

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Индустијски инжењеринг

Предмет: Менаџмент мрежама снабдевања

Број индекса: 347/2018

Милица З. Вуловић

Одређивање оптималне стратегије снабдевања

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Редовни професор, др Данијела Тадић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да одреди место и значај менаџмент проблема одређивања оптималне стратегије снабдевања у процесу управљања глобалним ланцима снабдевања. Потребно је да разуме егзактне методе помоћу којих може да се нађе оптимална стратегија снабдевања. Посебну пажњу студент треба да усмери на вишекритеријумске оптимизационе методе. Од студента се очекује да разуме принцип вишекритеријумске оптимизације, да разуме класификацију ових метода и опише предности и недостатке коришћених метода унутар исте групе. Предложене модификације треба јасно и тачно да се прикажу и да буду илустроване подацима који се добијају из реалних привредних субјеката.

Препоручена литература:

- [1] Tadić, D., Milanovic, D., Misita, M., Tadić, B., New integrated approach to the problem of ranking and supplier selection under uncertainties, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part B Journal of Engineering Manufacture, Vol. 225, pp. 1713-1724, 2011.
- [2] Mohammed, A., Harris, I., Govindan, K., A hybrid MCDM-FMOO approach for sustainable supplier selection and order allocation, International Journal of Production Economics, Vol. 217, pp. 171-184, 2019
- [3] Božanić, D., Pamučar, D., Karović, S., Primene metode MABAC u podršci odlučivanju upotrebe snaga u odbrambenoj operaciji, Tehnika, Vol. 71, No. 1, pp. 129-136, 2016.

Крагујевац, 2020.

Ментор:

др Данијела Тадић, редовни професор

Садржај

1. Увод.....	1
2. Основна разматрања о ланцу снабдевања	3
2.1 Структура ланца снабдевања	3
2.2 Менаџмент ланцем снабдевања	10
3. Вишекритеријумски приступ у избору добављача.....	14
3.1 Преглед литературе о методама за избор добављача	17
3.2.1 АНР метода	19
3.2.2 ELECTRE метода	23
3.2.3 MABAC метода	28
4. Предложена методологија	31
5. Пример.....	40
6. Закључак.....	52
7. Литература	53

Резиме

Данас компаније послују на веома конкурентном тржишту, тако да менаџмент мора непрекидно да прилагођава производне и дистрибутивне стратегије како би задовољили потребе купаца. Избор добављача представља један од најважнијих стратегијских задатака менаџмента и решење овог проблема омогућава постизање конкурентске предности. За менаџмент предузеће је веома важан ефикасан и поуздан добављач, јер у супротном то може довести до разних проблема који могу проузроковати незадовољство купаца. Избор одговарајућих критеријума за оцењивање добављача представља први корак у решавању разматраног проблема. Избор метода представља други корак у решавању проблема. Најчешће се оцена и избор добављача постављају као вишекритеријумски оптимизациони проблеми тако да избор метода представља заправо избор метода више-критеријумске оптимизације. У овом раду ће бити коришћене три методе вишекритеријумског одлучивања. АHP метода биће коришћена за одређивање тежина критеријума, док ће се методе ELECTRE и MABAC користити за рангирање алтернатива према одређеним критеријумима. Ове методе су тестиране на илустративним примерима.

Кључне речи: *избор добављача, AHP, ELECTRE, MABAC*

Abstract

Today, companies operate in a very competitive market, so management must constantly adjust production and distribution strategies to meet customer needs. The choice of suppliers is one of the most important strategic tasks of management and the solution of this problem allows to achieve a competitive advantage. An efficient and reliable supplier is very important for the management company, otherwise it can lead to various problems that can cause customer dissatisfaction. Selection of appropriate criteria for evaluating suppliers is the first step in solving the considered problem. Selection of method is the second step in solving the problem. Most often, the evaluation and selection of suppliers are set as multi-criteria optimization problems, so the choice of methods is actually a choice of methods of multi-criteria optimization. In this paper, three methods of multicriteria decision making will be used. The AHP method will be used to determine the weights of the criteria, while the ELECTRE and MABAC methods will be used to rank alternatives according to specific criteria.. These methods were tested on illustrative examples.

Keywords: *supplier selection, AHP, ELECTRE, MABAC*

1. Увод

У данашње време, компаније послују на врло неизвесном тржишту које се убрзано развија. Како би компаније остале конкурентне, морају се прилагодити променама којима су изложене. Из тог разлога, менаџмент корпорације које имају сложену структуру непрекидно прилагођавају своје производне и дистрибутивне стратегије како би задовољили потребе купаца по што нижим ценама, а истовремено максимизирали добит. У литератури, предузећа која имају сложену структуру и чији елементи могу да егзистирају на различитим локацијама се називају ланци снабдевања.

Ланац снабдевања се може представити као скуп од три или више субјеката (организација или појединаца) који су директно укључени у узводни и низводни ток производа, услуга, финансија или информација. Ланац снабдевања обухвата набавку сировина од добављача, претварање материјала у полупроизводе и готове производе, складиштење материјала или производа и дистрибуцију готових производа купцима [1]. Добра структура и оптимизација ланца снабдевања представљају кључне факторе који утичу на његову функционалност. Приликом планирања ланца снабдевања потребно је утврдити [2,3]:

- број, локацију, капацитет и врсту производних погона и складишта који се користе,
- скуп добављача,
- скуп продајних објеката,
- транспортне канале које треба користити и
- количину сировина и производа за производњу и испоруку међу добављачима, производним погонима, складиштима и продајним објектима.

Обзиром на постојање конкуренције, пословне организације посвећују доста времена проналажењу и избору извора снабдевања. Конкурентност намеће производним компанијама да успоставе дугорочну сарадњу са поузданим добављачима што доприноси успеху компанија и стварању ефикаснијег ланца снабдевања. Менаџмент бира добављаче са респектовањем захтева да репроматеријал треба да буде што већег квалитета, што мање јединичне цене, да ризик испоруке производа буде елиминисан и да се повећа ниво задовољства купаца. Производне компаније су све више зависне од својих добављача, а последице лоше донесених одлука приликом избора добављача могу значајно утицати на њихово пословање. На веома конкурентном тржишту, није лако изводљиво променити добављаче, стога треба анализу приликом избора и оцењивања добављача извршити са великом прецизношћу [4]. Елементи који се користе за испитивање потенцијалних добављача могу се разликовати и зависе од потреба компаније. За оцењивање потенцијалних добављача користе се одговарајући критеријуми. Критеријуми су дефинисани тако да одражавају потребе компаније и њену стратегију снабдевања. Може се догодити да критеријуми које је фирма формулисала буду непримењиви за неке добављаче или производе/услуге. Дефинисање критеријума је сложен процес, јер су потребе компаније најчешће квалитативни појмови и потребно их је трансформисати у квантитативне податке због лакше процене.

Критеријуми се најчешће деле у следеће категорије [5]:

- критеријуми добављача,
- критеријуми перформанси производа,
- критеријуми за извршење услуга и
- критеријуми трошкова.

Методе вишекритеријумског одлучивања представљају ефикасан начин који се користи за доношење одлука које се посматрају са више аспеката. Стога се широко примењује у различитим научним областима. У многим стварним проблемима, доносиоцима одлука је тешко да дају своје оцене о учинку и тежини критеријума са прецизним вредностима.

У раду ће бити коришћене три методе вишекритеријумског одлучивања. Analytic hierarchy process (AHP) [6] метода биће коришћена за одређивање тежина критеријума, док ће се методе ELimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE) [7] и Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC) [8] користити за рангирање добављача према одређеним критеријума, а потом ће се добијени резултати упоређивати.

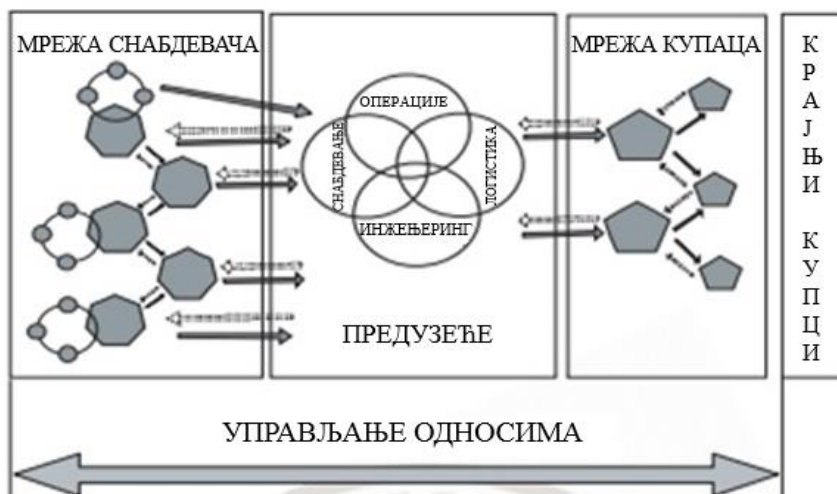
Завршни рад се састоји из 6 поглавља. У другом поглављу дата су основна разматрања о ланцу снабдевања, док је у трећем поглављу објашњен вишекритеријумски приступ у избору добављача. Предложена методологија вишекритеријумског одлучивања је представљена је у поглављу 4. Примена предложене методологије на практичном примеру описана је у поглављу 5. У поглављу 6 су дати закључни коментари.

2. Основна разматрања о ланцу снабдевања

У овој секцији дата су основна разматрања о структури и менаџменту ланца снабдевања. Посебна пажња је усмерена на производне ланце снабдевања.

2.1 Структура ланца снабдевања

Средином XX века менаџмент компаније су ставиле акценат на производњу са циљем да се сниже трошкови производње и цена производа. Последица тога је представљао велики број различитих производа на тржишту и то у великим количинама што је допринело да се задовоље одређени захтеви корисника. Међутим, предности које су доносиле напредне производне технологије, постале су недовољне за привлачење корисника, па су се произвођачи оријентисали на процесе логистике који су се појављивали на путу готовог производа до крајњег корисника. У том тренутку, почела је да се ствара идеја о ланцу снабдевања [9]. Ланац снабдевања представља сложен и динамички систем токова производа, услуга, информација, новца и знања (слика 1). Састоји се од организација које су на директан или индиректан начин укључене у задовољавање захтева крајњих потрошача. Активности ланца снабдевања почињу са поруџбином купца и завршавају се када задовољан купац плати купљена добра. Може се догодити да се ланац снабдевања наставља и после крајњих купаца, када се говори о рециклирању отпадних материјала и његове поновне употребе као сировине.



Слика 1. Ланац снабдевања [9]

Најважнији чиниоци ланца снабдевања су [9]:

- произвођачи,
- добављачи,
- дистрибутери,
- veleпродаје,
- малопродаје и
- купци/потрошачи.

Циљеви ланца снабдевања су [9]:

- задовољење крајњих купаца,
- минимизација укупних трошкова ланца снабдевања и
- максимизација укупног прихода од продаје производа и/или услуга крајњим купцима.

Фазе развоја ланца снабдевања [9] приказане су на слици 2.

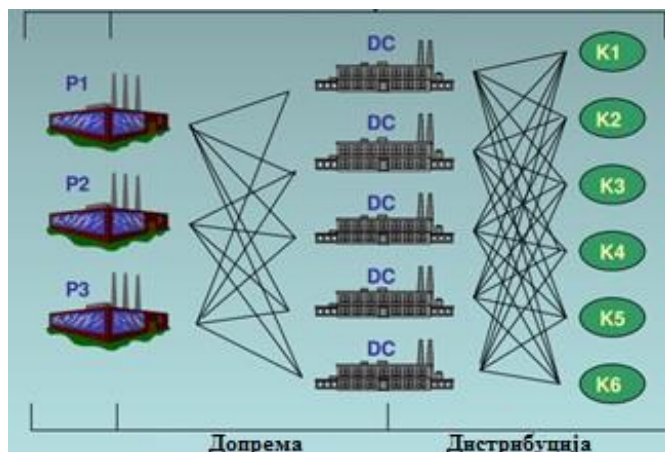


Слика 2. Фазе развоја ланца снабдевања [9]

Прва фаза у развоју ланца снабдевања је настала 1976. године када је уочена зависност између процеса складиштења и транспорта, при чему је извршена интеграција ова два процеса. Резултати који су се постигли приликом интеграције су:

- боља информациона повезаност између складишта различитих нивоа,
- смањен ниво залиха у складиштима и
- повећан квалитет услуге и снижени укупни трошкови услед заједничког праћења активности транспорта и складиштења и оптимизације локација складишта.

Друга фаза развоја ланца (1980. година) снабдевања наглашава важност функције поруџбине (слика 3). Карактеристике ове фазе су зачеци електронске размене података, побољшаних комуникационих технологија, хардвера и софтвера.



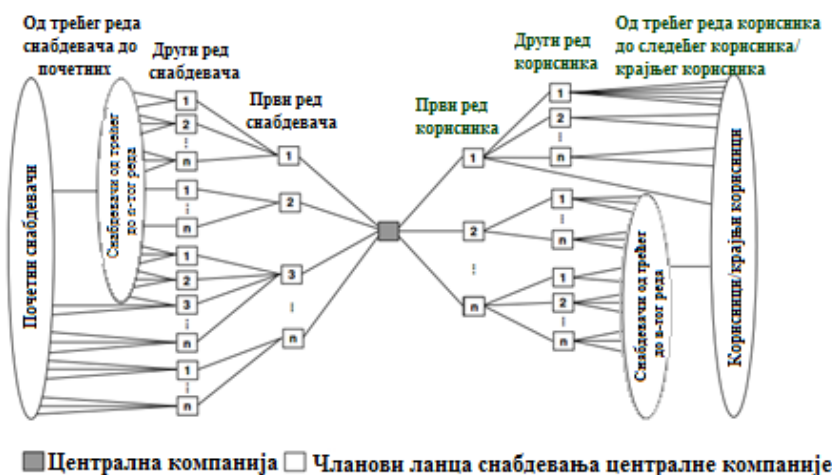
Слика 3. Друга фаза развоја ланца снабдевања [9]

Трећа фаза је настала 1990. године додавањем два елемента, снабдевање и крајњи корисници, претходној фази. Исте године, развој ланца снабдевања долази до IV фазе, када су се претходном ланцу снабдевања додали развој производа, маркетинг и услуга корисницима (слика 4).



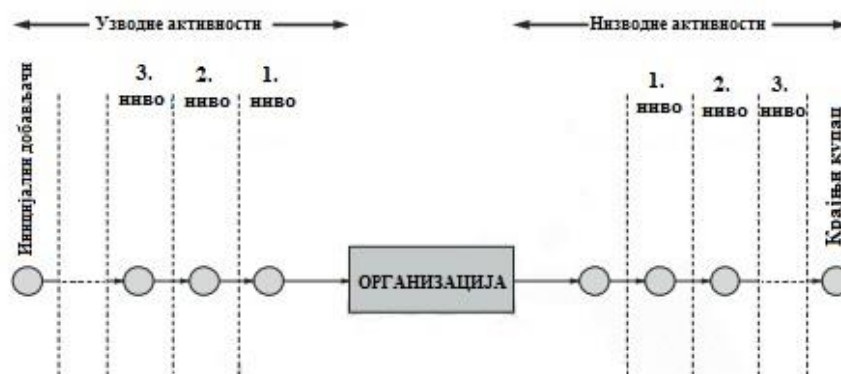
Слика 4. Четврта фаза развоја ланца снабдевања [9]

Последњу фаза у развоју ланца снабдевања карактеришу информациони токови, па се још назива и електронски ланац снабдевања. Он обухвата комплетно интегрисано управљање ланцем снабдевања и компоненте електронске трговине (електронско наручивање, електронско плаћање, електронска обрада података). Електронски ланац снабдевања доприноси смањењу папирологије, нижим трансакционим трошковима, бржој комуникацији и смањењу грешака. У данашње време, ланац снабдевања својим обликом подсећа на мрежу снабдевања (слика 5).



Слика 5. Данашњи облик ланца снабдевања [9]

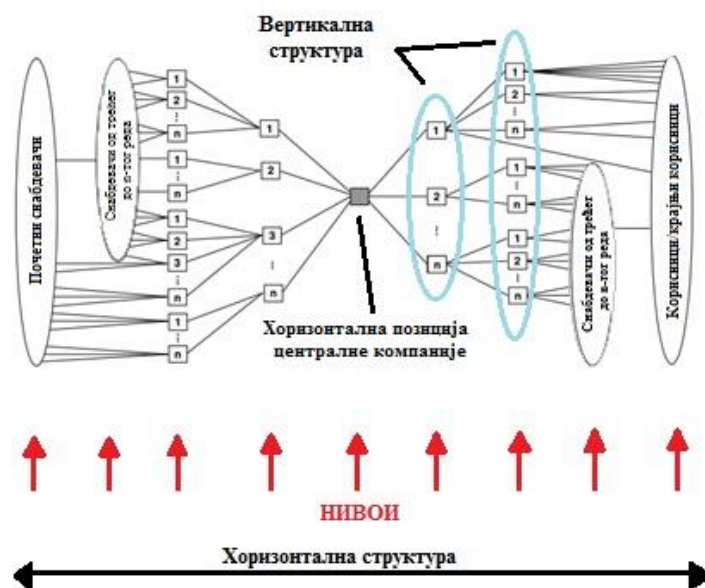
Са аспекта централне компаније, активности које се одвијају испред ње представљају узводно кретање материјала, док се активности које се одвијају након ње називају низводно кретање материјала [9]. Узводне активности се деле на више нивоа добављача, при чему први ниво представљају добављачи који материјале достављају организацији у којој се извршава производња, док последњи ниво чине изворни добављачи. Када су у питању низводне активности, купци су подељени у више нивоа. Први ниво купаца су они који добијају производ из производне фирме, а последњи ниво купаца представљају крајњи корисници. Узводне и низводне активности су представљене на слици 6.



Слика 6. Активности у ланцу снабдевања [9]

Када је реч о структурној димензији ланца снабдевања (слика 7), могу се разликовати три основне димензије [9]:

- хоризонтална структура - представља број различитих нивоа, односно, типова учесника у ланцу снабдевања,
- вертикална структура - представља број учесника унутар сваког нивоа и
- хоризонтална позиција централне компаније - представља позицију централне компаније у односу на почетну и крајњу тачку ланца.



Слика 7. Структура ланца снабдевања [9]

Ланац снабдевања се може дефинисати као комплексан систем на основу чињенице да су његови елементи различите организације, почевши од набавке сировина, производње, продаје па до крајњих корисника. Структура и управљање ланцем снабдевања зависе од много фактора, а неки од њих су [9]:

- врста индустрије,
- сложеност производа,
- број добављача,
- расположивост сировина,

- тржиште на коме ланац снабдевања послује и
- број чланова ланца снабдевања.

Из перспективе оперативног управљања разматрају се три основне компоненте ланца снабдевања [10]:

- снабдевање,
- складиштење и
- дистрибуција.

Процес снабдевања обухвата комплетан поступак од почетне сировине до крајњег производа. Сваки организација унутар ланца снабдевања се налази у улози купца када купује материјал од добављача, али се такође налази и у улози добављача када испоручује материјале својим купцима. На пример, veleprodaja је у улози купца када купује робу од произвођача, али је у улози добављача када продаје производе малопродаји. Снабдевање представља врло битну компоненту у ланцу снабдевања, која се састоји од низа активности које омогућавају снабдевање организације потребним материјалима од добављача.

У стандарду ISO 9001 су прописани одређени захтеви који се односе на процес набавке [9]:

- набављени производ мора да буде усаглашен са специфицираним захтевима набавке,
- испоручиоци се вреднују и бирају на основу њихове способности да испоруче производ у складу са захтевима организације,
- морају се установити критеријуми за избор и вредновање и
- морају се чувати документи о резултатима вредновања и о свим неопходним мерама које проистичу из вредновања.

Процес снабдевања повезује организације у ланцу снабдевања и координира током материјала између купаца и добављача. Уколико је набавка материјала лоше спроведена, могу се догодити разни проблеми као што су:

- испорука погрешне робе,
- испорука погрешне количине,
- лош квалитет материјала,
- кашњење испоруке и сл.

Да би се снабдевање материјалом спровело на исправан и квалитетан начин, неопходно је испунити концепт 7П, који подразумева [9]:

- праве материјале,
- праве количине,
- праве услове,
- праве изворе,

- праве услуге,
- право време и
- праве цене.

У табели 1 приказани су задаци и значај истих за процес снабдевања.

Табела 1. Задаци и њихов значај за процес снабдевања [9]

Р. бр.	Активност	Значај активности
1.	Осигурати непрекидни ток материјала - сировина, потрошног материјала и услуга потребних за рад предузећа.	Доступност кад се траже. Затварање производних линија може оштетити и раднике и купце, а посебно повећати укупне трошкове.
2.	Свести на минимум инвестиције и губитке везане уз залихе.	Држање залиха може достићи трошак и до 50% вредности производа. Трошкови одржавања залиха обично износе 20% - 30% вредности производа.
3.	Одржавати одговарајуће стандарде квалитета.	Квалитет набављеног материјала може повећати укупни квалитет производа. Стандарди квалитета се не могу изгубити због нижих цена материјала.
4.	Наћи или развити компетентне добављаче.	Добри и поуздани добављачи помажу решавању проблема снабдевања. Примарни циљ менаџера снабдевања је наћи добре добављаче.
5.	Стандардизовати купљене предмете где и кад год је могуће.	Стандардизовање материјала има за последицу смањење: залиха, трошкова држања залиха и омогућује куповину по нижим ценама.
6.	Снабдевати се потребним материјалима и услугама по нижим крајњим ценама.	Аутоматски не треба прихватити најнижу цену. Цену дефинише време, уложени напор и новац за снабдевање материјалом. Трошкови могу зависити од услуге, квалитета материјала, количина и услова испоруке.
7.	Унапредити конкурентну позицију предузећа.	Снабдевањем предузећа правим материјалима по најнижим крајњим ценама подижемо конкурентску позицију предузећа. Снабдевањем развити квалитетан однос са добављачима због непрекидности токова материјала.
8.	Ускладити деловања са свим организационим целинама предузећа.	Снабдевање није себи сврха. Оно утиче на све операције у предузећу и комуницира са свим деловима предузећа.
9.	Свести административне трошкове на минимум уз остварење циљева снабдевања.	Оперативни трошкови снабдевања: куповина, путни трошкови, телефон, информатичка опрема. Исте је неопходно ефикасно контролисати.

Према стандарду ISO 9001 процес набавке се састоји од следећих активности [9]:

1. дефинисање спецификација за набавку,
2. преиспитивање захтева за набавку,
3. слање захтева за набавку потенцијалним добављачима који морају бити из регистра одобрених добављача,
4. оцена и избор добављача,
5. оцена и избор понуде,
6. наручивање производа,
7. реализација набавке,
8. пријем и верификација производа,
9. евиденција о пријему производа.

Верификација се мора извршити пре него што се изврши пријем производа у складиште. Верификацијом се утврђује да ли производ испуњава захтеве који су дефинисани у поруџбеници. Поступак верификације подразумева следеће активности [9]:

- упоређивање набавних докумената организације и отпремних докумената испоручиоца,
- контролисање испоручених количина производа,
- контролисање захтеваних сертификата производа,
- контролисање оштећења производа приликом транспорта и
- спровођење испитивања на узорцима производа.

Да би се донела одлука око избора извора снабдевања, врши се поређење унутрашњих (сопствених) могућности производње материјала са могућностима које нуди спољашњи извор снабдевања. Ако је компанија способна да за ниже трошкове изради производе помоћу сопствених капацитета, она ће се пре одлучити за унутрашњу стратегију снабдевања. Међутим, постоје ситуације када су фирме принуђене да врше набавку производа из спољашњих извора, а неки од разлога за то су [9]:

- потребан материјал није расположив,
- захтев за вишим квалитетом материјала,
- расположивост нових технологија и сл.

Снабдевање из спољашњих извора носи и одређене ризике [9]:

- нестабилна политичка ситуација у свету,
- нестабилност курса новчаних валута,
- испорука се неће обавити пре него што се изврши целокупна уплата,
- таксе и царине,
- неки термини не могу да се преведу на све језике и сл.

Да би се створила што већа вредност за крајњег корисника у ланцу снабдевања, потребно је извршити интеграцију свих активности и процеса унутар ланца. Са глобализацијом, расту потребе и захтеви корисника које је потребно испунити, а тиме се повећава број активности које је потребно извршавати у оквиру ланца снабдевања. Компаније су приморане у циљу ефикасног пословања да се посвете само кључним активностима, док остале мање важне активности преусмеравају на друге организације које могу да их изврше квалитетније, брже и јефтиније [8].

2.2 Менаџмент ланцем снабдевања

Савремено пословно окружење захтева да се производи израђују у складу са жељама купаца, што брже и по што повољнијој цени. Менаџмент ланцем снабдевања се може дефинисати као процес планирања, реализације и контроле свих активности у ланцу снабдевања на најефикаснији могући начин у циљу задовољавања потреба крајњих потрошача, нудећи виши квалитет, разноврсност производа и флексибилност [9]. На развој процеса менаџмента ланца снабдевања изузетан утицај имају информационе технологије, а највише Enterprise Resource Planning (ЕРП) и Advanced planning and scheduling (АПС) системи. ЕРП системи обједињују финансије, праћење наруџбина, анализу продаје, дистрибуцију и контролу квалитета. Ови системи су доста ригидни, стога њихова примена захтева добро дефинисане податке. АПС системи надомештају недостатке ЕРП система и на основу задатих циљева креирају распоред активности

Увођењем менаџмента ланцем снабдевања постижу се следеће предности [10]:

- краће време испоруке,
- нижа цена испоруке,
- унапређење односа са партнерима,
- побољшано управљање складиштима уз ниже трошкове,
- пораст прихода,
- повећана флексибилност,
- конкурентска предност и
- виша тржишна вредност компаније.

Најважнији фактори који могу утицати на менаџмент ланцем снабдевања су [10]:

- смањење броја добављача - данас компаније смањују број својих добављача, јер не желе да имају више извора за сваки производ и верују у успостављање дугорочних односа са мањим бројем поузданих добављача.
- пораст конкуренције - на глобалном тржишту је значајно увећан број предузећа која нуде сличне производе. Последица тог раста је да ће ланци снабдевања да се развијају у оба смера - уназад према добављачима у другим земљама и унапред према новим купцима у тим земљама.
- скраћивање животног циклуса производа - овај фактор настаје због увођења нових производа од стране конкурената који очекују стицање конкурентске предности на тај начин. Да би предузеће брзо реаговало на увођење нових производа мора имати флексибилне процесе, при чему битну улогу у томе имају добављачи.

- технологија - коришћење нових технологија омогућава предност над конкурентима. Електронска размена података доприноси остваривању добре везе између базе података купца и базе података његових добављача. Добављачу је омогућен приступ бази података која садржи информације о продаји њихових производа. Приступом бази података могу видети податке о испорукама, о продаји и о залихама на складишту.

Успешно пословање компаније подразумева доношење одлука које ће истовремено омогућити смањење трошкова компаније и задовољење потреба купаца, што за доносиоце одлука представља велики изазов. Приликом доношења таквих одлука, морају се у обзир узети три фактора [8]:

- трошкови,
- време и
- квалитет.

Ови фактори захтевају смањење трошкова у свим подсистемима ланца снабдевања, смањење времена које је потребно да се изврше активности и операције унутар тих подсистема, као и повећавање квалитета производа што директно утиче на задовољство крајњег купца. Менаџмент ланцем снабдевања доста утиче на квалитет производа и услуга, што доприноси значају односа између набавке и снабдевача. У данашњим ланцима снабдевања, подсистем набавке и избор добављача, као најважнији процес набавке, представљају важне елементе за функционисање ланца снабдевања. Избор добављача представља кључну активност због утицаја добављача на цену, квалитет, испоруку производа и веома је важна за компаније које желе да постигну што боље успехе на данашњем глобализованом и конкурентном тржишту. Поступак избора добављача састоји се из четири фазе [8]:

1. дефинисање потребних елемената за извршење набавке,
2. идентификовање критеријума који су битни компанији са аспекта њених потреба и захтева, а на основу којих ће се вршити оцењивање потенцијалних добављача,
3. оцењивање добављача према формираним критеријумима у претходној фази и
4. избор добављача.

Веома је важно континуирано прикупљати и обрађивати податке о добављачима, успоставити и одржавати контакт с њима, као и вршити евалуацију и рангирање извора снабдевања.

При избору, компаније бирају добављаче који имају следеће карактеристике [9]:

- имају финансијску сигурност и добру дугорочну перспективу,
- имају способност и капацитет да испоруче тражени материјал високог квалитета,
- поуздано врше испоруке, у кратком времену од поруџбине,
- наводе прихватљиве цене,
- флексибилни су у односу на потребе купаца,
- имају искуства и стручности у производњи,

- стекли су добру репутацију и
- имају успешну сарадњу у прошлости и са којима могу да се развијају дугорочни односи.

Ослањање на један извор снабдевања може довести до повећања ризика од поремећаја у ланцу снабдевања, док зависност од више извора снабдевања може проузроковати повећање фиксних трошкова наручивања, односно административних и преговарачких трошкова [11].

Предности снабдевања из једног извора су [9]:

- јача веза између купаца и добављача, која често може бити формализована савезом или партнерским односом,
- посвећеност свих страна успеху овог односа,
- ниже цене за веће поруџбине,
- олакшана комуникација, смањена администрација и једноставније процедуре за редовне поруџбине,
- мање варијације у материјалима и њиховој испоруци,
- боља контрола квалитета и
- нижи трошкови превоза, чувања залиха и сл.

Недостаци који се јављају приликом снабдевања из једног извора су [9]:

- неизвесност у случају несташице, финансијских проблема или неким другим ситуацијама,
- повећање цена,
- самодопадност снабдевача у вези са квалитетом и услугом купцу и
- мања флексибилност.

Предности снабдевања из више извора су [9]:

- конкуренција међу добављачима снижава цене,
- мања шанса да дође до прекида у испоруци, јер се проблеми могу избећи променом добављача,
- укључивање већег броја организација даје већу количину знања и информација,
- већа шанса за подстицање иновација и усавршавања;

Недостаци који се јављају приликом снабдевања из вишеструког извора су [9]:

- већи трошкови наручивања,
- већи трошкови транспорта и
- проналажење испоручилаца и развијање односа са њима захтева више времена и новца.

Најчешћи случај је да купци бирају своје добављаче, међутим може се догодити да добављачи имају већу моћ и да они бирају с ким ће сарађивати. То се углавном дешава уколико добављач поседује монопол над неким материјалом. Међутим, може се десити да постоји привремена несташица неке робе, па добављачи могу бирати купце које ће снабдевати, дајући предност већим купцима, онима који више плаћају или са којима имају развијене дугорочне пословне односе.

Већина компанија надгледа своје добављаче како би биле сигурне да ће они и даље пружати услуге на задовољавајућем нивоу. Често примењиван приступ оцењивања добављача јесте креирање листе важних фактора на основу које се проверава да ли добављач задовољава критеријуме који су у складу са овом листом. Ако добављач не испуњава било који критеријум, компанија може поразговарати са добављачима о побољшањима или да тражи нове изворе. Циљ оцењивања добављача није да се замене постојећи извори снабдевања са којима је већ остварена пословна сарадња, већ да се прати њихов рад, идентификују области које треба унапредити и направи план како да се на најбољи начин остваре побољшања. Организација започиње потрагу за новим добављачима само у крајњем случају, односно, уколико се не могу испунити захтеви које она тражи од добављача.

3. Вишекритеријумски приступ у избору добављача

Многе компаније теже да успоставе што бољу сарадњу са својим добављачима са циљем да побољшају своје способности и конкурентност. Куповина материјала или услуге од стране произвођача, може утицати на формирање и до 70% цене производа [12].

Избор добављача представља сложен процес вишекритеријумског доношења одлука који узима у обзир квалитативне и квантитативне критеријуме. Постоји велики број различитих метода вишекритеријумског приступа које могу помоћи у решавању проблема избора добављача. Употребом модела за подршку одлучивању заснованих на вишекритеријумској анализи, доносиоцу одлуке омогућава да, сагледавајући све критеријуме различитих карактеристика, донесе најбоље решење. Проблеми у вези избора добављача називају се „динамичким проблемима избора добављача“ јер се односе на динамичко окружење које се може мењати у било којем периоду. Такве промене могу изазвати различите одлуке, у којима се добављач може користити у једном периоду, али не у другом [11].

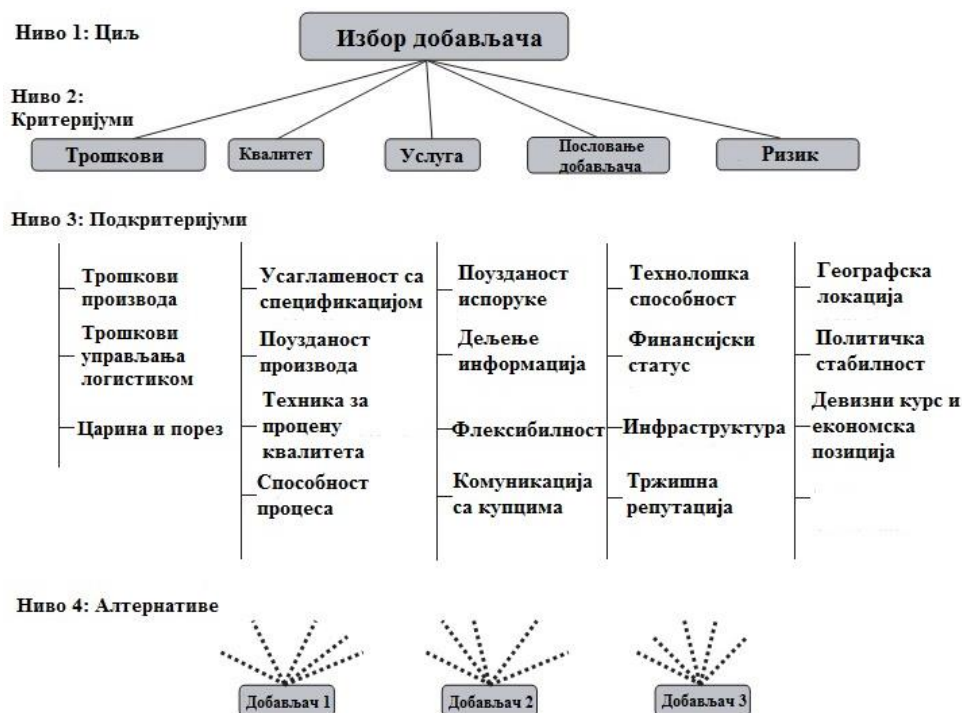
У прошлости, када су се доносиле одлуке у вези избора добављача, није се узимао у обзир утицај на животну средину, већ је фокус био само на критеријумима који су се односили на трошкове производа, време испоруке и квалитет производа. У последње време, са повећањем свести о заштити животне средине, веома је битно за компаније да бирају „зелене добављаче“, јер то утиче на њен еколошки учинак. За избор „зеленог добављача“ врши се процена добављача на основу „зелених критеријума“ који се односе на различите аспекте животне средине, као што су [11]:

- смањење отпада,
- употреба рециклажног материјала,
- еко дизајн и сл.

Процес избора поузданих извора снабдевања у индустрији најчешће може да се постави као проблем групног одлучивања. Групу која доноси одлука чине стручњаци из различитих области као што су финансије, инжењерство, квалитет, заштита животне средине и сл. Важност доносиоца одлука се може разликовати, што доста утиче на исход процеса групног одлучивања за избор најпогоднијег добављача. Како би донели одлуку о избору добављача, стручњаци најпре дефинишу критеријуме који представљају потребе компаније, а на основу којих ће се оцењивати перформанске сваког потенцијалног добављача. На основу тих оцена врши се рангирање, а потом и одлука о извору снабдевања који најбоље може испунити потребе компаније. Критеријуми који се највише користе приликом оцењивања потенцијалних добављача су [8, 13]:

- цена производа,
- време испоруке,
- поузданост испоруке,
- начин плаћања,
- квалитет производа
- технолошка способност,
- локација,
- финансијски положај и сл.

Избор одговарајућег добављача представља комплексан задатак. У групи критеријума помоћу којих се оцењују потенцијални добављачи, могу се истовремено налазити квантитативни (цена производа, локација добављача, време испоруке...) и квалитативни (квалитет производа, дизајн производа...) критеријуми који имају различите интервале унутар којих се крећу вредности, као и различите јединице у којима се изражавају, што доста отежава процес одлучивања. Још један од разлога због којег је избор добављача сложен процес јесте да неки критеријуми могу бити у супротности са другима (нпр. најнижа цена у односу на лош квалитет) [8, 14]. Пример вишекритеријумског приступа у избору добављача графички је приказан на слици 8.



Слика 8. Хијерархијски приказ критеријума и подкритеријума за избор добављача [4]

На слици 8 дат је пример на којем је приказана хијерархија и тип критеријума за оцену добављача. На првом нивоу се налази циљ који треба остварити, а то је избор добављача. На другом нивоу су представљени критеријуми према којем се оцењује сваки потенцијални добављач. На трећем нивоу су приказани подкритеријуми сваког од дефинисаних критеријума. У последњем нивоу налазе се алтернативе, односно добављачи који се анализирају.

Методе вишекритеријумског одлучивања се не користе само за добијање једног најпогоднијег решења, већ и за рангирање алтернатива, као и одвајање прихватљивих од неприхватљивих алтернатива. Методе вишекритеријумског одлучивања се примењују у широком спектру области науке и индустрије, а неки од примера у којима се користе су [7]:

- управљање пројектима,
- заштита животне средине,
- избор добављача,
- решавање различитих производних проблема,
- избор стратегије одржавања,
- избор најпогодније локације и др.

Методе вишекритеријумског одлучивања у овом раду биће коришћене за одређивање оптималне стратегије снабдевања и избор најпогоднијих добављача. Методе вишекритеријумског одлучивања се могу поделити у две целине [15]:

- методе вишециљног одлучивања и
- методе вишеатрибутивног одлучивања.

Методе вишециљног одлучивања се користе за проблеме код којих је познато садашње стање, жељено коначно стање (циљеви), као и начини помоћу којих ће се остварити циљеви. Код ових метода, пред доносиоцем одлука се налази пребројив или небројив скуп решења, при чему се до најбоље варијанте долази решавањем математичког модела. Са развојем рачунара, интензивно су се развијале ове методе. Неке од метода вишециљног одлучивања су [16]:

- циљно програмирање (GP),
- Step Method (STEM),
- Sequential Multiple-Objective Problem-Solving Technique (SEMOPS),
- Goal Programming Step Method (GPSTEM) и др.

Код метода вишеатрибутивног одлучивања је познат скуп алтернатива и критеријума, при чему се свака алтернатива оцењује према тим критеријумима, а затим се на основу те оцена врши рангирање. Најважнија карактеристика јесте да не постоји јединствено решење, јер коначна одлука зависи од доносиоца одлуке и његових преференција. Основни циљ ових метода јесте пројектовање тих преференција са циљем да се пронађе адекватно решење проблема. Неке од метода вишеатрибутивног одлучивања су [16]:

- Аналитички хијерархијски процес (AHP),
- ELimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE),
- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS),
- Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE),
- VIšekriterijumska optimizacija i KOmpromisno Rešenje (VIKOR),
- Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC) и др.

Осим што су проблеми вишеатрибутивног одлучивања сложени због великог броја критеријума, још један разлог који ове проблеме чини комплексним јесте различита важност тих критеријума, којима се дефинише значај сваког критеријума у процесу доношења одлука. Веома је битно да се тај процес спроведе што објективније и прецизније како би се добиле квалитетне одлуке. Процес одлучивања се може поделити у две фазе [13]. Прву фазу чини одређивање критеријума помоћу којих ће се извршити оцењивање алтернатива. Важно је да листа критеријума буде комплетна и искључујућа [17]. Комплетност листе подразумева да су обухваћени сви аспекти проблема који могу бити од значаја приликом процеса одлучивања. Искључивост листе се односи на то да критеријуми треба да се дефинишу тако да се њихове карактеристике не преклапају, јер у супротном то може имати значајан утицај приликом оцењивања алтернатива. Прва фаза у току процеса одлучивања зависи од способности доносиоца одлуке да на квантитативан или

квалитативан начин процени алтернативе према већ дефинисаним критеријумима. Резултат прве фазе се представља у облику матрице, при чему се алтернативе приказују кроз редове, а критеријуми кроз колоне матрице. Ова матрица се назива матрицом одлучивања (слика 9). и у поља матрице се уписују перформансе сваке алтернативе по сваком критеријуму.

$$O = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & \cdots & A_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Слика 9. Матрица одлучивања [17]

На слици 9 приказана је матрица одлучивања O . Алтернативе које се процењују су означене са a_i , при чему је $i = 1, \dots, m$, где m представља укупан број алтернатива. Са A_j су означени критеријуми према којима се оцењују алтернативе, при чему $j = 1, \dots, n$, где n представља укупан број критеријума. Перформансе алтернатива по критеријумима су означене са x_{ij} , $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$. Добијањем матрице одлучивања, започиње друга фаза процеса одлучивања, а то је рангирање алтернатива. Након добијеног ранга, доноси се одлука о избору једне или више прихватљивих алтернатива.

3.1 Преглед литературе о методама за избор добављача

О значају ове теме истраживања, указује велики број научних радова који се бавио анализом добављача. Доступне публикације показују да су истраживачи покушавали на различите начине да дођу до критеријума најпогоднијих за вредновање добављача. У једном од првих радова [18] у овој области, дефинисана су 23 различита критеријума за оцењивање добављача. О значају овог рада говори то што се дефинисани критеријуми и даље користе.

Многи аутори су наставили истраживања у том смеру, уз одређене модификације и побољшања, а резултат тога су радови који предлажу употребу различитих критеријума. У табели 2 дат је приказ најчешће коришћених критеријума у радовима у процесу избора добављача.

Табела 2. Приказ најчешће коришћених критеријума у процесу избора добављача [19]

Редни број	Критеријум
1.	Квалитет материјала
2.	Цена материјала
3.	Атест производа
4.	Време испоруке
5.	Репутација компаније
6.	Попуст на количину
7.	Период гаранције
8.	Поузданост
9.	Начин плаћања

Без обзира на сталне промене и све већу употребу квалитативних критеријума, финансијски параметри, испорука и квалитет представљају критеријуме пронађене у готово свим истраживањима у вези са избором добављача [19]. Може се закључити да је област вишекритеријумског одлучивања у развоју, захваљујући великом броју публикација које се баве доношењем одређених одлука примењујући методе које припадају овој области. Избор добављача, према многим ауторима, представља један од најсложенијих проблема ланца снабдевања. Из тог разлога, развијене су бројне методе за избор и рангирање најбољих добављача. На слици 10 приказане су методе вишекритеријумског одлучивања.

Аутори	Методе
MacCrimmon, (1968)	SAW
Gabus i Fontela, (1972)	DEMATEL
Saaty, (1980)	AHP
Saaty, (1980)	ANP
Hwang i Yoon, (1981)	TOPSIS
Brans i Vincke, (1985)	PROMETHEE
Roy, (1991)	ELECTRE
Zavadskas i dr., (1994)	COPRAS
Chang, (1996)	Fuzzy AHP
Opricović, (1998)	VIKOR
Chen, (2000)	Fuzzy TOPSIS
Brauers i Zavadskas, (2006)	MOORA
Brauers i Zavadskas, (2010)	MULTIMOORA
Zavadskas i Turksis, (2010)	ARAS
Turksis i Zavadskas, (2010)	Fuzzy ARAS
Pamućar i Ćirović, (2015)	MABAC
Rezai, (2015)	BWM
Ghorabae i dr., (2015)	EDAS
Ghorabae i dr., (2016)	Fuzzy EDAS
Gigović i dr., (2016)	MAIRCA
Ghorabae i dr., (2016)	CODAS
Stević i dr., (2017b)	Grubi EDAS
Stević i dr., (2017a)	Grubi SAW

Слика 10. Вишекритеријумске методе [8]

Према [8], најчешће коришћене методе, када је у питању избор добављача јесу АНР и TOPSIS метода. У раду [20] анализирана је употреба различитих модела за процес избора добављача и из овог рада се може извући закључак да АНР метода има највећи проценат примене. О учесталости примене АНР методе приликом одабира добављача, указују следећи радови где се ова метода користила за избор добављача. Своју примену, АНР метода је имала приликом избора извора снабдевања у текстилној индустрији [21], у компанији зупчаника [22] и електронској индустрији [23]. Пример у којем се АНР користила у комбинацији са још неком методом може се видети у раду [24], где се АНР метода користила за прорачун тежина критеријума, док се рангирање алтернатива вршило помоћу TOPSIS методе. Комбинација метода АНР и ELECTRE за избор добављача примењена је у раду [25], где се АНР користила за рачунање тежина, а ELECTRE за рангирање алтернатива.

Област у којој се највише користи ELECTRE метода јесте управљање природним ресурсима и менаџмент заштитом животне средине, а поред ње, ту су и информационе технологије, менаџмент финансијама, логистика и ланци снабдевања и пословни менаџмент [26]. У радовима [13, 27, 28] приказано је коришћење ELECTRE методе за избор најбољег извођача радова, док се у раду [29] користила у циљу одабира једног од три потенцијална добављача у оквиру високотехнолошких производних компанија.

У последњих пар година развијене су нове методе, а једна од њих је и MABAC. Ова метода је развијена за потребе бољег коришћења ресурса у логистичким центрима [30]. Заснива се на дефинисању удаљености критеријумске функције сваке алтернативу у односу на граничне апроксимативне области. Главна предност ове методе је то што даје стабилнија решења приликом доношења одлука у поређењу са другим методама као што су COPRAS, TOPSIS и VIKOR. Једна од области у којој је примењена ова метода јесте за одлучивање употребе снага у одбрамбеној операцији [31].

Методе које ће бити коришћене у овом мастер раду су: АНР, ELECTRE и МАВАС, а нешто више о њима биће приказано у тачкама 3.2, 3.3, 3.4.

3.2 АНР метода

АНР је вишекритеријумска метода која се базира на декомпоновању сложеног проблема кроз хијерархију и представља једну од најчешће коришћених метода вишекритеријумске анализе. Циљ који треба постићи се налази на врху хијерархије, док су критеријуми и подкритеријуми на нижим нивоима, а алтернативе на крају хијерархије (слика 11) [6]. Ова метода се састоји из 4 корака [32]:

1. Поређење елемената на сваком нивоу хијерархије

Сви елементи на истом нивоу хијерархије се међусобно упоређују. Резултати упоређивања парова се приказују помоћу квадратне матрице преферентности $A = [a_{ij}]_{n \times n}$, $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$, где је n број елемената на једном нивоу.



Слика 11. Хијерархија сложеног проблема [32]

Циљ се налази на врху хијерархије и једино се он не пореди са другим елементима. На првом нивоу се налази n критеријума који се међусобно пореде у односу на њима непосредно надређени елемент, што је у овом случају циљ. Укупан број поређења која треба извршити се рачуна преко израза $\frac{n \times (n-1)}{2}$. Исти поступак се примењује и за ниже нивое у хијерархији, све док се не дође до последњег нивоа k , при чему сада n представља број елемената на том нивоу, а пореде се у односу на њима надређени елемент.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Елементи a_{ij} , $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n$ представљају релативну важност елемента i у односу на елемент j . Ако је $a_{ij} > 1$, онда је елемент i важнији од елемента j , а обрнуто важи у случају када је $a_{ij} < 1$. Уколико је $a_{ij} = 1$, тада елементи имају исту важност. За свако $i = j$, $a_{ij} = 1$, стога су елементи на главној дијагонали увек једнаки јединици. Због конзистентности важи да је $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$. Релативне важности елемената се изражавају помоћу Сатијеве скале (табела 3), бројевима од 1 до 9.

Табела 3. Сатијева скала [8]

Интензитет релативне важности	Значење
1	Исти значај
3	Слаба доминантност
5	Јака доминантност
7	Демонстрирана доминантност
9	Апсолутна доминантност
2,4,6,8	Међувредности

2. Формирање нормализоване матрице преферентности

Након што се одреде елементи матрице преферентности, неопходно је да се те вредности нормализују како би се добила нормализована матрица преферентности која је неопходна за одређивање тежина елемената на сваком нивоу хијерархије. Да би се нормализовале релативне важности елемената, потребно је најпре да се у свакој колони израчуна сума њених елемената, а затим да се сваки елемент у колони подели са добијеном сумом колоне у којој се налази, што је приказано у следећој једначини:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, j = 1, \dots, n \quad (1)$$

где су:

- a_{ij} - чланови матрице преферентности A и
- n - ранг нормализоване матрице преферентности R .

На тај начин се добијају чланови нормализоване матрице преферентности $R = [r_{ij}]_{n \times n}$, $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

3. Одређивање тежина

Да би се одредиле тежине елемената на одговарајућем нивоу хијерархије, неопходно је најпре да се из претходно добијене матрице изврши сабирање елемената по редовима, а затим ти резултати да се поделе са бројем елемената n . На основу тога се формира нова матрица тежина $T = [t_{ij}]_{n \times 1}$, $i = 1, \dots, n; j = 1$, са елементима t_{ij} који представљају тежинске коефицијенте елемената и који се рачунају на основу израза:

$$t_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{n}, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

где су:

- r_{ij} - елементи матрице R и
- n - број редова матрице T .

Матрица T изгледа овако:

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} \\ t_{21} \\ \vdots \\ t_{n1} \end{bmatrix}$$

Збир тежинских коефицијената елемената на сваком нивоу хијерахије једнак је 1, што омогућава рангирање свих елемената хоризонтално и вертикално.

4. Испитивање конзистентности матрице преферентности

Испитивање конзистентности је веома важан корак АНР методе. Уколико је матрица преферентности неконзистентна, то указује да матрица није исправно попуњена, односно да релативне важности елемената нису добро процењене, што може довести до доношења неисправних одлука. Помоћу степена конзистентности (CR) испитује се конзистентност матрице преферентности. Да би се израчунао степен конзистентности, прво треба одредити индекс конзистентности (CI) и случајни индекс конзистентности (RI). Индекс конзистентности се одређује према изразу:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

где су:

- λ_{max} - максимална сопствена вредност матрице преферентности A и
- n - ранг матрице A .

За одређивање λ_{max} , потребно је помножити матрицу преферентности A са матрицом тежина T да би се одредила матрица $B = [b_{ij}]_{n \times 1}$, $i = 1, \dots, n; j = 1$.

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11} \\ t_{21} \\ \vdots \\ t_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix}$$

Након тога, потребно је поделити коресподентне елементе матрица T и B чиме се формира нова матрица $\lambda = [\lambda_{ij}]_{n \times 1}$, $i = 1, \dots, n; j = 1$.

$$\begin{bmatrix} \frac{b_{11}}{t_{11}} \\ \frac{b_{21}}{t_{21}} \\ \vdots \\ \frac{b_{n1}}{t_{n1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} \\ \lambda_{21} \\ \vdots \\ \lambda_{n1} \end{bmatrix}$$

Из новоформиране матрице λ , одређује се λ_{max} као члан који има највећу вредност у тој матрици, односно:

$$\lambda_{max} = \max (\lambda_{ij}) \quad (4)$$

где су:

- λ_{ij} - чланови матрице λ .

Заменом вредности λ_{max} из једначине (4) у једначину (3), израчунава се индекс конзистентности. За израчунавање степена конзистентности потребно је још одредити случајни индекс конзистентности. Вредности случајног индекса конзистентности зависе од реда матрице преферентности, а преузимају се из табеле 4.

Табела 4. Вредности случајног индекса конзистентности [32]

Ранг матрице	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Вредност RI	0.0	0.0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Након што су одређене вредности индекса конзистентности и случајног индекса конзистентности, може се одредити степен конзистентности према изразу:

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

Уколико је вредност степена конзистентности мања или једнака 0.1, сматра се да је матрица преферентности добро постављена. У супротном, потребно је пронаћи узроке неконзистентности и извршити измену матрице преферентности, а затим поновити све кораке док се не испуни услов да је $CR \leq 0.1$.

Аксиоми на којима се метода АНР заснива су [8]:

- Аксиом реципрочности - ако је елемент А n пута значајнији од елемента Б, тада је елемент Б, $\frac{1}{n}$ пута значајнији од елемента А.
- Аксиом хомогености - поређење има смисла једино ако су елементи упоредиви.
- Аксиом зависности - дозвољава се поређење међу групом елемената једног нивоа у односу на елемент вишег нивоа, односно, поређења на нижем нивоу зависе од елемента вишег нивоа.
- Аксиом очекивања - свака промена у структури хијерархије захтева поновно рачунање приоритета у новој хијерархији.

Предности АНР методе су [7, 33]:

- могу се користити квалитативни и квантитативни фактори,
- широк спектар употребе,
- једноставна и флексибилна метода,
- омогућава решавања проблема у кратком периоду са малим трошковима процеса одлучивања,
- омогућава одређивање конзистентности процена доносилаца одлука,
- резултати који се добију се могу користити као улазни подаци за други пројекат у којима се доноси много сложенија одлука и

- постоје програмски алати који подржавају АНР методу и на тај начин помажу доносиоцима одлука да је брзо и прецизно примене.

Недостаци АНР методе су [7, 33]:

- велики број парова поређења,
- упоређивање парова је субјективно,
- недовољно велика скала за упоређивање парова,
- немогућност коришћења неупоредивих елемената и
- тешко се постиже конзистентност процена доносилаца одлука.

3.3 ELECTRE метода

ELECTRE метода је осмишљена 60-их година XX века за избор најбоље алтернативе из одређеног скупа. Касније је ова метода модификована чиме је настала фамилија ELECTRE метода које се примењују за три типа проблема, односно, за избор, рангирање и сортирање. Као што је циљ сваке методе вишекритеријумског одлучивања, тако је и циљ ELECTRE метода да се између више алтернатива донесе одговарајућа одлука која је у складу са ставовима доносилаца одлуке, који се формирају помоћу критеријума којима се оцењују потенцијалне алтернативе. Неке од ELECTRE метода су [7,15]:

- ELECTRE I,
- ELECTRE II,
- ELECTRE III,
- ELECTRE IV,
- ELECTRE TRI,
- ELECTRE IS итд.

Математички модел ELECTRE методе се састоји из 8 корака [17, 34, 35]:

1. Постављање матрице одлучивања

Почетна матрица одлучивања $X = [x_{ij}]_{n \times m}$, $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$, се састоји од резултата евалуације алтернатива a_i по критеријумима k_j , при чему n представља број алтернатива, а m број критеријума. Потребно је да сви чланови матрице X буду квантификовани. Уколико постоје квалитативни атрибути, потребно их је квантификовати помоћу одговарајућих скала. За тај процес трансформисања атрибута, најчешће се користи скала са интервалом бројева од 1 до 9.

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} k_1 & k_2 & \dots & k_m \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} & \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{matrix} \end{matrix}$$

2. Формирање нормализоване матрице одлучивања

На основу матрице из првог корака, потребно је формирати нормализовану матрицу одлучивања $R = [r_{ij}]_{n \times m}$, $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$. У зависности од тога да ли су критеријуми бенефитног или трошковног типа, елементи матрице R се добијају на следећи начин:

- за критеријуме бенефитног типа:

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

- за критеријуме трошковног типа:

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{x_{ij}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{x_{ij}}\right)^2}}, j = 1, \dots, m \quad (7)$$

где су:

- x_{ij} - елементи матрице одлучивања X ,
- n - број алтернатива и
- m - број критеријума.

Нормализована матрица одлучивања R има следећи облик:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

3. Формирање отежане нормализоване матрице одлучивања

Након формирања нормализоване матрице одлучивања, поставља се отежана нормализована матрица одлучивања $D = [d_{ij}]_{n \times m}$, $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$, чији се елементи могу добити на два начина:

- множењем чланова одговарајуће колоне матрице R са тежинским коефицијентима критеријума w_j , $j = 1, \dots, m$.

$$d_{ij} = r_{ij} \cdot w_j, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (8)$$

где су:

- r_{ij} - елементи нормализоване матрице одлучивања R ,
- n - број алтернатива и
- m - број критеријума.

Користећи отежавање помоћу једначине (8), отежана нормализована матрица одлучивања би имала следеће чланове:

$$D = \begin{bmatrix} r_{11} \cdot w_1 & r_{12} \cdot w_2 & \dots & r_{1m} \cdot w_m \\ r_{21} \cdot w_1 & r_{22} \cdot w_2 & \dots & r_{2m} \cdot w_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} \cdot w_1 & r_{n2} \cdot w_2 & \dots & r_{nm} \cdot w_m \end{bmatrix}$$

- степеновањем чланова одговарајуће колоне матрице R са тежинским коефицијентима критеријума $w_j, j = 1, \dots, m$.

$$d_{ij} = (r_{ij})^{w_j}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (9)$$

где су:

- r_{ij} - елементи нормализоване матрице одлучивања R ,
- n - број алтернатива и
- m - број критеријума.

Применом једначине (9), добија се облик матрице D :

$$D = \begin{bmatrix} (r_{11})^{w_1} & (r_{12})^{w_2} & \dots & (r_{1m})^{w_m} \\ (r_{21})^{w_1} & (r_{22})^{w_2} & \dots & (r_{2m})^{w_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (r_{n1})^{w_1} & (r_{n2})^{w_2} & \dots & (r_{nm})^{w_m} \end{bmatrix}$$

Тежински коефицијенти w_j се израчунавају од стране доносиоца одлуке.

4. Одређивање скупова сагласности и несагласности

У овом кораку је потребно упоредити парове алтернатива a_i и $a_p, i, p = 1, \dots, n; i \neq p$ за сваки критеријум $k_j, j = 1, \dots, m$. Скупови сагласности S_{ip} се дефинишу као:

$$S_{ip} = \{k_j | d_{ij} \geq d_{pj}\} \quad (10)$$

где су:

- d_{ij} и d_{pj} - елементи отежане нормализоване матрице одлучивања D ,
- n - број алтернатива и
- m - број критеријума.

Скупови несагласности NS_{ip} су комплементарни скуповима сагласности S_{ip} и формирају се као:

$$NS_{ip} = \{k_j | d_{ij} < d_{pj}\} \quad (11)$$

где су d_{ij} и d_{pj} елементи отежане нормализоване матрице одлучивања D .

Скупови сагласности и несагласности се одређују за све могуће парове алтернатива a_i и $a_p, i, p = 1, \dots, n; i \neq p$.

5. Формирање матрице сагласности

Матрица сагласности $S = [IS_{ip}]_{n \times n}$, $i, p = 1, \dots, n$, се формира на основу скупова сагласности, а елементе матрице сагласности чине индекси сагласности IS_{ip} . Индекси сагласности се рачунају као сума тежина критеријума w_j који припадају скуповима сагласности према формули:

$$IS_{ip} = \sum_{j \in S_{ip}} w_j \quad (12)$$

где су:

- w_j - тежински коефицијенти критеријума који се израчунавају од стране доносиоца одлуке,
- S_{ip} - скупови сагласности и
- j - индекси критеријума.

У случају $i = p$, индекси сагласности IS_{ip} су једнаки нули. Када се израчунају индекси сагласности добија се матрица сагласности:

$$S = \begin{bmatrix} 0 & IS_{12} & \dots & IS_{1n} \\ IS_{21} & 0 & \dots & IS_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ IS_{n1} & IS_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Након одређивања свих чланова матрице сагласности, потребно је израчунати коефицијент сагласности који се рачуна према изразу:

$$C_S = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^n IS_{ip}}{n \cdot (n - 1)} \quad (13)$$

где су:

- IS_{ip} - индекси сагласности и
- n - укупан број алтернатива.

6. Формирање матрице несагласности

Матрица несагласности $NS = [INS_{ip}]_{n \times n}$, $i, p = 1, \dots, n$, се одређује на основу скупова несагласности. Елементе матрице несагласности чине индекси несагласности INS_{ip} који се добијају према формули:

$$INS_{ip} = \frac{\max_{j \in NS_{ip}} \{|d_{ij} - d_{pj}|\}}{\max_j \{|d_{ij} - d_{pj}|\}} \quad (14)$$

где су d_{ij} и d_{pj} елементи отежане нормализоване матрице одлучивања D .

У случају $i = p$, индекси несагласности INS_{ip} су једнаки нули. Након што се израчунају индекси несагласности, формира се матрица несагласности:

$$NS = \begin{bmatrix} 0 & INS_{12} & \dots & INS_{1n} \\ INS_{21} & 0 & \dots & INS_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ INS_{n1} & INS_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Када се одреде сви елементи матрице несагласности, потребно је израчунати коефицијент несагласности који је неопходан за следећи корак. Коефицијент несагласности се рачуна према изразу:

$$C_{NS} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^n INS_{ip}}{n \cdot (n - 1)} \quad (15)$$

где су:

- INS_{ip} - индекси несагласности и
- n - укупан број алтернатива.

7. Формирање матрице агрегатне доминације

Елементи матрице агрегатне доминације $Z = [z_{ip}]_{n \times n}$, $i, p = 1, \dots, n$, могу имати вредност 0 или 1 што зависи од следећих услова:

$$z_{ip} = \begin{cases} 0, & IS_{ip} < C_S \vee INS_{ip} > C_{NS} \vee i = p \\ 1, & IS_{ip} \geq C_S \wedge INS_{ip} \leq C_{NS} \end{cases}$$

где су:

- IS_{ip} - индекси сагласности,
- INS_{ip} - индекси несагласности ,
- C_S - коефицијент сагласности,
- C_{NS} - коефицијент несагласности и
- i, p - индекси алтернатива.

Након одређивања чланова z_{ip} , матрица агрегатне доминације изгледа:

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & 0 & \dots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

8. Рангирање алтернатива

Последњи корак ове методе је рангирање алтернатива и избор најбоље. За овај корак неопходно је одредити број јединица у свакој врсте матрице агрегатне доминације. Врста i матрице Z која има највећи број јединица, представља најбољу алтернативу a_i .

Предности ове методе су [7, 15, 36]:

- могу да се обрађују квалитативне и квантитативне процене,
- може се користити неограничен број критеријума за оцењивање алтернатива,
- поређење алтернатива се може извршити и ако не постоји јасна преференција према једној од њих,

- поузданија је у односу на друге методе које су осетљиве на ставове доносиоца одлука и
- није неопходно користити хомогену нумеричку скалу при дефинисању критеријума.

Недостаци ове методе су [36]:

- сложен метод,
- захтева пуно података и
- у ситуацијама када постоје алтернативе са једнаким бројем јединица у матрици агрегатне доминације, није могуће установити стање доминације.

3.4 МАВАС метода

МАВАС метода је развијена у Центру за истраживања у области логистике одбране Универзитета одбране у Београду и први пут је представљена 2015. године. Има велику примену у решавању проблема из области вишекритеријумског одлучивања. Основна карактеристика ове методе је дефинисање удаљености критеријумске функције сваке алтернативе од граничне апроксимативне области. Математички модел МАВАС методе се састоји из 6 корака [8, 31]:

1. Формирање матрице одлучивања

Први корак МАВАС методе представља креирање матрице одлучивања $X = [x_{ij}]_{n \times m}$, $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$ чији се чланови добијају на основу евалуације алтернатива a_i по критеријумима k_j , при чему n представља број алтернатива, а m број критеријума. Матрица X изгледа овако:

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} k_1 & k_2 & \dots & k_m \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} & \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{matrix} \end{matrix}$$

2. Одређивање нормализоване матрице одлучивања

На основу матрице одлучивања, формира се нормализована матрица одлучивања $R = [r_{ij}]_{n \times m}$, $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$. У зависности од тога да ли су критеријуми бенефитног или трошковног типа, елементи матрице R се добијају на следећи начин:

- за критеријуме бенефитног типа:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (16)$$

- за критеријуме трошковног типа:

$$r_{ij} = \frac{x_i^- - x_{ij}}{x_i^- - x_i^+}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (17)$$

при чему су x_{ij} , x_i^+ и x_i^- чланови почетне матрице одлучивања X . Елемент x_i^+ се дефинише као максимална вредност посматраног критеријума по алтернативама и може се представити као:

$$x_i^+ = \max(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (18)$$

док се елемент x_i^- дефинише као минимална вредност посматраног критеријума по алтернативама и може се представити као:

$$x_i^- = \min(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (19)$$

Нормализована матрица одлучивања R има следећи облик:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

3. Формирање отежане нормализоване матрице одлучивања

Након формирања нормализоване матрице одлучивања, поставља се отежана нормализована матрица одлучивања $D = [d_{ij}]_{n \times m}$, $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$. Чланови d_{ij} ове матрице се добијају на следећи начин:

$$d_{ij} = w_j \cdot r_{ij} + w_j \quad (20)$$

при чему су:

- w_j - тежински коефицијенти критеријума који се израчунавају од стране доносиоца одлуке,
- r_{ij} - елементи нормализоване матрице одлучивања R

Применом једначине (20), формира се матрица D :

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nm} \end{bmatrix}$$

4. Одређивање матрице граничних апроксимативних области

Елементи матрице граничних апроксимативних области $G = [g_{ij}]_{1 \times m}$, $j = 1, \dots, m$ се рачунају помоћу формуле:

$$g_{ij} = \left(\prod_{i=1}^n d_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (21)$$

где су:

- d_{ij} - елементи отежане нормализоване матрице одлучивања D ,
- n - укупан број алтернатива.

Матрица G има следећи облик:

$$G = [g_{11} \quad g_{12} \quad \dots \quad g_{1m}]$$

5. Матрица удаљености алтернатива од граничне апроксимативне области

Матрицу граничне апроксимативне области $Q = [q_{ij}]_{n \times m}$, $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$ чине елементи q_{ij} који се добијају као разлика елемената матрица D и G што је приказано у следећој формули:

$$q_{ij} = d_{ij} - g_{ij}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (22)$$

где су:

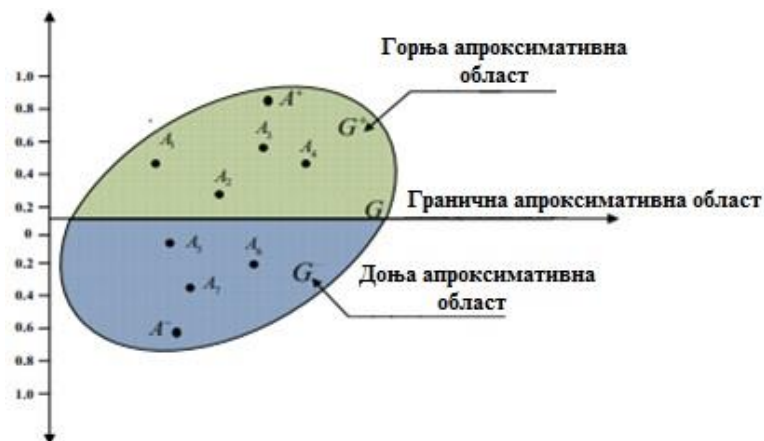
- d_{ij} - елементи отежане нормализоване матрице одлучивања D ,
- g_{ij} - елементи матрице граничних апроксимативних области G ,
- n - укупан број алтернатива и
- m - укупан број критеријума.

Матрица Q има облик:

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nm} \end{bmatrix}$$

Алтернатива a_i може припадати једној од три апроксимативне области (слика 12):

- G - гранична апроксимативна област,
- G^+ - горња апроксимативна област и
- G^- - доња апроксимативна област.



Слика 12. Графички приказ апроксимативних области [8]

Горња апроксимативна област G^+ представља област у којој се налази идеална алтернатива a^+ , док доња апроксимативна област обухвата анти-идеалну алтернативу a^- . Припадност алтернативе a_i некој од апроксимативних области се одређује помоћу израза:

$$a_i \in \begin{cases} G^+, & q_{ij} > 0 \\ G, & q_{ij} = 0 \\ G^-, & q_{ij} < 0 \end{cases} \quad (23)$$

где су q_{ij} елементи матрице Q .

Да би се алтернатива a_i изабрала као најбоља из скупа алтернатива, потребно је да по што већем броју критеријума припада горњој апроксимативној области.

6. Рангирање алтернатива

Да би алтернативе могле да се рангирају, неопходно је да се израчуна сума растојања алтернатива од граничних апроксимативних области. Тај збир E_i се добија сабирањем елемената матрице Q по редовима што је приказано у изразу:

$$E_i = \sum_{j=1}^m q_{ij}, i = 1, \dots, n \quad (24)$$

где су:

- q_{ij} - елементи матрице Q
- n - укупан број алтернатива и
- m - укупан број критеријума.

Алтернатива a_i која има највећи збир E_i представља најбољу алтернативу. Предност ове методе се огледа у томе да она даје стабилнија решења у поређењу са другим методама вишекритеријумског одлучивања.

4. Предложена методологија

За спровођење процеса вредновања добављача, у овом раду се користи комбинација више метода вишекритеријумског одлучивања. За одређивање тежина критеријума и подкритеријума, помоћу којих се врши процењивање потенцијалних добављача, користи се АНР метода, док се за рангирање алтернатива користе две методе, MABAC и ELECTRE. Предложени модел се састоји од 11 корака.

Корак 1: Релативна важност критеријума

Да би се одредила тежина критеријума који се користе за оцењивање потенцијалних добављача, неопходно је најпре представити релативне важности критеријума које су процењене од стране доносилаца одлука. За представљање релативне важности критеријума примењује се АНР метода и користи се матрица упоређивања парова $[W_{kk'}]_{K \times K}$, $k, k' = 1, \dots, K; k \neq k'$. Сваки доносилац одлуке креира своју матрицу упоређивања парова. Елементи ове матрице се дефинишу као релативна важност критеријума k над критеријумом k' , а K представља укупан број критеријума. У случају када је $k = k'$, члан матрице је једнак јединици. За сваку матрицу упоређивања парова, потребно је одредити степен конзистентности CR . Степен конзистентности CR се одређује на основу израза (5). Уколико је добијена вредност $CR \leq 0,1$ сматра се да је матрица $[W_{kk'}]_{K \times K}$ добро постављена. Након одређивања CR потребно је одредити векторе тежина

критеријума $[w_k^e]_{E \times K}$ помоћу АНР методе, при чему $e = 1, \dots, E$, а E представља укупан број доносилаца одлуке. Матрица $[W_{kk'}]_{K \times K}$ има следећу форму:

$$\begin{bmatrix} 1 & W_{12} & \dots & W_{1K} \\ \frac{1}{W_{12}} & 1 & \dots & W_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{W_{1K}} & \frac{1}{W_{2K}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Корак 2: Агрегирана вредност тежина критеријума

Уколико постоји више доносилаца одлука, да би се одредила коначна вредност тежина критеријума, неоподно је агрегирати вредности тежина критеријума из претходног корака. Агрегација се представља у облику матрице $[w_k]_{K \times 1}$ и врши помоћу OWA (*ordered weighted averaging*) оператора према изразу:

$$w_k = \sum_{e=1}^E \alpha_e \cdot w_k^e, k = 1, \dots, K \quad (25)$$

где су:

- w_k - агрегирана вредност тежине критеријума k ,
- w_k^e - тежина критеријума према доносиоцу одлуке e ,
- E - укупан број доносиоца одлука,
- α_e - важност доносиоца одлуке и
- K - укупан број критеријума.

Корак 3: Матрице упоређивања парова подкритеријума

У овом кораку је потребно формирати матрицу упоређивања парова подкритеријума за сваки критеријум. Релативне важности подкритеријума се приказују у матрици $[W_{jj'}^k]_{J \times J}$, $j, j' = 1, \dots, J_k; j \neq j'; k = 1, \dots, K$, где су j и j' подкритеријуми, а J_k укупан број подкритеријума у оквиру неког критеријума k . У случају када је $j = j'$, члан матрице је једнак јединици. За сваку матрицу упоређивања парова, потребно је одредити степен конзистентности CR . Степен конзистентности CR се одређује на основу израза (5). Уколико је добијена вредност $CR \leq 0,1$ сматра се да је матрица $[W_{jj'}^k]_{J \times J}$ добро постављена. Након одређивања CR потребно је одредити векторе тежина подкритеријума $[w_j^k]_{J_k \times 1}$ помоћу АНР методе. Матрица $[W_{jj'}^k]_{J \times J}$ има следећу форму:

$$\begin{bmatrix} 1 & W_{12} & \dots & W_{1J} \\ \frac{1}{W_{12}} & 1 & \dots & W_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{W_{1J}} & \frac{1}{W_{2J}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Корак 4: Укупна тежина подкритеријума

Четврти корак предложеног модела представља прорачун укупне тежине подкритеријума који укључује тежине критеријума из корака 2 и тежине подкритеријума из корака 3 предложеног модела. Укупна тежина подкритеријума W_n се израчунава помоћу обрасца:

$$W_n = \sqrt{w_k \cdot w_j^k}, n = 1, \dots, N; N = \sum_{j=1}^{J_k} j^k; j = 1, \dots, J_k; k = 1, \dots, K; \quad (26)$$

где су:

- W_n - укупна вредност тежине подкритеријума n ,
- w_k - агрегирана вредност тежине критеријума k ,
- w_j^k - тежина подкритеријума j у оквиру критеријума k ,
- j^k - подкритеријум j у оквиру критеријума k ,
- J_k - укупан број подкритеријума у оквиру критеријума k ,
- K - укупан број критеријума и
- n - укупан број подкритеријума.

Корак 5: Нормализовани вектор тежина подкритеријума

У оквиру овог корака, потребно је извршити нормализацију вредности укупне тежине подкритеријума W_n које су добијене у претходном кораку. Нормализоване вредности се добијају у форми нормализованог вектора тежина подкритеријума $\varepsilon = [\varepsilon_n]_{1 \times n}$, $n = 1, \dots, N$, при чему N представља укупан број подкритеријума. Елемент ε_n се добија према следећем изразу:

$$\varepsilon_n = \frac{W_n}{\sum_{n=1}^N W_n}, n = 1, \dots, N \quad (27)$$

где су:

- w_n - укупна тежина подкритеријума n и
- n - укупан број подкритеријума.

Корак 6: Матрица одлучивања

Шести корак представља креирање матрице одлучивања $X = [x_{in}]_{I \times N}$, $i = 1, \dots, I$; $n = 1, \dots, N$ чији се чланови добијају на основу евалуације алтернатива a_i по подкритеријумима b_n , при чему I представља укупан број алтернатива, а N укупан број подкритеријума. Матрица X изгледа овако:

$$X = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & \dots & b_N \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{I1} & x_{I2} & \dots & x_{IN} \end{bmatrix} \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_I \end{matrix}$$

Елементи $x_{in} \in \mathbb{R}$ и добија се на основу података из евиденције или на основу процене доносилаца одлуке.

Наведених шест корака су исти за методологију рангирања алтернатива применом ELECTRE или MABAC методе. У наставку ће посебно бити објашњени даљи кораци за ове две методе, као кораци Е (ELECTRE) и М (MABAC).

Корак Е.7: Нормализована матрица одлучивања

На основу матрице одлучивања X из корака 6, потребно је формирати нормализовану матрицу одлучивања $R_E = [r_{in}]_{I \times N}$, $i = 1, \dots, I$; $n = 1, \dots, N$. У зависности од тога да ли су подкритеријуми бенефитног или трошковног типа, елементи матрице R_E се добијају на следећи начин:

- за подкритеријуме бенефитног типа:

$$r_{in} = \frac{x_{in}}{\sqrt{\sum_{i=1}^I (x_{in})^2}}, n = 1, \dots, N \quad (28)$$

- за подкритеријуме трошковног типа:

$$r_{in} = \frac{\frac{1}{x_{in}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^I \left(\frac{1}{x_{in}}\right)^2}}, n = 1, \dots, N \quad (29)$$

где су:

- x_{in} - елементи матрице одлучивања X ,
- I - број алтернатива и
- N - број подкритеријума.

Нормализована матрица одлучивања R_E има следећи облик:

$$R_E = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1N} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{I1} & r_{I2} & \dots & r_{IN} \end{bmatrix}$$

Корак Е.8: Отежана нормализована матрица одлучивања

Након формирања нормализоване матрице одлучивања, поставља се отежана нормализована матрица одлучивања $D_E = [d_{in}]_{I \times N}$, $i = 1, \dots, I$; $n = 1, \dots, N$. У оквиру ове методологије, чланови d_{in} добијају се степеновањем чланова одговарајуће колоне матрице R_E са нормализованим тежинским коефицијентима подкритеријума ε_n , $n = 1, \dots, N$.

$$d_{in} = (r_{in})^{\varepsilon_n}, i = 1, \dots, I; n = 1, \dots, N \quad (30)$$

где су:

- r_{in} - елементи нормализоване матрице одлучивања R_E ,
- I - број алтернатива и
- N - број подкритеријума.

Применом једначине (30), добија се облик матрице D_E :

$$D_E = \begin{bmatrix} (r_{11})^{\varepsilon_1} & (r_{12})^{\varepsilon_2} & \dots & (r_{1N})^{\varepsilon_N} \\ (r_{21})^{\varepsilon_1} & (r_{22})^{\varepsilon_2} & \dots & (r_{2N})^{\varepsilon_N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (r_{I1})^{\varepsilon_1} & (r_{I2})^{\varepsilon_2} & \dots & (r_{IN})^{\varepsilon_N} \end{bmatrix}$$

Нормализовани тежински коефицијенти ε_n се израчунавају према једначини (27).

Корак Е.9: Одређивање скупова сагласности и несагласности

У овом кораку је потребно упоредити парове алтернатива a_i и a_p , $i, p = 1, \dots, I$; $i \neq p$ за сваки подкритеријум b_n , $n = 1, \dots, N$. Скупови сагласности S_{ip} се дефинишу као:

$$S_{ip} = \{b_n | d_{in} \geq d_{pn}\} \quad (31)$$

где су:

- d_{in} и d_{pn} - елементи отежане нормализоване матрице одлучивања D_E ,
- I - број алтернатива и
- N - број подкритеријума.

Скупови несагласности NS_{ip} су комплементарни скуповима сагласности S_{ip} и формирају се као:

$$NS_{ip} = \{b_n | d_{in} < d_{pn}\} \quad (32)$$

где су d_{in} и d_{pn} елементи отежане нормализоване матрице одлучивања D_E .

Скупови сагласности и несагласности се одређују за све могуће парове алтернатива a_i и a_p , $i, p = 1, \dots, n$; $i \neq p$.

Корак Е.10: Формирање матрице сагласности

Матрица сагласности $S = [IS_{ip}]_{I \times I}$, $i, p = 1, \dots, I$, се формира на основу скупова сагласности, а елементе матрице сагласности чине индекси сагласности IS_{ip} . Индекси сагласности се рачунају као сума нормализованих тежина подкритеријума ε_n који припадају скуповима сагласности према формули:

$$IS_{ip} = \sum_{n \in S_{ip}} \varepsilon_n \quad (33)$$

где су:

- ε_n - нормализовани тежински коефицијенти подкритеријума,
- S_{ip} - скупови сагласности и
- n - индекси подкритеријума.

У случају $i = p$, индекси сагласности IS_{ip} су једнаки нули. Када се израчунају индекси сагласности добија се матрица сагласности:

$$S = \begin{bmatrix} 0 & IS_{12} & \dots & IS_{1I} \\ IS_{21} & 0 & \dots & IS_{2I} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ IS_{I1} & IS_{I2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Након одређивања свих чланова матрице сагласности, потребно је израчунати коефицијент сагласности који се рачуна према изразу:

$$C_S = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^I IS_{ip}}{I \cdot (I - 1)} \quad (34)$$

где су:

- IS_{ip} - индекси сагласности и
- I - укупан број алтернатива.

Корак Е.11: Формирање матрице несагласности

Матрица несагласности $NS = [INS_{ip}]_{n \times n}$, $i, p = 1, \dots, n$, се одређује на основу скупова несагласности. Елементе матрице несагласности чине индекси несагласности INS_{ip} који се добијају према формули:

$$INS_{ip} = \frac{\max_{n \in NS_{ip}} \{|d_{in} - d_{pn}|\}}{\max_n \{|d_{in} - d_{pn}|\}} \quad (35)$$

где су d_{in} и d_{pn} елементи отежане нормализоване матрице одлучивања D_E .

У случају $i = p$, индекси несагласности IS_{ip} су једнаки нули. Након што се израчунају индекси несагласности, формира се матрица несагласности:

$$NS = \begin{bmatrix} 0 & INS_{12} & \dots & INS_{1I} \\ INS_{21} & 0 & \dots & INS_{2I} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ INS_{I1} & INS_{I2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Када се одреде сви елементи матрице несагласности, потребно је израчунати коефицијент несагласности који је неопходан за следећи корак. Коефицијент несагласности се рачуна према изразу:

$$C_{NS} = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^I INS_{ip}}{I \cdot (I - 1)} \quad (36)$$

где су:

- INS_{ip} - индекси несагласности и
- I - укупан број алтернатива.

Корак Е.12: Формирање матрице агрегатне доминације

Елементи матрице агрегатне доминације $Z = [z_{ip}]_{I \times I}$, $i, p = 1, \dots, I$, могу имати вредност 0 или 1 што зависи од следећих услова:

$$z_{ip} = \begin{cases} 0, & IS_{ip} < C_S \vee INS_{ip} > C_{NS} \vee i = p \\ 1, & IS_{ip} \geq C_S \wedge INS_{ip} \leq C_{NS} \end{cases}$$

где су:

- IS_{ip} - индекси сагласности,
- INS_{ip} - индекси несагласности,
- C_S - коефицијент сагласности,
- C_{NS} - коефицијент несагласности и
- i, p - индекси алтернатива.

Након одређивања чланова z_{ip} , матрица агрегатне доминације изгледа:

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & z_{12} & \dots & z_{1I} \\ z_{21} & 0 & \dots & z_{2I} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{I1} & z_{I2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Корак Е.13: Рангирање алтернатива

Последњи корак код ELECTRE методе је рангирање алтернатива и избор најбоље. За овај корак неопходно је одредити број јединица у свакој врсте матрице агрегатне доминације. Врста i матрице Z која има највећи број јединица, представља најбољу алтернативу a_i .

Корак М.7: Нормализована матрица одлучивања

На основу матрице одлучивања X из корака 6, формира се нормализована матрица одлучивања $R_M = [r_{in}]_{I \times N}$, $i = 1, \dots, I$; $n = 1, \dots, N$. У зависности од тога да ли су подкритеријуми беневитног или трошковног типа, елементи матрице R_M се добијају на следећи начин:

- за подкритеријуме беневитног типа:

$$r_{in} = \frac{x_{in} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-}, i = 1, \dots, I; n = 1, \dots, N \quad (37)$$

- за подкритеријуме трошковног типа:

$$r_{in} = \frac{x_i^+ - x_{in}}{x_i^+ - x_i^-}, i = 1, \dots, I; n = 1, \dots, N \quad (38)$$

при чему су x_{in} , x_i^+ и x_i^- чланови почетне матрице одлучивања X . Елемент x_i^+ се дефинише као максимална вредност посматраног подкритеријума по алтернативама и може се представити као:

$$x_i^+ = \max(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (39)$$

док се елемент x_i^- дефинише као минимална вредност посматраног подкритеријума по алтернативама и може се представити као:

$$x_i^- = \min(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (40)$$

Нормализована матрица одлучивања R_M има следећи облик:

$$R_M = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1N} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{I1} & r_{I2} & \dots & r_{IN} \end{bmatrix}$$

Корак М.8: Формирање отежане нормализоване матрице одлучивања

Након формирања нормализоване матрице одлучивања, поставља се отежана нормализована матрица одлучивања $D_M = [d_{in}]_{I \times N}$, $i = 1, \dots, I$; $n = 1, \dots, N$. Чланови d_{in} ове матрице се добијају на следећи начин:

$$d_{in} = \varepsilon_n \cdot r_{in} + \varepsilon_n \quad (41)$$

при чему су:

- ε_n - нормализовани тежински коефицијенти подкритеријума и
- r_{in} - елементи нормализоване матрице одлучивања R_M

Применом једначине (41), формира се матрица D_M :

$$D_M = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1N} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{I1} & d_{I2} & \dots & d_{IN} \end{bmatrix}$$

Корак М.9: Одређивање матрице граничних апроксимативних области

Елементи матрице граничних апроксимативних области $G = [g_{in}]_{1 \times N}$, $n = 1, \dots, N$ се рачунају помоћу формуле:

$$g_{in} = \left(\prod_{i=1}^I d_{in} \right)^{\frac{1}{I}} \quad (42)$$

где су:

- d_{in} - елементи отежане нормализоване матрице одлучивања D_M и
- I - укупан број алтернатива.

Матрица G има следећи облик:

$$G = [g_{11} \quad g_{12} \quad \dots \quad g_{1N}]$$

Корак М.10: Матрица удаљености алтернатива од граничне апроксимативне области

Матрицу граничне апроксимативне области $Q = [q_{in}]_{I \times N}$, $i = 1, \dots, I; n = 1, \dots, N$ чине елементи q_{in} који се добијају као разлика елемената матрица D_M и G што је приказано у следећој формули:

$$q_{in} = d_{in} - g_{in}, i = 1, \dots, I; n = 1, \dots, N \quad (43)$$

где су:

- d_{in} - елементи отежане нормализоване матрице одлучивања D_M ,
- g_{in} - елементи матрице граничних апроксимативних области G ,
- I - укупан број алтернатива и
- N - укупан број подкритеријума.

Матрица Q има облик:

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1N} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{I1} & q_{I2} & \dots & q_{IN} \end{bmatrix}$$

Алтернатива a_i може припадати једној од три апроксимативне области (слика 12):

- G - гранична апроксимативна област,
- G^+ - горња апроксимативна област и
- G^- - доња апроксимативна област.

Припадност алтернативе a_i некој од апроксимативних области се одређује помоћу израза:

$$a_i \in \left\{ \begin{array}{ll} G^+, & q_{in} > 0 \\ G, & q_{in} = 0 \\ G^-, & q_{in} < 0 \end{array} \right\} \quad (44)$$

где су q_{in} елементи матрице Q .

Да би се алтернатива a_i изабрала као најбоља из скупа алтернатива, потребно је да по што већем броју подкритеријума припада горњој апроксимативној области.

Корак М.11: Рангирање алтернатива

Да би алтернативе могле да се рангирају, неопходно је да се израчуна сума растојања алтернатива од граничних апроксимативних области. Тај збир L_i се добија сабирањем елемената матрице Q по редовима што је приказано у изразу:

$$L_i = \sum_{n=1}^N q_{in}, i = 1, \dots, I \quad (45)$$

где су:

- q_{in} - елементи матрице Q
- I - укупан број алтернатива и
- N - укупан број подкритеријума.

Алтернатива a_i која има највећи збир L_i представља најбољу алтернативу.

Корак 7: Поређење рангова алтернатива

Последњи корак предложене методологије подразумева поређење и анализу добијених резултата у корацима Е.13 и М.11. Након упоређивања, закључује се која алтернатива је најбоља, односно, доноси се одлука о томе који добављач је најпогоднији на основу постављених критеријума и подкритеријума.

5. Пример

У овом поглављу биће примењена описана методологија на илустративном примеру. Овај пример се заснива на избору најбољег добављача који ће се процењивати на основу одређених критеријума и подкритеријума. Одређене вредности потребне за примену предложене методологије коришћене су из радова [37,38]. На слици 13 је дат хијерархијски приказ критеријума и подкритеријума помоћу којих се процењује шест потенцијалних добављача.



Слика 13. Критеријуми и подкритеријуми за избор добављача

Критеријуми и подкритеријуми који се користе у овом примеру су [38]:

1. Конвенционални критеријум ($k = 1$):
 - Трошкови (трошковни критеријум),
 - Квалитет производа (бенефитни критеријум),
 - Технолошка способност (бенефитни критеријум) и
 - Поузданост испоруке (бенефитни критеријум).
2. Заштита животне средине ($k = 2$):
 - Системи менаџмента животном средином (бенефитни критеријум),
 - Управљање отпадом (бенефитни критеријум) и
 - Стварање загађења (трошковни критеријум).
3. Безбедност запослених ($k = 3$):
 - Повреде на раду (трошковни критеријум),
 - Развој вештина запослених (бенефитни критеријум) и
 - Доступност информација (бенефитни критеријум).

Бенефитни критеријуми (max) су критеријуми за које важи да што им је вредност већа, то је боље, а код трошковних критеријума (min) важи да што им је мања вредност, то је боље. Процењивање важности критеријума и подкритеријума су извршила три експерта која имају различите важности α_e .

- Менаџер производње ($e = 1, \alpha_1 = 0.45$),
- Менаџер заштите животне средине ($e = 2, \alpha_2 = 0.25$) и
- Менаџер безбедности ($e = 3, \alpha_3 = 0.3$).

Корак 1: Релативна важност критеријума

Да би се одредила тежина критеријума неопходно је најпре представити релативне важности критеријума које су процењене од стране експерата. За представљање релативне важности критеријума коришћена је АНР метода и матрица упоређивања парова $[W_{kk'}^e]_{3 \times 3}$, $k, k' = 1, \dots, 3; k \neq k'$. За свако $k = k', W_{kk'} = 1$. Сваки експерт $e, e = 1, \dots, 3$, је креирао своју матрицу упоређивања парова:

- Менаџер производње ($e = 1$)

$$W_{kk'}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 5 \\ \frac{1}{8} & 1 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{5} & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

- Менаџер заштите животне средине ($e = 2$)

$$W_{kk'}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 \\ \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

- Менаџер безбедности ($e = 3$)

$$W_{kk'}^3 = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 2 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{5} \\ \frac{1}{2} & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

Следећи корак који треба урадити јесте нормализовање матрица како би се одредио вектор тежина за сваку матрицу. Нормализација се врши на основу израза (1) и матрица $W_{kk'}^1$ коју је формирао менаџер производње има следећу форму:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.7547 & 0.6667 & 0.7895 \\ 0.0944 & 0.0823 & 0.0526 \\ 0.1509 & 0.25 & 0.1579 \end{bmatrix}$$

Применом израза (2) на чланове новодобијене матрице, добија се вектор тежина:

$$T_1 = \begin{bmatrix} 0.7369 \\ 0.0768 \\ 0.1863 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.74 \\ 0.08 \\ 0.19 \end{bmatrix}$$

Исти поступак се примењује и за матрице упоређивања парова које су добијене од стране менаџера заштите животне средине и менаџера безбедности и добијају се следећи вектори тежина:

$$T_2 = \begin{bmatrix} 0.68 \\ 0.22 \\ 0.1 \end{bmatrix} \quad T_3 = \begin{bmatrix} 0.59 \\ 0.07 \\ 0.33 \end{bmatrix}$$

Након израчунатих вектора тежина за сваку матрицу упоређивања парова, потребно је одредити степен конзистентности CR који се одређује на основу израза (5). Да би се израчунао степен конзистентности, прво треба одредити индекс конзистентности према изразу (3) и случајни индекс конзистентности према табели 3. Поступак одређивања CR биће објашњен за матрицу формирану од стране менаџера производње. За израчунавање индекса конзистентности прво треба одредити λ_{max} (максимална сопствена вредност матрице упоређивања парова) тако што ће се најпре формирати матрица B_1 множењем матрица упоређивања парова $W_{kk'}^1$ и вектора тежина T_1 .

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 5 \\ \frac{1}{8} & 1 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{5} & 3 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.74 \\ 0.08 \\ 0.19 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.06663 \\ 0.23101 \\ 0.56408 \end{bmatrix}$$

Након одређивања елемената матрице B_1 , потребно је поделити коресподентне елементе матрица B_1 и T_1 како би се формирала матрица λ_1 :

$$\lambda_1 = \begin{bmatrix} \frac{1.06663}{0.7369} \\ \frac{0.23101}{0.23101} \\ \frac{0.0768}{0.56408} \\ \frac{0.56408}{0.1863} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.4475 \\ 3.0079 \\ 3.0278 \end{bmatrix}$$

Применом једначине (4) може се закључити да највећу вредности има трећи члан, односно $\lambda_{max} = 3.0278$. Заменом λ_{max} у једначину (3) добија се вредности $CI_1 = 0.0139$. Да би се одредио степен конзистентности, потребно је још одредити RI из табеле 3. Обзиром да је ранг матрице упоређивања парова једнак тројци, може се закључити да је $RI_1 = 0.58$. Заменом добијених вредности за CI_1 и RI_1 у једначину (5), добија се коначна вредности степена конзистентности:

$$CR_1 = \frac{CI_1}{RI_1} = \frac{0.0139}{0.58} = 0.02 \quad (46)$$

Применом поступка за одређивање CR на преостале две матрице креиране од стране менаџера заштите животне средине и менаџера безбедности, добијају се вредности $CR_2 = 0.003$, односно $CR_3 = 0.02$. Како је свака израчуната вредност за $CR_e \leq 0.1$ може се закључити да су експерти исправно проценили релативне важности критеријума.

Корак 2: Агрегирана вредност тежина критеријума

Да би се одредила коначна вредност тежина критеријума, неоподно је агрегирати вредности тежина критеријума из претходног корака. Агрегација се врши према изразу (25) и тежине критеријума имају следеће вредности:

$$w_1 = \sum_{e=1}^3 \alpha_e \cdot w_1^e = 0.45 \cdot 0.74 + 0.25 \cdot 0.68 + 0.3 \cdot 0.59 = 0.68 \quad (47)$$

$$w_2 = \sum_{e=1}^3 \alpha_e \cdot w_2^e = 0.45 \cdot 0.08 + 0.25 \cdot 0.22 + 0.3 \cdot 0.07 = 0.11 \quad (48)$$

$$w_3 = \sum_{e=1}^3 \alpha_e \cdot w_3^e = 0.45 \cdot 0.19 + 0.25 \cdot 0.1 + 0.3 \cdot 0.33 = 0.21 \quad (49)$$

где су:

- $w_k, k = 1, \dots, 3$ - агрегирана вредност тежине критеријума,
- $w_k^e, k = 1, \dots, 3; e = 1, \dots, 3$ - тежина критеријума према доносиоцу одлуке e и
- α_e - важност доносиоца одлуке.

Корак 3: Матрице упоређивања парова подкритеријума

У овом кораку је потребно формирати матрице упоређивања парова подкритеријума за сваки критеријум. Релативне важности подкритеријума се приказују у матрици $[W_{jj',k}]_{J \times J}, j, j' = 1, \dots, J_k; j \neq j'; k = 1, \dots, 3$, где су j и j' подкритеријуми, а J_k укупан број подкритеријума у оквиру неког критеријума k . У случају када је $j = j'$, члан матрице $W_{jj',k}$ је једнак јединици. Процену релативне важности подкритеријума, експерти су донели консензусом. Матрице упоређивања парова подкритеријума за сваки критеријум имају следећу форму:

- Конвенционални критеријум:

$$W_{jj',1} = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 7 & 3 \\ \frac{1}{5} & 1 & 3 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & 2 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

- Заштита животне средине:

$$W_{jj',2} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 \\ \frac{1}{3} & 1 & 3 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$$

- Безбедност запослених:

$$W_{jj',3} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

За нормализацију матрица преферентности подкритеријума, одређивање вектора тежина подкритеријума и одређивање степена конзистентности матрица $W_{jj,k}$ користи се АНР метода, аналогно првом кораку за критеријуме. Из тог разлога, биће дати само коначни резултати вектора тежина T и вредности степена конзистентности CR матрица без приказаног процеса рачунања.

$k = 1$:

$$T = \begin{bmatrix} 0.58 \\ 0.14 \\ 0.07 \\ 0.22 \end{bmatrix}; CR = 0.038$$

$k = 2$:

$$T = \begin{bmatrix} 0.67 \\ 0.24 \\ 0.09 \end{bmatrix}; CR = 0.009$$

$k = 3$:

$$T = \begin{bmatrix} 0.59 \\ 0.25 \\ 0.16 \end{bmatrix}; CR = 0.06$$

Обзиром да је $CR \leq 0,1$ за сваку матрицу $W_{jj,k}$, може се закључити да су матрице добро постављене.

Корак 4: Укупна тежина подкритеријума

Четврти корак представља прорачун укупне тежине подкритеријума који укључује тежине критеријума из корака 2 и тежине подкритеријума из корака 3. Укупна тежина подкритеријума W_n се израчунава помоћу израза (26) и добијене су следеће вредности:

$$\text{Трошкови: } W_1 = \sqrt{w_1 \cdot w_1^{-1}} = \sqrt{0.68 \cdot 0.58} = 0.63 \quad (50)$$

$$\text{Квалитет производа: } W_2 = \sqrt{w_1 \cdot w_2^{-1}} = \sqrt{0.68 \cdot 0.14} = 0.31 \quad (51)$$

$$\text{Технолошка способност: } W_3 = \sqrt{w_1 \cdot w_3^{-1}} = \sqrt{0.68 \cdot 0.07} = 0.22 \quad (52)$$

$$\text{Поузданост испоруке: } W_4 = \sqrt{w_1 \cdot w_4^{-1}} = \sqrt{0.68 \cdot 0.22} = 0.39 \quad (53)$$

$$\text{Системи менаџмента животном средином: } W_5 = \sqrt{w_2 \cdot w_1^{-2}} = \sqrt{0.11 \cdot 0.67} = 0.27 \quad (54)$$

$$\text{Управљање отпадом: } W_6 = \sqrt{w_2 \cdot w_2^{-2}} = \sqrt{0.11 \cdot 0.24} = 0.16 \quad (55)$$

$$\text{Стварање загађења: } W_7 = \sqrt{w_2 \cdot w_3^{-2}} = \sqrt{0.11 \cdot 0.09} = 0.1 \quad (56)$$

$$\text{Повреде на раду: } W_8 = \sqrt{w_3 \cdot w_1^{-3}} = \sqrt{0.21 \cdot 0.59} = 0.35 \quad (57)$$

$$\text{Развој вештина запослених: } W_9 = \sqrt{w_3 \cdot w_2^{-3}} = \sqrt{0.21 \cdot 0.25} = 0.23 \quad (58)$$

$$\text{Доступност информација: } W_{10} = \sqrt{w_3 \cdot w_3^{-3}} = \sqrt{0.21 \cdot 0.16} = 0.18 \quad (59)$$

где су:

- $W_n, n = 1, \dots, 10$ - укупна вредност тежине подкритеријума n ,
- $w_k, k = 1, \dots, 3$ - агрегирана вредност тежине критеријума k ,
- $w_j^k, j = 1, \dots, J_k$ - тежина подкритеријума j у оквиру критеријума k и
- J_k - укупан број подкритеријума у оквиру критеријума k .

Корак 5: Нормализовани вектор тежина подкритеријума

У оквиру овог корака, врши се нормализација вредности укупне тежине подкритеријума W_n које су добијене у претходном кораку. Нормализоване вредности ε_n се добијају према једначини (27) и израчунате су следеће вредности:

$$\varepsilon = [0.22 \quad 0.11 \quad 0.08 \quad 0.14 \quad 0.09 \quad 0.06 \quad 0.03 \quad 0.12 \quad 0.08 \quad 0.06]$$

Корак 6: Матрица одлучивања

Шести корак представља креирање матрице одлучивања $X = [x_{in}]_{6 \times 10}$, чији се чланови добијају на основу евалуације алтернатива a_i по подкритеријумима b_n . Вредности матрице одлучивања су преузете из радова [37,38]. Матрица X је представљена табелом 5.

Табела 5. Матрица одлучивања X

	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$	$n = 10$
$i = 1$	285	5	195	2	1	6	9	7	3	7
$i = 2$	100	3	200	6	2	5	8	1	7	4
$i = 3$	184	2	155	7	3	4	7	21	8	2
$i = 4$	60	1	174	8	4	3	8	15	5	6
$i = 5$	400	9	165	5	3	3	9	30	4	3
$i = 6$	333	8	120	4	2	6	6	45	9	5

Корак Е.7: Нормализована матрица одлучивања

На основу матрице одлучивања X из корака 6, формира се нормализована матрица одлучивања $R_E = [r_{in}]_{6 \times 10}$. Чланови матрице R_E за бенефитне критеријуме $b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_9$ и b_{10} се добијају помоћу једначине (28), а за трошковне критеријуме b_1, b_7 и b_8 се рачунају према једначини (29). На основу израчунатих елемената, добија се матрица R_E која је представљена у табели 6.

Табела 6. Нормализована матрица одлучивања R_E

	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$	$n = 10$
$i = 1$	0.175	0.369	0.468	0.144	0.152	0.524	0.347	0.141	0.192	0.594
$i = 2$	0.5	0.221	0.480	0.431	0.305	0.437	0.391	0.990	0.448	0.339
$i = 3$	0.272	0.147	0.372	0.503	0.457	0.349	0.446	0.047	0.512	0.170
$i = 4$	0.833	0.074	0.417	0.574	0.610	0.262	0.391	0.066	0.320	0.509
$i = 5$	0.125	0.664	0.396	0.359	0.457	0.262	0.347	0.033	0.256	0.254
$i = 6$	0.150	0.590	0.288	0.287	0.305	0.524	0.521	0.022	0.576	0.424

Корак Е.8: Отежана нормализована матрица одлучивања

Након формирање нормализоване матрице одлучивања, поставља се отежана нормализована матрица одлучивања $D_E = [d_{in}]_{6 \times 10}$. Чланови d_{in} добијају се степеновањем чланова одговарајуће колоне матрице R_E са нормализованим тежинским коефицијентима подкритеријума ε_n , применом једначине (30). Добијена матрица D_E је приказана табелом 7.

Табела 7. Отежана нормализована матрица одлучивања D_E

	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$	$n = 10$
$i = 1$	0.682	0.896	0.941	0.762	0.844	0.962	0.969	0.791	0.876	0.969
$i = 2$	0.859	0.847	0.943	0.889	0.899	0.952	0.972	0.999	0.938	0.937
$i = 3$	0.751	0.810	0.924	0.908	0.932	0.939	0.976	0.693	0.948	0.899
$i = 4$	0.961	0.751	0.932	0.925	0.956	0.923	0.972	0.722	0.913	0.960
$i = 5$	0.633	0.956	0.929	0.866	0.932	0.923	0.969	0.664	0.897	0.921
$i = 6$	0.659	0.944	0.905	0.840	0.899	0.962	0.981	0.633	0.957	0.950

Корак Е.9: Одређивање скупова сагласности и несагласности

Овај корак подразумева поредђење парова алтернатива a_i и a_p , $i, p = 1, \dots, 6$; $i \neq p$ за сваки подкритеријум b_n , $n = 1, \dots, 10$. На основу једначина (31) и (32), одређују се скупови сагласности S_{ip} и несагласности NS_{ip} који се састоје од подкритеријума b_n . Наведени скупови су представљени у табели 8.

Табела 8. Скупови сагласности и несагласности S_{ip} и NS_{ip}

Парови, $i \neq p$	Скуп сагласности	Скуп несагласности
$i = 1, p = 2$	b_2, b_6, b_{10}	$b_1, b_3, b_4, b_5, b_7, b_8, b_9$
$i = 1, p = 3$	$b_2, b_3, b_6, b_8, b_{10}$	b_1, b_4, b_5, b_7, b_9
$i = 1, p = 4$	$b_2, b_3, b_6, b_8, b_{10}$	b_1, b_4, b_5, b_7, b_9
$i = 1, p = 5$	$b_1, b_3, b_6, b_7, b_8, b_{10}$	b_2, b_4, b_5, b_9
$i = 1, p = 6$	$b_1, b_3, b_6, b_8, b_{10}$	b_2, b_4, b_5, b_7, b_9
$i = 2, p = 1$	$b_1, b_3, b_4, b_5, b_7, b_8, b_9$	b_2, b_6, b_{10}
$i = 2, p = 3$	$b_1, b_2, b_3, b_6, b_8, b_{10}$	b_4, b_5, b_7, b_9
$i = 2, p = 4$	$b_2, b_3, b_6, b_7, b_8, b_9$	b_1, b_4, b_5, b_{10}
$i = 2, p = 5$	$b_1, b_3, b_4, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}$	b_2, b_5
$i = 2, p = 6$	b_1, b_3, b_4, b_5, b_8	$b_2, b_6, b_7, b_9, b_{10}$
$i = 3, p = 1$	b_1, b_4, b_5, b_7, b_9	$b_2, b_3, b_6, b_8, b_{10}$
$i = 3, p = 2$	b_4, b_5, b_7, b_9	$b_1, b_2, b_3, b_6, b_8, b_{10}$
$i = 3, p = 4$	b_2, b_6, b_7, b_9	$b_1, b_3, b_4, b_5, b_8, b_{10}$
$i = 3, p = 5$	$b_1, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9$	b_2, b_3, b_{10}
$i = 3, p = 6$	b_1, b_3, b_4, b_5, b_8	$b_2, b_6, b_7, b_9, b_{10}$
$i = 4, p = 1$	b_1, b_4, b_5, b_7, b_9	$b_2, b_3, b_6, b_8, b_{10}$
$i = 4, p = 2$	$b_1, b_4, b_5, b_7, b_{10}$	b_2, b_3, b_6, b_8, b_9
$i = 4, p = 3$	$b_1, b_3, b_4, b_5, b_8, b_{10}$	b_2, b_6, b_7, b_9
$i = 4, p = 5$	$b_1, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}$	b_2
$i = 4, p = 6$	$b_1, b_3, b_4, b_5, b_8, b_{10}$	b_2, b_6, b_7, b_9
$i = 5, p = 1$	b_2, b_4, b_5, b_7, b_9	$b_1, b_3, b_6, b_8, b_{10}$
$i = 5, p = 2$	b_2, b_5	$b_1, b_3, b_4, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}$
$i = 5, p = 3$	b_2, b_3, b_5, b_{10}	$b_1, b_4, b_6, b_7, b_8, b_9$
$i = 5, p = 4$	b_2, b_6	$b_1, b_3, b_4, b_5, b_7, b_8, b_9, b_{10}$
$i = 5, p = 6$	b_2, b_3, b_4, b_5, b_8	$b_1, b_6, b_7, b_9, b_{10}$

$i = 6, p = 1$	$b_2, b_4, b_5, b_6, b_7, b_9$	b_1, b_3, b_8, b_{10}
$i = 6, p = 2$	$b_2, b_5, b_6, b_7, b_9, b_{10}$	b_1, b_3, b_4, b_8
$i = 6, p = 3$	$b_2, b_6, b_7, b_9, b_{10}$	b_1, b_3, b_4, b_5, b_8
$i = 6, p = 4$	b_2, b_6, b_7, b_9	$b_1, b_3, b_4, b_5, b_8, b_{10}$
$i = 6, p = 5$	$b_1, b_6, b_7, b_9, b_{10}$	b_2, b_3, b_4, b_5, b_8

Корак Е.10: Формирање матрице сагласности

Матрица сагласности $S = [IS_{ip}]_{6 \times 6}$ се формира на основу скупова сагласности, а елементе матрице сагласности чине индекси сагласности IS_{ip} који се рачунају као сума нормализованих тежина подкритеријума ε_n који припадају скуповима сагласности, што је приказано једначином (33). У случају $i = p$, индекси сагласности IS_{ip} су једнаки нули. Матрица сагласности је приказана табелом 9.

Табела 9. Матрица сагласности S

	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$
$i = 1$	–	0.23	0.46	0.43	0.57	0.54
$i = 2$	0.76	–	0.65	0.48	0.79	0.65
$i = 3$	0.56	0.34	–	0.28	0.74	0.65
$i = 4$	0.56	0.54	0.71	–	0.88	0.71
$i = 5$	0.45	0.2	0.34	0.17	–	0.54
$i = 6$	0.51	0.43	0.34	0.28	0.45	–

Након одређивања матрице сагласности, рачуна се коефицијент сагласности према изразу (34) и добија се

$$C_S = \frac{\sum_{i=1}^6 \sum_{p=1}^6 IS_{ip}}{6 \cdot 5} = \frac{15.21}{30} = 0.507 \quad (60)$$

Корак Е.11: Формирање матрице несагласности

Матрица несагласности $NS = [INS_{ip}]_{6 \times 6}$ се одређује на основу скупова несагласности, а елементи матрице несагласности INS_{ip} се добијају према формули (35). У случају $i = p$, индекси несагласности INS_{ip} су једнаки нули. Матрица несагласности је представљена у табели 10.

Табела 10. Матрица несагласности NS

	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$
$i = 1$	–	1	1	1	0.819	0.513
$i = 2$	0.236	–	0.109	0.368	0.326	0.265
$i = 3$	0.671	1	–	1	1	1
$i = 4$	0.520	1	0.281	–	0.625	0.639
$i = 5$	1	1	0.808	1	–	1
$i = 6$	1	1	0.687	1	0.846	–

Након формирања матрице несагласности, треба израчунати коефицијент несагласности према изразу (36):

$$C_{NS} = \frac{\sum_{i=1}^6 \sum_{p=1}^6 INS_{ip}}{6 \cdot 5} = \frac{22.713}{30} = 0.757 \quad (61)$$

Корак Е.12: Формирање матрице агрегатне доминације Z

Вредност елемената матрице агрегатне доминације $Z = [z_{ip}]_{6 \times 6}$, зависи од следећих услова:

$$z_{ip} = \begin{cases} 0, & IS_{ip} < 0.507 \vee INS_{ip} > 0.757 \vee i = p \\ 1, & IS_{ip} \geq 0.507 \wedge INS_{ip} \leq 0.757 \end{cases}$$

где су:

- IS_{ip} - индекси сагласности,
- INS_{ip} - индекси несагласности,
- C_S - коефицијент сагласности,
- C_{NS} - коефицијент несагласности и
- i, p - индекси алтернатива.

На основу ових услова, формира се матрица агрегатне доминације (табела 11).

Табела 11. Матрица агрегатне доминације

	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$
$i = 1$	–	0	0	0	0	1
$i = 2$	1	–	1	0	1	1
$i = 3$	1	0	–	0	0	0
$i = 4$	1	0	1	–	1	1
$i = 5$	0	0	0	0	–	0
$i = 6$	0	0	0	0	0	–

Корак Е.13: Рангирање алтернатива

Последњи корак код ELECTRE методе је рангирање алтернатива. За овај корак неопходно је одредити број јединица у свакој врсте матрице агрегатне доминације (Табела 12).

Табела 12. Ранг алтернатива према ELECTRE методи

Алтернатива	Број јединица	Ранг
a_1	1	3-4
a_2	4	1-2
a_3	1	3-4
a_4	4	1-2
a_5	0	5-6
a_6	0	5-6

Из табеле 12 се може донети закључак да су према ELECTRE методи најбоље алтернативе a_2 и a_4 , док су алтернативе a_5 и a_6 најнеповољније за разматрање при избору добављача.

Корак М.7: Нормализована матрица одлучивања

На основу матрице одлучивања X из корака 6, формира се нормализована матрица одлучивања $R_M = [r_{in}]_{6 \times 10}$. Елементи r_{in} се рачунају према изразу (37) када су у питању беневитни критеријуми $b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_9$ и b_{10} , односно, према изразу (38) за трошковне критеријуме b_1, b_7 и b_8 . Нормализована матрица одлучивања R_M представљена је табелом 13.

Табела 13. Нормализована матрица одлучивања R_M

	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$	$n = 10$
$i = 1$	0.338	0.5	0.938	0	0	1	0	0.864	0	1
$i = 2$	0.882	0.25	1	0.667	0.333	0.667	0.333	1	0.667	0.4
$i = 3$	0.635	0.125	0.438	0.833	0.667	0.333	0.667	0.545	0.833	0
$i = 4$	1	0	0.675	1	1	0	0.333	0.682	0.333	0.8
$i = 5$	0	1	0.562	0.5	0.667	0	0	0.341	0.167	0.2
$i = 6$	0.197	0.875	0	0.333	0.333	1	1	0	1	0.6

Корак М.8: Формирање отежане нормализоване матрице одлучивања

Након формирања нормализоване матрице одлучивања, поставља се отежана нормализована матрица одлучивања $D_M = [d_{in}]_{6 \times 10}$. Чланови d_{in} се добијају помоћу једначине (41). Добијена матрица D_M је приказана у табели 14.

Табела 14. Отежана нормализована матрица одлучивања D_M

	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$	$n = 10$
$i = 1$	0.294	0.165	0.155	0.14	0.09	0.12	0.03	0.224	0.08	0.12
$i = 2$	0.414	0.138	0.16	0.233	0.120	0.100	0.04	0.24	0.133	0.084
$i = 3$	0.360	0.124	0.115	0.257	0.150	0.08	0.05	0.185	0.147	0.06
$i = 4$	0.44	0.11	0.134	0.28	0.18	0.06	0.04	0.202	0.107	0.108
$i = 5$	0.22	0.22	0.125	0.21	0.150	0.06	0.03	0.161	0.093	0.072
$i = 6$	0.263	0.206	0.08	0.187	0.120	0.12	0.06	0.12	0.16	0.096

Корак М.9: Одређивање матрице граничних апроксимативних области

Након одређивања отежане нормализоване матрице одлучивања D_M , потребно је одредити матрицу граничних апроксимативних области G . Чланови матрице се рачунају помоћу израза (42) и добијене су следеће вредности:

$$G = [0.322 \quad 0.155 \quad 0.125 \quad 0.213 \quad 0.132 \quad 0.086 \quad 0.04 \quad 0.184 \quad 0.116 \quad 0.088]$$

Корак М.10: Матрица удаљености алтернатива од граничне апроксимативне области

Овај корак подразумева креирање матрице граничне апроксимативне области $Q = [q_{in}]_{6 \times 10}$. Елементи q_{in} се добијају као разлика елемената матрица D_M и G што је приказано формулом (43). Матрица Q је приказа у табели 15.

Табела 15. Матрица удаљености алтернатива од граничне апроксимативне области Q

	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$	$n = 10$
$i = 1$	-0.028	0.01	0.03	-0.073	-0.042	0.034	-0.01	0.04	-0.036	0.032
$i = 2$	0.092	-0.017	0.035	0.02	-0.012	0.014	0	0.056	0.017	-0.004
$i = 3$	0.038	-0.031	-0.01	0.044	0.018	-0.006	0.01	0.001	0.031	-0.028
$i = 4$	0.118	-0.045	0.009	0.067	0.048	-0.026	0	0.018	-0.009	0.02
$i = 5$	-0.102	0.065	0	-0.003	0.018	-0.026	-0.01	-0.023	-0.023	-0.016
$i = 6$	-0.059	0.051	-0.045	-0.026	-0.012	0.034	0.02	-0.064	0.044	0.008

Да би се алтернатива a_i изабрала као најбоља из скупа алтернатива, потребно је да по што већем броју подкритеријума припада горњој апроксимативној области, односно да за што више чланова важи $q_{in} > 0$.

Из табеле 15 се може закључити да алтернатива a_5 по највећем броју подкритеријума припада доњој апроксимативној области G^- и да је она најнеповољнија алтернатива, док се алтернативе a_2 и a_4 по највећем броју подкритеријума налазе у горњој апроксимативној области G^+ и представљају најпогодније алтернативе.

Корак М.11: Рангирање алтернатива

Да би алтернативе могле да се рангирају према МАВАС методи, неопходно је да се израчуна сума растојања алтернатива од граничних апроксимативних области. Сума L_i се добија помоћу једначине (45) и добијене су следеће вредности:

$$L_1 = \sum_{n=1}^{10} q_{1n} = -0.043 \quad (62)$$

$$L_2 = \sum_{n=1}^{10} q_{2n} = 0.201 \quad (63)$$

$$L_3 = \sum_{n=1}^{10} q_{3n} = 0.067 \quad (64)$$

$$L_4 = \sum_{n=1}^{10} q_{4n} = 0.2 \quad (65)$$

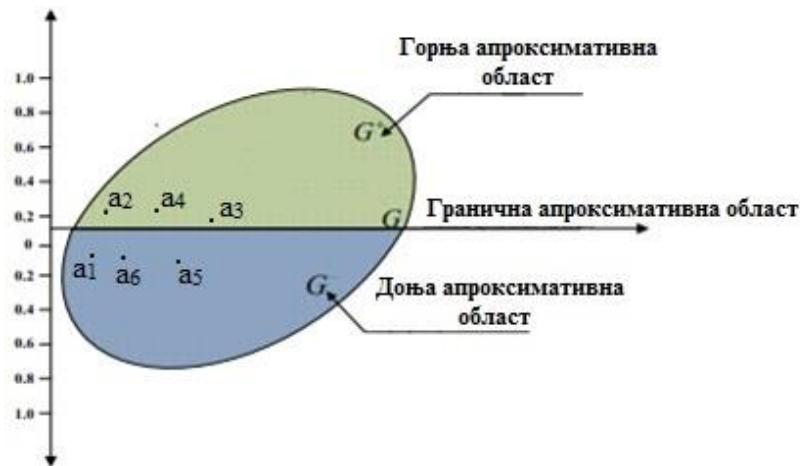
$$L_5 = \sum_{n=1}^{10} q_{5n} = -0.12 \quad (66)$$

$$L_6 = \sum_{n=1}^{10} q_{6n} = -0.049 \quad (67)$$

Алтернатива a_i која има највећи збир L_i представља најбољу алтернативу. На основу једначина (62-67), може се закључити да је најбоља алтернатива a_2 . Ранг алтернатива приказан је у табели 16, а графички приказ позиција алтернатива у односи на апроксимативне области приказан је на слици 14.

Табела 16. Ранг алтернатива према МАВАС методи

Алтернатива	L_i	Ранг
a_1	-0.043	4
a_2	0.201	1
a_3	0.067	3
a_4	0.2	2
a_5	-0.12	6
a_6	-0.049	5



Слика 14. Графички приказ позиција алтернатива у односу на апроксимативне области

Са слике 14 се може закључити да алтернативе a_2, a_3 и a_4 припадају горњој апроксимативној области, док алтернативе a_1, a_5 и a_6 припадају доњој апроксимативној области.

Корак 7: Поређење рангова алтернатива

Последњи корак предложене методологије подразумева поређење и анализу добијених резултата у корацима Е.13 и М.11. На основу табела 12 и 16, резултати рангирања алтернатива помоћу ELECTRE и MABAC методе приказани су у табели 17.

Табела 17. Упоредни приказ ранга алтернатива применом ELECTRE и MABAC методе

Ранг	ELECTRE	MABAC
1	a_2/a_4	a_2
2	a_2/a_4	a_4
3	a_1/a_3	a_3
4	a_1/a_3	a_1
5	a_5/a_6	a_6
6	a_5/a_6	a_5

Из табеле 17 се може закључити да је ранг алтернатива добијен помоћу ове две методе идентичан. Упоређујући резултате обе методе, скупу најбољих алтернатива припадају алтернативе a_2 и a_4 , док скупу најнеповољнијих алтернатива припадају a_5 и a_6 када је у питању избор добављача.

За разлику од MABAC методе која даје прецизнија решења и помоћу које се могу тачно одредити најбоља и најгора алтернатива, ELECTRE метода даје грубу процену алтернатива, стога се приликом рангирања може јавити више од једне најбоље, али и најгоре алтернативе.

6. Закључак

У ланцу снабдевања сарадња између компаније и добављача је веома комплексна и важна веза која утиче на успешност пословања. Избор добављача представља једну од кључних активности компанија за постизање конкурентске предности. За предузеће је веома важан ефикасан и поуздан добављач, јер у супротном то може довести до прекомерног кашњења и лошег квалитета производа, а самим тим и до незадовољства купаца. Да би компанија постигла циљеве који се односе на успешно пословање и задовољство купаца, доносиоци одлука треба да примене ефикасну методу и одаберу одговарајуће критеријуме за избор добављача. Критеријуми и подкритеријуми се бирају узимајући у обзир тренутно пословање фирме и искуство експерата из одговарајућих области. Како се одлуке доносе у све сложенијим околностима, у доста случајева неопходна је употреба стручњака из различитих области.

Обзиром да је данас доступан широк спектар метода вишекритеријумског одлучивања, многи аутори врше истраживања трагајући за најбољом методом. Свака метода има своје предности, недостатке и могућности да се примени, што значи да коначан избор алтернативе не зависи само од критеријума по којима се оне оцењују, већ и од употребљене методе.

Циљ овог рада представља одређивање најбољег добављача, који се оцењивао на основу десет критеријума. Резултат рада представљен је упоредном анализом резултата добијених коришћењем ELECTRE и MABAC методе, уз одређивање тежина критеријума и подкритеријума помоћу АНР методе. На основу табеле 17, скупу најбољих алтернатива припадају алтернативе a_2 и a_4 , док скупу најнеповољнијих алтернатива припадају a_5 и a_6 када је у питању избор добављача. Највећи утицај на избор добављача имали су подкритеријуми са највећом вредношћу нормализоване тежине, а то су:

- Трошкови,
- Поузданост испоруке,
- Повреде на раду и
- Квалитет производа.

Предложени модел има одређена ограничења која утичу на крајњи резултат, али је могуће извршити одговарајуће измене у циљу унапређења. Главна ограничења предложеног модела су:

- Важност експерата,
- Процена релативне важности критеријума и подкритеријума од стране експерата,
- Начин одређивања тежина критеријума и подкритеријума,
- Број критеријума и подкритеријума.

Изменом ових ограничења може се утицати на промену крајњег резултата, односно на избор најпогоднијег добављача.

7. Литература

- [1] Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M., Shapiro, A., A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty, *European Journal of Operational Research*, Vol. 167, pp. 96-115, 2005.
- [2] Vidal, C.J., Goetschalckx, M., Strategic production-distribution models: A critical review with emphasis on global supply chain models, *European Journal of Operational Research*, Vol. 98, pp. 1-18, 1997.
- [3] Goetschalckx, M., Vidal, C.J., Dogan, K., Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms, *European Journal of Operational Research*, Vol. 143, pp. 1-18, 2002.
- [4] Chan, F.T. S., Kumar, N., Tiwari, M. K., Lau, H.C.W., Choy, K.L., Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach, *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 14, pp. 3825–3857, 2008.
- [5] Kahraman, C., Cebeci, U., Ulukan, Z., Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP, *Logistics Information Management*, Vol. 16, No. 6, pp. 382-394, 2003.
- [6] Bajrami, Š., ELECTRE i AHP – Sistemi za podršku višekriterijumskom odlučivanju, *INFOTEH-JAHORINA*, Vol. 13, pp. 599-604, 2014.
- [7] Mudrinić, I., Višekriterijalno odlučivanje u procesu odabira prostornog rasporeda proizvodnog sustava (diplomski rad), Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2016.
- [8] Stević, Ž., Integrirani model vrednovanja dobavljača u lancima snabdevanja (doktorska disertacija), Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2018.
- [9] Regodić, D., Logistika, Beograd, Univerzitet Singidunum, 2014
- [10] Bošković, J., Supply chain management, 7th Quality Festival, Kragujevac, Republika Srbija, pp. A116-A127, 2013.
- [11] Hamdan, S., Cheaitou, A., Supplier selection and order allocation with green criteria: An MCDM and multi-objective optimization approach, *Computers and Operations Research*, Vol. 81, pp. 282-304, 2017.
- [12] Sepehriar, A., Eslamipoor, R., Nobari, A., A new mixed fuzzy-LP method for selecting the best supplier using fuzzy group decision making, *Neural Computing and Applications*, Vol. 23, pp. 345–352, 2013.
- [13] Montazer, G.A., Saremi, H.Q., Ramezani, M., Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 10837–10847, 2009.
- [14] Chamodrakas, I., Batis, D., Martakos, D., Supplier selection in electronic marketplaces using satisficing and fuzzy AHP, *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, pp. 490–498, 2010.
- [15] Stamenković, M., Višekriterijumsko odlučivanje u upravljanju i optimizaciji ekonomije obrazovanja (doktorska disertacija), Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2016.
- [16] Deluka-Tibljaš, A., Karleuša, B., Dragičević, N., Pregled primjene metoda višekriterijske analize pri donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi, *Građevinar*, Vol. 65, No. 07, pp. 619-631, 2013.
- [17] Delalić, A., Šćeta, L., Metoda Elektre kao podrška odlučivanju, *Zbornik radova Ekonomskog fakulteta u Sarajevu*, pp. 237-251, 2006.

- [18] Dickson, G.W., An analysis of vendor selection systems and decisions, *Journal of Purchasing*, Vol. 2, No. 1, pp. 5-17, 1966.
- [19] Stević, Ž., Pamučar, D., Vasiljević, M., Stojić, G., Korica, S., Novel integrated multi-criteria model for supplier selection: case study construction company, *Symmetry*, Vol. 9, No. 11, 279, 2017.
- [20] Zimmer, K., Frohling, M., Schultmann, F., Sustainable supplier management - A review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development, *International Journal of Production Research*, Vol. 54, pp. 1412–1442, 2016.
- [21] Ertugrul, I., Karakasoglu, N., The fuzzy analytic hierarchy process for supplier selection and an application in a textile company, *Proceedings of 5th International Symposium on intelligent manufacturing systems*, pp. 195-207, 2006.
- [22] Ayhan, M.B., A fuzzy AHP approach for supplier selection problem: a case study in a gear motor company, *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, Vol. 4, No. 3, pp. 11-23, 2013.
- [23] Benyoucef, M., Canbolat, M., Fuzzy AHP-based supplier selection in e-procurement, *International Journal of Services and Operations Management*, Vol. 3, No. 2, pp. 172-192, 2007.
- [24] Stević, Ž., Alihodžić, A., Božičković, Z., Vasiljević, M., Vasiljević, Đ., Application of combined AHP-TOPSIS model for decision making in management, *5th International conference Economics and Management - Based On New Technologies*, Vrnjačka Banja, Republika Srbija, pp. 33-40, 2015.
- [25] Soner, S., Önüt, S., Multi-criteria supplier selection: an ELECTRE-AHP application, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 4, pp. 110-120, 2006.
- [26] Govindan, K., Jepsen, M.B., ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, *European Journal of Operational Research*, Vol. 250, pp. 1-29, 2016.
- [27] Alencar, L.H., de Almeida, A.T., Morais, D.C., A multicriteria group decision model aggregating the preferences of decision-makers based on ELECTRE methods, *Pesquisa Operacional*, Vol. 30, No. 3, pp. 687-702, 2010.
- [28] Alencar, L.H., de Almeida, A.T., Multicriteria decision group model for the selection of suppliers, *Pesquisa Operacional*, Vol. 28, No. 2, pp. 321-337, 2008.
- [29] Hatami-Marbini, A., Tavana, M., An extension of the ELECTRE I method for group decision-making under a fuzzy environment, *Omega*, Vol. 39, pp. 373-386, 2011.
- [30] Pamučar, D., Ćirović, G., The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC), *Expert Systems with Applications*, Vol. 42, pp. 3016-3028, 2015.
- [31] Božanić, D., Pamučar, D., Karović, S., Primene metode MABAC u podršci odlučivanju upotrebe snaga u odbrambenoj operaciji, *Tehnika*, Vol. 71, No. 1, pp. 129-136, 2016.
- [32] Srđević, B., Jandrić, Z., Analitički hijerarhijski proces u strateškom gazdovanju šumama, *Studija rađena za JP „Srbijašume“*, Šumsko gazdinstvo „Novi Sad“, 2000.
- [33] Oguztimur, S., Why fuzzy analytic hierarchy process approach for transport problems?, *51st Congress of the European Regional Science Association: "New Challenges for European Regions and Urban Areas in a Globalised World"*, Barcelona, Spain, 2011.
- [34] Milovanović, Ž., Primena electra metode u nabavci poljoprivredne mehanizacije poljoprivredne mehanizacije, *Ekonomski signali*, Vol. 12, No. 2, pp. 11-21, 2017.

- [35] Đenadić, S., Jovančić, P., Ignjatović, D., Miletić, F., Janković, I., Analiza primene višekriterijumskih metoda u optimizaciji izbora hidrauličnih bagera na površinskim kopovima uglja, *Tehnika*, Vol. 74, No. 3, pp. 369-377, 2019.
- [36] Tscheikner-Gratl, F., Egger, P., Rauch, W., Kleidorfer, M., Comparison of multi-criteria decision support methods for integrated rehabilitation prioritization, *Water*, Vol. 9, No. 2, 68, 2017.
- [37] Tadić, D., Milanovic, D., Misita, M., Tadić, B., New integrated approach to the problem of ranking and supplier selection under uncertainties, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part B Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 225, pp. 1713-1724, 2011.
- [38] Mohammed, A., Harris, I., Govindan, K., A hybrid MCDM-FMOO approach for sustainable supplier selection and order allocation, *International Journal of Production Economics*, Vol. 217, pp. 171-184, 2019.