

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Анђела М. Лечић

Управљање отпадом и индикатори животне средине

Мастер рад

Крагујевац, октобар 2020.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Инжењерство заштите животне средине

Предмет: Анализа животног циклуса

Број индекса: 410/2018

Анђела М. Лечић

Управљање отпадом и индикатори животне средине

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Саша Јовановић, доцент - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада биће извршена квантификација еколошких утицаја различитих технологија и сценарија управљања отпадом. Израчунавање вредности основних еколошких категорија (индикатора) утицаја биће део спроведених процедура у оквиру процеса вишекритеријумског одлучивања.

Препоручена литература:

[1] Zoltan Budavari and Zsuzsa Szalay, EMI, Nils Brown and Tove Malmqvist, KTH, Bruno Peuportier, ARMINES, Ignacio Zabalza, CIRCE, Guri Krigsvoll, SINTEF, Christian Wetzel and Xiaojia Cai, CALCON, Heimo Staller and Wibke Tritthart, IFZ, Indicators and weighting systems, including normalisation of environmental profiles, 2011-12-15 година.

[2] Др Горан Вујић, доцент; Скрипта из предмета УПРАВЉАЊЕ ЧВРСТИМ ОТПАДОМ; Нови Сад, 2009.година

Крагујевац, октобар 2020. године

Ментор:

Др Саша Јовановић, доцент

ABSTRACT:

A Solid waste generation and management exerts environmental pressure on air and water emissions and soil pollution, with significant potential impacts on human health and nature. Most municipal waste is landfilled, with significant "pressure" on the environment, while a very small proportion is recycled. The most important criteria for the quality of the indicators are analytical reasoning, sensitivity, comparability and clarity. In this paper, basic indicators of integral solid waste management are analyzed. Developing usable environmental indicators requires understanding not only the concepts and definitions, but also a good knowledge of environmental policy. Data is a basic component of indicators. The indicator, derived from data, is a general and basic tool for analyzing changes in society. The two main and most significant priorities of solid waste management are: minimizing the environmental impact of waste generation and reducing the use of resources. A necessary step in the practical implementation of indicators is the interpretation of the indicators collected and developed, their transformation into information and the use of information to improve the decision-making process.

- **Key words-** solid waste management, indicators, environment, quality, tools.

РЕЗИМЕ:

Настајање и управљање чврстим отпадом врши „притисак“ на животну средину емисијама у ваздух, воду и загађивањем земљишта, са значајним потенцијалним утицајима на здравље људи и околину. Већина комуналног отпада се депонује, са значајним „притиском“ на животну средину, док се веома мали део рециклира. Најзначајнији критеријуми квалитета индикатора су аналитичка заснованост, осетљивост, упоредивост и јасност. У овом раду анализирани су основни индикатори интегрисаног управљања чврстим отпадом. Развој употребљивих индикатора животне средине захтева разумевање не само концепта и дефиниција, већ и добро познавање политике заштите животне средине. Подаци су основна компонента индикатора. Индикатор, изведен из података, је општи и основни алат за анализу промена у друштву. Два основна и најзначајнија приоритета управљања чврстим отпадом су: минимизација утицаја настајања отпада на животну средину и редукција коришћења ресурса. Неопходан корак у практичној примени индикатора је тумачење прикупљених и развијених индикатора, њихова трансформација у информације и коришћење информација за побољшање процеса доношења одлука.

- **Кључне речи-** управљање чврстим отпадом, индикатори, животна средина, квалитет, алати.

Садржај:

1. Увод	8
2. Отпад, дефиниција, класификација	9
2.1. Састав комуналног чврстог отпада	10
2.2. Управљање чврстим отпадом	11
2.2.1. Интегрисано управљање чврстим отпадом	11
2.3. Циљеви управљања отпадом.....	14
3. Анализа животног циклуса	16
3.1. Дефинисање циља и предмета	16
3.1.1. Јединица функције и границе система	17
3.2. Анализа инвентара животног циклуса	18
3.3. Оцењивање утицаја животног циклуса.....	18
3.4. Интерпретација животног циклуса	19
4. Индикатори	20
4.4. Еко-индикатор 95 и 99.....	33
4.5. IMPACT 2002+	38
4.6. LUCAS	38
4.7. ReCiPe	40
4.8. Ecological Scarcity (UBP Metoda).....	42
4.9. EPS 2000.....	46
4.10. Eco-effect.....	50
5. LCA и управљање отпадом	57
6. Вишекритеријумско одлучивање (ВКО)	59
6.1. Предности и ограничења приступа ВКО	62
7. Симулација сценарија управљања комуналним чврстим отпадом кроз примену софтверског пакета EASETECH	64
7.1. Дефинисање система и основни улазни параметри	64
7.2. Моделирање варијантних решења применом софтверског пакета EASETECH.....	66
7.3. Анализа вредности стандардних еколошких категорија утицаја	68
7.4. Примена вишекритеријумског одлучивања у оцењивању животног циклуса	74
7.5. Вишекритеријумско одлучивање - SAW метода	75
8. Закључак	78
9. Литература	79

Списак скраћеница

AP	<i>Acidification potential</i>	Потенцијал ацидификације
AETP	<i>Ecotoxicity potential</i>	Екотоксични потенцијал
ADP	<i>Abiotic depletion potential</i>	Абиотски потенцијал
BRE	<i>Building Research Establishment</i>	Изградња истраживачке установе
CO₂	<i>Carbon dioxide</i>	Угљен диоксид
CH₄	<i>Methane</i>	Метан
CO	<i>Carbon monoxide</i>	Угљен моноксид
C₂H₄	<i>Ethene</i>	Етен
CBA	<i>Cost Benefit Analysis</i>	Анализа трошкова и добити
EP	<i>Eutrophication potential</i>	Потенцијал еутрофикације
EQ	<i>Ecosystem Quality</i>	Квалитет екосистема
EPS	<i>Environmental Priority Strategies</i>	Стратегије приоритета заштите животне средине
FAETP	<i>Fresh Water Aquatic Ecotoxicity</i>	Екотоксичност слатке воде
GWP	<i>Global warming potential</i>	Потенцијал глобалног загревања
GHG	<i>Greenhouse gases</i>	Гасови стаклене баште
HCl	<i>Hydrochloric acid</i>	Хлороводонична киселина
HF	<i>Hydrofluoric acid</i>	Флуороводонична киселина
HTP	<i>Human toxicity potential</i>	Потенцијал токсичности за људе
HU	<i>Hazard Units</i>	Јединице за опасност
IPCC	<i>Intergovernmental Panel for Climate Change</i>	Међувладин панел за климатске промене
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>	Оцењивање животног циклуса
LCI	<i>Life Cycle Inventory</i>	Анализа инвентара животног циклуса
LCIA	<i>Life Cycle Impact Assessment</i>	Оцењивање утицаја животног циклуса
LOEC	<i>Lowest Observed Effect Concentration</i>	Концентрација са најмањим посматраним ефектом
MAETP	<i>Marine Aquatic Eco Toxicity</i>	Екотоксичност морске воде
NH₃	<i>Ammonia</i>	Амонијак
NOEC	<i>No observable Effect Concentration</i>	Нема уочљиве концентрације ефеката
NMVOC	<i>Non-methane volatile organic compound</i>	Не-метанско испарљиво органско једињење
ODP	<i>Ozone depletion potential</i>	Потенцијал смањења озона

PNEC	<i>(Predicted No Effect Concentration)</i>	Предвиђена концентрација без ефекта
POCP	<i>Photochemical ozone creation potential</i>	Потенцијал формирања фотохемијских оксиданата
PDF	<i>Potentially Disappeared Fraction</i>	Потенцијално нестала фракција
PAF	<i>Potentially Affected Fraction</i>	Потенцијално погођена фракција
UCTE	<i>Union for the Coordination of Production and Transmission of Electricity</i>	Унија за координацију производње и преноса електричне енергије
VOCs	<i>Volatile organic compounds</i>	Испарљива органска једињења
WTP	<i>Willingness To Pay</i>	Воља за плаћањем

1. Увод

Урбанизација је једна од најевидентнијих глобалних промена на светском нивоу. Рапидан раст популације у урбаним срединама довео је до наглог пораста количине отпада који поред социјалног и економског утицаја има и утицај на животну средину. Наведени разлози, повећана забринутост изазвана негативним утицајем на животну средину, затим неизбежна потреба за одрживим развојем, поставили су управљање отпадом на чело јавног дневног реда. Управљање отпадом је значајно питање одрживог развоја које укључује техничке, социјалне, економске, правне, еколошке, политичке, чак и културне компоненте. Управљање отпадом је уобичајен термин којим је обухваћен широк спектар активности и пракси којима се уклањају нежељене резидуе сваког друштва. Свака људска активност резултираће настајањем отпада који узрокује промене у животној средини и угрожава биљке, животиње и екосистем. Међутим, правилно управљање отпадом смањиће штету која се константно наноси животној средини и сачуваће угрожене ресурсе [34].

2. Отпад, дефиниција, класификација

Отпад је свака материја или предмет који власник одбацује, намерава или мора да одбаци. У чврсти отпад убраја се сав отпад који настаје активношћу људи или животиња, који је у чврстом агрегатном стању и који се одбацује као некористан или непожељан. Под термином чврсти отпад подразумева се хетерогена маса која се одбацује из урбаних заједница, као и хомогени отпад из пољопривреде и индустрије. Врсте отпада су :

- комунални отпад (отпад из домаћинства);
- комерцијални отпад;
- индустријски отпад.

Комунални отпад је отпад из домаћинства (кућни отпад), као и други отпад који је због своје природе или састава сличан отпаду из домаћинства (биоразградиви и баштенски отпад, стакло, пластика, боце од спреја, кућна хемија, флуоросцентне цеви, разређивачи и боје, уља, батерије и др.). У комунални отпад спада и отпад настао на јавним површинама у локалима, ресторанима, школама и вртићима.

Биоразградиви отпад је комунални отпад и не спада у опасан, јер је органског порекла и у потпуности се разграђује у аеробним или анаеробним условима (са и без присуства ваздуха). Њега не чине остаци шумарства или пољопривредних остатака, ђубриво, канализациони муљ, или неки други биоразградиви отпад, као што су остаци од текстила, папира или прерађеног дрвета. Такође у биоразградиви отпад не спадају они нуспроизводи производње хране који никада не постају отпад. Биоразградиви отпад се може категоризовати и као мокри отпад. У зависности од количине воде коју садржи биоразградиви отпад се може поделити на: зелени отпад из паркова, вртова итд. и кухињски отпад. Он садржи између 50-60% воде и дрвни отпад, док отпад који садржи до 80% воде је без дрвног отпада.

Комерцијални отпад је отпад који настаје у привредним субјектима, институцијама и другим организацијама, које се у целини или делимично баве трговином, услугама, канцеларијским пословима, спортом, рекреацијом или забавом. У комерцијални отпад не спада отпад из домаћинства и индустријски отпад.

Индустријски отпад је отпад из било које индустрије или са локације на којој се налази индустрија, осим јаловине и пратећих минералних сировина из рудника и каменолома. У зависности од опасних карактеристика које утичу на здравље људи и животну средину, отпад може бити: неопасан, инертан и опасан.

Неопасан отпад је отпад који, због своје количине, концентрације или физичке, хемијске и биолошке природе, за разлику од опасног отпада, не угрожава здравље људи или животну средину и нема карактеристике опасног отпада.

Инертан отпад је отпад који није подложен било којим физичким, хемијским или биолошким променама, не раствара се, не сагорева и није биолошки разградив. Такође, не утиче неповољно на друге материје са којима долази у контакт на начин који може да доведе до загађења животне средине или угрози здравље људи. Инертан отпад не поседује ни једну од карактеристика опасног отпада као што су акутна или хронична токсичност, инфективност, канцерогеност, радиоактивност, запаљивост, експлозивност.

Опасан отпад је сваки отпад који има једну или више карактеристика које проузрокују опасност по здравље људи и животну средину (експлозивност, запаљивост, склоност оксидацији, органски је пероксид, акутна отровност, инфективност, склоност корозији, у контакту са ваздухом ослобађа запаљиве гасове и отровне супстанце, а у контакту са водом ослобађа отровне супстанце, садржи токсичне супстанце са одложеним хроничним деловањем, као и екотоксичне карактеристике) укључујући и амбалажу у коју је опасан отпад био или јесте упакован.

Производња (генерисање) отпада представља, најприроднији акт живота људи у руралним и урбаним срединама. Са економског аспекта, отпад се још увек третира као негативна појава. У том смислу веома је значајно јасно дефинисање границе између “отпада” и “неотпадних материја” у циљу детерминисања одлучујућих фактора на економском тржишту отпада. Тренд тржишног развоја указује да отпад постаје значајан потенцијални ресурс и секундарна сировина. Могућност поновне употребе отпада као и потенцијални ризици по животну средину представљају критеријуме који се користе за одређивање краја животног века отпада. Човек је једино биће на планети које ствара отпад. Бројне људске активности представљају одлучујући чинилац у промени животне средине. Све те активности су, мање или више, повезане са задовољавањем одређених животних потреба. Највећи део тих потреба је индукован вештачки и оне чине структурни део глобалног пројекта названог „потрошачко друштво“. Наша цивилизација продукује све више отпада и у скорој будућности не постоје реални изгледи да се тај тренд промени. Захваљујући убрзаном технолошком напретку и развоју еколошке свести, борба против одређених нежељених ефеката енормне производње отпада, постаје све успешнија. Настајање отпада је резултат целокупне економске активности сваке државне заједнице и као такво је у директној корелацији са националном економијом. Управљање комуналним отпадом обухвата функције сакупљања, транспорта, рециклаже, поновне употребе, третмана и одлагање чврстог отпада [1].

2.1. Састав комуналног чврстог отпада

Утврђивање морфолошког састава отпада представља кључ успешног управљања комуналним отпадом. Познавање састава комуналног чврстог отпада неопходно је комуналним и индустријским интересним групама које су укључене у процес

управљања отпадом на општинском нивоу у циљу што успешнијег развоја стратегија за одрживо управљање комуналним отпадом. Анализа састава и генерисаних количина отпада представља интегрални део управљања отпадом, и ако се правилно спроводи, могуће је идентификовати генераторе отпада на нивоу домаћинстава и утврдити просторну дистрибуцију, износ компоненти отпада које се могу одвојено сакупити, као и квалитет и количину генерисаног отпада. Анализа отпада је од велике важности и представља први корак у припреми стратегије дугорочног управљања комуналним отпадом и помаже да се идентификују начини и поступци за смањење генерисања отпада као и за избор оптималних опција третирања и коначног одлагања отпада.

На састав отпада утиче низ различитих фактора од којих су многи у одређеном степену и међусобно повезани. Економски развој државе (региона, града или општине) представља један од доминантних утицајних чинилаца. На састав отпада, са друге стране утичу социо - културолошке карактеристике одређене заједнице, као и климатски и географски услови посматраног подручја, енергетски ресурси и др. Динамика сакупљања отпада, као и локални приступ и стратегија у целокупном процесу управљања отпадом, све до коначног одлагања, представљају, такође, значајне факторе који детерминишу састав отпада [1].

2.2. Управљање чврстим отпадом

Управљање чврстим отпадом је сложен процес јер укључује већи број технологија. Оно укључује технологије повезане са стварањем (укључујући смањење генерисања отпада на извору), локалним руковањем и одлагањем, сакупљањем, премештањем и транспортом, обрадом и уклањањем чврстог отпада. Сви ови процеси се морају изводити у оквиру постојећих законских, друштвених и норми које се тичу животне средине, које штите здравље и животну средину и естетски и економски су прихватљиве. Да би одговарале општим ставовима, дисциплине које се морају разматрати у целокупном процесу управљања чврстим отпадом укључују административне, финансијске, законске, архитектонске, планске чиниоце животног окружења и инжењерске чиниоце. За планирање успешног интегрисаног (целокупног) управљања отпадом, неопходно је да ове дисциплине међусобно комуницирају и узајамно делују позитивним међудисциплинарним односом [2].

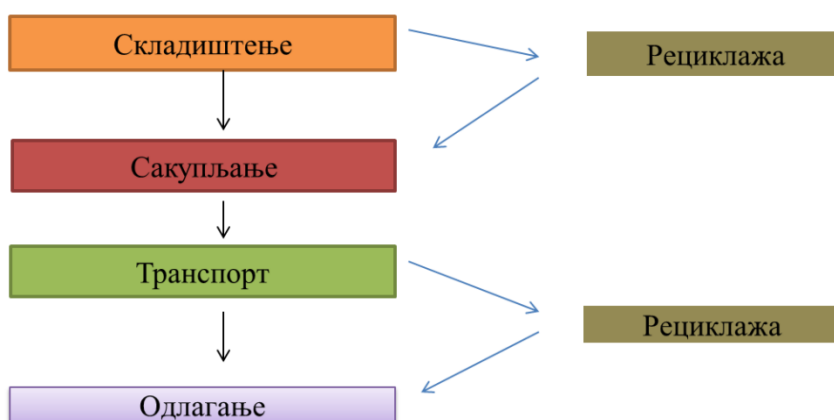
2.2.1. Интегрисано управљање чврстим отпадом

Током протеклих векова светска популација нагло се повећала и постајала све више потрошачки оријентисана. Ово је довело до континуалног повећања производње добара. Технолошке промене, као и промене у друштву допринеле су повећаном захтеву за коришћењем једнократних и запакованих производа. Ови производи

временом постају отпад. Повећана производња је стога довела и до пораста стварања отпада. Велики проценат друштвеног отпада производи се и у домаћинству. Храна, баштенски отпад, папир, конзерве, флаше, пластичне кесе чине део отпада. Ако се не сакупљају и не одлажу у складу са санитарним захтевима, лако може доћи до појаве болести и штеточина. Решење је било да се отпад одложи негде, што даље. Мора, реке и предели неупотребљивог земљишта (често неупотребљива земљишта као што су мочваре или каменоломи) били су омиљене локације за одлагање [3].

Отпад из домаћинства до недавно се сматрао безбедним, међутим, сада је познато да и овај отпад загађује животну средину. Поред безбедног отпада, отпад из домаћинства садржи и токсичне материје. Неке од њих су боје, растварачи, батерије, мастило из штампача, пестициди, расхладна средства, средства за полирање, дезинфекциона средства, лепкови, хемикалије из базена.

Концепт интегрисаног управљања отпадом еволуирао је током година и укључио хијерархијски приступ, што је сада и интернационално прихваћени приступ у управљању отпадом. У циљу разумевања овог приступа и његове правилне примене, потребно је разумети његову еволуцију. На сличан начин, потребно је препознати да ће се истицање различитих елемената унутар хијерархије интегрисаног управљања отпадом разликовати по контекстима. Основни системи управљања отпадом оригинално су развијени са идејом да решавају проблем нагомиланог отпада. Њихов задатак био је чишћење и уклањање отпада из насељених подручја, у циљу заштите квалитета живота и људског здравља. Ово су основни задаци управљања отпадом, што је потребно запамтити и применити при формулацији и имплементацији било ког интегрисаног система управљања отпадом. Иако основни системи могу укључивати различите технологије и степене софистицираности, за све је заједничко да укључују складиштење, сакупљање, транспорт и одлагање отпада, уз додатна логична унапређења технологије, као што су сабијање и пренос отпада (слика 1).



Слика 1. Елементи основног система за управљање отпадом [3].

Складиштење отпада обавља се у просторијама произвођача отпада, од момента транспорта до локације коначног одлагања. У домаћинствима, отпад се складишти у ограђеним местима, пластичним контејнерима, употребљеним кесама за куповину, или у некој другој форми материјала за складиштење. У појединим сиромашнијим подручјима и неуређеним насељима, за сакупљање отпада користе се контејнери великих запремина који су постављени за коришћење великом броју домаћинстава. Поменути контејнери користе се и за одлагање отпада у великим продајним центрима, зградама са апартманима, пословним зградама, градским комплексима са великом густином насељености, итд.

Сакупљање отпада укључује његово пребацивање из контејнера у возила за сакупљање отпада. Најчешћи тип возила за сакупљање отпада је компактор са утоваривачем на задњем делу возила (REL- rear - end loader). Отпад из контејнера и пластичних кеса убацује се у задњи део возила, где се механичким збијањем редукује запремина отпада и повећава корисна носивост возила. За сакупљање отпада често се користе и обични камиони - истоваривачи. Велики контејнери празне се подизањем од стране тегљача пројектованих за унос, или возила са ваљцима.

Транспорт отпада до објеката за одлагање (најчешће депонија) изводи се директним превозом возилима за сакупљање. У случају да је депонија лоцирана даље него што је предвиђена, онда је потребно отпад пребацивати у возила предвиђена за прелажење већих раздаљина и у њима га транспортовати до крајњег одређишта. Пребацивање отпада изводи се помоћу статичких или покретних јединица за пренос. Често се у оквиру преноса изводи и сабијање отпада, поново у сврху повећања носивости возила.

Одлагање отпада, генерално у нашој земљи у претходном периоду, се изводило на организованим, а врло често и дивљим сметлиштима а у последње време на новим санитарним депонијама. При изношењу из возила, отпад се разгртао по земљишту гусеничним возилима или компакторима са челичним обртним ваљцима што је без других мера доводило до угрожавања животне средине. На санитарним депонијама отпад се покрива слојем земљишта да би се спречило ширење мириса, као и разбацивање отпада и директног угрожавања животне средине. У већини случајева, у нашој земљи отпад се, међутим, и даље одлаже на отворене депоније, без сабијања и покривања, при чему долази до паљења отпада као уобичајне последице угрожавања животне средине.

Рециклажа се може наћи у склопу основних система за управљање отпадом током процеса производње и сакупљања отпада, као и током преноса и одлагања. Она представља било коју операцију поновног искоришћавања отпада којом се отпадни материјали прерађују у производ, материјал или супстанцу за првобитну намену или друге сврхе. Она обухвата прераду органског материјала али не укључује поновно искоришћење отпада за добијање енергије, прераду у материјал који ће бити коришћен као гориво или за операције затрпавања/насипања [3].

2.3. Циљеви управљања отпадом

Рециклирање је препознато као начин за смањење експлоатације примарних ресурса, а самим тим и редукције загађења насталог рударским активностима и обрадом руде. За данашње управљање отпадом које мора бити оријентисано ка дефинисаним циљевима, важно је почети са консензусом о циљевима. Конкретно, ако је процењено неколико опција управљања отпадом за одређени регион, неопходно је имати заједничке циљеве као заједнички именилац. Основа за избор наведених критеријума лежи у циљевима управљања отпадом, дефинисаних у стратегији управљања отпадом Европске Уније. Да би обезбедили потпуно поштовање главних принципа који се налазе у Оквирној Директиви Европске Уније о отпаду (Еколошка акција и Одрживи развој), различити начини имплементације и фазе планирања управљања отпадом морају:

- 1) Обезбедити очување природе и ресурса смањењем продукције отпада као и обезбеђивање одговарајућег третмана отпада и његовог одлагања;
- 2) Обезбедити смањење утицаја система управљања отпадом на здравље и животну средину, као и смањење опасности на извору настајања отпада;
- 3) Обезбедити прописно паковање отпада, означено на одговарајући начин, као и прописно руковање приликом сакупљања, транспорта, привременог складиштења, третмана и коначног одлагања;
- 4) Обезбедити одговарајућу инфраструктуру за ефикасан третман различитих врста чврстог отпада (индустријског и комуналног) насталог у региону, са циљем остваривања безбедног третмана и одлагања у одређеном региону;
- 5) Обезбедити праћење отпада, од његовог настајања, преко транспорта, до коначног одлагања;
- 6) Обезбедити континуирани, транспарентни и поуздан мониторинг постројења за одлагање и третман отпада, што подразумева и депоније, имајући у виду администрацију и процедуре за довођење и прихватање отпада у постројењима, као и мерење и контролу свих главних параметара који се односе на различите области животне средине.

У складу са горе наведеним, приказани су следећи циљеви који се користе као основа за развој стратегија за одрживо управљање отпадом, а то су:

- 1) Заштита људског здравља и животне средине;
- 2) Очување ресурса као што су материјали, енергија и простор;
- 3) Одрживо („after-care-free“) управљање отпадом, што значи да депонија, инсинератор, рециклирање или неки други третмани не смеју остављати проблеме у наслеђе будућим генерацијама.

Следеће појединости о наведеним циљевима су веома значајне:

Прво, наведени циљеви не подразумевају превенцију и рециклажу, које представљају мере, а не циљеве (превенција и рециклажа су инструменти за достизање циљева, и не треба их мешати са циљевима).

Такозвана хијерархија управљања отпадом „превенција“, „рециклирање“ и „одлагање“, која је често коришћена као основни принцип за доношење одлука у управљању отпадом, настоји да се превенција стави испред рециклирања и одлагања.

Друго, пошто циљеви управљања отпадом као што су заштита људског здравља, заштита животне средине и очување ресурса зависе од садржаја одређених супстанци у отпаду, неопходан је приступ који ће управо бити оријентисан ка тим супстанцама.

Неопходно је одредити нивое садржаја супстанци у отпаду (хемијске елементе и хемијска једињења), јер супстанце у отпаду одређују да ли отпад садржи опасне материје или може бити коришћен као сировина. На пример, садржај кадмијума као стабилизатора у пластици одређује да ли пластика може бити рециклирана, док садржај бакра у пепелу ложишта инсинератора одређује да ли ће се пепео директно одлагати на депонију или га треба претходно третирати. Дакле, важно је имати довољно информација о саставу отпада и знати шта се дешава са отпадом и његовим саставом након одређеног третмана. Да би се могло оценити да ли одређени систем управљања отпадом остварује дефинисане циљеве, потребна је обимна анализа протока материја која обухвата токове отпада, хемијски састав отпада, као и коефицијенте трансфера у процесу третмана отпада.

Треће, одрживост („*after-care free*“) као циљ управљања отпадом, озбиљно утиче на рециклажу и одлагање отпада на депонијама. Главни разлог је велики удео биоразградивих састојака у отпаду, што резултира високим садржајем азота и органског угљеника у процедурним водама. Када отпад спаљујемо наведена органска фракција се минерализује стварајући пепео у ложишту (пепео са дна), који испуњава хигијенске услове и не садржи никакве биоразградиве органске материје. Међутим, будући да остатак спаљивања може испустити неорганске соли и метале, пепео се мора третирати да би се испунили циљеви управљања отпадом. За рециклирање, одрживи циљ („*after - care free*“) управљања отпадом захтева „чисте циклусе - производе“. Загађујуће материје морају бити елиминисане из процеса када се отпад рециклира у нове производе, а издвојене загађујуће материје треба да буду безбедно одложене на крајње одредиште. На тај начин, трећи циљ подразумева да су материјали у отпаду усмерени ка чистим циклусима - процесима или да су елиминисани и усмерени ка сигурним коначним одлагалиштима [4].

3. Анализа животног циклуса LCA (Life Cycle Assessment)

LCA је алат за процену утицаја производа на животну средину, тј. алат за доношење одлука о изради или квалитету одређеног производа уз идентификацију његовог утицаја на животну средину имајући у виду целокупан животно циклус производа. Може се рећи и да је то процес анализе материјала, енергије, емисија и отпада које „продукује“ производ (или система услуга), кроз целокупан животно циклус од свог настанка, почев од ресурса и експлоатације материјала па до коначног одлагања.



Слика 2. Анализа животног циклуса

Метод Анализе животног циклуса (Студија LCA) обухвата четири фазе:

- 1) Дефинисање циља и предмета;
- 2) Анализа инвентара (LCI - Life Cycle Inventory);
- 3) Оцењивање утицаја животног циклуса (LCIA - Life Cycle Impact Assessment);
- 4) Интерпретација (Life Cycle Interpretation)

3.1. Дефинисање циља и предмета

Циљ и предмет LCA студије морају се јасно дефинисати у складу са намераваном применом.

Циљ студије

Неопходно је да аутор студије дефинише недвосмислено намеравану примену LCA, разлоге за израду студије и кориснике којима треба да се саопште резултати студије.

Предмет студије

Приликом дефинисања предмета LCA студије морају се размотрити и јасно описати следеће ставке:

- Функције производа;
- Функционална јединица;
- Структура система производа који се испитује;
- Границе система производа.

Предмет истраживања треба тако дефинисати да обезбеди, да обим и детаљност студије буду усклађени и довољни за постизање утврђеног циља.

3.1.1. Јединица функције и границе система

Функција и функционална јединица

Функционална јединица (јединица функције) је основна мера учинка који производ треба да оствари.

Потребно је обезбедити услове да се поређења различитих производа спроведу на заједничкој основи. Одговарајућа функционална јединица мора да буде препознатљива и мерљива.

Границе система

Границама система одређују се јединични процеси који се морају укључити у LCA. Границе система одређује неколико фактора:

- Намеравана примена студије;
- Усвојене претпоставке;
- Критеријуми за искључивање из разматрања;
- Ограничења у погледу података и трошкова;
- Корисници за које се студија ради.

Постављањем граница система укључује између осталог, захтеве постављене кроз циљ и предмет LCA Студије, као и сагледавање утицаја на животну средину који су предмет истраживања (климатске промене, емисије загађујућих компоненти и сл.). У табели 1 су наведене врсте LCA студија у зависности од граница система:

Табела 1. Врсте LCA студија у зависности од граница система.

„Од колевке до гроба“ (eng.cradle to grave)	Обухвата целокупан животни циклус, почев од екстракције сировина (колевка), преко транспорта, обраде сировина и производње, затим дистрибуције до потрошача, употребе и на крају одлагања (гроб).
„Од колевке до капије“ (eng.cradle to gate)	Обухвата део животног циклуса од екстракције сировина (колевка) до капије произвођача, односно до излаза из производње, а пре дистрибуције до потрошача.
„Од капије до капије“ (eng.gate to gate)	Обухвата део животног циклуса - само један процес (нпр. укупна производња или само један јединични процес у производњи), који се касније може повезати са осталим процесима у животном циклусу и тако по потреби проширивати.
„Од колевке до колевке“ (eng.cradle to cradle)	Представља специфичну врсту свеобухватне LCA (од колевке до гроба) где се последња фаза тј. фаза краја животног циклуса или одлагања (end of life), везује за процес рециклаже и враћа на почетак (до колевке)

3.2. **Анализа инвентара животног циклуса**

Анализа инвентара обухвата поступке:

- Прикупљања података и
- Прорачуна ради квантитативног исказивања одговарајућих улаза и излаза система производа.

Улази и излази морају да обухвате употребу сировина, као и емисије у ваздух, воду и земљиште. На основу ових података, у зависности од циљева и предмета LCA, врши се интерпретација. Ти подаци такође служе као улази за оцењивање утицаја животног циклуса.

3.3. **Оцењивање утицаја животног циклуса**

Фаза оцењивања утицаја LCIA има за циљ да се, на бази резултата анализе инвентара животног циклуса, вреднује значај могућих утицаја на животну средину.

Тај процес обухвата повезивање података инвентара са специфичним утицајима на животну средину и покушај разумевања тих утицаја. Степен детаљности, избор утицаја

који се вреднују и методологије која се употребљава, зависе од циља и предмета студије.

Корак „ оцењивање утицаја животног циклуса“, између осталог, укључује и елементе као што су:

- Сврставање података инвентара у категорије утицаја (**класификација**);
- Прерачунавање података инвентара у оквиру категорије утицаја (**карактеризација**);
- Поређење добијених вредности са познатим, јединичним утицајима на животну средину, ради сагледавања њиховог значења (**нормализација**);
- Обједињавање резултата у јединствену оцену, у специфичним случајевима најчешће ради компарације репројектованог и постојећег производа (**додела тежинских коефицијената, пондерисање**).

3.4. Интерпретација животног циклуса

Интерпретација је фаза LCA (Life Cycle Assessment) у којој се комбинују резултати анализе инвентара и оцењивања утицаја, а затим усклађује са утврђеним циљем израде LCA студије, ради доношења закључака и препорука.

Резултати интерпретације, који се достављају доносиоцима одлука, могу да се дају у форми закључака и препорука које су усклађене са циљем и предметом истраживања [7].

4. Индикатори

Индикатори или показатељи представљају ефикасне алате за праћење промена, тј. за остварење циљева секторских политика или стратегија. Они помажу бољем разумевању сложених еколошких проблема те дају квантитативну информацију на једноставан и јасан начин. У раду су представљени одабрани индикатори квалитета животне средине.

Проблеми животне средине повезани су са људским здрављем, уништавањем биолошких врста или обезбеђењем живота на земљи и изгледају већи са проширењем људског знања. Постоји више критеријума за избор индикатора, али најважнији су: колико је важан проблем с гледишта негативног утицаја на околину, како политика гледа на проблем и да ли је могуће сакупљање или мерење индикатора. Индикатори би требало да буду: репрезентативни, битни, уверљиви, транспарентни и тачни.

Једна од прихватљивијих класификација, подразумева поделу индикатора на: друштвене, економске, социјалне, институционалне и радне индикаторе животне средине.

Индикатори „еколошких“ услова се односе на квалитет животне средине на локалном или регионалном нивоу и на глобалне аспекте који су обухваћени концептом одрживог развоја као што су нпр. расположивост ресурсима или обавеза смањења емисије гасова „стаклене баште“ преузета потписивањем међународних протокола. Индикатори који указују на квалитет животне средине се односе на поједине медијуме животне средине, као што су ваздух, вода, земљиште, биодиверзитет. Кључни извори загађујућих материја у ваздуху су сектори: енергетике, саобраћаја и пољопривреде. У Европи, око 70% оксида сумпора (SO_x) и око 21% оксида азота (NO_x) потиче из енергетског сектора. Од укупне емисије амонијака (NH₃), 94% потиче из сектора пољопривреде. Полазећи од прописаних граничних и толерантних вредности, могу се утврдити три категорије квалитета ваздуха: прва категорија- чист или незнатно загађен ваздух, друга категорија – умерено загађен ваздух, трећа категорија- прекомерно загађен ваздух [5].

Најзначајније категорије (индикатори) утицаја на животну средину, издвојене кроз обиман преглед актуелне литературе, а које се повезују са еколошким последицама које потичу од сектора управљања отпадом, су:

Потенцијал глобалног загревања (GWP - Global warming potential) представља потенцијалну промену климе што се може приписати повећаним концентрацијама CO₂, CH₄ и осталим гасовима стаклене баште (GHG - Greenhouse gases) који утичу на пораст температуре стварањем ефекта стаклене баште приликом њихове емисије у атмосферу. Последице могу укључивати промену климатских образаца, померања вегетацијских зона и дистрибуцију падавина као и пораста нивоа мора због топљења ледених капа, губитка влаге у тлу, губитка шума, промене у јачини ветра и океанских струја, као и до промене у пољопривредној производњи. Изражава се у еквивалентима CO₂ обично за временски период од 100 година.

Потенцијал смањења озона (ODP - Ozone depletion potential) - Потенцијал смањења озона представља потенцијал за смањење стратосферског озонског омотача. Супстанце које оштећују озон су фреони, хлорофлуороугљеници, угљен - тетрахлорид и метил - хлороформ. Потенцијал смањења озона се изражава као CFC-11 еквивалент.

Потенцијал ацидификације (AP - Acidification potential) се заснива на потенцијалу загађујућих материја које изазивају закишељавање земљишта (SO_2 , HCl , NH_3 , HF) при чему се формирају H^+ јони. То доводи до оштећења биљака, животиња и структура. Изражава се у еквивалентима SO_2 .

Потенцијал еутрофикације (EP - Eutrophication potential) представља обогаћивање водених ресурса нутријентима (азотом и фосфором), што доводи до повећања раста водених биљака, које се може приписати хранљивим састојцима потеклим од прекомерног спирања нутријената у воду и тло. Обогаћивање хранљивих материја утиче на смањење квалитета воде, такође може негативно утицати и на опстанак риба у води, смањење биодиверзитета, као и на појаву непријатних мириса и укуса. Изражава се у еквивалентима PO_4^{3-} .

Потенцијал формирања фотохемијских оксиданата (SO_2 , CO , NO_x), (POCP- Photochemical ozone creation potential) је такође познат и као приземни, фотохемијски или летњи смог. Формира се у тропосфери из разних хемикалија, укључујући, CO , CH_4 и друга волатилна органска једињења (VOCs - Volatile organic compounds) у присуству високих температура и Сунчеве светлости. Има негативан утицај на здравље људи, животну средину и изражава се у еквивалентима C_2H_4 .

Екотоксични потенцијал (AETP - Ecotoxicity potential) слатководни, морски или терестријални, односи се на емисије токсичних супстанци у ваздух, воду и земљу. Она укључује изложеност и штетне ефекте токсичних супстанци и изражава се као еквивалент 2,4-дихлорофенокси киселине.

Потенцијал токсичности за људе (HTP - Human toxicity potential) изражава се ефектима токсичних супстанци на људско здравље. Омогућава релативно упоређивање већег броја хемикалија које могу допринети појави канцера или других негативних ефеката на људско здравље у дужем временском периоду. Изражава се у еквиваленту 1,4-дихлоробензена.

Абиотски потенцијал (ADP - Abiotic depletion potential) се бави заштитом људског благостања, људског здравља и екосистема и представља исцрпљивање необновљивих ресурса (абиотски, неживи (фосилна горива, метали, минерали)). Заснован је на концентрационим резервама и брзини деакумулације, а изражава се у еквиваленту kg антимона.

Утицај употребе земљишта (Impact of land use) – Употреба земљишта утиче на разноликост врста у зависности од врсте употребе и карактеристика подручја. Штете настале као резултат окупације или третирања земљишта изражавају се као део врста које потенцијално нестају на одређеној територији и одређеном временском периоду

(PDF - Potentially Disappeared Fraction). Јединица мере за употребу земљишта је $(PDF \times m^2 \times \text{год})$. Да би се израчунала оштећења квалитета екосистема (Ecosystem Quality - EQ), вредност PDF се множи са одговарајућом површином и временским периодом. Потенцијално нестале фракције (PDF) биљних врста изражавају се као релативна разлика између броја врста у референтним условима и условима насталих конверзијом или окупацијом земљишта.[6].

4.1. Проучавање релевантних индикатора

У складу са ISO 14040, индикатор је мерљиво представљен утицај категорија. Опис најчешћих, контроверзних (European Committee for Standardization) индикатора који припадају различитим категоријама утицаја описани су у даљем тексту.

4.1.1. Ресурси

- Исцрпљивање абиотичких ресурса, CML 1992

Абиотички ресурси су неживи природни ресурси, попут руде гвожђа или сирове нафте. Ефикасна употреба ових ресурса представља један од најважнијих критеријума одрживости. Већина абиотских ресурса су необновљиви (осим, на пример, ветра).

За одређени ресурс и абиотичко исцрпљивање је дефинисано као однос између количине издвојеног ресурса (m_i) и надокнадиве резерве тог извора (M_i):

$$\text{Абиотичко исцрпљивање} = \sum_i \frac{m_i}{M_i} \quad (1)$$

Руде су обично изражене у kg, а природни гас у m^3 , ако би се MJ могао користити као алтернатива. Ово је поједностављена метода која би се на крају требала проширити и на стопу екстракције, изражене у kg/годишње или m^3 годишње. [8].

- Исцрпљивање абиотичких ресурса (еквивалент антимоно), CML 1995 и 2001

Фактор карактеризације који се назива ADP (Abiotic Depletion Potential) је нови фактор који је заснован на стању ресурса и степена екстракције, изражен у kg референтног ресурса (антимон):

$$\text{Абиотичко исцрпљивање} = \sum_i ADP_i \times m_i \quad (2)$$

ADP_i - потенцијал за исцрпљивање абиотичких ресурса i [kg еквивалента антимоно /kg];

$$ADP_i = \frac{DR_i}{(R_i)^2} \cdot \frac{(R_{ref})^2}{DR_{ref}} \quad (3)$$

Где је:

R_i - крајња резерва ресурса i , [kg];

DR_i - стопа екстракције ресурса i , [kg×година⁻¹];

R_{ref} - крајња резерва антимона, [kg];

DR_{ref} - стопа екстракције антимона [kg×година⁻¹]

Развој ове методе је направљен да би се продужило израчунавање категорије фосилних горива: фосилна горива могу се сматрати еквивалентним ресурсима, а затим се могу међусобно заменити, тако да можемо израчунати глобални ADP за сва фосилна горива која се односе на употребу горива од 1 MJ, према следећем изразу:

$$ADP_{\text{фосилна енергија}} = \frac{DR_i}{(R_i)^2} \cdot \frac{(R_{ref})^2}{DR_{ref}} = 4,81 \times 10^{-4} \quad (4)$$

Где је:

$ADP_{\text{фосилна енергија}}$ - потенцијал за исцрпљивање абиотичких фосилних горива [kg/MJ];

R_i - крајња резерва фосилног горива i , $4,72 \times 10^{20}$ MJ;

DR_i - производња фосилне енергије, $3,03 \times 10^{15}$ MJ×година⁻¹;

R_{ref} - крајња резерва антимона, $4,63 \times 10^{15}$ kg;

DR_{ref} - стопа екстракције антимона $6,06 \times 10^7$ kg×година⁻¹

ADP сваког горива се затим добија множењем $ADP_{\text{фосилне енергије}}$ са садржајем енергије сваког разматраног горива:

$$ADP_{\text{fuel}} = ADP_{\text{fossil energy}} \times E_i \quad (5)$$

Где је:

ADP_{fuel} - Абиотски потенцијал исцрпљивања специфичан за фосилно гориво [kg];

$ADP_{\text{fossil energy}}$ - Потенцијално глобално исцрпљивање фосилног горива

E - Енергетски садржај фосилног горива [9].

- Кумулативна потрошња енергије (укупан и необновљиви део)

Кумулативна потрошња енергије (CED - The Cumulative Energy Demand) се већ користи од седамдесетих година као индикатор за енергетске системе. Енергетски ресурси који се могу наћи у природи, попут угља, сирове нафте и природног гаса

називају се **примарним енергетским ресурсима**. Њихова трансформација у „секундарне“ енергетске ресурсе, као што су бензин, дизел или електрична енергија укључује губитке који зависе од ефикасности и нивоа трансформације. Важно је направити разлику између необновљиве (фосилне, нуклеарне) и обновљиве примарне енергије (хидро, ветар, солар, биомаса итд.).

- Потрошња воде

Потрошња воде се односи на групу сродних проблема заштите животне средине узрокованих недостатком воде услед екстракције подземне воде за снабдевање индустријском и питком водом. Као и у случају већине потенцијалних утицаја, (GWP, AP, EP, POCP, ODP, итд), утицај се неће догодити нужно, али потенцијални показатељ је користан у сврху процене потенцијалног ризика стварања утицаја.

У грађевинском сектору потрошња воде је ипак важно питање. У недостатку фактора карактеризације за исушивање, предлаже се индикатор који се такође користи, а који се односи на количину коришћене воде:

употребљена вода = Q

Q= количина коришћене слатке воде [m³].

Овај индикатор користи податке о потрошњи воде који су укључени у залихе (нпр. производња материјала и електричне енергије). Неке врсте извора воде (нпр. морска вода) се не обрачунавају.

Отисак воде је индикатор употребе слатке воде који се бави не само директном употребом воде потрошача или произвођача, већ и индиректном употребом воде. Водени отисак производа је запремина слатке воде која се користи за производњу истог, измерена кроз цео ланац снабдевања. То је вишедимензионални индикатор, који приказује количине потрошње воде према врсти загађења [14].

4.2. Загађење ваздуха

- Потенцијал глобалног загревања, IPCC, 1994. и 2001.

Ефекат стаклене баште узрокован емисијама људских активности мора се разликовати од природног ефекта стаклене баште. Природни ефекат стаклене баште је од виталног значаја за жива бића на Земљи, али људска емисија тзв. гасова са ефектом стаклене баште, попут угљен - диоксида и метана, појачавају апсорпцију топлотног зрачења у атмосфери, што резултира повећањем температуре на Земљи. Током 20. века просечна глобална температура се повећала за око 0,6 °C због појачаног ефекта стаклене баште.

Последице могу укључивати промену климатских образаца, померања вегетацијских зона и дистрибуцију падавина као и пораста нивоа мора због топљења ледених капа. Утицај емитованог гаса изражен је у погледу потенцијала глобалног загревања (GWP - Global warming potential) у CO₂-еквивалентни.

Индикатор потенцијала глобалног загревања (GWP) може се проценити на основу фактора карактеризације IPCC из 2001. или 2007.

$$\text{промена климе} = \sum_i \text{GWP}_i \times m_i \quad (6)$$

GWP_i - Потенцијал глобалног загревања супстанце *i* [kg CO₂ еквивалент/kg];

m_i - маса супстанце *i*, пописано у процесу [kg];

Временски хоризонт може бити 20, 100 или 500 година.

- Потенцијал смањења озонског омотача, CML 1992, 1995 и 2001

Стратосферско трошење озона је проређивање стратосферског озонског омотача као резултат антропогене емисије, као што су CFCs и халони. То узрокује већи део сунчевог UV-B зрачења на површини Земље, уз потенцијално оштећење здравља људи, екосистема, биохемијских циклуса и материјала. Природна сезонска антарктичка „озонска рупа“ расте од почетка 1980-их. На глобалном нивоу пад озона у стратосфери је недавно успорио. Углавном је проузроковано исцрпљивање помоћу CFC-а који се користе у аеросолима, климатизацији и фрижидерима. Халон је један од кључних гасова који оштећују озон. Међутим, употреба ове супстанце знатно је смањена и ускоро ће бити потпуно обустављена због успешне примене Монреалског протокола. Због тога је важно у процени утицаја навести колики је потенцијал за смањење озонског омотача (ODP - Ozone Depletion Potential) последица халона.

ODP је однос између количине озона уништене јединице материје „х“ и референтне супстанце, која се обично узима као CFC-11. Јединица ODP-а је, дакле, kg CFC-11 еквивалент [15], [16].

$$\text{ODP}(x) = \frac{\text{Глобални губитак озона (х)}}{\text{Глобални губитак озона од (CFC-11)}}$$

- Потенцијал закишељавања, CML 1992, 1995 и 2001

а) CML 1992, 1995 и 2001

Киселост система воде и тла може се повећати због таложења киселине из атмосфере, углавном у облику кише. Сумпор диоксид (SO₂) и азотни оксиди (NO_x) који се избацују процесима сагоревања одговорни су за већину талоба киселине, која се назива "кисела киша". Потенцијалне последице су пропадање шума, закишељавање тла и оштећења грађевинских материјала. Дејство супстанци је изражено терминима, као потенцијал закишељавања (AP - Acidification potential) у kg еквивалента SO₂. При тумачењу

резултата индикатора треба узети у обзир регионалне разлике, јер основно тло, на пример, може да неутралише ефекте.

б) Haushild

$$AP(SO_2 \text{ еквиваленти}) = [n/(2 \cdot M_w)] \cdot 64,06 = (n/M_w) \cdot 32,03 \quad (7)$$

Где је:

M_w је мол масе емитиране материје (g/mol);

n је број водоникових јона који се емитује примаоцу;

64,06 g/mol је моларна маса SO_2 [10].

- Зимски смог, CML 1992 и 1995

Главни допринос зимском смогу су емисије честица (прашине) и сумпора. Ови аспекти су узети у обзир у показатељима токсичности и закисељености, па се специфични индикатори за зимски смог не користе.

- Формирање фотохемијских оксиданса (летњи смог), CML 1992, 1995 и 2001

а) CML 1992, 1995 и 2001

Овај индикатор описује стварање реактивних хемијских једињења из одређених загађивача ваздуха дејством сунчеве светлости. Етилен, угљен моноксид, сумпор диоксид, метан и NMVOC (Non - methane volatile organic compound) су важне емисије. Озон (O_3), облик кисеоника је најважније хемијско једињење у овој групи. За разлику од заштитне улоге озонског омотача у стратосфери, озон у тропосфери је токсичан. Формирање озона, који се понекад назива и "летњи смог", углавном је проблем у сунчаним данима, у већим градовима са пуно саобраћаја. Етилен је референтна супстанца за процену.

б) Jenkin

Фотохемијски потенцијали за стварање озона, (POCP - Photochemical Ozone Creation Potential) за одређени (VOC - Volatile organic compounds) је дефинисан као однос између стварања озона додатним ослобађањем VOC-а и додатног стварање озона истим ослобађањем референтне супстанце етена [8].

$$POCP_i = \frac{\text{повећање озона од } i\text{-th VOC}}{\text{повећање озона због етена}}$$

4.2.1. Загађење воде

Потенцијал еутрофикације CML 1992, 1995 и 2001

а) CML 1992, 1995 и 2001

Еутрофикација се јавља углавном када долази до повећања концентрације хранљивих материја, азота (N) и фосфора (P) у води или земљишту, јављајући се природно и као резултат људске активности. Може бити узрокован спирањем синтетичког ђубрива са пољопривредног земљишта, путем канализације или може бити последица животињског отпада. То доводи до промене у саставу врста, често праћен масовним растом доминантних врста попут „цветања алги“. Додатно, повећана производња биомасе може довести до исцрпљивања кисеоника у води или земљишту, пошто њена разградња троши кисеоник. Ово доприноси променама у саставу врста и смрти организама. Референтна супстанца за прорачун потенцијала еутрофикације за сваку емисију је фосфат (PO_4^{3-}), који има потенцијал еутрофикације 1.

б) EDIP

Екоефекат користи дански EDIP концепт. EDIP тврди да је општа формула за водене организме $\text{C}_{106}\text{H}_{263}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P}$, што значи да ће фосфор допринети еутрофикацији 16 пута више од азота. Супстанца са формулом $\text{C}_{106}\text{H}_{263}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P}$ и моларном тежином M_w има следећу способност еутрофикације:

$$\text{EP} (\text{NO}_3^- \text{ еквиваленти}) = [(c+16f)*62,0]/M_w \quad (8)$$

M_w = моларна тежина једињења с и f се односи на број N и P атома у једињењу [10].

4.2.2. Загађивање тла и отпад

Грађевински сектор ствара велике количине инертног отпада и ово питање мора бити разматрано у LCA студији. У том контексту предлажу се индикатори који процењују количину инертног отпада:

стварање отпада = W

W = маса отпада [kg]

Ова дефиниција подразумева моделирање свих процеса обраде отпада и узимање у обзир свих одговарајућих утицаја [12], [13].

- Количина радиоактивног отпада

Постоји неколико врста радиоактивног отпада који се деле према њиховој активности и времену њиховог складиштења (нпр. време складиштења може варирати од 30 до 10 000 година). Количина радиоактивног отпада је користан индикатор у недостатку

индикатора за јонизујуће зрачење, јер процес производње нуклеарне енергије може се побољшати ако узмемо у обзир само главне утицаје на животну средину: нпр. узимајући у обзир емисију CO₂, може се стећи утисак да је нуклеарна енергија „чист“ начин производње електричне енергије.

У Европи, 60% електричне енергије придружено је UCTE (Union for the Coordination of Production and Transmission of Electricity - Унија за координацију производње и преноса електричне енергије). У Европи су нуклеарне електране први извор испоруке електричне енергије, са око 32% електричне енергије [11], [16].

Стога се проблем радиоактивног отпада не може занемарити у LCA који се односи на грађевински сектор. Овај индикатор узео је у обзир приступ бази Oekoinventare, који процењује количину радиоактивног отпада како би се дефинисао потребан капацитет складиштења:

$$\text{радиоактивни отпад} = V_{rw}$$

V_{rw} - запремина радиоактивног отпада (укључујући све врсте, обезбеђене у залихама).

4.2.3. Екотоксичност насупрот pdf x m² (ARMINES)

а) CML 1992 и 2001

- Водена екотоксичност

Метода процене утицаја CML између осталог разматра категорију токсичности за водене средине. Ова категорија утицаја покрива утицај отровних материја на водене екосистеме. Подручје заштите је природно окружење и природни ресурси. Водена екотоксичност може се поделити на слатководну и морску водену еко - токсичност.

Екотоксичност слатке воде (FAETP) Fresh Water Aquatic Eco-toxicity

Еко - токсичност слатке воде односи се на утицај отровних материја које се емитују у слатководне екосистеме.

$$\text{Екотоксичност слатководних екосистема} = \sum_i \sum_{ecom} FAETP_{ecom, i} \times m_{ecom, i}$$

$m_{ecom, i}$ = је емисија супстанце i у медијум $ecom$

Фактор карактеризације је потенцијал токсичности за слатку воду која се емитује у ваздух, воду или/и земљиште $FEATP_{ecom, i}$. Јединица овог фактора је kg 1,4-дихлоробензен еквивалента (1,4-DCB_{eq}) по kg емисије.

Екотоксичност морске воде (MAETP) Marine Aquatic Eco Toxicity

Екотоксичност морске односи се на утицај отровних материја које се емитују у морске водене екосистеме.

Екотоксичност морских екосистема = $\sum_i \sum_{com} MAETP_{ecom, i} \times m_{ecom, i}$

Фактор карактеризације је потенцијал морске водене токсичности сваке супстанце која се емитује у ваздух, воду или / и земљиште $MEATP_{ecom, i}$. Јединица овог фактора је kg 1,4 - дихлоробензен еквивалента (1,4 - DCB_{eq}) по kg емисије.

- Терестријална екотоксичност

Копнена екотоксичност односи се на утицај отровних материја које се емитују у копнене екосистеме. Фактор карактеризације је потенцијал копнене токсичности сваке супстанце која се емитује у ваздух, воду или/и тло. Јединица овог фактора је kg 1,4-дихлоробензен еквивалента (1,4 - DCB_{eq}) по kg емисије.

6) EDIP

Дански EDIP заснован је на количини (m³) ваздуха, земље и воде која је потребна да би се разблажио грам опасне материје како би био нешкодљив за људе и екосистеме.

Карактеристични фактор за еко - токсичност:

$$CF(et) = f \times BIO \times 1/PNEC = f \times BIO \times ETF \quad (9)$$

Где је:

f - фактор расподеле у ваздуху, земљишту и води

BIO - биоразградиви фактор

PNEC или LOEC - Предвиђена концентрација без ефекта и концентрација са најмањим посматраним ефектом

ETF - Фактор еколошке токсичности

Индикатор штетности за екотоксичност (pdf x m²)

Најчешће коришћен индикатор крајње тачке је потенцијално нестала фракција PDF. Изражава се губитком врста у одређеном подручју током одређеног временског периода (PDF×m²×год). Укључује следеће категорије утицаја: екотоксичност, закишељавање, еутрофикација и коришћење/трансформација земљишта [13].

- Екотоксичност, штета за квалитет екосистема као резултат емисије токсичних материја у ваздух, воду и земљу

Главне отровне материје су тешки метали, а хром представља референтну супстанцу. Екотоксични ефекти хемикалија на различите врсте процењују се лабораторијским тестовима. Криве расподеле осетљивости одређују се за избор врста, омогућујући

процену удела врста изложених изнад нивоа који на њих утиче (потенцијално погођена фракција врста, PAF) или изнад нивоа на којем ће нестати врста (PDF). Штета се изражава као PAF или PDF на одређеној територији и одређено време по килограму емитованог загађивача (PAF или $PDF \times m^2 \times \text{год} / kg$ емисије). Обим је глобални, регионални и локални.

Прорачун штете на квалитету екосистема врши се коришћењем EUSES модела у три корака:

1. Анализом „судбине“, размотрена су 4 одељка: ваздух, вода, пољопривредно тло и индустријско тло. Штета екосистема одређена је концентрацијом која настаје у четири одговарајућа одељка: вода, порозно пољопривредно тло, индустријско тло и природно тло.
2. Анализа ефекта, токсичност супстанци карактерише стандардизоване концентрације, назване јединице опасности (HU). Да би се израчунао HU, гранични пораст неке супстанце дели се са просечним NOEC за ту супстанцу.
3. Анализа штете која повезује димензију стандардне концентрације на одређени PAF [17].

Крива специфична за супстанцу која је репрезентативна за организам може се добити тестовима токсичности за поједине врсте. Ово се може комбиновати са алатима за статистичку анализу за квантификацију стреса повезаног са концентрацијама у окружењу у целини екосистема.

Резултат таквих анализа је подела осетљивости на врсте, која представља функцију прилагођену прагу осетљивости која је резултат токсиколошких испитивања на једној врсти.

Претпоставља се да се крива специфична за супстанцу може описати функцијом логистичке дистрибуције (логаритамска Gaussian крива) хроничних NOECs. Функција поделе логистичке дистрибуције процењује се на основу података о токсичности за поједине врсте. PAF се може користити за представљање стреса узрокованог екосистемом од стране једне хемијске супстанце или укупног стреса као резултат концентрације више хемикалија, али могућа интеракција између хемикалија није узета у обзир.

PAF се израчунава из комбинације процењене функције расподеле и израчунате концентрације поља [17]:

$$PAF(c) = \frac{1}{1 + e^{(\alpha - \log c)/\beta}} \quad (10)$$

Где је:

c - концентрација супстанце [маса/запремина];

α - параметар израчунат из просека NOEC (No observable Effect) за једну супстанцу за све врсте [без димензија];

β - коефицијент изведен из стандардне NOECs за супстанцу [без димензија].

PNEC (Predicted No Effect Concentration) предвиђена концентрација без ефекта је дефинисана као концентрација која даје PAF од 5% (појединачна супстанца PAF). Однос за PNEC је:

$$PNEC = C_{PAF=0.05}$$

Пошто просторне и временске информације нису укључене у LCA, модел узима у обзир просечну позадинску концентрацију за све материје, једнаку у свим областима Европе. Гранична штета екосистема услед маргиналног повећања концентрације једне материје зависи од садашњег нивоа штете од мешавине супстанци које су већ присутне у животној средини. Нагиб једносмерне PAF криве није релевантан, будући да гранични пораст концентрације једне једине супстанце има само врло мали утицај на просечну ситуацију у Европи. Да бисмо проценили граничну штету емисије, прво морамо утврдити нагиб укупне криве PAF, заснован на мешавинама супстанци присутних у европском окружењу. Комбиновани ефекат неколико супстанци процењује се за хидрофобне и инертне супстанце, збиром релативних концентрација, а за остале супстанце, збиром ефеката израчунатих са PAF. Ефекти различитих нивоа загађења претпостављено релативно непромењивим мешавинама околине, стандардизоване на јединице опасности, приказане су на следећој слици.



Слика 3. PAF крива за мешавину супстанци [17].

Јединице опасности (HU - Hazard Units) дефинисане су као однос концентрације и геометријске средње вредности концентрација без опаженог ефекта (NOEC) за све врсте. Геометријска средина је просек логаритамских NOECs-а. Повећање HU (ΔHU) израчунава се на основу пораста концентрације (ΔC) који је резултат иницијалног пражњења, процењеног употребом Simplebox.

Израз за ΔHU је:

$$\Delta HU = \Delta C / 10^{\alpha} \quad (11)$$

Штета зависи од нагиба PAF криве у радној тачки. Радна тачка је одређена садашњом штетом: садашњим Combi PAF -ом у Европи. CombiPAF или више супстанци PAF користи се за мапирање стреса у екосистему броја (n) хемикалија. Овај комбиновани стрес се може наћи уз формулу:

$$combiPAF = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - PAF_i) \quad (12)$$

Однос даје укупни токсични стрес као функцију збира јединица опасности у мешавини што се може посматрати као концентрација токсиколошки нормиране смеше. [17].

Стога глобални поступак обрачуна штете ($PAF \times m^2 \times \text{год.}$) као одговор на емисију n супстанци укључује:

- одређивање граничног повећања сваке концентрације материје у одређеном одељку помоћу EUSES -а;
- одређивање повећања стандардизованих јединица токсичности (јединице опасности) од повећања концентрације супстанце за сваку емитовану супстанцу која може изазвати утицај на квалитет екосистема користећи просечни NOEC сваке супстанце и да се сумира укупно повећање јединица опасности.

- Закишељавање и еутрофикација

Закишељавање настаје емисијом протона у копненим и воденим екосистемима. У терестричним системима ефекти се посматрају као смањење раста шума и коначно њихов нестанак, у воденим системима последице су кисела језера. Еутрофикација или вишак хранљивих састојака у воденим и копненим системима може бити узрокована вишком азота, фосфора и биоразградивих органских материја.

Храњивим обогаћивањем водених екосистема повећава се производња планктонских алги и виших водених биљака које погоршавају квалитет воде и умањују корисност екосистема. Разградња органске материје је процес у коме се троши кисеоник, понекад узрокујући анаеробна стања. Штета екосистема као резултат емисије супстанци које доприносе закишељавању и еутрофикацији изражава се као потенцијално нестала фракција $PDF \times m^2 \times \text{год.} / kg$ емисије.

PDF приступ бави се разноликошћу популације (врстама), а не генетиком и разноликошћу екосистема. Функције попут производње биомасе, минерализације, преноса енергије и хранљивих материја такође су важне за природно окружење, стога биодиверзитет није једина могућа крајња тачка. Остали показатељи попут средњег времена изумирања (MET) заснивају се на стохастичким приступима популације како

би се утврдио очекивани опстанак врста изложених смањењу станишта или загађивачу. Капацитет екосистема за становништво и стопа раста ове популације су основне карактеристике такве динамичке процене.

4.3. Препоруке за употребу индикатора

Како постоји неколико индикатора који се користе у различитим алатима, да би се приближили усклађенијем европском систему, употреба индикатора садржаних у прихваћеном стандарду EN 15978: 2011 препоручује се као минимум, док се употреба других показатеља изван опсега стандарда може добровољно применити у зависности од обима LCA. Препоручује се даља студија о приоритетним методама индикатора заснованих на аспектима као што су географска скала утицаја (планетарни, континентални, регионални, локални), значај ефеката (тежина штете на здравље, екосистеми), њихова неповратност, трајање (нпр. нуклеарни отпад).

Нормализација је један од факултативних елемената LCIA. У складу са EN ISO 14044, нормализација је израчунавање величине резултата индикатора категорије у односу на референтне информације.

Референтне информације могу се односити на одређену заједницу (нпр. Холандију, Европу или свет), особу (нпр. Европски држављанин) или други систем током одређеног временског периода (нпр. годину дана). Будућа циљна ситуација такође се може користити као референца. Главни циљ нормализације резултата индикатора категорије је боље разумевање релативне важности и величине ових вредности за проучени систем. Нормализација се такође може користити за проверу недоследности, за пружање и саопштавање информација о релативном значају резултата индикатора категорије и за припрему додатних поступака као што су мерење и тумачење.

4.4. Еко-индикатор 95 и 99

Еко - индикатор метода представља једну од најразвијенијих метода за оцењивање утицаја животног циклуса на животну средину. Модел је развијен ради повезивања LCI резултата са процедурама одређивања тежинских коефицијената, а са циљем да се представе LCA резултати на свим нивоима. Ово је обухватило и процесе карактеризације, нормализације и „одмеравања“ (додељивања тежина или значајности), а у циљу поједностављивања интерпретације резултата. Ове методе су увеле неколико нових принципа, као што је примена приступа настале штете, и примена три перспективе крајњих категорија утицаја како би се превазишао субјективни избор. На највишем хијерархијском нивоу, резултати се могу представити као један, обједињени, квантификовани резултат *еко-индикатор*, који може олакшати посао пројектантима и менаџерима у производњи у процесу доношења одлука у вези са штетношћу производа на животну средину. Еко - индикатор 95 је развијена метода у оквиру заједничког пројекта холандског NOH програма у ком су учествовали: PRé

consultants Philips Consumer Electronics, NedCar (Volvo и Mitshubishi), Oce Kopirke, Schuurink, CML Leiden, TU-Delft, IVAM-ER Amsterdam и CE Delft. Научне радове о Еко-индикатор методи у највећој мери објавио је Институт за науке о животној средини на Leiden Универзитету у Холандији.

Код методе Еко-индикатор 95 процес карактеризације одговара CML 92 методи, а једина разлика је у томе што су резултати токсичности распоређени у следеће категорије:

- Тешки метали;
- Канцерогене супстанце;
- Пестициди и
- Зимски смог.

Еко-индикатор 95 RF метода, делом названа по свом аутору Rolfu Frišknehtu, поред претходних наведених укључује и категорију утицаја јонизујућег зрачења.

Унапређена верзија ове методе, Еко-индикатор 99, уводи три крајње категорије утицаја (слика 4), односно категорије штетности, како се још називају:

- **Људско здравље**, јединица = DALY (eng. Disability Adjusted Life Years), подразумева настале инвалидности проузроковане болестима у току живота;
- **Квалитет екосистема**, јединица = $PDF \times m^2 \times год$ (PDF-eng. Potentially Disappeared Fraction of plant species- потенцијални нестанак фракција биљних врста);
- **Ресурси**, јединица = MJ енергетских резерви (eng. surplus energy), потребних у будућности за екстракцију минералних и фосилних ресурса нижег квалитета.

Оцењивање штетности је корак у оквиру којег су вредности индикатора категорија утицаја укључени у процес карактеризације, са циљем формирања категорије штетности. У том смислу, Еко-индикатор 99 метода представљала је почетну тачку за развој LIME и IMPACT 2002+ метода.

У наставку су дати резултати SWOT анализе, а након тога и преглед индикатора обухваћених овом методом.



Слика 4. Еко-индикатор процес моделовања [6].

SWOT анализа

Предности:

- Обезбеђује само три индикатора категорије утицаја који захтевају хармонизацију модела;
- Користи метод крајњих утицајних категорија које се могу користити у било којој LCA, са посебним освртом на функцију „одмеравања“ резултата;
- Користе се три перспективе наведене верзије EI 99 (Хијерархијска-избалансирана временска перспектива: консензус научника одређује укључивање ефеката, Индивидуалистичка-кратка перспектива: укључени су само доказани ефекти, Егалитаријанска-дуготрајна перспектива: чак и минимум научних доказа оправдава укључивање;
- Обезбеђује глобалну и регионалну валидност за категорије утицаја климатске промене, оштећење озонског омотача и потрошњу ресурса.

Слабости:

- Утицајне категорије ацидификације и еутрофикације за подручје Европе, базиране су на моделу који се односи на територију Холандије, а категорија утицаја употребе земљишта заснована је на моделу који се користи за подручје Швајцарске;
- Користи подразумеване вредности за функцију „одмеравања“ тежинских коефицијената.

Могућности:

- Покрива 391 супстанцу;
- Примена у најпознатијим LCA софтверима (GaBi, SimaPro, итд.);

- Квантитативно су описани утицаји на људско здравље и екотоксичност, док су остале категорије утицаја описане квалитативно;
- Отворене могућности даљег развоја LCIA методологија као што су LIME, IMPACT 2002+, а затим и развоја ReCipe методе уз интеграцију са CML 92 методом.

Претње:

Нису идентификоване претње.

Покривени индикатори:

Категорије утицаја средњег нивоа:

- Промена климе;
- Оштећење озонског омотача;
- Ацидификација/ Еутрофикација;
- Канцерогеност;
- Респираторне органске материје;
- Респираторне неорганске материје;
- Јонизујуће зрачење;
- Екотоксичност;
- Употреба земљишта;
- Минерални ресурси и
- Фосилни ресурси.

Категорије утицаја крајњег нивоа:

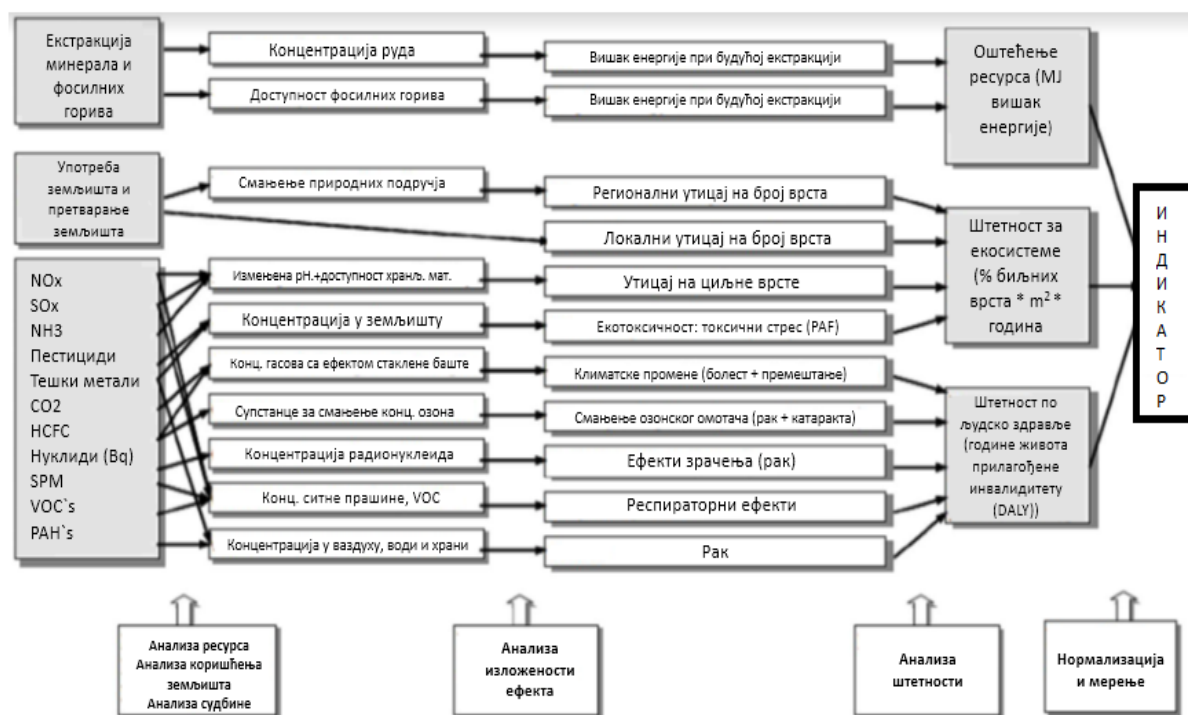
- Људско здравље;
- Квалитет екосистема и
- Потрошње ресурса [6].

Хиерархијска верзија је изабрана као подразумевана.

Методологија обухвата 11 категорија утицаја у средњој тачки груписаних у три категорије оштећења као што је приказано у табели испод. У зависности од перспективе, методологија обухвата око 391 супстанцу.

Табела 2. Приказ оштећења

Категорија оштећења	Средња тачка утицаја
Штета по људско здравље	Канцерогени ефекти
	Респираторни ефекти (неоргански)
	Респираторни ефекти (органски)
	Климатске промене
	Зрачење
	Смањивање озонског омотача
Штета у квалитету екосистема	Екотоксичност
	Закисељавање / еутрофикација (комбиновано)
	Коришћење земљишта
Штета за ресурсе	Минерали
	Фосил



Слика 5. Еко индикатор 99 – структура категорија утицаја [23].

Нормализација

Нормализација се не врши по категорији утицаја, већ по категорији оштећења. Фактори нормализације израчунавају се истом методом.

4.5. IMPACT 2002+

Метода IMPACT 2002+ је нова верзија методе IMPACT 2002, где су развијени нови концепти и методе. IMPACT 2002+ је посебно побољшан за упоредну процену категорија утицаја еко-токсичност и токсичност за људе. За остале категорије, еко-индикатор 99 и CML 2002 су били основа за методе.

IMPACT 2002+ укључује 14 категорија средње тачке:

- Токсичност за људе (канцерогени + не-канцерогени);
- Респираторни (неорганске);
- Јонизујућа зрачења;
- Исцрпљивање озонског слоја;
- Фотохемијска оксидација (респираторна (органска) за људско здравље);
- Екотоксичност за воде;
- Екотоксичност за земљиште;
- Закишељавање земље / нитрификација;
- Закишељавање воде;
- Водена еутрофикација;
- Окупација земљишта;
- Глобално загревање;
- Необновљива енергија.

У IMPACT 2002+ сви половични резултати су изражени у јединицама референтне материје и односе се на следеће четири категорије оштећења:

- Људско здравље;
- Квалитет екосистема;
- Климатске промене;
- Ресурси [31].

Нормализација

Аутори IMPACT 2002 + препоручују корисницима да анализирају нормализоване резултате на нивоу оштећења. Постоји фактор нормализације и за средњи ниво [32], [33].

4.6. LUCAS

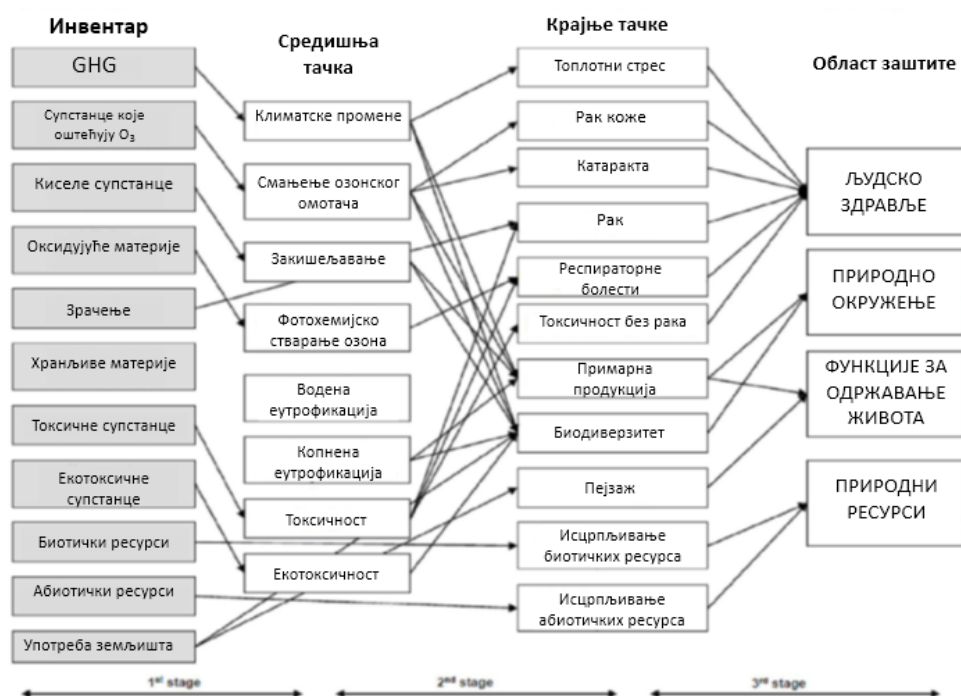
LUCAS је први пут развијен 2005. године са циљем да пружи методологију прилагођену канадском контексту. Заснован је на постојећим моделима карактеризације из метода LCIA као што су TRACI 2002 и IMPACT 2002+. LUCAS

обухвата 11 утицаја на средњу тачку (табела 3) и укључује око 800 супстанци и око 2000 токсичних емисија.

Табела 3. Утицаји средњег нивоа обухваћени *LUCAS*.

Климатске промене
Смањивање озонског омотача
Закишељавање
Фотохемијски смог
Респираторни ефекти
Водена еутрофикација
Екотоксичност за земљиште
Екотоксичност (водена и копнена)
Токсичност за људе
Коришћење земљишта
Исцрпљивање абиотских ресурса

Тренутно се индикатори средњих тачака више преферирају него крајње. За сада методолошки оквир није моделиран до крајње тачке.



Слика 6. Категорије утицаја и путеви обухваћени *LUCAS* методологијом [31].

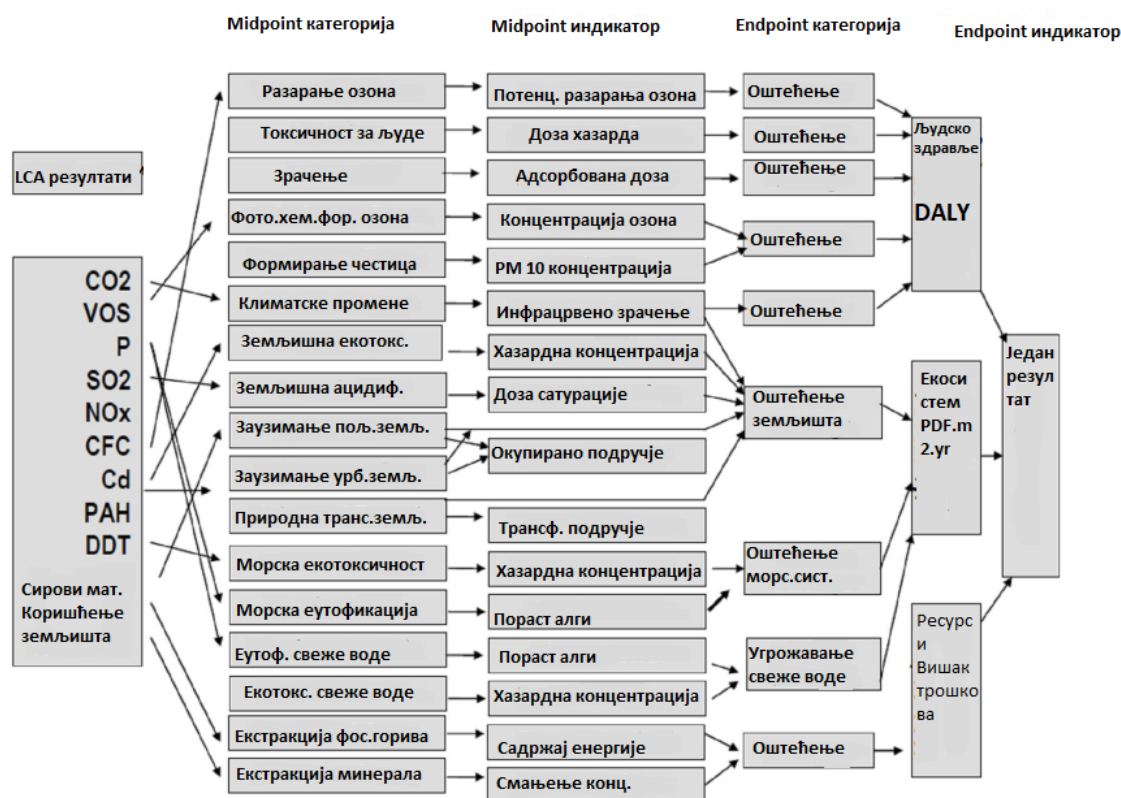
За сваки индикатор израчунавају се засебни фактори нормализације користећи исте основне податке нормализације. Нормализација се одређује односом утицаја по јединици емисије дељеним са укупним утицајем свих супстанци које доприносе

одређеној категорији утицаја, по особи. Пондерисање се не врши по LUCAS методи.

4.7. ReCiPe

ReCiPe је наставак Еко-индикатора 99 и CML 2002 метода. Има за циљ интеграцију и усклађивање приступа средишње-крајње утицајне категорије у конзистентном оквиру, пружајући ограничен број резултујућих индикатора преко којих се изражава релативна озбиљност (опасност) на утицајну категорију животне средине [19].

ReCiPe метода користи механизам заштите животне средине као основу за моделовање. Механизам заштите животне средине може се посматрати као низ ефеката који заједно могу да изазову одређени степен оштећења, на пример, на људско здравље или екосистем. У развоју ReCiPe методе учествовале су институције и компаније RIVM, CML, Pre Consultants, Radboud Universiteit Nijmegen и CE Delft из Холандије, од чијих почетних слова је креиран акроним односно назив ове методе.



Слика 7. Категорије утицаја и механизам ReCiPe [35].

Фактори карактеризације средњих и крајњих тачака израчунавају се на основу конзистентног ланца узрока-утицаја на животну средину, осим употребе земљишта и ресурса. Свака метода (средња, крајња тачка) садржи факторе према три културне перспективе. Ове перспективе представљају скуп избора по питањима попут временске

перспективе или очекивања да правилно управљање или будући развој технологије могу избећи будуће штете.

ReCiPe покрива 18 утицаја на средњу тачку и 3 утицаја на крајњу тачку и укључује око 3.000 супстанци. Подаци о нормализацији доступни су за Европу и свет 2000. године. табела 4 приказује утицаје на средњу тачку укључене у ReCiPe и факторе нормализације. Подаци о нормализацији исцрпљености слатке воде нису укључени.

Табела 4. Утицаји на средњу вредност покривени у ReCiPe и факторима нормализације [30].

Средњи утицај	Јединица	Нормална вредност (Европа) Егалитарна верзија	Нормална вредност (светске) егалитарне верзије	Нормализациона вредност (Европа) Хијерархистичка верзија	Вредност нормализације (Светска) Хијерархистичка верзија	Нормализациона вредност (Европа) Индивидуалистичка верзија	Вредност нормализације (светска) индивидуалистичка верзија
Климатске промене	kg CO ₂	0,000103	0,000182	8,9E-05	0,000146	7,06e-5	0,000106
Смањивање озонског омотача	kg CFC-11 eq	45,4	26,8	45,4	26,8	45,4	26,8
Токсичност за људе	kg 1,4-DB eq	0,000226	0,00102	0,00165	0,00835	0,00305	0,0117
Формирање фотохемијских оксиданаса	kg NMVOC	0,0177	0,0202	0,0177	0,0202	0,0177	0,0202
Формирање честица	kg PM10 eq	0,067	0,0716	0,067	0,0716	0,067	0,0716
Јонизујуће зрачење	kg ²³⁵ U eq	0,00016	0,000766	0,00016	0,000766	0,000486	0,00233
Копнено закишељавање	kg SO ₂ eq	0,026	0,0239	0,029	0,0264	0,0309	0,0282
Еутрофикација слатке воде	kg P eq	3,97	7,93	3,97	7,93	3,97	7,93
Морска еутрофикација	kg N eq	0,0806	0,111	0,0806	0,112	0,0806	0,111
Копнено закишељавање	kg 1,4-DB eq	0,0715	0,0253	0,122	0,155	0,122	0,155
Слатководна екотоксичност	kg 1,4-DB eq	0,087	0,123	0,0924	0,235	0,0925	0,236
Морска екотоксичност	kg 1,4-DB eq	0,000437	0,00052	0,242	0,756	0,304	0,947
Заузимање пољопривредног земљишта	m ² a	0,000221	0,000186	0,000221	0,000186	0,000221	0,000186
Заузимање урбане земље	m ² a	0,00245	0,0013	0,00245	0,0013	0,00245	0,0013
Природна трансформација земљишта	m ²	6,18	0,0837	6,18	0,0837	6,18	0,0837
Исцрпљивање ресурса слатке воде	m ³	0	0	0	0	0	0
Исцрпљивање минералних сировина	kg Fe eq	0,0014	0,00226	0,0014	0,00226	0,0014	0,00226
Исцрпљивање ресурса фосилних горива	kg уља eq	0,000526	0,000733	0,000526	0,000733	0,000526	0,000733

4.8. Ecological Scarcity (UBP Metoda)

UBP метода је први пут објављена у Швајцарској 1990. године. Метода је намењена за стандардно оцењивање животне средине, нпр. са специфичним производима или процесима. Поред тога, често се користи и као елемент система управљања животном средином у оквиру компанија, где је оцена аспеката животне средине компанија, (ISO 14001) подржана таквом методом одмеравања.

UBP метода, понекад названа и Швајцарска Ecorpoint метода, омогућава компаративно додељивање значајности и агрегацију различитих еколошких интервенција применом еко-фактора. Другим речима, метода садржи тежинске факторе за различите емисије у ваздух, воду и земљиште, као и за употребу енергетских ресурса.

Еко-фактори засновани су на годишњим реалним токовима (садашњи токови) и на годишњем протоку, који се сматра критичним (критични токови) у одређеном подручју (земља или регион). Метод је развијен у потпуности од врха-на-доле, и изграђен је на претпоставци да се добро утемељен оквир политике заштите животне средине (укључујући и међународне уговоре) може искористити као референтни оквир за оптимизацију и унапређење појединачних производа и процеса. Различите штете по људско здравље и квалитет екосистема, разматрају се у оквиру циљно постављеног процеса опште политике заштите животне средине. Ecorpoint метода садржи заједничке карактеризационе/класификационе приступе (за климатске промене, оштећење озонског омотача, ацидификацију). Резултати SWOT анализе приказани су у даљем тексту:

Предности:

- Обезбеђује приступ средишњег нивоа утицаја на животну средину, и донекле приступ крајњих категорија;
- Обезбеђује факторе за значајност тј. тежину различитих емисија и екстракција базираних на циљевима јавне политике животне средине;
- Обезбеђује добро дефинисане процесе нормализације и додељивања тежина.

Слабости:

- Донекле ограничена на приступ средишњег нивоа утицаја;
- Није присутна у GaVi софтверу;
- Ограничена само на одређене регионе (земље као што су Швајцарска, Јапан, Белгија).

Могућности:

- Покрива 400 супстанци.

Претње:

- Употреба ове методе, регионално ограничене на Европу, проблематична је на корпоративним нивоима компанија које послују на више континената.

Покривени индикатори категорија

- Утицаји средишњег нивоа;
 - Промена климе; Смањење озонског омотача; Стварање фотохемијских оксиданата: NMVOC;

- Респираторни ефекти: PM10, PM2.5, црни угљеник;
 - Емисије у ваздух: COD (DOC, TOC, BOD5), Фосфор, N-тотал, тешки метали (As, Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni), полицистични ароматични угљоводоници (PAH), бензо (a) пирен, адсорбована халогенизована једињења (AOX), хлороформ, радиоактивне емисије и ендокрини поремећаји;
 - Карцином изазван радионуклидима емитованим у море;
 - Емисије у подземне воде: NO₃-, емисије у земљиште: тешки метали (Cd, Pb, Cu, Zn), пестициди;
 - Отпад, потрошња шљунка;
 - Примарни енергетски ресурси;
 - Ендокрини поремећаји;
 - Губитак биодиверзитета због заузимања земљиште;
- Крајње категорије утицаја:
 - Нису конкретизоване већ дефинисане преко циљева политике животне средине.

Следећа табела приказује 7 специфичних категорија утицаја укључених у Ecological Scarcity 2006, при чему је за сваку супстанцу крајњи UBP, (тачка оптерећења околине) фактор карактеризације.

Табела 5. Категорије утицаја обухваћене Еколошке несташнице 2006: мерење и главне карактеристичне вредности [30].

Категорије утицаја	Јединица	Вредности мерења	Главне вредности карактеризације				
Емисија у ваздух	UBP	1	Диоксини (UBP/kg)	Кадмијум (UBP/kg)	Меркур (UBP/kg)	Метан, бром трифлуоро (UBP/kg)	Метан, бромхлоридифлуоро (UBP/kg)
			5.7e13	4.6e8	2.1e8	1.1e8	3.3e7
Емисија у површинске воде	UBP	1	Јод-129 (UBP/kBq)	Кириум алфа (UBP/kg)	Америциум 241 (UBP/kg)	Актиниди (UBP/kg)	Плутонијум алфа (UBP/kg)
			9.3e4	5.3e4	2.9e4	1.1e4	6.9e3
Емисија у подземне воде	UBP	1	Нитрат (UBP/kg)	-	-	-	-
			2.71e4	-	-	-	-
Емисија у горњи слој тла	UBP	1	Јодосулфурон (UBP/kg)	Кадмијум (UBP/kg)	Метсулфурон-метил (UBP/kg)	Триасулфурон (UBP/kg)	Металаксил (UBP/kg)
			4.1e8	3.1e8	2.5e8	2.2e8	2.0e8
Извори енергије	UBP	1	Плин природан, подземни (UBP/m³)	Рудник гаса, отпаци, процеси, вађење угља (UBP/m³)	Уранијум, у земљи (UBP/kg)	Сированафта, нземља (UBP/kg)	Угаљ, тврд, у земљи (UBP/kg)
			1.33e2	1.31e2	1.85e6	1.51e2	6.30e1
Природни ресурси	UBP	1	Вода, бунар, подземље (UBP/m³)	Вода, природног порекла (UBP/m³)	Вода, река (UBP/m³)	Вода, процес, природног порекла (UBP/m³)	Вода, процеси и хлађење, природног порекла (UBP/m³)
			97	97	97	97	97
Одложен отпад	UBP	1	Количина заузета, коначно складиште радиоактивног отпада (UBP/m³)	Количина заузета, коначно складиште радиоактивног отпада са малом активношћу (UBP/m³)	Количина заузета, подземно лежиште (UBP/m³)	Укупни органски угљен-ТОС (UBP/kg)	-
			1.8e10	3.3e9	4.3e7	6.28e4	-

4.9. EPS 2000

EPS метода (Environmental Priority Strategies) представља интерни развојни алат намењен компанијама, а циљна група су пројектанти производа тј. одељења за развој производа. Користи се када је неопходно донети одлуку између два производна концепта.

Развој од врха-на-доле (top-down) EPS система, довео је до отворене хијерархизације унутар припадајућих принципа и правила. Општи принципи развоја ове методе су:

- Од врха-на-доле принцип (највиши приоритет се додељује за корисност система);
- Индексни принцип (готови индекси представљају тежински и укупно вредноване утицаје);
- Подразумевани принцип (подразумева се потреба за оперативном методом);
- Принцип непоузданости (непоузданост улазних података мора бити процењена).

EPS 2000d је стандардна, тј. подразумевана метода за оцењивање утицаја у оквиру EPS система. Методу одликује и средишња и крајња структура оцењивања утицаја слично као код LIME методе. Индикатори категорије утицаја, изабрани су тако да представљају стварне утицаје на животну средину, једног или више између пет фактора: људско здравље, екосистем - производни капацитет, биодиверзитет, абиотички ресурси и рекреативне и културне вредности. Карактеризациони фактор представља суму броја специфичних карактеризационих фактора који описују просечну промену у категорији утицаја по јединици емисије - нпр. смањење рибљег прираштаја по килограму емитоване емисије SO₂. Процена је направљена на основу стандардне девијације карактеризационих фактора, због реалне варијације у зависности од локалитета емисије и непоузданости модела. То значи да су карактеризациони фактори познати само за случајеве чији су ефекти већ одређени. Карактеризациони фактори су дати за емисије дефинисане својом локацијом, количином и периодичношћу појављивања. Већина фактора дата је за глобалне услове из 1990. године и представља просечне стопе емисија. То практично значи да већи број токсичних супстанци, које су углавном присутне у траговима, има низак просечан утицај. Тежински фактори у оквиру категорија утицаја одређени су на бази воље људи да плате спречавање промене пет фактора, коју би изазвала јединична вредност категорије. Резултати SWOT анализе, као и преглед обухваћених индикатора утицаја, дати су у наставку.

SWOT анализа :

Предности:

- Помаже пројектантима и конструкторима приликом процеса одлучивања;

- Обезбеђује индикаторе утицаја на средишњем и крајњем нивоу;
- Ово је први метод који је увео утицајне категорије крајњег нивоа;
- Обезбеђује глобално признате резултате (изузетак је категорија утицаја биодиверзитет, јер су коришћени шведски модели).

Слабости:

- Сви индикатори категорија изражени су у монетарним јединицама, односно, базирани на спремности потрошача да плате да се спрече негативне промене изражене индикаторима.

Могућности:

- Покривено је око 200 супстанци;
- Примена у најпознатијим LCA софтверима (GaBi, SimaPro и др.).

Претње:

- Нису идентификоване.

Покривене категорије утицаја:

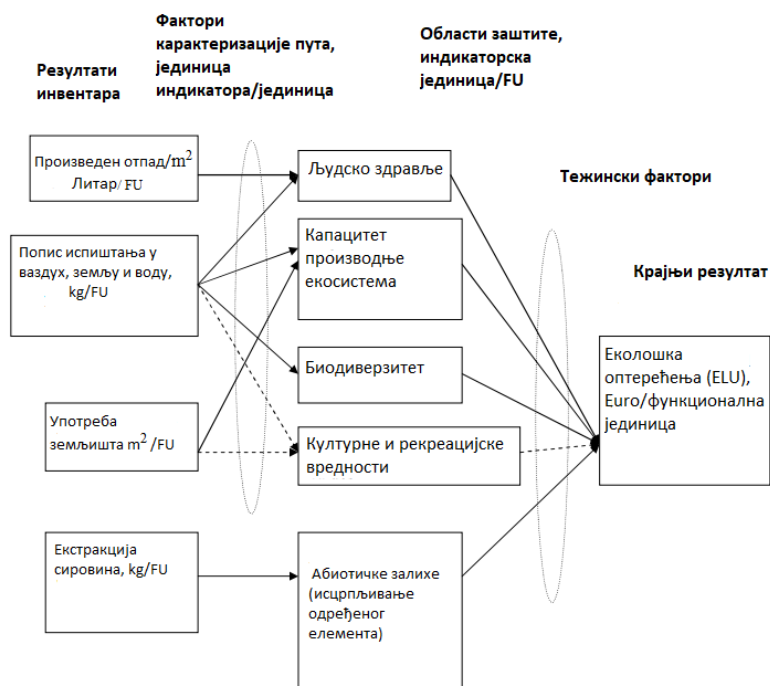
- Индикатори средњег нивоа:
 - **Људско здравље:**
 - Очекивано трајање живота;
 - Тешка стопа смртности и патњи;
 - Стопа смртности
 - Тешке сметње
 - Сметње
 - **Природна средина:**
 - Производни капацитети усева/дрва/рибе и меса;
 - Основни катјонски капацитет;
 - Производни капацитети воде;
 - Удео у изумирању врста
 - **Природни ресурси**
 - Смањење резерви елемената;
 - Смањење фосилних резерви (гас/угаљ/нафта);
 - Смањење минералних резерви (руда)
- Индикатори крајњег нивоа:
 - Људско здравље,
 - Екосистем,
 - Биодиверзитет и
 - Абиотички ресурси [7].

Методологија EPS 2000 идентификује пет области заштите, као што је приказано у Табели 6. Табела показује да је свако од ових подручја заштите даље рашчлањено на категорије утицаја са припадајућим квантитативним индикатором. Табела 6 такође приказује факторе мерења, који ће бити размотрени касније.

Табела 6. Подручја заштите, повезани индикатори категорије утицаја, јединице индикатора и фактори пондерирања

Подручје заштите	Категорија утицаја	Индикатор категорије	Индикаторска јединица	Фактор мерења
Људско здравље	Очекивано трајање живота	Године изгубљеног живота (YOLL)	Године особе	85000
	Тешка смртност	Тешка смртност	Године особе	100000
	Морбидитет	Морбидитет	Године особе	10000
	Тешка сметња	Тешка сметња	Године особе	10000
	Сметња	Сметња	Године особе	100
Капацитет производње екосистема	Капацитет за раст усева	Усев	kg	0.15
	Капацитет раста дрвета	Дрво	kg	0.04
	Капацитет за производњу рибе и меса	Риба и месо	kg	1
	За кисељавање тла	Базни катионски капацитет тла	Mole H ⁺ - еквиваленти	0.01
	Производни капацитет воде за наводњавање	Вода за наводњавање	kg	0.003
	Производни капацитет за питку воду	Вода за пиће	kg	0.03
Абиотски основни ресурси (фосилна горива и елементи)	Исцрпљивање ресурса	Резерве ресурса	kg ресурса	Значајне варијације
Биодиверзитет	Изумирање врста	NEX	бездимензионално	1.1 x 10 ¹¹
Рекреативне и културне вредности	Није дефинисано			

На слици 8 приказана је методологија помоћу које се израчунавају утицаји подручја заштите од екстракција и других ефеката. Фактори карактеризације утврђују се за сваки засебни идентификовани пут којим одређени испуст, врста употребе земљишта или смеће утичу на идентификована подручја заштите.



Слика 8. Шема LCIA методологије за EPS

На примеру, сви идентификовани путеви за емисију у ваздух, воду и тло приказани су у табели 7. Нема примене фактора карактеризације у случају инвентарисаних сировина, јер су утицаји изражени у маси исцрпљивања одређеног елемента (тј. фактор карактеризације = 1).

Са слике 8 се може закључити да EPS 2000 не изричито агрегира утицаје на средњу тачку, попут климатских промена, закисељавања или токсичности за људе, већ се ова врста утицаја узима у обзир у специфичним факторима карактеризације.

Табела 7. Идентификовани путеви између испуштања залиха, екстракција и ефеката и подручја заштите

Идентификовани путеви између инвентарних издања, екстракција и ефеката и утицаја на крајње тачке		
Закишељавање	Директно излагање	Храњива
Акутно здравље	Еутрофикација	Мирис
Оштећење мозга	Ограничење риболова	Орални унос
Рак	Поплава	Формирање оксиданата
Хронично здравље	Глобално загревање	Оксиданти
Климатске промене	Топлотни удар	Репродукција
Ћубрење CO ₂	Удисање	Секундарне честице
Корозија	Маларија	Гладовање
Дезертификација	N – храњива материја	Видљивост

Методологија EPS 2000 не покушава да изрази нормализоване утицаје и као такви у њој нису утврђени фактори нормализације.

Слика 8 показује да EPS 2000 методологија, с друге стране, одређује метод за мерење категорија утицаја који олакшава здруживање у један квантитативни резултат. Агрегација се заснива на принципу спремности за плаћање (WTP - willingness to pay). [18].

4.10. Eco - effect

Метода Еко - Ефекат развијена је са циљем да квантитативно опише утицај околине и здравља на грађевине, како би пружила подршку при одлучивању за поређења и одлуке које могу довести до смањеног утицаја на животну средину. Табела 8 приказује подручја која су процењена у методи и методе које се користе за свако целокупно подручје [20], [21].

Табела 8. Области евалуације у Eco - effect -у и методе за евалуацију.

Укупна област евалуације	Метода евалуације	Подручје евалуације у програму Eco-effect
Спољни утицаји на животну средину	LCA	Потрошња енергије
		Употреба материјала
Унутрашњи утицаји на животну средину	Анализа са више критеријума	Затворено окружење на имању
		Отворено окружење на имању
Еколошки трошкови током животног века зграде	Израчун нето садашњих трошкова за одређене интернализоване трошкове	Трошкови животног циклуса (LCC)

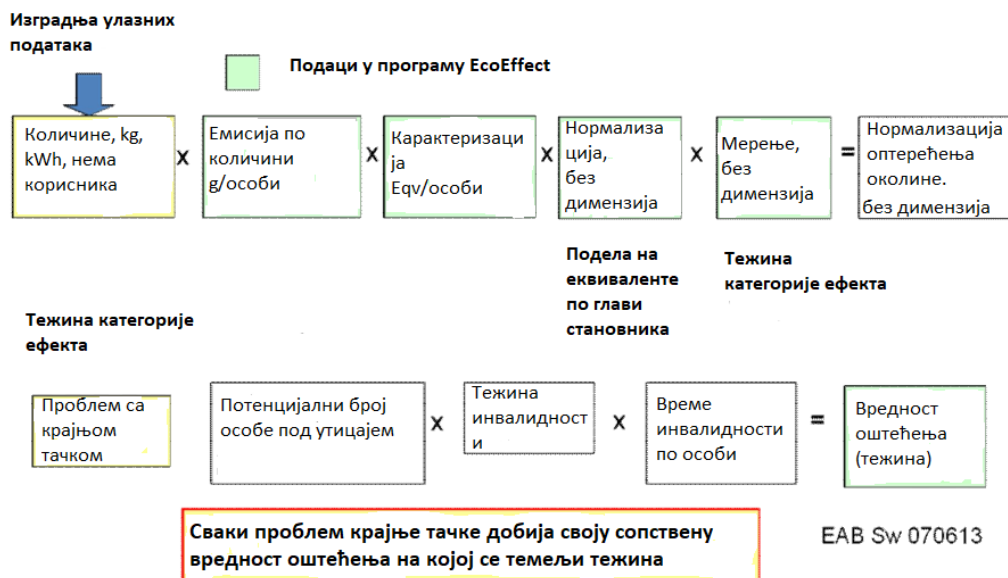
Посебно релевантна за овај извештај је метода процене LCA која се користи за процену спољних утицаја на животну средину од коришћења енергије и материјала. У случају емисија у земљу, ваздух и воду, подаци о инвентару за одређену инфраструктуру извлаче се из базе података за енергетске векторе и грађевинске материјале у софтверу Еко-Ефекат. Утицаји емисија су затим класификовани и окарактерисани према категоријама утицаја софтвера и показатељима средње тачке приказаних у табели 9, која такође показује факторе нормализације који се користе у алату.

Табела 9. Категорије утицаја, јединице индикатора и фактори нормализације

Категорија утицаја	Индикаторска јединица, по особи, год	Нормализациона вредност	Регион нормализације	Извор
Климатске промене	gCO ₂ -e	8 700 000	Светски	(Wenzel, Hauschild, & Alting,
Закишељавање	g CFC11-	202	Светски	(Wenzel, Hauschild, & Alting
Стратосферски озон	g SO ₂ -e	124 000	Шведски	(Swedish EPA, 2002)
Еутрофикација	g NO ₃ -e	298 000	Шведски	(Swedish EPA, 2002)
Озон ниског нивоа	g C ₂ H ₄ -e	20 000	Дански	(Wenzel, Hauschild, & Alting

Категорија утицаја	Индикаторска јединица, по особи, год	Нормализациона вредност	Регион нормализације	Извор
Токсичност за људе	m ³ /g	Зависи од супстанце	Дански	(Wenzel, Hauschild, & Alting, 1997)
Екотоксичност	m ³ /g	Зависи од супстанце	Дански	(Wenzel, Hauschild, & Alting, 1997)
Јонизујуће зрачење	kWh	7 422	Шведски	(Energimyndigheten, 2003)
Гломазни отпад	G	1 350 000	Дански	(Wenzel, Hauschild, & Alting
Шљака и пепео	G	350 000	Дански	(Wenzel, Hauschild, & Alting
Опасан отпад	G	20 700	Дански	(Wenzel, Hauschild, & Alting

Преглед методе израчуна који се користи у Еко - Ефекту LCA методологији приказан је на слици 9.



Слика 9. Шематски преглед методологије израчунавања која се користи за емисије у земљу, ваздух и воду у Еко-Ефекту [20].

Нормализација у Еко-Ефекту

Се врши проценом утицаја по глави становника. Еко - Ефекат метода спомиње да је при одређивању фактора нормализације по глави становника важно повезати емисије са вероватноћом да проузрокују штету. Важно је обратити пажњу на то где се емисије јављају и како се шире у окружењу. Међутим, у одређивању задатих фактора такође је прихваћено у Еко - Ефекту да је веома тешко утврдити тачне нормативне факторе засноване на овом принципу, јер се у стварности емисије јављају на толико различитих локација, имајући у виду животни циклус инфраструктуре. Као што је приказано у табели 10, изражена је разлика између вероватноће проузроковања штете одабиром глобалних фактора нормализације за категорије утицаја које се сматрају глобалним, (наиме потенцијал глобалног загревања и потенцијал оштећења озонског омотача), док су за остале факторе локални или регионални фактори изабрани. Нормализација се такође врши за инвентарисане податке о исцрпљењу природних ресурса, изражених у kg/особа по години. У овом случају користе се вредности светске потрошње по особи годишње, приказане у табели 10.

Табела 10. Фактори нормализације и фактори мерења који се користе за природне ресурсе у Еко-Ефекту, на основу годишњих података о светској потрошњи.

	Фактор нормализације, kg/особа, год	Фактор ефекта, (тежина)
Бакар	1,9	1
Алуминијум	3,6	0,59
Олово	0,5	1
Гвожђе	176	0,68
Хром	2,1	0,33
Никал	0,2	0,67
Цинк	1,3	1,04
Уље	591	0,73
Угаљ	186	0,35
Фосилни гас	271	0,52
Песак	20	0,6
Цемент	257	0,46
Фосфат	23	0,95
Дрво	587	0,38
Тресет	4,5	0,25
Уранијум	5,4	0,3
Гипс	29,4	0,43

Пондерисање

У Еко - Ефекту, мерени утицаји се засебно извештавају за:

1. емисије у ваздух, земљу и воду;
2. производњу отпада и
3. исцрпљивање природних ресурса.

1) Емисија у ваздух, земљу и воду

Да би се постигли мерни и агрегирани резултати, прво за сваки индикатор средњих тачака у табели 11, идентификовано је више категорија утицаја на крајњу тачку. Категорије крајњих тачака дефинисане су као утицаји који директно утичу на људе. Примери ових утицаја на климатске промене и утицај на човека и екотоксичност дати су у табели 11 и табели 12.

Табела 11. Идентификоване категорије крајњих тачака за климатске промене средње категорије

Утицај крајње тачке климатских промена у средњој категорији
Маларија
Денга грозница
Кардиоваскуларне болести
Респираторне болести
Смањена берба (изједначена са смањеном запослености у пољопривредном сектору)
Смањени раст шума (једнак смањењу запослености у пољопривредном сектору)
Изгладњивање
Несреће утапања
Миграција становништва

Табела 12. Категорије утицаја на крајњу тачку за категорију утицаја на човека и екотоксичност

Утицај крајње тачке екотоксичност људи у средњој категорији
Проблеми са кожом
Проблеми са очима
Тровање
Проблема са дисањем
Астма
Алергије
Рак плућа
Рак коже
Рак јетре
Рак желуца
Оштећење нерава
Неуролошка оштећења
Неплодност
Оштећење фетуса
Наслеђене повреде
Физички инвалидитет
Смањена берба (изједначена са смањеном запослености у пољопривредном сектору)

Утицаји крајње тачке квантитативно се процењују коришћењем вредности штете, изражене у годинама, израчунато према DALY систему. Групне вредности оштећења за утицаје у средњој тачки израчунавају се као збир вредности оштећења за одговарајуће идентификоване утицаје на крајњу тачку, као што је приказано у табели 13. Тако израчунате вредности мерења могу се множити са одговарајућим нормализованим вредностима утицаја на средњу тачку за функционалну јединицу која разматрају и збрајају да би се добио укупан квантификовани утицај на животну средину у DALY.

Табела 13. Вредности оштећења које се користе за пондерисање утицаја, обједињене према утицајима у средњој тачки

	Укупна вредност штете (DV), DALY, 10 ⁶ година	Снижене вредности оштећења (DV), природни логаритам укупне вредности оштећења
Климатске промене	109 455	25,42
Стратосферско смањивање озона	11	16,29
Закисељавање	2	14,65
Еутрофикација	143	18,78
Озон ниског нивоа	45	17,64
Човечанство и екотоксичност	28 156	24,06

Снижене вредности пондерисања

Аутори Еко - Ефекта су такође одлучили да користе факторе са сниженим пондером. Идеја је да се одређени временски аспекти климатских промена и еутрофикације рађају у много дужем временском распону. Пондерисање без снижења би сугерисало да су климатске промене једини аспект животне средине који треба размотрити, без обзира на ефекат мање дуготрајних утицаја попут закишељавања или смањења озонског омотача. Због тога се предлаже смањење, не са циљем да се смањи значај будућих утицаја на животну средину, већ да се осигура да утицаји које ми доживљавамо у сопственом животном добу морамо да решимо како не би били преплављени будућим утицајима [20].

2) Пондерисање за производњу отпада

У систему за пондерисање Еко - Ефект-а, категорија отпада се третира одвојено у процесу пондерисања, користећи факторе пондера на основу оних који се користе у УМIP као што је приказано у табели 14 [22].

Табела 14. Фактори за пондерисање отпада који се користи у Екоэффекту [22].

Категорија	Фактори пондерирања
Гломазни отпад	1.1
Опасан отпад	1.1
Шљака и пепео	1.1

3) Пондерисање за исцрпљивање природних ресурса

Да би се укупна потрошња природних ресурса објединила у једну категорију, значај потрошње јединице тог ресурса повезан је са значајем потрошње једног материјала, у овом случају бакра. Фактори мерења који се користе приказани су у Табели 15.

За сваки материјал, укључујући бакар, израчунавају се показатељи који се односе на аспекте приказане у табели 15. Ово пондерисање заснива се на аналитичкој хијерархијској процени (АНР). За дату не-бакарну супстанцу, вредност индикатора за ту супстанцу је упоређена са одговарајућом индикаторском вредношћу за бакар и дата је вредност индикатора на основу тог поређења. За супстанцу без бакра, упоредни резултати индикатора сакупљају се према релативном пондеру у табели 15, да би се добили коначни пондери приказани у табели 15 [24].

Табела 15. Аспекти који се користе за утврђивање параметара пондерисања за исцрпљивање ресурса у Еко - Ефект-у [25].

Аспекти евалуације	Релативна тежина
Хоризонт снабдевања	0,467
Стопа промене експлоатације	0,117
Тржишна вредност	0,135
Обнављање енергије	0,047
Време регенерације	0,234
Сума	1,000

5. LCA и управљање отпадом

Отпад представља неизбежан "производ" друштва. Пракса управљања отпадом првенствено се заснива на избегавању негативног утицаја отпада на јавно здравље. Ипак, уважавањем чињенице да отпад представља ресурс различитих материјала, од друштвене заједнице се очекује да отпадом управља на крајње ефикасан и одржив начин.

Студија LCA се може користити у сврху упоређивања утицаја на животну средину разних алтернативних начина третмана отпада, и помоћу ње се могу идентификовати кључни делови система где су могућа одговарајућа побољшања.

Као основни задатак LCA анализе поставља се питање почетка животног циклуса чврстог отпада. Почетни корак представља тренутак када корисник одбацује материјал или производ као отпад, односно када процени да он више нема захтевану употребну вредност. За отпад из домаћинства под почетном тачком се обично подразумева отпад одбачен у посуду (канту, кесу) за сакупљање смећа. На сам ток отпада значајан утицај имају редукција отпада на извору, минимизација отпада и неки други процеси, који за циљ имају унапређење система животне средине. Коначна тачка у животном циклусу комуналног чврстог отпада подразумева његов финални третман и/или одлагање у неки сегмент животне средине. Тако на пример, инсинерација и депоновање треба да представљају два начина коначног одлагања отпада.

Међутим, са становишта животног века отпада, треба нагласити да инсинерација захтева одлагање остатака из процеса сагоревања, најчешће кроз процес депоновања. Са друге стране, депоновање чврстог отпада није коначно "одлагалиште" за гасовите и течне емисије (депонијски гас и процедурне воде).

Отпад може да добије нову вредност у форми компоста (кроз процес компостирања), секундарних материјала, горива (RDF) или као енергент кроз процес термичког третмана. Дефинисање тачке у којој отпад престаје да буде отпад и добија одређену употребну вредност је од великог значаја за процес LCA. Опште границе система за интегрисани систем управљања отпадом шематски су приказане на слици 10. [28]



Слика 10. Границе система за оцењивање животног циклуса чврстог отпада

Проблематика коришћења енергије у оквиру система управљања чврстим отпадом захтева посебна разматрања. Улаз у систем представља и гориво које је потребно за транспорт отпада (бензин, дизел, гас), али и електричну енергију која се користи у постројењима за прераду отпада. LCA студије управљања отпадом укључују и оптерећења животне средине насталих као последица потрошње ресурса и емисија, које потичу од производње енергије која се користи у систему управљања отпадом. Економски улази у систем управљања чврстим отпадом обухватају следеће врсте трошкова:

- Трошкови сакупљања отпада,
- Трошкови сортирања,
- Трошкови разних опција третмана,
- Трошкови транспорта и
- Трошкови коначног одлагања на депоније.

Са друге стране, евидентирају се приходи система који могу да се остваре од продаје рециклабилних материјала, компоста и енергије. Одузимањем прихода од трошкова добија се износ нето трошкова рада система.

6. Вишекритеријумско одлучивање (ВКО)

Вишекритеријумско одлучивање (ВКО), представља релативно нову дисциплину која, кроз свој развој, треба да пружи подршку доносиоцима одлука који се, у највећем броју случајева, суочавају са веома бројним и, веома често, утицајним факторима и интересним групама. Овај алат припада области теорије одлучивања у оквиру које је интегрисан велики број дисциплина: математика, статистика, економија, психологија, социологија, филозофија, организационе науке, информатичке технологије и др. Кратак преглед историјског развоја ове методе открива чињеницу да је појам вишекритеријумског доношења одлука (MCDM - Multi- Criteria Decision Making) први пут, током 1972., године уведен у науке о менаџменту у Сједињеним Америчким Државама. Европску "верзију" ове методе представља анализа мултикритеријумског одлучивања (MCDA - Multi-Criteria Decision - Analysis). Ове методе, имају за циљ да се, у оквиру транспарентног процеса, дође до оптималног и компромисног решења и да се максимално побољша квалитет одлука које укључују задовољење више критеријума да би, на крају, избор био што експлицитнији, рационалнији и ефикаснији.

Заједничка карактеристика свих MCDM(A) приступа је у усвајању неколико појединачних и често супротстављених критеријума што, кроз мултидимензионални начин, доводи до снажније подржане одлуке у односу на неке једнодимензионалне процедуре (CBA - Cost Benefit Analysis, Анализа трошкова и добити). Базични приступ подразумева идентификацију одређеног броја алтернатива (као што су различити сценарији управљања отпадом), затим оцењивање у складу са усвојеним критеријумима који су важни за модел, и дефинитивно, рангирање опционих решења. Основни циљ представља креирање структуре процеса који доводи до дефинисања циљева, формирања алтернатива и поређење различитих перспектива уз селекцију прихватљивих у односу на неприхватљиве могућности. Процес одлучивања у теорији менаџмента се разматра као део процеса решавања одређеног проблема [24].



Слика 11. Основни модел ВКО (MCDM) оквира [25].

Процес одлучивања се реализује по фазама које су приказане на слици 11. У ширем смислу, процес одлучивања обухвата све фазе процеса одлучивања које су приказане на слици 11. У ужем смислу, под одлучивањем се подразумева оцена и избор најбоље алтернативе из скупа допустивих алтернатива. У оквиру првог корака, неопходно је јасно дефинисање обима и главних циљева у смислу успостављања контекста одлуке. Ови циљеви морају бити специфични, реални и мерљиви ради идентификације свих могућих и одрживих опција њихове реализације. Друга фаза у реализацији овог типа модела управо захтева идентификацију свих могућих алтернатива за постизање прокламованих циљева. У трећем кораку, доносиоци одлука дефинишу критеријуме за оцењивање перформанси које одражавају степен реализације циљева. У оквиру ове фазе додељују се и тежински коефицијенти и дефинишу евентуални приоритети међу критеријумима. Последња фаза спровођења ВКО процедуре, подразумева оцењивање и рангирање разматраних опција, а у циљу оптималног или компромисног избора. Међу групама критеријума, који у оквиру ове методе најчешће користе, су економски, еколошки и енергетски критеријуми. Као коначни резултат процеса ВКО, најчешће се наводе три типа задатака:

- Добијање једног оптималног решења – вишекритеријумска оптимизација;
- Рангирање добијених решења – алтернатива;
- Издавање скупа прихватљивих, од скупа неприхватљивих алтернатива.

Код уобичајеног ВКО приступа, посматра се коначан скуп алтернатива (опција, потенцијалних решења) $A_i \in A$. Свако алтернативно решење се може вредновати са аспекта више критеријума (атрибута), $C_j \in C$. Алтернативе (A_i) и критеријуми (C_j) и њихови међусобни односи се могу представити у облику матричне табеле или такозване **матрице одлуке** (табела 16) [25].

Табела 16. Приказ повезаности алтернатива и критеријума - матрица одлуке

		Критеријуми					
		$C_1(W_1)$	$C_2(W_2)$	...	$C_j(W_j)$	...	$C_n(W_n)$
Алтернативе (сценарија)	A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1n}
	A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2n}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
	A_i	x_{i1}	x_{i2}	...	x_{ij}	...	x_{in}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
	A_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mj}	...	x_{mn}
	max/min	max	max	...	min	...	min

Сваки од критеријума (C_j) може бити максимизационог (max) или минимизационог (min) типа у складу са природом величине коју карактерише. У табели 16, величина x_{ij} представља вредност i -те алтернативе у односу на j -ти критеријум, а W_j је тежински коефицијент j -тог критеријума. На основу карактера критеријума, вредности алтернатива према критеријумима, x_{ij} , су представљене нумерички, или одређеним квантитативно-квалитативним лингвистичким исказима. Сваки од критеријума нема подједнаку важност за доносиоце одлука, па се њихов значај представља тежинским коефицијентом - W_j . Ови коефицијенти имају своје апсолутне (рејтинзи) и релативне вредности (тежински коефицијенти). У овом сегменту поступка ВКО, приликом одређивања рејтинга појединих критеријума, долази до значајног утицаја појединачног или групног субјективизма доносилаца одређених одлука. Потребно је, пре свега ради унапређења квалитета анализе, тај субјективизам свести на најмању могућу меру. У последњој фази сваке процедуре ВКО, може се испитивати стабилност решења (избора једне или више алтернатива) на промене улазних података, али и на промене релативних тежинских коефицијената критеријума. Уколико се поредак алтернатива не мења, закључује се да су резултати робусни и поуздани. Додељивање тежинских коефицијената може бити један од најспорнијих сегмената вишекритеријумских метода, што се превазилази варијацијом тих фактора. У пракси се, при решавању вишекритеријумских проблема, релативно често користи више различитих метода анализе, како би се и на тај начин, испитала осетљивост резултата и обезбедила контрола конзистентности одлучивања.

SAW (Simple Additive Weighting Method) метода, или метода адитивних тежинских фактора представља једну од најпознатијих, релативно једноставних и најшире коришћених поступака, која даје сличне резултате као и знатно комплексније методе вишекритеријумског одлучивања. Овај поступак за разлику од претходно описаних, узима у обзир тежинске коефицијенте критеријума. Сваком од критеријума, потребно је придружити тежински фактор (пондер) који додељује директно доносилац одлуке, или се добија применом неке од познатих метода за одређивање тежинских коефицијената критеријума. За сваку од разматраних алтернатива рачуна се збирна карактеристика, односно вредност суме производа релативних тежинских фактора и

нормализованих вредности перформанси по свим критеријумима. Алтернатива са највећом вредношћу, представља најбоље од понуђених решења: [26].

$$A = \{ A_i | \max_i \sum_{j=1}^n W_j' r_{ij} \} \quad (13)$$

W_j' представља нормализовану вредност тежинског коефицијента W_j :

$$W_j' = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (14)$$

Вредности r_{ij} се добијају на један од два начина, већ поменутог поступка линеарне нормализације. Примена SAW методе подразумева приступ вишеатрибутског одлучивања у оквиру кога припада подгрупи *метода корисности*.

6.1. Предности и ограничења приступа ВКО

Предности ВКО приступа у решавању разматраног проблема су:

- Могућност укључивања одређеног број "конфликтних" група критеријума у процес планирања управљања отпадом;
- Коришћење квантитативних и квалитативних критеријума за вредновање алтернатива пројекта управљања комуналним отпадом;
- Флексибилност у смислу постојања алтернативних категорија критеријума евалуације;
- Могућност групног одлучивања, где и сваки доносилац одлуке, из редова заинтересованих субјеката у процесу, добија свој тежински коефицијент;
- Мултидисциплинарни приступ који омогућава комплетно сагледавање сложених природних система и плуралитета вредности животне средине и различитих перцепција одрживог развоја;
- Систематски приступ вредновању опција помаже разумевање проблема и
- Равноправност неекономских критеријума.

Током примене ових модела, доносиоци одлука се сусрећу и са одређеним ограничењима и недостатцима оваквог приступа:

- Ризик појаве извесног степена конфузије приликом избора алтернативних решења у оквиру пројекта;
- У области управљања отпадом, модели ВКО дају само процену алтернативних решења и не дају никакве препоруке у смислу смањења количина отпада;
- Приликом коришћења ових модела оставља се релативно велики простор за субјективан избор критеријума, као и одговарајућих тежинских коефицијената (сличан проблем се јавља и код примене LCA методе) и
- Потребно је учешће стручњака из већег броја области.

Приликом решавања 3Е проблема (екологија, енергија, економија) различити утицајни фактори имају различите јединице, тако да нормализација њихових вредности и свођење на универзалну јединицу има суштински значај у смислу међусобне упоредивости фактора. Поред тога, треба имати у виду да су у процесе управљања комуналним отпадом укључене различите интересне групе (влада, комунално предузеће и становништво) и да њихова различита гледишта треба узети у обзир приликом доношења одлука [27].

7. Симулација сценарија управљања комуналним чврстим отпадом кроз примену софтверског пакета EASETECH

Софтверски пакет **EASETECH** (EASEWASTE) развијен је на Техничком Универзитету у Данској. Његов назив представља акроним за **E**nvironmental **A**ssessment **S**ystem for **E**nvironmental **T**ECHnologies и сам пакет представља унапређену верзију софтверског алата - EASEWASTE. Основна намена овог програмског пакета је оцењивање животног циклуса сложених система управљања комуналним отпадом кроз праћење токова свих врста материјала присутних у процесу. Резултати утицаја на животну средину, током читавог животног циклуса, могу бити представљени кроз утицај комплетног система управљања отпадом или као утицаји појединачних сегмената (модула). Софтверски алат EASETECH је искоришћен за одређивање вредности осам стандардних еколошких категорија утицаја на животну средину. У циљу квалитативног рангирања обе групе предложених сценарија, примењена је и метода вишекритеријумске анализе (SAW) и извршено поређење одговарајућих резултата [29].

У оквиру овог одељка, представљени су резултати симулације функционисања система управљања отпадом за четири формирана сценарија (1E, 2E, 3E и 4E). За свако од предложених варијантних решења извршена је симулација за један састав комуналног отпада. У табелама 17 и 18 су приказане вредности за укупно осам стандардних категорија утицаја (потенцијал токсичности по људе НТР, представљен је са две подкатеорије НТР-С и НТР-NC). Карактеризовани фактори утицаја, где сваки фактор утицаја има своју карактеристичну јединицу, приказани су у табели 17. Нормализоване вредности категорија утицаја приказане су у табели 18 кроз заједничку јединицу за све факторе, која представља утицај по појединцу PE – Personal Equivalent [1].

7.1. Дефинисање система и основни улазни параметри

За потребе истраживања овог рада, дефинисан је систем управљања комуналним чврстим отпадом. Моделиран је систем управљања комуналним отпадом, који би се односио на град Крагујевац. У табели 17 представљени су основни подаци, за град Крагујевац.

Табела 17. Основни подаци за град Крагујевац

Град Крагујевац	
Број становника	179,417
Прорачунски период (временски хоризонт)	2014 - 2034
Производња отпада по становнику (kg/дневно)	0,75
Годишња стопа раста производње отпада	1,5

У табели 17, број становника за град Крагујевац у складу је са резултатима пописа становништва у Републици Србији из 2011. године. Вредност генерисане количине отпада представља резултат обраде и систематизације података вишегодишњег евидентирања и мерења масених токова отпада која су спроведена у оквиру постојећег система управљања комуналним отпадом на територији града Крагујевца [1].

Табела 18. Састав отпада различитог географског порекла

Фракција отпада	Тип отпада
	Састав 1 (%)
Органски	31,43
Баштенски	11,29
Папир и картон (амб.)	13,04
Папир (остало)	8,07
Дрвни (амб.)	1,05
Дрвни (остало)	0,62
Стакло (амб.)	3,02
Стакло (остало)	2,02
Метални (амб.)	1,77
Метални (остало)	1,06
Пластика (амб.)	13,23
Пластика (остало)	3,68
Остали отпад	9,72
Σ	100

У табели 18 дат је преглед морфолошких карактеристика комуналног чврстог отпада за град Крагујевац. У првом, прелиминарном кругу симулација, сва алтернативна решења ће бити оцењивана и рангирана на основу података везаних за састав 1 отпада. Остале процентуалне расподеле фракција отпада биће коришћене у оквиру спроведених анализа осетљивости резултата, а у контексту очекиваних промена локалног састава отпада у блиској будућности. Наиме, у Србији, као земљи у развоју, у наредном периоду се могу очекивати одређене промене у навикама и стандарду становништва, што ће последично, довести до промена у саставу отпада. Очекује се да локални састав

отпада, временом "еволуира" ка саставима отпада са, пре свега, мањим садржајем органске компоненте.

7.2. Моделирање варијантних решења применом софтверског пакета EASETECH

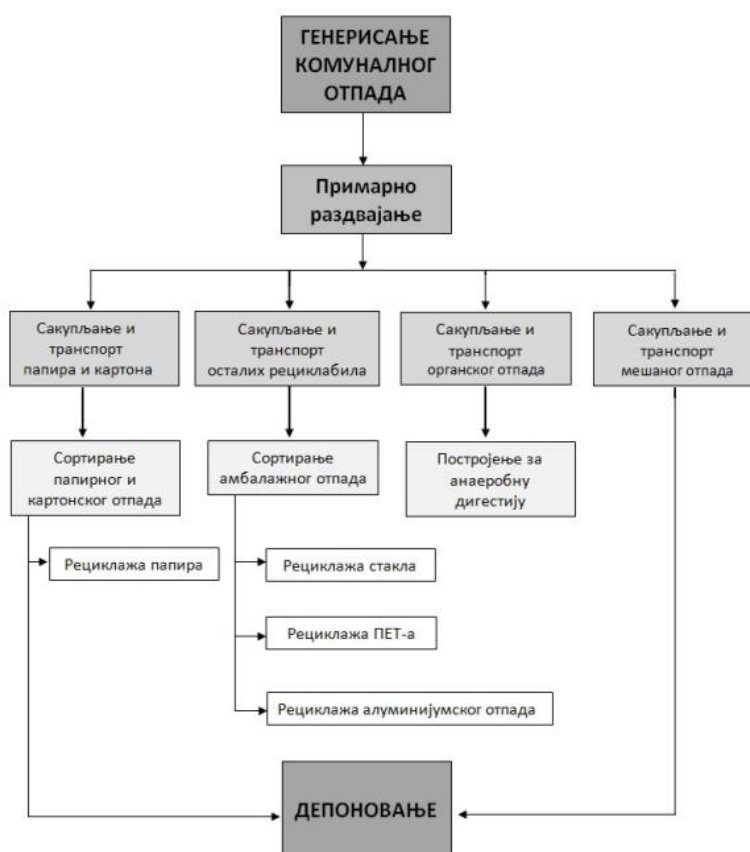
У циљу додатног поређења одређених изабраних технологија третмана са аспекта њиховог утицаја на животну средину, конципирана су четири сценарија управљања комуналним чврстим отпадом на територији града Крагујевца. У овом делу рада формиран су следећи сценарији чији ће се фактори утицаја испитивати кроз употребу софтверског пакета EASETECH [29] :

- 1) **Сценарио 1Е** подразумева процесе сакупљања, транспорта и коначног одлагања комплетног комуналног отпада (56 158 тона) на депонију. Депонија, предвиђена за овај сценарио, поседује инсталиран систем за сакупљање депонијских гасова и њихово искоришћење у енергетске сврхе.
- 2) **Сценарио 2Е** у коме се део, претежно амбалажног отпада (стакло, папир, Al), преусмерава у процесе рециклаже (21%, 11.707 тона), док се преостали део (77%, 44.391 тона) одлаже на депонију истих карактеристика као у сценарију 1Е.
- 3) **Сценарио 3Е** предвиђа, у односу на претходни сценарио, да се поред рециклаже амбалажног отпада (21%, 11.707 тона) и одговарајући део органског отпада усмери ка постројењу за компостирање (15%, 8.468 тона). Остатак отпада се одвози на депонију (64%, 35.983 тоне) која такође има инсталиран систем за сакупљање депонијских гасова.
- 4) У оквиру **Сценарија 4Е** планирана је рециклажа амбалажног отпада (21%, 11.707 тона), али се део органског отпада преусмерава у процес анаеробне дигестије (15%, 8.468 тона), док се преостали отпад одлаже на депонију (64%, 35.983 тоне), на којој се третман отпада одвија на истоветан начин, као и код претходна три сценарија, уз постојање система за сакупљање и искоришћење депонијских гасова [1].

У табели 19, приказане су, у процентуалном и апсолутном износу, количине отпада према врсти третмана за сваки од четири формирана сценарија.

Табела 19. Количине отпада према врсти третмана

Сценарио	Третман отпада								Систем за сакупљање депонијског гаса
	Рециклажа		Биолошки третман				Депоновање		
			Компостирање		Анаеробна дигестија				
	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	
Сценарио 1Е	0	0	0	0	0	0	100	56,158	Има
Сценарио 2Е	21	11,707	0	0	0	0	79	44,391	Има
Сценарио 3Е	21	11,707	15	8,468	0	0	64	35,983	Има
Сценарио 4Е	21	11,707	0	0	15	8,468	64	35,983	Има



Слика 12. Ток отпада код сценарија 4Е [1].

На слици 12 приказан је ток отпада за сценарио 4Е.

Овај сценарио предвиђа да се након примарног раздвајања генерисаног отпада приступи сакупљању и транспорту четири одвојене фракције отпада:

- папира и картона,
- осталих рециклабила,
- органског отпада и
- мешаног отпад

Папирни и картонски отпад, као и остали рециклабили, пролазе кроз процес сортирања и даљег преусмеравања у постројења за рециклажу. Неискоришћени део ових фракција отпада се одвози на депонију. Након сакупљања и транспорта, органска компонента отпада се транспортује до постројења за анаеробну дигестију. Компонента мешаног отпада се, по завршетку сакупљања, транспортује на депонију, јер за ову отпадну фракцију, у оквиру овог сценарија, није предвиђена посебна технологија третмана [1].

7.3. Анализа вредности стандардних еколошких категорија утицаја

У овом одељку представљени су резултати анализе инвентара животног циклуса (LCIA), за четири конципирана сценарија. Анализом је обухваћено следећих осам параметара – категорија утицаја:

- Потенцијал глобалног загревања, GWP;
- Потрошња абиотичких ресурса, обновљивих и необновљивих, ADP;
- Потенцијал потрошње озона, ODP;
- Потенцијал ацидификације (закишељавања);
- AP Потенцијал еутрофикације, обогаћивање водених ресурса нутритијентима (Азотом и Фосфором), EP;
- Потенцијал формирања фотохемијских оксиданата (SO₂, CO, NO_x), POCP;
- Потенцијал токсичности за људе, HTP и
- Емисије ситних честица у ваздуху, PM.

Када су у питању израчунате вредности фактора утицаја, осим делимично код сценарија 4E, нису забележена већа одступања приликом промене састава отпада. Сценарио 4E се показао као еколошки најповољнији, при чему је у чак шест категорија утицаја (GWP, ADP, ODP, HTP-C, HTP-NC и PM) имао најбоље вредности фактора. Остала три сценарија су показала релативно блиске вредности код већине фактора утицаја, али се, као потенцијално еколошки најнеповољнији, делимично издваја сценарио 3E. Сценарио 1E, који представља једноставан систем управљања отпадом (депоновање комплетног комуналног отпада, уз постојање система за сакупљање и енергетско искоришћење депонијског гаса), остварио је релативно добре еколошке показатеље, при чему је у три категорије имао најбоље вредности утицајних фактора.

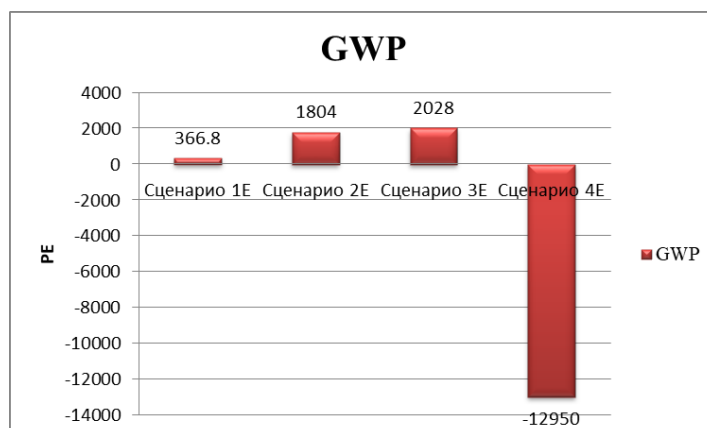
Свака од анализа одабраних категорија утицаја, обухватила је испитивање промене вредности ових индикатора, у складу са варијацијом састава отпада. Вршена је валоризација перформанси предложених сценарија за Састав 1 [1].

Табела 20. Карактеризоване вредности стандардних категорија (фактора) утицаја [1].

Сценарио	Састав отпада	ФАКТОР УТИЦАЈА (карактеризовани фактори)							
		GWP kg CO ₂ -eq	ADP MJ	ODP (kg CFC-11- eq)	AP (kg SO ₂ -eq)	EP (kg NO _x -eq)	POCP (kg MNVOС)	НТР* (CTU)	PM (kg PM 2,5- eq)
Сценарио 1Е	Састав 1	2,836×10 ⁶	1,512×10 ⁸	0,001472	6533	1,112×10 ⁴	1,032×10 ⁴	0,0003408	148,7
								0,03324	
Сценарио 2Е	Састав 1	1,395×10 ⁷	1,049×10 ⁸	0,0003864	1,428×10 ⁵	2,997×10 ⁵	2,506×10 ⁵	0,000265	707,8
								0,02434	
Сценарио 3Е	Састав 1	1,568×10 ⁷	1,124×10 ⁸	0,0004031	1,43×10 ⁵	3,002×10 ⁵	2,518×10 ⁵	0,000247	702,3
								0,0221	
Сценарио 4Е	Састав 1	- 1,001×10 ⁸	- 1,264×10 ⁹	-0,03766	1,428×10 ⁵	2,997×10 ⁵	2,453×10 ⁵	-0,008763	- 6815
								-1,066	

Табела 21. Нормализоване вредности стандардних категорија (фактора) утицаја [1].

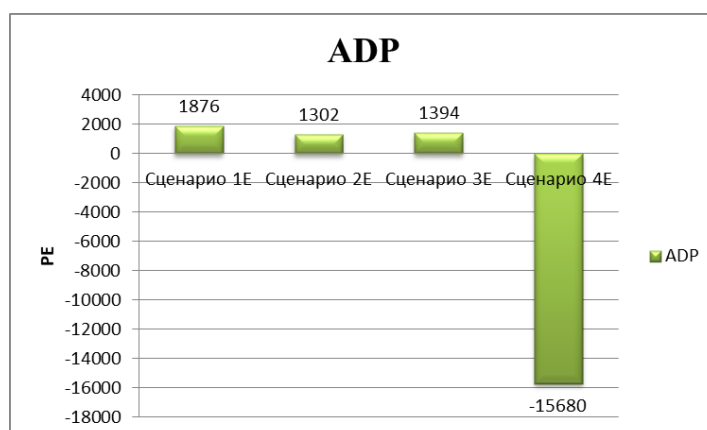
Сценарио	Састав отпада	ФАКТОР УТИЦАЈА (нормализовани фактори)							
		GWP (PE)	ADP (PE)	ODP (PE)	AP (PE)	EP (PE)	POCP (PE)	НТР* (PE)	PM (PE)
Сценарио 1Е	Састав 1	366,8	1876	0,0718	131	31,22	195,1	10,49	31,57
								40,83	
Сценарио 2Е	Састав 1	1804	1302	0,01885	2863	841,8	4738	8,153	150,3
								29,9	
Сценарио 3Е	Састав 1	2028	1394	0,01966	2867	843,4	4761	7,599	149,1
								27,15	
Сценарио 4Е	Састав 1	-12950	-15680	-1,837	2863	841,8	4637	- 269,6	- 1477
								- 1310	



Слика 13. Потенцијал глобалног загревања за четири изабрана сценарија

На слици 13. приказан је дијаграм упоредних вредности потенцијала глобалног загревања за све четири анализиране варијанте. Интересантно је запазити да је сценарио 4Е једини систем код кога су регистроване уштеде емисија гасова стаклене баште (негативне вредности GWP-а). Разлог овоме лежи у производњи и енергетском искоришћењу биогаса. Ова опција управљања отпадом подразумева анаеробну дигестију органске компоненте и показује боље вредности са смањењем удела органског – прехранбеног отпада.

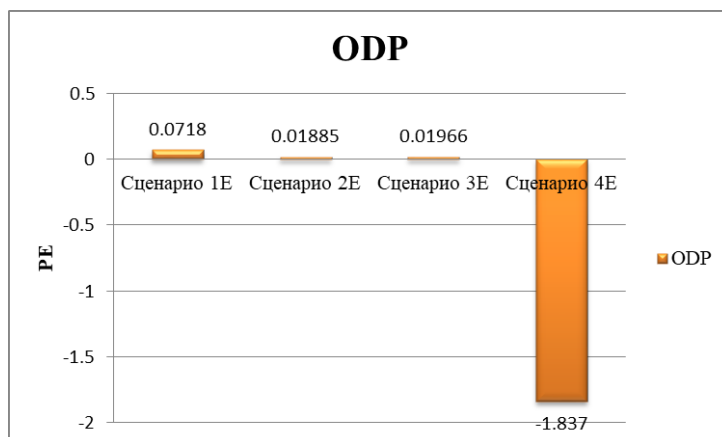
Као најповољнији, у погледу најмањих утицаја на климатске промене, показао се сценарио 1Е. Значајне уштеде у емисијама, код сценарија 1Е, потичу услед изостанка процеса разврставања и обимнијег транспорта отпада у овом сценарију.



Слика 14. Потрошња абиотичких ресурса (обновљивих и необновљивих) за четири изабрана сценарија

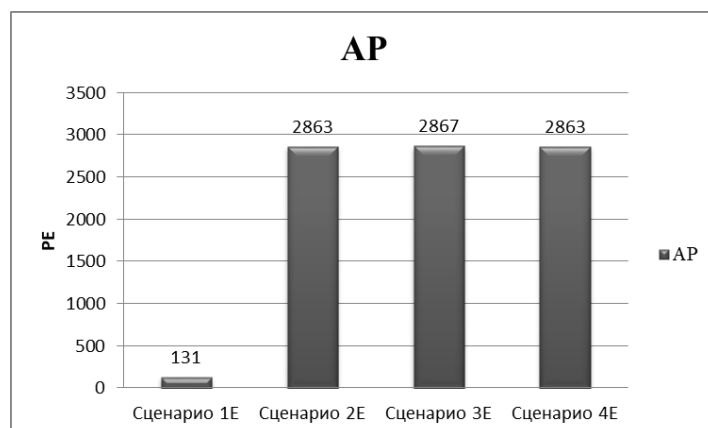
Упоредна потрошња обновљивих и необновљивих абиотичких ресурса представљена је на слици 14. Посматрајући вредности овог параметра, уочава се да је сценарио 4Е показао највеће уштеде у погледу потрошње наведених категорија ресурса. Уштеде се повећавају у складу са смањењем удела прехранбене компоненте органског отпада, зависно од типа отпада. Сценарио 1Е има најлошији ADP фактор утицаја управо због потпуног одсуства процеса рециклаже амбалажног отпада и третмана органског

отпада, а чијом би се применом створила могућност супституције одређених природних ресурса.



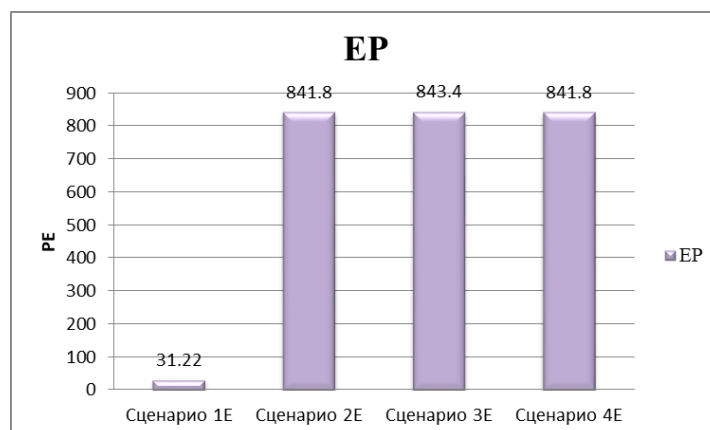
Слика 15. Потенцијал потрошње озона за четири изабрана сценарија

Вредности потенцијала потрошње озона (ODP), упоредно за све сценарије, приказане су на слици 15. Сценарио 4Е поново карактерише највећи ниво уштеде у потрошњи овог атмосферског гаса. Остала три сценарија имају релативно уједначене вредности потрошње озона.



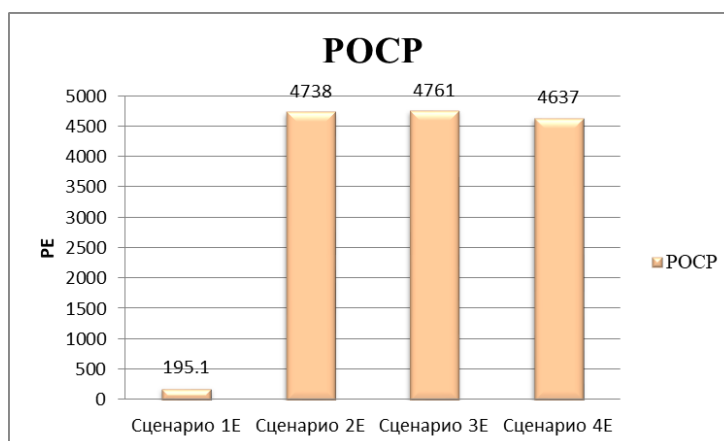
Слика 16. Потенцијал ацидификације (закишељавања) за четири изабрана сценарија

Вредности потенцијала ацидификације земљишта и водених ресурса (AP), приказане су на слици 16. Када је у питању овај фактор утицаја, као најповољнији се показао сценарио 1Е, док се код остала три сценарија бележе прилично уједначене вредности. Сценарио 1Е предвиђа депоновање комплетно сакупљеног комуналног отпада на санитарну депонију, која има инсталиране системе за сакупљање депонијских гасова и процедурних вода. Овакав вид управљања комуналним отпадом треба да обезбеди локализован и релативно мали утицај на околне земљишне и водне ресурсе.



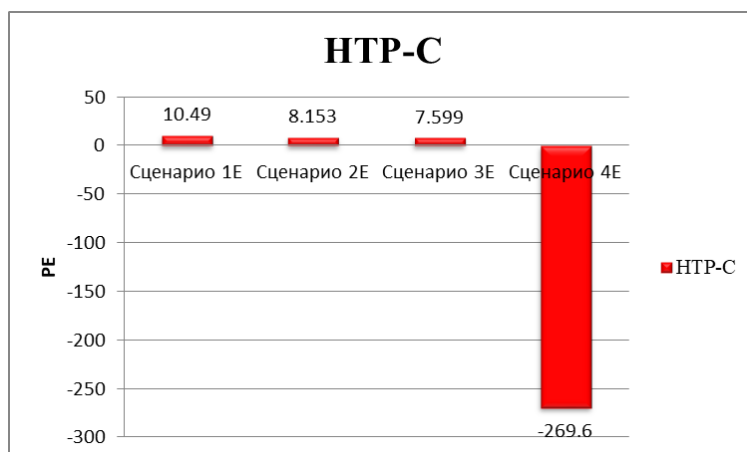
Слика 17. Потенцијал еутрофикације за четири изабрана сценарија

За фактор утицаја ЕР (потенцијал еутрофикације) добијени су, у упоредном смислу, релативно слични резултати (слика 17) као код фактора АР. Најмање присуство нутритијената се бележи код сценарија 1Е, док сценарији 2Е, 3Е и 4Е имају готово идентичне вредности. Удео органске, пре свега прехранбене компоненте, од највећег је утицаја на разлику у вредностима фактора ЕР према различитим типовима отпада.



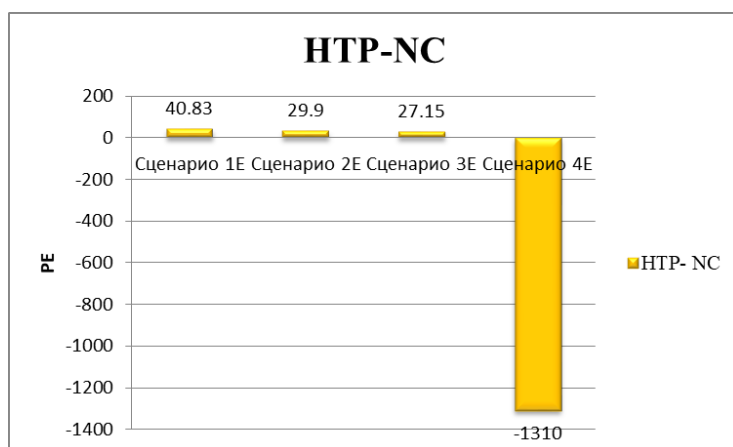
Слика 18. Потенцијал формирања фотохемијских оксиданата за четири изабрана сценарија

Сценарио 1Е, и у случају поређења вредности за РОСР фактор утицаја, на основу вредности са дијаграма (слика 18), очигледно има значајно мањи потенцијал формирања фотохемијских оксиданата у односу на преостала три сценарија. Код сценарија 2Е, 3Е и 4Е се приликом симулације процеса управљања саставом отпада поново јављају повишене вредности, као што је то већ забележено за факторе АР и ЕР. Објашњење ове чињенице и овај пут лежи у повећаном уделу прехранбене компоненте отпада.

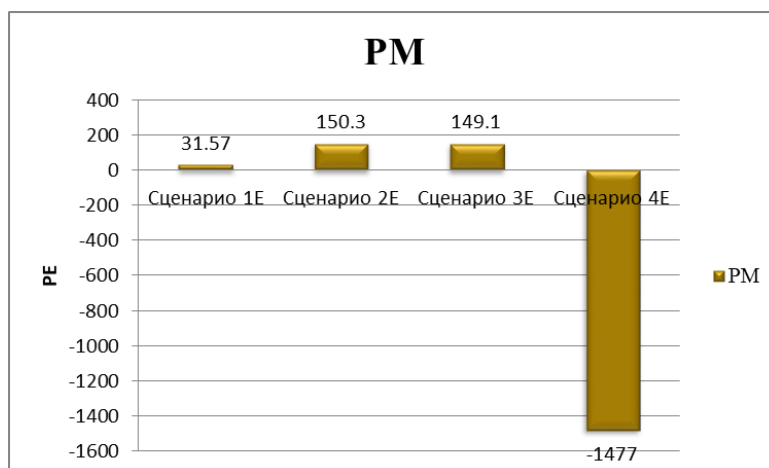


Слика 19. Потенцијал токсичности по људе (карциногени) за четири изабрана сценарија

Потенцијали токсичности по људе, карциногени (HTP-C, слика 19) и некарциногени (HTP-NC, слика 20) имају најниже вредности за сценарио 4Е управљања комуналним отпадом. Код овог сценарија вредност ова два фактора утицаја опада са смањењем удела прехранбене органске компоненте и најмања је за „Састав 1“ тип отпада. Код остала три сценарија (1Е, 2Е и 3Е), бележе се мале позитивне вредности ових фактора, са релативно уједначеним нивоима потенцијала токсичности.



Слика 20. Потенцијал токсичности по људе (некарциногени) за четири изабрана сценарија



Слика 21. Емисије ситних честица за четири изабрана сценарија

Емисије ситних честица су, као фактор утицаја, показале најмање оптерећење животне средине приликом симулације сценарија 4Е (слика 21). Количина ситних честица у атмосфери се смањује сразмерно мањем уделу прехранбеног отпада. Фактор РМ, за сценарије 2Е и 3Е има нешто више вредности у односу на сценарио 1Е. Овакве вредности су резултат, првенствено, знатно сложеније процедуре и технологије третмана у оквиру ових сценарија и повећаног утицаја сакупљања, сортирања и посебно транспорта комуналног отпада.

7.4. Примена вишекритеријумског одлучивања у оцењивању животног циклуса

У овом делу рада, биће приказани резултати примене методе ВКО кроз рангирање четири предложена сценарија, чији су еколошки параметри (фактори утицаја) одређени применом софтверског пакета EASETECH. Пре примене различитих вишекритеријумских метода оцењивања и рангирања, неопходно је дефинисати основну матрицу вредности параметара (табела 22). Алтернативе (A_{ie} , $i = 1,4$) представљају предложене сценарије, а критеријуме анализирани фактори утицаја (C_{je} , $j = 1,8$).

Табела 22. Табеларни приказ матрице за 4 сценарија и 8 критеријума

		Критеријуми							
		C_{1e} (GWP)	C_{2e} (ADP)	C_{3e} (ODP)	C_{4e} (AP)	C_{5e} (EP)	C_{6e} (POCP)	C_{7e} (HTP)	C_{8e} (PM)
Алтернативе (сценарија)	$A_{1e}(1E)$	X_{11e}	X_{12e}	X_{13e}	X_{14e}	X_{15e}	X_{16e}	X_{17e}	X_{18e}
	$A_{2e}(2E)$	X_{21e}	X_{22e}	X_{23e}	X_{24e}	X_{25e}	X_{26e}	X_{27e}	X_{28e}
	$A_{3e}(3E)$	X_{31e}	X_{32e}	X_{33e}	X_{34e}	X_{35e}	X_{36e}	X_{37e}	X_{38e}
	$A_{4e}(4E)$	X_{41e}	X_{42e}	X_{43e}	X_{44e}	X_{45e}	X_{46e}	X_{47e}	X_{48e}
	max/min	min	min	min	min	min	min	min	min
	W_{je}	W_{1e}	W_{2e}	W_{3e}	W_{4e}	W_{5e}	W_{6e}	W_{7e}	W_{8e}

У табели 23, представљене су вредности параметара (фактора утицаја) x_{ije} , за сваки од предложених сценарија, и то оне које одговарају типу отпада *Састав 1*, датих у табели 20. Након избора максималних и минималних вредности у свакој колони (за сваки j -ти критеријум), врши се израчунавање нормализованих вредности (табела 24), на основу израза, која важи за критеријуме типа *min*:

$$r_{ije} = \frac{x_j^{max} - x_{ije}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (15)$$

7.5. Вишекритеријумско одлучивање - SAW метода

Примена SAW методе, са циљем оцењивања и рангирања сценарија код вишекритеријумске анализе, претпоставља на самом почетку, одређивање отежаних нормализованих вредности по свим критеријумима [1]:

$$W'_{je} = \frac{W_{je}}{\sum_{j=1}^8 w_{je}} \quad (16)$$

Табела 23. Вредности параметара (x_{ije}) по сценаријима

	GWP	ADP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	PM
1E	366,8	1876	0,0718	131	31,22	195,1	40,83	31,57
2E	1804	1302	0,01885	2863	841,8	4738	29,9	150,3
3E	2028	1394	0,01966	2867	843,4	4761	27,15	149,1
4E	-12950	-15680	-1,837	2863	841,8	4637	-1310	-1477

Табела 24. Нормализоване вредности параметара (r_{ije}) по сценаријима (SAW)

	GWP	ADP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	PM
1E	0,110909	0	0	1	1	1	0	0,072961
2E	0,014955	0,032695	0,02774	0,001462	0,00197	0,005037	0,008091	0
3E	0	0,027455	0,027316	0	0	0	0,010127	0,000737
4E	1	1	1	0,001462	0,00197	0,027158	1	1

Рангирање предложених опција се врши на основу вредности производа добијених применом следеће реакције:

$$A^*_e = \{ A_{ie} \mid \max_i \sum_{j=1}^8 W'_{je} r_{ije} \} \quad (17)$$

SAW анализа је урађена за једну варијанту тежинских коефицијената критеријума, и у складу са тим, извршено је једно рангирања предложених сценарија. Вариране су вредности за осам предвиђених критеријума (утицајних фактора) и те вредности су приказане у табели 25. На основу предлога тежинских коефицијената W_{je} , према изразу (16), израчунате су нормализоване тежине $W_{je'}$ за једну варијанту (табела 25) [1].

Табела 25. Тежински и нормализовани тежински коефицијенти (једна варијација)

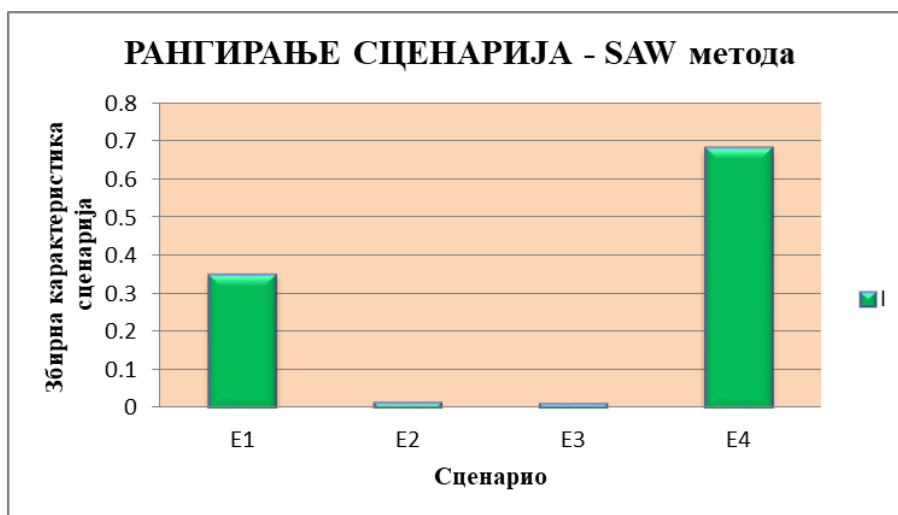
		GWP	ADP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	PM
I	W_{je}	100	70	70	70	50	50	70	50
	$W_{je'}$	0,188679	0,132075	0,132075	0,132075	0,09434	0,09434	0,132075	0,09434

Поређењем сума производа вредности нормализованих параметара r_{ije} и нормализованих тежинских коефицијената $W_{je'}$ (израз 17), извршено је рангирање сценарија, за једну варијанту тежинских коефицијената критеријума. У табели 26 представљене су збирне карактеристике за четири предложена решења, а у складу са варијацијом $W_{je'}$ [1].

Табела 26. Збирне карактеристике сценарија вредности тежинског коефицијената.

Збирна карактеристика сценарија	Варијанте вредности тежинских коефицијената
	I
$A_{1e}(1E)$	0,348564
$A_{2e}(2E)$	0,012727
$A_{3e}(3E)$	0,008641
$A_{4e}(4E)$	0,682186

На слици 22 су приказане збирне карактеристике предложених алтернативних решења, израчунатих применом SAW методе. У овој варијанти расподеле тежинског коефицијента, опција са ознаком 4E има највећу збирну карактеристику, па самим тим, представља најбоље решење, са аспекта утицаја на животну средину. Са друге стране, опција управљања отпадом означена са 3E има, најмању збирну карактеристику те, стога, представља еколошки најнеповољније решење. Уочава се и релативно добра уједначеност резултата оцењивања сценарија. Није регистрована битна осетљивост збирне карактеристике понуђених алтернатива (A_{ie}) на промене вредности нормализованих тежинских коефицијената. У табели 27 представљене су просечне вредности збирних карактеристика предложених сценарија.



Слика 22. Рангирање сценарија (SAW метода) при варијанти тежинског коефицијента

Табела 27. Средња збирна карактеристика и ранг сценарија (SAW метода)

Средња збирна карактеристика и ранг	Сценарио			
	E1	E2	E3	E4
A_{ic}	0,370878	0,012033	0,008046	0,660359
Ранг	2	3	4	1

ВКО метода (SAW) је истакла сценарио 4 као најбоље оцењен из ове групе алтернативних решења система управљања отпадом. Ова тврдња је код SAW методе додатно потврђена кроз анализу осетљивости резултата на варијације тежинских коефицијената. Последња група формираних сценарија (1E-4E) је вреднована и рангирана кроз употребу софтверског пакета EASETECH и примену ВКО метода (SAW). Уочено је да је сценарио 4E једини систем код кога су регистроване уштеде емисија гасова стаклене баште (негативне вредности GWP-a). Објашњење за ову чињеницу се може наћи у производњи и енергетском искоришћењу биогаса. Ова опција управљања отпадом подразумева анаеробну дигестију органске компоненте.

8. Закључак

Циљ рада је био да се кроз одабране еколошке индикаторе прикаже стање животне средине. На основу стања индикатора, изводе се закључци о даљем управљању отпадом, како индикаторима, тако и животном средином. Поуздан индикатор упозорава на проблем пре него што он постане преозбиљан и помаже да се схвати шта треба предузети да би се тај проблем решио. Индикатори одрживог развоја указују где су узрочно последичне везе између привреде, животне средине и друштва слабе и показују путоказ како решити те проблеме. Анализом одабраних индикатора приказано је да су загађујуће материје присутне, и то у концентрацијама које прекорачују максимално дозвољене концентрације. Ефекти по здравље детектованих приоритетних хазардних супстанци указују на неопходност предузимања законских мера, јер повишене концентрације хазардних супстанци, осим утицаја на живи свет у води уласком у ланац исхране преко јестивих делова биљака и риба, утичу на здравље људи.

Са циљем што квалитетније процене утицаја разматраних технологија третмана комуналног отпада на животну средину, извршене су додатне анализе кроз употребу софтверских алата, чија је алгоритамска структура развијена на бази методе Оцењивања животног циклуса (LCA). Рангирање алтернативних решења је спроведено кроз примену методе ВКО (SAW), уз поређење одговарајућих резултата. Упоредивањем вредности емисија појединих гасова, уочава се значајна подударност расподеле емисија метана по сценаријима и вредности GWP-а. Сценарио 1 има највишу вредност потенцијала глобалног загревања. Код тог сценарија, допринос депонијског фактора је апсолутно доминантан, у поређењу са делом који се односи на сакупљање и транспорт отпада. Иако је у сценаријима 2, 3 и 4 још увек присутан релативно велики удео отпада, који се одлаже на депонију, систем за сакупљање депонијских гасова и процедурних вода има изузетно позитиван утицај на смањење емисија штетних гасова. Захваљујући инсталацији и функционисању таквог сакупљачког система, код ових варијантних решења се евидентира уочљиво смањење потенцијала глобалног загревања. Процес рециклаже (у свим сценаријима, осим 1) има позитиван еколошки допринос у смислу значајног смањења GWP. Сепарација и биолошки третман отпада, у сценаријима где су предвиђени, такође доводе до одређене потрошње горива. Депонијски третман отпада кроз процес сакупљања депонијског гаса даје позитивне ефекте, у складу са примењеном технологијом и количинама сакупљеног гаса. Дакле, када је у питању депонијски третман, највеће енергетске уштеде бележе се за сценарије 2 и 3 у којима је количина депонованог отпада још релативно велика. Треба нагласити да је, у случају оба поменута сценарија, предвиђена примена напредне технологије сакупљања и енергетског искоришћења депонијског гаса.

9. Литература

- [1] Мр Саша Јовановић; Моделирање Еколошко-енергетских и економских перформанси одрживих технологија управљања чврстим отпадом; Докторска дисертација, Крагујевац, јануар 2015; Универзитет у Крагујевцу: Факултет инжењерских наука.
- [2] Небојша Јовичић: Управљање чврстим отпадом; Скрипта са материјалом за курс; Технологије и опрема за депоновање отпада; 2004.године.
- [3] Sustainable technologies, Zoltan Zavargo; University of Novi Sad; Faculty of Technology Novi Sad, Serbia
- [4] Др Горан Вујић, доцент; Скрипта из предмета УПРАВЉАЊЕ ЧВРСТИМ ОТПАДОМ; Нови Сад, 2009.година.
- [5] Др Јелена Милановић; ANALYSIS OF ENVIROMENTAL QUALITY IN SERBIA; Висока пословна школа струковних студија „Проф. Др Радомир Бојковић“ Крушевац
- [6] Frischknecht R., Braunschweig A., Suter P., Hofstetter P. Human health damages due to ionising radiation in Life Cycle Impact Assessment, paper accepted for publication in Environmental Impact Assessment Review, 20(2), 2000
- [7] Indicators and weighting systems, including normalization of environmental profiles. Authors: Zoltan Budavari and Zsuzsa Szalay, EMI, Nils Brown and Tove Malmqvist, KTH Bruno Peuportier, ARMINES Ignacio Zabalza, CIRCE Guri Krigsvoll, SINTEF Christian Wetzell and Xiaojia Cai, CALCON Heimo Staller and Wibke Tritthart, IFZ.
- [8] Heijungs et al, 1992, The Computational Structure of Life Cycle Assessment.
- [9] De Schryver A.M., Brakkee K.W., Goedkoop M.J., Huijbregts M.A.J. “*Characterization Factors for Global Warming in Life Cycle Assessment Based on Damages to Humans and Ecosystems*”. *Environmental Science and Technology* 2009;43(6):1689–1695.
- [10] Haushild M et al (1996). *Bakgrund for miljøvurdering av produkter UMIP*. Instituttet for Produktutvikling DTU, DTU, Miljø- og energiministeriet, Miljøstyrelsen, Dansk Industri Wenzel H., Hauschild M. and Alting L. 1997. Environmental Assessment of Products. Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development. Chapman & Hall, ISBN 0-412-80800-5
- [11] R. Heijungs, Environmental life cycle assessment of products, Centre of environmental science (CML), Leiden, 1992 3 Guinée J. B., (final editor), Gorée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H. A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts M. A. J., Lindeijer E., Roorda A. A. H., Weidema B. P.: Life cycle assessment; An operational guide To the ISO standards; Ministry of Housing

Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, Pays Bas, 2001, 704 p

[12] Michael Hauschild and José Potting Institute for Product Development Technical University of Denmark; Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment - The EDIP2003 methodology, Environmental news No. 80 2005

[13] Murray C. and Lopez, A. : The Global Burden of Disease, WHO, World Bank and Harvard School of Public Health Boston, 1996, 990p. 6 GLOBAL BURDEN OF DISEASE 2004 UPDATE DISABILITY WEIGHTS FOR DISEASES AND CONDITIONS, World Health Organization, 2004

[14] Frischknecht et al, 1996, Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products

[15] Szargut et al., 1988, Exergetic Life Cycle Analysis of Components in a System

[16] Guinée J. B., (final editor), Gorée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H. A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts M. A. J., Lindeijer E., Roorda A. A. H., Weidema B. P. Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands, 2001, 704 p

[17] Mark Goedkoop and Renilde Spriensma, *The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report, Third edition, 22 June 2001*

[18] ExternE, (1995) "Externalities of Energy" European Commission, DG-XII, Vol 2, "Methodology", Brussels-Luxembourg, 1995, Financial Times, 1999.

[19] De Schryver A.M., Brakkee K.W., Goedkoop M.J., Huijbregts M.A.J. "Characterization Factors for Global Warming in Life Cycle Assessment Based on Damages to Humans and Ecosystems". *Environmental Science and Technology* 2009;43(6):1689–1695.

[20] Glaumann, M., & Malmqvist, T. (2005). Metodbeskrivning för EcoEffect. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) and Högskolan i Gävle (University of Gävle).

[21] Glaumann, M., & Malmqvist, T. (2004). *Miljövärdering av bebyggelse. EcoEffect Metoden. Bakgrund och sammanfattande beskrivning. Gävle and Stockholm: The University of Gävle and the Royal Institute of Technology (KTH)*

[22] Wenzel, H., Hauschild, M., & Alting, L. (1997). *Environmental Assessment of Products. Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development. London: Chapman and Hall*

[23] Goedkoop M. at al. The Eco-indicator 99 – Methodology report, PRé Consultants B.V. 2000.

[24] Marttunen, M., (2011) Description of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), Finnish Environment Institute

[25] Mourits, M.S.M., Oude Lansink, A.G.J.M., 2006. Multi-criteria decision making to evaluate quarantine disease control strategies. In: Oude Lansink, A.G.J.M. (Ed.), *New Approaches to the Economics of Plant Health*, Springer, 131–144

[26] Fishburn, P.C., (1967), *Additive Utilities with Incomplete Product Set: Applications to Priorities and Assignments*, ORSA Publication, Baltimore, MD.

[27] Dong, J, Chi, Y., Zou, D., Fu, C., Huang, Q., Ni, M., (2014), Energy-environment-economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective: model development and case study, *Applied Energy* 114, 400 – 408

[28] McDougall, F., White, P.R., Franke, M., Hindle, P., 2001, *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*, second ed. Blackwell Science, Oxford, UK.

[29] Kirkeby, J. T., Birgisdottir, H., Hansen, T. L., Christensen, T. H., Bhandar, G. S., Hauschild, M., (2006), Environmental assessment of solid waste systems and technologies: EASEWASTE, *Waste Management & Research* 24, 3-15

Интернет сајтови:

[30] <http://nardus.mpn.gov.rs/bitstream/handle/123456789/5082/disertacija.pdf?sequence=1&isAllowed=y> приступљено: 15.01.2020.

[31] http://www.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/IMPACT2002+/IMPACT2002+_UserGuide_for_v2.1_Draft_October2005.pdf приступљено: 16.01.2020.

[32] https://scholar.google.com/scholar?q=Jolliet+et+al.+2003&hl=sr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar приступљено: 09.02.2020.

[33] https://scholar.google.com/scholar?q=Humbert+et+al.&hl=sr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar приступљено: 19.02.2020.

[34] <https://simapro.com/> приступљено: 26.03.2020.

[35] (Source: *EC JRC, ILCD Handbook 2010*) приступљено: 12.04.2020.