

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Смер: Енергетика и процесна техника

Предмет: Управљање отпадом

Тема:

**Техно-економска анализа процеса раздвојеног
сакупљања комуналног отпада**

Садржај

1. Управљање чврстим отпадом у урбаним срединама.....	2
1.1. Принципи управљања отпадом.....	3
1.2. Опције за третман отпада.....	5
2. Сакупљање и транспорт отпада	12
2.1. Фазе сакупљања отпада.....	12
2.2. Опрема за сакупљање.....	13
2.3. Возила за сакупљање отпада.....	14
2.4. Дефинисање кретања комуналних возила.....	15
2.4.1. Учесталост сакупљања	15
2.4.2. Избор руте	16
2.5. Појам претоварне (трансфер) станице.....	16
3. Методологија за мониторинг процеса прикупљања комуналног отпада применом GIS и GPS технологија.....	17
3.1. GIS	19
3.2. Компоненте Гис-а.....	20
3.3. Елементи Гис-а.....	20
3.4. Примена Гис-а	22
3.4.1. Могућност примене ГИС-а за у систему управљања отпадом.....	23
3.5. GPS или Глобални позициони систем	23
4. Модел за израчунавање економских трошкова прикупљања комуналног отпада у урбаним срединама	26
4.1. Опције прикупљања комуналног отпада.....	28
4.2. Прикупљање отпада у објектима колективног становања	30
4.3. Математички модел трошкова прикупљања отпада	31
4.3.1. Математички модел прикупљања мешаног отпада опцијом 1	32
4.3.2. Математички модел прикупљања отпада раздвојеног на извору– опције 2, 3 и 4	37
4.3.3. Математички модел прикупљања отпада из дворишта (баштенског) - опција 9	44
4.4. Модел прорачуна прикупљања отпада у Microsoft Excel-у	54
4.4.1. Модел за прорачун трошкова прикупљања мешаног отпада	57
4.4.2. Модел за прорачун трошкова прикупљања рециклабилног отпада.....	58
4.4.3. Модел за прорачун трошкова прикупљања биоразградивог отпада.....	59
4.4.4. Модел за прорачун трошкова прикупљања мешаног остатка.....	59
5. Примена модела на град Крагујевац	60
5.1. Постојеће решење управљања отпадом.....	60
5.2. Количина и састав комуналног отпада у Крагујевцу.....	60

5.2.1. Опрема за прикупљање отпада на територији коју покрива ЈКП "Чистоћа"	62
5.2.2. Депонија комуналног отпада "Јовановац"	64
5.2.3. Прикупљање отпада у репрезентативном делу града Крагујевца.....	65
5.3. Идејно решење одвојеног прикупљања отпада.....	71
5.3.1. Прорачун трошкова прикупљања мешаног отпада без издвајања фракција	71
5.3.2. Прорачун трошкова прикупљања рециклабилног отпада.....	74
5.3.3. Прорачун трошкова прикупљања биоразградивог отпада.....	77
5.3.4. Прорачун трошкова прикупљања мешаног отпада који остане после издвајања рециклабилног и биоразградивог отпада	80
6. Закључак	85
7. Литература	86

1. Управљање чврстим отпадом у урбаним срединама

Свака материја или предмет који власник одбацује у складу са Законом о управљању отпадом представља отпад. Не постоји јасно дефинисана граница између онога што представља отпад и онога што не представља отпад. Једино биће на планети које ствара отпад је човек. Одбацивање појединих отпадних материјала се јављају проблеми, нарочито када су у питању материјали који се могу поново употребити у индустријским процесима, као што су: папир, делови метала, пластичне боце. Због све већих количина отпада и његове штетности по околину, отпад се сматра једним од најзначајнијих еколошких проблема савременог света. Човек својим активностима у великој мери утиче на промену животне средине. Модерна цивилизација производи све више отпада и ништа не указује на скоре промене овог тренда. Друштво у урбаним срединама ствара веће количине отпада од друштва у неразвијеним, руралним срединама. Ипак, захваљујући напретку технологије и развоју еколошке свести, борба против отпада постаје много успешнија. Настајање отпада је резултат укупне економске активности сваке државе и у директној вези је са економијом државе.

Према пореклу чврсти отпад се дели на комунални, комерцијални и индустријски отпад. Уобичајено је да се отпад урбаних средина и комерцијални отпад једним именом назива комунални (општински) чврсти отпад. Комунални чврсти отпад по дефиницији укључује отпад из домаћинства, као и други отпад који је због своје природе и састава сличан отпаду из домаћинства: који производе мала предузећа, институције (школе, поште). Настајање комуналног отпада зависи од степена индустријског развоја, животног стандарда, начина живота, социјалног окружења и др. Проблем збрињавања комуналног отпада је све израженији у свим градовима наше планете, а његово решавање захтева велика новчана средства. Управљање отпадом је сложен процес који захтева сарадњу јавног и приватног сектора. За управљање чврстим комуналним отпадом главну одговорност има локална власт.

Индустријски развијене земље, са ниским процентом сеоског становништва производе много већу количину отпада од мање развијених земаља. Стални раст градских насеља доводи до непрекидног повећања количине отпада. Разлог зашто количина отпада расте је и што се јавља потреба за робом и храном за дуготрајнију употребу. Упакована роба ствара додатни отпад који потиче од амбалаже. Све више расте потреба за робом која се директно допрема у домаћинства због повећане запослености жена у комерцијалним делатностима. Готови производи и полупроизводи који се користе у исхрани, смањују органске отпатке у домаћинству и повећавају отпадну амбалажу. Материјал који служи у рекламне сврхе такође повећава количину отпада. Амбалажни отпад је 50% сачињен од пластике, остало су стакло, метал и пластика. Пораст пластике у комуналном отпаду је константан. Напици, биљна уља, средства за чишћење, парфимеријски производи данас имају пластичну амбалажу и тешко је наћи ове производе у класичној стакленој амбалажи. Пластика као лака и неактивна биолошки је одлична за израду: боца за кечап, паковања супа, сладоледа и др. Процес којим се добијају материјали потребни за чување “брзе” хране у топлотном стању је велика еколошка опасност. Када хлорна једињења која чине скоро половину тих паковања доспеју у горње слојеве атмосфере, јаки сунчеви зраци их пробијају, избацујући атоме хлора што узрокује уништавање озонског омотача, који штити земљу од ултраљубичастог зрачења.

У развијеним земљама света (САД, Западна Европа, Јапан, Аустралија) живи седмина становника света. Они производе трећину светског комуналног отпада. Али, у напредним технологијама управљања отпадом (рециклажа и обрада отпада) развијене државе учествују са више од 80% у укупно рециклираном и обрађеном отпаду, у контролисаном одлагању готово са 49%, а у неконтролисаном одлагању свега са 6%. Дневна и годишња маса комуналног отпада по становнику разликује се од државе до државе. У развијеним земљама се генерише већа количина отпада по становнику у односу на средње развијене и неразвијене земље. Укупна количина отпада у Србији се процењује на око 2.200.000 t/god, а базирана је на подацима комуналних предузећа. Према подацима потврђеним за 160 општина Србије (без Косова), прикупљањем отпада од стране комуналаца је обухваћено око 80% становника. Процењује се да је маса генерисаног комуналног отпада по становнику у Србији око 0,81 kg дневно, што је нешто ниже него у земљама централне и источне Европе. [10]

1.1.Принципи управљања отпадом

Кључни принципи управљања отпадом су: принцип одговорности произвођача, принцип примене најпрактичнијих опција за животну средину, принцип одрживог развоја, принцип близине и регионални приступ управљању отпадом, принцип предострожности, принцип загађивач плаћа и принцип хијерархије у управљању отпадом.

- **Принцип одговорности произвођача**

Овај принцип значи да произвођачи, увозници, дистрибутери и продавци производа који утичу на пораст количине отпада сnose одговорност за отпад који настаје услед њихових активности. Произвођач сноси највећу одговорност јер утиче на састав и особине производа и његове амбалаже. Обавеза произвођача је да брине о смањењу настајања отпада, развоју производа који су рециклабилни, развоју тржишта за поновно коришћење и рециклажу својих производа.

- **Принцип примене најпрактичнијих опција за животну средину**

Примена најпрактичнијих опција за животну средину установљава, за дате циљеве и околности, опцију или комбинацију опција која даје највећу добит или најмању штету за животну средину у целини уз прихватљиве трошкове и профитабилност, како дугорочно, тако и краткорочно. Принцип најпрактичнијих опција за животну средину је процес доношења одлука који обухвата заштиту и очување животне средине.

- **Принцип одрживог развоја**

Одрживи развој подразумева равнотежу између потрошње природних ресурса и способности обнављања природних система. Циљ је да се сачува и унапреди квалитет животне средине за садашње и будуће генерације. Концепт одрживог развоја се може разложити у три основне димензије: еколошка, економска и социјална одрживост (слика 1.1). Кораци ка достизању одрживог развоја укључују: јачање постојећих мера, развој нових мера, повећану интеграцију интереса за животну средину у остале секторске политике, прихватање веће појединачне одговорности за животну средину и активније учешће јавности у процесима доношења одлука.



Слика 1.1 Принцип одрживог развоја

- **Принцип предострожности**

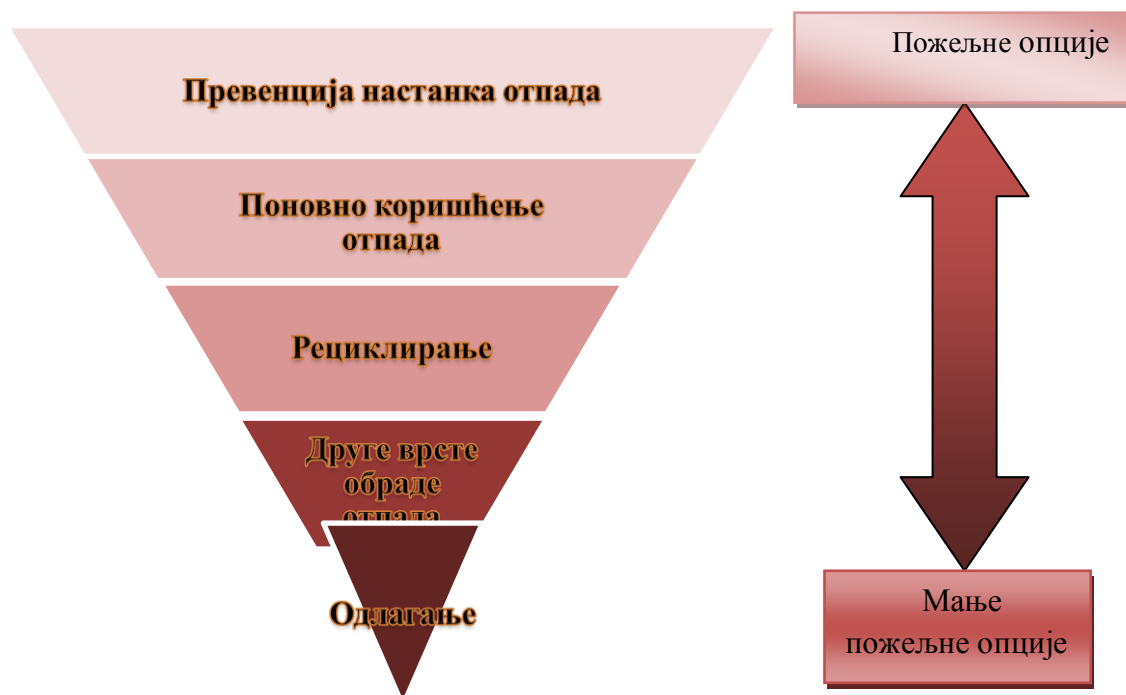
Принцип предострожности је принцип по којем се избегава сваки могући ризик од примене нових технологија, све док се потпуно не испита њен утицај на околину и здравље људи.

- **Принцип загађивач плаћа**

Принцип загађивач плаћа значи да загађивач мора да сноси укупне трошкове настале угрожавањем животне средине.

- **Принцип хијерархије у управљању отпадом**

Савремена политика о управљању отпадом базирана је на концепу познатом као хијерархија управљања отпадом. Хијерархија представља редослед приоритета у управљању отпадом. (слика 1.2). Концепт хијерархије управљања отпадом указује да је смањење настајања отпада најбоље решење за животну средину. Међутим, тамо где даље смањење није практично применљиво, производи и материјали могу бити искоришћени поново, било за исту или другу намену. Уколико та могућност не постоји, отпад се даље може искористити кроз рециклажу или компостирање, или за добијање енергије. Само ако ни једна од претходних опција не пружа одговарајуће решење отпад треба одложити на депонију.



Слика 1.2 Хијерархија управљања отпадом

1.2. Опције за третман отпада

Одлука о избору најпогодније опције за третман отпада се доноси кроз анализу животног циклуса отпада, карактеристике средине и локације на којој отпад настаје.

- **Смањење отпада на извору**

Редукција отпада тј. смањење отпада на извору није опција која се може одабрати у недостатку других опција. О редукцији се мора размишљати сваки пут када се доноси одлука о коришћењу ресурса. Редукција мора бити осмишљена кроз целокупни животно циклус производа, односно већ у фази пројектовања, преко израде, паковања, до транспорта и пласмана производа. Потрошачи такође треба да активно учествују у редукцији отпада куповином производа са мање амбалаже.

- **Поновна употреба**

Неки производи су специфично дизајнирани да буду коришћени више пута. Увођењем прописа о амбалажи у ЕУ, постоји подстицај произвођачима да размотре примену амбалаже за вишеструку употребу. У другим случајевима, производи се могу прерадити за исте или сличне намене. Постоје добри разлози за поновну употребу производа, с обзиром да се тиме постиже: смањење трошкова за произвођаче и потрошаче, уштеде у енергији и сировинама и смањење трошкова одлагања.

- **Рециклажа**

Рециклирање је прикупљање, сепарација или издвајање, чишћење и обрада или процесирање отпадних материјала у материјале који се могу поново користити и продати. Разлози за рециклажу су вишеструки: уштеда у енергији, обновљивим и необновљивим природним ресурсима (руда, нафта, воде, шуме), мање количине отпада за одлагање, смањење трошкова одлагања, смањење потреба за новим депонијама, дужи век трајања санитарних депонија, мање загађење земљишта, воде и ваздуха. Многи материјали могу да се рециклирају, као што су: папир, картон, стакло, керамика, бетон, алуминијум, гвожђе, електронски отпад, батерије, отпадно уље... Рециклажом на месту настанка отпада добијају се чистије секундарне сировине, од исте издвојене на постројењу за издвајање рециклабилних фракција (слика 1.3). У Републици Србији не постоји систематски организовано одвојено прикупљање, сортирање и рециклажа отпада. Постојећи степен рециклаже, тј. коришћења отпада је недовољан. Мада је примарна рециклажа у Србији прописана законом и предвиђа одвајање папира, стакла и метала у посебно означене контејнере, али рециклажа не функционише у пракси.



Слика 1.3 Издвајање рециклабилних компоненти на месту настанка

На слици 1.4 је симбол рециклаже, тзв. Мобиусову петљу. Мобиусова петља садржи три стрелице у облику троугла са заобљеним угловима, свака стрелица је повратно пресавијена и све три се надовезују једна на другу, што симболично представља циклус рециклаже.



Слика 1.4 Мобиусова петља-симбол рециклаже

• Компостирање

Компостирање или стварање компоста (ђубрива) је контролисани распад органских материја у топлом, влажном окружењу деловањем бактерија, гљива и осталих микроорганизама. Компост је изузетно корисно ђубриво (слично хумусу) за побољшање земљиште и квалитетнијег узгоја биљака. Ова врста отпада се може користити за добијање биоплина, ово је једна од начина на који се исплати одвојено прикупљање биоразградивог отпада. Биоплин је еколошко биогориво које се може користити за производњу електричне енергије или као погонско гориво у возилима, као замена за бензин.

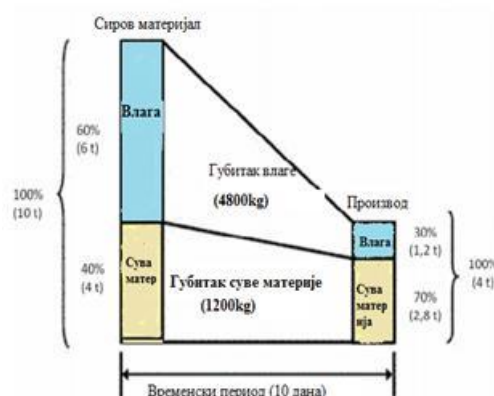
Компостирањем се активно учествује у одговорном односу према отпаду. Предности овог начина третирања отпада се огледају у:

- смањењу запремине отпада и растерећењу депоније,
- смањењу трошкова одлагања отпада,
- повећању квалитета земљишта,
- побољшању квалитета околине.

Тржиште за компост није увек осигурано, а и складиштење компоста може бити проблем за себе. Квалитет компостираног производа је важан уколико за њега постоји тржиште. Искуства показују да иако се органски материјал са депоније може успешно трансформисати у компост, остаци посебно од честица стакла, метала и пластике утичу да га потенцијални потрошачи нерадо користе. Зато се органски отпад за компостирање мора раздвајати на извору и пре одлагања на депонију. У принципу, компостирање се спроводи у два нивоа: прикупљање и издвајање органских компоненти (кухињски отпад и баштенски отпад) за компостирање на компостним пољима или у посебним постројењима (најчешће регионалног типа) и промоција самосталног компостирања „у свом дворишту” кроз едукацију и успостављање малих бункера за компостирање. На слици 1.5 се види који све отпад може да се компостира, а на слици 1.6 је пример процеса компостирања.



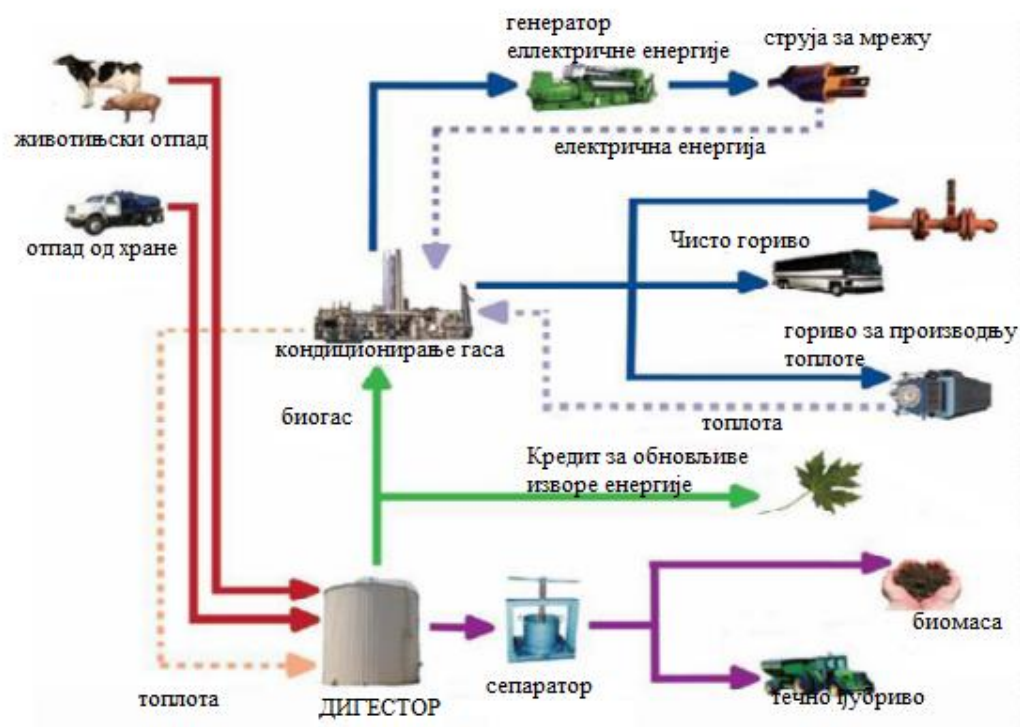
Слика 1.5 Компостна гомила



Слика 1.6 Пример процеса компостирања

- **Анаеробна дигестија**

Анаеробна дигестија је биохемијски процес при којем, у одсуству кисеоника бактерије разлажу органске материје, производећи биогаз. Биогаз се састоји од метана и угљен-диоксида. Ово је једини процес у којем се производи биогаз. Процесом анаеробне дигестије постиже се смањење антропогених емисија гасова који изазивају ефекат стаклене баште. Технологија анаеробне дигестије може смањити непожељне и неконтролисане емисије метана, искоришћењем енергетског потенцијала овог гаса, уз редуковање запремине која се усмерава на депонију. На слици 1.7 је шематски представљен ток коришћења продуката процеса анаеробне дигестије.



Слика 1.7 Дијаграм тока коришћења продуката процеса анаеробне дигестије

- **Спаљивање отпада**

Технологија спаљивања отпада представља оксидацију запаљивих материја садржаних у отпаду. Инсинерација је процес контролисаног сагоревања отпада са циљем смањивања запремине отпада и добијање мање опасних састојака, а енергија која се добија из процеса спаљивања се може искористити за добијање топлотне и/или електричне енергије. Међутим, економска оправданост искоришћења енергије није увек прихватљива јер су инвестициони и оперативни трошкови постројења за спаљивање ускладу са прописима ЕУ високи, много виши од трошкова одлагања отпада на санитарне депоније комуналног отпада - и до 10 пута већи. Спаљивање је значајан и користан начин редуције отпада и дугорочно се могу избећи проблеми који прате одлагање отпада на депоније. Недостаци овог начина третирања отпада су емисија штетних гасова која путем димних гасова доспева у атмосферу, пораст удела пластике у отпаду доводи до емитовања врло опасних једињења: диоксида и фурана. Све строжи прописи о граничним вредностима штетних емисија у димним гасовима захтевају све сложенија, а самим тим и све скупља постројења.

- **Пиролиза**

Пиролиза је процес током којег долази до разлагања органског отпада на повишеној температури у одсуству кисеоника. У пракси није могуће потпуно одстранити кисеоник, па долази до оксидације и сагоревања дела материјала. Током процеса долази до трансформисања органских материја из отпада и настанка пиролитичког гаса, уља и чврсте фазе која садржи угљеник и пепео. Према температурама при којима се одвијају, могу се разликовати три варијанте пиролизе: нискотемпературна до 500°C, средњетемпературна од 500°C до 800°C и високотемпературна виша од 800°C. Повећањем температуре реакције повећава се и удео пиролитичког глина у продуктима реакције, а смањује се удео чврсте и течне фазе. Пиролитички глин се обично спаљује. Димни гасови се користе за грејање или добијање електричне енергије. Пиролиза се користи за производњу керамичких материјала и за производњу материјала високе термичке отпорности.

- **Гасификација**

Гасификација је високотемпературни процес третмана отпада у присуству ваздуха или водене паре у циљу добијања горивих гасова. Технологија је заснована на познатом процесу производње гаса из угља. Производ реакције је мешавина гасова. Гас добијен на овај начин се може спаљивати или искористити у постројењима за когенерацију. Због високе температуре процеса долази до витрификације шљаке настале у процесу. Гасификација још није раширен поступак третмана отпада, из разлога што гориво мора бити релативно хомогеног састава, што значи да је закомунални отпад потребан предтретман.

- **Плазма процес**

Развијени су алтернативни системи третмана, као што је плазма процес (енергија ослобођења електричним пражњењем у инертној атмосфери). Овим процесом постижу се температуре од 5000°C до 15000°C. Услед високе температуре долази до разлагања органских материја из отпада и топљења неорганских материја. У гасовитој фази долази до интензивног разлагања органских молекула, што готово у потпуности елиминише штетне емисије. То је уједно и главна предност плазма поступка. Неорганске материје се након топљења витрификују, тако да се могу употребити као додатак грађевинском материјалу или се могу безбедно одложити. Овакав систем је изузетно скуп и још увек је врло мало у примени.

- **Отпад као гориво**

Неки индустријски процеси и постројења за производњу енергије раде под условима који дозвољавају коришћење отпада високе топлотне моћи уместо конвенционалног горива. Пример за ово је производња цемента, где високе температуре и дуго време задржавања обезбеђују потпуно сагоревање отпада. Типични отпад који се спаљује у овим процесима укључује комунални отпад, гуме, утрошене раствараче, отпад из рафинерија и др. Термоелектране и градске топлане које служе за снабдевање градова топлотном енергијом такође могу представљати значајну инфраструктуру за сагоревање отпада.

- **Физичко-хемијски третмани отпада**

Физичко-хемијски третман отпада обухвата: неутрализацију, минерализацију, солидификацију, оксидацију, редукцију, адсорпцију, дестилацију, јонскеизмене, реверсне осмозе и друге физичко-хемијске и хемијске процесе којима се смањују опасне карактеристике отпада. Солидификација је термин који се користи за широк опсег третмана који мењају физичко-хемијске особине отпада са циљем да се учине погодним за одлагање на депонију. Солидификација се примењује за третман течног отпада и муљева који садрже тешке метале и опасан отпад. Циљ солидификације је да се отпад конвертује у облик у коме се његови делови зауставе тако да не могу бити пуштени у околину.

- **Одлагање отпада на депоније**

Депонија је технолошки уређени технички објект који има вишеструке намене. Постоје три типа депонија за одлагање отпада: депоније за одлагање неопасног отпада, депоније за одлагање инертног отпада и депоније за одлагање опасног отпада. На депонијама се одлажу одређени типови отпада за које је депонија пројектована. За одлагање неопасног отпада користе се тзв. санитарне депоније које представљају санитарно-технички уређен простор на коме се одлаже отпад који као материјал настаје на јавним површинама, у домаћинствима, у процесу производње, а који нема својства опасних материја и не може се прерађивати односно рационално користити као индустријска сировина или енергетско гориво. Одлагање отпада на санитарне депоније представља контролисано управљање чврстим отпадом. Депоније намењене за одлагање опасног отпада сепројектују са посебним техничким захтевима. Опасан отпад који се одлаже на оваквим депонијама мора бити претходно третиран у складу са прописима.

Према намени имамо поделу депонија на:

- трајне
- и привремене,

по уређености деле се на:

- уређене
- и неуређене

и по стању отпада који се депонује ту на:

- суве
- и хидрауличке.

Депоније су неопходне у свакој изабраној опцији третмана, јер увек постоји један део отпада који се мора одложити. На слици 1.8 је изглед пресека једне уређене депоније. У Крагујевцу и околини има доста деградираног простора, услед неадекватног одлагања отпада и велики број сметлишта и дивљих депонија. Постоји велики неискоришћени потенцијал за рециклажу отпада, али и недостатак инфраструктуре за третман и одлагање отпада. На слици 1.9 је приказан изглед неуређених депонија.



Слика 1.8 Пресек санитарне депоније



Слика 1.9 Изглед неуређене депоније

2. Сакупљање и транспорт отпада

Под појмом прикупљање отпада подразумева се уклањање отпада са места настанка и његов транспорт до места одлагања (депоније) или места његове обраде (постројење за третман отпада). У зависности од приступачности локације за прикупљање отпада и других локалних карактеристика, прикупљање отпада може бити комплексан задатак.

У периодима између одношења на депонију, чврсти отпад се привремено складишти на јавним површинама.

Од укупне количине новца потрошеног на сакупљање, транспорт и одлагање чврстог отпада, негде око 50 – 70% новца потрошено је за фазу сакупљања. Наведена чињеница је врло значајна, јер само мала побољшања у операцији сакупљања могу имати за ефекат значајну уштеду у укупним трошковима. Процес сакупљања отпада се не може посматрати као једнофазни процес. [1]

2.1. Фазе сакупљања отпада

Прва фаза сакупљања подразумева да власник домаћинства мора пренети све што сматра отпадом до канте за отпатке, која може бити унутар или ван стана.

Друга фаза је пренос канте за отпатке до возила за сакупљање, што обично ради екипа за сакупљање. У индивидуалном типу домаћинства уобичајено је да се канта износи на улицу од стране власника домаћинства, тада се сакупљање назива – „улично“ сакупљање.

Трећа фаза подразумева да камион за сакупљање мора сакупити отпад из много домаћинстава на најефикаснији могући начин. Највише испитивана фаза сакупљања чврстог отпада је кретање камиона за сакупљање од куће до куће, како би он могао сакупити отпад из много домаћинстава на најефикаснији могући начин.

Четврта фаза обухвата када је камион пун (или на крају дана) мора однети отпад на привремену локацију тј. трансфер станицу.

Пета фаза система за сакупљање отпада односи се на локацију места за третирање отпада или његово трајно одлагање. [1]

2.2. Опрема за сакупљање

Врста контејнера који се користе за сакупљање комуналног чврстог отпада зависи од врсте обезбеђеног сервиса за сакупљање и од чињенице да ли је укључено раздвајање отпада. Велики контејнери запремине 3m^3 , 5m^3 и 7m^3 се најчешће користе у стамбеним областима које су слабо или средње насељене (слика 2.1).



Слика 2.1 Велики контејнер запремине 3m^3

Метални контејнери запремине $1,1\text{ m}^3$ својом конструкцијом прилагођени су за аутоматско подизање и пражњење у комунална возила јавних комуналних предузећа. Ради лакшег руковања контејнер поседује четири окретна точка. (слика 2.2). У новије време, пре свега се користе контејнери од $3,2\text{ m}^3$ за које је потребно инвестирати у возила за бочни утовар.



Слика 2.2 - Типичан изглед контејнера запремине $1,1\text{ m}^3$

У земљама Европске Уније, у неким новијим зградама за становање, користе се подземни пнеуматски транспортни системи заједно са одводним каналима из станова, такође постављају се и улични подземни контејнери (слика 2.3).



Слика 2.3- Систем уличних подземних контејнера

Велики контејнери и специјализоване посуде (канте) за чврсти отпад се препоручују тамо где се стварају велике запреминске количине чврстог отпада, као што су хотели, ресторани, мотели, стамбене зграде, тржни центри... У многим случајевима контејнери се комбинују са компакторима (слика 2.4). Контејнери треба да буду смештени на равној, чврстој површини, која може да се чисти, на осветљеном и отвореном простору.



Слика 2.4- Контејнери са компакторима

2.3. Возила за сакупљање отпада

Камиони који се користе за сакупљање стамбеног и комерцијалног отпада су покривени компактори називани „смећари“ или „powerpress“. Разликују се по величини и дизајну, при чему су уобичајени они запремине 12 и 15 m³. Ови камиони имају хидраулички управљан механизам за компактовање отпада који може да сабије отпад мале густине од око

35 kg/m³ на око 200 – 240 kg/m³. Камиони са пуњењем са задње стране имају ниску платформу за пуњење која чини пражњење канти једноставним (слика 2.5).

Посебну врсту камиона чине и такозване ротопресе (слика 2.6), који су запремине и до 30 m³. Главна разлика од претходно поменутих „смећара“ је да они секу и уситњавају отпад, и из тог разлога примају већу количину отпада. Након употребе поменуте врсте камиона није могуће обављати сепарацију отпада, већ отпад иде директно на депонију.

У новије време, поред поменута два типа класичних возила за сакупљање и транспорт отпада, користе се и камиони који су у могућности да контејнере подижу и утоварају са стране камиона, односно да прихватају контејнере испред кабине возача и убацују у камион (слика 2.7). Наведени системи сакупљања и транспорта отпада захтевају да контејнери увек стоје на истом месту, јер возило опслужује само један радник, односно возач.

Камиони са дизалицом се користе за: сакупља отпада са пар локација где се генерише значајна количина отпада и за сакупљање крупних и кабастих предмета и индустријског отпада, као што су отпаци од метала и грађевински материјал (слика 2.8).



Слика 2.5 – Powerpress возило Слика 2.6 – Rotopress возило



Слика 2.7– Sidepress возило Слика 2.8 – Возило са дизалицом

2.4. Дефинисање кретања комуналних возила

Да би се остварило најефикасније сакупљање отпада, уштеда у гориву и спречило закрчење саобраћаја неопходно је дефинисати кретање комуналних возила. Такође, кључну ставку у успешности сакупљања отпада чини и сама учесталост сакупљања.

2.4.1. Учесталост сакупљања

Учесталост или фреквенција сакупљања отпада зависи од количине произведеног отпада, годишњег доба, социо-економског стања опслуживане области и општинске комуналне одговорности. У стамбеним областима, за време топлих месеци максимално

дозвољен интервал сакупљања чврстог отпада је два пута недељно, односно једном недељно у другом периоду. У пословним областима, чврсти отпад, укључујући смеће из хотела и ресторана, би се требало скупљати дневно, осим недељом. Гломазни отпади би требало да се сакупљају свака три месеца. Већина градова у Европи и Америци је утврдила програме сакупљања кућног опасног отпада, обично свака три месеца.

2.4.2. Избор руте

Под појмом рута подразумева се путања једног комуналног возила у току једног радног дана. Свака рута састоји се из једне или више тура. Најједноставније решење одлагања чврстог отпада је да се отпад прво одлаже на најближем месту за одлагање, а затим на наредној ближој локацији. Избор одговарајуће руте може значајно да утиче на ефикасност сакупљања, а промене у рути могу да резултирају значајним уштедама новца. Кретање возила унутар додељене зоне за сакупљање се често назива „*mikroruting*”. Главни проблем рутирања је да се утврди оптимална путања кретања комуналног камиона кроз зону сакупљања. Дефинисање оптималне руте сакупљања отпада могуће је остварити коришћењем разних програма који на основу позиције контејнера, која се дефинише помоћу GPS уређаја, и других потребних информација дефинишу оптималну руту. За сваку руту и туру поред приказа на мапи града евидентирају се и подаци о трајању руте, просечној брзини кретања возила, броју места прикупљања и броју испражњених контејнера.

Постоји неколико правила у процесу оптимизације кретања комуналних возила:

1. Руте не треба да се преклапају, морају бити компактне и не требају бити фрагментисане,
2. Стартна тачка, требало би да буде ближа гаражи камиона што је више могуће,
3. Улице са великом густином саобраћаја, требало би избегавати за време шпица,
4. У случају слепих улица, сакупљање се обавља када су контејнери са десне стране улице,
5. На брдима, сакупљање се треба обављати низбрдо како би се камион спуштао,
6. Кретања око блокова треба да буду у смеру казаљке на сату (када је то могуће),
7. У – окретања, могу се избећи уколико никад не оставимо једну двосмерну улицу као једини приступ или излаз из чворишта.

2.5. Појам претоварне (трансфер) станице

Трансфер станице или, како то можда боље звучи, претоварне станице, су простори, објекти и постројења у којима се отпад из једне општине, микрорегије или регије, након издвајања састојака који се могу поново употребити, рециклирати или прерадити, балира и припрема за транспорт до коначног одлагалишта, односно регионалне депоније. Трансфер станице за отпад имају важну улогу у интегралном систему управљања отпадом општине и служе као веза између програма прикупљања отпада у оквиру општине и коначног одлагалишта отпада. Док се власништво, величина и услуге које нуде трансфер станице веома разликују, све оне служе једној основној сврси – консолидовању отпада из више возила за прикупљање и пребацивању истог у већа возила, великих запремина, ради исплативијег транспорта до удаљених одлагалишта. [1]

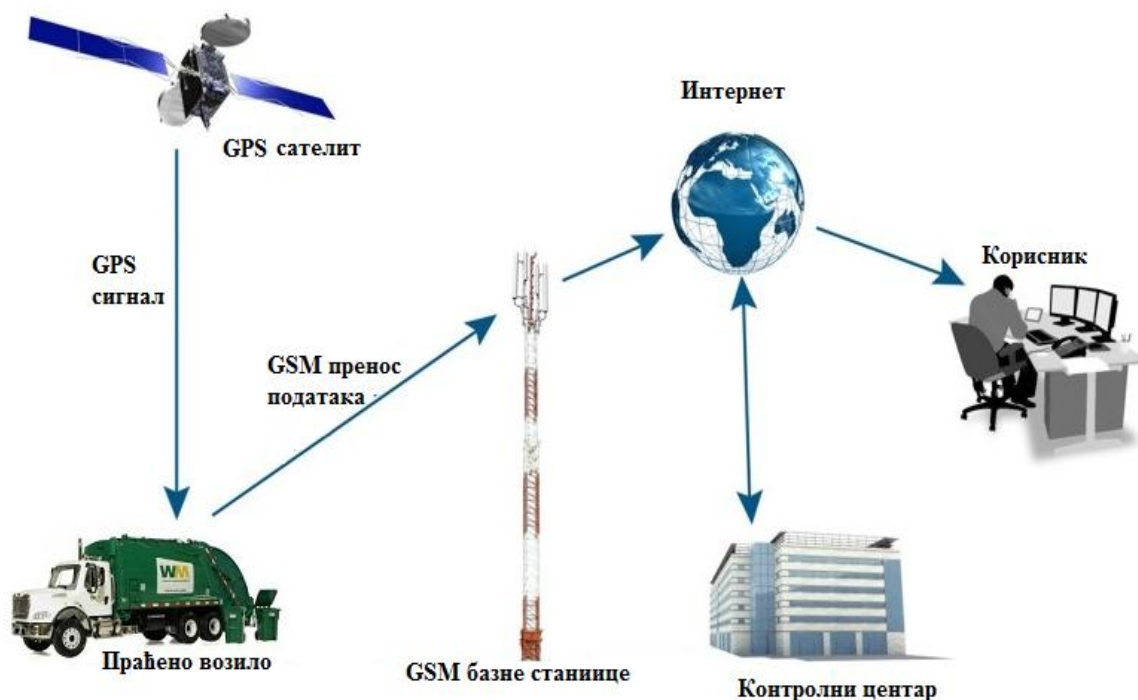
3. Методологија за мониторинг процеса прикупљања комуналног отпада применом GIS и GPS технологија

Редовно посматрање и бележење кретања комуналног возила је потребно да би се могао контролисати процес прикупљања и транспорта отпада. Како би се возило могло пратити путем сателита потребан је хардвер који прикупља податке, обрађује и приказује тако да испуњавају захтеве корисничког система.

GPS у систему управљања отпадом се може користити приликом праћења кретања комуналног возила, дефинисање рута за прикупљање отпада. Саставни део мониторинга возила за прикупљање отпада као и рутирање ових возила чине два софтвера. Први је софтвер за колекцију, обраду и запис података са GPS модема инсталираних у комуналном возилу. Други је софтвер који се инсталира на рачунару корисника и служи за представљање података о возилима и за формирање руте.

GPS технологија је омогућила да се у сваком тренутку прати шта возило ради и где се налази, да се примарно израчунате руте могу мењати у реалном времену и могуће је са возилом успоставити повратну везу како би се утицало на његову ефикаснију употребу.

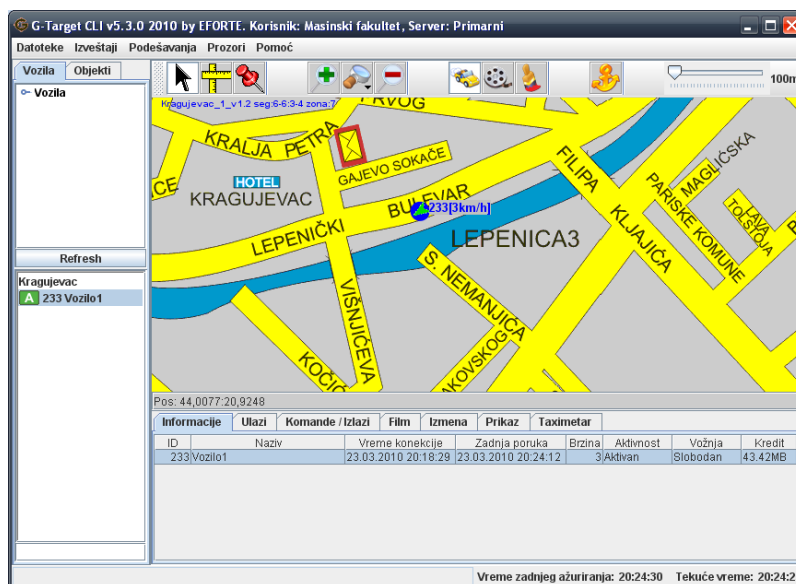
Основни хардверски елемент система представља уређај који се инсталира у возило које се прати. Његове главне компоненте су GPS модул који прима податке од сателита о тренутној позицији, брзини и смеру кретања возила, као и модул за пренос података путем GSM мреже. Хардвер може садржати компоненте као што су GPS антена, различите врсте сензора који мере температуру, влажност ваздуха, притисак, аналогни уређаји.



Слика 3.1 Праћење комуналних возла коришћењем GPS/GIS технологија

Шема по којој систем мониторинга комуналног возила функционише дата је на слици 3.1. Када GPS модул прими потребне податке са сателита, он их заједно са подацима који се прате помоћу сензора шаље преко GSM мреже и интернета до сервера. Између возила и корисника система постоји обострана комуникација, сервер прима податке са уређаја инсталираног у возило, али прима и команде од корисника и прослеђује уређају.

Коришћењем напредних софтвера могуће је пратити тренутну позицију возила на мапи града. Мапе које се користе се такође разликују, па се код једноставнијих система возила прате на Google мапи, док сложенији системи подразумевају специјално дизајниране дигиталне мапе градова. На слици 3.2 је приказано праћење комуналног возила у софтверу GTarget CLI. [4]



Слика 3.2 Праћење комуналног возила у софтверу GTarget CLI

Мониторингом комуналних возила прати се њихово кретање и тако може утицати на смањење трошкова у потрошњи горива, такође се надгледа и контролише да ли се увек користе унапред одређене руте. Предност је и то што се надгледање не мора вршити непрекидно јер постоји могућност да се накнадно види историја кретања возила. У случајевима када је GSM мрежа недоступна или преоптерећена, уређај снима позиције возила у интерну меморију и када мрежа поново буде доступна, сви подаци се шаљу из меморије. У зависности од развијености софтвера, на мапи града се могу уносити карактеристичне тачке и дефинисати радијус у метрима од задатих тачака. У случају комуналног предузећа, карактеристичне локације које се уносе су локације на којима су распоређени контејнери – места прикупљања.

Развој паметних мобилних телефона и њихова масовна употреба развила је потребу за апликацијом за телефоне које ће бити део система за мониторинг кретања возила. Апликација је омогућила оператеру који прати кретања возила да не мора да буде увек поред рачунара већ може и на свом мобилном телефону да прати кретање возила, уочи евентуалне неправилности и благовремено да реагује.

3.1. GIS

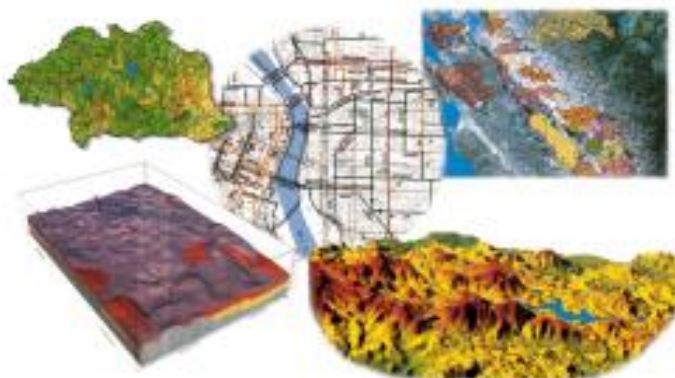
Географски информациони систем је компјутерски информациони систем који прикупља, складишта, анализира и приказује просторне ентитете и њихове особине (слика 3.3). Постоји неколико дефиниција за овај програм који служи за решавање пројектанских проблема и помаже људима при доношењу комплексних одлука. [5]

Прва врста дефиниција представља ГИС као средство за рад:

- ГИС је моћно скупо средство за скупљање, меморисање, претраживање по потреби и приказивање просторних карактеристика из реалног света.
- ГИС је систем за прикупљања, меморисање, проверу, руковање, анализу и приказивање података везаних за земљу.
- ГИС је информациона технологија која меморише, анализира и приказује просторне као и непросторне податке.

Друга група дефиниција овог програма је дефинисана на основу базе података:

- ГИС је систем базе података у којем је већина података просторно индексирана и над којима се управља низом поступака да би одговорили на питања о просторним ентитетима који се налазе у базама.
- ГИС је било који низ поступака који се заснивају на ручној или компјутерској обради и користе се за меморисање и манипулацију географским подацима.



Слика 3.3 Од реалног модела до ГИС-а

Географски информациони систем (ГИС) дословно је превод енглеског оригинала “*GeographicInformationSystems*”. То је синоним од Геоинформациони системи и Просторно информациони системи. Историјски развој ГИС-а заснива се на комбинацији рачунарски подржаног дизајна и манипулисања дигиталним картографским подацима интегрисаних у софтверску базу података. Употребом ГИС-а упрошћено је и убрзано доношење сваке одлуке у вези са локацијом. ГИС је велико тржиште које непрекидно расте и постаје све заступљеније у пословном окружењу. Из области академског истраживања прво се прилагодио за потребе већих организација, као што су организације зашита животне средине, локалне власти...У скорије време све више почиње да се употребљава у свим пословним активностима на десктоп рачунарима.

3.2. Компоненте Гис-а

ГИС се састоји од четири компоненте, а то су:

1) Подсистем за унос

Подсистем за унос служи за конверзију карата и осталих података о простору у дигитални (рачунарски) облик односно подаци се дигитализују. Улазни подаци потичу најчешће из картографских докумената, извештаја, фотографија и теренских снимака.

2) Подсистем за складиштење и претраживање података

Овај подсистем омогућава организовање просторних података и њихових особина у форми која омогућава брз приступ подацима када се употребљавају у анализи и брзо и тачно ажурирање података у бази података.

3) Подсистем за анализу

Улога овог под система јесте дефинисање и извршавање поступка за обраду података и њихових особина са циљом да се дође до изведених информација. Кључни део ГИС-а је овај систем јер се разликује од осталих информационих система по бази података и систему за пројектовање помоћу рачунара (CAD-у).

4) Излазни подсистем

Његов задатак је израда карата, табела и давање одговора на постављена питања. Излаз података и њихово приказивање омогућава стварање видео приказа, картографских докумената и извештаја који приказују информације настале обрадом и анализом података о простору.

3.3. Елементи Гис-а

ГИС чине следећи елементи: хардвер, софтвер, подаци о простору, методе и корисници.(Слика3.4)



Слика 3.4 Елементи ГИС-а

- Хардвер

ГИС може бити постављен и на веома скромним конфигурацијама личних рачунара, као и на радним станицама високих перформанси. ГИС хардвер чине као и уобичајно: монитор, тастатура, каблови и остала рачунарска опрема. Поред ове стандардне у ГИС рачунарску опрему спада: дигитајзер, скенер и велики принтери и плотери. Дигитајзер, као што се из самог имена може закључити, служи за конверзију аналогних података са папирних карата у дигиталне форме које се могу унети у ГИС. Скенером се брзо и ефикасно могу добити дигитални подаци, а за штампање карата у ГИС-у потребни су велики принтери и плотери. На слици 3.5 су хардверске компоненте ГИС-а.



Слика 3.5 Главне хардверске компоненте ГИС-а

- Софтвер

Могућност софтвера је да информације које садрже географске координате просторно дефинише и представи на карти. ArcGIS је систем за рад са мапама и географским информацијама. Користи се за: стварање и коришћење мапа, прикупљање географских података, анализирање мапа и информација, дељење и откривање географских информација и доступан је на интернету.

- Базе података

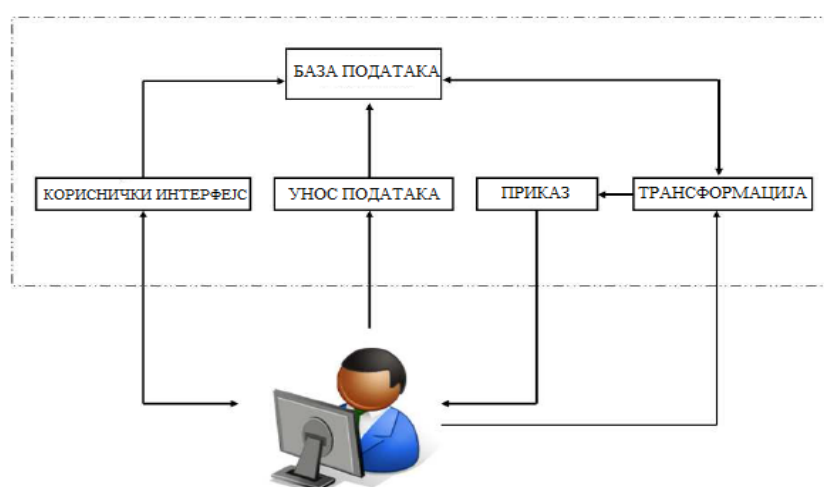
База података је скуп међусобно повезаних података који служе једној или више апликација на оптималан начин и где су подаци независни од програма који их обрађује, а приступ подацима је контролисан. Важна карактеристика је доступност широком броју корисника. Подаци у бази података су сортирани како не би дошло до дуплирања података. Ажурирање података представља важан процес уношења нових и измене постојећих података. Употребом рачунара су ови проблеми поједностављени.

Просторна база је скуп просторно референцираних података који представљају модел стварности. Садрже просторне податке, као што су: тачке, линије, полигони, а обичне базе података могу да чувају само бројеве и текстуалне податке.

- Образовни кадар људи

Неопходни елемент за рад у ГИС-у су образовани стручњаци. Ни најједноставније функције у ГИС-у се не могу одрадiti без стручног кадра. Развој хардвера и софтвера олакшавају поједине операције, али и најсавршени хардвер и софтвер не могу да замене улогу човека у свим потребним фазама изградње ГИС апликација. Ово је разлог зашто је образовање специјалиста у области ГИС-а данас део образовних програма у великом броју земаља Америке и Европе које су боље развијене. Kingston University London је прва образовна институција у свету која је 1989. године понудила трогодишње студије у области ГИС-а, а потом мастер студије и студије на даљину.

На слици 3.6 је приказан повезан систем функционалних делова ГИС-а.



Слика 3.6 Функционални делови ГИС-а

3.4. Примена Гис-а

Примена ГИС-а је у сталном порасту. Употреба ГИС-а омогућила је инжењерима да пројектују путеве и саобраћајнице, научницима да истражују промене у животној средини, полицајцима и ватрогасцима планирање рута приликом хитних интервенција, владе и локалне власти могу да планирају коришћење земљишта и бизнисменима омогућава олакшано анализирање тржишта. Доста је заступљен у употреби приватних послодаваца при планирању пружања њихвих сервисних услуга.

Географски информациони систем се може користити у научним истраживањима, управљању ресурсима, имовинском управљању, просторном планирању, картографији и планирању инфраструктуре. Честа употреба ГИС-а је у грађевинарству и свим областима који користе податке потребне за карту.

Географски подаци потичу од конкретних локација и физичких карактеристика у близини или на површини земље. Ови подаци су полазна тачка сваког географског информационог система.

3.4.1. Могућност примене ГИС-а за у систему управљања отпадом

Транспорт отпадао бихвата његов превоз од места настанка до места на ком се третира или до коначног одлагалишта (депоније). ГИС се највише користи у одређивању оптималних локација за санитарне депоније, трансфер станице или постројења за третман отпада. У употреби је за проналажење оптималне руте за прикупљање отпада, како би се постигло што ефикасније прикупљање и транспорт отпада. Користи се и за одређивање оптималног броја комуналних возила, оптималног распореда локација за прикупљање отпада.

Једна од битних улога ГИС-а је процена утицаја система за прикупљање и транспорт отпада на животну средину. Приликом друмског транспортовања, које је најчешће, постоји могућност да дође до испуштања опасних материја у окружење. Чиме се на директан или индиректан начин угрожава околно становништво, живот других бића у околини и животна средина. Повезивањем података са картографском подлогом је формирано средство за увид и прогнозу могућег ширења загађивача у површинским или подземним зонама околног земљишта или подземним водама. ГИС се у почетку користио само за одређивање локације депоније, а у пракси се показало да може бити примењиван и за дизајн, функционисање и одржавање депоније за време њене активне фазе, у доношењу управљачких одлука, као и у току фазе затварања и после затварања депоније. У оквиру дизајнирања и управљања депонијом ГИС се највише користи приликом:

- прорачуна потребних површина геомембране,
- прорачуна потребне запремине глине, која се употребљава као заштитни слој,
- одређивања тачног места за постављање дренажног система,
- одређивање потребних димензија цеви за прикупљање одвођење процедних вода,
- анализе хемијске и физичке стабилности депоније за различите временске прилике,
- праћење и анализирање процеса одлагања због максималног искоришћења капацитета и минималног утицаја на окружење.

Допринос ГИС-а је велики при: планирању и одлучивању о формирању горњег дренажног завршног слоја за депонију која је у фази затварања, постављања дренажног система за контролу падавина, обнављање вегетације, одређивање најпогодније локације за контролне бунаре...

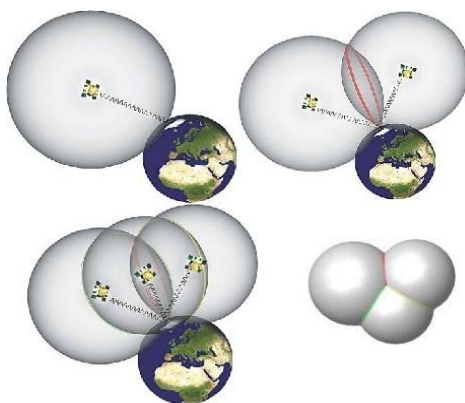
3.5. GPS или Глобални позициони систем

GPS је скраћеница од "*Global Positioning System*" –Систем за глобално позиционирање и представља систем за одређивање позиције на земљи. GPS омогућује корисницима на мору, копну и ваздуху одређивање 3D позиције неке тачке (или позиције у односу на неку тачку), брзине и тачног времена 24 сата дневно.

Основу система GPS мреже чине сателити који припадају Пентагону. Службено име система је NAVSTAR и првобитна намена су му биле војне сврхе, али од 1980. године је на располагању цивилној употреби. Систем је почео да се развија 1973. год., а 1978. год. је лансиран први сателит. Садашњи број активних сателита је 24, а за потпуно оперативан систем је проглашен 1995. год. Додатно се може користити и референтни сигнал станице на

земљи, који служи за корекцију и повећава тачност система на око 1-2 cm. За те сврхе се употребљава референтна станица, чија позиција је позната и која на основ тога може да израчуна грешку GPS система и да је поправи. Ту корекцију она емитује у виду сигнала.

Тачност GPS система је већа него било ког радионавигацијског система до сада. Што је већи број сателита који се прате то је и већа тачност. GPS одмах по укључењу лоцира сателите и одржава задовољавајући пријем и у отежаним условима: високе зграде, густа шума.



Слика 3.7 Рачунање позиције

Да би се одредила позиција потребан је сигнал од минимално три сателита као што је приказано на слици 3.7. Растојање између сателита и тачке на земљи се рачуна помоћу времена за које емитовани сигнал са сателита пређе пут до тачке на земљи. Пресеком две кугле које се добијају са два сателита добија се једна крива у свемиру и једним делом на Земљи. Без сигнала са трећег сателита немогуће је одредити положај објекта на земљи, а са пресеком три кугле добијају се две тачке од којих је једна у свемиру која се изузима и једна на земљи као резултат. Овако је положај на Земљи тродимензионално одређен.

Корисници GPS су: ловци, планинари, поморци, војници, пилоти и сви они који употребљавају GPS пријемник јер желе да знају позицију где се налазе и у ком правцу се крећу. GPS има разнолику употребу, поред система навигације употребљава се у научне сврхе у многим геолошким наукама. Постао је опште заступљен теренски инструмент и све је шири опсег у којем даје поуздане резултате. Данас поред у војне сврхе, које су разлог његовог развоја га користе: геодети, геолози, шумари, агрономи и остале струке које су повезане са радом на терену. Најједноставнија техника употребе GPS пријемника за тренутно давање позиције и висине и/или тачног времена кориснику је ручни GPS пријемник (слика 3.8). Поред употребе у научне и стручне сврхе све је заступљени у свакидашњој употреби. GPS уређаје је у употреби као навигациони систем у аутомобилима (слика 3.9). Разлог наглог раста употребе GPS система је убрзано развијање његових уређаја, постају све бржи, мањи, јефтини, доступни и поуздани.



Слика 3.8 Ручни GPS пријемник



Слика 3.9 GPS навигациони уређај у аутомобилу

4. Модел за израчунавање економских трошкова прикупљања комуналног отпада у урбаним срединама

Трошкови прикупљања комуналног отпада се анализирају кроз више опција, које се базирају на прикупљању отпада генерираног у објектима индивидуалног и колективног становања, као и прикупљања отпада из комерцијалног сектора. Начин на који се прикупља отпад значајно утиче на трошкове, експлоатацију ресурса, емисије CO₂ као и модалитете каснијег третмана прикупљеног мешаног отпада. Постоји неколико опција на располагању за одлагање и прикупљање отпада у градовима и регионима. Оне варирају од једноставног начина прикупљања чврстог отпада са једном флотом возила за прикупљање и одношење на депонију до сложених система где се отпад из дворишта и рециклабили сакупљају одвојено од отпада. Дворишни отпад се одвози у постројења за компостирање, а рециклабили у рециклажна дворишта. Различите врсте контејнера се користе за прикупљање отпада из стамбених, индивидуалних објеката и оних из комерцијалних предузећа и комплекса станова. Исто тако се могу користити различите методе за прикупљање отпада из индивидуалних објеката становања и комерцијалних предузећа, па се и дестинације за одлагање разликују: санитарне депоније, места где се врши рециклажа или компостирање. Поред тога могу да постоје и једна или више локација у граду или округу где становници могу сами да довезу и одложе свој дворишни отпад или рециклабиле. Општинска служба, саветодавац и агенције су одговорни за израду препоруке о “најбољем” начину управљања чврстим отпадом у граду или округу. Један од приступа је да се прво утврде врсте и количине отпада који настаје у домаћинствима, апартманским становима и трговинским предузећима. Следећи корак је да се прикупи што више информација о свим могућим корацима у процесу управљања отпадом: прикупљање, третман, одлагање и по потреби трансформисање отпада у нове производе.

На слици 4.1 је шема алтернативних опција управљања чврстим отпадом и начин на који они могу бити “повезане” са општим програмом управљања отпадом. Ово може помоћи да се у једном моделу прикупе различите комбинације опција прикупљања отпада. На основу цене укупних трошкова и животног века инвентара потребног за прикупљање ће се формирати препоруке за сваку од стратегија, а потом ће се оне рангирати од најбоље до најгоре. Трошкови ће бити један од главних параметара на којима ће се заснивати препорука, али могу постојати ситуације у којима ће други параметар бити од преовлађујућег значаја. На пример, ако је смањење емисије CO₂ приоритет, онда је најодговарајућа стратегија она у којој је минимална емисија CO₂. [2]

4.1. Опције прикупљања комуналног отпада

Са шеме опција управљања отпадом (слика 4.1) види се да има 13 опција за прикупљање отпада из објекта индивидуалног становања (кућа). Неке од опција захтевају посуде или канте у сврху квалитетнијег издвајања рециклабилног и биоразградивог отпада.

Општа шема прикупљања отпада из објекта индивидуалног становања, састоји се у следећем:

- комунално возило напушта гаражу на почетку сваког радног дана и започиње прикупљање отпада дуж претходно утврђених рута (путања кретања),
- дужина руте је одређена бројем домаћинстава које возило може да опслужи пре него што попуни свој капацитет,
- напуњено комунално возило одвози отпад у постројење за третман отпада или на депонију, празни се и наставља радни процес дуж нове руте за прикупљање,
- на крају радног дана, празно возило се из постројења за третман отпада или са депоније, одвози у гаражу.

Већина уобичајених типова градских служби за прикупљање отпада за одвојене објекте ниске спратности укључује:

- сакупљање отпада са ивичњака улица,
- сакупљање отпада са прилаза кућама (улице).

Мешани отпад – прикупљање без раздвајања на извору

Опција 1 –Прикупљање мешаног отпада у једно-запреминским комуналним возилима без примарне сепарације и издвајања рециклабилних материјала.

Отпад раздвојен на извору

Систем сакупљања раздвојеног отпада у домаћинствима је директно повезан са технологијама третмана отпада, као и тржиштем секундарних сировина. Развијени системи раздвајања отпада у Европи углавном су пројектовани на тај начин да се у становима одвајају, папир, отпад за компостирање, пластика и остатак отпада, док се стаклена амбалажа или враћа у велике тржне центре или постоје посебни контејнери у појединим деловима насеља.

Систем прикупљања може бити такав да се одређеним даном у недељи прикупи једна врста отпада, а другим данима друге врсте. Веома ретко се у истом дану са више возила прикупља више различитих врста одвојеног отпада. У неколико градова у Србији одвојено се прикупљају папир, пластика и остали отпад. Србија нема ни један вид другог третмана отпада.

Опција 2 –Прикупљени помешани рециклабилни отпад се раздваја на месту прикупљања од стране радника комуналне службе у вишезапреминско комунално возило.

Опција 3 – Рециклабилни отпад је претходно раздвојен на извору у више одговарајућих канти, а радници комуналне службе га претоварују у вишезапреминско комунално возило.

Опција 4– Помешани рециклабилни отпад се прикупља у једној канти. Радници комуналне службе претоварују рециклабилни отпад уједнозапреминско комунално возило. Рециклабилни отпад се даље сортира у постројењима за секундарну сепарацију.

Отпад раздвојен на извору у кесе (џакове)

Опција 5 –Отпад је раздвојен на извору на мешани и рециклабилни отпад у кесама различитих боја. Прикупљени отпад се транспортује у једно-запреминском комуналном возилу. Кесе са отпадом се сортирају по истовару отпада у постројењима за сепарацију отпада. Обично, папирни отпад је у кесама једне боје, не-папирна фракција рециклабилног отпада у кесама друге боје, а мешани отпад је у кесама треће боје.

Опција 6 – Отпад је раздвојен на извору на мешани и рециклабилни отпад у кесама различитих боја. Прикупљени отпад се транспортује у тро-запреминском комуналном возилу у постројења за сепарацију отпада (рециклабилни отпад) и у постројења за третман мешаног отпада (спалионице, компостаре, депоније,...). Папирни отпад је у кесама једне боје, не-папирна фракција рециклабилног отпада у кесама друге боје, а мешани отпад је у кесама треће боје.

Нерециклабилни отпад раздвојен на извору

Опција 7 –Ако се рециклабилни отпад прикупља кроз опције 2,3 или 4, тада се нерециклабилни део отпада прикупља у једно-запреминско возило као у опцији 1.

Одношење рециклабилног отпада од стране произвођача отпада

Опција 8 – Произвођач отпада односи својим возилом рециклабилни отпад у централизоване објекте за прикупљање таквог отпада или рециклажна дворишта. Такође, ова опција се односи и на отпад који је продавац дужан да преузме (на пример, амбалажни или електронски отпад).

Дворишни отпад

Опција 9 - Прикупљање дворишног отпада помоћу једнозапреминског возила. Претходно се дефинише да ли се отпад прикупља у гомилама, пластичним кесама које се морају празнити пре процеса компостирања или у биоразградивим кесама које се не празне. Дворишни отпад може да се прикупља и као мешани отпад у опцијама од 1 до 7, ако прописи или давалац услуге то дозвољавају.

Опција 10 - Прикупљање (усисавање) лишћа специјализованим комуналним возилом.

Опција 11 -Произвођач отпада односи дворишни отпад у централизована постројења за компостирање отпада.

Суви/мокри рециклабилни отпад

Опција 12 - Обе фракције рециклабилног отпада се прикупљају као суви рециклабилни отпад, једним возилом.

Опција 13- Две фракције рециклабилног отпада се прикупљају различитим комуналним возилима.

4.2. Прикупљање отпада у објектима колективног становања

За објекте ниске и средње спратности уобичајено је сакупљање отпада са ивичњака улица или посебних места резервисаних за више контејнера. У већини случајева у нашој земљи контејнери запремине $1,1 \text{ m}^3$ се налазе на улици, поред ивичњака или у специјално направљеним и ограђеним просторима за контејнере. Грађани из колективног типа становања доносе отпад до контејнера. Систем који је показао боље резултате је да се контејнери чувају на затвореним и закључаним местима која су доступна само становницима који одлажу отпад у њих, и сакупљачима отпада из компаније која сакупља отпад из тог реона.

Мешани отпад – прикупљање без раздвајања на извору

Опција 14 – Прикупљање мешаног отпада у једно-запреминским комуналним возилима без примарне сепарације. Потребно је дефинисати тип контејнера у који се одлаже отпад.

Отпад раздвојен на извору

Опција 15 – Прикупљање рециклабилног отпада који се раздваја на извору у више различитих контејнера.

Опција 16 – Прикупљање мешаног рециклабилног отпада, који радници комуналне службе раздвајају на лицу места у дво-запреминско возило (папирна и не-папирна фракција).

Нерециклабилни отпад раздвојен на извору

Опција 17 – Ако се рециклабилни отпад прикупља кроз опције 15 или 16, тада се нерециклабилни део отпада прикупља помоћу једнозапреминског возила као у опцији 14.

Суви/мокри рециклабилни отпад

Опција 18 – Обе фракције рециклабилног отпада се прикупљају као суви рециклабилни отпад, једним возилом.

Опција 19 – Две фракције рециклабилног отпада се прикупљају различитим комуналним возилима.

Рециклабилни отпад

Опција 20 – Прикупљање претходно сортираног (раздвојеног) рециклабилног отпада.

Опција 21 – Прикупљање мешаног отпада пре или после процеса раздвајања отпада на извору.

4.3. Математички модел трошкова прикупљања отпада

Овим математичким моделом рачунају се следећи јединични трошкови процеса прикупљања комуналног отпада:

- укупни годишњи трошкови прикупљања,
- годишњи трошкови прикупљања по комуналном возилу,
- годишњи трошкови прикупљања по локацији прикупљања,
- годишњи трошкови прикупљања по тони сакупљеног отпада .

Годишњи трошак прикупљања по комуналном возилу је сума годишњих капиталних и оперативних трошкова једног возила увећана за годишњи капитални трошак сваког контејнера који грађани користе на локацијама прикупљања које обилази дато возило.

Трошак прикупљања по локацији прикупљања је сума годишњих трошкова једног комуналног возила подељених бројем локација које то возило сервисира увећаних за трошкове свих контејнера који се налазе на тим локацијама. Код индивидуалног становања, један објекат представља једно место прикупљања. У случају објекта колективног становања (једна или више стамбених зграда), место прикупљања је локација на којој се налази један или више груписаних контејнера.

Трошкови по тони сакупљеног отпада се добијају када се трошкови по локацији прикупљања поделе масом отпада генерираном на годишњем нивоу од стране становника који користе то место прикупљања.

Стандардна вредност учесталости (фреквенце) прикупљања отпада је једном недељно. Из тог разлога, у алгоритам прорачуна трошкова се укључује параметар количине генерираног отпада недељно за свако место прикупљања. Овај параметар се рачуна на основу броја становника који живе у објектима индивидуалног становања, укупног броја оваквих објеката у заједници и дневне количине генерираног отпада по становнику. Отуда, просечна количина генерираног отпада по објекту (домаћинству) недељно је:

$$m_{OI}^N = \frac{N_{SOI}}{N_{OI}} \cdot m_S^D \cdot 7 \quad (1)$$

где је:

m_{OI}^N [kg] – маса отпада генерирана у објекту индивидуалног становања током једне недеље,

m_S^D [kg] – маса генерираног отпада по становнику дневно,

N_{SOI} [-] – број становника који живе у објектима индивидуалног становања,

N_{OI} [-] – број објеката индивидуалног становања у заједници.

4.3.1. Математички модел прикупљања мешаног отпада опцијом 1

Модел за прорачун трошкова прикупљања мешаног отпада подразумева да се овај отпад одвози једнозапреминским комуналним возилом. Становници свој кућни отпад прикупљају у сопственим кантама, без издвајања рециклабилних компонената. У овом случају радници комуналне службе не врше никакво раздвајање на месту прикупљања, па се трошкови своде на трошкове набавке и експлоатације комуналних возила.

Један од важних параметара за прорачун трошкова је недељна количина генерираног мешаног отпада по објекту ($m_{Mix_OI}^N$). Како нема издвајања рециклабилних фракција отпада на извору или на месту прикупљања, просечна недељна количина мешаног отпада је једнака просечној недељној количини отпада по објекту (m_{OI}^N , израз 1), односно:

$$m_{Mix_OI}^N = m_{OI}^N (2)$$

Модел за прорачун трошкова прикупљања кућног отпада из објеката индивидуалног становања може да се прикаже преко следећих алгоритамских корака:

Корак 1 – Број објеката (домаћинстава) које ће комунално возило опслужити до попуњавања свог капацитета (један циклус прикупљања отпада)

$$N_{OI}^C = \frac{S_{kor_kv} \cdot V_{kv} \cdot N_P^N}{(m_{Mix_OI} / \rho_{Mix})} (3)$$

где је:

N_{OI}^C [-] – број опслужених објеката по једном циклусу прикупљања (до попуњавања капацитета возила),

S_{kor_kv} [-] – степен искоришћења товарног простора у комуналном возилу (0.75÷0.9),

V_{kv} [m³] – запремински капацитет возила,

N_P^N [-] – фреквенца прикупљања отпада (број пражњења канте/контејнера у току једне недеље),

ρ_{Mix} [kg/m³] – густина мешаног отпада.

Корак 2 – Време путовања празног комуналног возила:

$$T_I = \frac{D_I}{V_I} \cdot 60, \quad (4)$$

где су:

T_I [min] – време путовања празног комуналног возила,

D_I [km] – растојање које прелази празно комунално возило,

V_I [km/h] – просечна брзина празног комуналног возила.

Комунално возило путује празно (на почетку сваког радног дана) од гараже до почетне локације првог циклуса прикупљања отпада. Такође, возило путује празно и од локације за

истовар отпада до почетне локације наредног циклуса прикупљања. У циљу уопштавања математичког модела, увешће се претпоставка да су претходно дефинисана растојања приближно једнака, а да се празно возило увек креће истом просечном брзином. Ова претпоставка се базира на чињеници да су режими кретања, потрошња горива и емисија продуката сагоревања пуног и празног возила врло различити, па се нијансе у параметрима кретања празног возила могу занемарити.

Корак 3 – Време кретања комуналног возила између локација прикупљања отпада

$$T_{IIK} = \frac{D_{IIK}}{V_{IIK}} \cdot 60, \quad (5)$$

где су:

T_{IIK} [min]– време кретања између две узастопне локације прикупљања отпада,

D_{IIK} [km]– растојање између две узастопне локације прикупљања отпада,

V_{IIK} [km/h]– просечна брзина кретања возила између две локације прикупљања отпада.

Корак 4 – Време путовања комуналног возила од задњег места прикупљања отпада до објекта где се отпад истовара:

$$T_{III} = \frac{D_{III}}{V_{III}} \cdot 60, \quad (6)$$

где су:

T_{III} [min]– време путовања од задњег места прикупљања до локације истовара,

D_{III} [km]– растојање између задњег места прикупљања и локације истовара,

V_{III} [km/h]– просечна брзина кретања возила између задњег места прикупљања и локације истовара.

Корак 5 – Време путовања празног комуналног возила од објекта где се отпад истовара до гараже (крај радног дана):

$$T_{IV} = \frac{D_{IV}}{V_{IV}} \cdot 60, \quad (7)$$

где су:

T_{IV} [min]– време путовања од локације истовара до гараже,

D_{IV} [km]– растојање између локације истовара и гараже,

V_{IV} [km/h]– просечна брзина кретања празног комуналног возила између локације истовара и гараже.

Корак 6 – Време које је потребно комуналном возилу да комплетира један циклус прикупљања отпада (време путовања празног возила до почетне локације, време пуњења возила, путовање између локација, задња локација-објекат за истовар отпада, време истовара отпада):

$$T_C = T_I + T_{IP} \cdot \left(\frac{N_{OI}^C}{N_{OI}^L} \right) + T_{IK} \cdot \left(\frac{N_{OI}^C}{N_{OI}^L} - 1 \right) + T_{III} + T_{ist}, \quad (8)$$

где су:

T_C [min]– време путовања комуналног возила до комплетирања једног циклусаприкупљања отпада,

T_{IP} [min]– времепуђењакомуналног возила на једном месту прикупљања отпада,

N_{OI}^L [-] – број објеката за које се отпадприкупља на једномместу (локацији),

T_{ist} [min]– време пражњења комуналног возила на локацији за истовар отпада.

Корак 7 – Број циклуса прикупљања отпада које комунално возило може да обави током једног радног дана:

$$N_C^D = \frac{N_{RS_KV}^D \cdot 60 \cdot (T_{PR} + T_{PO} + T_{IV})}{T_C}, \quad (9)$$

где су:

N_C^D [-]– број циклуса прикупљања отпада у току једног дана по возилу,

$N_{RS_KV}^D$ [h]– број радних сати на дан по комуналном возилу,

T_{PR} [min]– пауза за оброк (минута на дан по возилу),

T_{PO} [min]– пауза за одмор (минута на дан по возилу).

Корак8 –Потребан број циклуса прикупљања отпада које комунална возиламорају да обаведа би се опслужила сва домаћинства обухваћена опцијом 1:

$$N_{CU} = \frac{N_{OI} \cdot C_{OI_op1}}{N_{OI}^C}, \quad (10)$$

где су:

N_{CU} [-]– број потребних циклуса прикупљања отпада да би се опслужила сва домаћинства,

C_{OI_op1} [-]– коефицијент удела домаћинства обухваћених опцијом 1.

Корак 9 – Број комуналних возила потребан да би се опслужила сва домаћинства обухваћена опцијом опцијом1, током недељне шеме прикупљања отпада:

$$N_{KV}^N = \frac{N_{CU}}{N_C^D} \cdot \frac{N_P^N}{N_{RD}^N}, \quad (11)$$

гдесу:

N_{KV}^N [-]–број комуналних возилаза недељну шему прикупљања,

N_{RD}^N [-]– број радних дана у току једне недеље.

Корак 10 –Капитални оперативни трошкови једног комуналног возила на нивоу једне године:

Капитални трошкови:

$$K_{T_KV} = (1 + e) \cdot P_{KV} \cdot CRF, \quad (12)$$

где су:

$K_{T_KV} [€/god^{-1}]$ - годишњи капитални трошкови једног комуналног возила амортизованог дуж економског века,

$e [-]$ – коефицијент административних трошкова (€ административних трошкова по € цене капитала),

$P_{KV} [€]$ – цена једног комуналног возила,

$CRF [god^{-1}]$ – фактор повећања капитала по комуналном возилу.

Фактор повећања капитала CRF дефинишес се као:

$$CRF = \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}, \quad (13)$$

где су:

$i [god^{-1}]$ – годишња есконтна стопа,

$n [god]$ – економски век комуналног возила.

Оперативни трошкови:

$$O_{T_KV} = (1 + e) \cdot \left\{ (1 + a) \cdot \left[(1 + b_{KR}) \cdot (S_{KR} \cdot N_{KR}^{KV} + S_V) \cdot N_{RS_KR}^D \cdot N_{RD}^N \cdot \frac{365}{7} \right] + c + \left[d \cdot (N_{KR}^{KV} + 1) \right] \right\}, \quad (14)$$

где су:

$O_{T_KV} [€/god^{-1}]$ – годишњи оперативни трошкови једног комуналног возила,

$a [-]$ – порези и доприноси (€ пореза и доприноса по € нето зараде),

$b_{KR} [-]$ – коефицијент замене комуналног радника (број резервних радника по комуналном раднику),

$S_{KR} [€/раднику]$ – износ сатнице за комуналног радника (€ на сат по раднику),

$N_{KR}^{KV} [радника]$ – број комуналних радника по комуналном возилу,

$S_V [€/возачу]$ – износ сатнице за возача комуналног возила (€ на сат по возачу),

$N_{RS_KR}^D [h]$ – број радних сати дневно по комуналном раднику,

$c [€/god^{-1}]$ – годишњи трошкови одржавања и експлоатације комуналног возила,

$d [€/god^{-1}]$ – остали трошкови по раднику.

Корак 11 – Трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу:

$$C_{KV} = [(1 + b_v) \cdot K_{T_KV}] + O_{T_KV}, \quad (15)$$

где су:

$C_{KV} [\text{€/god}^{-1}]$ – годишњи трошкови по комуналном возилу,

$b_{KV} [-]$ – коефицијент замене комуналног возила (број резервних возила по комуналном возилу).

Корак 12 – Укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу:

$$C_{PO} = N_{KV}^N \cdot C_{KV}, \quad (16)$$

где је:

$C_{PO} [\text{€/god}^{-1}]$ – укупни трошкови прикупљања.

Корак 13 – Број објеката (домаћинства) које једно возило може да опслужитоком недељне шеме прикупљања отпада:

$$N_{OI_KV}^N = \frac{N_{OI}^C \cdot N_C^D \cdot N_{RD}^N}{N_P^N}, \quad (17)$$

где је:

$N_{OI_KV}^N$ [објеката/возилу] – број опслужених домаћинства по возилу током недељне шеме прикупљања.

Корак 14 – Трошкови прикупљања по објекту (домаћинству, $N_{OI}^L = 1$) на годишњем нивоу:

$$C_{PO}^{OI} = \frac{C_{KV}}{N_{OI_KV}^N \cdot N_{OI}^L}, \quad (18)$$

где је:

$C_{PO}^{OI} [\text{€/god}^{-1}]$ – трошкови по објекту (домаћинству).

Корак 15 – Трошкови прикупљања по тони комуналног отпада:

$$C_{PO}^T = \frac{C_{PO}^{OI}}{m_{Mix_OI}^N \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{1000} \cdot 365}, \quad (19)$$

где је:

$C_{PO}^T [\text{€/t}]$ – трошкови по тони отпада.

У претходној релацији израз $(m_{Mix_OI}^N \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{1000} \cdot 365)$ представља годишњу продукцију отпада по домаћинству у тонама.

4.3.2. Математички модел прикупљања отпада раздвојеног на извору– опције 2, 3 и 4

Опције 2,3 и 4 представљају варијанту прикупљања отпада који је раздвојен на рециклабилни и не-рециклабилни (преостали мешани отпад). Свако домаћинство је додатно снабдевано са једним (или више) контејнера (канти) за издвајање рециклабилних фракција. Годишњи трошкови амортизације ових посуда се третирају као додатни капитални трошкови прикупљања отпада. При томе, овај модел прорачуна трошкова прикупљања претпоставља да су сва домаћинства у оквиру сектора у коме се примењују опције 2,3 или 4 снабдевена додатним посудама за издвајање рециклабилних фракција без обзира да ли су се сви становници одлучили за учешће у програму рециклаже.[2]

Једначине за израчунавање трошкова код опција 2,3 и 4 су идентичне. Разлике у трошковима прикупљања код ових опција се јављају искључиво због различитих вредности следећих променљивих:

- број додатних посуда за издвајање рециклабилних фракција које су додељене домаћинствима
- време пуњења комуналног возила (и у неким ситуацијама време раздвања фракција код пуњења),
- број радника у посади комуналног возила,
- капитални и оперативни трошкови комуналног возила.

За опције 2,3 и 4, недељна количина генерисаног рециклабилног отпада по објекту ($m_{Rec_OI_j}^N$) је једнака производу просечне недељне количине отпада по објекту (m_{OI}^N , израз 1) и коефицијенту издвајања рециклабилних фракција, односно:

$$m_{Rec_OI_j}^N = m_{OI}^N \cdot f_{Rec_j} \quad (20)$$

где је:

$m_{Rec_OI_j}^N$ [kg, недељно / објекту] -маса рециклабилног отпада генерисана по објекту на недељном нивоу за опцију прикупљања [j] (j представља једну од опција 2, 3 или 4),

m_{OI}^N [kg, недељно / објекту] -маса отпада генерисана у објекту индивидуалног становања током једне недеље,

f_{Rec_j} [/] -коефицијент издвајања рециклабилних фракција за опцију прикупљања [j] (j представља једну од опција 2, 3 или 4).

Коефицијент издвајања рециклабилних фракција f_{Rec_j} израчунава се као сума производа ”степен издвајања рециклабилне фракције отпада” и ”масеног удела фракције отпада” односно:

$$f_{Rec_j} = \sum_i^n c_{r_{ij}} \cdot f_i \quad (21)$$

где су:

$C_{r_{ij}}$ [/]- степен издвајања рециклабилне фракције отпада,

$f_i = \frac{m_i}{m}$ - масени удео фракције отпада.

Густина отпада се мора разложити на густину рециклабилног дела отпада и не-рециклабилног отпада (преостали мешани отпад).

$$m = m_R + m_M = \sum m_i(R) + \sum m_i(M) \quad (22)$$

$$\rho_R = \frac{\sum f_i c_{r_{ij}}}{\sum \frac{f_i}{\rho_i} c_{r_{ij}}} \quad (23)$$

$$\rho_M = \frac{\sum f_i (1 - c_{r_{ij}})}{\sum \frac{f_i}{\rho_i} (1 - c_{r_{ij}})} \quad (24)$$

где су:

ρ_R - густина рециклабилног дела отпада,

ρ_M - густина преосталог (мешаног) дела отпада,

$\rho_i = \rho \cdot S_{sab}$ - густина „ сабијеног” отпада (i -те компоненте),

ρ - густина сакупљеног отпада пре “ сабијања” (i - те компоненте),

S_{sab} [-] – степен сабијања отпада у комуналном возилу (i - те компоненте).

Модел за прорачун трошкова прикупљања кућног отпада из објеката индивидуалног становања за опције 2,3 и 4 може да се прикаже преко идентичних алгоритамских корака као и код опције 1 (мешани отпад), с’том разликом што се код опција 2,3 и 4 у појединим формулама уводи и тзв. ”фактор учестаности” (PF). Ово се уводи из разлога што комунална возила код опција прикупљања 2,3 и 4 се заустављају само код објеката који имају наменски постављене посуде (канте) за прикупљање рециклабилног отпада, па је последично и време кретања комуналног возила између локација прикупљања отпада нешто дуже.

Корак 1 – Број објеката (домаћинства) које ће комунално возило опслужити до попуњавања свог капацитета (један циклус прикупљања отпада):

$$N_{Rec_OI}^C = \frac{S_{kor_kv} \cdot V_{kv} \cdot N_P^N}{(m_{Rec_OI_j} / \rho_R)} \quad (25)$$

где је:

$N_{Rec_OI}^C$ [-] – број опслужених објеката који учествују у програму рециклаже по једном циклусу прикупљања (до попуњавања капацитета возила),

S_{kor_kv} [-] – степен искоришћења товарног простора у комуналном возилу,

V_{kv} [m^3] –запремински капацитет комуналног возила,

N_p^N [-] – фреквенца прикупљања отпада (број пражњења канте/контејнера у току једне недеље),

ρ_R [kg/m^3] –густина рециклабилног дела отпада.

Корак 2 –Време путовања празног комуналног возила:

$$T_I = \frac{D_I}{V_I} \cdot 60, \quad (26)$$

где су:

T_I [min]– време путовањепразног комуналног возила,

D_I [km]–растојање које прелази празно комунално возило,

V_I [km/h]– просечна брзина кретања празног комуналног возила.

Комунално возило путује празно (на почетку сваког радног дана) од гараже до почетне локације првог циклуса прикупљања отпада. Такође, возило путује празно и од локације за истовар отпада до почетне локације наредног циклуса прикупљања. У циљу уопштавања математичког модела, увешће се претпоставка да су претходно дефинисана растојања приближно једнака, а да се празно возило увек креће истом просечном брзином. Ова претпоставка се базира на чињеници да су режими кретања, потрошња горива и емисија продуката сагоревања пуног и празног возила врло различити, па се нијансе у параметрима кретања празног возила могу занемарити.

Корак 3 – Време кретања комуналног возила између локација прикупљања отпада

$$T_{IIK} = \frac{D_{IIK}}{V_{IIK}} \cdot 60, \quad (27)$$

где су:

T_{IIK} [min]– време кретања између две узастопне локације прикупљања отпада,

D_{IIK} [km]– растојање између две узастопне локације прикупљања отпада,

V_{IIK} [km/h]– просечна брзина кретања комуналног возила између локација прикупљања отпада.

Корак 4 – Време путовања комуналног возила од задњег места прикупљања отпада до објекта где се отпад истовара:

$$T_{III} = \frac{D_{III}}{V_{III}} \cdot 60, \quad (28)$$

где су:

T_{III} [min]– време путовањаод задњег места прикупљањаотпада до локације истовара,

D_{III} [km]– растојање између задњег места прикупљања отпада и локације истовара,

V_{III} [km/h]– просечна брзина кретањавозила између задњег места прикупљања и локације истовара.

Корак 5 – Време путовања празног комуналног возила од објекта где се отпад истовара до гараже (крај радног дана):

$$T_{IV} = \frac{D_{IV}}{V_{IV}} \cdot 60, \quad (29)$$

где су:

T_{IV} [min]– време путовања од локације истовара отпада до гараже,

D_{IV} [km]– растојање између локације истовара и гараже,

V_{IV} [km/h]– просечна брзина кретањापразног комуналног возила између локације истовара и гараже.

Корак 6 – Време које је потребно комуналном возилу да комплетира један циклус прикупљања отпада (време путовања празног возила до почетне локације, време пуњења возила, путовање између локација, задња локација-објекат за истовар отпада, време истовара отпада):

$$T_C = T_I + T_{IP} \cdot \left(\frac{N_{Rec-OI}^C}{N_{OI}^L} \right) + \frac{T_{IIIK}}{PF} \cdot \left(\frac{N_{Rec-OI}^C}{N_{OI}^L} - 1 \right) + T_{III} + T_{ist}, \quad (30)$$

где су:

T_C [min]– време путовања комуналног возиладо комплетирањаједног циклуса прикупљања отпада ,

T_{IP} [min]– време пуњења комуналног возилана једном месту прикупљања отпада,

N_{OI}^L [-]– број објеката за који се отпад прикупља на једном месту (локацији),

T_{ist} [min]– време пражњења комуналног возила на локацији за истовар отпада,

PF [-] – фактор учесталости објекта који учествују у рециклажи у односу на укупан број објеката.

Корак 7 – Број циклуса прикупљања отпада које комунално возило може да обави током једног радног дана:

$$N_C^D = \frac{N_{RS-KV}^D \cdot 60 - (T_{PR} + T_{PO} + T_{IV})}{T_C}, \quad (31)$$

где су:

N_C^D [-]–број циклуса прикупљања отпада у току једног радног дана по возилу,

N_{RS-KV}^D [h]– број радних сати на дан по комуналном возилу,

T_{PR} [min]– пауза за оброк (минута на дан по возилу),

T_{PO} [min]– пауза за одмор(минута на дан по возилу).

Корак 8 – Потребан број циклуса прикупљања отпада које комунална возила морају да обаве да би се опслужила сва домаћинства обухваћена опцијом 2, 3 или 4.:

$$N_{CU} = \frac{N_{OI} \cdot PF \cdot C_{OI-j}}{N_{Rec_OI}^C}, \quad (32)$$

где су:

N_{CU} [-] – број потребних циклуса прикупљања отпада да би се опслужила сва домаћинства,

C_{OI-j} [-] – коефицијент удела домаћинстава обухваћених опцијом j (опције 2,3 или 4) – ова вредност мора бити мања или једнака 1; за опцију 2 претпоставка је да је ова вредност једнака 1,

PF [-] – фактор учесталости објеката који учествују у рециклажи у односу на укупан број објеката.

Корак 9 – Број комуналних возила потребан да би се опслужила сва домаћинства обухваћена опцијом 2, 3 или 4, током недељне шеме прикупљања отпада:

$$N_{KV}^N = \frac{N_{CU}}{N_C^D} \cdot \frac{N_P^N}{N_{RD}^N}, \quad (33)$$

где су:

N_{KV}^N [-] – број комуналних возила за недељну шему прикупљања,

N_{RD}^N [-] – број радних дана у току једне недеље,

N_P^N [-] – број пражњења канте/контејнера у току једне недеље (фреквенца прикупљања отпада).

Корак 10 – Капитални и оперативни трошкови једног комуналног возила на нивоу једне године:

Капитални трошкови:

$$K_{T_KV} = (1+e) \cdot P_{KV} \cdot CRF, \quad (34)$$

где су:

K_{T_KV} [€/god⁻¹] – годишњи капитални трошкови једног комуналног возила амортизованог дуж економског века,

e [-] – коефицијент административних трошкова (€ административних трошкова по € цене капитала),

P_{KV} [€] – цена једног комуналног возила,

CRF [god⁻¹] – фактор повраћаја капитала по комуналном возилу.

Фактор повраћаја капитала CRF дефинише се као:

$$CRF = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, \quad (35)$$

где су:

$i [god^{-1}]$ – годишња есконтна стопа,

$n [god]$ – економско век комуналног возила.

Оперативни трошкови:

$$O_{T_KV} = (1+e) \cdot \left\{ (1+a) \cdot \left[(1+b_{KR}) \cdot (S_{KR} \cdot N_{KR}^{KV} + S_V) \cdot N_{RS_KR}^D \cdot N_{RD}^N \cdot \frac{365}{7} \right] + c + \left[d \cdot (N_{KR}^{KV} + 1) \right] \right\}, \quad (36)$$

где су:

$O_{T_KV} [€/god^{-1}]$ – годишњи оперативни трошкови једног комуналног возила,

$a [-]$ – порези и доприноси (€ пореза и доприноса по € нето зараде),

$b_{KR} [-]$ – коефицијент замене комуналног радника (број резервних радника по комуналном раднику)

$S_{KR} [€/раднику]$ – износ сатнице за комуналног радника (€ на сат по раднику),

$N_{KR}^{KV} [радника]$ – број комуналних радника по комуналном возилу,

$S_V [€/возачу]$ – износ сатнице за возача комуналног возила (€ на сат по возачу),

$N_{RS_KR}^D [h]$ – број радних сати по дневници по комуналном раднику,

$c [€/god^{-1}]$ – годишњи трошкови одржавања и експлоатације комуналног возила,

$d [€/god^{-1}]$ – остали трошкови по раднику.

Корак 11 – Број објеката (домаћинстава) које једно возило може да опслужи током недељне шеме прикупљања отпада, а која учествују у програму рециклаже:

$$N_{Rec_OI_KV}^N = \frac{N_{OI}^C \cdot N_C^D \cdot N_{RD}^N}{N_P^N}, \quad (37)$$

где је:

$N_{Rec_OI_KV}^N$ [објеката/возилу] – број опслужених домаћинстава по возилу током недељне шеме прикупљања која учествују у рециклажи.

Корак 12 – Број посуда (канти) за одлагање рециклабилног отпада у објектима које опслужи једно комунално возило у једном циклусу (пролазу):

$$N_{KAN}^O = \frac{N_{KAN} \cdot N_{Rec_OI_KV}^N}{PF} \quad (38)$$

N_{KAN}^O – број посуда за одлагање рециклабилног отпада у објектима које опслужи једно комунално возило у једном циклусу,

N_{KAN} – број посуда за одлагање рециклабилног отпада распоређених у објектима (домаћинствима),

$N_{Rec_OI_KV}^N$ [објекта/возилу] – број опслужених домаћинстава по возилу током недељне шеме прикупљања која учествују у рециклажи,

$PF[-]$ – фактор учесталости објекта који учествују у рециклажи у односу на укупан број објекта.

Корак 13 – Капитални трошкови једне посуде (канте) за одлагање рециклабилног отпада:

$$K_{T_KAN} = (1 + e) \cdot P_{KV} \cdot CRF, \quad (39)$$

где су:

$K_{T_KAN} [€/god^{-1}]$ – годишњи капитални трошкови једне посуде (канте) амортизоване дуж економског века,

$e [-]$ – коефицијент административних трошкова (€ административних трошкова по € цена капитала),

$P_{KV} [€]$ – цена једне посуде (канте),

$CRF [god^{-1}]$ – фактор повраћаја капитала по посуду

$$CRF = \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}, \quad (40)$$

где су:

$i [god^{-1}]$ – годишња есконтна стопа,

$n [god]$ – економско век канте.

Корак 14 – Капитални трошкови посуда (канти) за одлагање рециклабилног отпада које опслужи једно комунално возило:

$$K_{T_KAN_U} = K_{T_KAN} \cdot N_{KAN}^O \quad (41)$$

Корак 15 – Трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу:

$$C_{KV} = [(1 + b_{KV}) \cdot K_{T_KV}] + K_{T_KAN_U} + O_{T_KV}, \quad (42)$$

где су:

$C_{KV} [€/god^{-1}]$ – годишњи трошкови по комуналном возилу,

$b_{KV} [-]$ – коефицијент замене комуналног возила (број резервних возила по комуналном возилу).

Корак 16 – Укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу:

$$C_{PO} = N_{KV}^N \cdot C_{KV}, \quad (43)$$

где је:

$C_{PO} [\text{€}/\text{god}^1]$ – укупни трошкови прикупљања.

Корак 17 – Трошкови прикупљања по објекту (домаћинству) на годишњем нивоу:

$$C_{PO}^{OI} = \frac{C_{KV} \cdot PF}{N_{OI_KV}^N \cdot N_{OI}^L}, \quad (44)$$

где је:

$C_{PO}^{OI} [\text{€}/\text{god}^1]$ – трошкови по објекту (домаћинству).

Корак 18 – Трошкови прикупљања по тони комуналног рециклабилног отпада:

$$C_{PO}^T = \frac{C_{PO}^{OI}}{m_{Rec_OI_j}^N \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{1000} \cdot 365}, \quad (45)$$

где је:

$C_{PO}^T [\text{€}/\text{t}]$ – трошкови по тони отпада.

Упретходној релацији израз $(m_{Rec_OI_j}^N \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{1000} \cdot 365)$ представља годишњу продукцију рециклабилног отпада по домаћинству у тонама.

4.3.3. Математички модел прикупљања отпада из дворишта (баштенског) - опција 9

Модел за прорачун трошкова прикупљања дворишног отпада подразумева функцију две променљиве: укупна недељна количина кућног отпада и износа отпада из дворишта. Ове променљиве се могу одредити уношењем вредности у одговарајуће ћелије у процесу прорачунавања. Возило дворишни отпад одвози на компостирање, спаљивање, анаеробну дигестију или на депонију. Фактор учешћа се користи за израчунавање укупног отпада из дворишта који се генерише у оквиру стамбених објеката. [2]

За опцију 9 недељна количина генерисаног дворишног отпада по објекту ($m_{Baš_OI_k}^N$) је једнака производу просечне недељне количине отпада по објекту (m_{OI}^N , израз 1) и коефицијенту издвајања баштенских фракција, односно:

$$m_{Baš_OI_k}^N = m_{OI}^N \cdot f_{Baš_k} \quad (50)$$

где је:

$m_{Baš_OI_k}^N$ [kg, недељно / објекту] - маса баштенског отпада генерисана по објекту на недељном нивоу за опцију прикупљања [κ] (κ представља опцију 9),

m_{OI}^N [kg, недељно / објекту] - маса отпада генерисана у објекту индивидуалног становања током једне недеље,

$f_{Baš_k}$ [/] - коефицијент издвајања баштенских фракција за опцију прикупљања [κ] (κ представља опцију 9).

Коефицијент издвајања баштенске фракција $f_{Ba\check{s}_k}$ израчунава се као сума производа ”степен издвајања баштенске (дворишне) фракције отпада” и ”масеног удела фракције отпада” односно:

$$f_{Ba\check{s}_k} = \sum c_{B_ik} \cdot f_i \quad (51)$$

где су:

$\sum c_{B_ik}$ [/-] - степен издвајања баштенске фракције отпада

$$f_i = \frac{m_i}{m} \text{ - масени удео фракције отпада}$$

Модел за прорачун трошкова прикупљања дворишног отпада из објеката индивидуалног становања за опцију 9 или 10 може да се прикаже преко истих корака описаних за мешовити отпад. Међутим, пошто возило за прикупљање отпада се зауставља само код домаћинства са издвајањем дворишног отпада фактор учешћа (PF) је уведен у једначине. Обично је у опцији 9 додељен фактор учесталости од 0,50. PF је присутан у једначини која одређује потребан број циклуса прикупљања отпада које комунална возила морају да обаве да би се опслужила сва домаћинства обухваћена опцијом 9.

Густина баштенског отпада:

$$\rho_B = \frac{\sum f_i \cdot c_{Bij}}{\sum \frac{f_{Bas}}{\rho_i}} \quad (52)$$

ρ_B – густина баштенског дела отпада

$\rho_i = \rho \cdot S_{sab}$ - густина “сабијеног” отпада (i -те компоненте)

Корак 1 Број објеката (домаћинства) које ће комунално возило опслужити до попуњавања свог капацитета (један циклус прикупљања отпада)

$$N_{OI}^C = \frac{S_{kor_kv} \cdot V_{kv} \cdot N_P^N}{(m_{Bas_{OI}} / \rho_B)} \quad (53)$$

где је:

N_{OI}^C [-] – број опслужених објеката по једном циклусу прикупљања (до попуњавања капацитета возила),

S_{kor_kv} [-] – степен искоришћења товарног простора у комуналном возилу (0.75÷0.9),

V_{kv} [m³] – запремински капацитет возила,

N_P^N [-] – фреквенца прикупљања отпада (број пражњења канте/контејнера у току једне недеље),

ρ_B -[kg/m³] – густина баштенског отпада.

Корак 2 – Време путовања празног комуналног возила:

$$T_I = \frac{D_I}{V_I} \cdot 60, \quad (54)$$

где су:

T_i [min]– време путовања празног комуналног возила,

D_i [km]– растојање које прелази празно комунално возило,

V_i [km/h]– просечна брзина празног комуналног возила.

Као и код прикупљања рециклабилног и мешаног отпада комунално возило путује празно (на почетку сваког радног дана) од гараже до почетне локације првог циклуса прикупљања отпада. Такође, возило путује празно и од локације за истовар отпада до почетне локације наредног циклуса прикупљања. У циљу уопштавања математичког модела, увешће се претпоставка да су претходно дефинисана растојања приближно једнака, а да се празно возило увек креће истом просечном брзином. Ова претпоставка се базира на чињеници да су режими кретања, потрошња горива и емисија продуката сагоревања пуног и празног возила врло различити, па се нијансе у параметрима кретања празног возила могу занемарити.

Корак 3 – Време кретања комуналног возила између локација прикупљања отпада:

$$T_{\text{шк}} = \frac{D_{\text{шк}}}{V_{\text{шк}}} \cdot 60, \quad (55)$$

где су:

$T_{\text{шк}}$ [min]–време кретања између две узастопне локације прикупљања отпада,

$D_{\text{шк}}$ [km]– растојање између две узастопне локације прикупљања отпада,

$V_{\text{шк}}$ [km/h]– просечна брзина кретања возила између две локације прикупљања отпада.

Корак 4 – Време путовања комуналног возила од задњег места прикупљања отпада до објекта где се отпад истовара:

$$T_{\text{ш}} = \frac{D_{\text{ш}}}{V_{\text{ш}}} \cdot 60, \quad (56)$$

где су:

$T_{\text{ш}}$ [min]– време путовања од задњег места прикупљања до локације истовара,

$D_{\text{ш}}$ [km]– растојање између задњег места прикупљања и локације истовара,

$V_{\text{ш}}$ [km/h]– просечна брзина кретања возила између задњег места прикупљања и локације истовара.

Корак 5 – Време путовања празног комуналног возила од објекта где се отпад истовара до гараже (крај радног дана):

$$T_{\text{IV}} = \frac{D_{\text{IV}}}{V_{\text{IV}}} \cdot 60, \quad (57)$$

где су:

T_{IV} [min]– време путовања од локације истовара до гараже,

D_{IV} [km]– растојање између локације истовара и гараже,

V_{IV} [km/h]– просечна брзина кретања празног комуналног возила између локације истовара и гараже.

Корак 6 – Време које је потребно комуналном возилу да комплетира један циклус прикупљања отпада (време путовања празног возила до почетне локације, време пуњења возила, путовање између локација, задња локација-објекат за истовар отпада, време истовара отпада):

$$T_C = T_I + T_{III} \cdot \left(\frac{N_{OI}^C}{N_{OI}^L} \right) + T_{III} \cdot \left(\frac{N_{OI}^C}{N_{OI}^L} - 1 \right) + T_{III} + T_{ist}, \quad (58)$$

где су:

T_C [min]– време путовања комуналног возила до комплетирања једног циклуса прикупљања отпада,

T_{III} [min]– време пуњења комуналног возила на једном месту прикупљања отпада,

N_{OI}^L [-]– број објеката за које се отпад прикупља на једном месту (локацији),

T_{ist} [min]– време пражњења комуналног возила на локацији за истовар отпада.

Корак 7 – Број циклуса прикупљања отпада које комунално возило може да обави током једног радног дана:

$$N_C^D = \frac{N_{RS_KV}^D \cdot 60 \cdot (T_{PR} + T_{PO} + T_{IV})}{T_C}, \quad (59)$$

где су:

N_C^D [-]– број циклуса прикупљања отпада у току једног дана по возилу,

$N_{RS_KV}^D$ [h]– број радних сати на дан по комуналном возилу,

T_{PR} [min]– пауза за оброк (минута на дан по возилу),

T_{PO} [min]– пауза за одмор (минута на дан по возилу).

Корак 8 – Потребан број циклуса прикупљања отпада које комунална возила морају да обаве да би се опслужила сва домаћинства обухваћена опцијом 9:

$$N_{CU} = \frac{N_{OI_k}^{PF} \cdot C_{OI_k}}{N_{Baš_OI_k}^C}, \quad (60)$$

где су:

N_{CU} [-]– број потребних циклуса прикупљања отпада да би се опслужила сва домаћинства,

C_{OI_k} [-]– коефицијент удела домаћинстава обухваћених опцијом 9 (ова вредност мора бити мања или једнака 1),

PF [-] – фактор учесталости објеката који учествују у издвајању дворишног отпада у односу на укупан број објеката.

Корак 9 – Број комуналних возила потребан да би се опслужила сва домаћинства обухваћена опцијом 9, током недељне шеме прикупљања отпада:

$$N_{KV}^N = \frac{N_{CU}}{N_C^D} \cdot \frac{N_P^N}{N_{RD}^N}, \quad (61)$$

где су:

N_{KV}^N [-] – број комуналних возила за недељну шему прикупљања,

N_{RD}^N [-] – број радних дана у току једне недеље,

N_P^N [-] – број пражњења канте/контејнера у току једне недеље (фреквенца прикупљања отпада).

Корак 10 – Капитални и оперативни трошкови једног комуналног возила на нивоу једне године:

Капитални трошкови:

$$K_{T_KV} = (1 + e) \cdot P_{KV} \cdot CRF, \quad (62)$$

где су:

K_{T_KV} [€/god⁻¹] – годишњи капитални трошкови једног комуналног возила амортизованог дуж економског века,

e [-] – коефицијент административних трошкова (€ административних трошкова по € цене капитала),

P_{KV} [€] – цена једног комуналног возила,

CRF [god⁻¹] – фактор повраћаја капитала по комуналном возилу.

Фактор повраћаја капитала CRF дефинише се као:

$$CRF = \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}, \quad (63)$$

где су:

i [god⁻¹] – годишња есконтна стопа,

n [god] – економско век комуналног возила.

Оперативни трошкови:

$$O_{T_KV} = (1 + e) \cdot \left\{ (1 + a) \cdot \left[(1 + b_{KR}) \cdot (S_{KR} \cdot N_{KR}^{KV} + S_V) \cdot N_{RS_KR}^D \cdot N_{RD}^N \cdot \frac{365}{7} \right] + c + \left[d \cdot (N_{KR}^{KV} + 1) \right] \right\}, \quad (64)$$

где су:

O_{T_KV} [€/god⁻¹] – годишњи оперативни трошкови једног комуналног возила,

a [-] – порези и доприноси (€ пореза и доприноса по € нето зараде),

$b_{KR} [-]$ – коефицијент замене комуналног радника (број резервних радника по комуналном раднику),

$S_{KR} [€/раднику]$ – износ сатнице за комуналног радника (€ на сат по раднику),

$N_{KR}^{KV} [радника]$ – број комуналних радника по комуналном возилу,

$S_V [€/возачу]$ – износ сатнице за возача комуналног возила (€ на сат по возачу),

$N_{RS_KR}^D [сати]$ – број радних сати по дневници по комуналном раднику,

$c [€/god^{-1}]$ – годишњи трошкови одржавања и експлоатације комуналног возила,

$d [€/god^{-1}]$ – остали трошкови по раднику.

Корак 11 – Број објеката (домаћинстава) које једно возило може да опслужи током недељне шеме прикупљања отпада, а која учествују у програму одвајања дворишног отпада:

$$N_{Baš_OI_KV}^N = \frac{N_{OI}^C \cdot N_C^D \cdot N_{RD}^N}{N_P^N}, \quad (65)$$

где је:

$N_{Baš_OI_KV}^N [објеката/возилу]$ – број опслужених домаћинстава по возилу током недељне шеме прикупљања која учествују у одвајању и сакупљању дворишног отпада.

Корак 12 – Број посуда (канти) или кеса за одлагање дворишног отпада у објектима које опслужи једно комунално возило у једном циклусу (пролазу):

$$N_{KAN}^O = \frac{N_{KAN} \cdot N_{Baš_OI_KV}^N}{PF}, \quad (66)$$

N_{KAN}^O – број посуда (кеса) за одлагање дворишног отпада у објектима које опслужи једно комунално возило у једном циклусу,

N_{KAN} – број посуда (кеса) за одлагање дворишног отпада распоређених у објектима (домаћинствима),

$PF [-]$ – фактор учестаности објеката који учествују у сакупљању дворишног отпада у односу на укупан број објеката.

Корак 13 – Капитални трошкови једне посуде (канте) или кесе за одлагање дворишног отпада:

$$K_{T_KAN} = (1 + e) \cdot P_{KV} \cdot CRF, \quad (67)$$

где су:

$K_{T_KAN} [€/god^{-1}]$ – годишњи капитални трошкови једне посуде (канте) или кесе амортизоване дуж економског века,

$e [-]$ – коефицијент административних трошкова (€ административних трошкова по € цена капитала),

$P_{KV} [€]$ – цена једне посуде (канте) или кесе,

$CRF [god^{-1}]$ – фактор повраћаја капитала по посуди (кеси)

$$CRF = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, \quad (68)$$

где су:

$i [god^{-1}]$ – годишња есконтна стопа,

$n [god]$ – економско век канте.

Корак 14 - Капитални трошкови посуда (канти) или кеси за одлагање дворишног отпада које опслужују једно комунално возило:

$$K_{T_KAN_U} = K_{T_KAN} \cdot N_{KAN}^O \quad (69)$$

Корак 15 - Трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу:

$$C_{KV} = [(1 + b_{KV}) \cdot K_{T_KV}] + K_{T_KAN_U} + O_{T_KV}, \quad (70)$$

где су:

$C_{KV} [€/god^{-1}]$ – годишњи трошкови по комуналном возилу,

$b_{KV} [-]$ – коефицијент замене комуналног возила (број резервних возила по комуналном возилу).

Корак 16 – Укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу:

$$C_{PO} = N_{KV}^N \cdot C_{KV}, \quad (71)$$

где је:

$C_{PO} [€/god^{-1}]$ – укупни трошкови прикупљања.

Корак 17 – Трошкови прикупљања по објекту (домаћинству) на годишњем нивоу:

$$C_{PO}^{OI} = \frac{C_{KV} \cdot PF}{N_{OI_KV}^N \cdot N_{OI}^L}, \quad (72)$$

где је:

$C_{PO}^{OI} [€/god^{-1}]$ – трошкови по објекту (домаћинству).

Корак 18 – Трошкови прикупљања по тони комуналног дворишног отпада:

$$C_{PO}^T = \frac{C_{PO}^{OI}}{m_{Baš_{OI_j}}^N \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{1000} \cdot 365} \quad (73)$$

где је:

$C_{PO}^T [€/t]$ – трошкови по тони отпада.

Упретходној релацији израз $(m_{Baš_{OI_j}}^N \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{1000} \cdot 365)$ представља годишњу продукцију дворишног отпада по домаћинству у тонама.

Ознаке

m_{OI}^N [kg] – маса отпада генерирана у објекту индивидуалног становања током једне недеље,

$m_{Mix_OI}^N$ [kg] – маса мешаног отпада генерирана у објекту индивидуалног становања током једне недеље,

m_s^D [kg] – маса генерираног отпада по становнику дневно,

$m_{Baš_OI_k}^N$ [kg, недељно / објекту] - маса баштенског отпада генерисана по објекту на недељном нивоу за опцију прикупљања [κ] (κ представља опцију 9),

ρ_{Mix} [kg/m³] – густина мешаног отпада,

$f_{Baš_k}$ [/] – коефицијент издвајања баштенских фракција за опцију прикупљања [κ] (κ представља опцију 9 или 10),

C_{OI_opt1} [-] – коефицијент удела објеката индивидуалног становања (домаћинстава) обухваћених опцијом 1,

N_{OI} [-] – број објеката индивидуалног становања у заједници,

N_{SOI} [-] – број становника који живе у објектима индивидуалног становања,

N_{OI}^C [-] – број опслужених објеката по једном циклусу прикупљања (до попуњавања капацитета возила),

$N_{OI_KV}^N$ [-] – број опслужених домаћинстава по комуналном возилу током недељне шеме прикупљања,

$N_{Baš_OI_KV}^N$ [објеката/возилу] – број опслужених домаћинстава по возилу током недељне шеме прикупљања која учествују у одвајању и сакупљању дворишног отпада,

N_{OI}^L [-] – број објеката за које се отпад прикупља на једном месту (локацији),

N_P^N [-] – број пражњења канте/контејнера у току једне недеље (фреквенца прикупљања отпада),

N_C^D [-] – број циклуса прикупљања отпада у току једног радног дана по возилу,

N_{CU} [-] – број потребних циклуса прикупљања отпада да би се опслужила сва домаћинства,

N_{KV}^N [-] – број комуналних возила за недељну шему прикупљања,

N_{KR}^{KV} [-] – број комуналних радника по комуналном возилу,

N_{RD}^N [-] – број радних дана у току једне недеље,

$N_{RS_KV}^D$ [h] – број радних сати на дан по комуналном возилу,

$N_{RS_KR}^D$ [h] – број радних сати дневнице комуналног радника,

S_{sab} [-] – степен сабијања отпада у комуналном возилу ($3 \div 6$),

V_{kv} [m^3] – запремински капацитет комуналног возила,

T_I [min]– време кретања празног комуналног возила,

T_{IP} [min]– време пуњења комуналног возила на једном месту прикупљања отпада,

T_{IK} [min]– време кретања комуналног возила између две узастопне локације прикупљања отпада,

T_{III} [min]– време кретања комуналног возила од задњег места прикупљања отпада до локације истовара,

T_{IV} [min]– време путовања комуналног возила од локације истовара отпада до гараже,

T_{ist} [min]– време пражњења комуналног возила на локацији за истовар отпада,

T_C [min]– време путовања комуналног возила до комплетирања једног циклуса прикупљања отпада,

T_{PR} [min]– пауза за оброк (минута на дан по возилу),

T_{PO} [min]– пауза за одмор (минута на дан по возилу).

D_I [km]– растојање које прелази празно комунално возило,

D_{IK} [km]– растојање између две узастопне локације прикупљања отпада,

D_{III} [km]– растојање између задњег места прикупљања отпада и локације истовара,

D_{IV} [km]– растојање између локације истовара и гараже,

V_I [km/h]– просечна брзина кретања празног комуналног возила,

V_{IK} [km/h]– просечна брзина кретања комуналног возила између локација прикупљања отпада,

V_{III} [km/h]– просечна брзина кретања возила између задњег места прикупљања и локације истовара,

V_{IV} [km/h]– просечна брзина кретања празног комуналног возила између локације истовара и гараже,

e [-] – коефицијент административних трошкова (€ административних трошкова по € цене капитала),

CRF [god^{-1}] – фактор повраћаја капитала по комуналном возилу,

i [god^{-1}]– годишња есконтна стопа,

n [god] – економски век комуналног возила,

a [-] – порези и доприноси (€ пореза и доприноса по € нето зараде),

b_{KR} [-] – коефицијент замене комуналног радника (број резервних радника по комуналном раднику),

c [$\text{€}/\text{god}^{-1}$] – годишњи трошкови одржавања и експлоатације комуналног возила,

$\sum c_{B_ik}$ [/] – степен издвајања баштенске фракције отпада,

d [$\text{€}/\text{god}^{-1}$] – остали трошкови по раднику,

b_{KV} [-] – коефицијент замене комуналног возила (број резервних возила по комуналном возилу),

P_{KV} [€] – цена једног комуналног возила ,

S_{KR} [€/раднику] – износ сатнице за комуналног радника (€ на сат по раднику),

S_V [€/возачу] – износ сатнице за возача комуналног возила (€ на сат по возачу),

K_{T_KV} [$\text{€}/\text{god}^{-1}$] – годишњи капитални трошкови комуналног возила амортизованог дуж економског века,

O_{T_KV} [$\text{€}/\text{god}^{-1}$] – годишњи оперативни трошкови једног комуналног возила,

C_{KV} [$\text{€}/\text{god}^{-1}$] – укупни трошкови по комуналном возилу,

C_{PO} [$\text{€}/\text{god}^{-1}$] – укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу,

C_{PO}^{OI} [$\text{€}/\text{god}^{-1}$] – годишњи трошкови прикупљања отпада по објекту (домаћинству),

C_{PO}^T [€/т] – трошкови прикупљања по тони комуналног отпада.

4.4. Модел прорачуна прикупљања отпада у Microsoft Excel-у

Трошкови одвојеног прикупљања отпада на мешани, рециклабилни и биоразградивог из објеката индивидуалног становања су анализирани користећи погодности програма Microsoft Excela, најпознатијег и најкоришћенијег програма за табеларне прорачуне. Он припада пакету Microsoft Office. Предности Excel-а у односу на друге програмске обраду текста су следеће:

- ћелије садрже поред, уређивања и форматирања текста, могућности за различита израчунавања, помоћу математичких формула које се уписују у ћелије;
- формуле уписане у једној, могу да обрађују податке из других ћелија;
- Excel аутоматски ажурира израчунате вредности сваки пут кад се измене подаци које те формуле користе.

Модел прорачуна у Excel-у својим табелама израчунава трошкове, параметре, време потребно за сакупљање отпада. Модел служи као средство за поређење трошкова одвојеног сакупљања отпада и даје прилику кориснику да види како промена једне улазне променљиве нпр. броја радних сати по дану утиче на промену броја потребних возила за сакупљање отпада, а то даље утиче на укупне трошкове сакупљања. Формуле су постављене тако да ако се промени улазна променљива све калкулације у процесу сакупљања које садрже ову променљиву се аутоматски ажурирају. Кроз једначине у математичком моделу прорачуна је објашњено како се рачунају трошкови по комуналном возилу, по тони отпада, трошкови на годишњем нивоу и сви они варирају у зависности од масе генерисаног отпада по становнику и од густине отпада. Не рачунају се на исти начин трошкови за сакупљање мешаног отпада који се сакупља сав једном опцијом и отпада када се јавља рециклажа и одвојено сакупљање биоразградивог отпада. Тада се у прорачун укључују стопе учешћа.

Програм који је направљен у Excel-у пратећи математичке кораке модела прикупљања отпада који су објашњени у претходном делу, преко формула израчунава следеће вредности:

- масу укупно генерисаног отпада по становнику [kg],
- масу отпада генерисану у објекту индивидуалног становања током једне недеље [kg],
- коефицијент издвајања рециклабилних (или биоразградивих) фракција,
- маса рециклабилног (или биоразградивог) отпада генерисану у објектима индивидуалног становања током једне недеље [kg],
- густину рециклабилног отпада после сабијања [kg/m^3],
- број опслужених објеката по једном циклусу прикупљања
- време путовања празног комуналног возила [min],
- време путовања возила између две (узастопне) локације прикупљања отпада [min],
- време путовања празног комуналног возила од последње локације прикупљања до места истовара [min],
- време путовања празног комуналног возила од места где се отпад истовара до гараже [min],
- време потребно возилу да компетира један циклус прикупљања [min],
- број циклуса прикупљања отпада које комунално возило може да обави током једног радног дана,
- потребан број циклуса прикупљања отпада које комунална возила морају да ообаве да би се опслужиле све локације прикупљања (домаћинства),

- фактор повраћаја капитала по комуналном возилу,
- годишњи капитални трошкови комуналног возила амортизованог дуж економског века [€],
- годишњи оперативни трошкови једног комуналног возила [€],
- број објеката које једно возило опслужује у недељној шеми прикупљања отпада, а која учествују у процесу рециклаже (или одвајања биоразградивог отпада),
- број посуда за одлагање рециклабилног (или биоразградивог) отпада распоређених у објектима
- број посуда за одлагање рециклабилног (или биоразградивог) отпада које опслужује једно возило у једном циклусу,
- фактор повраћаја капитала по посуди,
- годишњи капитални трошкови посуде за одлагање рециклабилног (или биоразградивог) отпада [€],
- годишњи капитални трошкови посуда за одлагање рециклабилног (или биоразградивог) отпада које опслужује једно возило [€],
- трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу [€],
- укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу [€],
- трошкови по локацији прикупљања на годишњем нивоу [€],
- трошкови прикупљања по објекту [€],
- трошкови прикупљања по тони комуналног отпада [€].

Excel препознаје константе и формуле. Формула се састоји из четири дела:

1. Функције - Excel има на располагању много различитих функција, а оне које су коришћене приликом израде модела прорачуна су:

- SUM функција за сабирање неограниченог броја аргумената. Функција SUM коришћена је за сабирање селектованих колона, она знатно олакшава и смањује време рада које би било потребно да се сабира појединачно један по један аргумент.
- ROUNDUP функција врши заокруживање на најближу мању вредност. У изради прорачуна је коришћена за заокруживање добијене вредности за потребан број циклуса прикупљања отпада на први већи цео број. Коришћена је и за усвајање првог већег целог броја за вредност броја комуналних возила потребан да се опслуже све локације прикупљања у току недељне шеме.
- VLOOKUP је функција за претраживање, користи се када је потребно пронаћи нешто у табели или у опсегу који је филтриран по реду. Ова функција је у моделу прорачуна коришћена за позивање података из једне табеле како бих их користили у другој табели.
- IF функција враћа једну вредност ако је услов тачан и другу ако је нетачан. Синтакса функције IF је: IF(логички услов,[вредност ако је услов испуњен],[вредност ако услов није испуњен]). Функција IF омогућава да се у једној ћелији унесу три различите формуле за три одвојене опције прикупљања отпада. У зависности која се опција одабере у падајућој листи, у свим ћелијама у којима је задата IF функција се активира одговарајућа формула која прорачунава вредност за изабрану опцију прикупљања отпада.

2. Референце - A2 даје вредност у ћелији A2

Референце су убациване у формуле и тако је обезбеђено да при уносу других вредности у ћелијама које су као референце унете у формуле, израчунате вредности се аутоматски ажурирају.

3. Константе су бројеви или текстуалне вредности директно унете у формулу.

Константе су било које слободне вредности које се уносе.

4. Оператори

Оператори наводе врсту операција које треба остварити на елементима формуле. Microsoft Excel садржи четири различите врсте оператора: аритметичке, упоређујуће, текстуалне и операторе референци.

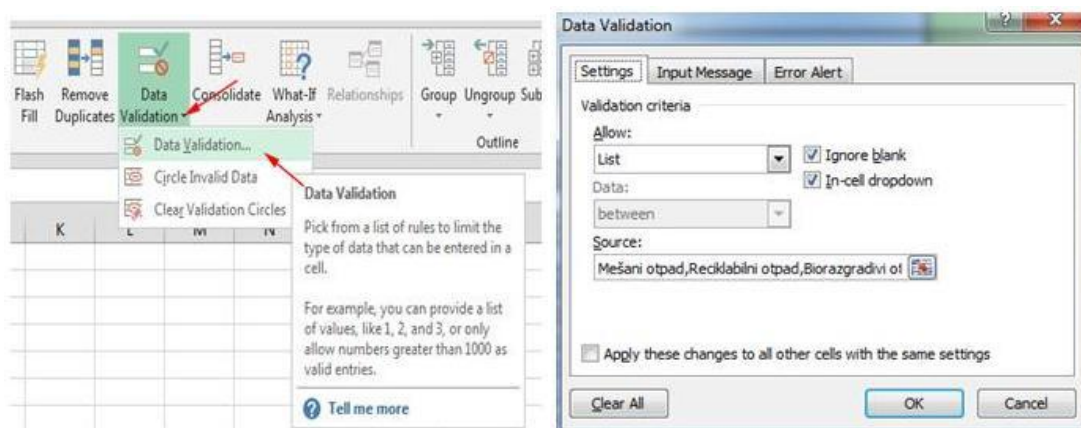
Оператори који су коришћени при изради модела и њихови нивои приоритета су наведени у табели 4.1:

Табела 4.1 Оператори у Excelu

Назив оператора	Оператори	Предност
Сабирање	+	3
Одузимање	-	3
Множење	*	2
Дељење	/	2
Степеновање	^	1
Надовезивање	&	4
Логичко поређење- једнако	=	5
Логичко поређење- веће од	>	5
Логичко поређење-мање од	<	5
Логичко поређење-веће или једнако	>=	5
Логичко поређење-мање или једнако	<=	5
Логичко поређење- није једнако	<>	5

Највећи приоритет има степеновање, а логичка поређења најмањи. Да би се заобишла горе наведена Excelова уграђена правила приоритета, користе се заграде. Увек се прво израчунавају изрази у заградама.

У ћелији где се бира опција прикупљања отпада је употребљена могућност формирања падајуће листе у којој се може одабрати једна од три опције (мешани, рециклабилни или биоразградиви отпад) у зависности за коју се жели добити прорачун. Падајућа листа се добија преко наредбе 'Data Validation' на алатној траци 'Data' (слика 4.1). Након покретања ове наредбе отвара се прозор у којем на Settings tab картици се одабере жељени критеријум. Потребно је изабрати за 'Allow' - List са падајућег менија, а у 'Source' пољу уписати вредности или текст који се жели имати у падајућој листи, сваку вредност или текст отреа одвојити знаком зарез (,), па потврдити на ОК.



Слика 4.1 Наредба 'Data Validation' за формирање падајуће листе

Након постављања Data Validation се кликне на ћелију у којој се жели имати падајући мени са направљеним списком. Уочава се да ћелија у десном углу има button (мали троуглић са врхом према доле), кликом на њега добија се жељена листа.

4.4.1. Модел за прорачун трошкова прикупљања мешаног отпада

У моделу прорачуна који се односи на прикупљање мешаног отпада опцијом 1 потребни су улазни подаци: маса генерираног отпада по становнику дневно, број објеката индивидуалног становања у заједници и број становника који живе у објектима индивидуалног становања. Степен сабијања у комуналном возилу може да има једну од следећих вредности: 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5 или 6. Густина мешаног отпада после сабијања је једнака производу густине отпада пре сабијања и степена сабијања у комуналном возилу.

Други део прорачуна чине параметри прикупљања отпада. У овом делу прорачуна користи се вредност степена искоришћења товарног простора у комуналном возилу, која може бити: 0,75; 0,8; 0,85 или 0,9. Када се унесе фреквенца прикупљања отпада недељно (број пражњења контејнера) и запремински капацитет комуналног возила (најчешћа су комунална возила запремине од 12m^3 до 15m^3), добија се број опслужених објеката по једном циклусу прикупљања (до попуњавања капацитета).

Потом се прорачунава време путовања празног комуналног возила, време кретања возила између две локације, време путовања од последње локације прикупљања до места истовара и време од места истовара до гараже. До ових вредности се долази на основу унетих вредности за одговарајућа растојања и брзине кретања, по формулама које прате једначине. У наредној ћелији по формули се израчунава укупно време потребно да се комплетира један циклус. Када се унесу реалне вредности за време пуњења комуналног возила на једној локацији, број објеката за које се сакупља отпад на једној локацији и време пражњења комуналног возила на једној локацији, по формули се добија број циклуса прикупљања које једно возило може да обави у току једног дана.

Када се унесе број радних сати по комуналном возилу, време трајања пауза за оброк и одмор добија се потребан број циклуса прикупљања отпада које комунална возила морају да обаве да би се опслужиле све локације прикупљања. Добијени резултат коришћењем функције ROUNDUP заокружи се на први већи цео број. Следећи аргумент који се уноси је број радних дана у току недеље и по формули се добија колико је потребно комуналних возила да би покупили отпад са свих локација у току недељног циклуса прикупљања.

Трећи део прорачуна се односи на економски део прикупљања отпада. У овом делу на основу цене комуналног возила, коефицијента административних трошкова, економског века комуналног возила и есконтне стопе Народне Банке Србије добија се фактор повраћаја капитала по комуналном возилу и годишњи капитални трошкови по комуналном возилу. Када се унесу реалне вредности за остале економске показатеља у ћелијама у којима су задате формуле добијају се годишњи оперативни трошкови једног комуналног возила и број локација које једно возило може да опслужује током једне недељне шеме прикупљања. Још једна вредност која је променљива је коефицијент замене комуналног возила (број резервних возила по комуналном возилу). Потом се добију крајњи резултати прорачуна, а то су: трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу, укупни трошкови прикупљања отпада, трошкови по локацији прикупљања и трошкови по тони прикупљеног отпада. Добијени трошкови су на нивоу целе године.

4.4.2. Модел за прорачун трошкова прикупљања рециклабилног отпада

За модел прорачуна прикупљања рециклабилног отпада је потребан степен издвајања рециклабилних фракција које се прикупљају и маса сваке фракције генерисана по становнику дневно, као и њихова густина пре сабијања. У табели 4.2 су наведене густине појединих типова отпада, односно компонената које најчешће чине комунални отпад. [8]

Табела 4.2 Густина појединих типова отпада

Тип отпада	Густина (kg/m ³)
Папир	36-80
Текстил	52-206
Органске материје	168-501
Шљака и пепео	320-961
Метали	48-1100
Стакло	160-481
Пластика	32-128
Кожа	96-256
Гума	66-192
Дрво	128-320

Коефицијент издвајања сваке фракције је производ степена издвајања рециклабилне фракције и масеног удела фракције. Масени удео за сваку фракцију је количник масе те фракције недељно и масе генерисаног отпада у току недеље. Када се помножи степен сабијања и просечну вредности за густине фракција које сакупљамо пре сабијања (табела 4.2) добија се густина после сабијања, а потом преко познате једначине се одређује густина рециклабилне фракција отпада.

Формуле су већином исте као и за прорачун прикупљања мешаног отпада. Разлика се јавља због коефицијента издвајања рециклабилних фракција. Маса генерираног рециклабилног отпада у току недеља је једнака производу масе укупно генерираног отпада у току недеље и коефицијента издвајања рециклабилних фракција. Разлика у односу на модел прорачуна мешаног отпада се јавља због фактора учесталости објеката који учествују у програму рециклаже. Фактор учесталости објеката која су укључена у програм рециклаже мора бити већи од нуле, а мањи од један..

Модел прорачун трошкова прикупљања рециклабилног отпада разликује се од модела прорачуна за мешани отпад по трошковима за посебне канте које су потребне при прикупљању рециклабилног отпада. Одређује се број потребних канти распоређених у објектима, број канти које опслужи једно возило, фактор повраћаја капитала по посуди. У трошкове рециклабилног сакупљања отпада су укључени и годишњи капитални трошкови канти за одлагање рециклабилног отпада. Да би се преко формула у моделу добиле ове вредности неопходно је унети податке о цени једне посуде и економском веку посуде.

На крају прорачуна добија се износ трошкова прикупљања рециклабилног отпада по комуналном возилу, по тони рециклабилног отпада, трошкова по објекту прикупљања, по локацији и укупних годишњих трошкова прикупљања рециклабилног отпада

4.4.3. Модел за прорачун трошкова прикупљања биоразградивог отпада

Модел прорачуна који се односи на прикупљање биоразградивог отпада је готово исти као и модел прорачуна за рециклабилни отпад. Наравно разликују се фракције које се сакупљају и коефицијент њиховог издвајања. За прикупљање биоразградивог отпада потребне су посебне кесе или канте. У прорачуну за прикупљање биоразградивог отпада присутан је фактор учесталости објеката који учествују у прикупљању биоразградивог отпада.

4.4.4. Модел за прорачун трошкова прикупљања мешаног остатка

Мешани остатак је отпад који остане када се одвојено прикупи рециклабилни и биоразградиви отпад. Модел прорачуна прикупљања је исти као и модел за прикупљање мешаног отпада. Разликују се поформули за густину, што се може видети у једначинама у математичком моделу прорачуна за мешани отпад.

5. Примена модела на град Крагујевац

У претходном поглављу је детаљно објашњен поступак добијања модела програма који прорачунава економске показатеље за три опције прикупљања отпада. Модел прорачуна је примењен на један део града Крагујевца, како би се израчунали трошкови одвојеног прикупљања рециклабилног и биоразградивог отпада и проверила исплативост оваквог начина сакупљања отпада.

5.1. Постојеће решење управљања отпадом

Град Крагујевац је смештен у централном делу Србије. Он је административни, привредни, политички, универзитетски и здравствени центар Шумадијског округа, кога чини још шест општина: Аранђеловац, Баточина, Лапово, Кнић, Рача и Топола. Крагујевац је четврти град по величини у Србији са око 180 000 становника.

На територији града Крагујевца до скоро су организованим прикупљањем смећа биле обухваћене само градске месне заједнице, што је узроковало велики број дивљих депонија на територији града и села. Током 2011. године у систем организованог прикупљања смећа укључују се и руралне средине, односно сеоска подручја.

Комунални отпад у Крагујеву прикупља Јавно комунално предуће "Чистоћа", основано од стране града. Јавно предузеће сакупља комунални отпад на организовани начин, сакупља га, одвози и депонује из урбанизоване средине града. Број грађана који користи ове услуге је приближно око 150 000. Отпад који се депонује обухвата:

- отпад генерисан у урбаној средини,
- индустријски отпад,
- комерцијални отпад.

Поред прикупљања, транспорта и одлагања комуналног отпада и секундарних сировина, под делатност предузећа спадају:

- прикупљање и уклањање отпадака са јавних површина,
- чишћење и прање улица, стаза и паркиралишта,
- услуге прихватилишта за напуштене животиње – зоохигијена,
- димничарске услуге.

5.2. Количина и састав комуналног отпада у Крагујевцу

Количина и састав комуналног отпада који се сакупља је једна од основних улазних параметара у модел прорачуна прикупљања отпада у Крагујевцу. Сакупљени отпад се одвози на депонију у Јовановцу. Дневно се на ову депонију довезе 160 тона, док је просечна количина отпада која се годишње одложи око 52 000 тона. Просечна маса комуналног отпада у Крагујевцу по становнику дневно процењена је на 1 kg. ЈКП "Чистоћа", поред мешаног комуналног отпада, врши одвојено прикупљање рециклабилног отпада (стакло, ПВЦ и алуминијум). Просечно се, за месец дана, прикупи око 20 тона ПЕТ и пластичне амбалаже, затим приближно 50 тона папирне и картонске амбалаже, око 10 тона стакла, као и 100

килограма алуминијумских лименки. Узимајући у обзир састав и количину отпада, наведене вредности сакупљених секундарних сировина су веома мале (свега око 2% у односу на укупни депоновани отпад).

Најмање отпада се прикупља у фебруару због отежано прикупљања, посебно у удаљенијим и мање приступачним деловима општине, одсуства баштенског, парковског и дворишног отпада, а фебруар је и најкраћи месец. Највише се прикупи у априлу и октобру.

У сарадњи Факултета техничких наука из Новог Сада и Факултета инжењерских наука из Крагујевца је настала методологија за одређивање морфолошког састава и количине отпада. Резултати истраживања морфолошког састава комуналног отпада у Крагујевцу су дати у табели 5.1.

Табела 5.1 Морфолошки састав комуналног отпада у Крагујевцу изражен у процентима

Категорије отпада	Проценат [%]
Баштенски отпад	17.31
Остали биоразградиви отпад	29.34
Папир	7.31
Стакло	12.42
Картон	16.95
Метал- амбалажни и остали	0.55
Метал- амбалажни и остали	0.26
Пластични амбалажни отпад	2.54
Пластичне кесе	5.54
Тврда пластика	4.33
Текстил	1.07
Кожа	0.41
Пелене	1.97
Фини елементи	4.31

На графикону 5.1 је приказан однос процентуалних вредности измерених категорија отпада у Крагујевцу. [3]



Слика 5.1 Процентуалне вредности измерених категорија отпада у Крагујевцу

Битан утицај на морфолошки састав комуналног отпада има тип становања (колективан или индивидуалан). Преовлађујући утицај има место где се генерише отпад (сеоска или градска средина), а велики утицај имају и годишња доба.

У градским насељима и комерцијалним зонама највећи је проценат: папира, кеса, картона, отпада од разне амбалаже. Разлог овоме је велики број продавница, локала, стандарда и навика становништва у овим деловима. Док у сеоски деловима најзаступљени је дворишни односно баштенски отпад, поготову у пролећним месецима.

Финих компонената, као што је пепео више је у селима и деловима где је присутни индивидуални тип становања јер се овде претежно становници греју сагоревањем дрвета и угља. Настале количине пепела се најчешће одлажу у контејнере.

5.2.1. Опрема за прикупљање отпада на територији коју покрива ЈКП "Чистоћа"

За прикупљање отпада ЈКП „Чистоћа“ користи сопствену опрему, коју чине возила за транспорт отпада, машине за рад на депонији и опрема за прикупљање. Пошто предузеће сакупља отпад у различитим срединама: урбаним и руралним, разликује се модел прикупљања отпада као и опрема и машине за прикупљање. ЈКП “Чистоћа” у свом власништву има 20 аутосмећара, четири подизача и четири теретна возила - кипера. За обављање осталих делатности предузеће располаже са шест цистерни за прање улица и две чистилице.

Управљање отпадом у граду Крагујевцу заснива се на принципу примарног одвајања отпада. Примарна сепарација се одвија помоћу сакупљачких станица односно "рециклажних острва" постављених на 20 локација у градском насељу. Сакупљачка станица састоји се од три контејнера запремине по 1,1m³:

- контејнера за комунални отпад;
- пластичног или жичаног контејнера за прикупљање папира и картона и
- жичаног контејнера за прикупљање ПЕТ амбалаже, тврде пластике, стакла, метала (А1 лименки), тетра пака, картонске амбалаже.

Изглед једне сакупљачке станице тзв. рециклажног дворишта, која се налази у центру Крагујевца је дат на слици 5.2.



Слика 5.2 - Сакупљачка станица ("рециклажно острво") у центру Крагујевца

Поред рециклажних дворишта контејнере за одвојено прикупљање рециклабилног отпада су распоређени по градским и приградским насељима, комерцијалној зони и местима где се генеришу веће количине отпада (поред школа, дисконта, пекара, тржних центара...) Укупно је распоређено 770 контејнера за сепарацију отпада, а овај број није довољан.

Контејнера за прикупљање комуналног отпада запремине $1,1\text{m}^3$ који су распоређени у градским и приградским насељима има 3500. Они се празне различитом учесталošћу зависно од потребе (у ужем градском центру има потребе за пражњењем и једном дневно). Отпад из села се одвози најчешће два дута месечно. У селима се сепарација одвија одлагањем отпада у кесе различитих боја: ПЕТ амбалаже у зелене кесе, а комуналног отпада у црне кесе. Мештани су дужни да кесе са отпадом остављају на местима која су одређена за то, називају се сабирна места у данима када се вржи одвоз отпада. Канти запремине 140 литара има око 4.500 комада и оне су приватно власништво корисника услуга ЈКП "Чистоћа". Празне се углавном једном недељно. Власник је дужан да их у време предвиђено за прикупљање отпада изнесе на тротоар, а после пражњења врати назад у своје двориште.

Преглед опреме за прикупљање отпада на територији коју покрива ЈКП "Чистоћа", Крагујевац је дат у табели 5.2.

Табела 5.2 Опрема за прикупљање отпада коју је у власништву ЈКП "Чистоћа"

Опрема за прикупљање отпада	Бројно стање опреме (по комаду)
Контејнер запремине 5 m^3	115
Контејнер запремине 7 m^3	15
Контејнер запремине 1.1 m^3	3500
Канта запремине 140 литара	4500
Контејнер за секундарне сировине	770
Кесе (потрошња на месечном нивоу)	12 000 за комунални отпад 12 000 за ПЕТ амбалажу

Кабасти отпад се прикупља два пута годишње у оквиру пролећне и јесење акције. Грађани се о овој акцији обавештавају путем средства јавног информисања и свој отпад одлажу поред контејнера.

Ниједна служба у граду се не бави конкретно збрињавањем анималног отпада (лешеви животиња). Ако ЈКП "Чистоћа" збрине анимални отпад (што није у склопу њихових делатности), шаље га у кафилерију у Ћуприји.

5.2.2. Депонија комуналног отпада "Јовановац"

Главна депонија у Крагујевцу, позната као депонија у Јовановцу, у власништву је локалне самоуправе, односно града Крагујевца. Удаљена је од насеља је 1,2 km од центра града је око 3 km, а од магистралног пута 1,5 km.

Након процеса прикупљања, сав отпад се транспортује до главне градске депоније у Јовановцу. На ову локацију отпад се одлаже од 1966. године и то са целе територије града Крагујевца, већ 40 година је у употреби и одавно је већ требала бити затворена. Депонија у Јовановцу представља један од највећих еколошких проблема у граду, ризик за људско здравље и животну средину. Она не испуњава ни најмање санитарне, техничке и хигијенске услове за сигурно одлагање чврстог отпада.

Осим ЈКП "Чистоћа", депонију могу користити и друга правна и физичка лица, уз плаћање одговарајуће надокнаде за депоновани отпад.

Отпад се сабија машински (компактором), а прекривање отпада се врши инертним материјалом (земља, шут). Површина депоније је 15 хектара, под отпадом је 14,8 хектара и тренутно се користи целокупна површина. Висина слоја отпада прелази 15 метара. Депонија је површинског типа, а услед дугогодишњег одлагања без сабијања долази до великог слегања отпада (10-50%).

Депонија није ограђена, постоји ограда једино са предње стране, до градске саобраћајнице. На улазу у депонију налазе се улазна рампа и пријавница. Контрола количине отпада која се одлаже се врши свакодневно помоћу колске ваге која мери до 40 тона по осовини, а може да мери до 5 осовина. Колска вага је повезана са рачунаром на коме се преко специјализованог софтвера врши евидентирање измерене масе отпада. Вага је монтирана 2006. године и од тада постоји контрола уласка отпада на депонију, уведен је систем праћења и евиденције сваког возила које унесе отпад. До улаза у депонију води асфалтирана градска саобраћајница. Унутрашња мрежа путева састоји се од главне саобраћајнице која води до горњег платоа или радног чела на коме је велики простор, где камиони могу да се окрећу. Са горњег платоа води 5 секундарних саобраћајница у различитим правцима који се потенцијално могу користити у случају пожара. У сврху гашења пожара такође се може користити обилазни пут дуж реке Угљешнице (са северне стране депоније).

Механизација којом се располаже на депонији је недовољна и неисправна, тј. непоуздана. Просечна старост возног парка је петнаест година, а оптимални радни век је седам. Од грађевинских машина раде: два трактога гусеничара (велики и мали), компаратор, машина са утоварном кашиком. У склопу објеката на депонији постоји гаража за грађевинске машине.

Након мерења на колској ваги папирна и картонска амбалажа транспортује се до локације где се у посебној просторији врши третман (балирање) папирне/картонске амбалаже. Остали амбалажни отпад (стакло, пластична амбалажа, PET, тетрапак, метал) након мерења се истовара у монтажном објекту на манипулативном простору платоа депоније, ради разврставања по врстама. Сортирање отпада врши се на сортирној траци. Након сортирања врши се балирање PET амбалаже (одвојено се балира бела, зелена, плава и браон PET амбалажа), тетрапака и Al-лименки (слика 5.3 и 5.4). Стакло и тврда пластика сакупљају се у посебним посудама.



Слике 5.3 и 5.4 Балирање PET-а и Al-лименки

Селектовање отпада има вишеструк значај не само из еколошких него и из безбедоносних разлога. Док се сакупљени отпад у земљама Европе користи за добијање енергије: топлотне и електричне, код нас нажалост остаје неискоришћен.

5.2.3. Прикупљање отпада у репрезентативном делу града Крагујевца

Праћењем возила на терену примећено је да се често контејнери налазе веома близу и да приликом пражњења нису пуни. Ово доводи до повећаних трошкова прикупљања отпада јер је потребно више времена да се отпад прикупи, често се зауставља возило. Пражњење непуних контејнера такође увећава трошкове прикупљања отпада.

Изабран је део града на којем су употребом ГИС програма и GPS уређаја, одређене локације за прикупљање отпада и број контејнера потребан да се сав отпад прикупи, а да нема ситуацију пражњења полупразних контејнера. Део града је одабран као представник јер има доста објекта индивидуалног као и колективног становања, а поред тога доста локала у којима се обављају разне комерцијалне делатности. (слика 5.5). У овом делу града отпад се прикупља свакодневно.

Површина области за коју је урађена оптимизација је $0,8 \text{ km}^2$. У овој зони налази се 116 места прикупљања на којима је распоређено укупно 263 контејнера запремине $1,1 \text{ m}^3$. Отпад се прикупља свакодневно, а сав отпад се прикупи из два циклуса. Према подацима са колске ваге на депонији, просечна маса прикупљеног отпада се креће између 11,5 и 12 тона.

За потребе анализа у ГИС-у потребна је:

- ортофото мапа града,
- мрежа улица,
- база података о местима прикупљања,
- база података о објектима,

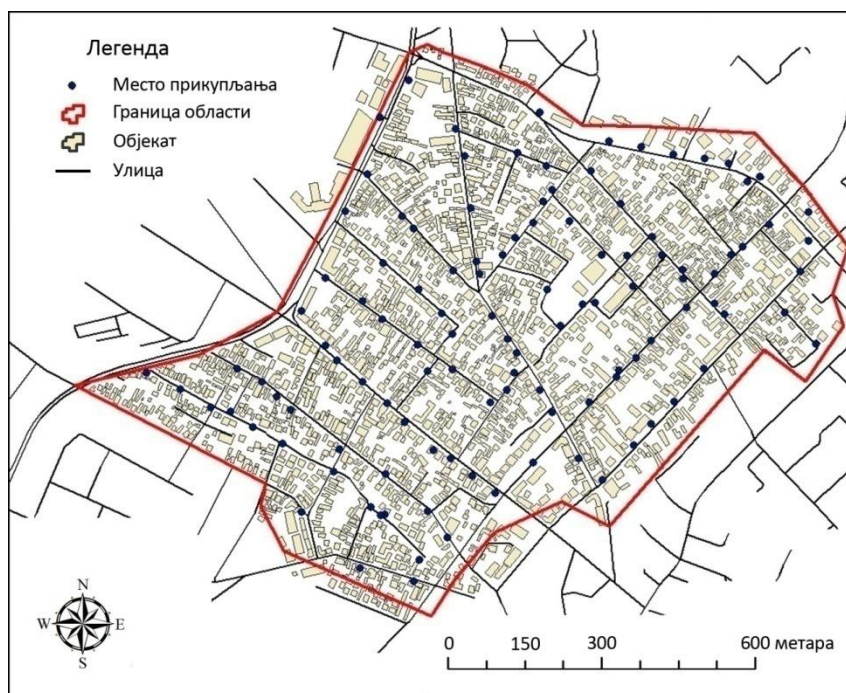
- броју становника у објектима,
- састав отпада.

Први корак је израда базе, односно да се састави извештај са свим местима прикупљања отпада у свим улицама у овом делу града. GPS уређајем је понаособ документована свака локација прикупљања отпада и сваки контејнер. Поред тога сваки улаз у двориште или зграду је такође обележен GPS уређајем. У недостатку података, усвојено је да броја становника у кућама буде четири, а код зграда је број станова множен са четири да би се добио оквиран број становника. Пошто осим кућа и зграда постоје и комерцијални објекти, у извештај је дат тип објекта и његова површина и врста комерцијалних активности које се обављају у објекту.

Табела 5.3Извештаји из репрезентативне зоне

Број места прикупљања:	116
Број распоређених контејнера:	263
Површина:	800 m ²
Прикупљена количина отпада	12000 тона

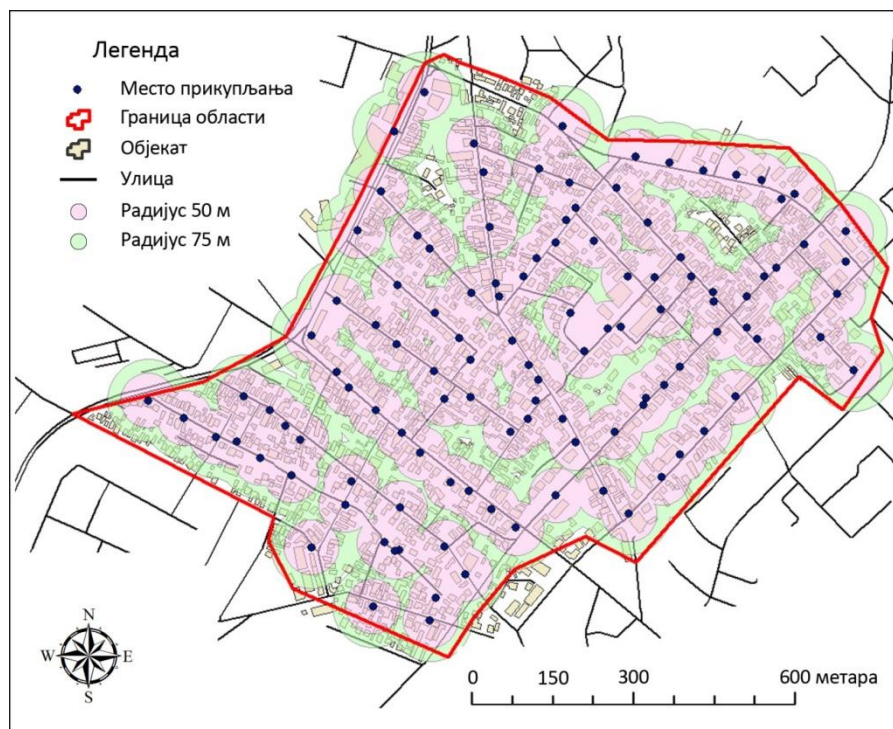
На слици 5.5 је део града за који је вршена анализа, означене су многе локације на којима су смештени контејнери на веома малим удаљеностима, око двадесетак метара. Честа заустављања захтевају већу потрошњу горива комуналних возила. У Србији није законом дефинисано потребно растојање контејнера, а у свету се сматра да растојање контејнера од 75 метара испуњава све постављене услове. При избору локације за постављање контејнера мора се у пракси проверити да ли је се може неометано ту сместити контејнер, да не угрожава функционисање саобраћаја и животних навика грађана. [4]



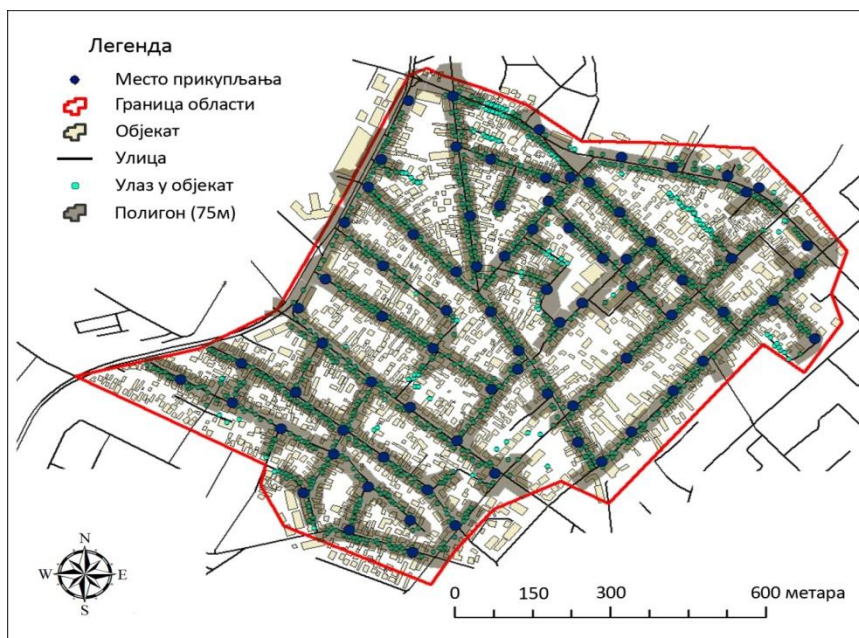
Слика 5.5 Део града на који је примењен модел прорачуна

УГИС-у је поред сваке локације прикупљања отпада постављена зона утицаја у радијусу од 50 m и од 75 m. Са слике 5.6 се види да су скоро сва места

прикупљања обухваћена радијусом од 75 m, осим две слепе улице у којима је отежан приступ комуналним возилима и дела изнад клиничког центра у који није могуће поставити контејнере због недовољне ширине улице и тротоара.



Слика 5.6 Зоне утицаја места прикупљања



Слика 5.7 Оптималан распоред места прикупљања

На слици 5.7 је представљен распоред контејнера тако да су на максималној удаљености од свих улаза у објекте на 75 метара. Дакле сваки грађанин ће до контејера имати максимално 75 m, осим у поменутим улицама у којима је немогуће поставити

контенере. Број локација прикупљања који је довољан да покрије читаву посматрану зону износи 88 што је за 28 локација мање од постојећег стања.

Коришћењем полигона у GIS-у сваки објект из базе података припојен је одређеном месту прикупљања (слика 5.8). На основу овога, може се дефинисати број становника који у њему живи, као и површина и тип комерцијалних објеката у оквиру утицаја места прикупљања.



Слика 5.8 Формирани полигони у зони утицаја места прикупљања

У просечан контејнер запремине $1,1 \text{ m}^3$ стане од 80 до 250 kg у зависности од састава. Усвојено је да је просечна маса отпада у контејнеру 100 kg и да се пуне до 90% своје запремине. При недостатку података о количинама генерисаног отпада према врсти комерцијалне делатности у Србији, коришћени су расположиви подаци за градове са сличним карактеристикама састава и количина генерисаног отпада. Све комерцијалне активности се, према количини генерисаног отпада по m^2 површине, могу поделити у четири класе.

У табели 5.3 су наведене комерцијалне активности, као и количина генерисаног отпада по класама.

Табела 5.4 Класе комерцијалних активности

Класа	Типичне комерцијалне активности	$k_0 \text{ (kg/m}^2\text{)}$
А	Супермаркет, пекара, ресторан, пиљарница, рибарница, киоск брзе хране, бар, кафић, итд.	0,398-0,419
Б	Месара, посластичарница, фризерска радња, цвећара, гаража, итд.	0,200-0,225
Ц	Позориште, црква, школа, књижара, апотека, пошта, итд.	0,109-0,124
Д	Осигуравајућа компанија, кладионица, продавница обуће, продавница одела, златара, видео клуб, итд.	0,011-0,024

Количина отпада, у килограмима, за свако место прикупљања може се израчунати према следећој формули:

$$m_o = nm_n + \sum k_{oi} p_i$$

где је:

- m_o [kg] - маса отпада за посматрано место прикупљања,
- n [-] - број становника који живе у објектима које покрива полигон места прикупљања,
- m_n [kg] - просечна маса генерисаног отпада дневно по становнику за посматрану зону,
- k_o [kg/m²] - коефицијент количине отпада за одређену класу,
- p [m²] - укупна површина објекта припадајуће класе комерцијалних активности.

У претходном прорачуну узето је да је у овод делу града, који је густо насељен количина генерисаног отпада по становнику дневно 1kg.

Број потребних контејнера је количник укупне масе отпада која се прикупи у овом делу града и масе отпада која се одлаже у један контејнер. Резултат се заокружује на први већи цео број.

На одабраном месту прикупљања отпада се генерише отпад из 11 кућа са 34 становника, рестораном, кладионицом и продавницом беле технике. Из претходног прорачуна се види да укупна количина генерисаног отпада је 151 kg, дакле потребно је поставити два контејнера.

Табела 5.5 Објекти обухваћени једним изабраним местом прикупљања

Улица и број	Намена објекта	n	p (m ²)	k_o [kg/m ²]	Стамбени отпад (kg/dan)	Комерцијални отпад (kg/dan)
Војводе путника 1	Ресторан		250	0.4		100
Војводе Путника 2	Кућа	3			3	
Војводе Путника 3	кладионица		50	0.02		1
Војводе Путника 4	кућа	4			4	
Војводе Путника 5	продавница беле технике		40	0.1		4
Војводе Путника 6	кућа	3			3	
Војводе Путника 7	кућа	4			4	
Војводе Путника 8	кућа+локал	4	80	0.1	4	8
Војводе Путника 9	кућа	3			3	
Војводе Путника 9а	кућа	5			5	
Војводе Путника 10	кућа	2			2	
Војводе Путника 11	кућа	4			4	

Војводе Путника 11 а	кућа	3	3	
Војводе Путника 13	кућа	3	3	
Σ			38	113
			<u>Укупна количина отпада</u>	<u>151</u>

На овај начин израчунат је и оптималан број контејнера на свакој локацији прикупљања у граду и резултати су дати у табели 5.5. Оптимизација броја локација и броја контејнера је преузета из докторске дисертације „Унапређење енергетске ефикасности градског система за управљање чврстим отпадом” рађене на Факултету инжењерских наука.

Табела 5.5 Резултати прорачуна оптималнијег распореда контејнера и оптималног броја потребних контејнера

	Број места прикупљања	Број контејнера	Маса по контејнеру (kg)
Постојећи	116	263	43
Оптимизовани	88	175	75
Уштеда	28	88	32

Из табеле 5.5 види се да се отпад из дела града који је изабран за анализу може прикупити са 28 локација мање од тренутног броја, а да се не угрози комфор грађана. Односно комунално возило ће постићи значајне уштеде горива са 28 заустављања мање, знајући да се много више горива троши заустављањем и покретањем возила из стања мировања у поређењу са преласком исте путање непромењеном брзином.

Оптимизацијом броја потребних контејнера њихов број је смањен за 88, што представља уштеду потребне опреме за прикупљање отпада и краћег времена потребног за прикупљање отпада. Просечно време потребно за пражњење једног контејнера износи око 50 секунди, што значи да се иста количина отпада може прикупити за око сат времена мање у односу на постојеће време. [4]

5.3. Идејно решење одвојеног прикупљања отпада

При изради идејног решења одвојеног прикупљања отпада у делу града Крагујевца примењен је модел прорачуна трошкова прикупљања отпада из објеката индивидуалног становања који је описан у раду. У циљу упроштавања модела прорачуна узето је да сваки објекат за који се прикупља отпад има седам домаћинстава. Прорачуном су израчунати трошкови прикупљања свог отпада као мешаног, затим одвојено прикупљање мешаног и рециклабилног отпада и трошкови опције прикупљања отпада одвојеног на: рециклабилни, биоразградиви и преостали мешани отпад. У поља сиве боје се уносе нумеричке вредности, у жутим пољима се бира једна од понуђених вредности или опција, а зелена поља су за приказ резултата прорачуна

5.3.1. Прорачун трошкова прикупљања мешаног отпада без издвајања фракција

Када се сав отпад прикупља као мешани, онда је фреквенца прикупљања шест пута седмично, односно сваким радним даном.

Из табеле 5.6 се види колико износе трошкови за прикупљање мешаног комуналног отпада за анализирани део града Крагујевца:

- трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу 59 915 €
- укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу 59 915 €
- трошкови по локацији (домаћинству) прикупљања на годишњем нивоу 14,76 €
- трошкови прикупљања по објекту на годишњем нивоу 103,32 €
- трошкови прикупљања по тони комуналног отпада 14,53 €

Табела 5.6 Прорачун трошкова прикупљања свог отпада као мешаног

ПРОРАЧУН ТРОШКОВА ПРИКУПЉАЊА ОТПАДА ИЗ ОБЈЕКТА ИНДИВУАЛНОГ СТАНОВАЊА	
Опције прикупљања отпада (Опција 1 или Опција 2, 3, 4):	Мешани отпад
I – КОЛИЧИНА ГЕНЕРИСАНОГ ОТПАДА	
Маса укупно генерисаног отпада по становнику дневно (kg):	1.00
Број објеката индивидуалног становања у заједници:	616
Број становника који живе у објектима индивидуалног становања	12000
Маса отпада генерисана у објекту индивидуалног становања током једне недеље (kg):	136
Маса мешаног отпада генерисана у објекту индивидуалног становања током једне недеље (kg):	136
Густина мешаног отпада после сабијања (kg/m ³)	450
II – ПАРАМЕТРИ САКУПЉАЊА ОТПАДА	
Запремински капацитет комуналног возила (m ³)	16
Степен искоришћења товарног простора у комуналном возилу	0.9
Фреквенца прикупљања отпада (број пражњења канте/контејнера у току једне недеље)	6

Број опслужених објеката по једном циклусу прикупљања (до попуњавања капацитета возила)	285
Време путовања празног комуналног возила (min)	10
Растојање које прелази празно комунално возило (km)	5
Просечна брзина кретања празног комуналног возила(km/h)	30
Време кретања комуналног возила између локација (две узастопне) прикупљања отпада (min)	2
Растојање између две узастопне локације прикупљања отпада (km)	0.3
Просечна брзина кретања возила измеђудве узастопне локације прикупљања отпада (km/h)	10
Време путовања комуналног воозила од задњег места прикупљања отпада до објекта где се отпад истовара (min)	12
Растојање између задњег места прикупљања отпада и локације истовара (km)	4
Просечна брзина кретања возила измеђузадњег места прикупљања и локације истовара (km/h)	20
Време путовања празног комуналног возила од објекта где се отпад истовара до гараже (крај радног дана) (min)	7
Растојање између локације истовара и гараже (km)	3.6
Просечна брзина кретања празног комуналног возила између локације истовара и гараже(km/h)	30
Време које је потребно комуналном возилу да комплетира један циклус прикупљања отпада (време путовања празног возила до почетне локације, време пуњења возила, путовање између локација, задња локација-објекат за истовар отпада, време истовара отпада):	210
Време пуњења комуналног возила на једном месту прикупљања отпада (min)	2.5
Број објеката за који се отпад прикупља на једном месту (локацији)	7
Време пражњења комуналног возила на месту за истовар отпада (min)	15
Број циклуса прикупљања комуналног отпада које комунално возило може да обави током једног радног дана	2.0338
Број радних сати на дан по комуналном возилу (h)	8
Пауза за оброк (минута на дан по возилу)	30
Пауза за одмор (минута на дан по возилу)	15
Потребан број циклуса прикупљања отпада које комунална возила морају да обаве да би се опслужиле све локације прикупљања (домаћинства) усвојено:	1.9444
	2.0000
Коефицијент удела домаћинства обухваћених опцијом (опција 1 или опције 2,3,4)	0.90
Број радних дана у току једне недеље	6
Број комуналних возила потребан да би се опслужиле све локације прикупљања (домаћинства) током недељне шеме прикупљања отпада: усвојено:	0.9834
	1.0000
III - ТРОШКОВИ	
Цена једног комуналног возила (€)	50000

Коефицијент административних трошкова (€ административних трошкова по € цене капитала)	0.12
Економски (животни век) комуналног возила (год)	10
Есконтна стопа Народне Банке Србије	0.085
Фактор повраћаја капитала по комуналном возилу	0.1524
Годишњи капитални трошкови комуналног возила амортизованог дуж економског века (€)	8535
Порези и доприноси (€пореза и доприноса по € нето зараде)	0.65
Коефицијент замене комуналног радника (број резервних радника по комуналном раднику)	0.10
Износ сатнице за комуналног радника (€ на сат по раднику)	1.50
Број комуналних радника по комуналном возилу	2
Износ сатнице за возача комуналног возила (€ на сат по возачу)	2.00
Број радних сати дневнице по комуналном раднику (h)	8
Годишњи трошкови одржавања експлоатације комуналног возила (€)	20000
Остали трошкови по раднику (на годишњем нивоу) (€)	800
Годишњи оперативни трошкови једног комуналног возила (€)	50527
Број локација (објеката) које једно возило може да опслужи током недељне шеме прикупљања отпада:	580
Коефицијент замене комуналног возила (број резервних возила по комуналном возилу):	0.10
Трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу (€)	59915
Укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу (€):	59915
Трошкови по локацији прикупљања (домаћинствима) на годишњем нивоу (€):	14.76
Трошкови прикупљања по објекту на годишњем нивоу (€):	103.32
Трошкови прикупљања по тони комуналног отпада (€):	14.53

5.3.2. Прорачун трошкова прикупљања рециклабилног отпада

Идеја за опцију прикупљања рециклабилног отпада је да се на сваку локацију прикупљања поред сваког контејнера за мешани отпад стави један за рециклабилни отпад. Иако се управљање отпадом у Крагујевцу заснива на принципу примарног одвајања отпада, рециклажа не функционише у пракси. Фреквенца прикупљања рециклабилног отпада је једном недељно. У табели 5.7 се види колико износе трошкови за прикупљање издвојеног рециклабилног комуналног отпада:

- трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу 27 981 €
- укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу 27 981 €
- трошкови прикупљања по локацији (домаћинству) на годишњем нивоу 5,51 €
- трошкови прикупљања по објекту на годишњем нивоу 38,60€
- трошкови прикупљања по тони комуналног отпада 22,72 €

Табела 5.7 Прорачун трошкова прикупљања рециклабилног отпада

ПРОРАЧУН ТРОШКОВА ПРИКУПЉАЊА ОТПАДА ИЗ ОБЈЕКТА ИНДИВУАЛНОГ СТАНОВАЊА	
* Опција прикупљања отпада (Оп1 или Оп2, Оп3, Оп4 или Оп9):	Рециклабилни отпад
I –КОЛИЧИНА ГЕНЕРИСАНОГ ОТПАДА	
Маса укупно генерисаног отпада по становнику дневно (kg):	0.24
Број објеката индивидуалног становања у заједници:	616
Број становника који живе у објектима индивидуалног становања:	12000
Маса отпада генерисана у објекту индивидуалног становања током једне недеље (kg):	33
Коефицијент издавања рециклабилног отпада	1.00
Маса рециклабилног отпада генерирана у објекту индивидуалног становања током једне недеље =	33
Густина рециклабилног отпада после сабијања (kg/m ³)	349
II –ПАРАМЕТРИ САКУПЉАЊА ОТПАДА	
Запремински капацитет комуналног возила (m ³)	16
Степен искоришћења товарног простора у комуналном возилу	0.9
Фреквенца прикупљања отпада (број пражњења канте/контејнера у току једне недеље)	1
Број опслужених објеката по једном циклусу прикупљања (до попуњавања капацитета возила)	154
Време путовања празног комуналног возила (min)	10
Растојање које прелази празно комунално возило (km)	5
Просечна брзина кретања празног комуналног возила (km/h)	30
Време кретања комуналног возила између локација (две узастопне) прикупљања отпада (min)	2

Растојање између две узастопне локације прикупљања отпада (km)	0.3
Просечна брина кретања комуналног возила између локација прикупљања отпада (km/h)	10
Време путовања комуналног возила од задњег места прикупљања отпада до објекта где се отпад истовара (min)	12
Растојање између задњег места прикупљања отпада и локације истовара (km)	4
Просечна брзина кретања возила између задњег места прикупљања и локације истовара (km/h)	20
Време путовања празног комуналног возила од објекта где се отпад истовара до гараже (крај радног дана) (min)	7
Растојање између локације истовара и гараже (km)	3.6
Просечна брзина кретања празног комуналног возила између локације истовара и гараже (km/h)	30
Време које је потребно комуналном возилу да комплетира један циклус прикупљања отпада (време путовања празног возила до почетне локације, време пуњења возила, путовање између локација, задња локација-објекат за истовар отпада, време истовара отпада):	101
Време пуњења комуналног возила на једном месту прикупљања отпада (min)	1
Број објеката за које се отпад прикупља на једном месту (локацији)	7
Време пражњења комуналног возила на локацији за истовар отпада (min)	15
Фактор учесталости објеката која учествују у програму рециклаже у односу на укупан број објеката	0.90
Број циклуса прикупљања отпада које комунално возило може да обави током једног радног дана	4.2336
Број радних сати на дан по комуналном возилу (h)	8
Пауза за оброк (минута на дан по возилу)	30
Пауза за одмор (минута на дан по возилу)	15
Потребан број циклуса прикупљања отпада које комунална возила морају да обаве да би се опслужиле све локације прикупљања (домаћинства) усвојено:	3.2376
	4.0000
Коефицијент удела домаћинства обухваћених опцијом j (опција 1 или опције 2,3,4)	0.90
Број радних дана у току једне недеље	1
Број комуналних возила потребан да би се опслужиле све локације прикупљања (домаћинства) током недељне шеме прикупљања отпада: усвојено:	0.9448
	1.0000
III - ТРОШКОВИ	
Цена једног комуналног возила (€)	50000
Коефицијент административних трошкова (€ административних трошкова по € цене капитала)	0.12
Економски (животни) век комуналног возила (година)	10

Есконтна стопа Народне Банке Србије	0.085
Фактор повраћаја капитала по комуналном возилу	0.1524
Годишњи капитални трошкови комуналног возила амортизованог дуж економског века (€)	8535
Порези и доприноси (€ пореза и допринос по € нето зараде)	0.65
Коефицијент замене комуналног радника (број резервних радника по комуналном возилу)	0.10
Износ сатнице комуналног радника (€ на сат по раднику)	1.50
Број комуналних радника по комуналном возилу	2
Износ сатнице за возача комуналног возила (€ на сат по возачу)	2.00
Број радних сати дневнице по комуналном раднику (h)	8
Годишњи трошкови одржавања и експлоатације комуналног возила (€)	8000
Остали трошкови по раднику (на годишњем нивоу) (€)	500
Годишњи оперативни трошкови једног комуналног возила (€)	14880
Број локација (објеката) које једно возило може да опслужи током недељне шеме прикупљања отпада, а која учествују у програму рециклаже	652
Број посуда (канти) за одлагање рециклабилног отпада распоређених у објектима (домаћинствима)	1
Број посуда (канти) за одлагање рециклабилног отпада у објектима које опслужи једно комунално возило у једном циклусу (пролазу):	725
Цена једне посуде (канте) (€)	30
Економски (животни) век посуде (канте)	10
Фактор повраћаја капитала по посуди (канти)	0.1524
Годишњи капитални трошкови једне посуде (канте) за одлагање рециклабилног отпада (€)	5
Годишњи капитални трошкови посуда (канти) за одлагање рециклабилног отпада које опслужи једно комунално возило (€)	3712
Коефицијент замене комуналног возила (број резервних возила по комуналном возилу):	0.10
Трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу (€)	27981
Укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу (€):	27981
Трошкови по локацији прикупљања (домаћинствима) на годишњем нивоу (€):	5.51
Трошкови прикупљања по објекту на годишњем нивоу (€):	38.60
Трошкови прикупљања по тони комуналног отпада (€):	22.72

5.3.3. Прорачун трошкова прикупљања биоразградивог отпада

У табели 5.8 су тошкови прикупљања издвојеног биоразградивог комуналног отпада:

- трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу 37 891 €
- укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу 37 891 €
- трошкови прикупљања по локацији (домаћинству) на годишњем нивоу 5,39 €
- трошкови прикупљања по објекту на годишњем нивоу 37,72€
- трошкови прикупљања по тони комуналног отпада 23,47 €

Табела 5.8 Прорачун трошкова прикупљања биоразградивог отпада

ПРОРАЧУН ТРОШКОВА ПРИКУПЉАЊА ОТПАДА ИЗ ОБЈЕКТА ИНДИВУАЛНОГ СТАНОВАЊА	
Опције прикупљања отпада (Оп1или Оп2, Оп3, Оп4 или Оп9):	Биоразградиви отпад
I – КОЛИЧИНА ГЕНЕРИСАНОГ ОТПАДА	
Маса укупно генерисаног отпада по становнику дневно (kg):	0.23
Број објеката индивидуалног становања у заједници	616
Број становника који живе у објектима индивидуалног становања	12000
Маса отпада генерисана у објекту индивидуалног становања током једне недеље (kg):	31
Коефицијент издвајања биоразградивог отпада	1.00
Маса биоразградивог отпада генерирана у објекту индивидуалног становања током једне недеље =	31
Густина биоразградивог отпада после сабијања (kg/m ³)	559
II – ПАРАМЕТРИ САКУПЉАЊА ОТПАДА	
Запремински капацитет комуналног возила (m ³)	16
Степен искоришћења товарног простора у комуналном возилу	0.9
Фреквенца прикупљања отпада (број пражњења канте/контејнера у току једне недеље)	3
Број опслужених објеката по једном циклусу прикупљања (до попуњавања капацитета возила)	784
Време путовања празног комуналног возила (min)	10
Растојање које прелази празно комунално возило (km)	5
Просечна брзина кретања празног комуналног возила (km/h)	30
Време кретања комуналног возила између локација (две узастопне) прикупљања отпада (min)	2
Растојање између две узастопне локације прикупљања отпада (km)	0.3
Просечна брзина кретања комуналног возила између локација прикупљања отпада (km/h)	10
Време путовања комуналног возила од задњег места прикупљања отпада до објекта где се отпад истовара (min)	12

Растојање између задњег места прикупљања отпада и локације истовара (km)	4
Просечна брзина кретања возила између задњег места прикупљања и локације истовара (km/h)	20
Време путовања празног комуналног возила од објекта где се отпад истовара до гараже (крај радног дана) (min)	7
Растојање између локације истовара и гараже (km)	3.6
Просечна брзина кретања празног комуналног возила између локације истовара и гараже (km/h)	30
Време које је потребно комуналном возилу да комплетира један циклус прикупљања отпада (време путовања празног возила до почетне локације, време пуњења возила, путовање између локација, задња локација-објекат за истовар отпада, време истовара отпада):	371
Време пуњења комуналног возила на једном месту прикупљања отпада (min)	1
Број објеката за које се отпад прикупља на једном месту (локацији)	7
Време пражњења комуналног возила на локацији за истовар отпада (min)	15
Фактор учесталости објеката која учествују у програму биоразградње у односу на укупан број објеката	0.90
Број циклуса прикупљања отпада које комунално возило може да обави током једног радног дана	1.1536
Број радних сати на дан по комуналном возилу (h)	8
Пауза за оброк (min на дан по возилу)	30
Пауза за одмор (min на дан по возилу)	15
Потребан број циклуса прикупљања отпада које комунална возила морају да обаве да би се опслужиле све локације прикупљања (домаћинства) усвојено:	0.6367
	1.0000
Коефицијент удела домаћинства обухваћених опцијом k (опција 1 или опције 2,3,4 или опција 9)	0.90
Број радних дана у току једне недеље	3
Број комуналних возила потребан да би се опслужиле све локације прикупљања (домаћинства) током недељне шеме прикупљања отпада: усвојено:	0.8669
	1.0000
III - ТРОШКОВИ	
Цена једног комуналног возила (€)	50000
Коефицијент административних трошкова (€ административних трошкова по € цене капитала)	0.12
Економски (животни) век комуналног возила (година)	10
Есконтна стопа Народне Банке Србије	0.085
Фактор повраћаја капитала по комуналном возилу	0.1524
Годишњи капитални трошкови комуналног возила амортизованог дуж економског века (€)	8535
Порези и доприноси (€ пореза и допринос по € нето зараде)	0.65

Коефицијент замене комуналног радника (број резервних радника по комуналном возилу)	0.10
Износ сатнице комуналног радника (€ на сат по раднику)	1.50
Број комуналних радника по комуналном возилу	2
Износ сатнице за возача комуналног возила (€ на сат по возачу)	2.00
Број радних сати дневнице по комуналном раднику (h)	8
Годишњи трошкови одржавања и експлоатације комуналног возила (€)	8000
Остали трошкови по раднику (на годишњем нивоу) (€)	500
Годишњи оперативни трошкови једног комуналног возила (€)	23360
Број локација (објеката) које једно возило може да опслужи током недељне шеме прикупљања отпада, а која учествују у програму биоразградње	904
Број посуда (канти) за одлагање биоразградивог отпада распоређених у објектима (домаћинствима)	1
Број посуда (канти) за одлагање биоразградивог отпада у објектима које опслужи једно комунално возило у једном циклусу (пролазу):	1004
Цена једне посуде (канте) (€)	30
Економски (животни) век посуде (канте)	10
Фактор повраћаја капитала по посуду (канти)	0.1524
Годишњи капитални трошкови једне посуде (канте) за одлагање биоразградивог отпада (€)	5
Годишњи капитални трошкови посуда (канти) за одлагање биоразградивог отпада које опслужи једно комунално возило (€)	5144
Коефицијент замене комуналног возила (број резервних возила по комуналном возилу):	0.10
Трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу (€)	37891
Укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу (€):	37891
Трошкови прикупљања по локацији (домаћинству) на годишњем нивоу (€):	5.39
Трошкови прикупљања по објекту на годишњем нивоу (€):	37.72
Трошкови прикупљања по тони комуналног отпада (€):	23.47

5.3.4. Прорачун трошкова прикупљања мешаног отпада који остане после издвајања рециклабилног и биоразградивог отпада

У табели 5.9 је дат прорачун трошкова прикупљања мешаног остатка тј. мешаног отпада који остане када се издвоји рециклабилни и биоразградив отпад. Мешани отпад који остане када се одвојено прикупи рециклабилни и биоразградив би се прикупљао два пута седмично.

- трошкови прикупљања отпада по комуналном возилу на годишњем нивоу 41 228 €
- укупни трошкови прикупљања отпада на годишњем нивоу 41 228 €
- трошкови прикупљања по локацији (домаћинству) на годишњем нивоу 8,23 €
- трошкови прикупљања по објекту на годишњем нивоу 35,84 €
- трошкови прикупљања по тони комуналног отпада 11,72 €

Табела 5.9 Прорачун трошкова прикупљања мешаног отпада који остане када се одвојено прикупе рециклабилни и биоразградив отпад

ПРОРАЧУН ТРОШКОВА ПРИКУПЉАЊА ОТПАДА ИЗ ОБЈЕКТА ИНДИВУАЛНОГ СТАНОВАЊА	
Опције прикупљања отпада (Оп1или Оп2, Оп3, Оп4 или Оп9):	Мешани остатак
I – КОЛИЧИНА ГЕНЕРИСАНОГ ОТПАДА	
Маса укупно генерисаног отпада по становнику дневно (kg):	0.43
Број објеката индивидуалног становања у заједници	616
Број становника који живе у објектима индивидуалног становања	12000
Маса отпада генерисана у објекту индивидуалног становања током једне недеље (kg):	59
Маса мешаног остатка генерисана у објекту индивидуалног становања током једне недеље (kg)	59
Густина мешаног остатка после сабијања отпада (kg/m ³)	520
II – ПАРАМЕТРИ САКУПЉАЊА ОТПАДА	
Запремински капацитет комуналног возила (m ³)	16
Степен искоришћења товарног простора у комуналном возилу	0.9
Фреквенца прикупљања отпада (број пражњења канте/контејнера у току једне недеље)	2
Број опслужених објеката по једном циклусу прикупљања (до попуњавања капацитета возила)	255
Време путовања празног комуналног возила (min)	10
Растојање које прелази празно комунално возило (km)	5
Просечна брзина кретања празног комуналног возила (km/h)	30
Време кретања комуналног возила између локација (две узастопне) прикупљања отпада (min)	2
Растојање између две узастопне локације прикупљања отпада (km)	0.3

Просечна брина кретања комуналног возила између локација прикупљања отпада (km/h)	10
Време путовања комуналног возила од задњег места прикупљања отпада до објекта где се отпад истовара (min)	12
Растојање између задњег места прикупљања отпада и локације истовара (km)	4
Просечна брзина кретања возила између задњег места прикупљања и локације истовара (km/h)	20
Време путовања празног комуналног возила од објекта где се отпад истовара до гараже (крај радног дана) (min)	7
Растојање између локације истовара и гараже (km)	3.6
Просечна брзина кретања празног комуналног возила између локације истовара и гараже (km/h)	30
Време које је потребно комуналном возилу да комплетира један циклус прикупљања отпада (време путовања празног возила до почетне локације, време пуњења возила, путовање између локација, задња локација-објекат за истовар отпада, време истовара отпада):	137
Време пуњења комуналног возила на једном месту прикупљања отпада (min)	1
Број објеката за које се отпад прикупља на једном месту (локацији)	7
Време пражњења комуналног возила на локацији за истовар отпада (min)	15
Број циклуса прикупљања отпада које комунално возило може да обави током једног радног дана	3.1152
Број радних сати на дан по комуналном возилу (h)	8
Пауза за оброк (min на дан по возилу)	30
Пауза за одмор (min на дан по возилу)	15
Потребан број циклуса прикупљања отпада које комунална возила морају да обаве да би се опслужиле све локације прикупљања (домаћинства) усвојено:	2.1714
	3.0000
Коефицијент удела домаћинства обухваћених опцијом κ (опција 1 или опције 2,3,4 или опција 9)	0.90
Број радних дана у току једне недеље	2
Број комуналних возила потребан да би се опслужиле све локације прикупљања (домаћинства) током недељне шеме прикупљања отпада: усвојено:	0.9630
	1.0000
III - ТРОШКОВИ	
Цена једног комуналног возила (€)	50000
Коефицијент административних трошкова (€ административних трошкова по € цене капитала)	0.12
Економски (животни) век комуналног возила (год.)	10
Есконтна стопа Народне Банке Србије	0.085
Фактор повраћаја капитала по комуналном возилу	0.1524
Годишњи капитални трошкови комуналног возила амортизованог дуж економског века (€)	8535

Порези и доприноси (€ пореза и доприноса по € нето зараде)	0.65
Коефицијент замене комуналног радника (број резервних радника по комуналном раднику)	0.10
Износ сатнице за комуналног радника (€ на сат по раднику)	1.50
Број комуналних радника по комуналном возилу	2
Износ сатнице комуналног радника (€ на сат по раднику)	2.00
Број радних сати дневнице по комуналном раднику (h)	8
Годишњи трошкови одржавања и експлоатације комуналног возила (€)	8000
Остали трошкови по раднику (на годишњем нивоу) (€)	500
Годишњи оперативни трошкови једног комуналног возила (€)	19120
Број локација (објеката) које једно возило може да опслужи током недељне шеме прикупљања отпада	795
Коефицијент замене комуналног возила (број резервних возила по комуналном возилу):	0.10
Трошкови прикупљања по комуналном возилу на годишњем нивоу (€)	41228
Укупни трошкови прикупљања на годишњем нивоу (€):	41228
Трошкови по локацији (домаћинству) прикупљања на годишњем нивоу (€):	8.23
Трошкови по објекту прикупљања на годишњем нивоу (€):	35.84
Трошкови прикупљања по тони отпада (€):	11.72

Идеја раздвојеног прикупљања отпада на мешани и рециклабилни је да се поред сваког контејнера за мешани отпад постави по један за рециклабилни отпад, а код раздвајања на мешани, рециклабилни и биоразградиви да на сваком месту прикупљања стоји по један контејнер за мешани, један за рециклабилни и један за биоразградиви отпад. Рециклабилни отпад би се сакупљао једном седмично, а биоразградиви три пута седмично. Мешани отпад који остане када се одвојено сакупи рециклабилни и биоразградиви би се сакупљао 2 пута седмично.

У табели 5.10 је поређење трошкова по комуналном возилу, објекту, тони отпада за три опције прикупљања отпада.

Табела 5.10 Трошкови за три различите опције прикупљања отпада

	Мешани отпад	Мешани + рециклабилни отпад	Мешани + рециклабилни + биоразградиви
Трошкови прикупљања по комуналном возилу [€]	59 915	68 456	94 380
Укупни трошкови прикупљања на годишњем нивоу [€]	59 915	68 456	94 380
Трошкови по локацији прикупљања на годишњем нивоу [€]	10,76	14,13	16,02
Трошкови по објекту прикупљања на годишњем нивоу [€]	103,32	74,44	112,16
Трошкови по тони прикупљања на годишњем нивоу [€]	14,53	34,44	57,91

Одвојеним прикупљањем отпада у овом делу Крагујевца би се за једну годину прикупило 1057 тона рециклабилног отпада и 992 тоне биоразградивог отпада од 4356 тона колико се сакупи када се сав отпад скупља као мешани.

По резултатима прорачуна који се виде у табели 5.10 се види да су укупни трошкови одвојеног прикупљања мешаног и рециклабилног отпада приближни укупним трошковима прикупљања свог отпада као мешаног. Из тога се може закључити да је одвојено прикупљање рециклабилног отпада економски исплативо. Вишеструка исплативост одвојеног прикупљања секундарних сировина се постиже и свим уштедама које се остварују рециклажом секундарних сировина.

Чињеница је да секундарне сировине имају своју тржишну вредност. Стање на српском тржишту је прилично неуравнотежено и зависи од стања на светској берзи. У табели 5.11 је оријентациони приказ тржишних вредности рециклабилног отпада. [8]

Табела 5.11 Цене рециклажних сировина на тржишту

Сировина	Цена € по тони
ПЕТ амбалажа	100
Пластика	140
Стакло	30
Алуминијум	350
Алуминијумске конзерве	400
Папир	30
Гвожђе	80

Трећа опција прикупљања отпада је одвојено прикупљање рециклабилног, биоразградивог и мешаног отпада. Из табеле 5.10 се види да су трошкови за ову опцију прикупљања већи за око 40 000 € од трошкова за прикупљање отпада раздвојеног на рециклабилни и мешани отпад и да се економски не исплати.

Међутим, процес приближавања Европској Унији подразумева хармонизацију домаћег законодавства са законодавством у ЕУ, а један од прописа Европске уније у области управљања отпадом је Директива о депонијама (1999/31/ЕС), која намеће читав низ ограничења у погледу коришћења депонија као средства за одлагање отпада. Директивом је предвиђено смањење количине биоразградивог отпада који ће се депоновати:

- 2012 – 2016. године – смањење од 25%;
- 2017 – 2019. године – смањење од 50%;
- 2020 – 2026. године – смањење од 65%.

Наведена директива је изузетно сложена и скупа за транспозицију и имплементацију у Србији. Поштовање и спровођење наведене директиве оправдава трошкове одвојеног прикупљања биоразградивог отпада. Трошкове оправдавају такође и уштеде које се остварују компостирањем биоразградивог отпада.

Јавна комунална предузећа се сусрећу са знатним финансијским потешкоћама. Да би почело да функционише систем одвојеног прикупљања отпада потребне су инвестиције за

изградњу инфраструктуре, буђење свести становништва о неопходности одвојеног прикупљања отпада и потреби за реалном вишом, економском ценом комуналних услуга.

6. Закључак

У овом раду је представљен математички модел математички модел за прорачун трошкова прикупљања комуналног отпада. На основу развијеног модела, коришћењем програма за табеларне прорачуне, Microsoft Excel-а, формиран је одговарајући софтвер који има задатак да прорачуна економске и енергетске трошкове прикупљања отпада за различите опције прикупљања. Опције за које је направљен модел прорачуна прикупљања отпада су: прикупљање свог отпада као мешаног, прикупљање отпада раздвојеног на мешани и рециклабилни и прикупљање отпада раздвојеног на рециклабилни, биоразградиви и мешани отпад.

Развијени софтвер тестиран је на репрезентативни део Крагујевца и добијени су трошкови прикупљања отпада за све три опције. Приказани су резултати прорачуна изражени кроз трошкове по комуналном возилу, по објекту, по локацији прикупљања, по тони комуналног отпада и укупни трошкови. Сви трошкови су на годишњем нивоу и могу се видети табели испод.

	Мешани	Мешани + рециклабилни	Мешани + рециклабилни + биоразградиви
Трошкови прикупљања по комуналном возилу [€]	59915	68 456	94 380
Укупни трошкови прикупљања на годишњем нивоу [€]	59915	68 456	94 380
Трошкови по локацији прикупљања на годишњем нивоу [€]	10,76	14,13	16,02
Трошкови по објекту прикупљања на годишњем нивоу [€]	103.32	74,44	112,16
Трошкови по тони прикупљања на годишњем нивоу [€]	14.53	34,44	57,91

Анализирајући вредности добијених резултата за трошкове и њихову могућност исплативости за неку од три различите опције прикупљања отпада, закључује се да је одвојено прикупљање рециклабилног и мешаног отпада економски оправдано. Укупни трошкови прикупљања свог отпада као мешаног и отпада раздвојеног на мешани и рециклабилни су приближне вредности, поред тога рециклажом секундарних сировина се исплативост у великој мери повећава.

Трећа опција, односно сакупљање отпада раздвојеног на мешани, рециклабилни и биоразградиви економски није оправдана, имајући у виду да су трошкови прикупљања скоро удвостручени, али обавеза спровођења прописане директиве о депонијама оправдава цену одвојеног прикупљања биоразградивог отпада. Компостирање је такође начин преко којег се исплати одвојено прикупљање овог отпада.

7. Литература

- [1] Јовичић Н., “Управљање чврстим отпадом”, скрипта са материјалом за курс-Технологије и опрема за депоновање отпада, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2005
- [2] Edward M. Curtis, III and Robert D. Dumas, “A Spreadsheet process model for analysis of costs and life-cycle inventory parameters associated with collection of municipal solid waste”, Август 2000
- [3] Јовичић Н., Вујић, Миловановић Д., Јовичић Г., Деспотовић М., Батинић Б., Станисављевић Н., Убавин Д., Гвозденац Б., Бошковић Г., “Методологија за одређивање морфолошког састава комуналног отпада, Техничко решење”, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2009
- [4] Бошковић Г., “Унапређење енергетске ефикасности градског система за управљање чврстим отпадом”, докторска дисертација”, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014
- [5] Јовановић В., Ђурђевић Б., Срдић З., Станков У., “Географски информациони системи”, Београд 2012
- [6] Г. Вујић, Д. Убавин, Б. Батинић, М. Војиновић Милорадов, Д. Штрбац, Б. Гвозденац, Н. Станисављевић, Д. Миловановић, Д. Адамовић, С. Бачлић, А. Дворнић, “Утврђивање састава отпада и процене количине у циљу дефинисања стратегије управљања секундарним сировинама у склопу одрживог развоја Републике Србије”, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2009
- [7] Градска управа за урбанизам, изградњу и имовинско – правне послове, “Локални план управљања отпадом у граду Ужицу”, Град Ужице, 2011-2020
- [8] Craig Hempfling “Комерцијализација секундарних сировина и рециклаже отпада у Србији”, 2010
- [9] Нешић Б., “Управљање комуналним отпадом и потенцијали за рециклажу на примеру јужне и југоисточне Србије”, Ниш, Децембар 2010
- [10] Агенција за заштиту животне средине, “Извештај о стању животне средине у републици Србији”, Република Србија, 2014