значајна вредност Z					2,362	2,187	2,1870	2,362

За анализу су коришћена два случаја тежинских коефицијената: T1- релативне тежине одређене субјективним поређењем коефицијената у паровима уз помоћ модула РТК и T2- критеријуми имају исту вредност тежинских коефицијената. Алтернатива са највишим рангом означена је са 1, док је алтернатива са најнижим рангом означена са 7. У анализи резултата је прво тестиран статистички значај разлика између скупа од 20 и шест независних критеријума, а затим разлика резултата за два случаја тежинских коефицијената у оквиру првобитног и редукованог скупа критеријума. Излазни резултати, и то прво статистички значај разлика између 20 и 6 критеријума за различите случајеве тежинских коефицијената (случај T1 и T2) мерени су Spearman-овим корелационим тестом рангирања, и вредности показују да разлике између ранга алтернатива нису статистички значајне (Z вредности редом 2,362 и 2,187 превазилазе

критичну вредност 1,645). Даља анализа се састојала у провери статистичког значаја разлика у оквиру сваког скупа критеријума тј. за првобитни скуп од 20 и скуп од 6 редукованих критеријума, а за варијанте T1 и T2 а са циљем провере да ли осетљивост рангирања на промене тежина зависе од броја критеријума.

Резултати за вредности корелационог коефицијента у овом случају за скуп од 7 алтернатива су веће за случај шест критеријума него за 20, и показују на једној страни велику сличност резултата рангирања али не указују на промену осетљивости модела са променом тежина критеријума. Очекивано је да за већи број разматраних алтернатива тј. разлике у рангирању буду такве да су вредности за коефицијент корелације у случају редукованог броја критеријума нижих вредности од вредности за првобитни скуп, што би указивало на мању сличност резултата рангирања а самим тим и на констатацију да што се број критеријума смањује расте осетљивост датог вишекритеријумског модела. Такође, излазни резултати рангирања алтернатива виљушкар добијени FAMOD приступом поређени су са резултатима добијених TOPSIS методом и класичном методом Promethee, коришћењем Spearman-овог корелацијског теста.

Резултати поређења дати су у Табели 6.28, при чему су у последњој врсти као резултати теста дате вредности статистички значајне вредности Z. Уочљиво је да у свим случајевима вредност Z, превазилази критичну за ниво значајности 0,05 те се може закључити да резултати рангирања добијени приступом FAMOD су статистички слични са резултатима добијених осталим приступима.

Табела 6.28 Упоредни резултати рангирања између више приступа ВКА

Виљушкар	Коначни ранг			Анализа разлика коришћењем Spearman-овог корелационог теста	
	(A) FAMOD	(B) TOPSIS	(C) PROMETHEE	A-B	A-C
ERP15VT	3	3	4	0	-1
ERP16VT	2	2	2	0	0
ERP18VT	1	1	1	0	0
7FBEST15	7	7	7	0	0
TX35N	5	5	5	0	0
TX40N	4	4	3	0	1
ERP15VC	6	6	6	0	0
Spearman-ов корелациони коефицијент r_s				1	0.9642
Статистички значајна вредност Z				2.449	2.362

Потребно је поменути и пар битних ограничења која прате спровођење корелацијског теста. Као прво, корелацијски тест одређује само ниво корелације за сваки критеријумски пар, и пошто је исти одређен не постоји јединствен начин добијања скупа независних критеријума (седам плус минус два). Скуп независних критеријума може бити различит за исту вредност корелационог коефицијента, али

такође мењањем вредности нивоа значајности мења се и број парова у корелацији. На тај начин парови у корелацији постају парови без корелације и обрнуто.

Табела 6.29 Критеријуми избора опреме за руковање материјалом у оквиру исте групе доступни у литератури и коришћени у FAMOD-у

Индустријска возила	Транспортери	Дизалице	Складиштење/одлагање
Фиксни трошкови	Фиксни трошкови	Фиксни трошкови	Фиксни трошкови
Варијабилни трошкови	Варијабилни трошкови	Варијабилни трошкови	Капацитет
Носивост	Брзина	Висина подизања	Брзина
Брзина вожње	Тежина комада	Брзина	
Висина подизања	Ширина комада	Носивост	
Радијус окретања	Максимална дужина	Безбедност и ергономија	
Ширина	Флексибилност		
Флексибилност			

Табела 6.30 Критеријуми избора врсте опреме за руковање материјалом

Критеријуми за избор врсте опреме
Материјал
Кретање
Метод
Трошкови
Ограничења простора

Постаје јасно, да дефинисање скупа независних критеријума захтева понављање и проверу поступка избора скупа од седам плус минус два независних критеријума. У том случају, критеријуми доступни тј. коришћени у досадашњим истраживањима могу постати приоритетнији у односу на мање значајније критеријуме. У зависности од дефинисаног задатка тј. да ли се бира одговарајућа група опреме или опрема у оквиру исте групе доступни су и различити критеријуми (Табела 6.29 и 6.30). Критеријуми за избор групе поменути су у једначини за избор, док су остали најчешће изабрани од стране доносиоца одлуке.

6.2.3 Резултати рангирања опреме комбинованим приступом у оквиру исте групе

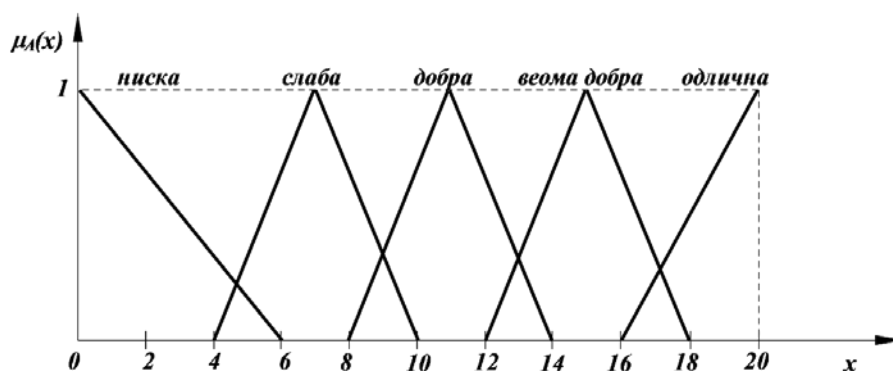
Примена приказаног комбинованог приступа вишекритеријумског одлучивања након поступка дефинисања скупа независних критеријума и одређивања њихове релативне тежине обухвата у наредној фази и могућност узимања у обзир лингвистичких израза о важности критеријума и вредности алтернатива по истим. Дакле, како би се разматран проблем избора што више приближио људском размишљању, оцене којима се врши вредновање предложених алтернатива у односу на дефинисане критеријуме, а дате од стране чланова експертског тима, могу бити у

лингвистичкој, а не у нумеричкој форми. Предложен метод за решавање оваквих проблема тзв. fuzzy ВАО, као што је и раније поменуто се састоји из два корака. У првом кораку се лингвистички изрази конвертују у fuzzy бројеве или fuzzy бројеве а у другом кораку се исти претварају у реалне бројеве. Након тога су сви бројеви у матрици вредности које алтернативе узимају по појединим критеријумима реални бројеви.

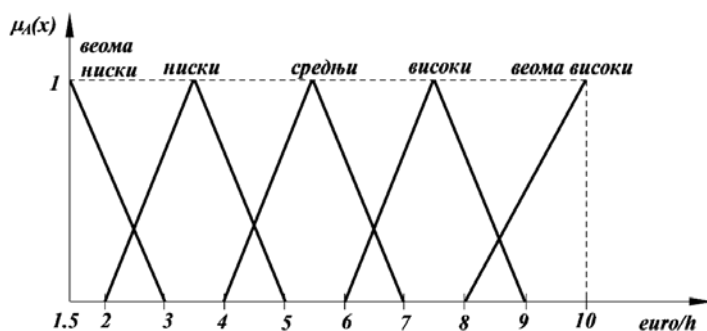
Дефазификована вредност fuzzy броја се добија као средња вредност тзв. максималног и минималног скупа. У циљу илустрације применљивости развијеног комбинованог приступа и за овакав случај вишекритеријумског проблема у области логистике и логистичких система, разматран је избор оптималног решења од седам алтернатива које су претходно настале као резултат елиминационог модула, а за захтеване радне карактеристике. Коначни ранг алтернатива виљушकारа добијен је применом комбинованог приступа FAMOD. Циљ оваквог проблема избора опреме је изабрати најбоље могуће решење из скупа технички остваривих алтернатива у оквиру исте групе опреме за руковање материјалом.

За избор оптималног решења коришћени су у овом случају критеријуми дати у Табели 6.29 (трошкови: фиксни и варијабилни, носивост, брзина вожње, висина дизања, радијус окретања, ширина и безбедност и ергономија). Критеријуми, фиксни и варијабилни трошкови као и безбедност и ергономија су дефинисани лингвистичким изразима, док су остали дефинисани као нумеричке вредности.

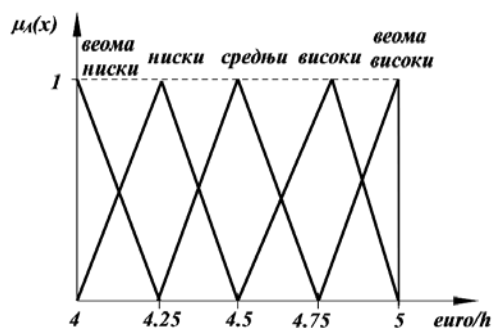
Оптимално решење виљушकारа треба да поседује ниске трошкове, већу носивост, брзину и висину дизања и високу безбедност и ергономију, као и мању ширину и радијус окретања. У првом кораку се користе скале за конверзију, док у следећем кораку, fuzzy бројеви се конвертују у реалне и у ту сврху развијен је модул у оквиру комбинованог приступа (слика 5.17). Дефинисањем интервала скале за конверзију врши се претварање лингвистичког израза за флексибилност у одговарајући троугаони fuzzy број, а одговарајућа нумеричка вредност истог је аутоматски додељена као средња вредност тзв. максималног и минималног скупа. Након тога су сви бројеви у матрици вредности које алтернативе узимају по појединим критеријумима (Табела 6.31) реални бројеви.



Слика 6.15 Функција припадности за троугаони fuzzy број (ТФБ) безбедност и ергономија



Слика 6.16 Функција припадности за ТФБ фиксни трошкови



Слика 6.17 Функција припадности за ТФБ варијабилни трошкови

Табела 6.31 Улазни подаци – матрица вредности алтернатива

Алтернативе	Фиксни трошкови euro/h	Варијабилни трошкови по euro/h	Носивост (kg)	Брзина кретања (km/h)	Радијус окретања (mm)	Ширина (mm)	Висина дизања (mm)	Безбедност и ергономија
A1	средњи (0,475)	средњи (0,5)	1500	16	2070	1000	3320	Веома добра (0,717)
A2	средњи (0,475)	средњи (0,5)	1600	16	2070	1000	3320	одлична (0,916)
A3	средњи (0,475)	средњи (0,5)	1800	16	2070	1000	3390	одлична (0,916)
A4	средњи (0,475)	високи (0,7)	1500	12	2055	800	3310	добра (0,543)
A5	средњи (0,475)	високи (0,7)	1600	14.5	2110	1070	3300	Веома добра (0,717)
A6	средњи (0,475)	високи (0,7)	1800	16	2110	1070	3300	добра (0,543)
A7	средњи (0,475)	високи (0,7)	1500	12	1980	1000	3320	добра (0,543)

За одређивање коначног ранга алтернатива за приказане улазне параметре, развијеним алатом РТК у оквиру комбинованог приступа FAMOD, налазе се редом релативне тежине критеријума и степен конзистентности сагласно представљеним корацима fuzzy АНР приступа (Табела 6.32, 6.33, 6.34 и 6.35).

Табела 6.32 Поређење критеријума - fuzzy матрица поређења

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{7}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$
K2		$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$
K3			$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{5}$	$\tilde{7}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
K4				$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$
K5					$\tilde{1}$	$\tilde{5}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$
K6						$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{5}^{-1}$
K7							$\tilde{1}$	$\tilde{3}$
K8								$\tilde{1}$

Табела 6.33 α -пресек fuzzy матрица поређења критеријума

Критеријум	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1	1	1.25	0.144345	3	0.354167	1.25	0.204167	0.354167
K2	0.875	1	0.144345	3	0.354167	1.25	0.354167	0.354167
K3	7	7	1	5	3	5	1.25	3
K4	0.354167	0.354167	0.204167	1	0.204167	3	0.204167	0.354167
K5	3	3	0.354167	5	1	5	0.354167	1.25
K6	0.875	0.875	0.204167	0.354167	0.204167	1	0.354167	0.354167
K7	5	3	0.875	5	3	3	1	1.25
K8	3	3	0.354167	3	0.875	3	0.875	1

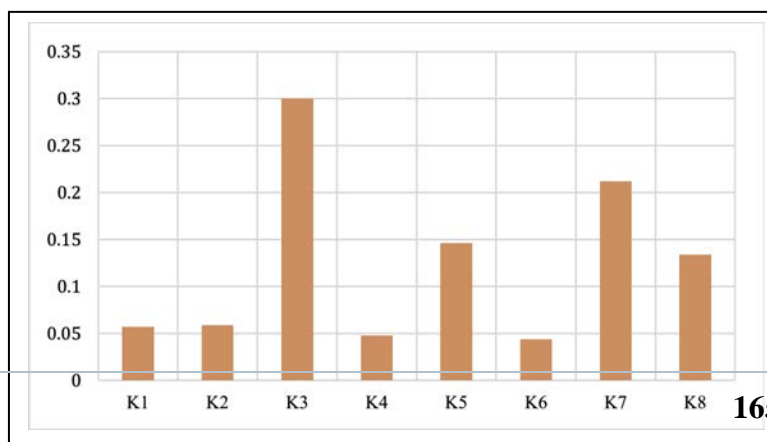
Табела 6.34 Вектор сопствених вредности за матрицу поређења критеријума

Критеријум	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1	0.047	0.064	0.044	0.118	0.039	0.056	0.044	0.045
K2	0.041	0.051	0.044	0.118	0.039	0.056	0.077	0.045
K3	0.332	0.359	0.305	0.197	0.334	0.222	0.272	0.379
K4	0.017	0.018	0.062	0.039	0.023	0.133	0.044	0.045
K5	0.142	0.154	0.108	0.197	0.111	0.222	0.077	0.158
K6	0.041	0.045	0.062	0.014	0.023	0.044	0.077	0.045
K7	0.237	0.154	0.267	0.197	0.334	0.133	0.218	0.158
K8	0.142	0.154	0.108	0.118	0.097	0.133	0.190	0.126

Табела 6.35 Релативне

Релативне тежине	Критеријум
0.057	K1
0.059	K2
0.300	K3
0.048	K4
0.146	K5
0.044	K6
0.212	K7
0.134	K8

тежине критеријума



Ако је степен конзистентности мањи од 0,10, резултат је довољно тачан и нема потребе за корекцијама у поређењима и понављању прорачуна (Табела 6.36).

Табела 6.36 Максимална сопствена вредност, индекс и степен конзистентности

Максимална сопствена вредност λ_{\max}	8,798857437
Индекс конзистентности CI	0,1147122491
Степен конзистентности CR<0.1	0.080937937

У следећој фази, претходно дефинисане алтернативе се вреднују на основу усвојених критеријума и њихових тежинских коефицијената. Након дефинисања вредности критеријума за поједине алтернативе и одговарајуће трансформације критеријума типа мин. у тип мах. (Табела 6.37), сагласно изразима (44),(45) за поређење две алтернативе потребно је сваком критеријуму придружити преферентну функцију $P_j(a_i, a_k)$, одредити коефицијенте регресије и изабрати генерализовани критеријум код кога је збир квадрата одступања експерименталних тачака од теоријске криве генерализованог критеријума најмањи што омогућава смањење утицаја искуства и субјективне оцене доносиоца одлуке.

Табела 6.37 Улазни подаци за вишекритеријумску анализу

Критеријуми	Алтернативе							ω_j	max/ min
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇		
K_1	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0.145	min
K_2	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0.142	min
K_3	1500	1600	1800	1500	1600	1800	1500	0.032	max
K_4	16	16	16	12	14,5	16	12	0.019	max
K_5	2070	3070	2070	2055	2110	1980	1980	0.032	min
K_6	1000	1000	1000	800	1070	1070	1000	0.048	min
K_7	3320	3320	3390	3310	3300	3300	3320	0.047	max
K_8	0,717	0,717	0,916	0,543	0,717	0,543	0,543	0.018	max

Генерисање коначног рангирања алтернатива виљушकारа (Табела 6.39) захтева израчунавање вредности индекса преференције (Табела 6.38) и токова за сваки пар алтернатива, сагласно изразима (37),(38),(39) и (45).

Табела 6.38 Вредности вишекритеријумског индекса преферентности

		Вредности вишекритеријумског индекса преферентности P(a,b)							Иzlазни ток
		у односу на алтернативе							
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
Посматране алтернативе	A1	0	0	0	0.1568931	0.18686	0.207601	0.1192212	0.67058
	A2	0.1368125	0	0	0.3062681	0.258047	0.291351	0.2685962	1.26108
	A3	0.48885803	0.3239205	0	0.6327498	0.519485	0.393414	0.6206417	2.97907
	A4	0.04918231	0.0491823	0.0491823	0	0.160956	0.160956	0.033	0.50246
	A5	0.065625	0	0	0.1677033	0	0.029313	0.1677033	0.43034
	A6	0.253125	0.159375	0	0.3430337	0.167946	0	0.3430337	1.26651
	A7	0.12129108	0.1212911	0.1212911	0.1438806	0.261149	0.261149	0	1.03005
Улазни ток		1.11489392	0.6537689	0.1704734	1.7505285	1.554443	1.343783	1.5521961	

Табела 6.39 Коначни ранг алтернатива приликом избора опреме

PROMETHEE I		PROMETHEE II		PROMETHEE III	
Ранг		Ранг		Ранг	
6	A3	6	A3	6	A3
5	A2	5	A2	5	A2
2	A1	4	A6	2	A1
2	A6	3	A1	2	A6
2	A7	2	A7	2	A7
1	A4	1	A4	0	A4
0	A5	0	A5	0	A5

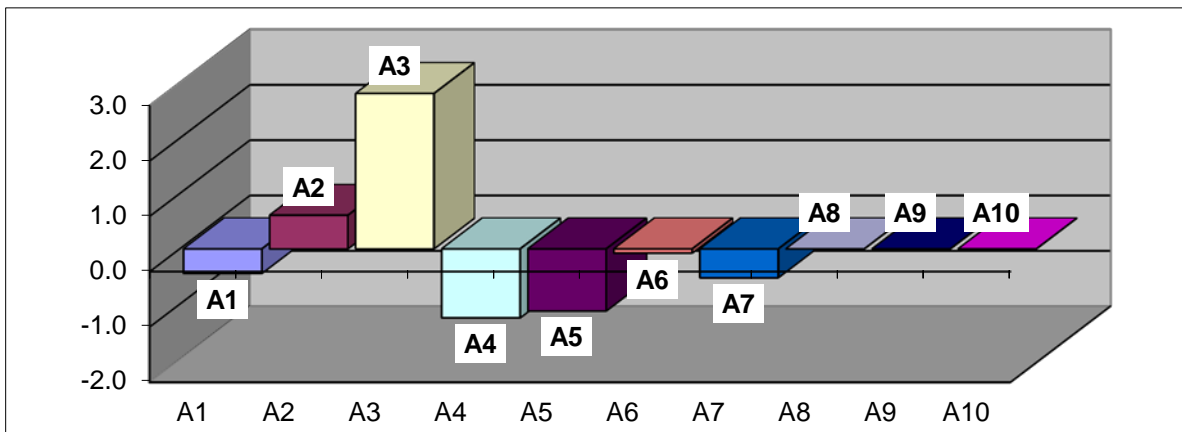
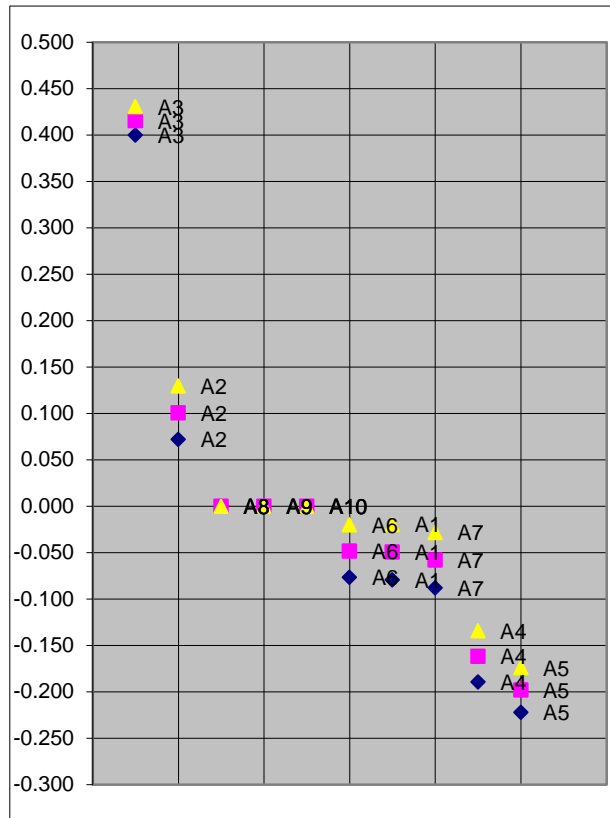
На основу компаративне анализе резултата рангирања алтернатива одговарајуће опреме и предложеног поступка у посматраном примеру дошло се до закључка да концептуално решење (алтернатива 3 –A3) превазилази сва ограничења и представља најоптималније решење.

У циљу потврде резултата добијених комбинованим приступом као и доказа применљивости и практичности истог, разматран проблем је анализиран и применом стандардних метода вишекритеријумске анализе (TOPSIS метода). Добијени резултати су приказани у Табели 6.40.

Табела 6.40 Упоредна анализа резултата методама вишекритеријумске анализе

Алтернативе	Комбиновани приступ	
	FAMOD	TOPSIS
A1	3	4
A2	2	2
A3	1	1
A4	6	7
A5	7	3
A6	4	5
A7	5	6

У оба случаја добија се исто решење за прве две алтернативе у односу на разматране критеријуме. Промене у редоследу још једном указују на важност фазе одређивања релативних тежина у процесу вишекритеријумске анализе, док је у овом делу истраживања циљ био указати на могућност увођења вредности алтернатива по критеријумима и у форми лингвистичких изараза и као такве их применити у комбинованом приступу рангирања алтернатива.



Слика 6.18 Извештај са резултатима ВКА: интервални поредак и вредности чистих токова за разматране алтернативе

7. Закључак и правци даљих истраживања

У завршном делу рада дата су закључна разматрања и резултати до којих се дошло у дисертацији. Такође наведени су и могући правци даљих истраживања као и преглед доприноса дисертације изучавању не само проблема решавања кључних задатака у процесу развоја новог логистичког концепта већ и широког спектра реалних и техничких проблема у којима је примарна активност доношење квалитетних, ефикасних и одрживих одлука.

7.1 Закључак

У овом тренутку, стварање базе за пројектовање новог решења регионалног логистичког концепта у основи се поклапа и везује за процес развоја логистичких центара који би били опремљени савременим транспортно складишним системима уз максимално учешће механизације и аутоматизације. Савремени услови пословања намећу таквим системима потребу за континуалним, ефикасним и квалитетним одлучивањем. У том случају, с обзиром на значај коју имају локација објекта или избор транспортних средстава као елемената ланца снабдевања, јасно је било и сасвим оправдано овим проблемима придати одговарајући значај и пажњу. Један од доприноса дисертације се управо и огледа у анализи доступне литературе из области локацијске теорије и проблема избора опреме за руковање материјалом помоћу које су и идентификовани актуелни трендови у области. Осим тога у самој дисертацији је указано на улогу логистике и потребу логистичког приступа унапређењу регионалног привређивања, који се у логистици испољава преко логистичког концепта, при чему би као крајњи допринос било оправдано очекивати смањење трошкова производње, цене коштања роба и подизања нивоа квалитета услуга. Константовано је да само системски приступ, који се испољава преко логистичког концепта, пружа могућности једноставнијег моделирања и оптимизације понашања сложених логистичких система.

Нове логистичке стратегије оријентисане су према робним токовима као и избору локације ЛЦ и у складу са логистичким трендовима и потребама добијање одговора на стратешка питања везана за примену логистичких стратегија захтевају детаљне анализе и истраживања, што је случај и са процесом доношења стратешких одлука приликом развоја новог регионалног концептуалног решења. У оквиру дисертације указано је на чињеницу да структура решења логистичког концепта зависи од структуре и карактеристика робних токова који се појављују или ће се појављивати у наредном периоду, стратегије развоја регионалне целине, броја, положаја и распореда корисника услуга. Претпоставка од које се кренуло је да ће у свакој варијанти решења новог логистичког концепта бити заступљен логистички центар, тј. у том случају избор оптималне локације центра или логистичких провајдера представља структурно питање за развој.

Решења једног или више логистичких центара намеће потребу за опремљеношћу истих савременим подсистемима транспорта и складиштења уз максимално учешће механизације и аутоматизације рада. У том смислу констатовано је у оквиру рада, да разматрање и утврђивање квантитативних и квалитативних карактеристика самог центра и подсистема транспорта и складиштења представљају кључну фазу пројектовања и развоја новог решења урбане логистике тј. да је у домену логистике и логистичких система већина проблема по природи вишекритеријумска и да за њихово решење тј. доношење одлуке у конфликтним условима треба развити флексибилније инструменте од строго математичких техника чисте оптимизације.

Због особености самог процеса одлучивања (неодређеност, неизвесност и непрецизност) као и природе самог процеса одлучивања развијен је комбиновани приступ вишекритеријумског избора оптималне локације регионалног дистрибутивног центра као и транспортних система у оквиру активности токова материјала, и на тај начин омогућено стварање подлоге за управљање истог савременим информационом технологијама што би на крају представљало кључан допринос унапређењу привреде и пословања.

У самом истраживању, комбиновањем метода за одређивање релативне важности критеријума и класичних метода рангирања алтернатива доноси се оптимална одлука о извесном проблему без обзира на природу параметара који га описују. Предложен комбиновани приступ избора развијен у дисертацији чини комбинацију позитивних искустава у примени познатих метода одлучивања и њихових модификација. Примена и модификација постојећих метода вишекритеријумске оптимизације уз објективније упоређивање утицаја критеријума, укључивање у модел појединих параметара који могу имати квалитативне и квантитативне вредности и анализу осетљивости у циљу идентификације најкритичнијих и најјачих критеријума у процесу одлучивања су главни правци ка којима су и била усмерена истраживања.

Потребно је нагласити чињеницу да у поступку одређивања релативних тежина критеријума посебна пажња усмерена на покушај смањења субјективизма у процесу доношења одлуке, а у дисертацији преовладава тежња да је субјективни став о тежинама критеријума (значајност) лакше изразити поредећи важности критеријума по паровима него одједном. За потребе истраживања тј. у оквиру развоја комбинованог поступка одлучивања, развијен је и одговарајући програмски алат који је у каснијој фази интегрисан са развијеним приступом у сврху рангирања алтернатива. Програм је назван РТК (Релативне Тежине Критеријума) и карактерише га способност коришћења неограниченог броја критеријума као и брзина и флексибилност у раду. Осим тога програмски алат пружа могућност ДО да као улазне податке користи различите вредности индекса уверености и оптимизма у интервалу

[0,1] и покаже њихов утицај на коначне резултате. Решавање проблема одлучивања захтева као прво дефинисање система критеријума, а затим и одређивање њиховог релативног значаја.

Почетна основа при дефинисању критеријума у дисертацији је чињеница да се приликом решавања сваког проблема може усвојити различит број и врста критеријума зависно од одговарајућих одлука и информација које стоје на располагању. Такође, јединствен скуп критеријума разматраног проблема најчешће није на располагању доносиоцу одлуке. У ту сврху, у оквиру истраживања примењен је корелацијски тест за поређење независних критеријума и редуковање њиховог броја на оперативни и прихватљив ниво. Циљ корелационе анализе је био да се утврди да ли између варијација посматраних појава (у овом случају критеријума) постоји квантитативно слагање (корелациона веза) и ако постоји у ком степену. Очигледно је, да смањењем броја критеријума модел постаје осетљивији на промене тежине критеријума, па је у ту сврху неопходно анализирати и статистички значајне разлике између првобитног и редукованог скупа критеријума на коначно рангирање. На овај начин дошло се до кључног запажања из примене корелацијског теста, да и ако се рангирање разликује за редукован број критеријума у односу на првобитни скуп, разлике статистички нису значајне. У сврху анализе статистички значајне разлике између првобитног и редукованог броја критеријума развијен је у оквиру комбинованог приступа FAMOD и модул који користи специјалну врсту корелацијског теста тзв. Spearman-ов корелацијски тест. Развијеним модулом могуће је за одређени ниво значајности упоредити резултате рангирања са редукованим и првобитним критеријумима, као и излазне резултате рангирања добијених коришћењем више приступа вишекритеријумске анализе а у циљу верификације резултата рангирања. Развијен комбиновани приступ вишекритеријумског одлучивања након поступка дефинисања скупа независних критеријума и одређивања њихове релативне тежине обухвата у наредној фази и могућност узимања у обзир лингвистичких израза о важности критеријума и вредности алтернатива по истим. Дакле, како би се разматран проблем избора што више приближио људском размишљању, оцене којима се врши вредновање предложених алтернатива у односу на дефинисане критеријуме, а дате од стране чланова експертског тима, могу бити у лингвистичкој, а не у нумеричкој форми.

Дакле, специфичности наведеног приступа су: функција преферентности, промена постојећих и увођење нових генерализованих критеријума, аутоматизован поступак избора генерализованих критеријума и анализе утицаја промене тежинских коефицијената на коначан редослед алтернатива, могућност узимања у обзир и лингвистичких израза о важности критеријума и вредности алтернатива по истим и смањење броја критеријума и верификација и упоредна анализа тако добијених резултата са осталим приступима вишекритеријумске анализе. У оквиру саме дисертације формиран комбиновани приступ вишекритеријумског одлучивања је проверен и тестиран на решавању конкретних проблема избора локације и избора

опреме у оквиру једног транспортног-складишног система. При томе је констатован висок степен сагласности са резултатима оствареним конвенционалним методама вишекритеријумског приступа и потврђена чињеница да развијен приступ представља свеобухватану алатку за решавање широког спектра реалних проблема одлучивања.

7.2 Правци даљих истраживања

Резултати добијени тестирањем комбинованог приступа за решавање вишекритеријумских проблема одлучивања остављају простор за даља истраживања у више праваца. Као логичан наставак претходног правца истраживања намеће се прво проширење и укључивање у дати приступ већег броја кључних задатака у оквиру решавања новог решења логистичког концепта а у којима је доминантан процес доношења квалитетне и одрживе одлуке. Осим тога, потребно је елиминисати извесна ограничења везана за број критеријума као и алтернатива у поступку рангирања алтернатива уз потребу увођења нових генерализованих критеријума. Даље правце истраживања треба усмерити ка отклањању недостатака процеса одређивања релативних тежина критеријума и интеграцији са другим приступима по том питању. Такође, даље правце истраживања треба усмерити ка потреби развоја експертских система као подршке доношењу одлуке где би се у процесу селекције захтевао од корисника само унос жељених вредности карактеристика опреме у циљу избора најпогодније варијанте из скупа унапред дефинисаних алтернатива. Тако развијен модел дао би више флексибилности ДО да у елиминационој фази да одговор на што више питања и одабере погодне алтернативе разматраног проблема. При томе формирале би се базе података и знања, које би углавном обухватале податке и правила генерисана из литературе, документације опреме или консултација са експертима. Дакле, када је у питању избор опреме за руковање материјалом, могуће је формирати базе податка за сваку врсту или тип опреме, аутоматизовати поступак избора коначног броја алтернатива и критеријума као и анализирати њихов утицај на коначан ранг алтернатива. Следећи правац у којем би требало усмерити истраживања је и свакако тежња приближења процеса доношења одлуке људском размишљању што је свакако немогуће без интеграције са елементима fuzzy логике.

Очекује се да предложен приступ буде свеобухватна алатка доносиоца одлуке приликом решавања широког спектра реалних и техничких проблема. У ту сврху а посебно у оквиру доношења просторних одлука у циљу премошћавања раскорака између стручњака и јавности могуће је везивање просторних података са алфанумеричким подацима кроз примену Географског информационог система (ГИС-а). На тај начин подручје истраживања би се значајно редуковало, побољшала тачност графичке репрезентације и манипулација подацима као и добијање корисних информација за доношење коначне одлуке.

7.3 Преглед оригиналних доприноса у дисертацији

Развијен комбиновани приступ вишекритеријумског одлучивања потврђен је у већем броју радова који су објављени како у часописима индексираним на Thomson Reuters SCI листи тако и на међународним конференцијама. У складу са постављеним циљевима истраживања доприноси остварени у дисертацији могу се исказати на следећи начин:

- Дефинисан је и развијен нови приступ као свеобухватна алатка за решавање кључних задатака развоја нове логистичке стратегије и то усмерена на одлучивање кроз избор могућих алтернатива и критеријума разматраног проблема. Понуђен је систем квантификовања или фазификације квалитативних атрибута, поступак смањења броја критеријума у поступку одлучивања као и проблем одређивања и дефинисања њихових тежинских коефицијената или релативне значајности.
- Методологија избора је употпуњена модификацијом постојећих метода за успостављање коначног ранга алтернатива уз приказ и развој адекватног софтверског решења које подржава тако модификовану методу-приступ.
- Посебно треба истаћи допринос у делу где је предложеним алгоритмом решен специфичан проблем рангирања већег броја алтернатива помоћу критеријумских функција на више нивоа. Сви параметри и карактеристике на адекватан начин су вредноване и укључене у математички модел вишекритеријумске оптимизације, а затим је датом приступом кроз више фаза итерације омогућено доношење коначне одлуке. Самим тиме спречено је њихово обједињавање интуитивним путем и омогућено директно увођење у модел вредности параметара сложених карактеристика алтернатива.
- Осим тога предложен приступ узима у обзир промену постојећих и увођење нових генерализованих критеријума, аутоматизован поступак избора генерализованих критеријума и анализу утицаја промене тежинских коефицијената на коначан редослед алтернатива.
- Утицај искуства и субјективне оцене доносиоца одлуке приликом избора генерализованих критеријума је сведен на најмању меру, јер се врши на основу методе најмањих квадрата, тако да се бира генерализовани критеријум код кога је збир квадрата одступања експерименталних тачака од теоријске криве генерализованог критеријума најмањи. Специфичност наведеног приступа је функција преферентности, која служи да разлику у вредностима за сваки пар алтернатива сведе у опсег од 0 до 1, по сваком критеријуму.

- Приступ развијен у оквиру дисертације је верификован применом на реалним система избора локације логистичког центра и избора опреме са детаљном анализом осетљивости резултата на промене тежине критеријума.
- Створени су темељи за даља истраживања у области оптимизације и унапређена теоријска и практична сазнања у овој области.

Литература

- [1] Apple, J. M.: Material Handling System Design, New York: Ronald, 1972
- [2] Arslan, MC.: A decision support system for machine tool selection, M.S. Thesis, Sabanci University, Spring, 2002
- [3] Avittathur, B.; Shah, J.; Gupta, O. K. 2005. Distribution centre location modelling for differential sales tax structure, *European Journal of Operations Research* 162: 191–205.
- [4] Ayang, Z., Ozdemir, R. G.: A fuzzy AHP approach to evaluating machine tools alternatives, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17, 179-190, 2006
- [5] Ayang, Z.,: A fuzzy AHP based simulation approach to concept evaluation in a NPD environment, *IIE Transaction*, 37, 827-842, 2005,
- [6] Barron, F.H.: Selecting a best multi attribute alternative with partial information about attribute weights, *Acta Psychologica*, 80, pp. 91-103, 1992.
- [7] Barron, F.H., Barrett, B.E.: Decision quality using ranked attribute weights, *Management Science*, 42, pp. 1515-1523, 1996.
- [8] Behzadian, M.; Kaemzadeh, R. B.; Albadvi, A.; Aghdasi, M. 2009. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, *European Journal of Operations Research* 200: 198–215, doi:10.1016/j.ejor.2009.01.021
- [9] Brans, J. P.; Mareschal, B.; Vincke, P. 1984. PROMETHEE: A new family of outranking methods in MCDM. IN J: P: Brans (Ed.), *Operational research' 84*: 477–490.
- [10] Brans, J. P.; Mareschal, B.; Vincke, P. 1984. PROMETHEE: A new family of outranking methods in MCDM. IN J: P: Brans (Ed.), *Operational research' 84*: 477–490.
- [11] Brans, J. P.; Vincke, P. 1985. A preference ranking organization method: The PROMETHEE method for MCDM, *Management Science* 31 (6): 647–656. doi:10.1287/mnsc.31.6.647
- [12] Bukumirović, M.; 2009. *Urbana logistika [Urban logistics]*. Kraljevo: Mašinski fakultet Kraljevo. 365 p.
- [13] Chakraborty. S., Banik, D.: Design of material handling equipment selection model using analytic hierarchy process, *Intelligent Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 28, 1237-1245, 2006
- [14] Chang, C.-W.: Collaborative decision making algorithm for selection of optimal wire saw in photovoltaic wafer manufacture, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23 (2012), 533-539, 2012, doi:10.1007/s10845-010-0391-6

- [15] Chan, F.T., Ip, R. W. L., Lau, H.: Integration of expert system with analytic hierarchy process for the design of material handling equipment selection system, *Journal of Materials processing Technology*, 116, 137-145, 2001
- [16] Chen, C.-T. 2001. A fuzzy approach to the select of the location of distribution center, *Fuzzy Sets and Systems* 118:65-73
- [17] Chen, S-J, Hwang, C-L.: Lecture notes in economics and mathematical systems, Springer, Berlin, Germany, 1992.
- [18] Chu, H. K., Egbelu, P. J., Wu, C. T.: ADVISIOR: A computer-aided material handling equipment selection system, *Int. J. Prod. Res.*, 33 (12):3311-3329, 1995
- [19] Chu, T. -C.; Lai, M. -T. 2005. Selecting distribution centre location using an improved fuzzy MCDM approach, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 26: 293–299, doi: 10.1007/s00170-003-1896-3
- [20] Čupić, A.: Metodologija izbora tehničkog sistema za automatsku preradu paketa u glavnim poštanskim centrima, Magistarski rad, Saobraćajni fakultet Beograd, 2007
- [21] Čupić M., A.: Metodologija izbora tehničkog sistema za automatsku preradu paketa u glavnim poštanskim centrima, magistarski rad, Beograd, 2007
- [22] Dagdeviren, M.: Decision Making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19, 397-406, 2008
- [23] Daskin, M. S.: Network and Discrete Location: An Analytical Approach, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1992
- [24] Dias, L.; Costal, J. P.; Clímaco, J. N. 1998. A parallel implementation of the PROMETHEE method, *European Journal of Operations Research* 104: 521–531.
- [25] Đukić, R.: Rangiranje alternativa metodom normalizacije kriterijumskih funkcija na više nivoa, *Naučni-tehnički pregled*, XXXIX (6), 27-32, 1989.
- [26] Farahani, R. Z.; Asgari, N. 2007. Combination of MCDM and covering techniques in hierarchical model for facility location: A case study, *European Journal of Operations Research* 176: 1839–1858.
- [27] Farahani, R. Z., Hekmatfar (Eds.), M.: Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, Physica-Verlag, Heidelberg, Germany, 2009
- [28] Fisher, E.L., Farber, J. B., Kay, M. G.: MATEHS: An expert system for material handling equipment selection, *Engineering Costs and Production Economics*, 14, 297-310, 1998
- [29] Fonseca, D. J., Uppal, G., Greene, T. J.: A knowledge-based system for conveyor equipment selection, *Expert Systems with Applications*, 26, 615-623, 2004
- [30] Fülöp, J.: Introduction to Decision Making Methods, Workshop on Biodiversity & Ecosystem Informatics, The Evergreen State College, 2004.
- [31] Георгијевић, М., Рокнић, С., Бојанић, В. и др.: Логистика као привредна грана, III Српски симпозијум са међународним учешћем- Транспорт и логистика, Ниш, 2008.

- [32] Goumas, M.; Lygerrou, V. 2000. An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects, *European Journal of Operations Research* 123: 606–613.
- [33] Gunthner, W. A.: Materialfluss und Logistik, Technische Universitat Munchen, skripta sa predavanja, 2003
- [34] Handler, G. Y., Mirchandani, P. B.: Location on Networks: Theory and Algorithms, MIT Press, Cambridge, MA, 1979
- [35] Hanson, J. L.: A Dictionary of Economics and Commerce, London, 1979
- [36] Hwang, C. L., Yoon, K.: Multiple attribute decision making: Methods and applications, A State of the Art Survey. New York: Springer-Verlag, 1981.
- [37] <http://www.ent.ohiou.edu/~thale/thlocation.html>
- [38] http://www.ise.ncsu.edu/kay/Material_Handling_Equipment.pdf
- [39] <http://www.toyota-forklifts.eu/en/Products/electric-counterbalanced-trucks/toyota-traigo-24/Pages/Default.aspx>
- [40] http://www.cat-lift.com/_cat/index.cfm/north-america/english/products/lift-trucks/class-i-electric-counterbalanced/2500-4000-lb-capacity-3-wheel-pneumatic-tire
- [41] <http://www.hyster.com/north-america/en-us/products/3-wheel-electric-trucks/>
- [42] <http://nissanforklift.com/forklifts/TX-3Wheel-AC-ElectricRider.htm>
- [43] <http://www.yale.com/emea/en-gb/our-products/product-overview/3-wheel-electric-trucks/electric-fork-lift-truck-rear-wheel-drive-1250-1500kg/>
- [44] http://www.jungheinrich-lift.com/_jh/index.cfm/products/forklifts-and-lift-trucks/electric-counterbalanced-forklifts/efg-110k-115-electric-3-wheel-counterbalanced-forklift
- [45] Intermodalna rešenja i konkurentnost u transportnom sektoru Srbije – IMOD-X, Završni izveštaj, 2006 <http://www.sintef.no/imod-x>
- [46] Ивановић Ж.: Логистички концепт за регионалну целину црногорско приморје, магистарски рад, стр.152, Београд, 2006.
- [47] Jandrić, Z., Srđević, B.: Analitički hijerarhijski proces kao podrška donošenju odluka u vodoprivredi, *Jugoslavenski časopis-Vodoprivreda*, 0350-0519, 32 (2000) 186-188, pp. 327-334, 2000.
- [48] Kim, K. S., Eom, J. K.: An expert system for selection of material handling and storage systems, *Int. J. Ind. Eng.*, 4(2), 1997, 81-89
- [49] Klapita, V.; Švecová, R. 2006. Logistic centres location, *Transport* 21(1): 48–52. doi:10.1080/16484142.2006.9638041
- [50] Kolarević, M. 2004. *Brzi razvoj proizvoda: monografija [Rapid product development. Monograph]*. Belgrade: Zadužbina Andrejević. 131 p.

- [51] Kolarević, M.; Vukićević, M.; Bjelić, M.; Radićević, B. 2008: Model of Multicriteria Optimization Using Complex Criteria Function, *Proceedings of the 6th International Conference "Heavy Machinery HM-2008"*, pp. F1-F6.
<<http://www.hm.kg.ac.rs/documents/Proceedings2008.pdf>>
- [52] Kulak, O.: A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments, *Expert Systems with Applications* 29(2005), 310-319, 2005
- [53] Lee, A.R.: Application of modified fuzzy AHP method to analyze bolting sequence on structural joints, PhD Dissertation, Lehigh University, A Bell & Howell Company, UMI Dissertation Services.
- [54] Li, W.-x.; Li, B.-y. 2010. An extension of the Promethee II method based on generalized fuzzy numbers, *Expert Systems with Applications* doi: 10.1016/j.eswa.2010.01.004
- [55] Lootsma, F.A.: Multi-Criteria Decision Analysis via Ratio and Difference Judgement, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [56] Lootsma, F.A., Bots, P.W.G.: The assignment of scores for output-based research funding. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 8, pp. 44-50, 1999.
- [57] Марковић Г., Гашић, М., Маринковић, З.: Теоријски приступ регионалном развоју-методологија истраживања логистичких токова, ИМК-14 истраживање и развој, Година XVI, број 4/2010, стр.25-30, 2010.
- [58] Марковић Г., Маринковић, З., Томић, В.: Суштина и значај формирања регионалног логистичког концепта – стратешки правци развоја, 4 симпозијум са међународним учешћем Транспорт и логистика ТИЛ 2011, Ниш, стр.7-14, 2011.
- [59] Marković, G., Bukumirović, M., Gašić, M.: The influence of information developments on performance of the supply chain of the regional logistic centre, MHCL'06-XVIII international conference, str.203-206, Belgrade, 2006.
- [60] Marković, G., Gašić, M., Kolarević, M., Savković, M., Marinković, Z.: Application of the MODIPROM method to the final solution of logistics centre location, *Transport* 28(4),pp. 341-351, 2013. doi:10.3846/16484142.2013.864328
- [61] Marković, G.; Gašić, M.; Marinković, Z.; Savković, M. 2008. Metodologija izbora optimalne lokacije regionalnog logističkog centra, *IMK-14 Istraživanje i razvoj* 28-29 (1-2): 85–90. <<http://scindeks.nb.rs/article.aspx?artid=0354-68290802085M>>
- [62] Marković, G.; Bukumirović, M.; Čupić, A.; Bogićević, Z. 2008. The decision methodology of optimal location of regional logistic centre, *Proceedings of the 6th International Conference "Heavy Machinery HM-2008"*, pp. D45–D50.
<<http://www.hm.kg.ac.rs/documents/Proceedings2008.pdf>>
- [63] Martel, J.M.: Multicriterion Analysis Under Uncertainty: The approach of Outranking Synthesis, Working Paper, 1998-039, Faculté des Sciences de l'Administration, Université Laval, 1998.

- [64] Massebeuf, S.; Fonteix, C.; Kiss, I.; Marc, F. Pla; Zaras ,K. 1999. Multicriteria optimization and decision engineering of an extrusion process aided by a diploid genetic algorithm, *Congress on Evolutionary Computation*, IEEE Service Center, Washington, DC, pp 14–21
- [65] Merkle, M.: Probability and Statistics – *for engineers and students of engineering* (In Serbian) ,Second edition, Akademik Mind, Belgrade, 2006 (321 pages) ISBN 86-7466-229-3
- [66] Miller, G.A.:The magic number seven plus or minus two, *Psychol rev* 63:81-97, 1965
- [67] Mirchandani, P. B., Francis, R. L.:Discrete Location Theory, Wiley Interscience, New York,1990
- [68] Montgomery, D.C:Design and analzsis of experiments,4th edn., Wiley,USA,1996
- [69] Moller C.: Logistic Concept Development-Towards a Theory for Designig Effective Systems, Ph. D. - thesis Aalborg University, Aalborg, 1995.
- [70] Mulcahy, D. E.: Material Handling Handbook, New York: McGraw-Hill,1999
- [71] Muniglia, L.; Kiss, L., Fonteix, C.; Marc, I. 2004. Multicriteria optimization of a single-cell oil production, *European Journal of Operational Research* 153 : 360–369.
- [72] Nickel, S., Puerto, J.: Location Theory: A Unified Approach, Springer-Verlag, Berlin, 2005
- [73] Nikolić, I.; Borović, S. 1996. *Višekriterijumska optimizacija: Metode, primena u logistici, softver* [*Multiple criteria optimization: Methods, application in logistics, software*]. Belgrade: Centar vojnih škola Vojske Jugoslavije. L1-L10 p.
- [74] Owen, S.H.,Daskin, M.:Strategic facility location: A review, *European Journal of Operational Research* 111(1998),pp. 423-447
- [75] Park. Y.:ICMESE: Intelligent consultant system for material handling equipment selection and evaluation, *Journal of Manufacturing Systems*, 15(5),325-333, 1996
- [76] Pavić, I.; Babić, Z. 1991. The use of the PROMETHEE method in the location choice of a production, *International Journal of Production Economics* 23: 165–174.
- [77] Перишић А. Р.: Савремене стратегије и технологије развоја транспорта, Институт техничких наука САНУ, Београд, 2002.
- [78] Petrović, S.; Petrović, R; 2002. A new fuzzy multicriteria methodology for ranking of alternatives, *International Transactions in Operational Research* 9:73-84
- [79] Prostorni plan Republike Srbije od 2010 do 2020 godine, <http://www.mogucasrbija.rs/files/20120401143907Zakon%20o%20prostornom%20planu%20RS.pdf>
- [80] Rai, R., Kameshwaran, S., Tiwari, M.K.: Machine tool selection and operation allocation in FMS: solving a fuzzy goal programming model using a genetic algorithm, *International Journal of Production Research*,40, 641-645, 2002
- [81] Regodić, D.: Logistika, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2010
- [82] Rekiek, B.; De Lit, P.; Pellichero, F.; L’Eglise, T.; Fouda, P.; Falkenauer, E.; Delchambre, A. 2001.A multiple objective grouping genetic algorithm for assembly line design, *Journal of Intelligent Manufacturing* 12 : 467–485.

- [83] Rietveld, P.; Ouwersloot, H. 1992. Ordinal data in multicriteria decision making, a stochastic dominance approach to siting nuclear power plants, *European Journal of Operations Research* 56: 249–262.
- [84] Saaty T.: An Eidenvalue Allocation model for prioritization and planning, University of Pennsylvania, 1972.
- [85] Saaty, T. L.: Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. *European Journal of Operational Research*, 168 (2), pp. 557-570, 2006.
- [86] Saaty, T.: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, USA, 287 p., 1980.
- [87] Saaty, T.: *Analytical Planning: The organization of systems*, Pergamon Press, 1985
- [88] Sawicka, H., Węgliński S., Witort P.: Application of multiple criteria decision aid methods in logistic systems. *Electronic Scientific Journal of Logistics LogForum*, Vol.6 (3), No.10, pp. 99-110, 2010.
- [89] Simongáti, G. 2010. Multi-criteria decision making support tool for freight integrators: selecting the most sustainable alternative, *Transport* 25(1): 89–97.
- [90] Simchi-Levi, D., Xin, C., Julien B.: *The Logic of Logistics: Theory, Algorithms and Applications for Logistics Management*, 2nd ed., Springer Verlag, New York, 2004
- [91] Sremac, S. : *Model za upravljanje tokovima robe u transportno-skladišnim procesima*, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.
- [92] Stam, A., Kuula, M.: Selecting a flexible manufacturing system using multiple criteria analysis, *International Journal of Production Research*, 29, 803-820, 1991
- [93] Stillwell, W.G., Seaver, D.A., Edwards, W.: A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 28: 62-77, 1981.
- [94] Стратегија привредног развоја Републике Србије за период од 2006. до 2012. године, Влада Републике Србије, 2006.
http://www.srbija.gov.rs/vesti/dokumenti_sekcija.php?id=45678
- [95] Стратегија развоја железничког, друмског, водног, ваздушног и интермодалног транспорта у Републици Србији од 2008. до 2015. године, Влада Републике Србије, 2008. http://www.putevi-srbije.rs/strategijapdf/Strategijatransport_lat.pdf
- [96] Стратегије просторног развоја Републике Србије 2009-2013-2020, Министарство животне средине и просторног планирања, Република Србија, 2009.
- [97] Swaminathan, S. R., Matson, J. O., Mellichamp, J. M.: EXCITE: Expert consultant for in-plant transportation equipment, *International Journal of Production Research*, 30 (8), 1969-1983, 1992
- [98] Syam, S. S.; 2002. A model and methodologies for the location problem with logistical components, *Computers & Operations Research* 29: 1173–1193
- [99] Tabari, M.; Kaboli, A., Arzaneyhad, M. B; Shahanaghi, K.; Siadat, A. 2008. A new method for location selection: A hybrid analysis, *Applied Mathematics and Computation* 206 : 598–606. doi:10.1016/j.amc.2008.05.111

- [100] Tabucanon, M. T., batanov, D. N., Verma, D.K.: Intelligent decision support system (DSS) for the selection process of alternative machines for flexible manufacturing systems (FMS), *Computers in Industry*, 25, 131-143, 1994
- [101] Taha, Z., Rostam, S.: A hybrid AHP-PROMETHEE decision support system for machine tool selection in flexible manufacturing cell, *J. Intell Manuf.* (2012) 23:2137-2149, 2012
- [102] Taniguchi, E.; Thompson, R. G., M.; Yamada, T.; Van Duin R.: *City Logistics-network Modelling and Intelligent Transport Systems*, London, 2001
- [103] Taniguchi, E.; Noritake, M.; Yamada, T.; Izumitani, T. 1999. Optimal size and location planning of public logistics terminals, *Transportation Research Part E* 35: 207–222.
- [104] Teodorović, D., Kikuchi, S.: *Fuzzy skupovi i primene u saobraćaju*, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1994.
- [105] Teodorović, D., Šelmić, M.: *Računarska intelengencija u saobraćaju*, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2012.
- [106] Thunen, J. H.: *Der Isolierte Staat in Beziehung auf landwirtschaft und Nationalokonomie*, Berlin Schumacher-Zarchlin, (1875)
- [107] Tuzkaya, G., Gulsun, B., Kahraman, C. Ozgen, D.: An integrated fuzzy multi-criteria decision making methodology for material handling equipment selection problem and an application, *Expert Systems with Applications* 37 (2010), 2853-2863, 2010
- [108] Turskis, Z.; Kazimieras, E. 2010. A new fuzzy additive ratio assessment method (ARAS–F). Case Study: The analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location, *Transport* 25(4): 423–432. doi:10.3846/transport.2010.52
- [109] Vidović, M., Miljuš, M.: Lokacijski problemi-značaj, vrste i načini rešavanja, *Vojnotehnički glasnik*, 5/2004, str.445-457, Beograd, 2004
- [110] Vasiljević, T.: *Primena GIS-a, analitičko hijerarhijskog procesa i fazi logike pri izboru lokacija regionalnih deponija i transfer stanica*, doktorska disertacija, Novi Sad, 2011
- [111] Wang, T. Y., Shaaw, Ch. F., Chen, Y. L.: Machine selection in flexible manufacturing cell: A fuzzy multiple attribute decision making approach, *International Journal of Production Research*, 38, 2079-2097, 2000
- [112] Weber, A.: *Über den Standort der Industrien*, Tübingen. *Theory of the Location of Industries*, University of Chicago press, 1909 (English translation by C.J. Friedrich (1929).
- [113] *Workshop on Biodiversity & Ecosystem Informatics*, 13–15 December 2004. The Evergreen State College. Available from Internet: <<http://academic.evergreen.edu/projects/bdei/documents/decisionmakingmethods.pdf>>. p.15
- [114] Yurdakul, M., Tansel, Y.: Application of correlation test to criteria selection for multicriteria decision making (MCDM) models, *Int. J. Adv. Manuf. Technol* (2009) 40:403-412, 2007

- [115] Yager, R. R.: A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval, *Information Sciences*, 24, 143-161, 1981
- [116] Yurdakul, M., Tansel, I. Y.: Analysis of the benefit generated by using fuzzy numbers in a TOPSIS model developed for machine tool selection problems, *Journal of Material Processing Technology*, 209, 310-317, 2009
- [117] Zahedi, F.: The analytic hierarchy process: A survey of the method and its applications, *Interfaces*, 16 (4), 96-108, 1986
- [118] Zelenović, V. T.: *Primena GIS-a, Analitičko hijerarhijskog procesa i fuzzy logike pri izboru lokacija regionalnih deponija i transfer stanica*, doktorska disertacija, Novi Sad, 2011
- [119] Zečević, S., Tadić, S.: Cooperation models of city logistics, *The international Journal of Transport & Logistics*, 09/05, pp.123-140, 2005.
- [120] Зечевић С.: *Робни терминали и робно-транспортни центри*, Саобраћајни факултет Београд, Београд, 2006.
- [121] Зечевић С., Тадић С.: *City логистика*, Саобраћајни факултет Београд, Београд, 2006.
- [122] Живанић, Д.: *Логистика и симулација токова материјала као подлога за оптимални избор транспортно складишних система*, докторска дисертација, Нови Сад, 2012

Прилог

Прилог 1. Matlab code алата за одређивање релативних тежина критеријума –РТК

```
%% Definisiranje relativne tezine kriterijuma prema Satijevoj skali
function [ TezKoeff RekMat NormMat lambdaMax CI CR] = FuzzyAHP( OMat )
alfa=0.5; %% alfa preseka
lambda=0.5; %% indeks optimizma
%%
% OMat =      [ 1      3      5      5      7      5      1/3
%              0      1      3      5      5      7      1/3
%              0      0      1      3      5      7      1/5
%              0      0      0      1      3      3      1/3
%              0      0      0      0      1      3      1/7
%              0      0      0      0      0      1      1/9
%              0      0      0      0      0      0      1];

% fuzzy tfn and inverse fuzzy tfn constants
fuzzyTFN = {[1      1      2 ] [1/2      1      1 ]
             [2      3      4 ] [1/4      1/3      1/2 ]
             [4      5      6 ] [1/6      1/5      1/4 ]
             [6      7      8 ] [1/8      1/7      1/6 ]
             [8      9      10 ] [1/10      1/9      1/8]};

fuzzyCompMatCell={};
%%
% convert ordinal numbers to
% triangular fuzzy number using fuzzyTFN matrix
[m n] = size(OMat);
%% racuna kompletanu matricu
%% Preslikati 1 u -1
%% samo ako je clan iznad glavne dijagonale
for p=1:m
    for q=p+1:n
        if OMat(p,q)==1
            OMat(q,p)=-1;
        else
            OMat(q,p) = 1 / OMat(p,q)
        end
    end
end
for p=1:m
    for q=1:n
        criteria = round(OMat(p,q)*10^5)/10^5;
        switch criteria
            case 1
                fuzzyCompMatCell{p,q} = fuzzyTFN{ 1 ,1 };
            case 3
                fuzzyCompMatCell{p,q} = fuzzyTFN{ 2 ,1 };
            case 5
                fuzzyCompMatCell{p,q} = fuzzyTFN{ 3 ,1 };
            case 7
                fuzzyCompMatCell{p,q} = fuzzyTFN{ 4 ,1 };
            case 9
                fuzzyCompMatCell{p,q} = fuzzyTFN{ 5 ,1 };
```



```

        case -1 %% Smisli kako da predstavis 1 na -1
            fuzzyCompMatCell{p,q} = fuzzyTFN{ 1 ,2 };
        case 0.33333
            fuzzyCompMatCell{p,q} = fuzzyTFN{ 2 ,2 };
        case 0.2
            fuzzyCompMatCell{p,q} = fuzzyTFN{ 3 ,2 };
        case 0.14286
            fuzzyCompMatCell{p,q} = fuzzyTFN{ 4 ,2 };
        case 0.11111
            fuzzyCompMatCell{p,q} = fuzzyTFN{ 5 ,2 };
    %
    %
        otherwise
            disp('other value');
    end
end
end
%% Racunanje alfa preseka i rekonstrukcija matrice

A = eye(m,n);
A = fuzzyCompMatCell;
for p=1:m
    for q=1:n
        if p == q
            RekMat(p,q)=1;
        else
            RekMat(p,q)=-1;
            B = [A{p,q}];
            ld = (B(2)-B(1))*alfa+B(1);
            lg = B(3)-(B(3)-B(2))*alfa;
            RekMat(p,q)= lambda*lg+(1-lambda)*ld;
        end
    end
end
%% Normalizacija matrice
%% Suma kolona pa svaki clan kolone podeljen sa sumom
SumKol=zeros(1,m);
for j = 1:n
    for i=1:m
        SumKol(j) = SumKol(j)+RekMat(i,j);
    end
end
%% konstruisanje normalizovane matrice
for i=1:m
    for j=1:n
        NormMat(i,j)=RekMat(i,j)/SumKol(j);
    end
end
%% Racunanje sume redova
SumRed=zeros(n,1);
for i = 1:m
    for j=1:n
        SumRed(i) =SumRed(i) + NormMat(i,j);
    end
end
%% Racunanje tezinskih koeficijenata
TezKoef = zeros(n,1);
for i=1:n
    TezKoef(i)=SumRed(i)/n;
end

```

```
end
TezKoeff=transpose(TezKoeff)
[lambdaMax CI CR] = ConsistencyAHP (RekMat);
end
```