



**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ – ШТИП**

**ФАКУЛТЕТ ЗА ИНФОРМАТИКА**

**Компјутерски технологии и интелигентни системи**

**Мартин Лапевски**

**ПОВЕЌЕКРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ ВО ПРОЦЕСОТ НА СЕЛЕКЦИЈА И  
ЕВАЛУАЦИЈА – ПРИМЕНА НА МЕТОДОТ НА АХП (АНАЛИТИЧКИ  
ХИЕРАРХИСКИ ПРОЦЕСИ)**

**— МАГИСТЕРСКИ ТРУД—**

**Штип, мај 2015 г.**

## **Комисија за оценка и одбрана**

**Ментор:** проф. д-р Татјана Атанасова-Пачемска, вонреден професор

Факултет за информатика

Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

**Член:** проф. д-р Владо Гичев, редовен професор

Факултет за информатика

Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

**Член:** проф. д-р Игор Стојановиќ, доцент

Факултет за информатика

Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

## **Членови на комисија за оценка и одбрана:**

**Претседател:** проф. д-р Владо Гичев, редовен професор

Факултет за информатика

Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

**Член:** проф. д-р Татјана Атанасова-Пачемска, вонреден професор

Факултет за информатика

Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

**Член:** проф. д-р Игор Стојановиќ, доцент

Факултет за информатика

Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

## **Објавени научни трудови**

Atanasova-Pachemska Tatjana and **Lapevski Martin** and Timovski Riste (2014) *Analitical Hierarchical Process (AHP) Method Application in the process of Selection and Evaluation*, Vol.II p.374-380, Proceedings of the 14-th International Conference Gabrovo 2014, Bulgaria.

# ПОВЕЌЕКРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ ВО ПРОЦЕСОТ НА СЕЛЕКЦИЈА И ЕВАЛУАЦИЈА – ПРИМЕНА НА МЕТОДОТ НА АХП (АНАЛИТИЧКИ ХИЕРАРХИСКИ ПРОЦЕСИ)

## Краток извадок

Во многу инженерски проблеми финалната одлука е базирана на евалуација на голем број на алтернативи и критериуми. Овие проблеми може да станат многу тешки кога критериумите се изразени во различни единици или се релативни податоци коишто е тешко да бидат измерени. Методот аналитички хиерархиски процеси (АХП) претставува ефикасен пристап во справувањето со ваквите видови на проблеми за одлучување. Овој магистерски труд испитува некои од практичните и математички прашања кои се вклучени кога се користи АХП методот во решавање на инженерски проблеми и проблеми од секојдневниот живот. Покрај теориските димензии, овој труд презентира и примена на методот за повеќекритериумска анализа АХП на реални примери од различни области од животот.

Овој магистерски труд, покрај воведот и заклучокот, е структуриран во три примарни делови. Во првиот дел, се дадени основните теоретски претпоставки за одлучувањето, при што е ставен акцент на повеќекритериумското одлучување. Прикажани се начини за дефинирање на проблеми и формулирање на математички модели за повеќекритериумска анализа, поим и видови на атрибути, квантификација на квалитативни податоци и скала за квантифицирање на односите помеѓу споредбените алтернативи. Вториот дел од овој труд врши анализа на методот за повеќекритериумско одлучување АХП. Предадена е неговата историја, теоретска и математичка основа, неговите предности и недостатоци, како и областите во кои се применува. Третиот дел ја разработува примената на АХП на две студии на случај: избор на економски најповолна понуда и избор на најдобар математички софтвер. Врз основа на добиените резултати се дадени завршни констатации во врска со можностите за користење на овој метод и за идни истражувања.

**Клучни зборови:** *повеќекритериумско одлучување, АХП.*

# MULTICRITERIA DECISION MAKING IN THE PROCES OF SELECTION AND EVALUATION – APPLICATION OF AHP (ANALYTICAL HIERARCHICAL PROCESS) METHOD

## Abstract

In many engineering problem final decision is based on the evaluation of a number of alternatives and criteria. These problems can become very difficult when the criteria are expressed in different units or relative data that is difficult to be measured. The method analytical hierarchical process (AHP) is an effective approach in dealing with these kinds of problems for decision. This master thesis examines some of the practical and mathematical issues involved when using AHP method in solving engineering problems and problems of everyday life. Besides theoretical dimensions, this paper present the application of method of multi-criteria analysis of real examples from different areas of everyday life.

This master's thesis, despite the introduction and the conclusion is structured into three primary sections. The first part provides the basic theoretical assumptions about deciding where the emphasis is placed on multi-criteria decision. Presented are ways to define problems and formulate mathematical models for multi-criteria analysis, conception and types of attributes, quantification of data and scale to quantify the relationship between comparable alternatives. The second part of this paper perform analyzes of method for multi-criteria decision making – AHP. Betrayed is its history, theoretical and mathematical basis, its advantages and disadvantages as well as areas in whichits apply. The third section explores the application of two AHP case studies: selection of the best economical bid and selection of best mathematical software. Based on the results given are final conclusions about the possibilities of using this method for future research.

**Key words:** Multicriteria decision making, AHP.

## Содржина

<b>1. Вовед</b> .....	1
<b>2. Преглед на литературата</b> .....	7
<b>3. Цел на истражувањето</b> .....	12
<b>4. Методи на истражувачката работа</b> .....	13
4.1. Основни поими за одлучување .....	13
4.1.1. Процес на одлучување .....	18
4.1.2. Важност на одлучувањето .....	21
4.1.3. Видови интерес на одлучувањето .....	22
4.1.4. Мерење на нематеријални фактори .....	23
4.1.5. Најопшт закон на природата .....	24
4.1.6. Предизвици на одлучувањето .....	25
4.1.6.1. Неефективни состаноци .....	26
4.1.7. Придобивки од систематско одлучување .....	26
4.2. Поим за оптимизација .....	26
4.2.1. Математички модели и оптимизација .....	28
4.2.2. Задачи на оптимизацијата .....	28
4.2.3. Шематски приказ на процесот на оптимизација .....	29
4.3. Повеќекритериумско одлучување .....	30
4.3.1. Вовед во повеќекритериумско одлучување .....	33
4.3.2. Дефинирање на процесот на повеќекритериумско одлучување ....	35
4.3.2.1. Поим и видови на атрибути .....	39
4.3.3. Избор на атрибутите и нивна формулација .....	42
4.3.4. Формулација на математички модел за повеќекритериумско одлучување .....	44
4.4. Проблем за одлучување .....	45

4.4.1.	Анализа на проблемот за одлучување.....	50
4.5.	Преглед на методите за евалуација и селекција .....	51
4.5.1.	Методи за преквалификација.....	51
4.5.1.1.	Категорички метод .....	52
4.5.1.2.	Data envelopment analysis (DEA).....	52
4.5.1.3.	Кластерска анализа .....	52
4.5.2.	Повеќекритериумски методи за одлучување .....	52
4.5.2.1.	Аналитички хиерархиски процеси (АХП).....	53
4.5.2.2.	Аналитички мрежни процеси (ANP) .....	53
4.5.2.3.	TOPSIS метод.....	53
4.5.2.4.	MAUT (Multiple Attribute Utility Theory) .....	54
4.5.3.	Модели на математичко програмирање.....	54
4.5.3.1.	Повеќецелни модели .....	54
4.5.3.2.	Модели на целно програмирање.....	54
4.5.4.	Методи на вештачка интелигенција.....	55
4.5.4.1.	Case-Based-Reasoning (CBR) Systems.....	55
4.5.4.2.	Вештачки невронски мрежи.....	55
4.5.5.	Неопределена (фази) логика .....	55
4.5.6.	Комбинирани/хибридни методи .....	56
4.6.	Генерални карактеристики на АХП методот.....	56
4.6.1.	Теориска основа на АХП методот .....	57
4.6.2.	Идентификување на структурата на хиерархискиот систем .....	61
4.6.2.1.	Како да се структурира проблем за одлучување .....	63
4.7.	Математичка основа на АХП методот .....	65
4.7.1.	Анализа на преференците .....	65
4.7.2.	Евалуација на конзистенцијата на споредбите.....	71
4.8.	Алгоритам на АХП методот .....	76

4.9. Примени на АХП методот .....	80
4.10. Предности и недостатоци на АХП методот .....	81
4.11. Опис на критериумите кои се искористени во процесот на евалуација и селекција .....	84
4.11.1. Опис на критериумите за избор на економски најповолна понуда	84
4.11.2. Опис на критериумите за избор на најдобар математички софтвер	87
<b>5. Резултати .....</b>	<b>90</b>
5.1. Избор на најповолен економски понудувач за набавка на компјутерска опрема .....	90
5.2. Избор на најдобар математички софтвер .....	108
<b>6. Дискусија .....</b>	<b>120</b>
<b>7. Заклучок .....</b>	<b>123</b>
<b>8. Користена литература (References) .....</b>	<b>125</b>



## 1. Вовед

Нашиот свет денес сè повеќе и повеќе се движи од фрагментација кон интеграција, станувајќи притоа подобро унифициран и интерактивен во економијата, споделувањето на информации, патувањето, дипломатијата, во медицинските инструменти и важноста на здравјето па дури и во војувањето. Има сè повеќе слобода за индивидуите да можат да се искажат себеси. Ова произлегува од единствениот поглед на свет во кој ние сме во состојба да донесуваме најдобри одлуки. Бидејќи сè повеќе луѓе се во можност да се изразуваат себеси, потребни се начини за донесување на заеднички одлуки. Конфликтите може да се разрешат рационално и мирно ако се избалансирани и со користење на методот на *аналитички хиерархиски процеси* (АХП), којшто овозможува мерење не само на материјалните средства туку и на нематеријалните со што овозможува донесување на подобри одлуки во врска со алтернативите. Гледањето во една голема глобална слика и можноста за комбинирање на различни делови од размислувања, вклучувајќи позитивни и негативни аспекти на проблемот, се можни со комбинирање на научна анализа и синтеза и истите имаат смисла за нашиот мозок. Во групните одлучувања, изградувањето на модел овозможува различна експертиза и нивоа на авторитети со кои се претставени.

Генерално, промените и забрзувањето на промените влијаат на човековата психологија. Ние како поединци и како група се чини дека не може да се справиме со непредвидливите промени и зголемената комплексност на светот. Стресот, несигурноста и зголемувањето на фрустрацијата, мислите се преоптоварени со информации и фрагментирани знаења со што доаѓа до ерозија на вредностите. Негативните движења се премногу нагласени, додека позитивните се запоставени. Како резултат на тоа доаѓа до nihilizam, вознемиреност и очај. Додека пак мудростите кои се собирани од минатото имаат изгубено голем дел од својата вредност.

Според францускиот филозоф Жан Жак Русо (1712-1778), вистинскиот („природниот“) човек немал јазик, немал апстрактно размислување, немал морални идеи и немал општество. Тој бил себичен но не и суров и чувствувал сочувство за својот вид. Тој бил добар, но не бил способен за морални

вредности за саможртва. Како што се „усовршувал“ човечкиот вид, тој бил во можност да создаде култура, општество и историја. Чекорите во неговиот развој зависеле од напредокот на металургијата, земјоделството и имотот. Социјалниот живот довел до радикални психолошки промени. Погледот на Русо е дека љубовта кон себе се претворила во агресивно натпреварувачко непријателство и воена состојба помеѓу луѓето. Експлоатацијата на другите се користела за сопствено богатење. Во општеството човекот „природно“ е повеќе лош отколку морален и неговиот личен интерес често е во спротивност со општиот интерес. Социјалниот живот се карактеризира со одвојување на луѓето од природата, едни од други и од сопствената автентичност. *Лекот бара изградување на нов човек и соодветни политички институции.* Меѓутоа, ова не е доволно за луѓето да ги почитуваат законите. Нивните умови и намери мора, исто така, да бидат вклучени. Луѓето се суверени и преку универзалното право за избор се способни да учествуваат во изразувањето на генералните желби во правото под водство на „водачи“ или модератори кои ја знаат општата желба однапред.

„За да се направи светот подобро место за живеење“, тој мора да биде мирен, повеќе духовен, повеќе интелектуален и повеќе разбирлив. Потребна ни е рамка која го поврзува тоа заедно и која овозможува да се разбере општеството, светот, и нашето место во него, и со тоа може да ни се помогне да ги донесеме клучните одлуки кои ќе ја обликуваат нашата иднина. Тоа би ја синтетизирало мудроста од различни научни дисциплини, филозофии и религии. Би се овозможило комбинирање на вниманието за функциите и дизајнот, логиката и емпатијата. Во суштина, потребна ни е рамка за одлучување којашто ќе ни овозможи да ја користиме моќта на нашата лева и десна мозочна хемисфера хармонично.

Прашањата кои ние мора да си ги поставиме се: Кои сме ние? Зошто светот е таков каков што е? Каде одиме? Што е добро, а што лошо? Како треба да се дејствува? Што е точно, а што неточно?

Погледот на светот не можеме да го развиеме од нула. Потребни ни се градбени блокови за да започнеме со тоа. Овие градбени блокови можеме да ги пронајдеме во постоечките теории, модели, концепти, упатства и вредности,

кои се расфрлани во различни дисциплини и идеологии. Фрагментарниот поглед на свет би требало да биде наша почетна точка. Со вклучување на овие прашања како градбени блокови во АХП рамката можеме истите да ги поделиме на својствени делови, со што ќе можеме да дадеме приоритет на активностите што треба да се преземаат за да се контролираат и насочуваат овие неколку конкурентски интереси.

Реалните животни проблеми покажуваат:

- јак притисок и ослабени ресурси;
- комплексни прашања – понекогаш тие немаат „вистински“ одговор;
- лични интереси;
- спротивставени вредности.

Повеќето проблеми за одлучување се повеќекритериумски со спротивставени барања:

- максимизирање на профитот;
- задоволување на барањата на купувачите;
- максимизирање на сатисфакцијата на вработените;
- задоволување на соработниците;
- минимизирање на трошоците за производство;
- задоволување на државните регулативи;
- минимизирање на даноците;
- зголемување на бонусите.

Луѓето или поединците одлучуваат за:

- битни работи кои треба да се купат;
- училишта за своите деца;
- места за живеење;
- брачен партнер;
- доктор за нивното здравје;
- медицински операции – да се изврши или да не се изврши;
- места за одмор итн.

Во овој магистерски труд најпрвин е даден краток преглед за областите во кои е применет АХП методот. Исто така е даден преглед на литературата од најпознатите европски и светски автори кои во своите трудови го имаат применето АХП методот. Понатаму во продолжение се прикажани основните цели и задачи на истражувањето, а воедно и на овој магистерски труд. Во овој дел се предадени базичните прашања на кои треба да се одговори со истражувањето.

Поглавјето **Методологија на истражување** е составено од единаесет потпоглавја. Во нив детално се разработени и анализирани основните поими и начинот на спроведување на истражувањето.

Во првото поглавје од делот Методологија на истражување – **Основни поими за одлучување** се предадени основните поими за одлучувањето. Опишан е процесот на одлучување и се анализирани со какви видови на интереси се соочува одлучувањето. Понатаму во продолжение се дадени основните дефиниции за тоа што претставуваат нематеријалните фактори и како истите можеме да ги измериме, како и на кој начин го среќаваме одлучувањето преку најопштиот закон на природата. Во последните потпоглавја од оваа глава се прикажани предизвиците со кои се соочува процесот на одлучување, како и кои се бенифитите од систематско одлучување.

Во наредното поглавје – **Поим за оптимизација** се дадени основните поими за тоа што претставува оптимизацијата кои се нејзините задачи и како се одвива целиот процес на оптимизација во реални ситуации. Исто така, претставен е и математички модел за проблемите за оптимизација.

Во поглавјето – **Повеќекритериумско одлучување** е даден најпрво вовед за тоа што претставува повеќекритериумско одлучување како техника за оптимизација. Понатаму е прикажан начинот на кој се дефинира проблемот за повеќекритериумско одлучување, како и изборот на атрибутите и нивната формулација.

Понатаму во следното четврто поглавје од оваа глава - **Проблеми за одлучување** е извршено детално анализирање на поимите за тоа што претставува проблем за одлучување, кои се неговите задачи, на кој начин се

донесуваат одлуките за проблемите за одлучување, кои се начините за нивно решавање и какви методи постојат за нивно решавање.

Во петтото поглавје – **Преглед на методите за евалуација и селекција** е даден преглед на најчесто употребените методи кои се користат во процесот на евалуација и селекција, нивните специфичности, како и областите во кои може да се применуваат истите.

Во шестото поглавје – **Генерални карактеристики на АХП методот** детално се опишани поимите за АХП (аналитички хиерархиски процеси) методот кој воедно претставува и метод кој ќе се користи за истражувањето во овој магистерски труд. АХП како метод за повеќекритериумско одлучување го структурира проблемот за одлучување во хиерархиска структура. Начините и насоките за изградување на оваа хиерархиска структура, исто така, се опишани во ова поглавје.

Во наредното седмо поглавје – **Математичка основа на АХП методот** е претставена математичката формулација за АХП методот. АХП претставува математички метод кој се базира на трансформација на матрици со чијашто помош се донесува одлуката за проблемот кој се разгледува. Оној кој ги донесува одлуките усно ги изразува своите преференци во однос на елементите кои се споредуваат, кои потоа се претвораат во нумерички вредности, користејќи соодветна скала за оценка и врз основа на нив се формира матрицата на споредбени парови. За добиените матрици за одлучување односно сопствени вектори е потребно да се изврши проверка за нивната конзистенција. Целиот овој процес на носење на одлуки со помош на АХП методот е детално опишан преку математички формулации во ова поглавје.

Во поглавјата осум и девет – **Алгоритам на АХП методот и Примена на АХП** е прикажан и опишан секој чекор во извршувањето на АХП методот. Исто така, предаден е краток преглед за дел од можните области за примена на АХП методот, како и искуствата од неговата примена на некои од најголемите светски компании и организации.

Во десеттото поглавје од оваа глава четири – **Предности и недостатоци на АХП методот** се предадени предностите од користењето на

АХП методот во процесот на евалуација и селекција, како и некои недостатоци на кои укажува научната јавност.

Единаесеттото, воедно и последно, поглавје од оваа глава - **Опис на критериумите кои се искористени во процесот на евалуација и селекција** се опишани критериумите врз основа на кои ќе се врши изборот на економски најповолна понуда во процесот на јавните набавки и избор на математички софтвер кој би се користел во наставата по техничките и природно-математичките предмети во високообразовните институции, овие два избора претставуваат и проблеми за решавање во овој магистерски труд.

Во петтата и шестата глава од овој труд - **Резултати и Дискусија** детално се прикажани и опишани начините на добивање на резултатите од спроведените истражувања. Истите се анализирани и се дадени сугестии за понатамошни истражувања и подобрување на истите.

Во седмата глава - **Заклучок** целосно се сумирани теоретските и математичките поим за АХП методот искористен за добивање на резултатите во овој магистерски труд.

## 2. Преглед на литературата

Во изминатите неколку години има сè поголема побарувачка за софтверски пакети. Како одговор на овие барања софтверски компании секојдневно произведуваат нови видови на софтвер. Софтверските пакети обезбедуваат голем број на функции коишто се приспособливи и можат да ги задоволат специфичните барања на организациите. Несоодветниот избор на софтверски пакет може да резултира со погрешни стратемски одлуки кои може да доведат до економски загуби на поединецот и организацијата. Според ова, изборот на софтверскиот пакет кој ги исполнува специфичните барања побарува целосна проценка на сите конфликтни фактори и може да биде комплексна задача.

Евалуацијата на софтверот може да биде дефинирана како повеќекритериумско донесување на одлуки (multiple criteria decision making – MCDM). MCDM се однесува на донесување на одлуки преку достапни алтернативи кои се карактеризираат со повеќе, обично конфликтни, атрибути. Целите на MCDM се [52]:

- да му помогне на донесувачот на одлуките да ја избере најдобрата алтернатива од тие што се разгледуваат и проучуваат;
- да се изберат оние алтернативи кои изгледаат најдобро помеѓу множеството од алтернативи кои се разгледуваат;
- да му помогне да ги рангира алтернативите во опаѓачки редослед според перформансите.

Во последните неколку години, истражувачите се фокусирани на модели и методи за селекција на повторно искористив off – the – shelf софтвер [5, 6, 25, 36, 40, 38, 47, 62, 84]. Сепак, постои и друга литература којашто:

- се концентрира на евалуација и селекција на специфични софтверски продукти како што се CASE алатките [6, 70, 88], софтвер за симулација [15, 28, 59-61, 93], DSS софтвер [7,69], АХП софтвер [63], алатки за менаџирање на знаење [58, 67], софтвер за податочно рударење, јазици за визуелно програмирање, ERP пакети, CRM пакети [14] и софтвер за оперативен менаџмент [83];

- опис на автоматизирани системи/алатки коишто му помагаат на донесувачот на одлуките околу разните активности во процесот на евалуација и селекција на софтвер [11, 25, 32, 45, 49, 97];
- опис само на критериумите за селекција на софтвер [1,17,98,69,82] и методологиите за селекција на софтвер [2, 6, 28].

АХП методот е широко користена техника за евалуација на софтверски пакети. Примената на АХП за евалуација на софтверските пакети е успешно спроведена во многу истражувачки студии [14, 18, 52, 39, 42, 40, 48, 55, 52, 58, 63, 66, 85, 83, 88, 92, 98,102,103].

Иако во литературата може да се пронајдат трудови кои ги опишуваат системите/алатки за селекција на софтверски пакети, многу од нив оценката ја спроведуваат преку формирање на хиерархија на критериуми. Сепак, сè уште нема точно утврдена генеричка листа со критериуми според кои треба да се врши евалуацијата и селекцијата. Критериумите кои треба да бидат земени предвид за евалуацијата на софтверот вообичаено се класифицирани во неколку групи. Карактеристиките за квалитет на софтверските пакети, како што се функционалност, сигурност, употребливост, ефикасност, одржливост и преносливост се искористени како евалуациски критериуми во неколку студии [21, 22, 37, 54, 62, 63, 70, 81, 99]. Помеѓу ISO/IEC стандардите кои се однесуваат за оценка на квалитет на софтвер, ISO/IEC 9126-1 стандардот конкретно е насочен кон определување на модел за квалитет кој ќе се користи како рамка за евалуација на софтверот. Критериумите кои се однесуваат на: понудувачите, хардверските и софтверските побарувања, трошоците и користа од софтверскиот пакет се најчесто користени во литературата. Од друга страна, може многу ретко да се пронајдат трудови во кои како критериуми се користат излезните карактеристики на софтверскиот пакет и критериуми кои се однесуваат на мислење за програмскиот пакет.

Во многу индустрии, трошоците за сировини и составни делови претставуваа најголем процент од вкупната цена на производот. На пример, во високотехнолошките фирми набавката на материјали и сервиси изнесува и до 80% од вкупната цена на чинење на производот. Затоа, изборот на правилен добавувач е клучот за процесот на набавки и претставува голема можност за



намалување на трошоците на компаниите преку целиот синџир на снабдување. Државната администрација насекаде низ светот претставува најголем потрошувач на овие набавки. Нумеричките индикатори варираат од земја до земја, но различни извори се согласуваат дека владините сметки за трошоци за јавни набавки изнесуваат 15%-45% од БДП [44]. Најмногу од овие средства се трошат за интерни трошоци (плати и сл.), а 25% - 50% одат за екстерни трошоци (набавка на добра и услуги), главно, преку јавни набавки. Низ годините, традиционален пристап за избор на најповолна понуда и понудувач беше избор на понудувач исклучиво врз основа на цената. Меѓутоа, компаниите и институциите согледуваат дека изборот на најдобра понуда само врз основа на цената не е најефикасен, па затоа сè повеќе се преориентираат кон повеќекритериумски пристап со кој ќе го вршат изборот. Сепак, и покрај ова малку внимание се посветува на спроведувањето на прописите и сугестиите во пракса, па затоа поединци или организации се соочуваат со тешкотии во процесот на спроведување на јавните набавки и случувањето договори за истите. Поради ова, во 2005 година, The Decision Support Research Group од Будимпешта од Универзитетот за технологија и економија во Унгарија во соработка со департаментот за бизнис информациски системи од Универзитетот College Cork во Ирска започнаа истражување за процесот на донесување на одлуки за јавните набавки во согласност со правилата на Европската унија и националните закони. Некои од прашањата кои биле истражувани се: Кои се предизвиците и предностите од поддршката за донесување на одлуки во законски условена средина? Како можат овие специјални барања да бидат поддржани со користење на софтверски алатки за донесување на одлуки? Според резултатите се добило дека евалуациските методологии имаат многу поголемо значење отколку што било претпоставувано.

Weber, C.A и останатите [100] направиле преглед на сите трудови кои се издадени почнувајќи од 1966 година и ги класифицирале во 74 категории. Посебно внимание имаат посветено на критериумите и аналитичките методи кои се користени во процесот за избор на добавувач.

Degrave, Z. и останатите [19] се фокусирале на аукциските комбинаторики каде што понудувачот може да ги изрази неговите склоности со помош на т.н. матрица на понуди. Авторите дале преглед на тоа како работи

оваа аукција и ја елаборирале релевантноста на овие аукциски матрици на понуди. Авторите истражуваат како колекција на произволни понуди може да бидат претставени преку матрица на понуди.

Tahriri, F. и останатите [95] наведуваат дека во денешното високо конкурентно општество, ефикасноста на процесот за избор на најдобар понудувач односно добавувач е многу важно за успехот на една производствена организација. Изборот на понудувач т.е. добавувач е повеќекритериумски проблем кој вклучува квалитативни и квантитативни фактори (критериуми). Балансот помеѓу материјалните и нематеријалните фактори е битен во изборот на најдобар понудувач. Авторите понатаму дискутираат и ги споредуваат предностите и недостатоците од изборот на различни методи во изборот на понудувачот посебно методот на аналитички хиерархиски процеси (АХП).

Maggie и Tummla [57] формулирале АХП базиран модел и го примениле на реална студија на случај, испитувајќи ја изводливоста на моделот во избор на понудувач во телекомуникацискиот сектор. Употребата на предложениот модел укажува на тоа дека може да биде применет за подобрување на групното донесување на одлуки во селекцијата на понудувач којшто ќе ги задоволува побарувањата на купувачите. Исто така, тие заклучиле дека процесот на донесување на одлуки е систематски и дека користењето на предложениот АХП модел може да го намали времето потребно за избор на понудувачот т.е. добавувачот.

Hill и Nydick [33] покажале како АХП може да биде искористен за структурирање на процесот за селекција на понудувач. Овој метод за селекција е опишан, и исто така даден е хипотетички пример за тоа како АХП може да биде применет. Конечно, презентирана е и рамка којашто може да ја примени и адаптира секоја организација според нејзините специфични множества на барања.

Но и останатите [31] прегледале 78 трудови кои се посветени на повеќекритериумското донесување на одлуки за евалуација и селекција на најдобар понудувач. Овие трудови се објавени во периодот од 2000 до 2008 година. Тие ги анализирале претежно применетите техники и методи,

евалуациските критериуми и неадекватноста на методите. Тие објавиле дека квалитетот, дистрибуцијата, цената/трошоците, способноста за производство, услугата, менаџментот, технологијата, истражувањето и развојот, финансиите, флексибилноста, угледот, врските, ризикот и заштитата на животната средина се најпопуларни критериуми кои се користат во процесот на евалуација и селекција. Тие, исто така, забележуваат дека поединечните методи се повеќе популарни отколку интегрираните односно комбинирани методи.

### 3. Цел на истражувањето

Земајќи предвид дека проблематиката за повеќекритериумско одлучување со методот АХП во нашата земја не е доволно обработена, целите на овој труд се:

1. Да се објасни улогата и значењето на методите за повеќекритериумско одлучување со посебен акцент на методот АХП, за истите е потребно да се разработат теориски методи и модели кои ќе може да се применуваат во пракса.
2. Да се прикаже како на рационален и научно базиран пристап може да бидат решени проблемите за одлучување, врз основа на повеќекритериумска анализа.
3. Утврдување на клучните критериуми во процесот на избор на економски најповолна понуда и најдобар математички софтвер.
4. Градење на модел за повеќекритериумско одлучување, вреднување на поставените критериуми и нивна евалуација со помош на АХП методот.
5. Анализа и објаснување на добиените резултати од спроведените анализи во истражувањето.
6. Давање на препораки за креирање и имплементација на модел за повеќекритериумско одлучување со кој ќе се унапреди процесот на одлучување.

#### 4. Методи на истражувачката работа

##### 4.1. Основни поими за одлучување

Луѓето од секогаш се занимавале со одлучување, но непосредното изучување на процесот на одлучување почнува во триесеттите години на овој век. Постоечките правила од математика и економија помогнале да се оформат одредени правила врз основа на кои носачот на одлуките ќе ја избере најдобрата одлука. Меѓутоа, тоа подразбира дека носачот на одлуките секогаш реагира на предвидлив начин, а тоа не му дава гаранција за успех. Поради непредвидливостите со кое е поврзано, одлучувањето се сметало за социјална а не за техничка активност.

До триесеттите години се проучувало само во академските кругови. По Првата светска војна доаѓа до развој на некои други дисциплини кои условиле засилена потреба од истражување на проблематиката на одлучување. Дошло до појава на научни организации за работа, носачите на одлуките во поголема мера почнале да се занимаваат со изучување на бихевиористичкиот начин на однесување. Потоа дошло до појава на теорија на игри која дава нова рамка за проверка на одлуките, како и развој на низа методи кои подоцна се наречени оперативни истражувања, кои ги обединуваат знаењата од математика, статистика, економија, природни науки и сл.

Донесувањето на одлуки е присутно во сите домени на егзистенцијата, од секој поединец до најразлични организациони облици на луѓе и организации. Во безброј секојдневни и разновидни ситуации одлуките ги донесува поединец, фамилија, неформални и формални групи на луѓе, општествени здруженија и организации, економски и други деловни субјекти. За донесувањето на одлуките, од страна на носачот на одлуките – поединци или групи, се спроведуваат соодветни процеси за одлучување, при што такви сложени ситуации најчесто вклучуваат користење на модели во разгледуваниот систем и оптимизации во системот со посредство на решенијата од усвоениот модел.

Математичката теорија на одлучување поставува прецизна дефиниција за донесување на одлуки, но во општ случај, одлучувањето претставува избор помеѓу одреден број на алтернативи.

Одлучувањето е одредување на она што треба да се направи. Ултимативна цел на секое одлучување е извршување на некоја акција. За донесување на некоја одлука на располагање стојат повеќе алтернативи, односно повеќе алтернативни одлуки. Со цел детално согледување на разгледуваната проблематика може да се укаже на следниве дефиниции:

**Одлука** – е резултат на одлучувањето и секогаш се донесува за да се исполнат одредени барања – цели кои се поставени за разгледуваниот проблем. „Одлуката е избор помеѓу повеќе алтернативни можности за решавање на проблемот”.

**Одлучување** - претставува избор помеѓу повеќе можни алтернативи, од мноштвото претходно подготвени алтернативи, односно помеѓу повеќе можни алтернативи за разгледуваниот проблем. Според Bulat, „одлучувањето е процес во кој се врши избор помеѓу повеќе алтернативни можности за промена на состојбата заради постигнување на цел”.

**Носач на одлуки** – е секој во деловното опкружување со компетенции да одлучува и тоа во оној дел за кој носи и потполна одговорност. „Одлучувањето претставува низа на активности кои се меѓусебно поврзани, следуваат една од друга, а целта е резултат од донесување на одлука”. Носачот на одлуките може да биде поединец или група на луѓе. Одлука може да се донесе и кога постои само една алтернатива за избор.

**Процес на одлучување** – е процес во кој се создава одлуката. Тој претставува низа на меѓусебно поврзани и условени активности кои се одвиваат сукцесивно, насочени кон крајната цел за да се донесе одредена одлука.

Суштината на одлучувањето, како што претходно наведовме, е да се дојде до одредена одлука. Може да се каже дека суштината е општо оправдување на секоја постапка, а целта е она што е потребно да се постигне со одредена постапка.

Со целата постапка се добива резултат со кој во целост или делумно се постигнува или воопшто не се постигнува посакуваната цел. Множеството на расположливи алтернативи или акции се нарекува стратегија.

Алтернативите помеѓу кои треба да се изврши изборот и да се усвои една од нив како одлука поседуваат одредена количина на информации за карактеристиките на конкретниот предмет за одлучување.

Некои автори укажуваат дека изборот може да се изврши врз основа на:

- техники за одлучување, кога се користат множество на детали, техники или методи;
- правила за одлучување, кога се користат соодветни водичи или тестови за размислување;
- вештини за одлучување, т.е. способност за користење на туѓи знаења и умеења во решавањето на проблемот.

Во разни конкретни случаи се донесуваат низа одлуки, но може да се прифати дека која било одлука припаѓа во една од трите основни групи (слика 1), што е во согласност со најчестите нивоа за одлучување, а во секоја наредна група има повеќе одлуки отколку во претходната група. Одлуките се делат на:

- стратeгиски одлуки, со долгорочни последици;
- тактички одлуки со кои се спроведуваат стратeгиските одлуки;
- оперативни одлуки кои настануваат кога една тактичка одлука се разложува на повеќе одлуки на пониските нивоа.



Слика 1. Типови на одлуки  
Figure 1. Types of decisions

За донесување на конкретна одлука е потребно да се земат предвид следиве четири карактеристики:

а) Важност. Во пристапот на подготвување и спроведување на одлуката од особена важност е нејзиното значење, што се изразува преку: целите кои треба да ги оствари одлуката (стратешки, тактички и оперативна природа), последиците од донесување или недонесување на добри одлуки, последиците од спроведувањето или неспроведување на донесените добри одлуки и последиците од спроведувањето на лоши одлуки.

б) Време. За донесување на одлуки е потребно соодветно време за подготовка. Одлуката мора да се донесе навремено за да се постигне најдобар ефект во дадени услови. И најдобро донесената одлука со задоцнување веќе не мора да биде добра одлука, поради можните промени на условите во кои таа се спроведува. Ефектите од задоцнетата одлука може да бидат смалени, односно да имаат помали или поголеми штетни последици, а некои други одлуки би имале оптимални резултати.

в) Трошоци. Вредноста на одлуката не може да биде помала од трошоците направени за нејзиното подготвување, притоа имајќи предвид дека цената на погрешно донесената одлука може да биде многу висока. На пример: погрешна стратешка одлука може да има долгорочни негативни последици кои не може да се отстранат или неутрализирањето на таквите последици трае долго, односно побарува високи трошоци, вклучувајќи притоа и трошоци за подготвување на нови одлуки.

г) Сложеност. Разгледувањето на голем број факти, нивната променливост и зависност, степен на сигурност на податоците и нивната комплетност, го одредуваат степенот на сложеност на одлуките и пристапот во подготвувањето на таквите одлуки.

Во реални ситуации многу често е присутно на остварувањето на целта за која се донесуваат одлуките да влијаат голем број фактори и при донесувањето на одлуките се анализираат само оние фактори кои во тој момент се сметаат за најзначајни.



За постигнување на целта врз одлуките донесени во сегашноста влијаат и фактори за во иднина кои во моментот на донесување на одлуката не се познати, односно на нив не може да се влијае. Во зависност од степенот на познавање на сите фактори при донесување на една одлука се разликуваат:

- одлучување при извесност,
- одлучување при ризик и
- одлучување при неизвесност.

Мал е бројот на проблеми во кои се поставува остварување само на една цел. Повеќето реални проблеми имаат својство во секој конкретен случај да се донесува таква одлука со која е потребно истовремено да се остварат повеќе цели кои можат да бидат и конфликтни.

Врз основа на наведеното произлегува дека одлучувањето претставува исклучително сложен процес и тоа може да биде:

- рационално одлучување или научно одлучување, се однесува на избор на најдобрата алтернатива врз база на квантитативни анализи на потребните податоци и информации, односно, утврдување и аргументирано споредување на сите расположливи алтернативи, користејќи соодветни научни методи и модерни технички средства, или
- интуитивно одлучување, потпирајќи се на осетите и стекнатите искуства во слични ситуации од праксата.

Од дефиницијата за одлучување може да се изведат неколку карактеристики:

1. Одлучувањето е секогаш условено од постоење на проблем кој треба да се реши.
2. Одлучувањето подразбира постоење на множество на активности кои имаат свој резултат – одлука. Според тоа одлучувањето претставува процес, т.е. процес на одлучување.
3. Според својата природа одлучувањето е информационален процес или процес на трансформација на информацијата. Може да го сфатиме како динамички систем чишто влезни величини се податоците и информациите, а излезни величини се одлуките. Одлуката како резултат

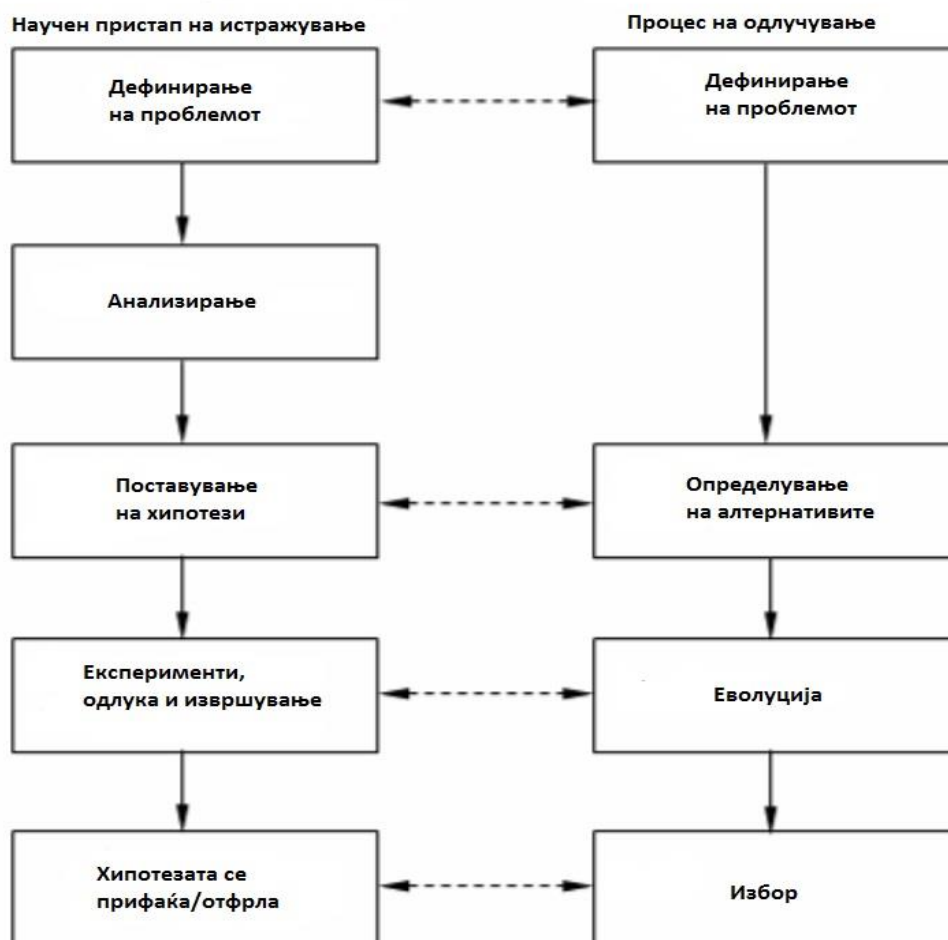
на процесот на одлучување е повторно информација, бидејќи содржи сознание за проблемот и решение кое е избрано.

4. За одлучување може да се зборува само ако постои дилема во поглед на изборот на начин за решавање на постоечкиот проблем. Затоа множеството од можни алтернативни (акции) решенија на проблемот мора да содржат барем две алтернативи. Ако е дефинирана само една алтернатива, тогаш другата алтернатива треба да биде алтернатива „нула“ – „не се подразбира ништо“.
5. Одлучувањето како ментална активност секогаш е поврзано со човекот. Одлучувањето подразбира формирање на субјективни ставови спрема можните алтернативни решенија на проблемот. Елементот субјективност на проблемската ситуација според тоа мора да биде вграден во процедурата за оценување на утврдените алтернативи и избор на една од нив.

Секако дека одлучувањето подразбира постоење на субјект кој ги донесува одлуките. Можеме да го третираме како носач на одлуки. Тоа е субјект кој има овластување и одговорност за решавање на проблемски ситуации и донесување на одлуки. Ако се работи за систем, тогаш носачот на одлуките може да биде човек како поединец, група разгледувана како орган или организација како целина. Во случај кога поединецот решава сопствени проблеми прашањето за последиците не треба да се поставува, додека во случај на организација точно се знае дека оној кој има овластување да донесува одлуки мора да ги сноси и последиците за истите. Меѓутоа, и во двата случаја субјективниот елемент доаѓа до израз.

#### 4.1.1. Процес на одлучување

Процесот на одлучување или процесот на донесување одлуки се состои од одредени фази и многу автори ги дефинираат тие фази на различни начини, но се истакнува дека овој процес не може да биде во потполност универзален за сите видови на системи и сите видови на одлуки, туку мора да се дефинира и спроведува во зависност од специфичноста на случајот кој се анализира (слика 2). Научниот пристап во одлучувањето почива на општата дефиниција на францускиот филозоф и математичар од 18 век Декарт.



Слика 2. Научен пристап во процесот на донесување одлуки  
 Figure 2. Scientific approach in process to decision making

Прифатливо е разгледување на 11 фази на процесот на одлучување (слика 3) чиишто содржини може да се толкуваат и без детални образложувања. Во овој пристап за непосредни во процесот на донесување на одлуки се сметаат фазите од 3 до 9.

Раководејќи се според донесување на една одлука се дадени и потребните интеракции помеѓу сите фази, а затемнетите фази од 5 до 7 означуваат дека многу автори овие фази не ги раздвојуваат, туку ги сметаат за едни од најбитните фази во процесот на донесување на одлуки. Во случај ако нема одлука повратната стрелка може да води до која било фаза од 5 до 7.



Слика 3. Фази во процесот на донесување на одлука  
 Figure 3. Phases in process of decision making

Со разгледувањето на одлуките во суштина настанува нов процес на донесување на одлуки. Со тоа се постигнува процес на одлучување, но истовремено се придонесува за успешно спроведување на основните одлуки, имајќи поголема контрола, анализа на последиците и корекција на помалите одлуки во реалните проблеми.

Многу често се присутни и ситуации кога еднаш донесена одлука за одреден проблем не мора да остане во првобитниот облик, туку врз основа на анализа на моменталните актуелни услови во системот и неговото опкружување, настанува потреба од спроведување на следниве мерки:

- претходната одлука во помала или поголема мера да се дополни;
- претходната одлука во потполност да се замени или
- претходната одлука да се замени со одлука за друг односно нов проблем.

#### 4.1.2. Важност на одлучувањето

Се движиме од свет во кој економијата и општеството се изградени на логичен и линеарен начин на размислување кон свет кој е многу повеќе интерактивен и кој побарува систематски размислувања. Силните притисоци кои доаѓаат од ограничените слаби ресурси побаруваат метод кој истовремено ќе ги разгледува различните аспекти на зададената ситуација. Лидерите се соочуваат со комплексни проблеми за кои понекогаш немаат „вистински“ одговори, фактор со различни интереси, па дури и со спротивставени вредности.

Донесувањето на одлуки т.е. одлучувањето треба да биде најважната работа која ја правиме, вклучувајќи го и верувањето во религијата. Ние сме одлучени да веруваме во Бог, но нашите верувања не дошле кај нас од некоја магија. Често пати работите се одлучени за нас од страна на општеството, од родителите, учителите и луѓето кои ги сакаме и им се восхитуваме. Но како доаѓаат нашите верувања? Дали тие се многу повеќе рационални и сериозни од тоа што се?

Големиот француски математичар и филозоф Рене Декарт, кој ги поставил темелите на аналитичката геометрија, напишал: „Мислам, значи постојам“. Ова за него можеби би било поточно да се каже: „Одлучив, значи постојам“.

Мораме да научиме да донесуваме сложени одлуки од коренот кон врвот, и од врвот надолу. Но како? Има два дела на секоја одлука: нејзините фактори и нивните врски, а расудувањата односно оценките ги користиме за да дадеме приоритет на нивните значења.

Одлуките се занимаваат со мерење на значењето, преференците т.е. давањето на предност и на можните влијанија. Ние правиме споредба на парови за да одлучиме колку еден елемент доминира над друг во однос на

определено својство т.е. колку е тоа поважно или повеќе преферирано или е повеќе веројатно.

Ние учиме како да донесуваме одлуки, а често пати и група на луѓе треба да донесуваат одлуки. Потребно е да работиме заедно за да донесеме правилна одлука, а дефиницијата за правилна одлука би можела да биде онаа која ќе ја донесе групата и истата ќе ја имплементира.

Одлуките треба да ги земаат предвид членовите на групата и нивните мислења, вклучувајќи ги и нивните одлуки и да води сметка за тоа какво значење и моќ имаат. Ние исто така може да се прашаме, ако гледаме наназад, ако одлуката била правилна во поглед на тоа што се случило во однос на нешто. Дали тоа што произлегува од него е добро на краток и на долг рок?

Нашите одлуки треба да ги опфатат сите позитивности и негативности илустрирани преку користа и загубите од изборот (сега) и нивните можности и ризици (во иднина). На одлуките им се потребни структури кои ги вклучуваат сите цели, фактори и алтернативи кои ги имаме предвид, заедно со нашите севкупни цели кои може да се индивидуални или групни. Треба да бидеме во можност да го мериме нематеријалното и да правиме компромис помеѓу критериумите кои треба да ги земеме предвид. И покрај комплексноста на проблемот кој го разгледуваме, нивото на сложеност на нашиот модел треба да биде според оценките на носачот на одлуки со што не треба да е премногу надмоќен за да е ефективен. Поважно е да имаме помалку сложен модел кој ќе предизвикува акции, наместо многу сложен којшто ќе биде парализиран од премногу детали.

#### 4.1.3. Видови интерес на одлучувањето

Повеќекритериумското одлучување вклучува многу критериуми и потребно е ние да направиме компромис помеѓу нив. За да направиме точен компромис потребни ни се бројки: какви броеви и како? Дали броевите се валидни и како тоа да го знаеме?

Одлучувањето го вклучува следново: мерење на нематеријалното; планирање; генерирање на множество на алтернативи; поставување на

приоритети; избор на најдобрата политика по пронаоѓањето на множеството на алтернативи; алокација на ресурси; утврдување на барањата; дизајнирање на системот; предвидување на резултатите; мерење на перформансите; осигурување стабилност на системот; оптимизација; разрешување на конфликти; и извршување на бенефициите, можностите и анализа на трошоците и ризиците. Потребно е да се структурира проблемот преку идентификување на релевантните елементи. Со правењето на овие експлицитни елементи, ни се овозможува да креираме иновативни акции преку истражување на одредени комбинации на елементи.

#### 4.1.4. Мерење на нематеријални фактори

По дефиниција нематеријално е нешто за кое нема скала за мерење. Кога мериме нешто ние користиме некоја од постоечките скали, со што добиваме броеви кои потоа ги интерпретираме колку се тие адекватни во врска со тоа што ние го имаме замислено. Мерењето нема значење само по себе. Мерењето е корисно само кога разбереме што истото значи во контекст на тоа за што планираме да го користиме. Нашите умови мора секогаш да ни кажуваат што значат броевите и да размислуваат на субјективен начин за да ги задоволат нашите потреби. Вредноста на мерењето се менува во зависност на тоа како истото ќе го користиме.

Според тоа објективно добиените броеви преку мерење секогаш мора да бидат субјективно интерпретирани. Нема друг начин освен субјективното интерпретирање на мерењата од нашите искуства да се претворат во нумерички мерења со што ќе постанат објективни, кога ние сите ќе сме согласни за намерата за која би се користеле мерењата.

Во научните методи, ние прво мериме а потоа даваме оценки односно расудувања за да ги интерпретираме резултатите. Во одлучувањето се користи обратен пристап, односно прво ние даваме наши расудувања или оценки кои ќе се користат за креирање на мерни скали кои ќе служат како приоритети.

Во одлучувањето со АХП методот користиме фундаментална скала од апсолутни броеви за да ги споредуваме нештата на секое својство, изведуваме скала на приоритети за елементите кои ги мериме во однос на својствата и

потоа ги синтетизираме сите овие приоритети за да добиеме една крајна општа скала, еднодимензионална унифицирана скала. Тој резултат го заменува тоа што човекот во науката го прави за да ги интерпретира нештата на крајот од формулите. Разликата е во тоа што ние имаме мерења кои се приспособени за конкретна ситуација, а формулата ни дава композитни резултати вклучувајќи многу скали, како на пример километри на час за кои е потребно знаење и искуство за да се интерпретираат.

Нема комплексна одлука за која ги знаеме најдобрите алтернативи и најдобрите одговори доколку не направиме заедничка анализа на нејзините бенифити, можности, трошоци и ризици (BOCR) и заеднички се согласиме за нејзините приоритети, со што се претпоставува дека одлуката тогаш ќе ни помогне да ги комбинираме BOCR за да го добиеме вкупниот финален одговор.

Може да се каже дека не го знаеме најдобриот резултат од одлуката сè додека нешто не се изврши. Дури ако и искуството ни дава некое чувство за најдобриот резултат, мораме да го извршиме нештото за да видиме дали резултатот од BOCR анализата ја поддржува нашата интуиција. Ако не ја поддржува, мораме да го проучиме моделот за да дознаеме што ги предизвикува разликите. Не треба да го прифаќаме како точен резултатот од BOCR анализата или од нашата интуиција, сè додека тие на крајот не доведат до ист резултат. Во такви ситуации треба да се спроведе процес на учење во моделот кој се ревидира за да се откријат нашите предрасуди или погрешни оценки и расудувања. Во екстремни случаи можеме дури да пронајдеме дека во моделот недостасуваат важни елементи. За да се спроведе ваква анализа не само што е возможно, туку е и неопходно да бидеме во состојба да го мериме нематеријалното.

#### 4.1.5. Најопшт закон на природата

Додека критичната улога на влијанието во речиси сите анализи е најважна, секогаш постои прашање за тоа како да го идентификуваме на начин кој ќе го разбираат луѓето. Во суштина, како да го измериме. Предизвикот е да се утврди што имаат влијанијата и какви се нивните ефекти и како да се



дејствува на нив кога на краток и долг рок се засегнати нашите интереси. За таа намена може да се користат сценарија.

Секогаш треба да ги бараме влијанијата (контролни критериуми) и да го утврдиме нивниот вид: економски, социјални, политички, технолошки, психолошки и сл. и треба да научиме да ги приоритизираме нивните важности и доминација. Потребно е да ги приоритизираме нивните потенцијални ефекти над луѓето, вклучувајќи ги и нивните преференци, и да научиме како да ги синтетизираме нив за да пронајдеме најдобра акција која може да ја преземеме за да ги задоволиме нашите цели (стратегиски критериуми) во однос на овие влијанија.

#### 4.1.6. Предизвици на одлучувањето

Една 20-годишна студија спроведена над повеќе од 400 деловни одлуки донесени од страна на јавни, приватни и непрофитни организација во САД, Канада и Европа (Nut, 2002) покажа дека моменталната состојба на корпоративното одлучување е жалосна. Имено, таа покажала дека е потрошено многу време на неефикасни состаноци кои често пати биле резултат на одлуките кои имале катастрофални последици.

#### **Моментална состојба на корпоративното одлучување**

- Најмалку 50% од сите одлуки завршуваат со неуспех.
- 33% од сите донесени одлуки никогаш не се имплементираат.
- 50% од имплементираниите одлуки се прекинуваат после 2 години.
- 66% од одлуките се базираат на погрешно спроведен метод.
- Практично секоја неуспешна одлука може да се спречи.
- Само 37% од оние кои ги донесуваат одлуките кажале дека јасно разбираат што нивната организација сака да постигне.
- Само 1 од 5 бил воодушевен за нивните тимски и организациски цели.
- Само 1 од 5 кажал дека има јасна граница помеѓу неговите задачи и целите на неговата организација (Харис анкета спроведена на 23,000 испитаници).

#### 4.1.6.1. Неефективни состаноци

Оние од нас кои редовно учествуваат на состаноци знаат дека има многу загубено време. Понекогаш се прашуваме дали она што е постигнато со тие состаноци е вредно за потрошеното време (Nelson, et al., 1995). Ова се некои статистики кои упатуваат на тоа дека можеби нашиот скептицизам е точен (Nelson, et al.1998).

- 11 милиони состаноци на ден во САД.
- Професионалците присуствуваат на вкупно 61.8 состаноци месечно.
- Истражувањата покажуваат дека повеќе од 50 проценти од времето за овие состаноци е загубено.
- Професионалците губат 31 час месечно во непродуктивни состаноци, или околу четири работни дена.

#### 4.1.7. Придобивки од систематско одлучување

И покрај горенаведените негативни забелешки, ќе признаеме дека состаноците се битни. Без нив ќе бидеме под диктатура. Со користење на систематска рамка за одлучување, како на пример, структуриран одлучувачки процес како што е АХП, можеме да ги претвориме залудните состаноци во продуктивни состаноци. Некои од придобивките се наведени во продолжение.

- Брзо изградување на консензус за целите, задачите и приоритетите.
- Усогласување на работните активности кон она што е важно за организациски успех.
- Користење на објектно планирање на буџетот наспроти ресурсно планирање на буџетот.
- Подобрување на брзината и ефикасноста на одлучувањето.
- Синтетизирање на постоечките корпоративни податоци со управувачките приоритети.
- Подобрување на одговорностите и резултатите со текот на времето.
- Постигнување на заштеди преку ефективна алокација на ресурси.

#### 4.2. Поим за оптимизација

Теоријата за оптимизација проучува како да се опише и постигне она што е најдобро, ако се знае да се мери и разликува што е добро а што е лошо.

Оптимизацијата се дефинира како наука која го одредува „најдоброто“ решение за одреден математички дефиниран проблем. Оптимизацијата не е само нумеричка постапка за одредување на оптимумот. Со проучување и примена на различни оптимизациони методи се стекнува способност за препознавање на оптимумот и во оние проблеми кои не се комплетно математички формулирани.

Процесот на одлучување се содржи од три општи чекори:

- запознавање со системот,
- одредување мера на ефикасност и
- оптимизација,

што значи дека за оптимизацијата е неопходно познавање на системот и мерките за вреднување.

Постапката за решавање на оптимизационен проблем има 5 фази:

1. Формулација на проблемот;
2. Изработка на математички модел кој го репрезентира реалниот систем;
3. Избор и примена на методи и избор на алгоритми и програма за компјутер;
4. Тестирање на моделот добиен со решенијата;
5. Имплементација.

Во инженерската пракса за планирање на системот се користи пристапот на „дискретни модели“ кога наместо изработка на сеопфатен математички модел се проектираат разни варијанти на решенија. За ваквиот пристап постапката за решавање на оптимизационен проблем ги има следниве фази:

1. Формулирање на проблемот;
2. Собирање на податоци за системот;
3. Дефинирање на критериуми за вреднување на алтернативните решенија;
4. Формулирање на алтернативни решенија;
5. Вреднување на алтернативите;
6. Оптимизација – избор на најдобрата алтернатива;
7. Завршно проектирање и

## 8. Имплементација.

Во некои случаи се користат и двата пристапа. За да се примни некоја оптимизациона метода, во поголем број случаи е потребна математичка формулација на проблемот, односно математички модел.

### 4.2.1. Математички модели и оптимизација

Тргувајќи од претпоставките дека за голем број одлуки во конкретни ситуации може да важат претходно дефинираните варијанти на процесот на донесување на одлуки при разгледување на деловите на една одлука, односно на пониските одлуки, и дека е потребно истите да се донесуваат врз основа на аргументирани докази може да се усвои дека математичките модели и оптимизационите методи имаат значајна, а во некои случаи и незаменлива улога во најбитните фази во овој процес.

Под математички модел на реален систем се подразбира множество од математички релации (формули, равенки, неравенки, логички услови, оператори итн.) кои ја опишуваат функцијата на системот, односно ја одредуваат состојбата на системот, во зависност од параметрите на системот, влезови, почетни услови и времиња.

Оптимизационен математички модели има три елементи во вид на тројка (MM, L, F) каде што:

MM – математички модел во општ смисол (релации помеѓу величините во системот);

L – множество на ограничувања и

F – функции на критериумите.

### 4.2.2. Задачи на оптимизацијата

Задачата на оптимизацијата на системот е да изврши избор на најдобрите варијанти од можните или поволни варијанти во смисла на воведување на критериуми. Таквата најдобра варијанта се нарекува оптимално решение на оптимизационата задача.

Оптималното решение претставува компромис помеѓу желбите (критериумите) и можностите (ограничувањата).

Критериумите обично се изразуваат со критериумска функција која за најдобрата варијанта (решение) треба да го достигне глобалниот екстрем, со оглед на ограничувањата кои го условуваат постигнувањето на целта на оптимизацијата. Од математички аспект оптимизацијата се сведува на одредување екстрем на критериумската функција.

#### 4.2.3. Шематски приказ на процесот на оптимизација

Шематскиот приказ на општиот процес на оптимизација е даден на слика 4. Оптимизацијата е сложен процес за доаѓање до решение и се одвива во повеќе фази и во повеќе нивоа.

Основни фази или чекори во оптимизацијата се:

- се дефинираат целите и намените на системот и се идентификуваат начините за постигнување на саканите цели;
- формален опис на системот и дефинирање на начин за вреднување на критериумските функции;
- усвојување на конечно решение или донесување на конечна одлука и
- ако конечното решение не е усвоено, се средуваат новите информации за повторно дефинираната задача.

На нивото за одлучување клучна улога има носачот на одлуките. Во сложени системи често носачот на одлуките не е само една особа, туку тоа е група на луѓе со специфични карактеристики. Во такви случаи техничкото ниво треба на носачот на одлуките да му предложи множество на добри одлуки, водејќи сметка за тоа да го олесни донесувањето на конечната одлука, што значи дека предложените решенија треба да се јасни, кратко и прецизно образложени и нивниот број да биде релативно мал. Постапката за донесување на конечната одлука зависи од структурата на носачот на одлуката, множеството на решенија кои се презентираат и широките општествени норми.



Слика 4. Шематски приказ на процесот на оптимизација  
 Figure 4. Schematic representation of the optimization process

#### 4.3. Повеќекритериумско одлучување

Во случај на еднокритериумска оптимизација, носачот на одлуките имплицитно ја задржува слободата да ги прифати, примени или отфрли решенијата добиени врз основа на математичкиот модел за оптимизација.

Надградувањето на еднокритериумската оптимизација е познато во теоријата како линеарно и нелинеарно програмирање, теорија на игри, динамичко програмирање итн.

Наведените методи имаат своја примена во пракса, но тие не се применливи кај многу реални проблеми каде што постои избор помеѓу повеќе алтернативи со или без повеќе спротивставени или делумно спротивставени критериуми. Реалните критериуми имаат некои заеднички особини, како на пример, избор на голем број на атрибути, различност на атрибутите, неспоредливи единици мерки итн. Решението е избор на најдобрата алтернатива од зададеното множество т.е. од дефинираните алтернативи.

Моделите кои од почеток формираат математички модел за одреден реален проблем водат сметка за повеќе критериуми истовремено се развиваат во областа на повеќекритериумска оптимизација.

Има повеќе причини кои влијаат на тоа проблемите на повеќекритериумска оптимизација да бидат суштински различни во однос на проблемите на еднокритериумска оптимизација. Основната е во тоа што сите фактори кои влијаат на одлуката, односно сите резултати кои би имале евентуално решение, се разгледуваат како критериуми чии вредности треба да бидат оптимални. Значи, треба да се најде решение кое најдобро по сите разгледувани критериуми истовремено земајќи го фактот дека некои од нив во скоро сите проблеми на одлучување меѓусебно се делумно или потполно конфликтни.

Покрај тоа, разгледуваните критериуми може по својата природа да бидат многу разновидни и изразени во различни мерни единици, од парични единици, преку единици за физички величини, до веројатности или субјективни проценки дадени според некоја скала која се формира за конкретниот проблем. Сето ова укажува дека конечното единствено решение не може да се одреди без учество на носачот на одлуките.

Прецизната дефиниција на научниот пристап којшто ја дава аргументираната подлога за донесување на правилни одлуки во низа значајни и сложени области од организационото делување е присутна во заглавјето на секој број од реномираниот англиски журнал за научната област оперативни истражувања.

„Journals of Operational Research“: „Операционите истражувања се примена на научни методи во комплексни проблеми поврзани за управување на големи системи, луѓе, машини, материјални и парични средства во индустријата, делувањето, јавната управа и војната одбрана. Основа карактеристика е да се развие научен модел за системот, вклучувајќи мерење на такви фактори како што се шансите и ризикот, со кои се предвидува и се споредува резултатот од алтернативните одлуки, стратегии и управувачки акции. Целта е да се помогне на носачот на одлуки научно да ја одбере својата политика и управување”.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Заглавје на секој број од реномираниот англиски журнал од научната област оперативни истражувања “Journal of Operational Research”

Повеќекритериумската оптимизација се разгледува како повеќекритериумско и како повеќецелно одлучување. Разликата е во тоа што кај повеќекритериумското одлучување се бира најдобрата алтернатива, додека кај повеќецелното одлучување се бира онаа алтернатива која најдобро ја исполнува дефинираната цел.

Основите на повеќекритериумската оптимизација е наоѓање на модел за еднокритериумските функции иницирани од реални проблеми во кои носачот на одлуките мора да води сметка за повеќе цели. Повеќекритериумската оптимизација е област каде што се формира математички модел за одреден математички проблем, водејќи притоа сметка за повеќе цели истовремено. Основно е дека треба да се најде решение кое е најдобро според сите разгледувани критериуми, кои може да бидат изразени со различни мерни единици, различни парични единици, различни веројатности за појавување или субјективни процени зададени според некоја мерка или некои други причини. Сето ова укажува дека без носач на одлуки конечно решение нема.

Задачата на повеќекритериумското одлучување е во случаи кога се разгледуваат важни одлуки, како што се одлуките во врска со капитални вложувања, ги карактеризираат релативно голем број на критериуми. Колку бројот на критериуми е поголем, задачите за анализа се посложени и потешки. Во одлучувањето учествуваат голем број поединци или групи и сите тие фаворизираат свои системи на вредности, односно критериуми кои најдобро ги отсликуваат критериумите на групата на која припаѓаат. За ефикасно анализирање на одлуките и пронаоѓање на соодветно решение критериумите се групираат.

Вообичаени се следниве групи на критериуми:

- економски,
- технички,
- технолошки,
- социјални и
- еколошки.





Класификацијата на проблемите постоела уште во класичните времиња. Во IV век пр.н.е. древниот грчкиот филозоф Епикур ги класифицирал желбите на луѓето во две групи: залудни или напразни желби (на пример: желбата за бесмртност) и природни желби (на пример: желбата за задоволство). Ваквата класификација требала да помогне за пронаоѓање на внатрешен и душевен мир. Денес класификацијата на проблемите се јавува природно во нашиот секојдневен живот. Еден доктор, на пример, го дијагностицира проблемот на пациентот врз основа на неговите симптоми и потоа го сместува во одредена патолошка класа за да може да му ја препише соодветната терапија и третман. Во претпријатијата проектите често пати се сортираат во категории кои се базираат врз основа на приоритетот на проектот. Не така одамна, една студија покажала дека повеќе од 20 милиони Бразилци преминале од ниските социјални категории (D и E) во категорија C, првото ниво од средната класа, и сега се активни потрошувачи, а сето тоа се должи на зголемувањето на легални вработувања (Observador 2008). Ураганите и циклоните се класифицирани во една од петте Staffir – Simpson категории врз основа на нивната брзина на ветер, површински притисок и висина на плимата.

Сите овие примери покажуваат дека многу често се јавуваат деликатни проблеми за одлучување. Проблемите за одлучување, како што се рангирањето, изборот и сортирањето на проблемите, често пати се комплексни бидејќи тие вообичаено вклучуваат повеќе критериуми. Луѓето веќе не земаат само еден критериум (на пример: цена) во донесувањето на одлуките. За изградување на долгорочни односи и донесување на одржливи и еколошки прифатливи решенија, компаниите исто така разгледуваат повеќе критериуми во нивниот процес на одлучување.

Методите за анализа на повеќекритериумско одлучување ( Multi – criteria decision analysis – MCDA) се развиени за поддршка на донесувачите на одлуки во нивниот процес на одлучување. MCDA методите овозможуваат техники за пронаоѓање на компромисно решение. Тие се разликуваат по тоа што го сместуваат донесувачот на одлуки во центарот на процесот на одлучување. Тие, исто така, не се методи кои доведуваат до исто решение за секој носач на одлуки, но вклучуваат субјективни информации. Субјективните информации,

познати како информации за избор, се обезбедени од страна на носачот на одлуки и истите доведуваат до донесување на компромисно решение.

Табела 1. Категории на проблеми за одлучување  
Table 1. Category of decision problems

Одлука	Временска перспектива	Новитет	Степен на структурата	Автоматизација
Стратегиска	долг рок	нови	низок	Ниска
Тактичка	среден рок	приспособливи	средно – структуриран	Средна
Операциона	краток рок	секој ден	добро дефиниран	Висока

MCDA е дисциплина која опфаќа математика, менаџмент, информатика, психологија, социјални науки и економија. Неговата примена е уште поголема бидејќи може да се користи за решавање на кој било проблем во кој централно место зазема донесувањето на одлука. Овие одлуки може да бидат тактички или стратегиски, зависно од временската перспектива на последиците (табела 1).

Голем број методи се развиени за решавање на повеќекритериумските проблеми. Овој развој е во нагорен раст (Wallenius и останатите, 2008). И бројот на академски публикации поврзани со MCDA е во постојан раст. Оваа експанзија се должи на ефикасноста на истражувачите и развојот на специфични методи за различни типови на проблеми кои се среќаваат во MCDA. Софтверот кој е на располагање, вклучувајќи табели кои содржат пресметки за методите, ад хок имплементации, веб или апликации за паметни телефони, ги направија MCDA методите подостапни и придонесоа за раст во користењето на MCDA методите помеѓу истражувачите и заедницата на корисници.

#### 4.3.2. Дефинирање на процесот на повеќекритериумско одлучување

Разни теории за начинот на кој луѓето ги донесуваат одлуките (дескриптивни теории) или теории за начинот на кој луѓето треба да донесуваат одлуки (нормативни теории) се стари колку и човештвото. Секако, сите овие теории не се окарактеризирани како строги научни пристапи, кои ги среќаваме во литературата денес. Затоа, не е изненадување тоа што литературата од

областа на одлучувањето е во постојан напредок. Меѓутоа, во исто време, развојот на перфектни методи за одлучување, за рационалниот, вистинскиот живот и понатаму останува недостижна цел. Оваа контрадикција помеѓу ширината, односно опсегот на проучување по ова прашање и недостижноста на крајната цел на реална применливост на истраженото, претставува парадокс на одлучувањето.

Повеќекритериумското одлучување е една од најпознатите гранки во одлучувањето. Се однесува на ситуации на одлучување во кои постојат поголем број, најчесто, конфликтни критериуми, со што се овозможува решавање на реални проблеми. Сите класични оптимизациони методи користат само еден критериум при одлучувањето, односно решаваат, со што драстично се намалува и реалноста на проблемот кој може да се реши. Од друга страна, присуството на поголем број критериуми во моделите за одлучување има и негативни карактеристики. Моделите стануваат значајно сложени во математичка смисла, па постои опасност дека решението на проблемот ќе ги опфаќа само некои од поставените критериуми. Поради тоа, реалните проблеми биле решавани различно од случај до случај, дури подоцна се развиени формализирани методи и се лансирани како методи за решавање на одделни категории на проблеми.

Спектарот на проблемите на повеќекритериумското одлучување е голем, но и покрај тоа сите овие проблеми имаат некои заеднички елементи:

1. голем број критериуми (функција на цел, функција на критериумите), односно атрибути за одлучување, кои ги креира носачот на одлуките;
2. конфликт помеѓу критериумите, како најчест случај кај реалните проблеми;
3. неспоредливи единици мерки за различни критериуми;
4. голем број на алтернативи (решенија) за избор и
5. процес за избор на едно конечно решение, кое може да биде проектирање на најдобрите акции (алтернативи) или избор на најдобрите акции од множеството на претходно дефинирани конечни акции.

Според многу автори, врз основа на последната (петта) карактеристика, повеќекритериумското одлучување е поделено на *повеќецелно одлучување* и

*повеќеатрибутивно одлучување* или *повеќекритериумска анализа*. Меѓутоа, многу често термините *повеќецелно* и *повеќеатрибутивно одлучување* се користат за да се претстави иста класа на модел, односно многу често се користат како синоним за *повеќекритериумско одлучување*.

Повеќекритериумското одлучување ги проучува проблемите за одлучување во кои процесот на одлучување е континуиран. Типичен пример е математички програмски проблем за повеќецелна функција. Од друга страна, повеќеатрибутивното одлучување е концентрирано на проблеми кај кои нема континуитет во процесот на одлучување. Кај овие проблеми множеството на алтернативи е предодредено. Разликите во овие две наведени групи може да се согледаат од табела 2.

Табела 2. Особини на повеќецелно и повеќеатрибутивно одлучување  
Table 2. Characteristics of multi-goal and multi-attribute decision making

	<b>Повеќецелно одлучување</b>	<b>Повеќеатрибутивно одлучување</b>
<b>Критериум (дефиниран)</b>	Цели	Атрибути
<b>Цел</b>	Експлицитна	Имплицитна (лошо дефиниран)
<b>Атрибут</b>	Имплицитен	Експлицитен
<b>Ограничувања</b>	Активни	Неактивни (вклучени во атрибутите)
<b>Акции (алтернативи)</b>	Бесконечен број (континуални)	Конечен број (дискретни)
<b>Интеракција со носачот на одлуки</b>	Изразена	Не е изразена
<b>Примена (решавање на моделот)</b>	Проектирање (наоѓање на решенија и избор)	Избор/евалуација (решенијата се познати)

Вообичаено е проблемите на повеќецелно одлучување да се нарекуваат „добро структурирани проблеми“, а проблемите на повеќеатрибутивното одлучување да се нарекуваат „лошо структурирани проблеми“, согласно со нивниот преглед на карактеристики кој е даден во претходната табела.

Иако методите за повеќекритериумско одлучување се различни, многу од нив имаат некои заеднички аспекти. Накратко ќе бидат дефинирани карактеристичните поими кои се појавуваат кај овие модели:

- **Алтернативи** – претставуваат различни избори на акции кои се на располагање на носачот на одлуки. Множеството на алтернативи

подразбира ограничено множество, во ранг од неколку до стотина (неколку стотина). Се претпоставува дека алтернативите се проверени, приоритизирани и можеби рангирани.

- **Повеќекратни атрибути** – секој проблем на повеќекритериумско одлучување е поврзан со повеќе атрибути. Атрибутите на друг начин се нарекуваат цели или критериуми за одлучување. Атрибутите претставуваат различни димензии од кои може да се разгледуваат алтернативите. Во случај кога бројот на критериуми е голем, критериумите може да бидат подредени во хиерархиска смисла. Тоа значи дека некои критериуми се поважни од други, односно да е поглавен критериум. Секој главен критериум може да биде поврзан со неколку поткритериуми итн. Иако некои методи за повеќекритериумско одлучување може да бараат хиерархиска структура помеѓу критериумите за одлучување, повеќето од нив претпоставуваат само едно ниво на критериуми (нема хиерархија).
- **Конфликт меѓу критериумите** – бидејќи различни критериуми репрезентираат различни димензии на алтернативите, тие може да бидат во меѓусебен конфликт.
- **Неспоредливи единици** – различни критериуми може да бидат поврзани со различни мерни единици. На пример, во случај на купување на половен автомобил, критериумите цена и поминати километри може да бидат мерени во евра и во илјади километри, респективно. Поради тоа проблемите за повеќекритериумско одлучување се тешки за решавање.
- **Тежина на одлуките** – повеќе од методите за повеќекритериумско одлучување побаруваат на критериумите да им бидат доделени тежини според нивната важност. Обично, овие тежини се нормализирани така што нивниот збир е еднаков на 1.
- **Матрица на одлучување** – проблемите за повеќекритериумско одлучување може да бидат претставени во матрична форма. Матрицата на одлучување е  $(m \times n)$  матрица во која елементот  $a_{ij}$  ги претставува особините на алтернативите  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) кога таа е оценета спрема критериумот за одлучување  $C_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Исто така, се

претпоставува дека носачот на одлуките ги одредил тежините на релативните особини на критериумите за одлучување  $w_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ).

Матрицата на одлучување е дадена во табела 3.

Табела 3. Матрица на одлучување  
Table 3. Decision matrix

Алтернативи	Критериуми				
	$C_1$ ( $w_1$ )	$C_2$ $w_2$	$C_3$ $w_3$	...	$C_n$ $w_n$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	...	$a_{1n}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	...	$a_{2n}$
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{m3}$	...	$a_{mn}$

#### 4.3.2.1. Поим и видови на атрибути

Во приватниот и во деловниот живот се среќаваме со бројни проблеми за одлучување. Понекогаш тие проблеми се однесуваат на купување на автомобил, куќа или на деловни проблеми, како што се зголемување на профитот, вредност на фирмата, добар имиџ итн. Во најголем број проблеми за одлучување, остварените резултати ги анализираме од повеќе аспекти и ги оценуваме нив според повеќе критериуми.

На пример, да претпоставиме дека сакаме да купиме куќа. Покрај цената, како ограничувачки фактори, потребни ни се и други информации кои исто така се битни за донесување на одлуката за купување, како што се: квадратура на куќата, распоред на просториите, локацијата, оддалеченоста од работното место итн. Исто така, ако купуваме автомобил, изборот ќе го детерминира цената, годината на производство, потрошувачката на гориво, трошоците за одржување, марката итн. Слично е и со деловните одлуки, каде што менаџерите покрај профитот, водат сметка и за одржувањето на добри деловни односи, зголемување на имиџот на фирмата и сл. Значи, алтернативните или резултатните акции ги прикажуваме со неколку или цела

низа на карактеристики. Некои од тие карактеристики можеме прецизно да ги изразиме во различни единици мерки, додека другите ги изразуваме описно.

Избраните карактеристики според кои алтернативите меѓусебно се разликуваат ги нарекуваме атрибути или критериуми, а правецот движење на атрибутите, како на пример, минимизирање на цената или максимизирање на профитот ги дефинираме како цели кои со одлука сакаме да ги постигнеме.

Атрибутите меѓусебно се разликуваат по многу својства, а најзначајни се:

- прецизноста со која може да се мерат и
- насоката на корелацијата помеѓу вредноста на атрибутите и користа кои тие ја нудат.

А) Според степенот на мерливост атрибутите ги делиме на:

- квантитативни и
- квалитативни.

**Квантитативни атрибути** се карактеристиките на атрибутите кои можат прецизно да се измерат на т.н. кардинални скали (скала на интервали и скала на односи или релациона скала). Квантитативни атрибути би биле цена, километража, квадратура, обем на производство, остварен профит итн. Атрибутите ги изразуваме во различни мерни единици (пари, метри квадратни, тони, проценти итн.), а понекогаш исти атрибути можеме да ги мериме на повеќе мерни скали.

**Квалитативни атрибути** се такви карактеристики чишто модалитети не можеме да ги изразиме *нумерички*. Овие атрибути можеме да ги поделиме во две групи, и тоа:

- атрибути чишто вредности не може прецизно да ги измериме, но може да се рангираат по интензитет. Во оваа група на атрибути спаѓаат: знаење и интелигенција на кандидатот, безбедност при работа, сигурност на добавувачот и сл. Врз основа на овие карактеристики може да се формира ранг листа на алтернативи по приоритет.



- Чисто квалитативни атрибути, врз основа на кои не можеме да вршиме никакво квантитативно подредување на алтернативите. Во оваа група на атрибути можеме да ги вброиме: вид на работно искуство на кандидатот, дизајн на производот, локација на стан итн. Ако оваа категорија на атрибути ја користиме за оценување на алтернативите, тогаш на нивните модалитети се придружуваат описи со кои се изразуваат нашите вкусови и преференции. На пример, дизајнот на производот можеме да го опишеме со различни модалитети, како што се: исклучително лош, делумен, многу добар, одличен.

Б) Другиот критериум според кој се разликуваат атрибутите е насоката на корелацијата помеѓу нивните вредности и користа која ја нудат. Според насоката на сообразување разликуваме:

- приходни атрибути,
- расходни атрибути и
- немонотони атрибути.

Ако со пораста на вредноста на атрибутот расте и нашата корист, атрибутот го нарекуваме приходен. Во оваа група на атрибути спаѓаат: ефикасност, сигурност, профит, па при изборот на алтернативите се раководиме за максимизација на нивните вредности.

Ако со пораста на вредноста на атрибутите нашата корист опаѓа, тогаш атрибутот го нарекуваме расходен. Тоа, на пример, се: оддалеченост од работно место, загаденост на воздухот, потрошено време по единица производ итн. Во овој случај, со изборот на алтернативите настојуваче да ги минимизираме вредностите на расходните атрибути.

Немонотони атрибути се оние кои во еден сегмент од своите вредности имаат директна, а во друг сегмент инверзна корелација со нашата корист. На пример, оптималната вредност на температурата и количината на светилна во работната просторија се наоѓаат во рамките на интервалот на можни вредности на атрибутот ( $f_{\min} < f_{\text{opt}} < f_{\max}$ ). Друг пример би можел да биде квадратурата на куќата, бидејќи оптималната величина не мора да значи и

задолжително и нејзина максимална вредност (голема куќа побарува големи трошоци за одржување, загревање и сл.).

#### 4.3.3. Избор на атрибутите и нивна формулација

Атрибутите претставуваат карактеристики на алтернативите кои се релевантни во конкретниот избор за разгледуваниот проблем за одлучување. За разлика од алтернативите кои се однапред дефинирани, атрибутите секогаш самостојно ги избираме и ги формулираме. Тоа значи дека нивниот избор е субјективен, бидејќи множеството на атрибути го одразува нашиот индивидуален став, односно ги открива нашите специфични цели кои сакаме да ги постигнеме со донесување на одлуката. Поради тоа множеството на атрибути ќе биде различно за секој од нас, а ќе се разликува и според бројот и содржината или според значењето со кое им пристапуваме.

Изборот на атрибутите е многу значајна фаза во повеќекритериумското одлучување. Во оваа фаза се одлучува како ќе се следи реализацијата на поставените цели, па листата мора да биде:

- комплетна и
- исклучителна.

**Комплетност** на листата на атрибути подразбира дека се опфатени сите аспекти на проблемот кои се значајни при изборот. Листата на атрибути се изведува врз основа на листата на сите подцели кои служат за реализација на главната цел.

Другата особина која мора да биде задоволена е **исклучителност**. Тоа значи дека атрибутите треба да бидат формулирани така што не ќе постои преклопување во нивната содржина, бидејќи дуплирањето на карактеристиките во постапката на оценување на алтернативите би можело да предизвика поголемо влијание од реалното.

Покрај изборот на атрибутите, посебно внимание треба да се посвети на формулацијата на атрибутите. Понекогаш се случува атрибутите и целта да бидат идентични, како на пример „профит“ и „максимизација на профитот“ или „цена“ и „минимизација на цена“, додека пак во други случаи ќе бидат

различни. Многу е важно да се воочи наместо карактеристика која природно се наметнува да се избере оној показател кој ќе ја одрази суштината на поставената цел. На пример, кога го разгледуваме атрибутот „оддалеченост на куќата од работното место” можеме да го изразиме објективното растојание, изразено преку број на километри. Меѓутоа, суштината на целта што сакаме да ја постигнеме е „минимизација на времето за патување до работата”, која многу прецизно може да се прикаже со „просечното време поминато на пат”.

Во текот на изборот и формулацијата на атрибутите се јавува и проблемот на квантификување на квалитативните карактеристики. Имено, поради прецизноста во оценувањето и меѓусебното споредување на алтернативите, потребно е квалитативните карактеристики да ги изразиме со квантитативни показатели кога тоа е можно, со тоа истите ќе ја покажат суштината на соодветната цел. На пример, при купување на стан, „локација” можеме да ја изразиме преку цената на квадратот во тој реон.

Другата група на квалитативни атрибути ја сочинуваат оние кои не може да се квантификуваат. Тогаш се користат некои од помалку познатите скали, како на пример, квалитет на хотелски соби кој се изразува преку бројот на ѕвезди; тежината на скијачка патека е обележана со боја: сина, црвена или црна и сл. Ваквите скали мора да имаат доволно нивоа за јасно да се воочи разликата помеѓу модалитетите на разгледуваниот квалитативен атрибут. За одделен атрибут е доволна скала со две нивоа, што покажува дали алтернативата ги има или ги нема соодветните карактеристики (модалитетите на атрибутот се да и не). Во најголем број случаи се користи скала со 5 нивоа, при што на броевите од 1 до 5 им се препишуваат различни нивоа на атрибутите. На пример, 1 – исклучително лошо, 2 – лошо, 3 – средно, 4 – многу добро, 5 – одлично. Во одделни случаи е потребно да се формулира скала со повеќе нивоа, на пример од 1 до 100, со цел на прецизен начин се искаже разликата помеѓу бројните атрибути за разгледуваниот квалитативен атрибут.

#### 4.3.4. Формулација на математички модел за повеќекритериумско одлучување

Моделот за повеќекритериумско одлучување одговара на лошо структурираните проблеми и ја има следнава општа математичка формулација:

$$\text{Max}\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x), n \geq 2\}$$

при ограничувања

$$x \in A = [a_1, a_2, \dots, a_m]$$

каде што:

$n$  – број на критериуми (атрибути),  $j = 1, 2, \dots, n$ ,

$m$  – број на алтернативи (акции),  $i = 1, 2, \dots, m$ ,

$f_j$  – критериуми (атрибути),  $j = 1, 2, \dots, n$ ,

$a_i$  – алтернативи (акции) за разгледување,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,

$A$  – множество на сите алтернативи (акции).

Притоа се познати и вредностите  $f_{ij}$  на секој разгледуван критериум  $f_j$  добиени со секоја од можните алтернативи  $a_i$ :

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

Секој атрибут треба да обезбеди средство за оценување (евалуација) на нивоата на еден критериум (цел). Погolem број атрибути треба да ја карактеризираат секоја акција (алтернатива) и тие се избираат врз основа на избраните критериуми од страна на носачот на одлуки.

Типичен начин на прикажување на проблемите на повеќекритериумско одлучување е матрична форма. Во матрицата се прикажуваат вредностите за одделни алтернативи:

$$\begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ \dots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

#### 4.4. Проблем за одлучување

Проблемот на одлучување можеме да го опишеме на различни начини. Можеме да го сфатиме како настан кој има последици. Доаѓа до појава на настан кој создава проблем или проблематична ситуација која неповолно влијае на поставените цели. Во рамки на настанатата проблемска ситуација може да постојат еден или повеќе проблеми за одлучување кои треба да се решат.

Постојат повеќе поделби на проблемите за одлучување. Според една поделба тие може да бидат очекувани или неочекувани, во зависност од тоа дали се работи за настани кои се планирани или тие се случајни. Другата поделба на проблемите за одлучување може да биде надворешен или внатрешен карактер на проблемот за одлучување, во зависност од физичкото присуство на носачот на одлуките.

Roy (1981) идентификува четири главни типови на одлуки, односно проблеми за одлучување:

1. Избор на проблемот. Целта е да се избере најдобрата опција или да се редуцира групата на опции на подмножества на еквивалентни или неспоредливо „добри“ опции. На пример, менаџерот избира вистинска личност за одреден проект.
2. Сортирање на проблемот. Опциите се сортираат во подредени и однапред дефинирани групи, наречени категории. Целта е да се прегрупираат опциите со слични однесувања или карактеристики за опис, организациони или предикативни причини. На пример вработените може да бидат оценувани за класифицирање во различни категории, како што се: „натпросечни вработени“, „просечни вработени“ и „слаби вработени“. Врз основа на оваа класификација може да бидат преземени неопходните мерења. Сортирањето на методите е корисно за повторна или автоматска употреба. Тие, исто така, може да бидат користени како иницијални прегледи за да се редуцира бројот на опции кои треба да бидат разгледувани во наредните чекори.
3. Рангирање на проблемот. Опциите се подредуваат од најдобри до најлоши според значење на резултатите или споредување на паровите

итн. Подредувањето може да биде делумно ако се разгледуваат опции кои се неспоредливи. Типичен пример е рангирањето на универзитетите според неколку критериуми, како што се: квалитетот на наставата, експертиза на истражувањата и можностите за кариера.

4. Опис на проблемот. Целта е да се опишат опциите и нивните последици. Ова обично се прави во првиот чекор за да се разберат карактеристиките на проблемот кој се решава односно одлучува.

Во MCDA заедницата се предложени и дополнителни типови на проблеми:

5. Елиминација на проблемот. Vana e Costa (1996) предложил елиминација на проблемот, како посебна гранка во сортирање на проблемот.
6. Дизајнирање на проблемот. Целта е да се идентификуваат или да се креираат нови акции, коишто ќе ги исполнуваат целите и аспирациите на носачот на одлуки.

Кон оваа листа на проблеми може да се додаде дека целта е извлекување на параметрите кои се фаворизираат (или субјективната информација) за одреден MCDA метод. Покрај тоа, кога во проблемот се вклучени повеќе носачи на одлуки треба да се користи соодветна група на методи за одлучување при носењето на одлуките.

За појавата на проблемот за одлучување носачот на одлуките може да биде подготвен. Под тоа се подразбира способност на носачот на одлуките да воочи појава на проблем за одлучување.

Тоа може да се оствари на два начина и тоа:

1. Непосредно набљудување на настаните кои довеле до проблемот, што вклучува набљудување на симптомите и знаковите кои најнапред предупредуваат за настанот;
2. Забележување на последиците од настанот во различни временски моменти по неговата реализација и неговата појава.

Треба да се напomenи дека одлуките се донесуваат за секој проблем за одлучување. Тоа значи дека на секој проблем му одговара процес на одлучување. Затоа фазите и процесот на одлучување се моделираат во однос

на еден проблем. Притоа, содржината и обемот на фазите може да биде различен во однос на одделни (различни) проблеми.

Во пракса се ретки случаите кога постои совршено решение за задачите на повеќекритериумското одлучување. Разликите во критериумите, посебно на нивните потполни или делумни конфликти, ја претставуваат суштината на проблемот на повеќекритериумско одлучување. Затоа концептот на совршено решение е многу ограничен од теориско и практично значење. Носачот на одлуки треба на крајот да усвои некое решение. Решението кое ќе го прифати носачот на одлуки се нарекува најдобро или преферирано решение.

Задачата на повеќекритериумското одлучување е да му помогне на носачот на одлуките да го избере решението кое смета дека е најдобро за даден проблем. Затоа напорите во решавањето на поставениот повеќекритериумски проблем често се нарекуваат повеќекритериумска анализа.

Фактот дека задачите на повеќекритериумското одлучување по правило немаат совршено решение упатува на преиспитување на концептот на оптималност во контекст на постоење на повеќе критериуми. Со други зборови, бидејќи не постои решение кое е најдобро по сите критериуми истовремено, нема оправдување за тоа да се земе некое решение дека е оптимално. Кога не постои совршено решение на задачата за повеќекритериумско одлучување, во одредувањето на најдоброто решение пресудна улога има носачот на одлуките. Тој одлучува што му е поважно и кое решение го прифаќа (преферира).

Зависно од тоа како и кога носачот на одлуки се вклучува во решавањето на проблемот се разликуваат три основни пристапи, односно три групи на методи за решавање:

- апостериори пристап,
- априори пристап,
- интерактивен и кооперативен пристап.

Носачот на одлуки во апостериорниот пристап се вклучува во анализата и решавањето на својот проблем по одредувањето на множеството

доминантни решенија, значи апостериори. Тој треба да го избере најдоброто решение. Задачата на аналитичарите е од допусливото множество да издвои подмножество доминантни решенија.

Во априори пристапот носачот на одлуки треба однапред, пред решавањето на задачата на повеќекритериумското одлучување, да го искаже својот однос спрема критериумите. Ова може да се направи со утврдување на приоритетите или хиерархија на критериумите, со одредување на релативните односи помеѓу секои два критериуми или на некој друг начин. Врз основа на тоа аналитичарот треба со решавање на задачата да му предложи на носачот на одлуките едно решение кое највеќе одговара на неговите исказни преференции.

Недостатокот во овој пристап е тоа што носачот на одлуките тешко може од еден обид прецизно да го одреди својот став спрема критериумите, особено на начин кој побарува одреден математички модел или метод.

Тој, по правило, се противи однапред експлицитно да каже каков однос помеѓу критериумите постои ако тоа подоцна ќе му претставува обврска. Едно што е извесно е дека тој решението го бара во множеството доминантни решенија. Со анализата на решенијата за разни множества на тежински коефициенти, на пример, носачот на одлуките може да го препознае меѓусебниот однос на критериумите и решенијата и да добие подобар увид во суштината на проблемот.

Априорниот пристап е теоретски највеќе разбирлив и практично највеќе се применува. Развиени се многу априори методи за повеќекритериумско одлучување. Некои од нив се прилично едноставни и тоа им дава голема предност за практична примена во посебни ситуации.

Интерактивниот пристап ги опфаќа методите кои ги комбинираат априорниот и апостериорниот пристап со активно учество на носачот на одлуките. Пристапот се заснова на континуирано користење на компјутер во фазата на одлучување и корисничко реализирано опкружување. Современите софтверски алати треба на носачот да му пружат моќна поддршка во експериментирањето со различните множества од своите преференции.



Едноставното и брзо извршување на разни анализи треба да го олеснат конечниот избор на носачот на одлуки.

Очигледно е дека интерактивните методи подразбираат интензивно користење на експертски системи и системи засновани на знаење. Овие системи би требало да содржат систематизирани знаења за претходни решенија на слични задачи и на интелигентен начин да ги користат за да му помогнат на носачот на одлуките. Во таа смисла ваквиот пристап претпоставува одредена соработка помеѓу носачот на одлуките и компјутерот. Затоа се нарекуваат кооперативни.

Интерактивните и кооперативните пристапи се модерни и претставуваат најголем предизвик. Проблемите кои притоа треба да ги решаваат се интересни и се со гледиште на вештачката интелигенција и софтверска имплементација. Математичките истражувања на задачите на повеќекритериумското одлучување остануваат претежно во рамки на априори и апостериори пристапите.

Во процесот на донесување на одлуки се појавуваат проблеми со две или повеќе функции на цел и истите може да се решат со методите на повеќекритериумска оптимизација. За да се изврши сестрано и објективно споредување помеѓу голем број на оценети алтернативи во системот со голем број на различни критериуми, дадени во различни единици, често со различни релативни значења и со различни барања за минимизација или максимизација, потребно е да се користат методи за повеќекритериумска оптимизација, а тоа значи дека проблемот на повеќекритериумско одлучување се сведува на задача за утврдување на конечниот ранг на алтернативите.

При изборот на критериумите кои влегуваат во повеќекритериумската база за одлучување треба да се води сметка за тоа со што помал број на различни критериуми да се добие сеопфатна и објективна слика во согласност со барањата кои носачот на одлуки ги поставува. Употребата на повеќе критериуми кои исто значат може лесно да се претвори во сопствена противречност и деформирање на основната слика, притоа форсирајќи ги резултатите во одредена насока. Изборот на критериумите треба да се изврши

преку максимална селективност и приспособување на конкретниот проблем, па во таа смисла се големи одговорноста и креативноста на носачот на одлуки.

Значи, општите карактеристики на секој повеќекритериумски проблем за разлика од еднокритериумски проблем се огледуваат во присуството на следниве елементи:

- повеќе критериуми (функција на цел, функција на критериуми) за одлучување;
- повеќе алтернативи (решенија) за избор;
- процес на избор на едно конечно решение.

#### 4.4.1. Анализа на проблемот за одлучување

Анализата на проблемот за одлучување е релативно нова област во теоријата на одлучување. Таа претставува филозофија која овозможува систематски и формално да се пријде на проблемите за одлучување, а истовремено нуди и практичен пристап до проблемот користејќи ги потребните концепти.

Анализата на проблемот на одлучување отсекогаш била една од основните задачи во активностите на секое човечко суштество, бидејќи луѓето отсекогаш сакале таа задача да ја остварат на најефикасен начин.

Кај проблемот на одлучување вниманието е насочено на три поими и тоа: 1) процес на одлучување, 2) носач на одлуките и 3) одлуката. Носачот на одлуките располага со неколку алтернативи, па неговиот избор подразбира споредување на тие алтернативи и анализа на нивните последици. Под одлука може да се подразбере момент во тековен процес на анализа на алтернативите кој се спроведува поради постигнување на одредена цел, каде што носачот на одлуките мора да избере акција која најверојатно води до постигнување на зададената цел.

Анализата на процесот на одлучување во организациите не се разликува од одлучувањето на поединците. Носачот на одлуките во организациите има поголема одговорност, бидејќи треба да ги оствари целите на организацијата, неговата одлука има далекосежно значење и влијание. Меѓутоа, теоријата на

одлучување на може во потполност да го замени интуитивното размислување на секој поединец. Дозата на интуиција мора да постои и таа е различна кај секој поединец. Теоријата на одлучување треба да му помогне на носачот на одлуките неговото размислување да биде што повеќе успешно.

#### 4.5. Преглед на методите за евалуација и селекција

За решавање на проблемите кои беа дефинирани претходно се развиени ад-хок методи. Во продолжение во табела 4 се дадени методите кои се користат за решавање на проблемите поврзани со евалуација и селекција.

Табела 4. Видови на методи за евалуација и селекција  
Table 4. Type of methods to evaluation and selection

Методи за преквалификација/ Methods for prequalification	MCDA техники/ MCDA techniques	Моделите на математичко програмирање / Mathematical programming models	Методи на вештачка интелигенција/ artificial intelligence methods	Комбинирани методи/ combined approaches	Неопределена логика/ Fuzzy logic
Категорички методи/ categorical methods DEA Кластерска анализа/ cluster analysis	AHP ANP TOPSIS MAUT/UTA MACBETH POROMETH EE ELECTRE I TOPSIS	Линеарно програмирање/ Linear programming Повеќецелно линеарно програмирање/ multi-objective linear programming (MOLP) Целно програмирање/ goal programming	Case based reasoning CBR Вештачки невронски мрежи/artificial neural networks	AHP + TOPSIS AHP+MOLP MAUT/AHP+LP	Методи на неопределена логика/Fuzzy logic Methods

##### 4.5.1. Методи за преквалификација

Преквалификација е процес на намалување на множеството на сите опции (на пример: понуди) во помало множество од прифатливи опции. Различните методи кои спаѓаат во оваа категорија се опишани во продолжение.

#### 4.5.1.1. Категорички метод

Во основа, категоричките методи се квалитативни модели. Се базираат на историски податоци и на искуството на оценувачот. Откако опциите ќе бидат оценети според сите критериуми, носачот на одлуките го дава конечниот поредок. Примарна предност на категоричкиот метод е тоа што помага да се структурира процесот на евалуација на чист и систематски начин.

#### 4.5.1.2. Data envelopment analysis (DEA)

DEA е систем за класификација којшто ги дели опциите на две категории, „ефикасни“ или „неефикасни“. Опциите се оценуваат врз основа на две множества на критериуми, т.е. влезови и излези. DEA смета дека една опција има релативна ефикасност од 100%, ако таа произведува множество на излезни фактори коишто не се произведени од друга опција со дадено множество на влезни фактори.

#### 4.5.1.3. Кластерска анализа

Кластерската анализа е основен статистички метод којшто користи алгоритам за групна класификација на низа елементи коишто се опишани преку множеството на резултати од нумеричките атрибути во рамки на еден кластер каде што разликите помеѓу предметите во рамки на истиот се минимални, а пак разликите помеѓу предметите од другите кластери се максимални. Оваа класификација се користи за намалување на големо множество на опции во помало подмножество.

#### 4.5.2. Повеќекритериумски методи за одлучување

Најчесто во изборот на најдобрата наша поставена цел учествуваат повеќе критериуми кои често се наоѓаат во конфликтни ситуации едни во однос на други. За таа цел има развиено повеќе методи, некои од нив се опишани во продолжение.

#### 4.5.2.1. Аналитички хиерархиски процеси (АХП)

Аналитички хиерархиски процеси е метод за донесување одлуки којшто е развиен за одредување на приоритетот на алтернативите кога повеќе критериуми треба да бидат земени предвид. Овој метод му овозможува на носачот на одлуките да го структурира проблемот во вид на хиерархиска структура или во вид на множество од интегрирани нивоа. АХП методот во себе вклучува квалитативни и квантитативни критериуми. Хиерархијата вообичаено се состои од три различни нивоа: цел, критериуми и алтернативи. Бидејќи АХП користи скала за сооднос за човековото расудување, тежините на алтернативите ќе ја рефлектираат релативната важност на критериумите кои се користат за постигнување на целта која се наоѓа на врвот од хиерархијата.

#### 4.5.2.2. Аналитички мрежни процеси (ANP)

ANP е сеопфатна техника за донесување на одлуки која ги бележи резултатите од зависностите и повратните информации во и помеѓу кластерите од елементи. АХП методот служи како почетна точка за ANP. Методот на аналитички мрежни процеси (Analytical Network Process – ANP) е многу поопшта форма на АХП, што ги вклучува повратните информации и меѓусебните зависности помеѓу атрибутите за одлучување и алтернативите. ANP е, всушност, спојување на два дела, каде што првиот дел се состои од контролна хиерархија или мрежа од критериуми и поткритериуми коишто ги контролираат интеракциите, а вториот дел е мрежа на зависности помеѓу елементите и кластерите.

#### 4.5.2.3. TOPSIS метод

Друга повољна метода за решавање на повеќекритериумски проблеми е TOPSIS. Според концептот на TOPSIS се дефинираат најблиските коефициенти за да се определи редоследот на сите опции и притоа се користат лингвистички вредности за да се проценат рејтинзите и тежините на факторите. TOPSIS се темели на концептот дека оптималните алтернативи треба да имаат најкратка оддалеченост од позитивното идеално решение и најголема оддалеченост од негативното идеално решение.

#### 4.5.2.4. MAUT (Multiple Attribute Utility Theory)

MAUT е предложена од страна на Min. H и претставува техника на линеарни тежински фактори. MAUT методот ја има таа предност што овозможува набавка на професионалци за да формулираат одржливи стратегии и истите се способни за ракување со повеќе конфликтни атрибути. Меѓутоа, овој метод се користи само за интернационална односно глобална селекција каде што средината е многу комплицирана и ризична.

#### 4.5.3. Модели на математичко програмирање

Моделите на математичко програмирање често пати ги земаат предвид само квантитативните критериуми. Овие модели му овозможуваат на носачот на одлуки да ги земе предвид различните ограничувања во изборот на најдобрата опција. Многу поважно, моделите на математичко програмирање се идеални за решавање на проблемите поврзани со селекција и евалуација, бидејќи тие можат да ги оптимизираат резултатите користејќи поединечен целен модел или пак повеќе целни модели.

##### 4.5.3.1. Повеќецелни модели

Овие модели ги решаваат оптимизациските проблеми во кои има два или повеќе критериуми кои се совпаѓаат.

##### 4.5.3.2. Модели на целно програмирање

Друга важна алатка е целното програмирање. За разлика од моделите на математичко програмирање, целното програмирање му овозможува на носачот на одлуките доволна флексибилност за утврдување на целните нивоа на различните критериуми и да го добие најдоброто компромисно решение коешто ќе биде колку што може поблиску до дефинираните цели.

#### 4.5.4. Методи на вештачка интелигенција

Моделите на вештачка интелигенција се компјутерски базирани системи, тие се тренираат од страна на носачот на одлуките и користат историски податоци и минати искуства. Овие системи обично многу добро се справуваат со комплексноста и неизвесноста кои се вклучени во процесот на селекција. Некои од овие методи се следниве:

##### 4.5.4.1. Case-Based-Reasoning (CBR) Systems

CBR системите спаѓаат во категоријата во т.н. методи на вештачка интелигенција. Во суштина CBR системот е софтверска база на податоци којашто му овозможува на носачот на одлуки да користи информации и искуства од минати слични ситуации за одлучување. CBR сè уште се нови и само неколку системи се развиени коишто можат да им се понудат на донесувачите на одлуки.

##### 4.5.4.2. Вештачки невронски мрежи

Вештачките невронски мрежи заштедуваат време и пари. Слабоста на овој модел е тоа што побарува специјализиран софтвер и квалификувани лица кои се експерти во оваа област.

#### 4.5.5. Неопределена (фази) логика

Во овој метод, говорни вредности се користат за да се процени рејтингот и тежините на различните фактори. Овие говорно изразени вредности можат да бидат изразени преку трапезоидни или триаголни неопределени (фази) броеви. Човековите расудувања вклучувајќи ги преференците често се нејасни и не може да се точно процени неговата склоност со точна нумеричка вредност. Рејтинзите и тежините на критериумите во проблемот се проценуваат со помош на јазични варијабли. Тие може да ја претворат матрицата на одлучување во фази (fuzzy) матрица на одлучување да креираат тежински нормализирана *fuzzy* матрица на одлучување, откако носачот на одлуките ќе ги собере сите *fuzzy* рејтинзи. На крај, коефициентите кои се

најблиску од секоја алтернатива ќе го одредат конечниот поредок на сите алтернативи.

#### 4.5.6. Комбинирани/хибридни методи

Некои автори ги комбинираат методите за одлучување во различни чекори од процесот на селекција. Degraeve и Roodhofs [20] развиле модел комбинирајќи ги моделот на математичко програмирање и TCO. Ghodsipour и O'Brien [27] ги интегрирале АХП и линеарно програмирање за да ги разгледуваат материјалните и нематеријалните фактори во изборот на најдобрата опција. Sanayei и останатите [86] презентирале ефективен модел користејќи ги MAUT и линеарно програмирање за решавање на проблемот за избор на најповолен понудувач. Shyur [87] презентирал ефективен модел, користејќи ги ANP и модифициран TOPSIS метод за приспособување т.е. усогласување на критериумите со меѓузависностите. Boran [12] претставил повеќекритериумски метод за донесување на одлуки користејќи fuzzy TOPSIS, за разрешување на неизвесностите т.е. двоумењата.

#### 4.6. Генерални карактеристики на АХП методот

Управувањето со проблемите често пати претставува сложена постапка, што значи дека тие често пати се опишани и дефинирани на многу општ и генерален начин. Намалувањето на оваа комплексност не побарува само стручни знаења, туку и аналитички вештини кои се поддржани од соодветна метода. Еден од концептите којшто помага во анализата на комплексноста на проблемите кои се разгледуваат е методот на аналитички хиерархиски процеси (АХП).

АХП методот е едно од можните решенија за изградба и примена на систем за повеќекритериумско одлучување. Тој е развиен во 70-тите години на минатиот век во САД. Во текот на изминатите децении истиот е предмет на многу методолошки истражувања и истиот се користи со успех во решавањето на многу практични проблеми.



Основач на АХП методот е Thomas Saaty, кој како професор на Wharton Business School во Филаделфија во раните 70-ти ги разработил методолошките основи на овој концепт. Поширок интерес за методот доаѓа во 80-тите години по објавувањето на публикацијата The Analytic Hierarchy Process од страна на реномираниот издавач MCGRAW – Hill. Се чини дека методот започнал да се популаризира и шири од основањето на основите за теорија на системи, како и од обидите да се развие и обезбеди формален опис на една од основните карактеристики на овој систем којашто L. Bertalanffy ја нарекува „хиерархиски поредок“.

АХП методот може да се дефинира како процес на формирање на хиерархиска структура за системот во поредок кој ќе изведе сеопфатна евалуација и финална селекција на едно од алтернативните решенија за одреден проблем. Методот, исто така, може да се сфати во поширока смисла како теорија на мерење, притоа користејќи квантитативни и/или квалитативни податоци.

Активностите кои се преземаат и кои се вклучени во решавањето на проблемот со помош на АХП опфаќаат две фази. Во **првата фаза** се формира хиерархиската структура на проблемот. Накратко, ова би значело идентификување на елементите на системот и групирање на истите во хиерархија. Сите елементи кои се наоѓаат на повисокото ниво влијаат односно дејствуваат на елементите од пониските нивоа. Оваа активност е слична со градењето на дрво на цел (goal tree). Во **втората фаза** секој од елементите се евалуира и се проверува конзистенцијата на евалуацијата. Евалуацијата се спроведува на тој начин што се споредуваат сите парови на елементи од конкретно ниво со секој елемент кој се наоѓа на повисокото ниво во претходно изградената хиерархиска структура. Резултатот од споредбите е збир на матрици, кои по нормализацијата и испитувањето на конзистенцијата ја формираат основата за формирање на конечната оценка на системот.

#### 4.6.1. Теориска основа на АХП методот

Saaty [19.3] опишува седум основни столбови на АХП методот, а тоа се следниве:

- скали на сооднос, пропорционални и нормализирани скали на сооднос;
- меѓусебна споредба на парови;
- сензитивност на основниот десен сопствен вектор;
- кластерирање и користење на пивоти за проширување на скалата;
- синтеза на креираната еднодимензионална скала на односи која го репрезентира вкупниот резултат;
- задржување на рангот и обратно;
- интегрирање на групните расудувања т.е. оцени.

Користењето на скала на соодноси за споредби гледано од перспектива на финалниот резултат ни помага во унифицирањето на мултидимензионалноста на проблемот во една единствена димензија. Споредбата на портокали и јаболка може да се оствари ако нивните својства се сведат на бездимензионални величини, како што се соодносите на својствата во некои специфични димензии или величина. Односите се непроменливи со множење на позитивни величини.

На пример, ако метална палка со должина од  $A$  метри се споредува со дрвена палка со должина  $B$  метри лесно може да ја утврдиме разликата помеѓу овие две палки, бидејќи нивните должини се изразени во мерни единици. Должината на металната палка е  $A - B$  метри помала во однос на дрвената палка, во зависност од тоа дали  $A - B$  е позитивна или негативна величина. Да претпоставиме дека тежината на металната палка е  $U$  килограми, а, пак, на дрвената палка е  $K$  килограми. Според тоа ние можеме да ги споредуваме тежините како  $U - K$  и да утврдиме дека металната палка е  $U - K$  килограми полесна или потешка од дрвената. Можеме да видиме дека мерењето на двете својства е сосема возможно со користење на некоја конкретна мерна единица. Ако сега го разгледаме проблемот на споредување на двете својства. Се поставува прашањето како е можно одеднаш да се споредат двете палки во однос на должината и тежината. Традиционалниот одговор би бил дека разликата во должините е  $A - B$  метри и разликата во тежините е  $U - K$  килограми. Која од овие две би требало да ја избере носачот на одлуките? Тоа ќе зависи од важноста која носачот на одлуки ќе им ја додели на тежината или должината. Ако претпоставиме дека  $Imp1$  е поважно во однос на тежината, а пак  $Imp2$  е поважно во однос на должината. Може ли тогаш носачот на

одлуките да ја избере металната или дрвената палка врз основа на вредноста добиена од  $Imp1 \times (A - B) + Imp2 \times (U - K)$ ? Одговорот, секако, е не, бидејќи мерните единици не се исти.

Трикот лежи во елиминирање на единиците. Наместо разликата, ако го земеме предвид односот на должините и односот на тежините на двете палки ќе можеме лесно да ги споредуваме двете палки во однос на повеќе димензии. Ова значи дека ако го земеме односот помеѓу должината на металната палка и должината на дрвената палка т.е.  $A/B$  и односот помеѓу тежините на двете палки т.е.  $U/K$ , можеме лесно да ја избереме палката која ќе зависи од вредноста добиена од  $Q = Imp1 \times A/B + Imp2 \times K/V$ . Сега да им доделиме вредности на овие променливи, нека  $A = 20$  метри,  $B = 80$  метри,  $U = 50$  kg,  $K = 25$  kg,  $Imp1 = 20$  и  $Imp2 = 10$ ; тогаш  $Q = 20 \times (20/80) + 10 \times 50/25 = 25$ . Што да правиме со ова  $Q$ ?  $Q$  треба да ја земе предвид вкупната важност на овие две димензии, т.е.  $Imp1 + Imp2 = 20 + 10 = 30$ . Оттука кога ќе го добиеме  $Q = 25$  него треба да го споредиме со 30. Се добива дека односот е помал од 1 (т.е.  $25/30$ ), според ова носачот на одлуки може да ја избере дрвената палка. Друг начин за да се добие ова решение е да се нормализираат важностите на критериумите; ако  $Imp1 = 20/30 = 0,67$  и  $Imp2 = 10/30 = 0,33$ , ова ќе ни помогне да ги направиме пресметките поедноставни. Како да ги добиеме  $Imp1$  и  $Imp2$ ? Можеме да ги земеме соодносите повторно!

Можеби е лесно да се измери должината и тежината на два различни објекти во некоја од предефинираните единици, како што се метри или килограми, и потоа да ги споредуваме нив со земање на односот помеѓу измерените вредности. Меѓутоа, кога е во прашање споредбата на два објекта или личности во однос на апстрактни својства како што се убавина, искреност, остроумност итн. како да го направиме тоа? За ова сценарио, единици за апсолутни мерења на постојат. Не само тоа: апсолутните мерења на два различни објекти кои се споредуваат, всушност, не се потребни. Апсолутните мерења се суштината на споредувањата. Овој факт, дека се потребни само релативни мерења, е фундаменталниот столб на кој се потпира АХП методот. Откако сфативме дека се потребни само релативни мерења, тоа би значело дека во одреден момент е потребно да споредуваме само два објекти во однос

на некое својство, критериум, поткритериум или цел. Ова сознание нè води до споредба на парови. Доаѓаме до заклучок дека релативните споредби на парови се она што носачите на одлуки го прават или би требало да го прават. Бидејќи го земаме односот на два објекта во однос на некој атрибут, лесно е да го претвориме во реципрочен однос. Меѓусебните, споредби на парови за релативни мерења се вториот столб на АХП. Дефинирана мерна скала за АХП е онаа од 1 до 9 изразена во апсолутни броеви. Ако  $A$  е конзистентна матрица, мали пертурбации во  $A$  не доведува до пертурбации во основниот сопствен вектор на  $A$ . Ако редот на матрицата,  $n$ , е мал тогаш мали пертурбации во  $A$  не предизвикуваат пертурбации во основниот сопствен вектор. АХП дозволува со кластрирање да се прошири скалата за споредување од  $1 - 9$  до  $1 - \infty$ . Оваа функција можеме да ја извршиме со земање на алтернативите во кластерот со измерените својства во ист ред и да ги споредиме со алтернативите од повисоките редови. На овој начин, многу мали алтернативи ќе бидат споредени со многу големи. Синтезата на глобалните приоритети на секое ниво од хиерархијата се врши со *мултилинеарна форма* на елементите на приоритетните вектори на пониските нивоа. АХП има добро развиена теорија и насоки за тоа кога да се запази рангот и кога може да се дозволи да се надмине истиот. АХП, исто така, обезбедува методологија која овозможува агрегација на индивидуалните расудувања односно оценки во групното одлучување.

Теоретски АХП се базира на четири аксиоми кои се дадени од страна на Saaty; тие се:

Аксиома 1: Носачот на одлуките може да спроведе споредба на парови  $a_{ij}$  на две алтернативи  $i$  и  $j$  кои одговараат на реципрочни критериуми/поткритериуми на скалата за соодноси т.е.  $a_{ji} = 1 / a_{ij}$ .

Аксиома 2. Носачот на одлуките не смета дека една алтернатива ќе биде неспоредливо подобра од друга во однос на критериумот т.е.  $a_{ij} \neq \infty$ .

Аксиома 3. Проблемот за одлучување може да биде формулиран како хиерархија.

Аксиома 4. Сите критериуми/поткритериуми кои имаат некакво влијание на дадениот проблем и сите релевантни алтернативи се претставени во хиерархијата.

Постојат три главни концепти зад АХП, тоа се следниве:

Силата на АХП методот е во тоа што тој е аналитичко-математичко и логичко размислување за доаѓање до одлуката. Ова ни помага во анализата на проблемот за одлучување на логички начин и помага во претоварање на интуициите и интуитивните чувства на носачот на одлуките во броеви коишто ќе може да бидат јавно испитувани од страна на другите и, исто така, ќе може да им бидат објаснети на другите.

*АХП го структурира проблемот како хиерархија* - хиерархиската декомпозиција доаѓа природно кај човекот. Смалувањето на комплексниот проблем во потпроблеми кои треба да се решаваат еден по еден е фундаменталниот начин на којшто работи носачот на одлуките. Доказите од психолошките студии сугерираат дека човечките суштества можат да споредат  $7 \pm 2$  работи во исто време. Значи за да се справиме со големи и комплексни проблеми за одлучување е потребно истите да ги поделиме т.е. расчлениме во хиерархија. АХП го следи тоа.

*АХП дефинира процес за одлучување* – Формалните процеси за одлучување се неопходни. Одлуките, посебно колективните, треба да се развиваат. Неопходно е процесот да ги вклучува влезовите, преработките и знаењата т.е. умењата на носачот на одлуките и истите треба да се споделат со останатите за да се дојде до колективна одлука. АХП е креиран за да го формализира процесот и истиот зазема научно рамниште. АХП помага во олеснувањето на природниот процес на одлучување.

#### 4.6.2. Идентификување на структурата на хиерархискиот систем

Секој систем е збир на елементи кои се меѓусебно поврзани. Овие елементи формираат одредена хиерархија, којашто е од суштинско значење за постоењето и опстанокот на многу други системи, природни или креирани од човекот. Системот е организиран во повеќе нивоа. Нивоата се разликуваат

според внатрешната структура и функции. Функциите на елементите на пониските нивоа се подредени на функциите на елементите од повисоките нивоа. Правилното функционирање на повисоките нивоа зависи од правилното функционирање на елементите од пониските нивоа.

Во поширока смисла можеме да издвоиме два вида на хиерархија: структурна и функционална. Структурната хиерархија ги означува релациите помеѓу составните компоненти на комплексен систем, каде што тие односи може да се сфатат како поредок во однос на структурните карактеристики (на пр: форма, волумен, боја, возраст). Структурната хиерархија е одраз на начинот на кој човечкиот ум ги анализира комплексностите преку разликување на видовите, класите, групите, подгрупите, типовите, множествата и подмножествата. Од друга страна, функционалната хиерархија се појавува во релациите помеѓу елементите на дадено хиерархиско ниво. Според овој начин елементите на дадено ниво не се потполно еквивалентни. Функционалната хиерархија означува дека ќе има и врски помеѓу нив од типот: „помалку значајни”, „повеќе значајни”.

Поделбата која беше направена погоре може да изгледа контроверзно. Ако функционалната хиерархија постои, во суштина ќе претставува форма на структурна хиерархија. Хиерархиските релации односно врски означуваат дека во пракса постои однос на подреденост и надреденост, но функционалните релации укажуваат на хоризонтална координација. Од друга страна, во изолираните хиерархиски нивоа се укажува на субординација во којашто не е неопходно подреденоста да биде од ист степен.

При креирањето на хиерархиската структура којашто ќе го одразува даден проблем треба да се има предвид дека човековата перцепција е ограничена. Ова е и една од причините зошто се предлага бројот на елементите во одредено хиерархиско ниво, како и хиерархиските нивоа за одреден проблем да не бидат поголеми од девет. Оваа сугестија е последица на експерименталните психолошки истражувања, кои покажуваат дека луѓето (на пример: шахисти) може да се справат со информации кои опишуваат само неколку работи истовремено. Еден од првите експерименти од овој тип беше спроведен во 1950 година од страна на George Miller, кој покажа дека можеме

да се справиме со седум факти одеднаш, плус или минус два. Поголемиот број факти може да предизвикаат некои од нив да бидат заборавени, со тоа нема да може да се изврши реално оценување.



Слика 5. Пример за хиерархиска структура во врска со енергетска политика на една држава

Figure 5. An example hierarchical structure concerning energy policy of a country

Слика 5 прикажува пример за хиерархиска структура за проблем за одлучување кој е решен со примена на АХП. Специфичните хиерархиски нивоа се дадени со броеви или се опишани со зборови. Во овој случај, како и во сите останати, целта секогаш се наоѓа на највисокото ниво, додека пак второто ниво се состои од критериумите за селекција. На дното односно на најниското ниво од хиерархијата се наоѓаат алтернативите.

Претставувањето на одреден систем во облик на хиерархиска структура не е помалку важно од покажувањето на релативните важности на одделните елементи од таа структура на функционирањето во целина. Во втората фаза на АХП се спроведува споредување на сите елементи и проверка на конзистенција на тие споредби.

#### 4.6.2.1. Како да се структурира проблем за одлучување

Можеби најкреативна задача во одлучувањето е избирањето на факторите кои се битни за одлуката. Во методот аналитички хиерархиски

процеси ги организираме овие избрани фактори во хиерархиска структура спуштајќи се од целите кон подкритериуми и алтернативи во последователни нивоа.

За луѓето кои не се запознаени со целите може да постојат загрижености и недоразбирање за тоа што да се вклучи и каде истото да се вклучи. Кога се гради хиерархијата мора да се вклучат доволно релевантни детали за: презентација на проблемот колку што е можно потемелно; но не толку темелно за да се загубат чувствителните промени во елементите; земање предвид на околината на проблемот; идентификување на проблемите или атрибутите кои придонесуваат за решението и идентификување на учесниците поврзани со проблемот. Подредувањето на целите, атрибутите, проблемите и засегнатите страни во хиерархија служи за две цели. Тоа дава целосен преглед на комплексните релации кои се присутни во ситуациите и му помага на носачот на одлуките да процени дали проблемите во секое ниво се со иста тежина. Така тој ќе може точно да ги спореди таквите еднородни елементи. Хиерархијата не мора да биде потполна, т.е. елементите на дадено ниво не мора да функционираат како атрибути (или критериуми) за сите елементи од пониското ниво. Хиерархијата не претставува традиционално дрво на одлуки. Секое ниво може да претставува различен дел од проблемот. Едно ниво може да ги репрезентира социјалните фактори, а друго може да ги претставува политичките фактори кои се оценуваат во однос на социјалните фактори или обратно. Понатаму носачот на одлуките може да вметнува или вади нивоа и елементи кога е потребно да се појасни задачата на поставените приоритети или да го насочи вниманието кон еден или повеќе делови од системот. Елементите кои имаат глобален карактер може да бидат репрезентирани во повисоките нивоа на хиерархијата, другите кои специфицираат карактеристики на проблемот може да се развиваат во длабочина на хиерархијата. Задачата на утврдување на приоритетите бара критериумите, својствата или карактеристиките на алтернативите да бидат споредливи, исто така и алтернативите кои се наоѓаат на исто ниво, така што би имало смисла нивното меѓусебно споредување во однос на елементите од повисоките нивоа.

Конечно, откако се донесени оцените врз основа на влијанијата на сите елементи и приоритети може да биде пресметана, понекогаш најмалку важните



елементи може да бидат отстранети за понатамошно разгледување, поради нивното мало влијание врз конечната цел. Приоритетите потоа може да бидат повторно пресметувани без притоа да се менуваат преостанатите оценки.

#### 4.7. Математичка основа на АХП методот

##### 4.7.1. Анализа на преференците

Преференциите во АХП се одредуваат врз основа на споредба на паровите, која вклучува оценка на секој елемент во однос на сите други кои се наоѓаат на исто хиерархиско ниво. Елементот се дефинира како објект кој служи како варијанта за одлучување или како евалуациски критериум. Референтна точка за споредување е елементот кој се наоѓа повисоко во хиерархијата.

$$[a_{ij}], \text{ каде што } i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

$$a_{ij} = 1 \text{ за } i = j, \quad (2)$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \text{ за } i \neq j \quad (3)$$

Матрицата на одлучување со горенаведените својства е резултат на споредбата на парови на сите елементи во даденото хиерархиско ниво во однос определена карактеристика (атрибут или критериум). Својството (1) означува дека се работи за матрица со димензии  $n \times n$ , каде што  $n$  е бројот на елементите кои се споредуваат. Својството (2) е израз за принципот на идентичност, кој кажува дека два идентични елементи кои се споредуваат еден во однос на друг не се разликуваат по преференциите. Немањето на разлика во преференциите се изразува со бројот 1. Затоа сите елементи кои се наоѓаат на главната дијагонала во матрицата се еднакви на 1.

Во споредбата помеѓу два елементи на дадено хиерархиско ниво, можеме да претпоставиме принцип дека елементот во редот  $i$  секогаш се споредува со елементот во колоната  $j$ . Според ова  $a_{ij}$  покажува колку повеќе (или помалку) е важен  $i$ -тиот елемент од  $j$ -тиот. Во АХП, исто така, се претпоставува дека изборите односно опциите се реципрочни, ова е изразено со својството (3). Ако велиме дека  $i$ -тиот елемент е, на пример,  $x$  пати поважен

од  $j$ -тиот елемент (на пр.  $a_{ij} = x$ ), тогаш по автоматизам претпоставуваме дека  $j$ -тиот елемент е  $1/x$  поважен од  $i$ -тиот елемент ( $a_{ij} = 1/x$ ).

Во споредбата на паровите од  $n$  елементи е доволно да ги внесеме само вредностите за споредување над главната дијагонала во матрицата  $A$ . Преостанатите вредности се еднакви на 1 (главна дијагонала) или се реципрочни на вредностите кои се внесени над главната дијагонала. Според ова, вкупниот број на споредби кој е потребен е еднаков на  $\frac{n(n-1)}{2}$ . Покрај тоа, кога експертите спроведуваат споредба на парови тие не е потребно да ги внесуваат нивните резултати во табелата како во матрицата  $A$ . Подобри резултати може да се добијат преку изготвување на соодветни скали. На пример, за 4 елементи кои треба да се меѓусебно споредат, доволно е да се направат 6 соодветни комбинации како во облик прикажан на слика 6.



Слика 6. Пример за споредбени комбинации за 4 елементи кои се испитуваат  
 Figure 6. An example of pair combinations for the 4 elements being examined

Прашањето за споредба се наметнува во ситуациите кога прецизното мерење на сите делови од карактеристиките на елементите кои се анализираат

не е можно. Затоа, се воведува соодветна евалуациска скала која ќе му овозможи на аналитичарот проценка на параметрите помеѓу множеството на комбинациони елементи. Во АХП се претпоставува дека скалата има вредности од 1 до 9, каде што елементот  $i$  е еднакво или повеќе важен од елементот  $j$ , додека пак реципрочната скала на оваа ( $1/2, 1/3, \dots, 1/9$ ) е кога елементот  $i$  е помалку важен од елементот  $j$ . За време кога се вршат споредбите се препорачува да се користат непарните броеви од 1 до 9. Ако постојат сомневања и несигурности во преференциите односно одлуките треба да се користат парни броеви. Деталната интерпретација на евалуациската скала е дадена во табела 5.

Табела 5. Евалуациска скала која се користи при споредување на паровите  
Table 5. Evaluation scale used in pairwise comparisons

Интензитет на важност	Дефиниција	Објаснување
1	Еднакво важно	Двете алтернативи еднакво придонесуваат за целта
3	Умерено важно	Врз основа на искуствата и процените се дава умерена предност на едната алтернатива во однос на другата
5	Строго важно	Врз основа на искуствата и процените строго се фаворизира едната алтернатива во однос на другата
7	Многу строга, докажана важност	Едната алтернатива изразено се фаворизира во однос на другата; нејзината доминација се докажува во пракса
9	Екстремна важност	Доказите врз основа на кои се фаворизира едната алтернатива во однос на другата се потврдени со најголема уверливост.
2, 4, 6, 8	Меѓувредности	Понекогаш е потребно да се интерполира компромисот помеѓу расудувањата со број
Реципрочни вредности на горенаведените	Ако активноста $i$ има една од гореспоменатите вредности кога се споредува со активноста $j$ , тогаш $j$ има реципрочна вредност кога се споредува со $i$	

Во практични ситуации имаме да комбинираме елементи коишто се изразуваат преку различни карактеристики. Овие споредби се можни само кога истите се прават во однос на некоја референтна точка. Како што е веќе споменато, оваа референтна точка е целта којашто се наоѓа највисоко во хиерархиската структура на разгледуваниот проблем. Со користење на скалата која е наведена погоре е креирана реципрочната матрица  $[a_{ij}]$  каде што  $a_{ij}$  ја покажува евалуацијата на експертот во изразувањето на преферирањето на  $i$ -тиот елемент во однос на  $j$ -тиот.

Сопствениот вектор  $w$ , кој одговара на максималната сопствена вредност  $\lambda_{\max}$  од матрицата на споредбени парови  $A$  е финалниот израз на преференциите помеѓу истражуваните елементи. Проблемот на определување на сопствен вектор води кон решавање на карактеристични матрични равенки. Карактеристичната функција е следнава<sup>2</sup>:

$$f(\lambda) = |A - \lambda I| = \begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n1} & a_{n1} & a_{nm} - \lambda \end{vmatrix} \quad (4)$$

и нејзината карактеристична равенка  $f(\lambda) = |A - \lambda I| = 0$  е претставена во форма на полином  $c_0\lambda^n + c_1\lambda^{n-1} + \dots + c_{n-1}\lambda + c_n = 0$ .

Сопствени вектори на матрицата  $A$  се секоја колона и ненултиот вектор  $X_i$ , за кои важи следново равенство:

$$(A - \lambda_i)X_i = 0 \quad (5)$$

Ако претпоставиме дека  $X_i = w$  за  $\lambda_{\max}$ , решението за сопствен вектор кој не интересира е дадено со равенството во продолжение:

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (6)$$

<sup>2</sup>Како што е познато, проблемот за пронаоѓање на метод за решавање на својствени вредности и својствени вектори на матрици е истражуван од голем број истакнати математичари, како што се Lagrange, Le Verrier, Jacobi и Laplace.

Во продолжение се дадени три методи за пронаоѓање на сопствен вектор кој одговара на  $\lambda_{\max}$ : Метод на Saaty, power метод и метод на геометричка средина.

**Методот на Саати** може да биде дефиниран како метод на нормализирани аритметички средини. Дадената матрица на споредбени парови се нормализира. Како резултат на нормализацијата, матрицата  $A$  се трансформира во матрица  $B = [b_{ij}]$ . Елементите на матрицата  $B$  се пресметуваат според следнава формула:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (7)$$

Пресметувањето на преференциите помеѓу елементите кои ги разгледуваме (сопствениот вектор  $w = [w_i]$ ) се врши со пресметување на аритметичка средина од редовите на нормализираната споредбена матрица. Компонентите на овој вектор се пресметуваат според формулата:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (8)$$

Максималниот сопствен вектор се пресметува според равенството:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i} \quad (9)$$

Методот кој е прикажан погоре за пресметување на сопствен вектор и сопствени вредности дава добри резултати кога има висока конзистенција помеѓу споредбените парови. Предноста на овој метод е тоа што пресметките се полесни во однос на другите два метода.

**Power методот** овозможува пресметување на сопствената вредност на преференциите со кое било ниво на прецизност. Во последователни итерации го апроксимираме сопствениот вектор, којшто го задоволува бараното ниво на прецизност  $\varepsilon$ , ќе биде конечниот вектор на преференциите. Итерациите (чекорите) се означени со буквата  $k$ , каде што  $k = 1, 2, \dots, m$ . Според тоа,

вкупниот број на итерации е еднаков на  $m$ . Со секој чекор последователно се добива подобра апроксимација  $w^k$  на сопствениот вектор на матрицата  $A$ . Ако во дадениот чекор се среќава новото на прецизност  $\varepsilon$  (т.е.  $k$  е еднакво на  $m$ ), финалната апроксимација на сопствениот вектор е векторот на преференците ( $w^m$ ). Првата апроксимација на сопствениот вектор е еднаква на:

$$w^1 = [n^{-1}, \dots, n^{-1}, \dots, n^{-1}]^T \quad (10)$$

За следните апроксимации ( $k \geq 2$ ) е воведена помошна вредност  $d^k = Aw^{k-1}$ . Следните апроксимации за посакуваниот вектор се еднакви на:

$$w^k = [w_1^k, \dots, w_i^k, \dots, w_n^k]^T, \quad (11)$$

$$w_i^k = \frac{d_i^k}{\sum_{i=1}^n d_i^k}. \quad (12)$$

Крајот на пресметките е постигнато кога

$$\bigwedge_{i=1, \dots, n} (\max |w_i^k - w_i^{k-1}| < \varepsilon) \quad (13)$$

Во секој чекор ние ги пресметуваме апроксимациите на максималниот сопствен вектор според следнава формула:

$$\lambda_{\max}^k = \sum_{i=1}^n d_i^k \quad (14)$$

**Метод на геометриска средина.** Тој е алтернатива на гореспоменатите методи. Равенството за едноставно пресметување на апроксимативните вредности на компонентите на сопствениот вектор користејќи го методот на геометриска средина е следново:

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n a_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}. \quad (15)$$

Компонентите на сопствениот вектор  $w$  се разбираат како изрази на преференците помеѓу елементите кои ги разгледуваме и истражуваме. Сумата од овие компоненти е еднаква на 1, т.е.  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

Како што е веќе споменато, во АХП сите елементи на дадено ниво се споредуваат со сите останати парови. Оваа споредба се одвива во однос на секој елемент кој се наоѓа на повисокото ниво во хиерархиската структура. Според тоа, резултатот од споредувањето е множество на матрици и нивните соодветни сопствени вектори.

Креираме матрица  $C$ , чишто колони се вектори на преференциите  $v$  за елементите кои се наоѓаат на даденото ниво од хиерархиската структура. Конечно, векторот на преференците  $x$  е еднаков на производот од матрицата  $C$  и векторот  $w$ , којшто е истовремено и вектор на преференците за елементите кои се наоѓаат едно ниво погоре во хиерархиската структура:

$$x = Cw. \quad (16)$$

#### 4.7.2. Евалуација на конзистенцијата на споредбите

Матрицата на споредбените парови е конзистентна (*матрица на конзистентност*) кога следново равенство е точно, за секој  $i, j$  и  $k$ :  $a_{ik}a_{kj} = a_{ij}$ . Оваа формула е израз за транзитивност на елементите, т.е. ако на пример  $E_2 \succ E_4$  (елементот  $E_2$  е поважен од елементот  $E_4$ ) и  $E_4 \succ E_1$ , тогаш  $E_2 \succ E_1$ .

Кога елементите кои се споредуваат се изразени во исти мерни единици и ние користиме соодветно прецизни мерни алатки, тогаш споредбата на паровите е непотребно. Одговорот на прашањето колку еден елемент е поважен од останатите е даден едноставно со комбинација на мерењата на сите елементи.

Матрицата на споредбени парови за прецизни мерење за било кој број на елемент е конзистентна матрица. Основачот на АХП, Thomas Saaty ги открил особините на овој вид на матрица која овозможува проверка на конзистенцијата на мерењата во ситуации кога не постои можност за спроведување на прецизни мерења.

Ние можеме да ги запишеме мерењата како  $w_1, w_2, \dots, w_n$ . Ако ние ги споредуваме мерењата за елементот  $i$  со мерењата за елементот  $j$ , резултатот од мерењето е вредност којашто се изразува како однос помеѓу  $w_i$  и  $w_j$ . Спротивното споредување помеѓу  $i$  и  $j$  е изразено како однос помеѓу  $w_j$  и  $w_i$ . Ако ја прифатиме оваа симетрија на споредби, матрицата која се креира има особено занимливо својство кое се покажува како полезно кога се испитува степенот на конзистенција во случаи кога ние ги немаме потребните алатки за мерење. Ние можеме да видиме дека:

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (17)$$

Ако ги означиме матрицата на споредбени парови со  $\mathbf{A}$  и векторот на мерењата со  $\mathbf{w}$  можеме да кажеме дека:

$$\mathbf{A}\mathbf{w} = n\mathbf{w} \quad (18)$$

Како што веќе отквивме, пресметките на векторот на преференците води до решение на следново равенство:

$$\mathbf{A}\mathbf{w} = \lambda_{\max} \mathbf{w}, \quad (19)$$

каде што  $\lambda_{\max}$  најголемиот сопствен вектор на матрицата. Ова е резултат на фактот дека споредбената матрица за точни резултати го следи следново својство:

$$\lambda_{\max} = n \quad (20)$$

Дискретна формулација (19) може да се генерализира како непрекинат случај со користење на равенката за интеграл на Fredholm од втор вид која е дадена како:

$$\int_a^b K(s, t)w(t)dt = \lambda_{\max} w(s) \quad (21)$$



$$\lambda \int_a^b K(s, t) w(t) dt = w(s) \quad (22)$$

$$\int_a^b w(s) ds = 1 \quad (23)$$

Каде што наместо матрицата  $A$  имаме позитивен кернел (јадро)  $K(s, t) > 0$ , со  $K(s, t) K(t, s) = 1$  кои исто така се конзистентни,  $K(s, t) K(t, u) = K(s, u)$ , за сите  $s, t$  и  $u$ . Внатрешноста на матрицата е определена како што кажавме претходно од две променливи  $i$  и  $j$  на кои им се доделени дискретни вредности. Па така, матрицата зависи од овие дискретни променливи и нејзината генерализација, кернел функцијата исто така зависи од овие две (непрекинати) променливи. Причината поради која ги нарекуваме кернел или јадро е во улогата која ја имаат во интегралот, без нив не би можеле да го утврдиме точниот облик на решението.

Ако  $K(s, t)$  е конзистентна, решението на (22) е дадено со:

$$w(s) = \frac{k(s)}{\int_s k(s) ds} \quad (24)$$

Во дискретен случај нормализираниот сопствен вектор не зависи од тоа дали сите елементи на матрицата на споредбени парови  $A$  се помножени со иста константа  $a$  или не, па според тоа можеме да замениме  $A$  со  $aA$  и да добиеме ист сопствен вектор. Генерализирајќи ги овие резултати имаме:

$$K(as, at) = aK(s, t) = k(as) / k(at) = ak(s) / k(t) \quad (25)$$

што значи дека  $K$  е хомогена функција од прв ред. Од ова следува дека

$$w(as) = ak(as) - \alpha ak(s) = \beta k(s) = bw(s) \quad (26)$$

Ако матрицата  $A$  е матрица на конзистентност, како во претходниот случај на споредување на прецизните мерења, тогаш секој ред е помножен со константа за соодветниот ред. Во овој случај сите сопствени вредности  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$ , со исклучок на една, се еднакви на нула. Во матричната алгебра следниов израз е добро познат:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{tr}(A) \quad (27)$$

каде што  $\text{tr}(A)$  е траг на матрицата  $A$  (т.е. сумата на сите елементи кои се наоѓаат на дијагоналата)<sup>3</sup>.

Според тоа, во случај на пропорционални конзистентни матрици равенството  $\lambda_{\max} = n$  е точно, бидејќи сите преостанати сопствени вредности се еднакви на 0.

Врз основа на горните аргументи, ние можеме да го формулираме следново тврдење: матрицата  $A$  е конзистентна ако и само ако  $\lambda_{\max} = n$ . Како што ќе видиме, овој израз игра фундаментална улога во евалуацијата на конзистенцијата на споредбите; кога ние немаме прецизни мерења, т.е. кога споредбите се направени од страна на експерт и се базираат на неговото знаење, искуство и интуиција.

Во случај на неконзистентни споредбени матрици следново тврдење е точно:

$$\lambda_{\max} \geq n \quad (28)$$

Ова тврдење може да се докаже под претпоставка дека резултатот од која било споредба помеѓу два елемент содржи одреден степен на грешка во споредувањето со конзистентната матрица којашто ги покажува прецизните мерења. Ако претпоставиме дека  $w_i$  и  $w_j$  се прецизни мерења и дека евалуацијата на експертот, односно донесувачот на одлуките е еднаква на овие мерења, тогаш:

$$a_{ij} \frac{w_i}{w_j} = 1, \quad (29)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = n \quad (30)$$

---

<sup>3</sup>Доказот на ова тврдење може да се најде во делото *Matrices and Transformations*, Anthony J. Pettofrezzo, pp. 85-86)

Ако отстапувањето од прецизното мерење го означиме со коефициентот  $\delta_{ij}$  тогаш:

$$a_{ij} = (1 + \delta_{ij}) \frac{w_i}{w_j} \quad (31)$$

Каде што  $\delta_{ij} \geq 1$ . Како што знаеме,  $a_{ij}$  е процената на експертот односно на донесувачот на одлуката. Условот за пропорционалност на матрицата на споредбени парови **A** е овој  $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ . Според тоа, користејќи го равенството

$Aw = \lambda_{\max} w$ , ние може да кажеме:

$$\lambda_{\max} - n = \frac{1}{n} \sum_{1 \leq i < j \leq n} \frac{\delta_{ij}^2}{1 + \delta_{ij}} \geq 0 \quad (32)$$

Како што можеме да видиме, бројот изразен со разликата  $\lambda_{\max} - n$  е мерка на отстапувањето односно девијацијата на неконзистентната матрица од конзистентната споредбена матрица. Врз основа на ова, ние можеме да користиме индикатори кои ја покажуваат конзистенцијата на проценките на експертот. За евалуација на конзистенцијата Т. Saaty го предлага следново решение:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (33)$$

Табела 6. Случаен и cut-off индекс на конзистенција  
Table 6. Random and cut-off consistency index

Големина на матрица (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случаен просек CI (r)	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49
Cut-off CI (10%)	0	0	0.052	0.089	0.111	0.125	0.135	0.14	0.145	0.149

Индексот на конзистенција (CI) се однесува на просекот на преостанатите решенија од карактеристичното равенство за неконзистентна матрица A. Овој индекс се зголемува пропорционално со неконзистенцијата на процените. Користејќи ја препорачаната скала за споредување (1/9, 1/8..., 1/2, 1, 2, 3 ... 9) вредностите за споредување на паровите се генерираат случајно.

Табелата 6 ги прикажува CI вредностите за матриците со димензии од 1 до 10. Матриците од повисок степен не се од наш интерес и не се разгледуваат бидејќи, според нашите претпоставки, максималниот број на споредбени елементи не смее да биде поголем од девет.

CI вредностите за случајните споредбени парови ( $r$ ) треба значително да се разликуваат од проценките на експертите. Изразот на овие разлики е *Односот на конзистенција* (CR).

$$CR = \frac{CI}{\text{случаен просек}CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{r(n-1)} 100\% \quad (34)$$

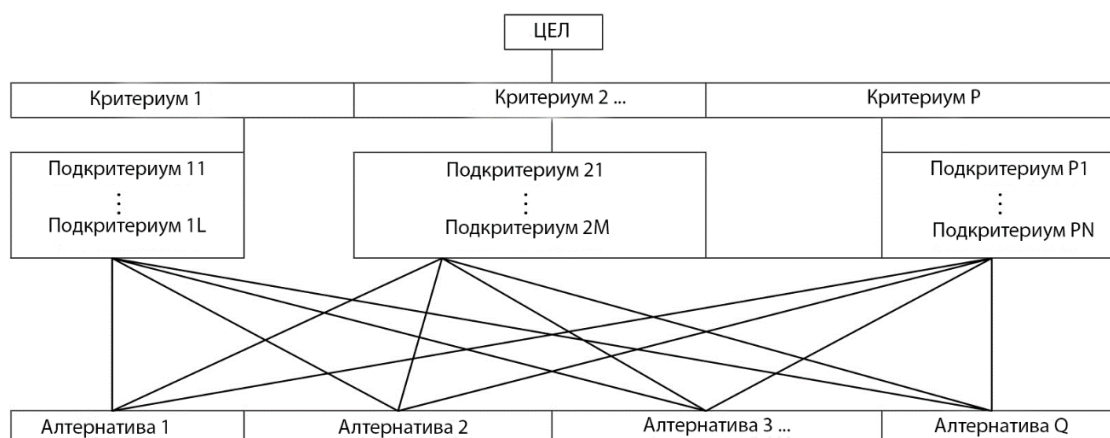
Конечно, проценките на експертот односно носачот на одлуките се сметаат за прифатливи ако CR е помало од 10%.

Во светската литература, освен методите прикажани горе, постојат и други методи за пресметување на векторот на преференците. Компаративни студии за методите базирани на максимални сопствени вектори се содржани во трудовите на Golany B и Kress M, како и на Takeda E и Cogger K.O. Интересен алгоритам за пресметување на максималниот сопствен вектор на пропорционални матрици во АХП беше предложен од Cogger и You. Овие автори предлагаат дека матрицата на споредбите треба да содржи само нули на главната дијагонала. Оваа пермиса го прави наоѓањето на максималниот сопствен вектор полесно, но од друга страна може да доведе до погрешни проценки. Покрај овие постојат и други методи за определување на векторот на преференците за матрицата на споредбени парови базирани на максималниот сопствен вектор.

#### 4.8. Алгоритам на АХП методот

АХП обезбедува средства за декомпозиција на проблемот во хиерархија од потпроблеми коишто може полесно да се разберат и субјективно да се оценат. Субјективните оценки т.е. евалуации се претвораат во нумерички вредности и истите се претовараат во ранг за секоја алтернатива на нумеричка скала. Методологијата на АХП методот може да биде објаснета преку следниве чекори:

Чекор 1: Проблемот се разложува во хиерархија од цел, критериуми, поткритериуми и алтернативи. Ова е најкреативниот и најважниот дел од одлучувањето и донесувањето на одлуката. Структурирањето на проблемот за одлучување како хиерархија е фундаментално за процесот на АХП. Хиерархијата го покажува односот помеѓу елементите на едно ниво со оние од пониските нивоа. Овој процес протекува од врвот до најниското ниво од хиерархијата и на тој начин секој елемент е поврзан со секој, барем на индиректен начин. Хиерархијата е многу поорганизирана форма на мрежа. Обрната структура на дрво е слична на хиерархијата. Saaty укажува на тоа дека корисен начин да се структурира хиерархијата е да се работи надолу почнувајќи од целта и потоа да се разработуваат алтернативите сè додека нивоата на двата процеса не се поврзат на таков начин на кој може да се прават споредби.



Слика 7. Генеричка хиерархиска структура

Figure 7. Generic hierarchical structure

Сликата 7 прикажува генеричка хиерархиска структура. На врвот односно коренот на хиерархијата е целта која може да биде мерлива или немерлива за конкретниот проблем што се проучува и анализира. Листовите во стеблото се алтернативите кои треба да се споредуваат. Помеѓу овие две нивоа се различните критериуми и поткритериуми.

Чекор 2. Податоците се собираат од страна на експерти или од оние кои ја носат одлуката. Експертот може да ги оцени споредбите како еднакво, слабо

јаки, јаки, многу јаки и екстремно јаки. Мислењето може да биде соберено во специјално дизајниран формат како што е прикажано на слика 8.

A							X		B
	Екстремно јако	Многу јако	Јако	Малку јако	Еднакво	Малку јако	Јако	Многу јако	Екстремно јако

Слика 8. Формат за споредба на парови  
Figure 8. Format for pairwise comparison

Колоната како „многу јако“ којашто е означена со „X“ идицира дека B е многу јако во споредба на A според критериумите по кои е направена споредбата. Споредбите се прават за секој критериум и се претвораат во квантитативни броеви, како оние што беа претходно опишани во табела 5.

Чекор 3. Споредбата на парови на различните критериуми генерирани во чекорот 2 се организира во квадратна матрица. Дијагоналните елементи на матрицата се 1. Критериумот во i-тиот ред е подобар од критериумот во j-та колона ако вредноста на елементот (i, j) е повеќе од 1; во спротивниот случај критериумот во j-тата колона е подобар од оној во i-тиот ред. Елементот (j, i) во матрицата е реципрочен на елементот (i, j).

Чекор 4. Основниот сопствен вектор и соодетниот негов нормализиран десен вектор на споредбената матрица ги даваат релативните важности на различните критериуми кои се споредуваат. Елементите на нормализираниот сопствен вектор се нарекуваат тежини во однос на критериумите и поткритериумите и рангови односно рејтинзи во однос на алтернативите.

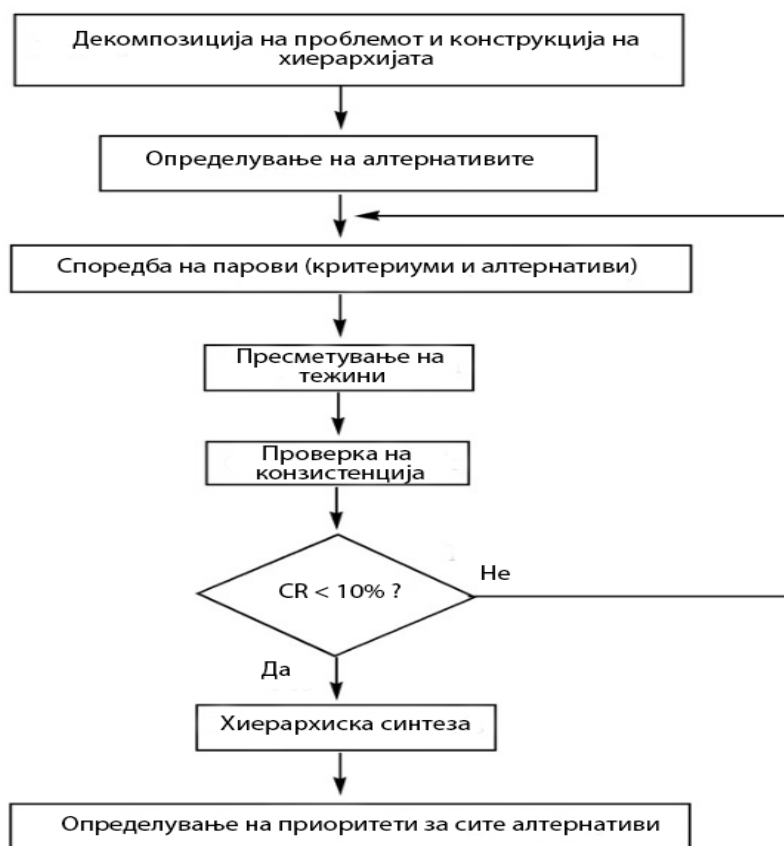
Чекор 5. Се евалуира конзистенцијата на матрицата од ред n. Споредбите кои се извршени со овој метод се субјективни и АХП ја толерира неконзистенцијата преку износот на редуванција во методот. Ако индексот на конзистенција не го задоволува бараното ниво, тогаш одговорите давани во врска со споредбите треба да бидат повторно разгледувани, односно треба да се изврши повторно оценување. Индексот на конзистенција како што беше претходно наведено се пресметува како:

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

каде што  $\lambda_{\max}$  е максималната сопствена вредност на матрицата на одлучување. Ова CI може да биде споредувано со тоа на случајната матрица, RI. Односот пресметан како CI/RI се нарекува однос на конзистенција, CR. Saaty сугерира дека вредноста на CR би требала да биде помала од 0,1 или 10 %.

Чекор 6. Рангот на секоја алтернатива е помножен со тежината на поткритериумот и се собрани во локален ранг во однос на секој критериум. Локалните рангови потоа се помножени со тежините на критериумите и се собираат за да се добие финалниот ранг.

АХП како резултат ги дава вредностите на тежините за секоја алтернатива базирани врз основа на оценките на важноста на една алтернатива во однос на друга за заедничкиот критериум. На слика 9 е прикажан дијаграм на алгоритмот на АХП, односно текот по кој се извршува методот.



Слика 9. Шематска презентација на методологијата  
Figure 9. Schematic representation of the methodology

#### 4.9. Примени на АХП методот

Откако е откриен АХП е применет во разни одлучувачки сценарија:

- избор – избор на една алтернатива од множество на алтернативи;
- приоритет/евалуација – одредување на релативната вредност на множество од алтернативи;
- алокација на ресурси – пронаоѓање на најдобрата комбинација на алтернативи кои подлежат на разни ограничувања;
- бенчмарк на процесот или системот со други познати процеси или системи;
- управување со квалитетот.

Домените во кои е применет АХП методот се здравство, одбрана, проектирање, технолошки предвидувања, маркетинг, цени на нови производи, економски предвидувања, евалуација на политики, социјални науки итн. Покрај примената во анализа на конфликтни ситуации, воени оперативни истражувања, регионални и урбани планирања, R & D менаџмент и истражување на вселената, АХП се развила како широкоприфатена методологија за одлучување и донесување на одлуки. Како што техниката еволуирала со текот на годините почнала да се применува во комбинација со други математички модели и аналитички техники.

Многу светски компании и организации го применуваат АХП методот во нивното секојдневно делување, некои од нив се: NASA, Boeing, 3M, Bank of America, AOL, IBM, HP, General Motors, Washington Gas, Sprint, Verizon, US Army и уште многу други.

На пример, NASA/DOE за одредување на извори на енергија на првиот lunar outpost ([www.nasa.gov/externalf/flash/LunarOutpost/](http://www.nasa.gov/externalf/flash/LunarOutpost/)) го користеле АХП за да ги одредат критериумите, како што се: сигурност, перформанси, доверливост и флексибилност во евалуацијата на алтернативите рангирани од фотоволтаичните ќелии од нуклеарните реактори. Една од алтернативите била наречена „power beaming” и вклучувала предавање на енергија на површината од месечината каде што фотоволтаичните ќелии ќе можат да ја претворат ласерската светлина во електрична енергија.



Дизајнерите во General Motors Advance Engineering Staff го користат АХП за да го евалуираат дизајнот на алтернативите, за спроведување на управување со ризици и да дојдат до најдобриот и најисплатливиот дизајн за автомобилите.

Тимовите во IBM го користат АХП методот за бенчмарк на интегрираниот производствен процес на компјутери во IBM во однос на другите компании од соодветната област.

#### 4.10. Предности и недостатоци на АХП методот

На предностите на Аналитички хиерархиски процеси како метод за поддршка на одлучувањето укажале бројни научници и практичари (Saaty, 1977, 1980, 1991, 2006, Schoemaker & Waid, Narasimhan, 1983, Harker & Vargas, 1987, Alphonse, 1997, Karlsson, 1998, Triantaphyllou, 2000, Sunn, 2001, Hamalainen, 2004). Во споредба со другите методи, АХП методот најчесто покажувал подобри карактеристики за употреба, и тоа е од големо значење, доколку се има предвид сè уште присутниот анимозитет на носачите на одлуки во однос на софистицираните методи за одлучување. Понатаму, АХП методот има и одредени недостатоци кои не се директно поврзани за методолошкиот ниту математичкиот темел на методот, но се наведуваат како негови ограничувања.

Од позначајните предности на АХП методот ги издвојуваме следниве (Saaty, 1977, 1980, 1991, 2006, Schoemaker & Waid, Narasimhan, 1983, Harker & Vargas, 1987, Alphonse, 1997, Karlsson, 1998, Triantaphyllou, 2000, Sunn, 2001, Hamalainen, 2004).

- АХП го структурира проблемот за одлучување и успешно симулира процес на донесување на одлуки од дефинирање на цел, критериуми и алтернативи, до споредување на критериумите и алтернативите во парови и добивање на резултати, односно утврдување на приоритетите на сите алтернативи во однос на поставената цел. Тој го декомпонира целиот процес на одлучување, така што го разложува проблемот во хиерархија од елементи на тој процес притоа почитувајќи го фактот дека носителот на одлуките на ментален план не го раздвојува процесот на проценување на критериумите од алтернативите, овозможување на

контрола на конзистентност на процените, водејќи сметка за целината на проблемот и функционалните интеракции помеѓу критериумите и алтернативите.

- АХП ги интегрира квалитативните и квантитативните фактори во одлучувањето. Праксата до воведувањето на АХП ги игнорирала важностите на квалитативните фактори во одлучувањето, притоа не земајќи предвид дека сите човечки проблеми се комбинација на психолошки и физички активности, квалитативни и квантитативни елементи. АХП е теорија на релативно мерење која користи апсолутна скала за мерење на квалитативните и квантитативните критериуми кои се хомогени и се темелат на оценките на експертите.
- АХП успешно ја идентификува и укажува на неконзистентноста на носачот на одлуките со следење на неконзистентноста во процените во текот на целата постапка, со пресметување на индексот и односот на конзистенцијата. Во текот на проценувањето, корисникот има осет дека програмскиот алат исправно го следи неговиот процес на размислување и дека навремено му укажува на тоа дали процената е конзистентна. Ова е важно кога се земе предвид дека носачите на одлуките ретко кога се конзистентни во своите проценувања во однос на квалитативните аспекти на проблемот. Кај комбинациите на квалитативни и квантитативни критериуми, можностите за појава на неконзистентност се најизразени.
- Редундантноста во споредувањето на парови доведува до тоа да АХП методот биде помалку осетлив на грешки во проценувањето.
- Кога се користи во групно донесување на одлуки, АХП методот значајно ја подобрува комуникацијата помеѓу членовите на групата. Доколку се спроведува дискусија, групата треба да се согласи околу сите заеднички процени кои ќе се вметнат во матрицата. АХП помага во структурирање на дискусиите и постигнување на консензус. Доколку зборуваме за групно одлучување во кое секое лице има можност за внесување на проценка, се избегнува можноста за т.н. спротивставено мислење, единствено мислење на сите членови на групата до кое се доаѓа поради големиот притисок на учесниците кои имаат различно мислење, секој

учесник учествува во заедничката дискусија, но на нејзиниот крај индивидуално ги внесува своите проценки. Со тоа се постигнува подобро разбирање, а во конечниот резултат членовите на групата имаат поголема доверба во избраната алтернатива.

- Одлучувањето со помош на АХП методот го зголемува знаењето за проблемот и брзо и јако ги мотивира носачите на одлуки. Преку процесот на одлучување се доаѓа до приближно решение за проблемот и притоа со обично поголема брзина отколку на големиот број состаноци и со помали трошоци за процесот на донесување на одлуки. Така добиените резултати може да се користат и како влезни податоци за проекти или студии за изводливост, односно за комплексни одлуки.
- Резултатите од одлучувањето со АХП методот не содржат само ранг на алтернативите, туку и информации за тежинските коефициенти на критериумите во однос на целта и поткритериумите во однос на критериумите.
- АХП му овозможува на носачот на одлуките анализа на осетливост на резултатите со помош на која се проверува стабилноста на добиените резултати на начин со кој се симулира однос помеѓу тежините на критериумите и приоритет на алтернативите.
- Постојат квалитетни програмски алати кои го поддржуваат АХП методот. Најчесто користен алат е Expert Choice (Expert Choice, 2000) кој има многу предности, како што се едноставност во моделирањето, интерфејс приспособен на просечен корисник на компјутер, можност за коригирање на оценките од страна на корисникот и др. Алатот SuperDecisions (SuperDecisions, 2006), исто така, поддржува примена на АХП методот, бесплатен е и развиен е за да поддржува користење на АХП и АНП методите во академски цели. Алатот DecisionLens (DecisionLens, 2007) е развиен во комерцијални цели за да овозможува примена на АХП во бизнис организации. Речиси сите најпознати американски компании го користат DecisionLens во одлучувањето, планирањето, алокацијата на ресурси и др. Основна карактеристика која го разликува од другите алатки е едноставниот интерфејс и примена.

АХП методот има и одредени ограничувања со кои корисниците може да се сретнат во текот на неговата примена, а многу научници се занимаваат со начините за нивно отстранување. Некои од тие ограничувања кои често се наведуваат во литературата се издвоени во продолжение (Belton, 1986, Schoner & Wedley, 1989, Dyer, 1990, Lootsma, 1991, Schoner, Wedley, Choo, 1993., Salo & Hamalainen, 1999):

- недоволно голема скала (Saaty скала за релативни важности) за споредување на елементите во парови за некој проблем за одлучување;
- голем број на потребни компарации во парови кај поголем број проблеми;
- постигнување на прифатлив однос на конзистенција е често пати многу тешко;
- не се дозволени неспоредливи алтернативи.

Првиот и последниот наведен недостаток се најчесто споменуваат како најголеми недостатоци на АХП методот.

#### 4.11. Опис на критериумите кои се искористени во процесот на евалуација и селекција

##### 4.11.1. Опис на критериумите за избор на економски најповолна понуда

Според Законот за јавни набавки на Република Македонија постојат два критериума за доделување на договори за јавни набавки: најниска цена и економски најповолна понуда. Треба веднаш да се напомене дека електронскиот систем кој се користи за избор на најповолна понуда во јавниот и државниот сектор во Р. Македонија го користи само критериумот најниска цена според која се врши изборот. Ваквиот начин на избор секогаш не ја одразува реалната вредност на понудите, па според тоа не секогаш се избира и најповолната понуда. Поради ова, Европската унија предлага користење на сложени научни методи за избор на најповолна понуда во кој спаѓа и АХП методот. Исто така, предлогот на Европската унија е да не се користи само критериумот најниска цена како единствен и пресуден за избор, туку во изборот да бидат вклучени повеќе фактори и критериуми. Користејќи го овој факт во овој магистерски труд во продолжение ќе биде презентираан начин за избор на

економски најповолна понуда според критериумот економски најповолна понуда. Според Законот за јавни набавки на Р. Македонија, елементите на критериумот економски најповолна понуда може да бидат: цената, карактеристиките на квалитетот, техничките и функционалните карактеристики, еколошките карактеристики, оперативните трошоци, економичноста, постпродажните услуги и техничката поддршка, времето на испорака или други важни елементи за евалуација на понудите. За изградување на АХП хиерархијата во магистерски труд се земени горе наведените критериуми кои се во согласност со Законот за јавни набавки на Р. Македонија. Описот за секој од користените критериуми е даден во продолжение:

### **Квалитет**

Договорниот орган во тендерската документација и техничките спецификации, задолжително ги утврдува карактеристиките на предметот на набавка, покрај другото (на пример, големина, димензии, боја итн.) и користени минимални барања во поглед на квалитетот. Доколку договорниот орган одлучи на овој начин да го употреби критериумот квалитет, како критериум за евалуација, треба прецизно да наведе конкретно кој квалитет и истиот треба да биде што повеќе мерлив.

### **Технички карактеристики**

Техничките карактеристики може да се користат како елемент, кога договорниот орган смета дека техничките карактеристики се важни за предметот на набавка. Дополнителните технички карактеристики може да бидат, исто така, важни за одбирање на најповолната понуда. Како пример може да се земе компјутерската опрема. Договорниот орган во овој случај составува лисата на задолжителни барања и спецификации. Само понудата која ги задоволува конкретните задолжителни барања ќе се смета за прифатлива. Терминот технички карактеристики, исто така, може да претставува и добар квалитет на добиените резултати (фотокопир апарати, печатачи) итн.

### **Функционални карактеристики**

Функционалните карактеристики се многу важни, на пример кога предмет на набавка се работи. Договорниот орган ги дефинира минималните барања и спецификации со тоа што се повикува на стандардите и нормативата. Покрај овие минимални барања, функционалните карактеристики – јасно специфицирани – може да бидат предмет на евалуација. Со оглед на тоа дека подобрите функционални карактеристики често вклучуваат и повисока цена, соодветното учество се дава на тие критериуми во однос на останатите критериуми за евалуација кои се користат, а посебно во однос на цената.

### **Еколошки карактеристики**

Под поимот еколошки карактеристики се подразбира количината/вредноста на еколошките ефекти на производите и нивната употреба во текот на реализирањето на договорот, врз животната средина. Еколошки карактеристики може да бидат, на пример, поврзани со загадување на воздухот, потрошувачката на енергија, производство на материјалите, пакувањето на материјалите, средства за чистење итн.

### **Оперативни трошоци**

Оперативните трошоци се трошоци поврзани со работата и одржувањето на предметот на набавката (потрошувачката на гориво, потрошувачката на тонери, сервис за поправка), работата, одржувањето и чистење на набавената опрема, греење, одржување и чистење на изградените згради итн.

### **Економичност**

Економичноста претставува однос помеѓу дополнителните трошоци со новите технологии – во споредба со постоечката пракса кај договорниот орган – и дополнителните резултати од новиот пристап.

### **Постпродажни сервиси, техничка помош**

Во случај кога постпродажните сервиси, техничката помош, обуката итн. се од голема важност за договорниот орган и се поврзани со предметот на набавката, тогаш може да се користат овие критериуми за евалуација, а

споредбата ќе се однесува на вредноста и квалитетот на тие услуги кои ги нудат понудувачите.

### **Време на испорака и период на извршување**

Ако времето на испорака на стоките или услугите, или периодот на извршување на работите или услугите се од битно значење за договорниот орган, во тој случај овој критериум за евалуација може да се користи. Договорниот орган ги утврдува минималните барања во однос на испораката/извршувањето и овозможува, на пример, бројот на денови или недели за кои испораката или извршувањето може да се изведе ќе претставува предмет за евалуација.

#### 4.11.2. Опис на критериумите за избор на најдобар математички софтвер

При набавка и имплементација на нов софтвер, постои низа на вообичаени прашања кои секогаш се актуелни. Некои од нив се: Дали софтверот располага со бараните функции? Колку е софтверот сигурен? Колку е софтверот ефикасен? Дали софтверот е лесен за употреба. Овие вообичаени прашања ја иницирале појавата на стандардот ISO/IEC 9126. Со примената на овој стандард се овозможува полесно вреднување на софтверот од страна на корисниците. Стандардот ISO/IEC 9126 се состои од четири дела кои се однесуваат на: модел за квалитет, екстерни метрики, интерни метрики и метрики за квалитет во употребата. За оценување на најповолниот софтвер во овој магистерски труд како критериуми ќе бидат земени карактеристиките од првиот модел (модел за квалитет).

Моделот за квалитет (интерен квалитет и екстерен квалитет) – дефинира шест карактеристики, кои понатаму се делат на поткарактеристики и графички се прикажани на слика 10.



Слика 10. Модел на интерен/екстерен квалитет во ISO 9126-1 стандардот  
Figure 10. Model of intern/extern quality in ISO 9126 – 1 standard

### Функционалност

Однесување на софтверот во однос на документираните барања и спецификацијата.

### Сигурност

Способност на софтверот да се заштити од случаен или намерен упад.

### Употребливост

Напорот кој е потребен за да се научи да се користи софтверот.

### Ефикасност

Способност на софтверот за што помала потреба за хардверски ресурси (како што се процесорско време, меморија, пропусен опсег на мрежата и др.) за да се постигне одредена задача.

### Одржливост

Напорот потребен за модифицирање, ажурирање или поправка на софтверот во текот на неговата работа.



## **Преносливост**

Напорот потребен за пренос на софтверот од една компјутерска околина или платформа на друга.

## 5. Резултати

Во овој магистерски труд се разработени два реални проблеми за повеќекритериумско одлучување. Првиот проблем е избор на најдобар економски понудувач за набавка на компјутерска опрема – преносни компјутери, а вториот проблем е избор на математички софтвер кој би бил најсоодветен за користење во наставата по техничките предмети во високообразовните институции.

### 5.1. Избор на најповолен економски понудувач за набавка на компјутерска опрема

Во првиот проблем, избор на економски најдобар и најповолен понудувач, најпрво дефинираме хиерархиски модел (слика 11) и соодветните негови елементи, со целта на врвот, критериумите како следно ниво, и на крај, на последното ниво се алтернативите. Во нашиот случај целта е избор на најповолен понудувач за набавка на компјутерска опрема – преносни компјутери. Случајот кој е анализиран во овој магистерски труд е од реална тендерска постапка извршена во процесот на јавни набавки. Техничките карактеристики кои требаше да ги задоволи компјутерската опрема се прикажани во табела 7. Имињата на понудувачите, како и конкретните понуди кои ги имаат доставено, не се наведени поради заштита на истите. Целта на овој пример е да се покаже начин за подобрување на изборот на понудите во процесот на јавни набавки.

Табела 7. Технички карактеристики за набавка на преносни компјутери  
Figure 7. Technical characteristics for procurement of lap tops

Дисплеј	14-inch LED 1366 x 768 pixel HD anti-glare display with integrated web cam min. 1.3 Mpix
Процесор	min. Intel Core i5-520M, Dual Core, 2.4GHz, 3MB SLC
Chipset	Intel QM57, supported Intel Centrino Technology
Меморија	min. 4GB DDR3 1066MHz, 2 DIMM slots up to 8G
Тврд диск	min. 500GB SATA, 7200 rpm, S.M.A.R.T
Оптички уред	DVD-RW DL SATA
Графичка карта	Intel HD Graphics, up to 1695MB, D-SUB and Display Port
Комуникација	10/100/1000 Mbit/s Ethernet LAN Wireless WiFi 802.11 b/g LAN Bluetooth 2.1
Аудио	Internal stereo speakers with microphone
Приклучоци	4in1 Card Reader (SD/MS/MS Pro/ MMC) ExpressCard 34/54 mm

	3 x USB 2.0, 1x eSATA/USB FireWire IEEE1394
Периферија	Keyboard US layout with touch pad USB Optical Mouse
Батерија	Li-Ion battery 6-cell, 5600 mAh, up to 8 hours
Безбедност	Integrated Fingerprint with security software Smart Card Reader with security software TPM 1.2 Embedded Security Kensington Lock support User and supervisor BIOS password System Smart Card security Hard disk password
Софтвер	min. Windows 7 Home 32-bit Preinstalled with license CD/DVD Recording Software Preinstalled with license Adobe Acrobat Reader Preinstalled Office Software Preinstalled
Сертификати	CE, RoHS, WEEE

За постигнување на точни и релевантни резултати критериумите се избрани од Законот за јавни набавки на Република Македонија. Критериумите според кои се врши изборот се следниве:

A1 – Цена

A2 – Квалитет

A3 – Технички карактеристики

A4 – Функционални карактеристики

A5 – Еколошки карактеристики

A6 – Оперативни трошоци

A7 – Економичност

A8 – Техничка поддршка, сервис

A9 – Време на испорака

Во продолжение ќе бидат користени само скратените ознаки за критериумите. На последното ниво од хиерархијата во нашиот проблем се наоѓаат понудувачите. Во нашиот случај имаме пет понудувачи од кои треба да го избереме најдобриот. Ознаките за секој понудувач се следниве:

P1 – Понудувач 1

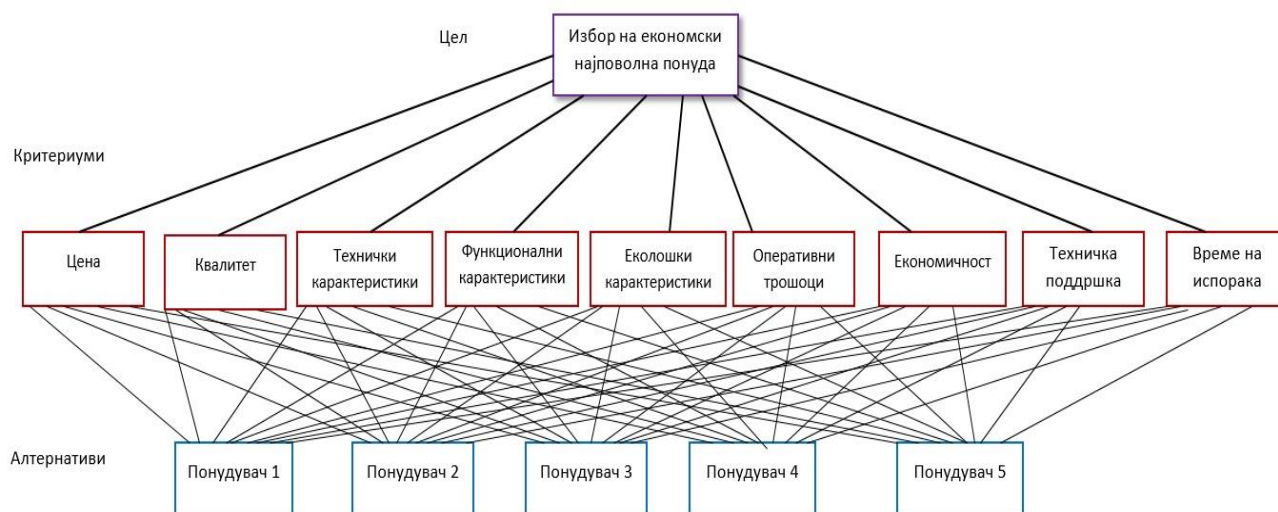
P2 – Понудувач 2

P3 – Понудувач 3

P4 – Понудувач 4

P5 - Понудувач 5

Откако е формирана хиерархијата (слика 11), во наредниот чекор се креира математички модел. Овој модел се заснова на меѓусебно споредување на паровите, односно на секое ниво од хиерархиската структура во парови меѓусебно се споредуваат елементите од оваа структура. Преференциите на носачот на одлуките односно тимот се изразуваат со помош на скалата која претходно беше објаснета. Врз основа на формираната хиерархиска структура и врз основ на зададените преференци од страна на носачот на одлуките се формира евалуациска матрица односно матрица на споредбени парови (табела 8).



Слика 11. Хиерархиска структура на проблемот  
Figure 11. The hierarchical structure of the problem

Табела 8. Евалуациска матрица  
Table 8. Evaluation matrix

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
A1	1	2	1	2	2	3	3	1	2
A2	1/2	1	1/3	2	2	1/3	2	2	1/2
A3	1	3	1	3	3	1	1	2	1/2
A4	1/2	1/2	1/3	1	3	1/5	1/3	1	1
A5	1/2	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1/3	1/3	1/2
A6	1/3	3	1	5	2	1	1	2	1
A7	1/3	1/2	1	3	3	1	1	3	1/2
A8	1	1/2	1/2	1	3	1/2	1/3	1	1
A9	1/2	2	2	1	2	1	2	1	1
Сума	5,667	13	7,5	18,333	21	8,533	11	13,33	8

Сумата за секоја колона се добива на следниов начин:

За колоната A1:  $1+1/2+1+1/2+1/2+1/3+1/3+1+1=5,667$  постапката за преостанатите колони е идентична.

Следниот чекор е пресметување на сопствен вектор кој е соодветен на сопствените вредности. Вредностите за сопствениот вектор се дадени во табела 9.

Табела 9. Нормализирана матрица  
Table 9. Normalize matrix

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	Сума	Тежини
A1	0,176	0,1538	0,133	0,1091	0,095	0,352	0,2727	0,075	0,25	1,6172689	0,17969
A2	0,088	0,0769	0,044	0,1091	0,095	0,039	0,1818	0,15	0,063	0,8473125	0,09414
A3	0,176	0,2308	0,133	0,1636	0,143	0,117	0,0909	0,15	0,063	1,2676632	0,14085
A4	0,088	0,0385	0,044	0,0545	0,143	0,023	0,0303	0,075	0,125	0,6222844	0,06914
A5	0,088	0,0385	0,044	0,0182	0,048	0,059	0,0303	0,025	0,063	0,4133389	0,04592
A6	0,059	0,2308	0,133	0,2727	0,095	0,117	0,0909	0,15	0,125	1,2739881	0,14155
A7	0,059	0,0385	0,133	0,1636	0,143	0,117	0,0909	0,225	0,063	1,0327085	0,11474
A8	0,176	0,0385	0,067	0,0545	0,143	0,059	0,0303	0,075	0,125	0,7678982	0,08532
A9	0,088	0,1538	0,267	0,0545	0,095	0,117	0,1818	0,075	0,125	1,1575373	0,12861
сума	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

За добивање на вредностите на сопствениот вектор кој уште се нарекува и вектор на приоритет, постапката е следна: најпрво ги добиваме елементите на новоформираната матрица преку делење на елементите од реципрочната матрица (табела 8) со сумата од соодветната колона, односно вредноста на

елементот  $A_{11}$  се добива на следниов начин:  $\frac{1}{5,667} = 0,176$  добивањето на вредностите на преостанатите елементи е идентична, со што со ова добивме нормализирани релативни тежини. Сумата на секоја колона е 1.

$$0,176 + 0,088 + 0,176 + 0,088 + 0,088 + 0,059 + 0,059 + 0,176 + 0,088 = 1$$

За да го добиеме конечниот сопствен вектор, односно тежините на критериумите според кои ќе се врши рангирањето, потребно е да се пресмета аритметичката средина за секој ред од нормализираната матрица (табела 9), односно сумата од секој ред е поделена со бројот на елементи:

$$w_1 = 0,176 + 0,1538 + 0,133 + 0,1091 + 0,095 + 0,352 + 0,2727 + 0,075 + 0,25 = \frac{1,6172689}{9} = 0,179697$$

Вредностите на преостанатите сопствени вектори се добиваат идентично на претходно опишаната постапка.

Табела 10. Просечна матрица  $B_i$  и сопствени вредностиTable 10. Average matrix  $B_i$  and Eigen values

Просечна матрица $B_i$	Сопствени вредности $\lambda$
1,85043	10,2975249
0,97271	10,33195271
1,439445	10,21959196
0,671291	9,708769038
0,45462	9,898842923
1,476313	10,42931325
1,169604	10,19303981
0,82708	9,69363373
1,305821	10,15292404
Сума од ламбда	90,92559236
$\lambda_{\max}$	<b>10,1028436</b>
CI=	<b>0,13785545</b>
CR=	9,51%

Откако ги добивме вредностите за тежините на секој критериум, потребно е да извршиме проверка на конзистенција на нашите споредувања.

За да го направиме тоа е потребно најпрвин да ја најдеме најголемата сопствена вредност на соодветната матрица. За таа цел прво ги наоѓаме вредностите на просечната матрица  $V_i$  т.е. матрицата од сумата на тежините. Тоа го правиме со множење на секој ред  $(a_{ij})$  од почетната евалуациска матрица на споредбени парови со тежините  $(w_i)$  добиени во нормализираната матрица, односно:

$$[1 \ 2 \ 1 \ 2 \ 2 \ 3 \ 3 \ 1 \ 2] \times \begin{bmatrix} 0,179697 \\ 0,094146 \\ 0,140851 \\ 0,069143 \\ 0,045927 \\ 0,141554 \\ 0,114745 \\ 0,085322 \\ 0,128615 \end{bmatrix} = 1,85043$$

Преостанатите вредности (табела 10) од просечната матрица  $V_i$  се добиваат идентично.

Наредниот чекор е определување на сопствените вредности. Тоа го правиме со делење на вредностите од просечната матрица  $V_i$  со тежините  $w$  од нормализираната матрица:

$$\lambda = \frac{1,85043}{0,179697} = 10,2975249$$

Постапката за преостанатите сопствени вредности е иста како претходно наведената. Откако ќе ги пресметаме сите сопствени вредности, следно ја наоѓаме најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max}$  на следниов начин, ги собираме сите добиени сопствени вредности и ги делиме со бројот на елементи:

$$\lambda_{\max} = \frac{10,29752 + 10,3319 + 10,219591 + 9,7087690 + 9,8988429 + 10,429313 + 10,193039 + 9,693633 + 10,152924}{9}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{90,92559236}{9} = \mathbf{10,1028436}$$

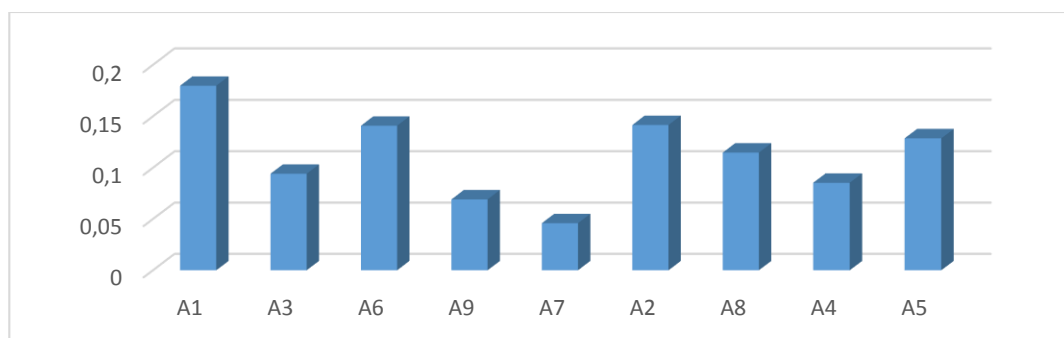
По наоѓањето на најголемата сопствена вредност, следниот чекор е да се најде индексот на конзистенција  $CI$ . Тоа го правиме на следниов начин:

$$CI = \frac{10.1028436 - 9}{8} = 0,13785545$$

Наредниот а воедно и последен чекор е наоѓање на односот на конзистенција CR. Истиот го добиваме со делење на индексот на конзистенција, со случајниот индекс на конзистенција кој се гледа од табелата која беше претходно објаснета во текстот:

$CR = \frac{0.13785545}{1.45} = 0.0950 < 10\%$ , од ова произлегува дека односот на конзистенција е прифатлив и дека нашите проценки се прифаќаат.

Откако ги извршивме сите потребни пресметки можеме да го прикажеме конечниот ранг (слика 12) за важност на критериумите според кои ќе се врши селекцијата.



Слика 12. Рангирање на критериумите според важност  
Figure 12. Ranking of the criteria in order of importance

Во продолжение ќе бидат дадени само финалните резултати од истражувањето, начинот на нивната пресметка е идентичен со оној кој беше претходно детално образложен.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на првиот критериум – цена е прикажана во табела 11. Нормализираната матрица е прикажана во табела 12. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот цена е прикажан на слика 13.

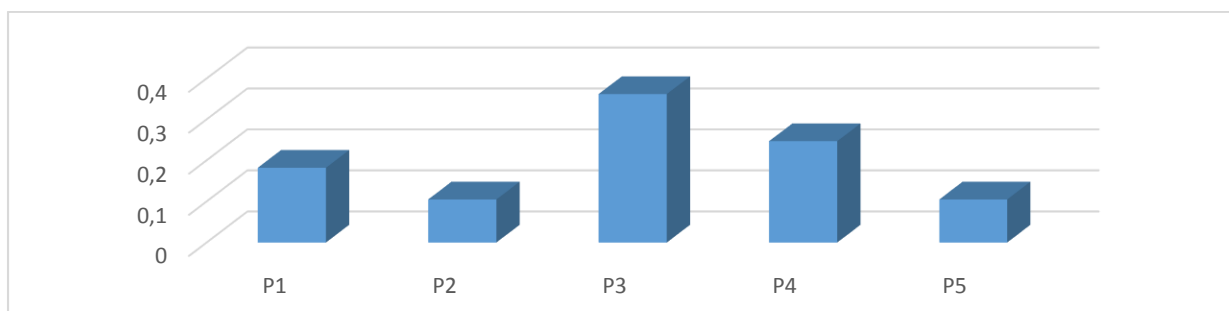


Табела 11. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот цена  
Table 11. Comparison pairwise matrix with respect of criteria price

	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	2	1/3	1/2	3
P2	1/2	1	1/3	1/2	1
P3	3	3	1	2	2
P4	2	2	1/2	1	3
P5	1/3	1	1/2	1/3	1
СУМА	6,83	9	2,663333	4,333333	10

Табела 12. Процена на приоритет според критериумот цена  
Table 12. Assessment of the priority according criteria price

	P1	P2	P3	P4	P5	СУМА	Тежини
P1	0,146413	0,222222	0,125156	0,115385	0,3	0,909176167	0,1818352
P2	0,073206	0,111111	0,123905	0,115385	0,1	0,52360705	0,1047214
P3	0,439239	0,333333	0,375469	0,461538	0,2	1,809579785	0,361916
P4	0,292826	0,222222	0,187735	0,230769	0,3	1,23355189	0,2467104
P5	0,048316	0,111111	0,187735	0,076923	0,1	0,524085108	0,104817
СУМА	1	1	1	1	1		



Слика 13. Рангирање на алтернативите според критериумот цена  
Figure 13. Ranging of the alternatives according criteria price

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,2284$ , индексот на конзистенција CI е 0,0571, односот на конзистентност CR е 0,05098 бидејќи е помал 0,10, следува дека нивото на неконзистентност е прифатливо. Според критериумот цена, најдобро рангиран е понудувачот 3.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на вториот критериум – квалитет е прикажана во табела 13. Нормализираната матрица е прикажана во табела 14. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот квалитет е прикажан на слика 14.

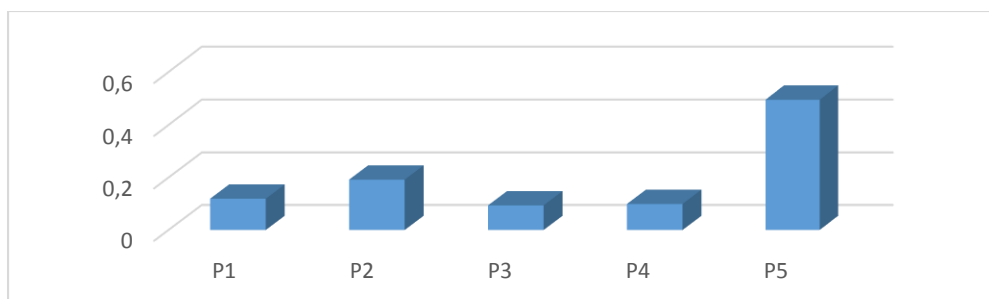
Табела 13. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот квалитет

Table 13. Comparison pairwise matrix with respect of criteria quality

	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	1/2	2	1	1/5
P2	2	1	2	2	1/3
P3	1/2	1/2	1	1	1/4
P4	1	1/2	1	1	1/5
P5	5	3	4	5	1
СУМА	9,5	5,5	10	10	1,983333

Табела 14. Процена на приоритет според критериумот квалитет  
Table 14. Assessment of the priority according criteria quality

	P1	P2	P3	P4	P5	СУМА	Тежини
P1	0,105263	0,090909	0,2	0,1	0,10084	0,597012585	0,1194025
P2	0,210526	0,181818	0,2	0,2	0,168067	0,960411724	0,1920823
P3	0,052632	0,090909	0,1	0,1	0,12605	0,46959109	0,0939182
P4	0,105263	0,090909	0,1	0,1	0,10084	0,497012585	0,0994025
P5	0,526316	0,545455	0,4	0,5	0,504202	2,475972016	0,4951944
СУМА	1	1	1	1	1		



Слика 14. Рангирање на алтернативите според критериумот квалитет

Figure 14. Ranging of the alternatives according criteria quality

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{max} = 5,0859$ , индексот на конзистенција CI е 0,0214, односот на конзистентност CR е 0,0191, бидејќи е помал од 0,10, следува дека нивото на неконзистентност е прифатливо. Според вториот критериум – квалитет најдобро рангиран е петтиот понудувач.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на третиот критериум – технички карактеристики е прикажана во табела 15. Нормализираната матрица е прикажана во табела 16. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот технички карактеристики е прикажан на слика 15.

Табела 15. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот технички карактеристики

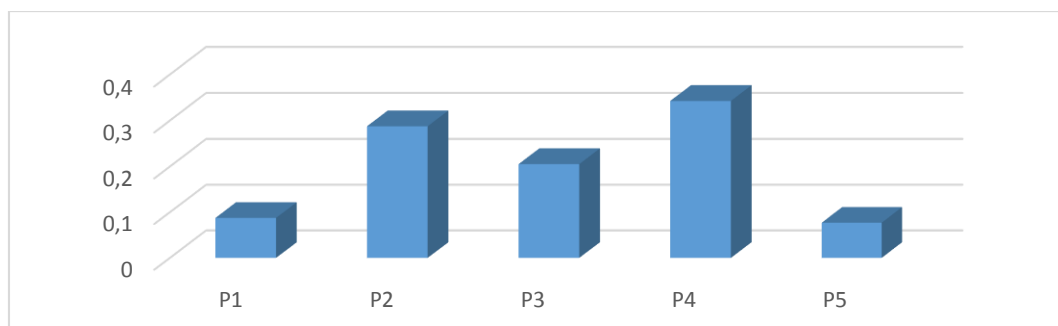
Table 15. Comparison pairwise matrix with respect of criteria technical characteristics

	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	1/4	1/2	1/3	1
P2	4	1	2	1/2	4
P3	2	1/2	1	1/2	5
P4	3	2	2	1	3
P5	1	1/4	1/5	1/3	1
СУМА	11	4	5,7	2,666667	14

Табела 16. Процена на приоритет според критериумот технички карактеристики

Table 16. Assessment of the priority according criteria technical characteristics

	P1	P2	P3	P4	P5	СУМА	Тежини
P1	0,090909	0,0625	0,087719	0,125	0,071429	0,437556961	0,0875114
P2	0,363636	0,25	0,350877	0,1875	0,285714	1,437727842	0,2875456
P3	0,181818	0,125	0,175439	0,1875	0,357143	1,026899635	0,2053799
P4	0,272727	0,5	0,350877	0,375	0,214286	1,71289018	0,342578
P5	0,090909	0,0625	0,035088	0,125	0,071429	0,384925382	0,0769851
СУМА	1	1	1	1	1		



Слика 15. Рангирање на алтернативите според критериумот технички карактеристики

Figure15. Ranging of the alternatives according criteriotechnical characteristics

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,231$ , индексот на конзистенција CI е 0,0579, односот на конзистентност CR е 0,0516, бидејќи е помал 0,10, следува дека нивото на неконзистентност е прифатливо. Според третиот критериум – технички карактеристики, најдобро е рангиран четвртиот понудувач.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на четвртиот критериум – функционални карактеристики е прикажана во табела 17. Нормализираната матрица е прикажана во табела 18. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот функционални карактеристики е прикажан на слика 16.

Табела 17. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот функционални карактеристики

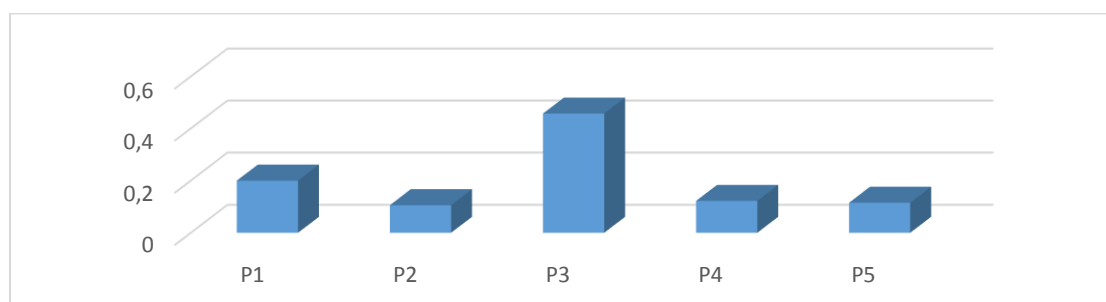
Table 17. Comparison pairwise matrix with respect of criteria functional characteristics

	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	2	1/3	2	2
P2	1/2	1	1/3	1/2	1
P3	3	3	1	6	3
P4	1/2	2	1/6	1	1
P5	1/2	1	1/3	1	1
СУМА	5,5	9	2,166667	10,5	8

Табела 18. Процена на приоритет според критериумот функционални карактеристики

Table 18. Assessment of the priority according criteria functional characteristics

	P1	P2	P3	P4	P5	СУМА	Тежини
P1	0,181818	0,222222	0,153846	0,190476	0,25	0,998362748	0,1996725
P2	0,090909	0,111111	0,153846	0,047619	0,125	0,528485403	0,1056971
P3	0,545455	0,333333	0,461538	0,571429	0,375	2,286754912	0,457351
P4	0,090909	0,222222	0,076923	0,095238	0,125	0,610292485	0,1220585
P5	0,090909	0,111111	0,153846	0,095238	0,125	0,576104451	0,1152209
СУМА	1	1	1	1	1		



Слика 16. Рангирање на алтернативите според критериумот функционални карактеристики

Figure16. Ranging of the alternatives according criteria functional characteristics

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,1796$ , индексот на конзистенција е  $CI=0,0449$ , односот на конзистентност е  $CR$  е  $0,0400$ , бидејќи е помал од  $0,10$ , следува дека нивото на неконзистентност е прифатливо. Според четвртиот критериум – функционални карактеристики најдобро е рангиран третиот понудувач.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на петтиот критериум – еколошки карактеристики е прикажана во табела 19. Нормализираната матрица е прикажана во табела 20. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот еколошки карактеристики е прикажан на слика 17.

Табела 19. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот еколошки карактеристики

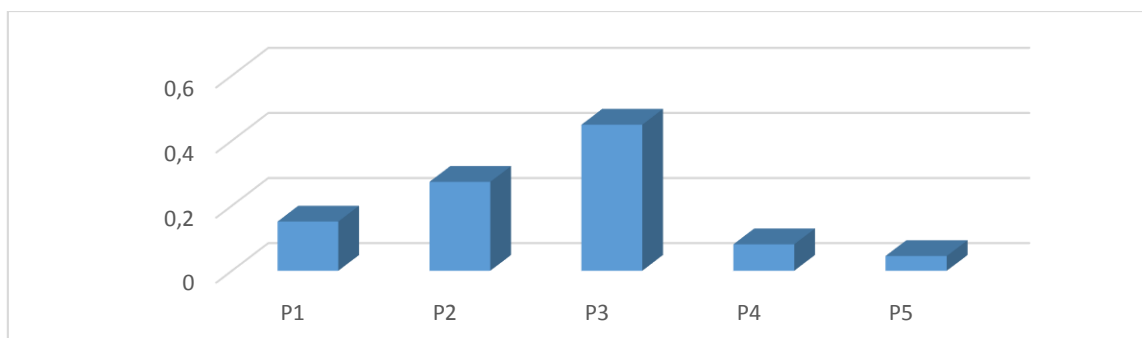
Table 19. Comparison pairwise matrix with respect of ecological characteristics

	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	1/2	1/4	2	5
P2	2	1	1/3	5	7
P3	4	3	1	4	6
P4	1/2	1/5	1/4	1	2
P5	1/5	1/7	1/6	1/2	1
СУМА	7,7	4,842	2	12,5	21

Табела 20. Процена на приоритет според критериумот еколошки карактеристики

Table 20. Assessment of the priority according criteria ecological characteristics

	P1	P2	P3	P4	P5	СУМА	Тежини
P1	0,12987	0,103245	0,125	0,16	0,238095	0,756210206	0,151242
P2	0,25974	0,20649	0,166667	0,4	0,333333	1,366229935	0,273246
P3	0,519481	0,619469	0,5	0,32	0,285714	2,244663832	0,4489328
P4	0,064935	0,041298	0,125	0,08	0,095238	0,406471095	0,0812942
P5	0,025974	0,029499	0,083333	0,04	0,047619	0,226424932	0,045285
СУМА	1	1	1	1	1		



Слика 17. Рангирање на алтернативите според критериумот еколошки карактеристики

Figure17. Ranging of the alternatives according criteria ecological characteristics

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,2399$ ; индексот на конзистенција CI е 0,0599, односот на конзистентност CR е 0,0535, бидејќи е помал од 0,10, следува дека нивото на конзистентност е прифатливо. Според петтиот критериум – еколошки карактеристики најдобро е рангиран третиот понудувач.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на шестиот критериум – оперативни трошоци е прикажана во табела 21. Нормализираната матрица е прикажана во табела 22. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот оперативни трошоци е прикажан на слика 18.

Табела 21. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот оперативни трошоци

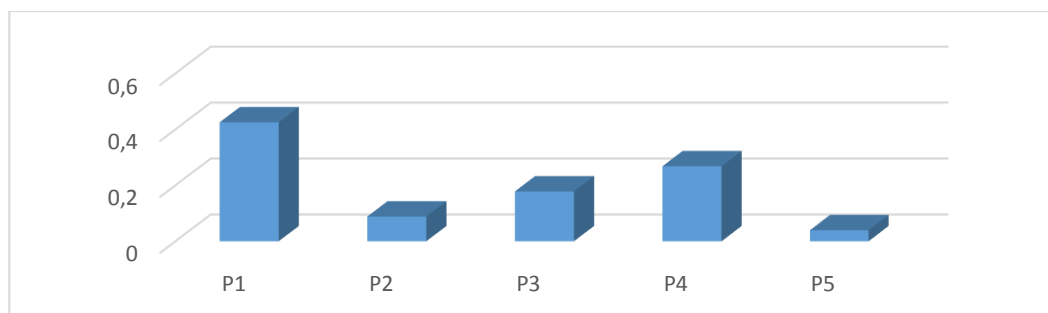
Table 21. Comparison pairwise matrix with respect of operating coast

	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	6	3	2	7
P2	1/6	1	1/4	1/2	3
P3	1/3	4	1	1/3	5
P4	1/2	2	3	1	7
P5	1/7	1/3	1/5	1/7	1
СУМА	2,142857	13,33333	7,45	3,97619	23

Табела 22. Процена на приоритет според критериумот оперативни трошоци

Table 22. Assessment of the priority according criteria operating coast

	P1	P2	P3	P4	P5	СУМА	Тежини
P1	0,466667	0,45	0,402685	0,502994	0,304348	2,126693068	0,4253386
P2	0,077778	0,075	0,033557	0,125749	0,130435	0,44251811	0,0885036
P3	0,155556	0,3	0,134228	0,083832	0,217391	0,891007383	0,1782015
P4	0,233333	0,15	0,402685	0,251497	0,304348	1,341862729	0,2683725
P5	0,066667	0,025	0,026846	0,035928	0,043478	0,197918709	0,0395837
СУМА	1	1	1	1	1		



Слика 18. Рангирање на алтернативите според критериумот оперативни трошоци

Figure 18. Ranging of the alternatives according to criteria operating cost

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,3203$ ; индексот на конзистенција CI е 0,0800, односот на конзистентност CR е 0,0715, бидејќи е помал од 0,10, следува дека нивото на конзистентност е прифатливо. Според шестиот критериум – оперативни трошоци најдобро е рангиран првиот понудувач.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на седмиот критериум – економичност е прикажана во табела 23. Нормализираната матрица е прикажана во табела 24. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот економичност е прикажан на слика 19.

Табела 23. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот економичност

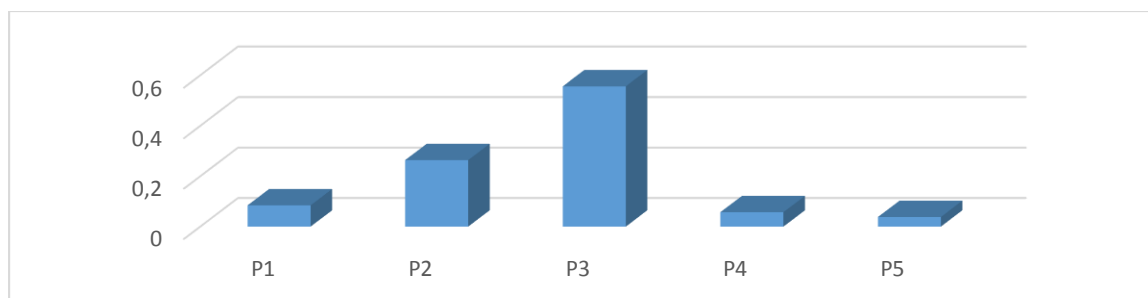
Table 23. Comparison pairwise matrix with respect of economy

	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	1/6	1/8	2	3
P2	6	1	1/4	5	7
P3	8	4	1	9	9
P4	1/2	1/5	1/9	1	2
P5	1/3	1/7	1/9	1/2	1
СУМА	15,83333	5,509524	1,597222	17,5	22

Табела 24. Процена на приоритет според критериумот економичност

Table 24. Assessment of the priority according to criteria economy

	P1	P2	P3	P4	P5	СУМА	Тежини
P1	0,063158	0,030251	0,078261	0,114286	0,136364	0,422318763	0,0844638
P2	0,378947	0,181504	0,156522	0,285714	0,318182	1,320869101	0,2641738
P3	0,505263	0,726016	0,626087	0,514286	0,409091	2,780742295	0,5561485
P4	0,031579	0,036301	0,069565	0,057143	0,090909	0,285496891	0,0570994
P5	0,021053	0,025929	0,069565	0,028571	0,045455	0,19057295	0,0381146
СУМА	1	1	1	1	1		



Слика 19. Рангирање на алтернативите според критериумот економичност

Figure 19. Ranging of the alternatives according criteria operating economy

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{max} = 5,2845$ ; индексот на конзистенција  $CI$  е  $0,071$ , односот на конзистентност  $CR$  е  $0,0635$ , бидејќи е помал од  $0,10$ , следува дека нивото на неконзистентност е прифатливо.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на осмиот критериум - техничка поддршка и сервис е прикажана во табела 25. Нормализираната матрица е прикажана во табела 26. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот техничка поддршка и сервис е прикажан на слика 20.

Табела 25. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот техничка поддршка, сервис

Table 25. Comparison pairwise matrix with respect of technical support, service

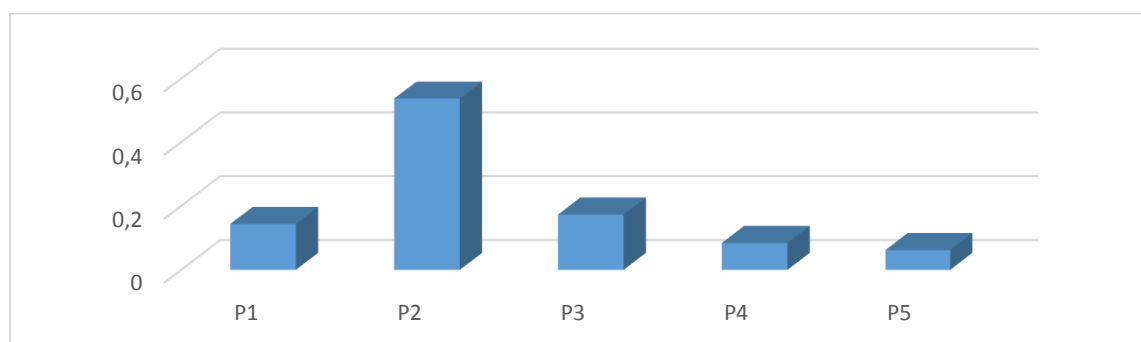
	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	1/5	1/3	3	3
P2	5	1	5	6	6
P3	3	1/5	1	2	2
P4	1/3	1/6	1/2	1	2
P5	1/3	1/6	1/2	1/2	1
СУМА	9,666667	1,733333	7,333333	12,5	14

Табела 26. Процена на приоритет според критериумот техничка поддршка, сервис

Table 26. Assessment of the priority according criteria technical support, service

	P1	P2	P3	P4	P5	СУМА	Тежини
P1	0,103448	0,115385	0,045455	0,24	0,214286	0,718573151	0,1437146
P2	0,517241	0,576923	0,681818	0,48	0,428571	2,684554067	0,5369108
P3	0,310345	0,115385	0,136364	0,16	0,142857	0,864950222	0,17299
P4	0,034483	0,096154	0,068182	0,08	0,142857	0,421675566	0,0843351
P5	0,034483	0,096154	0,068182	0,04	0,071429	0,310246994	0,0620494
СУМА	1	1	1	1	1		





Слика 20. Рангирање на алтернативите според критериумот техничка поддршка, сервис

Figure 20. Ranging of the alternatives according criteria technical support, service

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{max} = 5,4017$ ; индексот на конзистенција CI е 0,10043, односот на конзистентност CR е 0,0896, бидејќи е помал од 0,10, следува дека нивото на неконзистентност е прифатливо. Според осмиот критериум – техничка поддршка, сервис најдобро е рангиран вториот понудувач.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на деветтиот критериум – време на испорака е прикажана во табела 27. Нормализираната матрица е прикажана во табела 28. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот техничка поддршка и сервис е прикажан на слика 21.

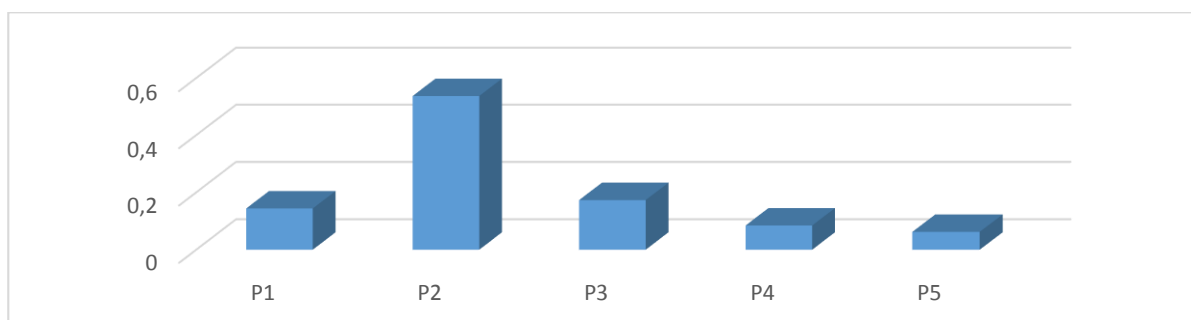
Табела 27. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот време на испорака

Table 27. Comparison pairwise matrix with respect of delivery time

	P1	P2	P3	P4	P5
P1	1	2	3	6	6
P2	1/2	1	3	6	6
P3	1/3	1/3	1	4	4
P4	1/6	1/6	1/4	1	2
P5	1/6	1/6	1/4	1/2	1
СУМА	2,166667	3,666667	7,5	17,5	19

Табела 28. Процена на приоритет според критериумот време на испорака  
 Table 28. Assessment of the priority according criteria delivery time

	P1	P2	P3	P4	P5	СУМА	Тежини
P1	0,461538	0,545455	0,4	0,342857	0,315789	2,065639624	0,4131279
P2	0,230769	0,272727	0,4	0,342857	0,315789	1,56214312	0,3124286
P3	0,153846	0,090909	0,133333	0,228571	0,210526	0,817186322	0,1634373
P4	0,076923	0,045455	0,033333	0,057143	0,105263	0,318116971	0,0636234
P5	0,076923	0,045455	0,033333	0,028571	0,052632	0,236913963	0,0473828
СУМА	1	1	1	1	1		



Слика 21. Рангирање на алтернативите според критериумот време на испорака

Figure 21. Ranging of the alternatives according criteria delivery time

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{max} = 5,1977$ ; индексот на конзистенција CI е 0,0494; односот на конзистентност CR е 0,0441, бидејќи е помал од 0,10, следува дека нивото на конзистенција е прифатливо. Според деветтиот критериум – време на испорака, најдобро е рангиран вториот понудувач.

Последната и финална табела 29 се добива на следниов начин: сопствениот вектор односно тежините за секој од петте понудувачи се множи последователно со тежините за секој критериум.

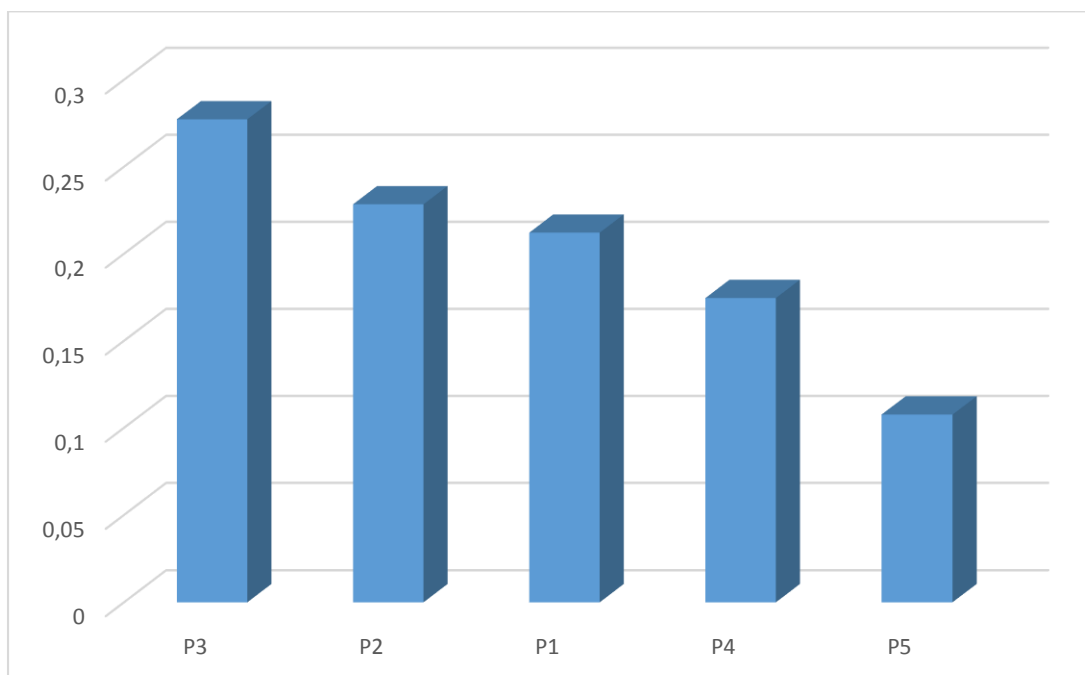
Конечниот ранг на најповолниот понудувач којшто доставил најповолна понуда за набавка на компјутерски хардвер е прикажан во табела 30 и слика 22. По детално спроведената анализа и проценки во овој случај најповолна економска понуда понудил третиот понудувач.

Табела 29. Меѓузбир за понудувачите  
Table 29. Subtotal for bidders

			A x P1			A x P2			A x P3			A x P4			A x P5	
<b>A1</b>	0,18124	<b>P1</b>	0,1818	0,032955	<b>P2</b>	0,1047	0,018979	<b>P3</b>	0,361916	0,006869	<b>P4</b>	0,2467	0,044713	<b>P5</b>	0,1048	0,018997
<b>A2</b>	0,09569	<b>P1</b>	0,1194	0,011425	<b>P2</b>	0,1921	0,018379	<b>P3</b>	0,093918	0,001726	<b>P4</b>	0,0994	0,009511	<b>P5</b>	0,4952	0,047383
<b>A3</b>	0,14316	<b>P1</b>	0,0875	0,012528	<b>P2</b>	0,2875	0,041165	<b>P3</b>	0,20538	0,008454	<b>P4</b>	0,3426	0,049044	<b>P5</b>	0,077	0,011021
<b>A4</b>	0,05529	<b>P1</b>	0,1997	0,01104	<b>P2</b>	0,1057	0,005844	<b>P3</b>	0,457351	0,002673	<b>P4</b>	0,1221	0,006749	<b>P5</b>	0,1152	0,006371
<b>A5</b>	0,0467	<b>P1</b>	0,1512	0,007062	<b>P2</b>	0,2732	0,01276	<b>P3</b>	0,448933	0,005728	<b>P4</b>	0,0813	0,003796	<b>P5</b>	0,0453	0,002115
<b>A6</b>	0,14309	<b>P1</b>	0,4253	0,060863	<b>P2</b>	0,0885	0,012664	<b>P3</b>	0,178201	0,002257	<b>P4</b>	0,2684	0,038402	<b>P5</b>	0,0396	0,005664
<b>A7</b>	0,11705	<b>P1</b>	0,0845	0,009887	<b>P2</b>	0,2642	0,030923	<b>P3</b>	0,556148	0,017198	<b>P4</b>	0,0571	0,006684	<b>P5</b>	0,0381	0,004461
<b>A8</b>	0,08763	<b>P1</b>	0,1437	0,012594	<b>P2</b>	0,5369	0,04705	<b>P3</b>	0,17299	0,008139	<b>P4</b>	0,0843	0,00739	<b>P5</b>	0,062	0,005437
<b>A9</b>	0,13015	<b>P1</b>	0,4131	0,05377	<b>P2</b>	0,3124	0,040664	<b>P3</b>	0,163437	0,006646	<b>P4</b>	0,0636	0,008281	<b>P5</b>	0,0474	0,006167
<b>Меѓузбир за секој понудувач</b>				<b>0,212125</b>			<b>0,228428</b>			<b>0,05969</b>			<b>0,17457</b>			<b>0,107616</b>

Табела 30. Финален ранг на најдобриот понудувач  
Table 30. Final ranking for best bidder

<b>P3 - Понудувач 3</b>	<b>0,277262</b>
<b>P2 - Понудувач 2</b>	<b>0,228428</b>
<b>P1- Понудувач 1</b>	<b>0,212125</b>
<b>P4 - Понудувач 4</b>	<b>0,17457</b>
<b>P5- Понудувач 5</b>	<b>0,107616</b>



Слика 22. Конечен ранг на понудувачите  
Figure 22. Final rang of bidders

## 5.2. Избор на најдобар математички софтвер

Второто истражување во овој магистерски труд беше спроведено со цел да се утврди најповолниот математички софтвер кој би се користел во наставата по техничките предмети во високообразовните институции. Софтверските пакети помеѓу кои се вршеше изборот се следниве:

A1 – Matlab

A2 – Maple

A3 – SPSS

A4 – Statistica

A5 – Mathematica

Критериумите според кои се вршеше изборот се во согласност со стандардот за квалитет на софтвер ISO 9126 и истите се следниве:

K1 – функционалност

K2 – сигурност

K3 – ефикасност

K4 – употребливост

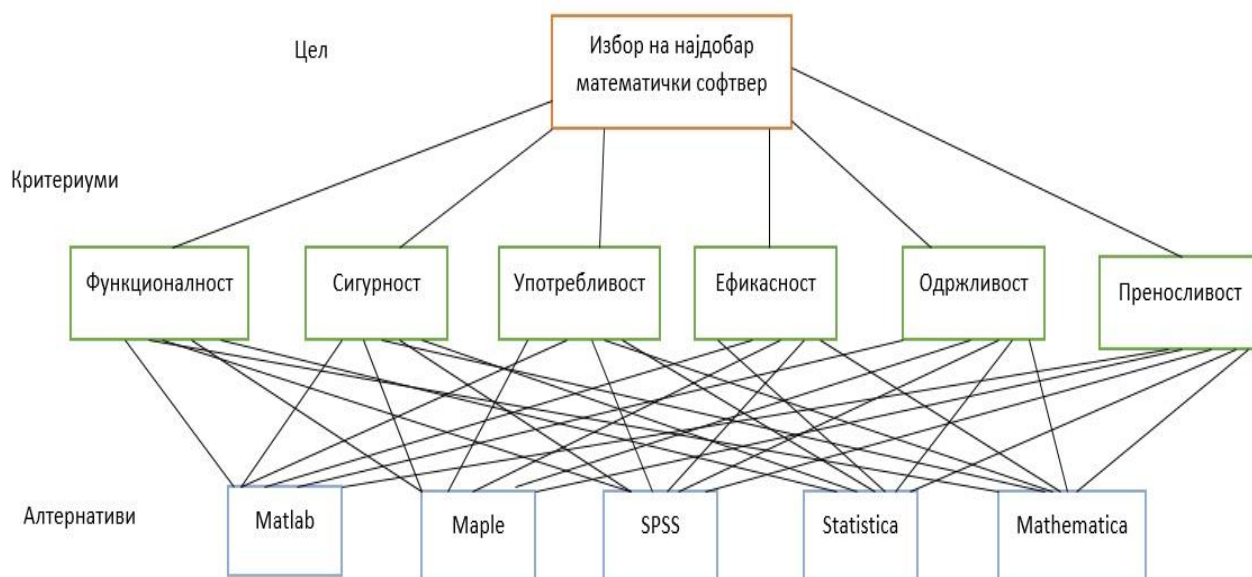
K5 – одржливост

K6 – преносливост.

Во анализата на резултатите ќе бидат користени само кратенките. Постапката според која се извршени пресметките и се добиени резултатите е идентична на претходно објаснетата и во продолжение ќе бидат прикажани само резултатите од истражувањето добиени во секој чекор.

По детално извршената анализа на спецификациите за секој софтверски пакет беа донесени одлуките и се добиени следниве резултати во продолжение:

Хиерархиската структура за конкретниот проблем е прикажана на слика 23.



Слика 23. Хиерархиска структура на проблемот  
Figure 23. The hierarchical structure of the problem

Евалуациската матрица на критериумите според кои се врши изборот во однос на целта е прикажана во табела 31. Нормализираната матрица е

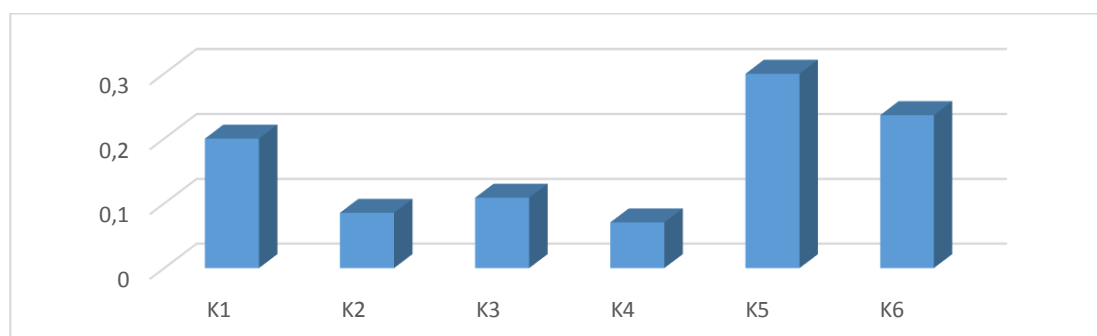
прикажана во табела 32. Конечниот ранг на критериумите во однос на целта се прикажани на слика 24.

Табела 31. Матрица на споредбени парови во однос на целта  
Table 31. Comparison pairwise matrix with respect of goal

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1	2	4	3	1/3	1
K2	1/2	1	1/2	1	1/2	1/3
K3	1/4	2	1	3	1/5	1/3
K4	1/3	1	1/3	1	1/3	1/3
K5	3	2	5	3	1	1
K6	1	3	3	3	1	1
Сума	6,083333	11	13,83333	14	3,366667	4

Табела 32. Процена на приоритет според критериумите за избор  
Table 32. Assessment of the priority according criteria for choice

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Сума	Тежини
K1	0,1643836	0,18181818	0,289157	0,214286	0,09901	0,25	1,19865	0,19977
K2	0,0821918	0,09090909	0,036145	0,071429	0,148515	0,083333	0,51252	0,0854
K3	0,0410959	0,18181818	0,072289	0,214286	0,059406	0,083333	0,65222	0,10870
K4	0,0547945	0,09090909	0,024096	0,071429	0,09901	0,083333	0,42357	0,07059
K5	0,4931507	0,18181818	0,361446	0,214286	0,29703	0,25	1,79773	0,29962
K6	0,1643836	0,27272727	0,216867	0,214286	0,29703	0,25	1,41529	0,23588
Сума	1	1	1	1	1	1		



Слика 24. Рангирање на критериумите  
Figure 24. Ranging of the criteria

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 6,481$ ; индексот на конзистенција CI е 0,096; односот на конзистентност CR е 0,077, бидејќи е помал од 0,10, следува дека нивото на конзистенција е прифатливо. Најдобро рангиран критериум во однос на целта е петтиот - одржливост.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на првиот критериум - функционалност е прикажана во табела 33. Нормализираната матрица е прикажана во табела 34. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот функционалност е прикажан на слика 25.

Табела 33. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот функционалност

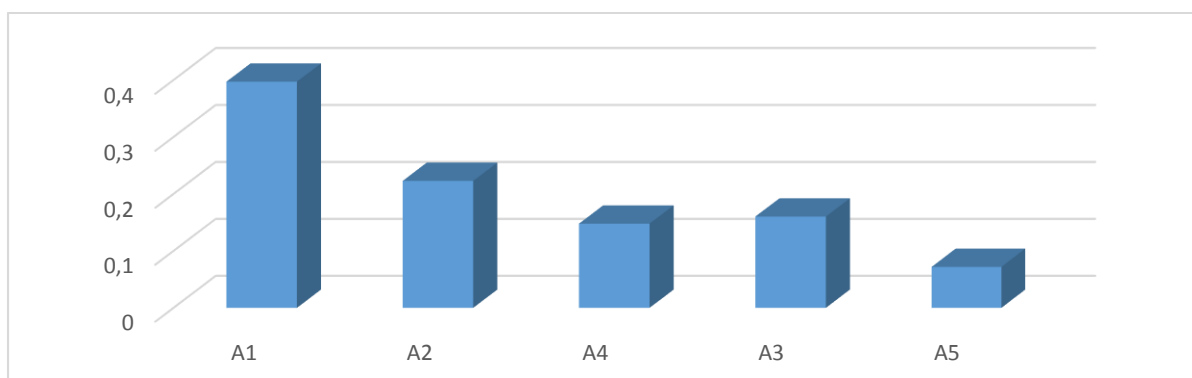
Table 33. Comparison pairwise matrix with respect of functionality

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	3	2	3	4
A2	1/3	1	2	2	3
A3	1/2	1/2	1	1/2	3
A4	1/3	1/2	2	1	2
A5	1/4	1/3	1/3	1/2	1
Сума	2,416667	5,333333	7,333333	7	13

Табела 34. Процена на приоритет според критериумот функционалност

Table 34. Assessment of the priority according criteria functionality

	A1	A2	A3	A4	A5	Сума	Тежини
A1	0,413793	0,5625	0,272727	0,428571429	0,307692	1,98528411	0,3970568
A2	0,137931	0,1875	0,272727	0,285714286	0,230769	1,11464182	0,2229284
A3	0,206897	0,09375	0,136364	0,071428571	0,230769	0,73920799	0,1478416
A4	0,137931	0,09375	0,272727	0,142857143	0,153846	0,8011116	0,1602223
A5	0,103448	0,0625	0,045455	0,071428571	0,076923	0,35975447	0,0719509
Сума	1	1	1	1	1		



Слика 25. Рангирање на алтернативите според критериумот функционалност

Figure 25. Ranging of the alternatives according criteria functionality

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,252$ ; индексот на конзистенција CI е 0,063; односот на конзистентност CR е 0,056, бидејќи е помал од 0,10,

следува дека нивото на конзистенција е прифатливо. Според првиот критериум – функционалност најдобро е рангиран првиот софтверски пакет - Matlab.

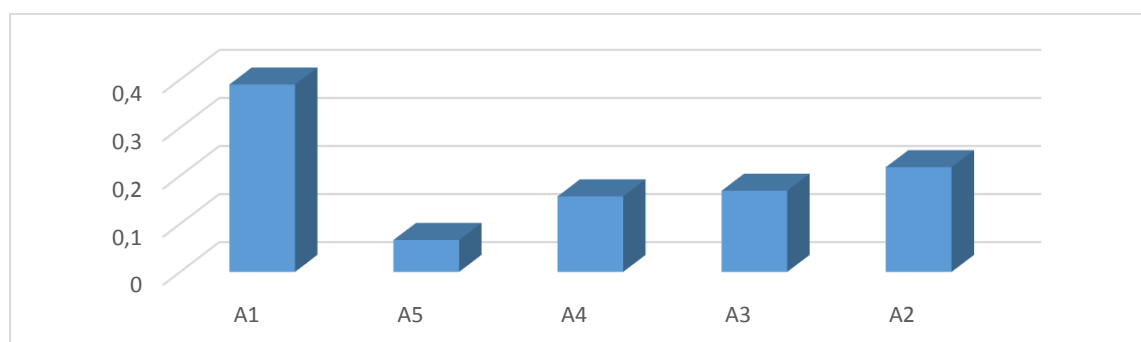
Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на вториот критериум - сигурност е прикажана во табела 35. Нормализираната матрица е прикажана во табела 36. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот сигурност е прикажан на слика 26.

Табела 35. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот сигурност  
Table 35. Comparison pairwise matrix with respect of reliability

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	4	3	2	3
A2	1/4	1	1/2	1/5	1/3
A3	1/3	2	1	2	1/2
A4	1/2	5	1/2	1	1/2
A5	1/3	3	2	2	1
Сума	2,416667	15	7	7,2	5,333333

Табела 36. Процена на приоритет според критериумот сигурност  
Table 36. Assessment of the priority according criteria reliability

	A1	A2	A3	A4	A5	Сума	Тежини
A1	0,413793	0,266667	0,428571	0,277777778	0,5625	1,949308976	0,389862
A2	0,103448	0,066667	0,071429	0,027777778	0,0625	0,331821292	0,066364
A3	0,137931	0,133333	0,142857	0,277777778	0,09375	0,785649288	0,15713
A4	0,206897	0,333333	0,071429	0,138888889	0,09375	0,844297345	0,168859
A5	0,137931	0,2	0,285714	0,277777778	0,1875	1,088923098	0,217785
Сума	1	1	1	1	1		



Слика 26. Рангирање на алтернативите според критериумот сигурност  
Figure 26. Ranging of the alternatives according criteria reliability

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,387$ ; индексот на конзистенција CI е 0,096; односот на конзистентност CR е 0,087, бидејќи е помал од 0,10,



следува дека нивото на конзистенција е прифатливо. Според вториот критериум – сигурност најдобро е рангиран првиот софтверски пакет - Matlab.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на третиот критериум - ефикасност е прикажана во табела 37. Нормализираната матрица е прикажана во табела 38. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот сигурност е прикажан на слика 27.

Табела 37. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот ефикасност

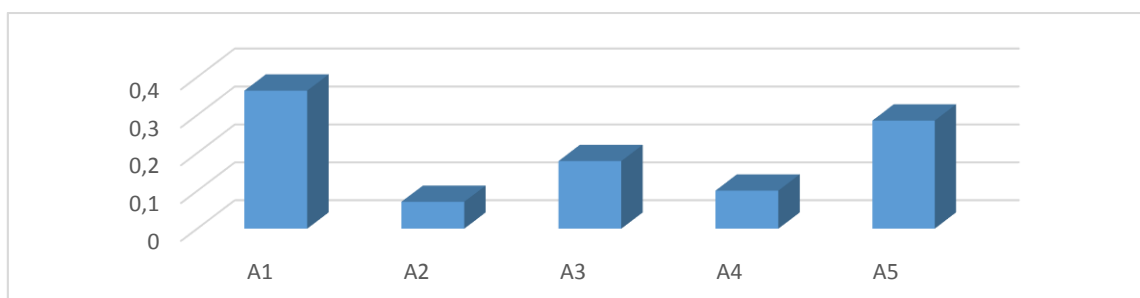
Table 37. Comparison pairwise matrix with respect of efficiency

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	3	2	4	2
A2	1/3	1	1/3	1/2	1/5
A3	1/2	3	1	2	1/2
A4	1/4	2	1/2	1	1/3
A5	1/2	5	2	3	1
Сума	2,583333	14	5,833333	10,5	4,033333

Табела 38. Процена на приоритет според критериумот ефикасност

Table 38. Assessment of the priority according criteria efficiency

	A1	A2	A3	A4	A5	Сума	Тежини
A1	0,387097	0,214286	0,342857	0,380952381	0,495868	1,821059781	0,364212
A2	0,129032	0,071429	0,057143	0,047619048	0,049587	0,354809511	0,070962
A3	0,193548	0,214286	0,171429	0,19047619	0,123967	0,893705805	0,178741
A4	0,096774	0,142857	0,085714	0,095238095	0,082645	0,503228345	0,100646
A5	0,193548	0,357143	0,342857	0,285714286	0,247934	1,427196557	0,285439
Сума	1	1	1	1	1		



Слика 27. Рангирање на алтернативите според критериумот ефикасност  
Figure 27. Ranging of the alternatives according criteria efficiency

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,155$ ; индексот на конзистенција CI е 0,038; односот на конзистентност CR е 0,034, бидејќи е помал од 0,10, следува дека нивото на конзистенција е прифатливо. Според третиот критериум – ефикасност најдобро е рангиран првиот софтверски пакет - Matlab.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на четвртиот критериум – употребливост е прикажана во табела 39. Нормализираната матрица е прикажана во табела 40. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот употребливост е прикажан на слика 28.

Табела 39. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот употребливост

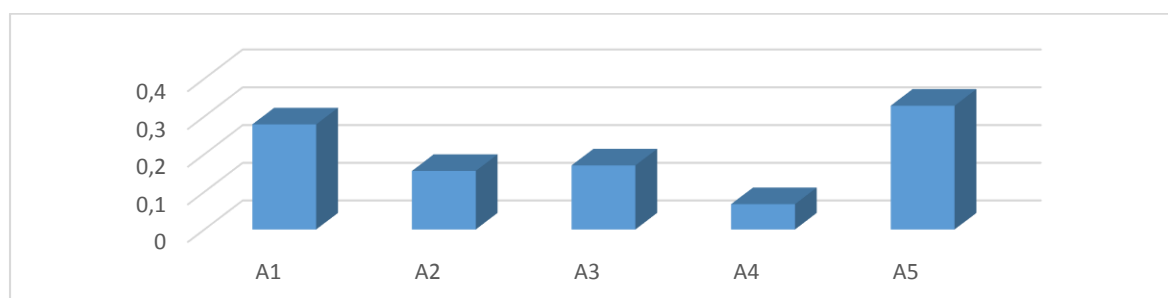
Table 39. Comparison pairwise matrix with respect of usability

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	2	2	3	1
A2	1/2	1	1/2	5	1/3
A3	1/2	2	1	2	1/2
A4	1/3	1/5	1/2	1	1/5
A5	1	3	2	5	1
Сума	3,333333	8,2	6	16	3,033333

Табела 40. Процена на приоритет според критериумот употребливост

Table 40. Assessment of the priority according criteria usability

	A1	A2	A3	A4	A5	Сума	Тежини
A1	0,3	0,243902	0,333333	0,1875	0,32967	1,394406102	0,278881
A2	0,15	0,121951	0,083333	0,3125	0,10989	0,777674663	0,155535
A3	0,15	0,243902	0,166667	0,125	0,164835	0,850404271	0,170081
A4	0,1	0,02439	0,083333	0,0625	0,065934	0,336157643	0,067232
A5	0,3	0,365854	0,333333	0,3125	0,32967	1,641357322	0,328271
Сума	1	1	1	1	1		



Слика 28. Рангирање на алтернативите според критериумот употребливост

Figure 28. Ranging of the alternatives according criteria usability

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,273$ ; индексот на конзистенција CI е 0,068; односот на конзистентност CR е 0,061, бидејќи е помал од 0,10, следува дека нивото на конзистенција е прифатливо. Според четвртиот критериум – употребливост најдобро е рангиран петтиот софтверски пакет - Mathematica.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на петтиот критериум – одржливост е прикажана во табела 41. Нормализираната матрица е прикажана во табела 42. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот одржливост е прикажан на слика 29.

Табела 41. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот одржливост

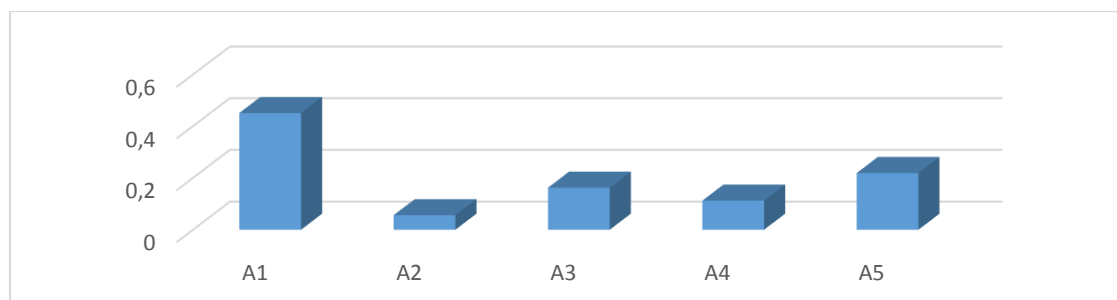
Table 41. Comparison pairwise matrix with respect of maintainability

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	5	4	4	3
A2	1/5	1	1/5	1/3	1/3
A3	1/4	5	1	2	1/3
A4	1/4	3	1/2	1	1/2
A5	1/3	3	3	2	1
Сума	2,033333	17	8,7	9,333333333	5,166667

Табела 42. Процена на приоритет според критериумот одржливост

Table 42. Assessment of the priority according criteria maintainability

	A1	A2	A3	A4	A5	Сума	Тежини
A1	0,491803	0,294118	0,45977	0,428571429	0,580645	2,254907631	0,450982
A2	0,098361	0,058824	0,022989	0,035714286	0,064516	0,280403106	0,056081
A3	0,122951	0,294118	0,114943	0,214285714	0,064516	0,810812839	0,162163
A4	0,122951	0,176471	0,057471	0,107142857	0,096774	0,560809723	0,112162
A5	0,163934	0,176471	0,344828	0,214285714	0,193548	1,093066702	0,218613
Сума	1	1	1	1	1		



Слика 29. Рангирање на алтернативите според критериумот одржливост  
 Figure 29. Ranging of the alternatives according criteria maintainability

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,366$ ; индексот на конзистенција  $CI$  е  $0,091$ ; односот на конзистентност  $CR$  е  $0,082$ , бидејќи е помал од  $0,10$ , следува дека нивото на конзистенција е прифатливо. Според петтиот критериум – одржливост, најдобро е рангиран првиот софтверски пакет - Matlab.

Евалуациската матрица на споредбени парови во однос на шестиот критериум – преносливост е прикажана во табела 43. Нормализираната матрица е прикажана во табела 44. Конечниот ранг на алтернативите во однос на критериумот преносливост е прикажан на слика 30.

Табела 43. Матрица на споредбени парови во однос на критериумот преносливост

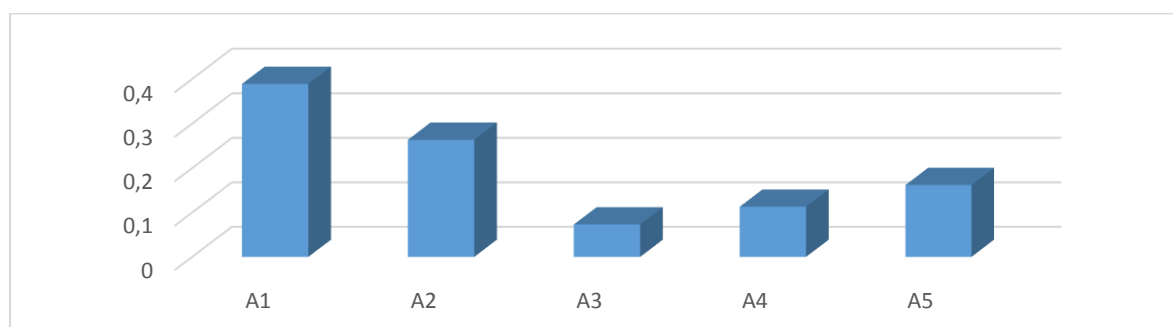
Table 43. Comparison pairwise matrix with respect of portability

	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	3	3	4	2
A2	1/3	1	5	3	2
A3	1/3	1/5	1	1/3	1/2
A4	1/4	1/3	3	1	1/2
A5	1/2	1/2	2	2	1
Сума	2,416667	5,033333	14	10,333333	6

Табела 44. Процена на приоритет според критериумот преносливост

Table 44. Assessment of the priority according criteria portability

	A1	A2	A3	A4	A5	Сума	Тежини
A1	0,413793	0,596026	0,214286	0,387096774	0,333333	1,944535415	0,388907
A2	0,137931	0,198675	0,357143	0,290322581	0,333333	1,317405302	0,263481
A3	0,137931	0,039735	0,071429	0,032258065	0,083333	0,364686103	0,072937
A4	0,103448	0,066225	0,214286	0,096774194	0,083333	0,564066683	0,112813
A5	0,206897	0,099338	0,142857	0,193548387	0,166667	0,809306497	0,161861
Сума	1	1	1	1	1		



Слика 30. Рангирање на алтернативите според критериумот преносливост

Figure 30. Ranging of the alternatives according criteria portability

Најголемата сопствена вредност  $\lambda_{\max} = 5,341$ ; индексот на конзистенција CI е 0,085; односот на конзистентност CR е 0,077, бидејќи е помал од 0,10, следува дека нивото на конзистенција е прифатливо. Според шестиот критериум – преносливост најдобро е рангиран првиот софтверски пакет - Matlab.

По добивањето на тежините за важностите на секој софтверски пакет во однос на секој критериум, следува сумирање на истите и добивање на финалниот ранг на секој од нив.

Сумираните резултати од тежините на секој критериум се прикажани во табела 45. Конечниот ранг, а со тоа и резултат од истражувањето спроведено за рангирање на најповолниот математички софтвер кој би се користел во наставата по техничките предмети во високообразовните институции, е даден во табела 46 и слика 31.

Табела 45. Сумирање на добиените финални резултати

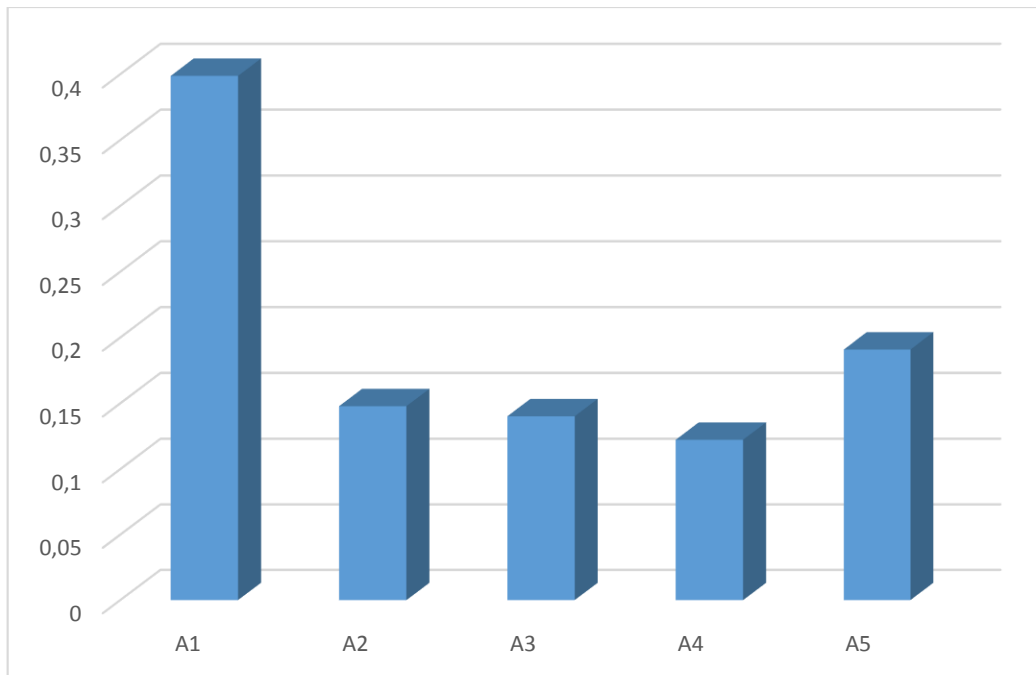
		K x A1		K X A2		K x A3		K x A4		K x A5						
<b>K1</b>	0,1998	<b>A1</b>	0,3971	0,0793	<b>A2</b>	0,2229	0,0445	<b>A3</b>	0,1478	0,0295	<b>A4</b>	0,1602	0,032	<b>A5</b>	0,072	0,014
<b>K2</b>	0,0854	<b>A1</b>	0,3899	0,0333	<b>A2</b>	0,0664	0,0057	<b>A3</b>	0,1571	0,0134	<b>A4</b>	0,1689	0,0144	<b>A5</b>	0,2178	0,019
<b>K3</b>	0,1087	<b>A1</b>	0,3642	0,0396	<b>A2</b>	0,071	0,0077	<b>A3</b>	0,1787	0,0194	<b>A4</b>	0,1006	0,0109	<b>A5</b>	0,2854	0,031
<b>K4</b>	0,0706	<b>A1</b>	0,2789	0,0197	<b>A2</b>	0,1555	0,011	<b>A3</b>	0,1701	0,012	<b>A4</b>	0,0672	0,0047	<b>A5</b>	0,3283	0,023
<b>K5</b>	0,2996	<b>A1</b>	0,451	0,1351	<b>A2</b>	0,0561	0,0168	<b>A3</b>	0,1622	0,0486	<b>A4</b>	0,1122	0,0336	<b>A5</b>	0,2186	0,066
<b>K6</b>	0,2359	<b>A1</b>	0,3889	0,0917	<b>A2</b>	0,2635	0,0622	<b>A3</b>	0,0729	0,0172	<b>A4</b>	0,1128	0,0266	<b>A5</b>	0,1619	0,038
<b>Меѓузбир за секој соф. пакет</b>				<b>0,3988</b>			<b>0,1479</b>			<b>0,1402</b>			<b>0,1223</b>			<b>0,191</b>

Table 45. Synthesizing to obtain the final result

Табела 46. Финален ранг на најсоодветен математички софтвер

Table 46. Final ranking for most appropriate mathematical software

A1 - Matlab	<b>0,398764</b>
A2 - Maple	<b>0,147852</b>
A3 - SPSS	<b>0,140186</b>
A4 - Statistica	<b>0,122336</b>
A5 - Mathematica	<b>0,190862</b>



Слика 31. Конечен ранг на математички софтвер  
Figure 31. Final rang of mathematical software

Од добиените резултати може да се заклучи дека најдобар и најсоодветен математички софтвер кој би се употребувал во наставата по техничките и природно-математичките предмети во високообразовните институции е Matlab.

## 6. Дискусија

Како што беше наведено и во почетокот на овој магистерски труд, моделите за повеќекритериумско одлучување со посебен акцент на АХП методот не се доволно разработени во домашната литература и научни трудови. Овој факт влијаеше при изборот за тема на овој магистерски труд. По деталната анализа на домашната и светската литература поврзана со оваа проблематика и по спроведените истражувања успешно беа исполнети предвидените цели со овој труд.

Најпрвин детално беа елаборирани сите поими поврзани со процесот на одлучување, карактеристиките на одлучувањето и одлуките, важноста на одлучувањето, предизвиците со кои се соочува, и кои можности ги нуди правилното одлучување. Со ова се постави една добра основа и се доби глобална слика зошто се потребни одлучувањето и специфичните методи за одлучување.

Откако беше разработена проблематиката за одлучување, детално беше образложено што претставува повеќекритериумското одлучување како посебен вид на одлучување, начините на кои се спроведува повеќекритериумското одлучување како вид на математичка оптимизација, како се групираат и избираат критериумите во истото, беше анализирано што претставува проблем на одлучување и како истиот може математички да се репрезентира преку матрица на одлучување, како и изборот на атрибутите и нивното структурирање во процесот на одлучување. Сето ова претставуваше во анализата на АХП методот и неговата примена.

АХП методот како метод за повеќекритериумска евалуација и селекција беше искористен за спроведените истражувања во овој труд. Најпрвин за него беа теориски објаснети сите формулации и постапки со кои тој се извршува, потоа беше математички опишан и, на крај, беше успешно имплементиран на два реални примери од секојдневниот живот со кои се соочуваат поединците и организациите.

Првата студија на случај беше избор за најповолна економска понуда за набавка на компјутерска опрема – преносливи компјутери во процесот на јавните набавки во Република Македонија. Беше земен пример во кој



учествуваат пет понудувачи, а како единствен фактор за избор на најповолниот понудувач во тендерската документација беше наведен критериумот цена, покрај цената беа наведени и техничките карактеристики кои треба да ги поседува секој понудувач. Земајќи го предвид овој факт, се постави цел за оваа студија на случај да се понуди нов начин кој ќе ги подобри транспарентноста и квалитетот во изборот на јавните понуди. За исполнување на целта беа земени како предмет на анализа девет критериуми за избор на економски најповолна понуда, истите се во согласност на Законот за јавни набавки на Република Македонија. По формирањето на хиерархијата се премина на оценување на важноста на секој од критериумите и формирање на првичната матрица на одлучување. Треба да се нагласи дека во давањето на оценките за важност на критериумите беа консултирани економски експерти со цел да го појаснат значењето на секој од критериумите во процесот на одлучување. Оценките се даваа според евалуациската нумеричка скала од 1 до 9, предложена од страна на Saaty. По вака формираната матрица на одлучување беа спроведени соодветните математички пресметки според АХП методот. По добивање на резултатите, односно тежините на секој од критериумите, беше спроведена проверка на конзистенцијата за секоја матрица на одлучување, со што се заклучи дека истите се конзистентни и може да се земат како релевантни. По финалните пресметки се доби и конечниот резултат дека како најповолен понудувач за набавка на компјутерска опрема – преносни компјутери е понудувачот со реден број три. Имињата на понудувачите од оваа студија на случај и нивните понуди не се наведени во овој труд и истите не се предмет на анализа и истражување.

Втората студија на случај во овој магистерски труд беше избор на најдобар и најсоодветен математички софтвер кој би се користел во наставата по техничките и природно математичките предмети во високообразовните институции. Мотив за избор на овој случај беше фактот дека компјутерите и софтверите кои се користат се сè поголеми и поприсутни во образовниот систем на нашата земја. Како резултат на ова беа земени пет математички софтвери за избор. Исто така, беа земени и шест критериуми за избор според кои се вршеше изборот и истите се во согласност со меѓународниот стандард за квалитет на софтвер ISO 9126. По формирањето на хиерархиската

структура се премина кон математички пресметки и добивање на финални резултати. Во давањето на оценките за важноста на секој критериум, како и за можностите на софтверите и нивната примена, беа консултирани компетентни лица (професори и асистенти) од Факултетот за информатика. Исто така, при давањето на оценките детално беа анализирани и техничките спецификации за секој софтвер поединечно. По дадените оценки и формираната матрица на одлучување се премина кон пресметување на добиените податоци, според АХП методот. По извршените анализи и проверка на конзистенција се извршија финалните пресметки. Како резултат од ова истражување се доби дека најдобар и најсоодветен софтвер е Matlab. За секој од овие добиени резултати има соодветна табеларна и графичка претстава, кои се прикажани во делот за резултати на овој труд.

По спроведената сеопсежна анализа на теориските и емпириски резултати се дојде до заклучок дека АХП методот нуди широк спектар на можности за примена во различни области од науката и праксата. Од овој магистерски труд, исто така, може да се извлече заклучок дека АХП во голема мера го поедноставува и притоа го прави транспарентен и флексибилен процесот на одлучување. Поради својата флексибилност, АХП нуди можност да биде комбиниран со други научни методи, па како препорака за идни научни истражувања се препорачува комбинирање на оваа со други техники од математичката оптимизација, со цел подобрување на претходно добиените резултати. Исто така, поради соите големи можности се препорачува зголемување на запознавањето и користењето со овој метод на државните и приватните органи и институции, како и на поединците и групите кои би го користеле истиот.

## 7. Заклучок

Осигурувањето на сеопфатна и конзистентна евалуација игра клучна улога во дијагностицирањето на комплексните системи. АХП методот којшто беше прикажан во овој магистерски труд е едно од можните предложени решенија. Со помош на него се подредува текот на процесот на евалуација и се подобрува процесот на донесување на одлуки.

Во овој магистерски труд беа истражени историјата и развојот на АХП методот. Примарните три функции на АХП методот структурирање на сложеноста, мерење и синтеза го направиле АХП применлив во многу апликации, а не само во избор на проблеми за одлучување. АХП има неколку едноставни аксиоми, и со исклучок на аксиомата за хиерархиски состав (која одредува дали влијанието ќе се шири надолу, но не и нагоре) се соодветни на ситуациите кои ги имаме во реалниот свет.

Дискутиравме зошто мерењата се толку важни, зошто скалата за мерење на соодносите е основата на АХП методот, како со неа се пренесуваат повеќе информации отколку со интервалните или ординарните мерења и зошто се потребни мерења на соодносите во некои примени каде што мерењата на интервалите не се соодветни. Исто така, дискутиравме зошто АХП спроведува мерење на соодносите на објективните и субјективните информации. Споредувајќи го АХП методот со останатите од областа на повеќекритериумското одлучување илустриравме зошто има значајна предност пред останатите во однос на едноставноста, едноставноста за разбирање, флексибилноста и точноста. Сите овие заклучоци беа изведени од бројните апликации применети насекаде низ светот, како и од бројната литература која беше анализирана и е цитирана во овој труд. Од нив можеше да се заклучи дека има АХП огромна примена во изборот на една алтернатива од повеќе други, приоритет/евалуација на множество од алтернативи, алокација на ресурси, бенчмарк, управување со квалитет, јавна политика, здравство, како и во стратешкото планирање.

Истражувањата спроведени во рамки на овој магистерски труд со своите резултати даваат придонес во стратешкото планирање и донесување на одлуки во процесот на јавните набавки и изборот на најповолни софтверски

решенија. Врз основа на собраните податоци беа изградени два АХП модели, кои имаат примена во донесувањето на одлуки (во јавниот сектор и во училиштата, факултетите и катедрите) во процесот на избор на најповолен економски понудувач за набавка на компјутерска опрема и во процесот на избор на најповолен и најдобар софтвер кој би се применувал во наставата по техничките и природно-математичките предмети.

За да можеше да се користи АХП методот беше неопходно да се дефинираат целите, критериумите и алтернативите за секоја од двете студии на случај. Целта на првата студија на случај беше избор на најповолен понудувач за набавка на компјутерска опрема, а пак целта на втората студија на случај беше избор на најсоодветен и најдобар математички софтвер.

Има бројни организации во приватниот и државниот сектор кои имаат корист од примената на АХП методот во нивното работење, но постојат многу повеќе други организации кои сè уште не се свесни и запознаени со можностите на АХП и како истиот одговара на нивните барања и очекувања. Се надевам дека овој магистерски труд со приложените анализи и резултати ќе придонесе до поголема популаризација на АХП и ќе доведе до суштинско разбирање на потребите за користење на еден ваков метод во процесот на евалуација и селекција. За првата студија на случај критериумите за избор беа: цена, квалитет, технички карактеристики, функционални карактеристики, еколошки карактеристики, оперативни трошоци, економичност, техничка поддршка и сервис и време на испорака. За втората студија на случај критериумите за избор беа: функционалност, сигурност, ефикасност, употребливост, одржливост и преносливост. Во првата и во втората студија на случај изборот се вршеше помеѓу пет алтернативи. За да можеше да се искористи АХП методот за рангирање на овие алтернативи беше потребно да се одредат тежините на главните критериуми, а потоа на секој од алтернативите од последното ниво беше потребно да се одреди нивниот интензитет кон бараните перформанси. Иако можеби потрагата за наоѓање на најдобриот метод за повеќекритериумско одлучување никогаш нема да заврши, може да се заклучи дека истражувањата во областа на донесување на одлуки сè уште заземаат многу вредни и критични места во многу научни и инженерски апликации.

## 8. Користена литература (References)

- [1] Arditi,D., Singh,S.(1991). Selection criteria for commercially available software in constructing accounting, *Project Management* 9 (1) 39–44.
- [2] Anderson,E.E., Chen,Y. (1997). Microcomputer software evaluation: an econometric model, *Decision Support Systems* 19 75–92.
- [3] Alphonse C., B.: Application of the Analytic Hierarchy Process in agriculture in developing countries, *Agricultural Systems*, 53, 97-112, 1997.
- [4] Avkiran, N. K. (2004). Decomposing technical efficiency and window analysis. *Studies in Economics and Finance*, 22(1), 61–91
- [5] Bhuta,J., Boehm,B.(2005). A Method for Compatible COTS Component Selection, Springer-Verlag, ICCBSS, LNCS 3412, pp. 132–143.
- [6] Blanc,L.A., Korn,W.M.(1992). A structured approach to the evaluation and selection of CASE tools, *ACM*.
- [7] Blanc,L., Jelassi,M.(1994). DSS software selection: a multiple criteria decision methodology, *Information and Management* 17 49–65.
- [8] Bhushan, N., & Rai ,K. (2004). Strategic decision making: applying the analytic hierarchy process, Springer-Verlag, London, UK.
- [9] Bayazit, O.: Use of AHP in decision-making for flexible manufacturing systems, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 16, No. 7, 2005.
- [10] BHUSHAN, N. & RAI, K. (2004). Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process. New York: Springer.
- [11] Bandini,S., Paoli,F., Manzoni,S., Mereghetti,P.(2001). A support system to COTS-based software development for business services, *SEKE'02 ACM* 307–314.
- [12] Boran, F.E., Genc, S., Kurt, M. and Akay, D.(2009). “A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method”, *Expert Systems with Applications*, 36 11363-11368.

- [13] Bana e Costa, C. and Vansnick, J. (2008) A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research* 187(3): 1422–1428.
- [14] Colombo, E., Francalanci, C. (2004). Selecting CRM packages based on architectural, functional, and cost requirements: empirical validation of a hierarchical ranking model, *Requirements Engineering* 9 186–203.
- [15] Cochran, J.K., Chen, H. (2005). Fuzzy multi-criteria selection of object-oriented simulation software for production system analysis, *Computers and Operations Research* 32 153–168.
- [16] Comella-Dorda, S., Dean, J.C., Morris, E., Oberndorf, P. (2002). A Process for COTS Software Product Evaluation, Springer-Verlag, ICCBSS LNCS 2255, pp. 86–96.
- [17] Chau, P.Y.K. (1995). Factors used in the selection of packaged software in small businesses: views of owners and managers, *Information and Management* 29 71–78.
- [18] Davis, L., Williams, G., Evaluation and selecting simulation software using the analytic hierarchy process, *Integrated Manufacturing Systems* 5 (1) 23–32.
- [19] Degraeve, Z., Labro, E., Roodhooft, F. (2000). "An evaluation of supplier selection methods from a Total Cost of Ownership perspective" *European Journal of Operational Research* 125, 1 34-59.
- [20] Degraeve, Z. and F. Roodhooft. (1999). "Effectively Selecting Suppliers Using Total Cost of Ownership," *Journal of Supply Chain Management*, 35(1) 5-10.
- Escobar, M. and Moreno-Jime ´nez, J. (2000) Reciprocal distributions in the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 123(1): 154–174
- [21] Franch, X., Carvallo, J.P. (2003). Using quality models in software package selection, *IEEE Software* 20 (1) 34–41.
- [22] Franch, X., Carvallo, J.P. (2002). A quality model based approach for describing and evaluating software packages, in: *Proceedings of the IEEE Joint International Conference on Requirement Engineering (RE'02)*, pp. 1–8.

- [23] Forman EH, Gass SI (2001) The analytic hierarchy process – an exposition. *Operations Research* 49(4): 469–486.
- [24] Foster, S.T. and LaCava, G., “The Analytical Hierarchy Process: A Step-by-Step Approach.
- [25] Grau,G., Pablo Carvallo,J., Franch,X., Quer,C.(2004). DesCOTS: a software system for selecting COTS components, in: *Proceedings of the 30th EUROMICRO Conference, IEEE.*
- [26] Golany, B. and Kress, M. (1993) A multicriteria evaluation of the methods for obtaining weights from ratio-scale matrices. *European Journal of Operational Research* 69(2): 210–220.
- [27] Ghodsypour S. H., O’Brian C.(1998). “A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy approach and linear programming”, *Int. J. Prod. Econ.*, 56/57199-212.
- [28] Hlupic,V., Paul,R.J.(1996). Methodological approach to manufacturing simulation software selection, *Computer-Integrated Manufacturing Systems* 9 (1) 49–55.
- [29] Harker P. T., Vargas L. G. (1987): The theory of ratio scale estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process. In: *Management Science*, 33 (11), p. 1383-1403
- [30] Ho, W.: Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review, *European Journal of Operational Research* 186 (2008), pp. 211-228., 2008.
- [31] Ho W., Xu X., Dey P. K. (2010). “Multi-criteria Decision Making Approaches for Supplier Evaluation and Selection: A Literature Review”, *European Journal of Operational Research*,202, 16–24.
- [32] Hlupic,V., Mann,A.S.(1995). SimSelect: a system for simulation software selection, in:*Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*, 22, pp. 720–727.
- [33] Hill, R.P. and Nydick, R.L.(1992). “Using the Analytic Hierarchy Process to structure the supplier selection procedure”, *International Journal of Purchasing and Materials Management* 28 (2) 31-36.

- [34] Ishizaka, A. and Lusti, M. (2004) An expert module to improve the consistency of AHP matrices. *International Transactions in Operational Research* 11(1): 97–105.
- Ishizaka, A. and Lusti, M. (2006) How to derive priorities in AHP: A comparative study. *Central European Journal of Operations Research* 14(4): 387–400.
- [35] Ji, P. and Jiang, R. (2003) Scale transitivity in the AHP. *Journal of the Operational Research Society* 54(8): 896–905.
- [36] Kizzort, B. (2001). Selection of components for OTS component based systems, IEEE
- [37] Kitchenham, B.A., Linkman, S., Law, D. (1997), DESMET: a methodology for evaluating software engineering methods and tools, *Computing and Control Engineering Journal* 120–126.
- [38] Kunda, D. (2003). STACE: Social Technical Approach to COTS Software Evaluation Component Based Software Quality, vol. 2693, Springer-Verlag, LNCS.
- [39] Kim, C.S., Yoon, Y. (1992). Selection of good expert system shell for instructional purposes in business, *Information and Management* 23 (5) 249–262.
- [40] Kontio, J. (1996). A case study in applying systematic method for COTS selection, *Proceedings of ICSE-18, IEEE* 201–209.
- [41] Kim, J., Moon, J.Y. (1997). An AHP and survey for selecting workflow management systems, *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance, and Management* 6 141–161.
- [42] Kontio, J., Caldiera, G., Basili, V.R. (1996). Defining factors, goals and criteria for reusable component evaluation, in: *CASCON '96 Conference, Toronto, Canada, November 12 -14,*
- [43] Kwak, N., K., Lee, C. (1998).: A multicriteria decision-making approach to university resource allocations and information infrastructure planning, *European Journal of Operational Research* 110



- [44] Knight, L., Caldwell, N. D., Harland, C., & Telgen, J. (2003). Government Reform and Public Procurement – Report from the first International Research Study on Public Procurement. Bath, U.K.: Centre for Research in Strategic Purchasing and Supply, University of Bath.
- [45] Kathuria,R., Anandarajan,M., Igbaria,M.(1999). Selecting IT applications in manufacturing: a KBS approach, OMEGA 27 605–616.
- [46] Leung,K.R.P.H., Hareton K.N. Leung. (2003). On the efficiency of domain-based COTS product selection method, Information and Software Technology 44 703–715.
- [47] Lawlis,P.K., Mark,K.E., Thomas,D.A., Courtheyn,T., A formal process for evaluating COTS software products, IEEE Proceedings Software 144 (3) 149–192.
- [48] Lai,V.S., Trueblood,R.P., Wong,B.K.(1999). Software selection: a case study of the application of the analytical hierarchical process to the selection of a multimedia authoring system, Information and Management 36 221–232.
- [49] Mohamed, A. ,Wanyama,T., Ruhe,G., Eberlein, A.,Far.(2004).B. COTS evaluation supported by knowledge bases, LSO, LNCS 3096, Springer-Verlag, pp. 43–54.
- [50] Mian, S. A. and Dai, C. X. (1999), “Decision-making over the project life cycle: An analytical hierarchy approach,” *ProjectManagement Journal*, 30(1), 40–52.
- [51] Morera,D.(2002). COTS Evaluation Using Desmet Methodology and Analytic Hierarchy Process (AHP), PROFES, LNCS 2559, Springer-Verlag, pp. 485–493.
- [52]Mollaghasemi,M., Pet-Edwards,J.TechnicalBriefing:MakingMultipleObjective
- [53] Decisions, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California.
- [54] Morisio,M., Tsoukias,A., IusWare: a methodology for the evaluation and selection of software products, IEEE Proceedings Software Engineering 144 (3)
- [55] Mohanty,R.P., Venkataraman,S.(1993). Use of analytic hierarchy process for selecting automated manufacturing systems, International Journal of Operations and Production Management 13 (8) 45–57.

- [56] Misra,S.K.(1990). Analysing CASE system characteristics: evaluative framework, *Information and Software Technology* 32 (6) 415–422.
- [57] Maggie C.Y.T. and Tummala, V.M.R.(2001). “An application of the AHP invendor selection of a telecommunications system”, *Omega*, 29 171-182.
- [58] Ngai,E.W.T., Chan,E.W.C.(2005). Evaluation of knowledge management tools using AHP, *Expert System with Applications* 1–11.
- [59] Nikoukaran,J., Paul,R.J.(1999). Software selection for simulation in manufacturing: a review, *Simulation Practice and Theory* 7 1–14.
- [60] Nikoukaran,J., Hlupic,V., Paul,R.J.(1999). A hierarchical framework for evaluating simulation software, *Simulation Practice and Theory* 7 (3) 219–231.
- [61] Nikoukaran,J., Hlupic,V., Paul,R.J.(1998). Criteria for simulation software evaluation, in: *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*.
- [62] Oh,K., Lee,N., Rhew,S.(2003)., A selection process of COTS components based on the quality of the software in a special attention to internet, HIS, LNCS 2713, pp. 626–631.
- [63] Ossadnik,W., Lange,O.(1999). AHP-based evaluation of AHP-Software, *European Journal of Operational Research* 118 578–588.
- [64] Pelez, P. and Lamata, M. (2003) A new measure of consistency for positive reciprocal matrices. *Computers & Mathematics with Applications* 46(12): 1839–1845.
- [65] Plessis, A.L.(1993). A method for case tool evaluation, *Information and Management* 25 93–102.
- [66] [52] Phillips-Wren,G.E., Hahn,E.D., Forgionne,G.A.(2004). A multiple criteria framework for evaluation of decision support systems, *OMEGA* 32 (4) 323.33.
- [67] Peniwati K (1996) The analytic hierarchy process: the possibility for group decision making. In: *Proceedings of the 4th international symposium on the analytic hierarchy process*, Vancouver, Canada. (Obtainable from RWS Publications, 4922 Ellsworth Avenue, Pittsburgh, PA 15213.), pp 202–214

- [67] Patel,N., Hlupic,V.(1997). A methodology for the selection of knowledge management (KM) tools, in: Proceedings of the 24th International Conference on IT Interfaces 2002, Cavtat, Croatia.
- [68] Roy, B. (1996) Multicriteria Methodology for Decision Analysis. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- [69] Reimann,B.C., Waren,A.D.(1985). User-oriented criteria for the selection of DSS software, Communications of the ACM 28 (2).
- [70] Rincon,G., Alvarez,M., Perez,M., Hernandez,S.(2005). A discrete event simulation and continuous software evaluation on a systematic quality model: an oil industry case, Information and Management 42 1051–1066.
- [71] Reed,C.(1982). A minimum set of criteria for selecting a turn-key geographic information system, Computer and Environment Urban System 7 329–333.
- [72] Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill Book Co., N.Y.
- [73] Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process, Management Science, 32, 841- 855.
- [74] Saaty, T. L. (1990). An Exposition of the AHP in Reply to the Paper "Remarks on the Analytic Hierarchy Process", Management Science, Vol. 36, No. 3, 259-268.
- [75] Saaty, T. L. (1991a). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, European Journal of Operations Research, Vol. 48, 9-26.
- [76] Saaty, T. L. (1991b). Rank and the Controversy About the Axioms of Utility Theory -- A Comparison of AHP and MAUT, Proceedings of the 2nd International Symposium of The Analytic Hierarchy Process, Pittsburgh, PA, 87-111.
- [77] Saaty, T. L. (1994a). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, Interfaces, 24, 19-43.
- [78] Saaty, T. L. (1994b). Fundamentals of Decision Making, RWS Publications, Pittsburgh, PA
- [79] Saaty, Thomas L.,(1996). Decision Making with Dependence and Feedback, RWS Publications, Pittsburgh, PA, 1996.

- [80] Saaty, T. and Ozdemir, M. (2003) Negative priorities in the analytic hierarchy process.
- [81] Mathematical and Computer Modelling 37(9–10): 1063–1075.
- [81] Stamelos,I., Vlahavas,I., Refanidis,I., Tsoukias,A.(2000). Knowledge based evaluation of software systems: a case study, Information and Software Technology 42 333–345.
- [82] Stylianou, A.C., Madey,G., Smith, R.D.(1999). Selection criteria for expert system shells: a socio-technical framework, Communications of the ACM 55 (10).
- [83] Shtub,A., Spiegler, I. Kapaliuk, A.(1998). Using DSS methods in selecting operations management software, Computer-integrated Manufacturing Systems 1 (4)
- [84]Santiago,C.-D., John,C., Edwin,M., Patricia,O.(2002). A process for COTS software product evaluation, ICCBSS 2002, LNCS 2255, pp. 86–96.
- [85] Sarkis,J., Talluri,S.(2004). Evaluating and selecting e-commerce software and communication systems for supply chain, European Journal of Operational Research 159 318–329.
- [86] Sanayei, A., Mousavi, S.F. Abdi, M.R. and Mohaghar, A.(2008). “An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming”, Journal of the Franklin Institute, 345 731-747.
- [87] Shyur, H.J. and Shih, H.S.(2006). “A hybrid MCDM model for strategic vendor selection”, Mathematical and Computer Modeling, 44749-761.
- [88]Teltumbde, A.(2000). A framework for evaluating ERP projects, International Journal of Production Research 38 (17) 507–4520.
- [89] Triantaphyllou,E.(2000). Multi-Criteria Decision making Methods: A Comparative Study, Springer.
- [90] Triantaphyllou, E. (2002). Multi-Criteria Decision Making Methods: A comparative Study. New York: Springer.

- [91] Triantaphyllou, E. & Mann S. H. (1995). Using The Analytic Hierarchy Process For Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges. *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, Vol. 2, No. 1, pp. 35-44, 1995.
- [92] Toshtzar, M. (1988). Multi-criteria decision making approach to computer software evaluation: application of the analytical hierarchical process, *Mathematics and Computer Modeling* 11 276–281.
- [93] Tewoldeberhan, T.W., Verbraeck, A., Valentin, E., Bardonnnet, G., An evaluation and selection methodology for discrete-event simulation software, in: *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, pp. 67–75.
- [94] Tummala, V. and Wan, Y. (1994) On the mean random inconsistency index of the analytic hierarchy process (AHP). *Computers & Industrial Engineering* 27(1–4): 401–404.
- [95] Tahriri, F., Osman, M.R., Ali, A. and Yusuff, R.M. (2008). “A review of supplier selection methods in manufacturing industries”, *Suranaree J. Sci. Technol.*, 15(3) 201-208.
- [96] Vargas, L. (1990) An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research* 48(1): 2–8.
- [97] Vlahavas, I., Stamelos, I., Refanidis, I., Tsoukias, A., ESSE: an expert system for software evaluation, *Knowledge-based Systems* 12 (1999) 183–197.
- [98] Wei, C., Chien, C., Wang, M.J. (2005). An AHP based approach to ERP system selection, *International Journal of Production Economics* 96 (1) 47–62.
- [99] Welzel, D., Hausen, H. (1993). A five step method for metric-based software evaluation-effective software metrication with respect to quality standard, *Microprocessing and Microprogramming* 39 273–276.
- [100] Weber, C. A., Current, J. R. and Benton, W. C. (1991) . “Vendor Selection Criteria and Methods”, *European Journal of Operational Research*, 50 2-18.
- [101] Warren, J., (2004), “Uncertainties in the Analytic Hierarchy Process”

[102]Zahedi,F.(1998). Database management system evaluation and selection decisions,Decision Sciences 16 (1) 91–116.

[103] Zahedi,F.(1990). A method for quantitative evaluation of expert systems, European Journal of Operational Research 48 (1) 136–147.

[104] Zeleny M. (1982): Multiple criteria decision making. McGraw-Hill Book Company, New York.

**Лапевски Мартин**

**Повеќекритериумско одлучување во процесот на селекција и евалуација –  
примена на методот на АХП (Аналитички хиерархиски процеси).**

**Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип**