

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Индустијски инжењеринг

Предмет: Организација рада

Број индекса: 30/2012

Никола З. Коматина

**Оцена утицаја уређаја за рециклажу на  
животну средину у фази процеса производње  
применом *TOPSIS* методе  
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Данијела Тадић - ментор

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да разуме значај процеса рециклаже првенствено са аспекта заштите животне средине. Од кандидата се очекује да идентификује врсте отпада које настају у процесу производње. Применом методе за оцењивање животног циклуса производа (*LCA*) се врши идентификација отпада у разматраном процесу. Оцењивање вредности третираних врста отпада у процесу производње је постављено као задатак групног одлучивања. Кандидат треба да разуме различите начине агрегација индивидуалних мишљења доносиоца одлука. Оцењивање различитих врста отпада на третиране елементе животне средине кандидат треба да постави као задатак више-атрибутивног одлучивања. Применом методе *TOPSIS*, одређује се ранг идентификованих врста отпада на сваки елемент животне средине, симултано. Такође, добија се и ранг врста отпада када се сви елементи животне средине посматрају истовремено. Кандидат треба да разуме добијене резултате и да на основу њих може да пропише мере за побољшање квалитета животне средине.

#### Препоручена литература:

- [1] Агарски, Б., (2014). *Развој система за интелигентну вишекритеријумску процену оптерећења животне средине код оцењивања животног циклуса производа и процеса*. Факултет техничких наука, Нови Сад.
- [2] Арсовски, С., (2013). *Интегрисани системи менаџмента*. Факултет инжењерских наука, Крагујевац.
- [3] Hwang, C., L., Yoon, K., (1981). *Multiple Attribute Decision making: Methods and Applications*, Springer, Berlin.

Крагујевац, 2015.

ментор:

Данијела Тадић, редовни професор

## Резиме

У овом раду разматран је проблем одређивања утицаја сваке улазне променљиве процеса производње уређаја за рециклажу, на три кључна елемента животне средине (воду, ваздух и тло). Све улазне променљиве које се разматрају у процесу производње добијене су применом *LCA (Life Cycle Assessment)* методе. Утицај сваке врсте отпада на сваки елемент животне средине оцењен је помоћу модификоване *TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)* методе.

**Кључне речи:** *TOPSIS, LCA*, животна средина, отпад

## Abstract

In this paper a problem of influence assessment of every input variable in the production process of recycling device was considered due to three key elements of environment (water, air and ground). All input variables which are considered in the production process are received by using *LCA (Life Cycle Assessment)* method. The influence of each kind of waste to the each environment element was assessed by modified *TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)* method.

**Keywords:** *TOPSIS, LCA*, environment, waste

## Садржај

|                                                   | стр.      |
|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>Резиме</b>                                     | <b>3</b>  |
| <b>1. Увод</b>                                    | <b>5</b>  |
| <b>2. Преглед литературе</b>                      | <b>7</b>  |
| 2.1. Термини ( <i>ISO 14040:2008</i> )            | 8         |
| 2.2. Метода оцене животног циклуса ( <i>LCA</i> ) | 9         |
| 2.3. <i>TOPSIS</i> метода                         | 13        |
| <b>3. Поставка проблема</b>                       | <b>14</b> |
| <b>4. Предложени алгоритам</b>                    | <b>16</b> |
| <b>5. Илустративни пример</b>                     | <b>18</b> |
| <b>6. Дискусија и закључци</b>                    | <b>34</b> |
| <b>Литература</b>                                 | <b>35</b> |

## 1. Увод

Последњих деценија, проблем заштите животне средине представља интересно поље истраживања у различитим доменима: економском, енергетском, индустријском и др. Заштита животне средине представља један од главних задатака људског друштва, па су људи све више укључени у решавању овог проблема. Загађење животне средине значи уништење не само дела природних вредности и ресурса, већ и уништење дела будућности наредних генерација.

У процесу производње разноликих производа настају различите врсте отпада које имају веома лош утицај на животну средину. Свака компонента и процес који учествују у производњи неког производа утичу на загађивање природе. Такође, да би се неки производ направио потребно је да се искористе некакви природни ресурси, од којих су поједини веома тешко обновљиви. Стога је тежња да се смањи потрошња природних ресурса.

Предмет овог рада јесте испитивање утицаја на животну средину компонената који учествују у фази процеса производње. Ова фаза животног циклуса има веома значајну улогу у настанку производа, јер се њеном реализацијом добија производ који је претходно замишљен и пројектован. У обзир се мора узети да је ова фаза најзахтевнија за реализацију у животном циклусу неког производа, како са аспекта потребе сировина, репроматеријала и производне опреме, тако и са аспекта људских ресурса. Стога се може закључити да процес производње значајно утиче у нарушавању животне средине, тако да би било од великог значаја пронаћи начин за смањење тог штетног утицаја.

Сваки производ има свој животно циклус, који се састоји од следећих фаза:

1. фаза пројектовања
2. фаза израде прототипа
3. **фаза производње**
4. фаза експлоатације
5. фаза рециклаже или депоновања

Да би проблем могао системски да се решава, потребно је ову фазу, односно процес производње, посматрати као један цео процес. Тај процес је потребно декомпоновати на

простије потпроцесе, а по потреби то декомпоновање може да се врши све до најпростијих активности потпроцеса најнижег нивоа.

У овом раду разматра се процес производње уређаја за рециклажу, па се декомпоновање процеса производње на потпроцесе може извршити на следећи начин:

- набавка репроматеријала за производњу пројектованог уређаја за рециклажу
- припрема производње
- реализација процеса производње
- процеси одржавања производне опреме
- процес контроле

Циљ овог рада јесте одредити колико свака врста отпада која настаје у процесу производње, укључујући све његове потпроцесе, има утицај на животну средину.

Да би се одредио ниво штетног утицаја појединих елемената који учествују у процесу производње, као и утицај производа, на животну средину, кроз свој цели животни циклус, користе се многе методе. Најшире коришћена је *LCA (Life Cycle Assessment)* метода – метода оцењивања животног циклуса, која је коришћена у овом раду. За квантитативно одређивање штетног утицаја улазних и излазних величина, које настају у процесу производње, на животну средину, коришћена је *TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)* (Hwang and Yoon, 1981) метода.

Рад је организован на следећи начин: Преглед литературе је приказан у Одељку 2. Поставка проблема је дата у трећем одељку. Развијен алгоритам модификоване *TOPSIS* методе је приказан у Одељку 4. Развијена метода је илустрована примером у којем егзистирају подаци добијени из реалних производних услова и приказана је у петом одељку. Дискусија и закључци су приказани у Одељку 6.

## 2. Преглед литературе

У овом одељку дата је кратка ретроспектива метода које се користе за решавање разматраног проблема.

У литератури нема пуно радова у којима се проблем утицаја неке врсте отпада на елементе животне средине решава комбинацијом *LCA* оцене животног циклуса и *TOPSIS* методе. Међутим, постоје многи радови у којима се појединачно користе ове методе, или у комбинацији са неким другим методама вишекритеријумске оптимизације.

У (Агарски, 2014) је примењена *LCA* метода за оцену животног циклуса. Аутор све променљиве које могу да имају утицај на животну средину, сваког потпроцеса, сврстава у следеће категорије:

- улазе енергије, улазе сировина, помоћне улазе и друге физичке улазе;
- производе, копроизводе и отпад;
- емисије у ваздух, испуштања у воду и тло, и
- друге аспекте животне средине.

У раду (Балановић, 2010) анализиран је животни циклус процеса производње и рециклаже бакра. Отпад који је настао на крају процеса производње груписан је на следећи начин:

- потрошња енергије ( $\frac{MJ}{kg Cu}$ ),
- ефекат глобалног загревања ( $\frac{kg CO_2}{kg Cu}$ ),
- ацидификација ( $\frac{kg SO_2}{kg Cu}$ ).

*TOPSIS* метода се користи за решавање многих проблема. У (Gumus, 2009) разматран је проблем рангирања транспортних фирми које су регистроване за превоз опасног отпада. Рангирање банака према више критеријума, симултано, извршено је помоћу *TOPSIS* методе у (Seçme et al., 2009). Избор врсте биомасе која се користи као гориво за котлове извршен је применом *TOPSIS* методе (Saelee et al., 2014). Критеријуми

за оцену разматраних врста биомасе су дефинисани на основу карактеристика горива, као што су цена, доступност разматраног горива на Тајланду, калоричност и транспорт.

У поређењу са радовима који могу да се нађу у литератури, модел који је предложен у овом раду има извесне предности. Тежина критеријума према којима се врши оцена алтернатива је задата преко *fuzzy AHP*, која је фазификована, методе (Saaty, 1990). У (Saelee et al., 2014) процена тежине критеријума извршена је на основу процене експерата који користе директан начин процене. У моделу који је развијен у овом раду менаџмент тим врши процене релативне важности сваке врсте отпада на сваки елемент животне средине. Сматра се да агрегација процена чланова менаџмент тима у групни консензус се добија применом оператора *OWA (Ordered Weighted Aggregation)* (Yager, 1996). Нормализација вредности алтернативе може да се изврши применом различитих метода које су приказане у (Pomerol and Barba-Romeo, 2000). Векторска нормализација је примењена у (Gumus, 2009; Seçme et al., 2009). У предложеном раду користи се линеарна нормализација као што је дефинисано у конвенционалној *TOPSIS* и (Saelee et al., 2014).

## 2.1. Термини (ISO 14040:2008)

**Животни циклус:** узастопне и међусобно повезане фазе система производа, од набавке сировина или добијања из природних сировина до коначног одлагања.

**Оцењивање животног циклуса (LCA):** прикупљање и вредновање података о улазима, излазима и могућим утицајима система производа на животну средину током његовог целокупног животног циклуса.

**Интерпретација животног циклуса:** фаза оцењивања животног циклуса у којој се налазе анализе инвентара или оцењивања утицаја, или оба, и вреднују се у складу са утврђеним циљем и предметом, ради доношења закључака и препорука.

**Процес:** скуп међусобно повезаних или међусобно делујућих активности који претвара улазне елементе у излазне. (ISO 9000:2005, дефиниција 3.4.1).

**Основни ток:** материјал или енергија која улази у систем који се посматра и који потичу из животне средине без претходне прераде од стране човека, или материјал или

енергија који излазе из система који се посматра и који се одстрањују у животну средину без накнадне прераде човека.

**Отпад:** супстанце или објекти које онај који их поседује намерава да одложи или се од њега очекује да их одложи.

**Механизам заштите животне средине:** систем физичких, хемијских и биолошких процеса за одређену категорију утицаја, који повезује резултате анализе инвентара животног циклуса са индикаторима категорије и завршецима категорије.

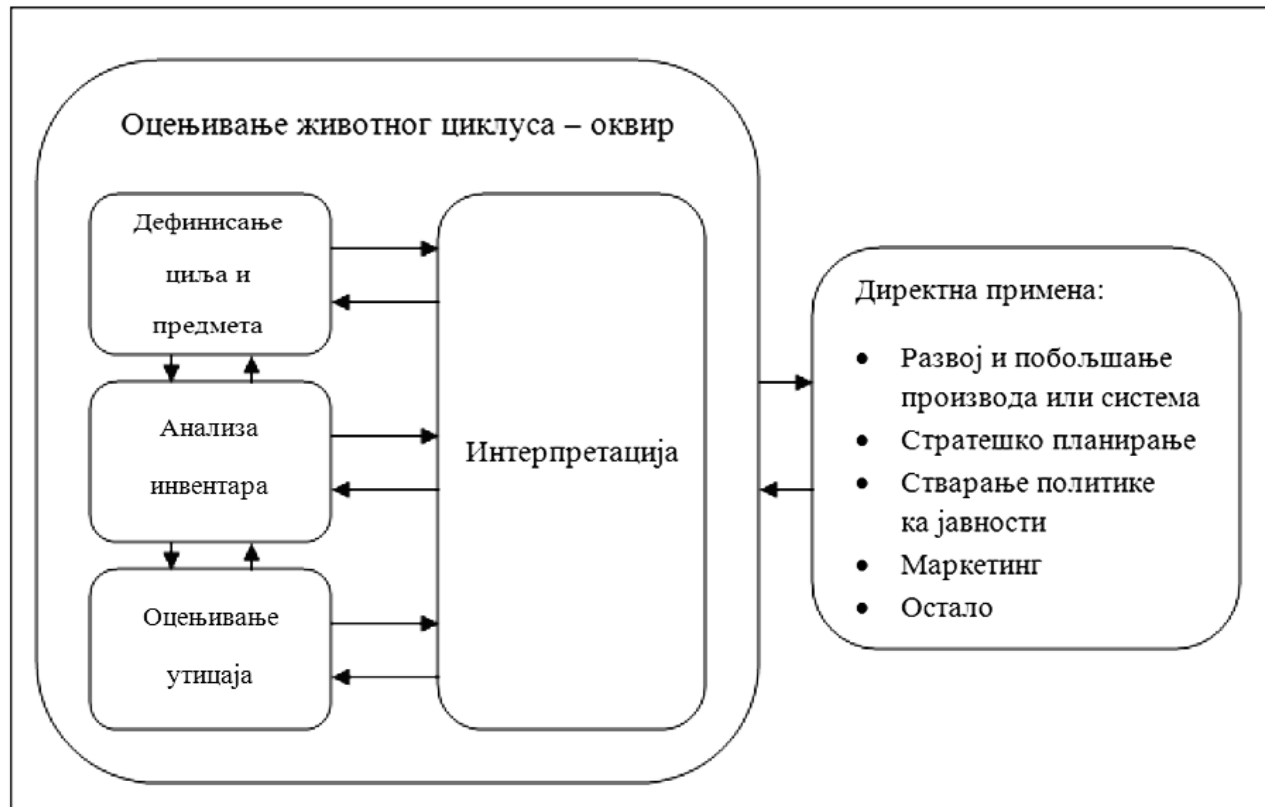
## 2.2. Метода оцене животног циклуса (LCA)

Оцењивање животног циклуса врши се уз помоћ *LCA* методе (*Life Cycle Assessment*). Ова метода се може дефинисати као: Прикупљање и вредновање података о улазима, излазима и могућим утицајима система производа на животну средину током његовог целокупног животног циклуса. – *SRPS ISO 14040:2008*

Концепт праћења производа током целокупног животног циклуса није новијег датума, али заинтересованост за *LCA* анализу у значајнијем обиму се јавља тек крајем деведесетих година XX века, и то тек након стандардизације овог поступка. Данас *LCA* метод, који је регулисан међународним и домаћим стандардом (*ISO 14040:2006*, *SRPS ISO 14040:2008*), представља неопходан алат, како многих приватних компанија, тако и владиних агенција, приликом процене утицаја производа и технолошких процеса на животну средину.

Према стандарду (*ISO 14044:2006*, *SRPS ISO 14044:2009*), поступак спровођења *LCA* методе изводи се у четири фазе (слика 1):

- дефинисање циља и предмета анализе
- анализа инвентара (компонената) животног циклуса
- оцењивање утицаја
- интерпретација



Слика 1. Фазе LCA методе

У оквиру прве фазе врши се дефинисање циља, предмета и подручја примене, у којој се врши избор метода и поступака анализе. Осим тога, врши се и одређивање „дубине” и „ширине” предвиђене анализе, и намеравање употребе резултата постигнутих овим истраживањем.

Фаза анализе инвентара животног циклуса, познатија као *LCI (Life Cycle Inventory)*, односи се на прикупљање улазних и излазних материјалних и енергетских параметара, који учествују у процесу израде, експлоатације и рециклаже или депоновања неког производа. Осим тога прикупљају се подаци о емисији тих параметара у атмосферу, воду и земљиште.

Трећа фаза LCA студије јесте оцена утицаја животног циклуса. Ова фаза је позната под ознаком *LCIA (Life Cycle Impact Assessment)*, и у њој се врши обезбеђивање додатних информација које треба да помогну у оцењивању резултата претходне (*LCI*) фазе. Ова фаза има задатак да обезбеди лакше разумевање утицаја животног циклуса неког производа на животну средину.

Интерпретација (тумачење) животног циклуса представља завршну фазу сваке *LCA* анализе, у којој се резултати претходних фаза сумирају и разматрају, као основа за одговарајуће закључке, препоруке и доношење одлука у складу са дефинисаним циљем и предметом анализе.

### **Прикупљање, обрада и управљање подацима приликом спровођења *LCA* методе:**

**Типови и извори података:** Подаци који се бирају за *LCA* зависе од циља и предмета и подручја примене. Ови подаци се могу прикупљати са места производње која су повезана са јединичним процесима у оквиру граница система, или се могу добити или израчунати из осталих извора. У пракси, сви подаци могу укључивати скуп мерних, израчунатих или процењених података.

**Захтеви за квалитетом података:** Да би се обезбедило испуњење циља и предмета *LCA* морају се навести захтеви за квалитетом података, који требају обухватити следеће кораке:

а) временска покривеност: старост података и минимални временски период за који треба прикупљати податке;

б) географска покривеност: географска област са које треба сакупљати податке за јединичне процесе да би се задовољио циљ студије;

в) технолошка покривеност: специфична технологија или скуп технологија;

г) прецизност: мера променљивости вредности података за сваки изражени податак (нпр. варијанса);

д) потпуност: проценат тока који се мери или процењује;

ђ) репрезентативност: квалитативна оцена степена у ком скуп података одражава стварну популацију од интереса (нпр. географску покривеност, временски период и технолошку покривеност);

е) доследност: квалитативну процену о томе да ли је методологија студије примењена ујединачено на различите компонентне анализе;

ж) репродуктивност: квалитативна процена степена о томе колико информација о методологији и вредностима података дозвољава независном стручњаку да репродукује резултате дате у извештају студије;

з) изворе података;

и) непоузданост информација (нпр. података, модела и претпоставки);

Када се намерава коришћење студије за изјаву о поређењу која се намерава објавити у јавности, подаци за квалитетом података горе наведени од а) до и) морају се обухватити.

**Сакупљање података:** За сваки јединични процес у оквиру границе система се морају сакупити квалитативни и квантитативни подаци за укључење у инвентар (компоненте). Сакупљени подаци се, без обзира да ли су добијени мерењем, израчунавањем или проценом, користе да квантификују улазе и излазе јединичних процеса.

Када су подаци прикупљени из јавних извора, извор се мора навести. За податке који могу бити значајни за закључке студије мора се упутити на детаље о релевантним процесима сакупљања података, времену сакупљања података, и на остале информације о индикаторима квалитета података. Уколико такви подаци не испуњавају захтеве квалитета, то се мора изложити. Да би се смањио ризик од неспоразума (нпр. резултира у дуплом рачунању при валидацији или поновној употреби сакупљених података), мора се водити запис о опису сваког јединичног процеса.

Будући да се сакупљање података може обухватити са неколико локација, са којих се извештава, и објављених референци, треба предузети мере за постизање једнообразног и доследног разумевања производних система који се моделују.

**Израчунавање података:** Сви поступци израчунавања морају бити експлицитно документовани, а претпоставке се морају јасно навести и објаснити. Исти поступак израчунавања треба примењивати доследно кроз целу студију.

**Валидација података:** У току сакупљања података мора се спровести провера валидности података да би се потврдио и обезбедио доказ да су испуњени захтеви за квалитетом података с обзиром на намеравану употребу.

Валидација може укључити утврђивање, на пример, равнотеже масе, равнотеже енергије и/или упоредну анализу фактора испуштања. Како се сваки јединични процес повинује закону одржања масе и енергије, масена и енергетска равнотежа обезбеђују корисну проверу валидности описа јединичног процеса. Очигледне аномалије у подацима које проистичу из оваквог поступка валидације захтевају алтернативне податке који су у сагласности са избором података како је установљено стандардом (SRPS ISO 14044:2008).

### 2.3. TOPSIS метода

*TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)* методу су развили *Hwang* и *Yoon* 1981. године. Помоћу ове методе, за сваки разматрани критеријум  $k$ , где је  $k=1, \dots, K$ , одређује се идеална и најмање идеална вредност критеријума.

Ова метода рангира алтернативе према њиховој удаљености од позитивног и негативног идеалног решења. Најбољом алтернативом се може сматрати она која има најмање растојање у односу на позитивно идеално решење, а највеће у односу на негативно идеално решење.

Појава да једна од алтернатива у исто време може бити ближа и позитивном и негативном идеалном решењу у односу на неку другу условљена је тиме што ова метода може узимати у обзир више критеријума за рангирање алтернатива, као и то да сваки критеријум нема исту тежину, односно важност. Ова појава се може означити као главна предност *TOPSIS* методе у односу на неке друге методе вишекритеријумске оптимизације.

### 3. Поставка проблема

Процес производње је сложен и може да се декомпонује на многе потпроцесе. За сваки потпроцес се идентификују улази и отпад који се јавља на излазу сваког потпроцеса. Листа врсте отпада који представљају излаз из сваког потпроцеса тог процеса је дефинисана. Свака од ове врсте отпада утиче на животну средину (вода, ваздух и тло). Циљ овог рада јесте да се одреди која врста отпада има највећи утицај на животну средину.

Врсте отпада формално могу да се представе скупом  $I = \{1, \dots, i, \dots, I\}$ , где је  $i$  индекс за разматрану врсту отпада, а  $I$  је укупан број разматраних врста отпада. Свака врста отпада  $i$ ,  $i = 1, \dots, I$  има различит релативан утицај на сваки елемент животне средине  $j$ ,  $j = 1, \dots, J$ . Индекс елемента животне средине је означен као  $j$ , а  $J$  је укупан број елемената животне средине.

Менаџмент тим (менаџер за квалитет, менаџер за заштиту животне средине, менаџер производње) процењује релативну важност врсте отпада  $i$ ,  $i = 1, \dots, I$  на елементе животне средине  $j$ ,  $j = 1, \dots, J$ .

У овом раду, разматрани проблем се поставља као проблем групног одлучивања. Агрегација процена чланова менаџмент тима у групни консензус добија се применом различитих оператора као на пример средња вредност, *Delphi* метода, *OWA* (Yager, 1996) оператор. Претпостављено је да чланови менаџмент тима немају исту важност за одређивање утицаја отпада, који настаје у процесу производње, на животну средину. Респектујући ову претпоставку, у овом раду, агрегација индивидуалних процена чланова менаџмент тима у групни консензус добијена је применом оператора *OWA* (Yager, 1996). Нека је важност менаџера за квалитет 0,27, за заштиту животне средине 0,48, и менаџера производње 0,25.

У литератури може да се нађе велики број радова у којима се користе различите скале мера. Најчешће је коришћена Сатијева (Saaty, 1990) скала мера. Врло често се користе скала мера [0-1] и школска скала мера [1-5]. У овом раду је уведена претпоставка да се користи школска скала мера, зато што се разматрају само три елемента животне средине.

Вредност утицаја сваке врсте отпада  $i$ ,  $i = 1, \dots, I$  на сваки елемент животне средине  $j$ ,  $j = 1, \dots, J$ , у општем случају може да се добије на два начина. Први начин је мерењем, а други је проценом. У разматраном проблему је готово немогуће да се вредност утицаја сваке врсте отпада  $i$ ,  $i = 1, \dots, I$  на сваки елемент животне средине  $j$ ,  $j = 1, \dots, J$  одреди мерењем. Због природе проблема, уведена је претпоставка да се вредност сваке врсте

отпада  $i$ ,  $i = 1, \dots, I$  на сваки елемент животне средине  $j$ ,  $j = 1, \dots, J$  одређује на основу процена чланова менаџмент тима, који одлуку доносе консензусом. Чланови менаџмент тима у овом проблему своје процене заснивају на искуствима, подацима из литературе и резултатима добре праксе. Процена менаџмент тима је заснована на Сатијевој (Saaty, 1990) скали мера [1-9], где вредност 1, односно вредност 9, означава да има веома малу вредност, односно екстремну вредност.

Вредност сваког елемента матрице одлучивања рачуна се као производ релативне важности врсте отпада  $i$ ,  $i = 1, \dots, I$  на елементе животне средине  $j$ ,  $j = 1, \dots, J$ , и њихове процењене вредности. Рангирање врста отпада респектујући све елементе животне средине извршено је применом *TOPSIS* методе (Hwang and Yoon, 1981). Поступком нормализације све вредности елемената матрице одлучивања пресликавају се у скуп реалних бројева [0-1] и упоредиве су. У литератури постоје многи развијени типови нормализације (Pomerol and Barba-Romeo, 2000). У овом раду коришћен је метод линеарне нормализације.

## 4. Предложени алгоритам

Рангирање утицаја сваке идентификоване врсте отпада на животну средину добијено је применом модификоване *TOPSIS* методе, која може да се редукује кроз следеће кораке:

Корак 1: Одређују се процене релативне важности сваког члана менаџмент тима,  $W_{i,j}^e$ .

Корак 2: Одређује се агрегирана релативна важност процена чланова менаџмент тима,  $W_{i,j}$ , применом *OWA* оператора (*Yager, 1996*).

$$W_{i,j} = \sum_{e=1}^E W_e \cdot W_{i,j}^e$$

где је  $W_e$  важност члана менаџмент тима,  $e, e = 1, \dots, E$ .

Корак 3: Процењује се вредност утицаја сваке врсте отпада  $i, i = 1, \dots, I$  на сваки елемент животне средине  $j, j = 1, \dots, J, V_{i,j}$ .

Корак 4: Конструира се матрица одлучивања  $D$ ,

$$D = [d_{ij}]_{I \times J}$$

где је  $d_{i,j} = W_{i,j} \cdot V_{i,j}$ .

$d_{i,j}$  је отежана вредност  $i, i = 1, \dots, I$  на сваки елемент животне средине  $j, j = 1, \dots, J$ .

Корак 5: Нормализују се вредности елемената матрице одлучивања, применом методе линеарне нормализације,  $r_{i,j}$ .

$$r_{i,j} = \frac{d_{i,j}}{\sum_{i=1}^I d_{i,j}}$$

Корак 6: Одређују се позитивно идеално решење и негативно идеално решење утицаја сваке врсте отпада  $i, i = 1, \dots, I$  на сваки елемент животне средине  $j, j = 1, \dots, J$ .

$$r_j^+ = \max_{i=1, \dots, I} r_{i,j}$$

$$r_j^- = \min_{i=1, \dots, I} r_{i,j}$$

Корак 7: Одређују се дистанце од  $r_j^+$  и  $r_j^-$ .

$$n_i^+ = \sum_{j=1}^J |r_j^+ - r_{i,j}|$$
$$n_i^- = \sum_{j=1}^J |r_j^- - r_{i,j}|$$

Корак 8: Израчунава се коефицијент приближности алтернатива идеалном решењу,  $C_i$ .

$$C_i = \frac{n_i^-}{n_i^+ + n_i^-}$$

Корак 9: Рангирају се врсте отпада према нето току преференције. На првом месту у рангу се налази она врста отпада која има највећи утицај на животну средину. Важи и обрнуто.

## 5. Илустративни пример

У овом одељку развијена метода је илустрована примером у којем егзистирају подаци добијени из реалних производних услова. На основу искустава, података из литературе и резултата добре праксе, чланови менаџмент тима (менаџер за квалитет, менаџер за заштиту животне средине и менаџер производње) износе своје процене вредности утицаја сваке врсте отпада  $i$ ,  $i = 1, \dots, I$  на сваки елемент животне средине  $j$ ,  $j = 1, \dots, J$ . Менаџмент тим је идентификовао 13 врста отпада.

**Табела 1.** *Процена вредности утицаја сваке врсте отпада на сваки елемент животне средине (тло, ваздух и вода)*

|                                                                                             | Врсте отпада                             | Тло |   |   | Ваздух |   |   | Вода |   |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----|---|---|--------|---|---|------|---|---|
|                                                                                             |                                          | К   | Ж | П | К      | Ж | П | К    | Ж | П |
| 1.                                                                                          | Гориво (бензин)                          | 3   | 2 | 1 | 4      | 3 | 1 | 2    | 1 | 1 |
| 2.                                                                                          | Дизел                                    | 4   | 4 | 2 | 6      | 5 | 3 | 3    | 3 | 1 |
| 3.                                                                                          | Органски отпад                           | 2   | 2 | 1 | 3      | 1 | 1 | 1    | 1 | 1 |
| 4.                                                                                          | Синтетички отпад                         | 3   | 4 | 4 | 4      | 4 | 3 | 2    | 3 | 3 |
| 5.                                                                                          | Полисинтетички отпад                     | 2   | 3 | 2 | 1      | 2 | 1 | 1    | 1 | 1 |
| 6.                                                                                          | Метални отпад                            | 2   | 3 | 4 | 1      | 1 | 3 | 2    | 4 | 5 |
| 7.                                                                                          | Пластични отпад                          | 3   | 4 | 4 | 2      | 3 | 3 | 1    | 1 | 2 |
| 8.                                                                                          | Гумени отпад                             | 4   | 5 | 3 | 1      | 2 | 1 | 3    | 4 | 3 |
| 9.                                                                                          | Средства за чишћење<br>(ацетон, крпе...) | 3   | 2 | 2 | 5      | 4 | 4 | 4    | 3 | 3 |
| 10.                                                                                         | Резервни делови од метала                | 5   | 4 | 6 | 3      | 2 | 2 | 3    | 2 | 2 |
| 11.                                                                                         | Резервни делови од гуме                  | 4   | 5 | 5 | 2      | 3 | 3 | 1    | 2 | 2 |
| 12.                                                                                         | Резервни делови од пластике              | 5   | 6 | 6 | 1      | 2 | 2 | 3    | 4 | 4 |
| 13.                                                                                         | Бука и вибрације                         | 3   | 1 | 2 | 2      | 1 | 1 | 5    | 4 | 3 |
| К – Менаџер за квалитет<br>Ж – Менаџер за заштиту животне средине<br>П – Менаџер производње |                                          |     |   |   |        |   |   |      |   |   |

Применом развијеног алгоритма (Корак 1 до Корак 2) агрегиране вредности процена доносилаца одлука су израчунате. Добијене вредности приказане су у Табели 2.

Вредност сваке врсте отпада зависи од процењене количине. На основу података из литературе може да се претпостави да је вредност металног отпада 0,8, пластичног отпада 0,06, гума 0,04, и остало = 0,1 (Корак 3 развијеног алгоритма).

Применом процедуре која је приказана у кораку 4 развијеног алгоритма добијају се отежане вредности сваке идентификоване врсте отпада. Матрица одлучивања је приказана у Табели 2.

**Табела 2. Матрица одлучивања**

|     | Врсте отпада                             | Тло    | Ваздух | Вода   |
|-----|------------------------------------------|--------|--------|--------|
| 1.  | Гориво (бензин)                          | 0.202  | 0,277  | 0,127  |
| 2.  | Дизел                                    | 0,35   | 0,477  | 0,25   |
| 3.  | Органски отпад                           | 0,175  | 0,154  | 0,1    |
| 4.  | Синтетички отпад                         | 0,373  | 0,375  | 0,273  |
| 5.  | Полисинтетички отпад                     | 0,248  | 0,148  | 0,1    |
| 6.  | Метални отпад                            | 2,384  | 1,2    | 2,968  |
| 7.  | Пластични отпад                          | 0,2238 | 0,1638 | 0,075  |
| 8.  | Гумени отпад                             | 0,1692 | 0,0592 | 0,1392 |
| 9.  | Средства за чишћење<br>(ацетон, крпе...) | 0,227  | 0,427  | 0,327  |
| 10. | Резервни делови од метала                | 3,816  | 1,816  | 1,816  |
| 11. | Резервни делови од гуме                  | 0,1892 | 0,1092 | 0,0692 |
| 12. | Резервни делови од<br>пластике           | 0,3438 | 0,1038 | 0,2238 |
| 13. | Бука и вибрације                         | 0,179  | 0,127  | 0,402  |

Поступак израчунавања чланова матрице одлучивања:

$$d_{1,1} = (3 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,202$$

$$d_{8,1} = (4 \cdot 0,27 + 5 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,04 = 0,1692$$

$$d_{2,1} = (4 \cdot 0,27 + 4 \cdot 0,48 + 2 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,35$$

$$d_{9,1} = (3 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,48 + 2 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,227$$

$$d_{3,1} = (2 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,175$$

$$d_{10,1} = (5 \cdot 0,27 + 4 \cdot 0,48 + 6 \cdot 0,25) \cdot 0,8 \\ = 3,816$$

$$d_{4,1} = (3 \cdot 0,27 + 4 \cdot 0,48 + 4 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,373$$

$$d_{11,1} = (4 \cdot 0,27 + 5 \cdot 0,48 + 5 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,04 = 0,1892$$

$$d_{5,1} = (2 \cdot 0,27 + 3 \cdot 0,48 + 2 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,248$$

$$d_{12,1} = (5 \cdot 0,27 + 6 \cdot 0,48 + 6 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,06 = 0,3438$$

$$d_{6,1} = (2 \cdot 0,27 + 3 \cdot 0,48 + 4 \cdot 0,25) \cdot 0,8 \\ = 2,384$$

$$d_{13,1} = (3 \cdot 0,27 + 1 \cdot 0,48 + 2 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,179$$

$$d_{7,1} = (3 \cdot 0,27 + 4 \cdot 0,48 + 4 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,06 = 0,2238$$

$$d_{1,2} = (4 \cdot 0,27 + 3 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,277$$

$$d_{5,2} = (1 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,148$$

$$d_{2,2} = (6 \cdot 0,27 + 5 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,477$$

$$d_{6,2} = (1 \cdot 0,27 + 1 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,25) \cdot 0,8 \\ = 1,2$$

$$d_{3,2} = (3 \cdot 0,27 + 1 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,154$$

$$d_{7,2} = (2 \cdot 0,27 + 3 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,06 = 0,1638$$

$$d_{4,2} = (4 \cdot 0,27 + 4 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,375$$

$$d_{8,2} = (1 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,04 = 0,0592$$

$$d_{9,2} = (5 \cdot 0,27 + 4 \cdot 0,48 + 4 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,427$$

$$d_{12,2} = (1 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,48 + 2 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,06 = 0,1038$$

$$d_{10,2} = (3 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,48 + 2 \cdot 0,25) \cdot 0,8 \\ = 1,816$$

$$d_{13,2} = (2 \cdot 0,27 + 1 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,127$$

$$d_{11,2} = (2 \cdot 0,27 + 3 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,04 = 0,1092$$

$$d_{1,3} = (2 \cdot 0,27 + 1 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,127$$

$$d_{8,3} = (3 \cdot 0,27 + 4 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,04 = 0,1392$$

$$d_{2,3} = (3 \cdot 0,27 + 3 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,25$$

$$d_{9,3} = (4 \cdot 0,27 + 3 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,372$$

$$d_{3,3} = (1 \cdot 0,27 + 1 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,1$$

$$d_{10,3} = (3 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,48 + 2 \cdot 0,25) \cdot 0,8 \\ = 1,816$$

$$d_{4,3} = (2 \cdot 0,27 + 3 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,273$$

$$d_{11,3} = (1 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,48 + 2 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,04 = 0,0692$$

$$d_{5,3} = (1 \cdot 0,27 + 1 \cdot 0,48 + 1 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,1$$

$$d_{12,3} = (3 \cdot 0,27 + 4 \cdot 0,48 + 4 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,06 = 0,2238$$

$$d_{6,3} = (2 \cdot 0,27 + 4 \cdot 0,48 + 5 \cdot 0,25) \cdot 0,8 \\ = 2,968$$

$$d_{13,3} = (5 \cdot 0,27 + 4 \cdot 0,48 + 3 \cdot 0,25) \cdot 0,1 \\ = 0,402$$

$$d_{7,3} = (1 \cdot 0,27 + 1 \cdot 0,48 + 2 \cdot 0,25) \\ \cdot 0,06 = 0,075$$

Применом линеарне нормализације (Корак 5 развијеног алгоритма) добијају се нормализоване вредности матрице одлучивања (видети Табелу 3).

Табела 3. Нормализована матрица одлучивања

|     | Врсте отпада                             | Тло    | Ваздух | Вода   |
|-----|------------------------------------------|--------|--------|--------|
| 1.  | Гориво (бензин)                          | 0,0288 | 0,0509 | 0,0184 |
| 2.  | Дизел                                    | 0,0394 | 0,0877 | 0,0363 |
| 3.  | Органски отпад                           | 0,0198 | 0,0283 | 0,0146 |
| 4.  | Синтетички отпад                         | 0,0421 | 0,0689 | 0,04   |
| 5.  | Полисинтетички отпад                     | 0,0279 | 0,0272 | 0,0146 |
| 6.  | Метални отпад                            | 0,2685 | 0,2207 | 0,432  |
| 7.  | Пластични отпад                          | 0,0253 | 0,0301 | 0,0109 |
| 8.  | Гумени отпад                             | 0,0109 | 0,0109 | 0,0203 |
| 9.  | Средства за чишћење<br>(ацетон, крпе...) | 0,0256 | 0,0785 | 0,0476 |
| 10. | Резервни делови од метала                | 0,4297 | 0,3341 | 0,2643 |
| 11. | Резервни делови од гуме                  | 0,0214 | 0,0201 | 0,01   |
| 12. | Резервни делови од пластике              | 0,0387 | 0,0191 | 0,0327 |
| 13. | Бука и вибрације                         | 0,0202 | 0,0233 | 0,0584 |

Поступак израчунавања чланова нормализоване матрице одлучивања:

$$r_{1,1} = \frac{0,202}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{1,1} = \frac{0,202}{8,88} = 0,0228$$

$$r_{2,1} = \frac{0,35}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{2,1} = \frac{0,35}{8,88} = 0,0394$$

$$r_{3,1} = \frac{0,175}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{3,1} = \frac{0,175}{8,88} = 0,0198$$

$$r_{4,1} = \frac{0,373}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{4,1} = \frac{0,373}{8,88} = 0,0421$$

$$r_{5,1} = \frac{0,248}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{5,1} = \frac{0,248}{8,88} = 0,0279$$

$$r_{6,1} = \frac{0,384}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{6,1} = \frac{2,384}{8,88} = 0,2685$$

$$r_{7,1} = \frac{0,2238}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{7,1} = \frac{0,2238}{8,88} = 0,0253$$

$$r_{8,1} = \frac{0,1692}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{8,1} = \frac{0,1692}{8,88} = 0,0109$$

$$r_{9,1} = \frac{0,227}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{9,1} = \frac{0,227}{8,88} = 0,0256$$

$$r_{10,1} = \frac{3,816}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{10,1} = \frac{3,816}{8,88} = 0,4297$$

$$r_{11,1} = \frac{0,1892}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{11,1} = \frac{0,1892}{8,88} = 0,0214$$

$$r_{12,1} = \frac{0,3438}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{12,1} = \frac{0,3438}{8,88} = 0,0387$$

$$r_{13,1} = \frac{0,179}{0,202+0,35+0,175+0,373+0,248+2,384+0,2238+0,1692+0,227+3,816+0,1892+0,3438+0,179}$$

$$r_{13,1} = \frac{0,179}{8,88} = 0,0202$$

$$r_{1,2} = \frac{0,277}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{1,2} = \frac{0,277}{5,437} = 0,0509$$

$$r_{2,2} = \frac{0,477}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{2,2} = \frac{0,477}{5,437} = 0,0877$$

$$r_{3,2} = \frac{0,154}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{3,2} = \frac{0,154}{5,437} = 0,0283$$

$$r_{4,2} = \frac{0,375}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{4,2} = \frac{0,375}{5,437} = 0,0689$$

$$r_{5,2} = \frac{0,148}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{5,2} = \frac{0,148}{5,437} = 0,0272$$

$$r_{6,2} = \frac{1,2}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{6,2} = \frac{1,2}{5,437} = 0,2207$$

$$r_{7,2} = \frac{0,1638}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{7,2} = \frac{0,1638}{5,437} = 0,0301$$

$$r_{8,2} = \frac{0,0592}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{8,2} = \frac{0,0592}{5,437} = 0,0109$$

$$r_{9,2} = \frac{0,427}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{9,2} = \frac{0,427}{5,437} = 0,0785$$

$$r_{10,2} = \frac{1,816}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{10,2} = \frac{1,816}{5,437} = 0,3341$$

$$r_{11,2} = \frac{0,1092}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{11,2} = \frac{0,1092}{5,437} = 0,0201$$

$$r_{12,2} = \frac{0,1038}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{12,2} = \frac{0,1038}{5,437} = 0,0191$$

$$r_{13,2} = \frac{0,127}{0,277+0,477+0,154+0,375+0,148+1,2+0,1638+0,0592+0,427+1,816+0,1092+0,1038+0,127}$$

$$r_{13,2} = \frac{0,127}{5,437} = 0,0233$$

$$r_{1,3} = \frac{0,127}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{1,3} = \frac{0,127}{6,8702} = 0,0184$$

$$r_{2,3} = \frac{0,25}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{2,3} = \frac{0,25}{6,8702} = 0,0363$$

$$r_{3,3} = \frac{0,1}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{3,3} = \frac{0,1}{6,8702} = 0,0146$$

$$r_{4,3} = \frac{0,273}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{4,3} = \frac{0,273}{6,8702} = 0,04$$

$$r_{5,3} = \frac{0,1}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{5,3} = \frac{0,1}{6,8702} = 0,0146$$

$$r_{6,3} = \frac{2,968}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{6,3} = \frac{2,968}{6,8702} = 0,432$$

$$r_{7,3} = \frac{0,075}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{7,3} = \frac{0,075}{6,8702} = 0,0109$$

$$r_{8,3} = \frac{0,1392}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{8,3} = \frac{0,1392}{6,8702} = 0,0203$$

$$r_{9,3} = \frac{0,327}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{9,3} = \frac{0,327}{6,8702} = 0,0476$$

$$r_{10,3} = \frac{1,816}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{10,3} = \frac{1,816}{6,8702} = 0,2643$$

$$r_{11,3} = \frac{0,0692}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{11,3} = \frac{0,0692}{6,8702} = 0,01$$

$$r_{12,3} = \frac{0,2238}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{12,3} = \frac{0,2238}{6,8702} = 0,0327$$

$$r_{13,3} = \frac{0,402}{0,127+0,25+0,1+0,273+0,1+2,968+0,075+0,1392+0,327+1,816+0,0692+0,2238+0,402}$$

$$r_{13,3} = \frac{0,402}{6,8702} = 0,0584$$

У шестом кораку развијеног алгоритма позитивно идеално решење и негативно идеално решење утицаја сваке врсте отпада  $i$ ,  $i = 1, \dots, I$  на сваки елемент животне средине  $j$ ,  $j = 1, \dots, J$  је одређено:

$$r_j^+ = \max_{i=1, \dots, I} r_{i,j}$$

$$r_j^- = \min_{i=1, \dots, I} r_{i,j}$$

За глo:

$$r_1^+ = 0,4297$$

$$r_1^- = 0,019$$

За ваздух:

$$r_2^+ = 0,3341$$

$$r_2^- = 0,0109$$

За воду:

$$r_3^+ = 0,432$$

$$r_3^- = 0,01$$

У кораку 7 развијеног алгоритма дистанце од  $r_j^+$  и  $r_j^-$  су одређене. Поступак одређивања дистанци сваке врсте отпада од  $r_j^+$  и  $r_j^-$ :

- Гориво (бензин):

$$n_1^+ = |0,0228 - 0,4297| + |0,0509 - 0,3341| + |0,0184 - 0,432| = 1,1037$$

$$n_1^- = |0,0228 - 0,0190| + |0,0509 - 0,0190| + |0,0184 - 0,01| = 0,0522$$

- Дизел:

$$n_2^+ = |0,0394 - 0,4297| + |0,0877 - 0,3341| + |0,0363 - 0,432| = 1,0324$$

$$n_2^- = |0,0394 - 0,0190| + |0,0877 - 0,0190| + |0,0363 - 0,01| = 0,1235$$

- Органски отпад:

$$n_3^+ = |0,0198 - 0,4297| + |0,0283 - 0,3341| + |0,0146 - 0,432| = 1,1331$$

$$n_3^- = |0,0198 - 0,0190| + |0,0283 - 0,0190| + |0,0146 - 0,01| = 0,0228$$

- Синтетички отпад:

$$n_4^+ = |0,0421 - 0,4297| + |0,0689 - 0,3341| + |0,04 - 0,432| = 1,0448$$

$$n_4^- = |0,0421 - 0,0190| + |0,0689 - 0,0190| + |0,04 - 0,01| = 0,1111$$

- Полисинтетички отпад:

$$n_5^+ = |0,0279 - 0,4297| + |0,0272 - 0,3341| + |0,0146 - 0,432| = 1,1261$$

$$n_5^- = |0,0279 - 0,0190| + |0,0272 - 0,0190| + |0,0146 - 0,01| = 0,0298$$

- Метални отпад:

$$n_6^+ = |0,2685 - 0,4297| + |0,2207 - 0,3341| + |0,432 - 0,432| = 0,2746$$

$$n_6^- = |0,2685 - 0,0190| + |0,2207 - 0,0190| + |0,432 - 0,01| = 0,8813$$

- Пластични отпад:

$$n_7^+ = |0,0253 - 0,4297| + |0,0301 - 0,3341| + |0,0109 - 0,432| = 1,1295$$

$$n_7^- = |0,0253 - 0,0190| + |0,0301 - 0,0190| + |0,0109 - 0,01| = 0,0264$$

- Гумени отпад:

$$n_8^+ = |0,0109 - 0,4297| + |0,0109 - 0,3341| + |0,0203 - 0,432| = 1,4456$$

$$n_8^- = |0,0109 - 0,0190| + |0,0109 - 0,0190| + |0,0203 - 0,01| = 0,0103$$

- Средства за чишћење (ацетон, крпе...):

$$n_9^+ = |0,0256 - 0,4297| + |0,0785 - 0,3341| + |0,0476 - 0,432| = 1,0441$$

$$n_9^- = |0,0256 - 0,0190| + |0,0785 - 0,0190| + |0,0476 - 0,01| = 0,1118$$

- Резервни делови од метала:

$$n_{10}^+ = |0,4297 - 0,4297| + |0,3341 - 0,3341| + |0,2643 - 0,432| = 1,1677$$

$$n_{10}^- = |0,4297 - 0,0190| + |0,3341 - 0,0190| + |0,2643 - 0,01| = 0,9882$$

- Резервни делови од гуме:

$$n_{11}^+ = |0,0214 - 0,4297| + |0,0201 - 0,3341| + |0,01 - 0,432| = 1,1443$$

$$n_{11}^{-} = |0,0214 - 0,0190| + |0,0201 - 0,0190| + |0,01 - 0,01| = 0,0116$$

- Резервни делови од пластике:

$$n_{12}^{+} = |0,0387 - 0,4297| + |0,0191 - 0,3341| + |0,0327 - 0,432| = 1,1053$$

$$n_{12}^{-} = |0,0387 - 0,0190| + |0,0191 - 0,0190| + |0,0327 - 0,01| = 0,0506$$

- Бука и вибрације:

$$n_{13}^{+} = |0,0202 - 0,4297| + |0,0233 - 0,3341| + |0,0584 - 0,432| = 1,0939$$

$$n_{13}^{-} = |0,0202 - 0,0190| + |0,0233 - 0,0190| + |0,0584 - 0,01| = 0,062$$

Коефицијент приближности алтернатива идеалном решењу  $C_i$  рачуна се у кораку 8 развијеног алгоритма. Надаље је приказан поступак одређивања коефицијента приближења за сваку врсту отпада:

- Гориво (бензин):

$$C_1 = \frac{0,0522}{0,0522 + 1,1037} = 0,0452$$

- Дизел:

$$C_2 = \frac{0,1235}{0,1235 + 1,0324} = 0,1068$$

- Органски отпад:

$$C_3 = \frac{0,0228}{0,0228 + 1,1331} = 0,0197$$

- Синтетички отпад:

$$C_4 = \frac{0,1111}{0,1111 + 1,0448} = 0,0961$$

- Полисинтетички отпад:

$$C_5 = \frac{0,0298}{0,0298 + 1,1261} = 0,0258$$

- Метални отпад:

$$C_6 = \frac{0,8813}{0,8813 + 0,2746} = 0,2376$$

- Пластични отпад:

$$C_7 = \frac{0,0264}{0,0264 + 1,1295} = 0,0228$$

- Гумени отпад:

$$C_8 = \frac{0,0103}{0,0103 + 1,4456} = 0,0071$$

- Средства за чишћење (ацетон, крпе...):

$$C_9 = \frac{0,1118}{0,1118 + 1,0441} = 0,0967$$

- Резервни делови од метала:

$$C_{10} = \frac{0,9882}{0,9882 + 0,1677} = 0,8549$$

- Резервни делови од гуме:

$$C_{11} = \frac{0,0116}{0,0116 + 1,1443} = 0,01$$

- Резервни делови од пластике:

$$C_{12} = \frac{0,0506}{0,0506 + 1,1053} = 0,0438$$

- Бука и вибрације:

$$C_{13} = \frac{0,062}{0,062 + 1,0939} = 0,0536$$

У кораку 9, ранг идентификованих врста отпада је одређен. Добијени ранг је приказан у Табели 4.

**Табела 4.** Рангирање утицаја сваке врсте отпада на све укупно елементе животне средине (тло, ваздух и вода).

| Ранг | Врста отпада                          | $C_i$  |
|------|---------------------------------------|--------|
| 1.   | Резервни делови од метала             | 0,8549 |
| 2.   | Метални отпад                         | 0,2376 |
| 3.   | Дизел                                 | 0,1068 |
| 4.   | Средства за чишћење (ацетон, крпе...) | 0,0967 |
| 5.   | Синтетички отпад                      | 0,0961 |
| 6.   | Бука и вибрације                      | 0,0536 |
| 7.   | Гориво (бензин)                       | 0,0452 |
| 8.   | Резервни делови од пластике           | 0,0438 |
| 9.   | Полисинтетички отпад                  | 0,0258 |
| 10.  | Пластични отпад                       | 0,0228 |
| 11.  | Органски отпад                        | 0,0197 |
| 12.  | Резервни делови од гуме               | 0,0100 |
| 13.  | Гумени отпад                          | 0,0071 |

## 6. Дискусија и закључци

На основу добијеног резултата може да се јасно уочи да највећи утицај на животну средину, респектујући све елементе животне средине, симултано, имају резервни делови од метала. Утицај свих осталих идентификованих отпада у односу на металне делове је значајно мањи него утицај металних делова. Овај резултат јасно показује да је неопходно да се предузму одговарајуће мере које треба да доведу до смањења утицаја металних делова. Најмањи утицај има гумени отпад.

У раду је показано да на егзактан начин може да се одреди утицај процеса производње уређаја за рециклажу на животну средину. Важност сваког идентификованог производа је процењена од стране доносилаца одлука. Како је процес производње сложен и може да се декомпонује на велики број потпроцеса, реално је уведена претпоставка да чланови менаџмент тима немају исту важност. Унутар ове претпоставке, важност сваког производа на сваки елемент животне средине је постављен као задатак групног одлучивања. Ово може да буде означено као један од главних доприноса рада. Вредност сваког производа је одређена на основу података из евиденције, респектујући количину сваке врсте отпада. Остали кораци *TOPSIS* методе су једнаки као код конвенционалне *TOPSIS* методе.

Осим предности рад има извесна ограничења. Главно ограничење је то што је менаџмент тим идентификовао само 13 врста отпада, као и то што се утицај ових врста отпада разматра за само три елемента животне средине. Такође, ограничење је и то што доносиоци одлуке своје процене исказују прецизним бројевима. Мишљење аутора је да је ближе људском начину размишљања да доносиоци одлуке своје процене исказују лингвистичким исказима. Моделирање лингвистичких исказа може да буде извршено методама меког рачунарства што представља тему будућих истраживања.

## Литература

- [1] Агарски, Б., (2014). *Развој система за интелигентну вишекритеријумску процену оптерећења животне средине код оцењивања животног циклуса производа и процеса*. Факултет техничких наука, Нови Сад.
- [2] Арсовски, С., (2013). *Интегрисани системи менаџмента*. Факултет инжењерских наука, Крагујевац.
- [3] Балановић, Љ., Митовски, А., Живковић, Д., (2010). Анализа животног циклуса процеса производње и рециклаже бакра. *TECHNO-EDUCA 2010. - Иновативношћу и компетенцијама до нових радних мјеста*, Зеница, 2010.
- [4] Banar, M., Cokaygil, Z., Ozkan, A., *Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey*, Waste Management 29 (2009) 54-62
- [5] Gumus, T.A. (2009). Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology, *Expert Systems with Applications*, 36 4067-4074.
- [6] Hwang, C., L., Yoon, K., (1981). *Multiple Attribute Decision making: Methods and Applications*, Springer, Berlin.
- [7] Јовановић, С., Бошковић, Г., Јовичић, Н., Ђорђевић, З., Савић, С., (2014). Multicriteria analysis of optimal solid waste management system-case study of Kragujevac (Serbia), *8<sup>th</sup> International quality conference*, Крагујевац.
- [8] Коматина, Н., Тадић, Д., Арсовски, С., (2015). Evaluation of influence recycling device on environment in production process phase by TOPSIS method, *9<sup>th</sup> International quality conference*, Крагујевац.
- [9] Павловић, М., Арсовски, А., Милованчевић, М., Ђурчић, С., Томовић, А., (2012). *End-of-Life Vehicle Drainage Station*, Technical Faculty „Mihajlo Pupin“.
- [10] Pomerol, J.C., Barba-Romeo, S. (2000). *Multicriteria Decision Management: Principles and Practice*, Kluwer Nijhoff Publishing, Boston, USA.
- [11] Saelee, S. Paweewan, B. (2014). Biomass Type Selection for Boilers Using TOPSIS Multi-Criteria Model. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 5, No. 2, April 2014.
- [12] Seçme, Y.N., Bayrakdaroğlu, Kahraman, C. (2009). Fuzzy performance evaluation in Turkish Banking Sector using Analytic Hierarchy Process and TOPSIS, *Expert Systems with Applications*, 36 11699-11709.
- [13] Томовић, А., Павловић, М., Манојловић, В., Симић, М., *Potentials for depollution of endof-life vehicles and their importance for environmental quality in Serbia*, Urban Eco (2012), 480-487.
- [14] Yager, R.R., (1996). On mean type aggregation. *IEEE Transaction On Systems, Man and Cybernetics-Part B*, 26, 209-221.