

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

„Методологија за мониторинг и оптимизацију процеса сакупљања чврстог отпада“

Аутори техничког решења

- Др Небојша Јовичић, ван. проф.
- Др Милан Деспотовић, ван. проф.
- Др Добрица Миловановић, ред. проф.
- Др Милун Бабић, ред. проф.,
- Др Душан Гордић, ван. проф.,
- Др Горан Вујић, доцент
- Др Гордана Јовичић, доцент
- Др Вања Шуштершич, ван. проф.
- Горан Бошковић, дипл. инж. маш.

Наручилац техничког решења

- МИНИСТАРСТВО ЗА НАУКУ И ТЕХНОЛОШКИ РАЗВОЈ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ,
- АГЕНЦИЈА ЗА ЗАШТИТУ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ
- ГРАД КРАГУЈЕВАЦ,
- ЈКП Чистоћа, Крагујевац

Корисник техничког решења

- АГЕНЦИЈА ЗА ЗАШТИТУ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ,
- ГРАД КРАГУЈЕВАЦ,
- ЈКП Чистоћа, Крагујевац

Година када је техничко решење урађено

- 2009-2010

Област технике на коју се техничко решење односи

- Енергетска ефикасност комуналних система, Енергетика и процесна техника

1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Многобројне анализе, наших и светских експерата из области заштите животне средине, указују да не постоје поуздани подаци о чврстом отпаду у Србији. Податке о комуналном отпаду општине, најчешће формирају као "најбољу процену", пошто мерење масе отпада готово да не постоји, а састав отпада никада није у потпуности проучен. Такође, евидентирано је да не постоји механизам за прикупљање података од генератора о свим категоријама отпада који се ствара. На основу анализе Регионалног центра за животну средину за Централну и Источну Европу, Канцеларија у Београду, у оквиру документа "Стратешки оквир за политику управљања отпадом", једна од примарних препорука је успостављање одрживог система за сакупљање и управљање подацима о отпаду. Подаци о отпаду којима, у овом тренутку, располаже администрација града Крагујевца су непотпуни и недовољни за предвиђања у вези настајања отпада у будућности. Отуда, **развијање софтверских алата и формирање одговарајуће базе података** о комуналном отпаду је есенција за развој одрживе стратегије, а нарочито за одређивање потребних капацитета и врсте постројења и опреме за адекватно поступање са отпадом.

Спроведена истраживања на наведеним пројектима, као и развијени еколошки информациони систем може да има врло велики утицај на привреду и друштво, а то се преваходно огледа у стварању предуслова за:

- ефикасно и еколошки повољно коришћење комуналног отпада,
- очување заштите околине и природних ресурса и значајније коришћење алтернативних извора енергије (енергије садржане у отпаду),
- смањење специфичне потрошње енергије и домаћих и увозних енергетских потенцијала и ресурса,
- могућности повећања конкурентне способности привреде, отварању нових производних програма и повећању запослености.

2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења

Мониторинг, унапређење и оптимизација система за сакупљање чврстог отпада у свету је већ дуги низ година предмет интересовања и истраживања, и то само у појединим сегментима тог система. Нагласак је на оптимизацији путања којима се крећу комунална возила и оптимизацији просторног распореда локација за прикупљање отпада. Са друге стране, оптимизација регионалних система увођењем трансфер станица је у литератури мање заступљена.

Оптимизација путања сакупљања отпада припада моделу проблема усмеравања возила – VRP (*Vehicle routing problem*). Примена VRP модела код проблема оптимизације путања прикупљања отпада довела је до појаве низа нових модела који укључују већину ограничења реалних проблема: омогућавају обнављање капацитета возила (међу-складишта), недељне шеме прикупљања, итд. Географски информациони систем (ГИС) је, такође, пронашао значајну примену у одређивању "најјефтинијих"/најкраћих рута прикупљања отпада на путу према одлагалишту. Наиме, у процесу симулације и формирања варијантних решења путања кретања комуналних возила, ресурси ГИС-а

обезбеђују неопходне информације као што су гео-референциране мапе, мрежа градских саобраћајница, усмереност улица, просторни распоред места за прикупљање отпада, демографски подаци, итд. Кад се говори о изради VRP оптимизацијских модела код система прикупљања отпада треба узети у обзир низ реалних ограничења. Ограничења проблема чине капацитет и број возила, трајање смјене, променљивост саобраћајних услова, сезонске варијације у генерирању отпада, ограничено време складиштења отпада у контејнерима и др. То доводи до врло сложених модела које је тешко ефикасно применити. Примена егзактних метода решавања модела ограничена је на једноставне моделе, док се сложенији модели морају рјешавати примјеном хеуристичких метода од којих су се најефикаснији показали *tabu-search* и генетски алгоритми. Дакле, општи закључак је да не постоји универзално решење оптимизације система за сакупљање отпада и те се сваки конкретан проблем мора индивидуално сагледавати.

Када се говори о публикованим резултатима истраживања у области унапређења и оптимизације система за управљање отпадом, треба истаћи неколико карактеристичних примера. Lakshumi (2006) је представио резултате студије која се односила на град Chennai у Индији, који има око 4,5 милиона становника. Циљ истраживања је био да се одреде оптималне руте за сакупљање отпада и упореде трошкови транспорта између оптимизованих и постојећих рута. Коришћен је комерцијални софтверски пакет ArcGis и на примеру једне руте, евидентирана је уштеда у дужини путање прикупљања од 41,5% у дневној смени и 44% у ноћној смени. Aраудиn (2007) је публиковао резултате истраживања на оптимизацији кретања комуналних возила у граду Трабзону у Турској. Град Трабзон је по величини сличан Граду Крагујевцу и има око 185.000 становника. Предложена је подела града на 39 реона и 777 локација за прикупљање отпада. Коришћен је софтверски пакет RouteView Pro, и у поређењу са постојећим системом, указано је да се оптимизацијом дошло до скраћивања путање кретања возила од 4 до 59% по рути, и смањења времена 14 до 65 % по рути. Унапређењем система за прикупљање отпада остварена је укупна уштеда од 24% од укупних трошкова, или у апсолутном износу уштеда је 18.014\$ на месечном нивоу. Keramidas (2008) је приказао резултате истраживања на оптимизацији броја и распореда места за прикупљања отпада у Атини. Дизајниране су просторне базе података у ГИС радном окружењу, а сви добијени подаци су процесирани у ArcGis пакету. Према прорачуну, за део града који је анализиран, број контејнера је редукован са 162 на 112, што је смањење од 30%, и велика уштеда на енергетским расходима за прикупљање отпада. У нашем блиском окружењу, могу се евидентирати истраживања спроведена у Хрватској, која је публиковао Царић (2006). Анализиране су путање комуналних возила у делу града Загреба, а оптимизација је вршена развијеним нумеричким поступком. Резултати истраживања су указали на могућност смањивања броја возила са 7 на 6 и уштеду у пређеном путу од 30% у односу на постојећи систем рута.

3. Суштина техничког решења

У Србији нису евидентирана истраживања на унапређењу и оптимизацији система за сакупљање отпада. Чињеница је да комунална предузећа у Србији немају евиденцију о

инфраструктури система за сакупљање отпада на нивоу ГИС захтева. Подела града на реоне, просторни распоред локалитета за прикупљање отпада и фреквенца пражњења контејнера, најчешће су резултат искуства, а не принципа минималних енергетских расхода. Када се разматрају путање комуналних возила, ситуација је још сложенија, и без стварања предуслова кроз имплементацију базе података о ресурсима система (по ГИС захтевима), практично сваки покушај оптимизације система је осуђен на неуспех. Отуда, развој и имплементација општег модела базе података о ресурсима комуналног система за сакупљање и депоновање отпада је оригиналан и конкретан допринос, са могућношћу примене у сваком сличном предузећу. Формирање опште методологија за унапређење енергетске ефикасности сакупљања чврстог отпада пружиће могућност сваком комуналном предузећу да решава следеће проблеме: 1) адекватан распоред места за прикупљање отпада у складу са густином становништва и степеном урбанизованости (унапређена или оптимизована фреквенца пражњења контејнера), 2) подела града на реоне у складу са карактеристикама возног парка (унапређено или максимизовано искоришћење капацитета комуналних возила) и 3) оптимизација путања комуналних возила у оквиру дефинисаних реона (смањење или минимизација енергетских расхода возног парка).

Град Крагујевац, односно ЈКП Чистоћа, располаже са око 4.000 контејнера распоређених на око 2.000 локација, у оквиру 12 реона. Возни парк од 20 комуналних возила прави расходе од близу 45.000.000 на годишњем нивоу. У Крагујевцу, као и у већини градова у Србији, не постоји електронска евиденција о просторном распореду контејнера и систему путања прикупљања возила. Имајући у виду могућу редукуцију енергетских расхода која произилази из публикованих података, релевантност предвиђених користи за кориснике техничког решења, односно комуналне сервисе као што је ЈКП Чистоћа из Крагујевца, је очигледна. Такође, заинтересованост Града Крагујевца и ЈКП Чистоћа је тим већа, јер резултати предложеног пројекта треба да послуже као инфраструктурна основа за реализацију стратегија развоја Крагујевца. С друге стране, освајање методологија софтверских алата, организационих процедура и конкретних технологија обраде података везаних за еколошке проблеме којима обилује Крагујевац, али и цела Србија, може представљати прави демо полигон за све заинтересоване локалне заједнице, а и за Србију као целину.

Дакле, поред основног циља везаног за подизање енергетске ефикасности градског система за управљање чврстим отпадом, створиће се услови за развој стратегије одрживог управљања локалним комуналним, индустријским и био-хазардним отпадом градова Србије, а нарочито у аспектима везаним за:

- одређивање потребних капацитета, врста постројења и опреме за ефикасно поступање са отпадом,
- брзо добијање економских показатеља онима који желе да уђу у бизнис са отпадом,
- одрживе модалитете енергетски ефикасних и економски оправданих третмана чврстог отпада на територији градова, општина и Региона.

4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже)

- База података о местима за прикупљање комуналног отпада Града Крагујевца

У оквиру развијања и имплементације базе података о ресурсима комуналног система за прикупљање чврстог отпада, у првој фази, прикупљени су и обрађени подаци о основним елементима инфраструктуре система. Формирана је евиденција о сваком месту прикупљања отпада које је у надлежности ЈКП Чистоћа (реон, улица, тип и број контејнера, фотографија као и ГПС координате локације), као што је приказано на слици 1 . У овој фази евидентирана су само места на којима су размештени контејнери ЈКП Чистоћа и која се редовно обилазе комуналним возилима.

| | |
|------------------|-----------------------|
| Место прикупљања | 0013 |
| Број контејнера | 6 + 1 ПЕТ |
| Координате | N44 00.297 E20 53.519 |
| Улица | Јосифа Шмерсона |
| Месна заједница | Багремар |



Слика 1. Једно типично место за прикупљање комуналног отпада Града Крагујевца

Детаљан извештај о свим местима прикупљања отпада дат је у студији под називом **Евиденција места за прикупљање комуналног отпада Града Крагујевца.**

Поред овог веома обимног документа (преко 1500 страница), развијена је и одговарајућа **База података о местима за прикупљање комуналног отпада Града Крагујевца**. База је у облику ГДБ (ГеоДатаБесе) фајла који може да се учита у Гарминов софтвер MapSource и да се на дигиталној мапи града прикаже распоред места прикупљања (као и путања комуналних возила). Поред тога, база је трансформисана и у КМЛ фајл прилагођен захтевима Гоогле Еартх софтвера у коме је омогућен приказ просторног распореда места прикупљања и рута комуналних возила на сателитским снимцима града. Опредељење за формат КЛМ и Гоогле Еартх софтвер је то што је он бесплатан и може се несметано користити у Интернет окружењу, без ограничења на број корисника.

Теренско снимање места прикупљања отпада, на којима су распоређени контејнери у власништву ЈКП Чистоћа, и које редовно празне комунална возила овог предузећа, трајало је 50 радних дана и вршено је у периоду април-јул 2009. године. У циљу евиденције сваког места за прикупљање отпада, чланови екипе су морали да прате кретање комуналних возила, па су снимања обављана у све три смене, и у веома дугом периоду. У процесу снимања и прикупљања података коришћени су GPS уређаји Garmin Colorado 300 и Trimble Juno.

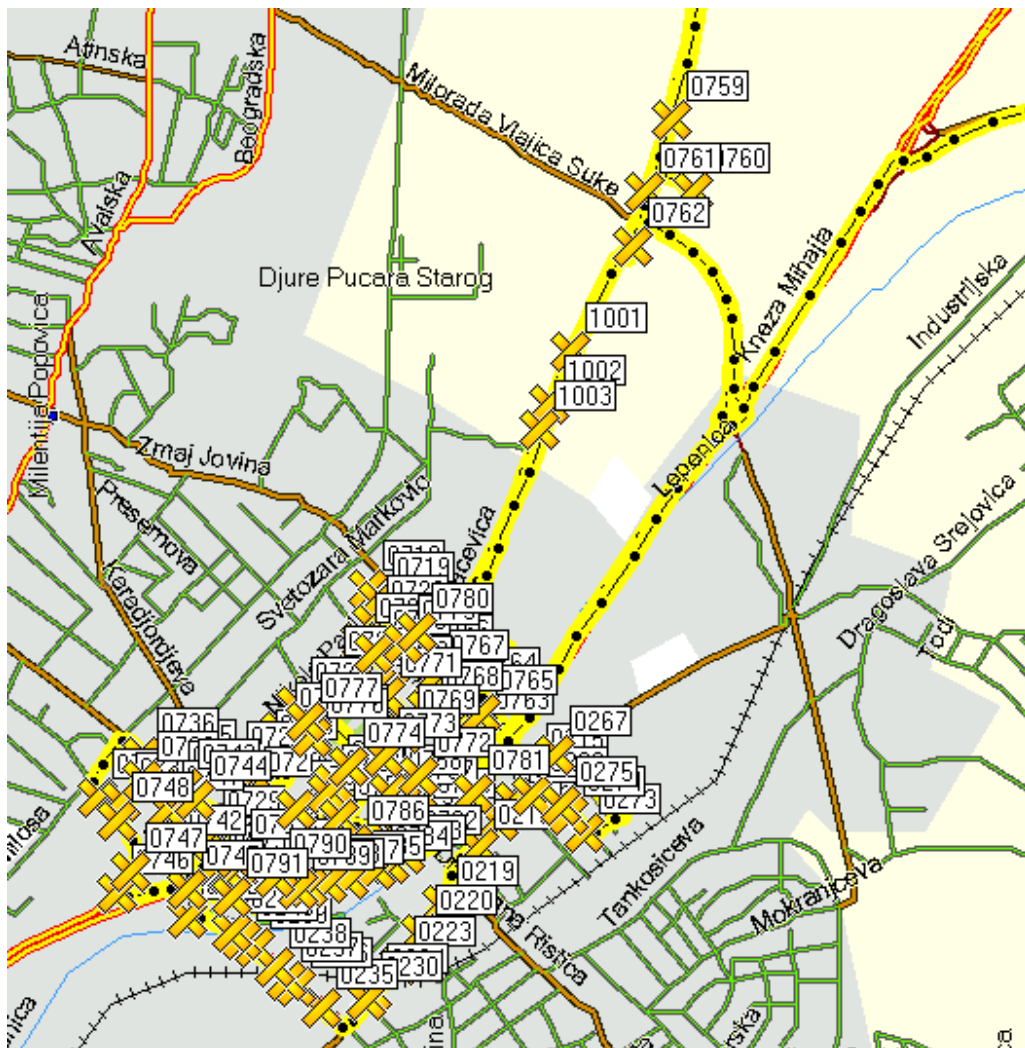
Обраду и анализу података, поред чланова екипе задужене за прикупљање података са Машинског факултета у Крагујевцу, спровели су и истраживачи са Факултета техничких наука из Новог Сада.

- **База података о путањама комуналних возила ЈКП Чистоћа, Крагујевац**

У оквиру прве године реализације пројекта формирана је и база података о путањама комуналних возила ЈКП Чистоћа, Крагујевац. Снимање је вршено на терену GPS уређајима Garmin Colorado 300 и Trimble Juno. Прикупљање података трајало је 90 радних дана у периоду септембар 2009. – фебруар 2010. године. На прикупљању и обради података радила је иста екипа као и при формирање базе података о местима прикупљања отпада. Формирана је база података о свакој путањи односно рути комуналних возила ЈКП Чистоћа, у оквиру 11 реона на колико је подељен град Крагујевац. Под појмом рута подразумева се путања једног комуналног возила у току једног радног дана. Свака рута састоји се из једне или више тура. За сваку руту и туру поред приказа на мапи града евидентирани су и подаци о трајању руте, просечној брзини, броју места прикупљања и броју испражњених контејнера. На слици 2 приказана је једна типична рута комуналног возила. Слика 3 приказује једну од тура комуналног возила, издвојену из руте приказане на слици 2.

R-01040101

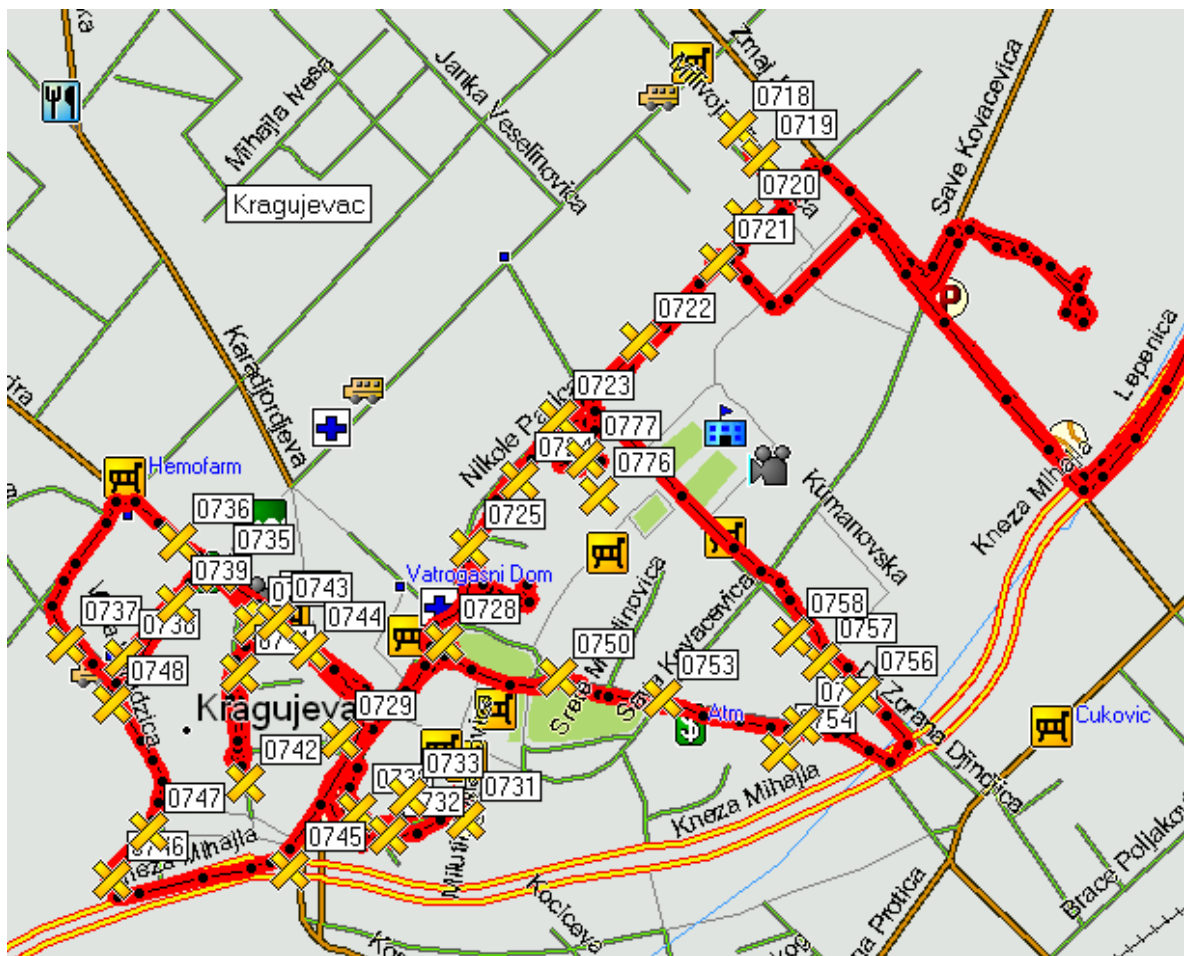
| | |
|-----------------------|-----------|
| Број тура | 3 |
| Пређени пут | 36.8 km |
| Време | 5h 28 min |
| Просечна брзина | 7 km/h |
| Број места прикупљања | 97 |
| Број контејнера | 275 |



Слика 2. Једна типична рута комуналног возила ЈКП Чистоћа

R-01040101a

| | |
|-----------------------|--|
| Пређени пут | 13.7 km |
| Време | 2h 32 min |
| Просечна брзина | 5 km/h |
| Број места прикупљања | 38 |
| Број контејнера | 106 |
| Места прикупљања | 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 750, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 776, 777 |



Слика 3. Једна типична тура комуналног возила ЈКП Чистоћа

У бази података свака рута и тура има своју шифру. Приказ и значења ознака дат је у наставку.

R – 01 01 01 01 a

| Реон | Дан у недељи | Екипа | Смена | Тура |
|--------------|----------------|--------------|-------------|------------|
| Реон 1 - 01 | Понедељак - 01 | Екипа 1 - 01 | Дневна - 01 | Тура 1 - а |
| Реон 2 - 02 | Уторак - 02 | Екипа 2 - 02 | Ноћна - 02 | Тура 2 - б |
| Реон 3 - 03 | Среда - 03 | | | Тура 3 - с |
| Реон 4 - 04 | Четвртак - 04 | | | |
| Реон 5 - 05 | Петак - 05 | | | |
| Реон 6 - 06 | Субота - 06 | | | |
| Реон 7 - 07 | Недеља - 07 | | | |
| Реон 8 - 08 | | | | |
| Реон 9 - 09 | | | | |
| Реон 10 - 10 | | | | |
| Реон 11 - 11 | | | | |

Пример:

Ознака: **P-01040101a**

Значење: **Реон 1, четвртак, екипа 1, дневна смена, тура 1**

Детаљан извештај о свим рутама комуналних возила ЈКП Чистоћа, Крагујевац дат је у студији под називом **Евиденција путања комуналних возила ЈКП Чистоћа, Крагујевац**. Ознаке конетејнера су у складу са **Базом података о местима за прикупљање комуналног отпада Града Крагујевца**.

База података о путањама комуналних возила, такође је у GDB формату, и прилагођена је софтверу MapSource. Такође, урађена је и конверзија ове базе у KML формат, прилагођен софтверу Google Earth. За приказ рута у Google Earth софтверу,

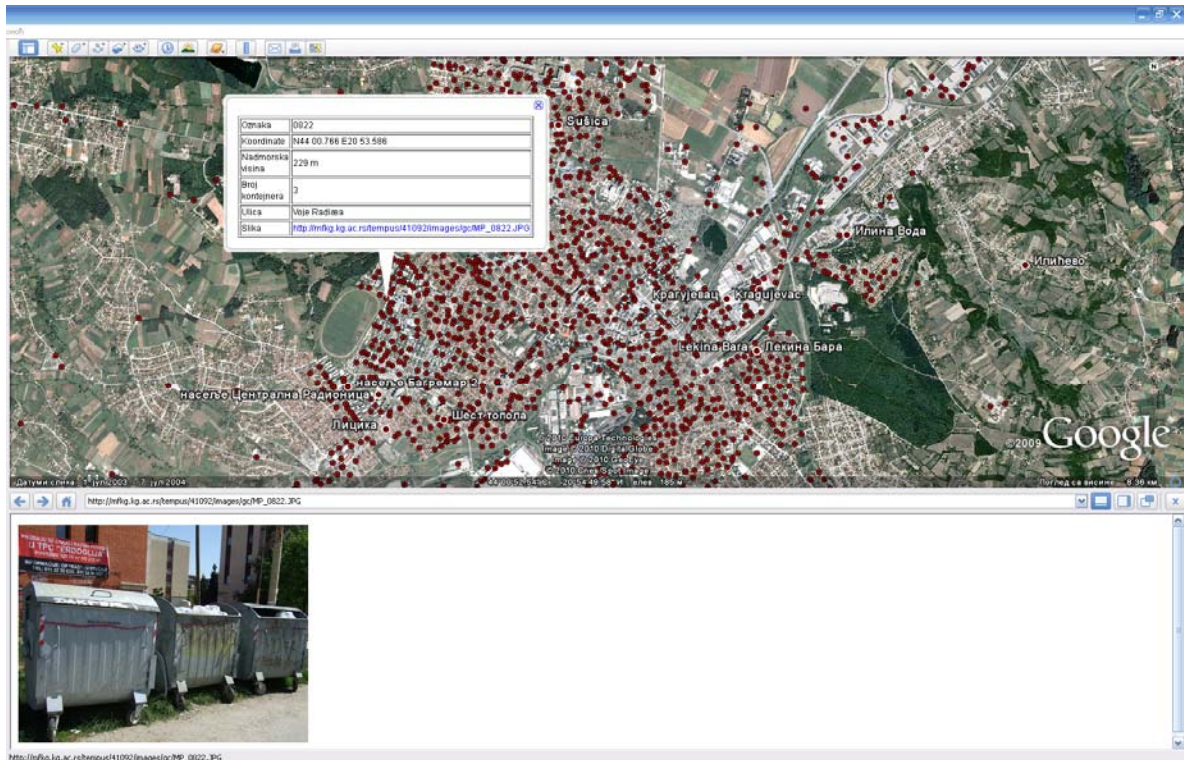
било је потребно да се спроведе трансформацију координатног система из светског WGS84 у национални координатни систем коришћењем софтвера DNR Garmin и конвертовати фајл у SHP формат према захтевима ArcGis софтвера. У ArcGis софтверу вршена је додатна дорада фајла уз уписивање атрибута. Ово је рађено да би се у Google Earth-у, поред визуелног приказа сателитског снимка града, приказали и остали релевантни подаци везани за путање комуналних возила ЈКП Чистоћа. Додатни напор у реализацији ове пројектне активности је чињеница да је било потребно ускладити све снимљене GPS координате са референтним системом софтвера Google Earth. Ово је последица тога да су сателитски снимци за град Крагујевац у Google Earth-у транслаторно померени за око 30 метара у односу на реалне координате.

- **Пристап бази података о инфраструктури система за прикупљање комуналног отпада Града Крагујевца**

База података о инфраструктури система за прикупљање комуналног отпада састоји се од базе података о местима за прикупљање комуналног отпада Града Крагујевца и базе података о путањама комуналних возила ЈКП Чистоћа, Крагујевац. Овим базама могуће је приступити на два начина где сваки начин приступа има својих предности.

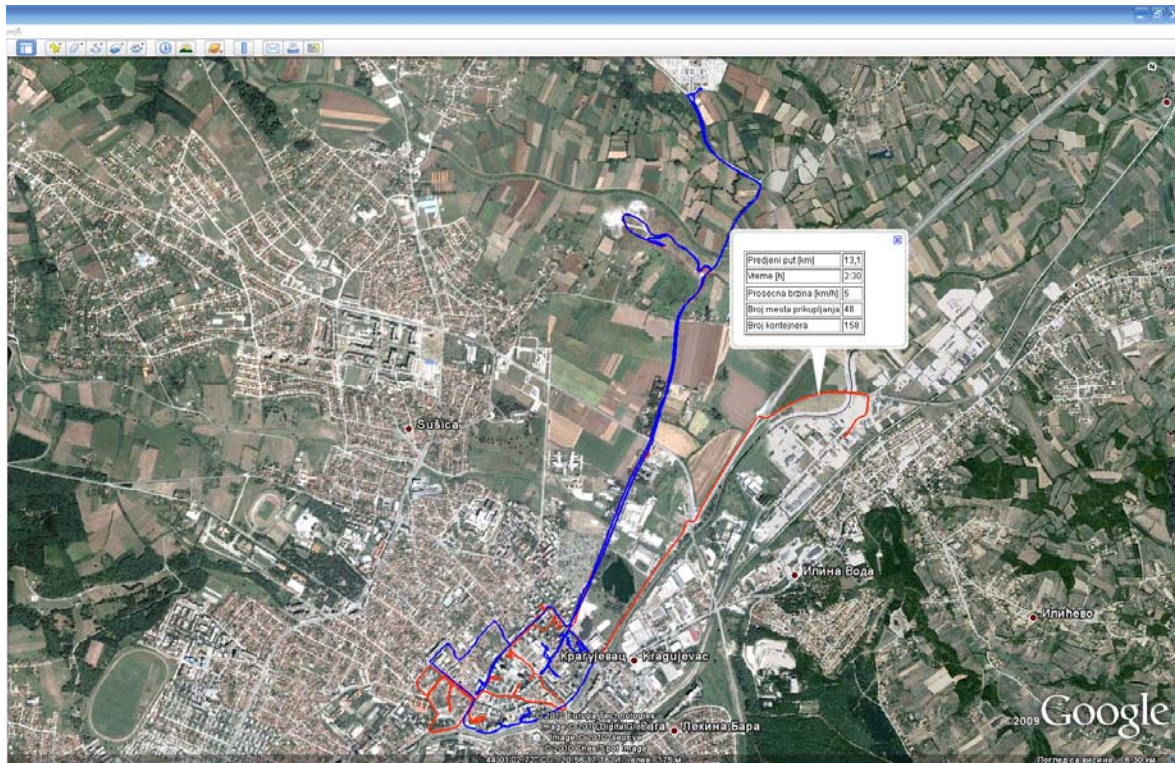
Први начин приступа базама података је преко Garminovog софтвера MapSource. Коришћењем овог софтвера места прикупљања и руте возила приказују се на дигитализованој мапи града Крагујевца са уписаним називима улица. Пример оваквог приказа дат је на сликама 2 и 3.

Други начин приступа базама података је преко софтвера Google Earth. База података о местима прикупљања учитана у Google Earth приказана је на слици 4.



Слика 4. База података о местима прикупљања комуналног отпада у Google Earth-у

Предности оваквог приказа у односу на приказ на дигитализованој мапи града је у томе што се на сателитском снимку види положај контејнера у односу на постојеће објекте и могуће је вршити различите анализе. Кликом на било које место прикупљања на мапи или селектовањем његове ознаке у левом делу прозора Google Earth-а, приказује се табела са свим карактеристикама места прикупљања, као и фотографијом која се појављује у доњем делу прозора. Базу података о путањама комуналних возила, такође, могуће је приказати у Google Earth-у. Једна типична рута приказана је на слици 5.



Слика 5. Једна типична рута са две туре комуналног возила приказана у Google Earth-у

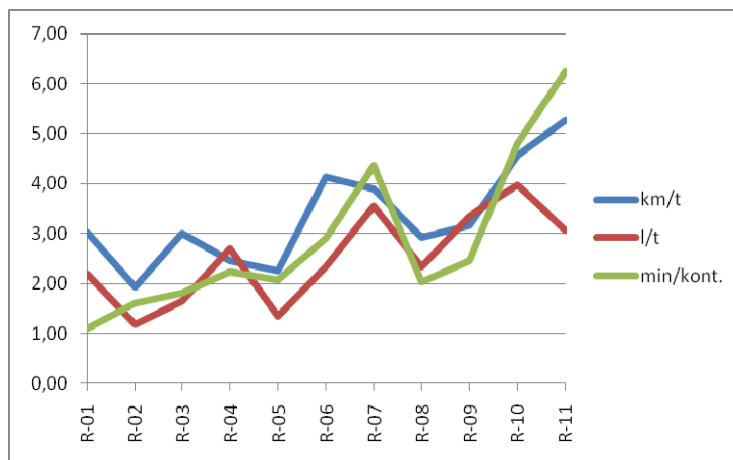
Поред графичког приказа руте могуће је очитати све релевантне податке везани за руту. Такође, постоји могућност да се учита и прикаже једна или више рута истовремено, чиме се стварају предуслови за многобројне анализе и брзе корекције система прикупљања отпада на бази визуелног приказа.

Детаљан опис и могућности коришћења база података приказани су у студији под називом **Могућности приступа бази података о инфраструктури система за прикупљање комуналног отпада Града Крагујевца**

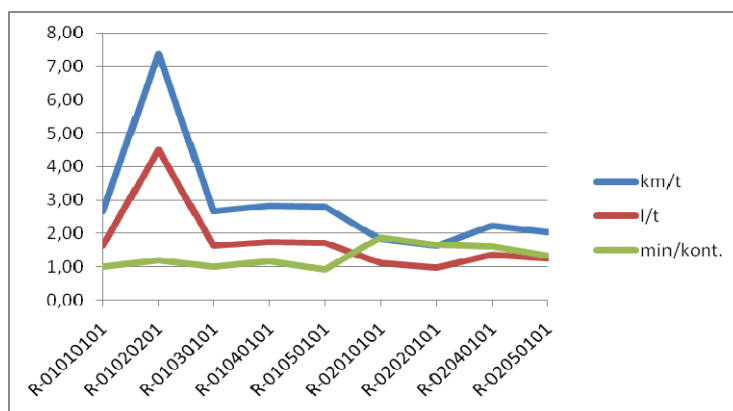
- **Техно-економска анализа прикупљање комуналног отпада Града Крагујевца**

Користећи развијени приступ, створене су могућности да се имплементира ефикасна методологије за праћење и анализу количина прикупљеног и депонованог комуналног отпада Града Крагујевца. Развој нове методологије је био праћен експерименталним истраживањима на терену у циљу утврђивања утицаја кључних фактора на количину насталог отпада. За реализацију ове активности неопходно је било прилагодити постојећу мерну опрему на градској депонији у Јовановцу, како би

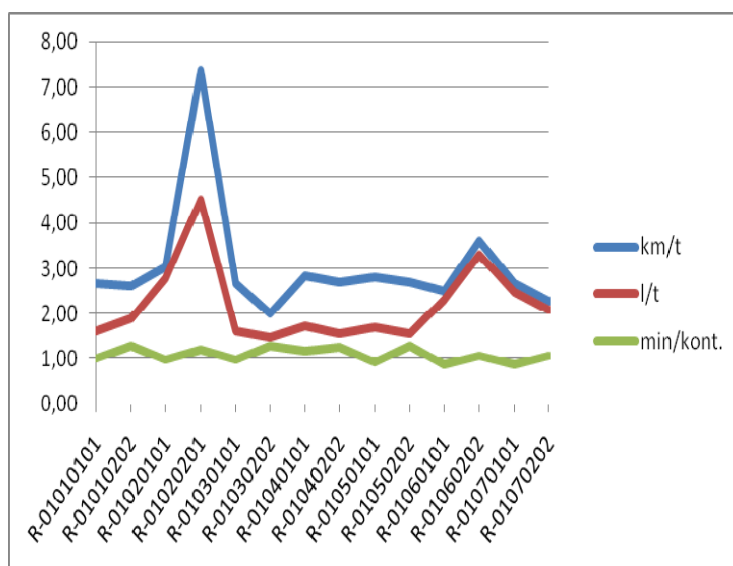
се обезбедило континуирано, 24-часовно мерење током 12 месеци. Дневним евидентирањем и разврставањем депонованог отпада по сваком елементу возног парка (возило – путања прикупљања - количина прикупљеног отпада), дефинисане су варијације количина (маса) прикупљеног отпада, дуж сваке појединачне путање прикупљања (руте). У другом делу ове “експерименталне” фазе формирана је и спроведена методологија за поуздано утврђивање количина погонских материјала (енергетских расхода) потребних за прикупљање и депоновање комуналног отпада на годишњем нивоу. Наиме, дневним евидентирањем и разврставањем потрошње погонских материјала по сваком елементу возног парка (возило – путања прикупљања - енергетски расходи), за свако возило утврђене су функционалне зависности и сезонске варијације у ланцу пређени пут (број радних сати) – количина прикупљеног отпада – енергетски расходи (количина потрошеног горива и мазива). Подаци о количинама прикупљеног и депонованог отпада као и подаци о утрошеним енергентима возног парка ЈКП Чистоћа, стварају неопходан предуслова да се формира техно-економска анализа функционисања овог комуналног сервиса у постојећој инфраструктури (постојеће карактеристике места за прикупљање, постојећа подела Града на реоне, постојећи систем путања прикупљања отпада). Резултати ове анализе пружају могућност да се дефинише матрица трошкова система за прикупљање отпада на тренутном нивоу, што ће бити референтни ниво и индикатор успешности реализације постављених пројектних циљева.



Слика 6. Јединичне расподеле прикупљеног отпада по градским реонима



Слика 7. Јединичне расподеле прикупљеног отпада једног комуналног возила у оквиру недељног циклуса

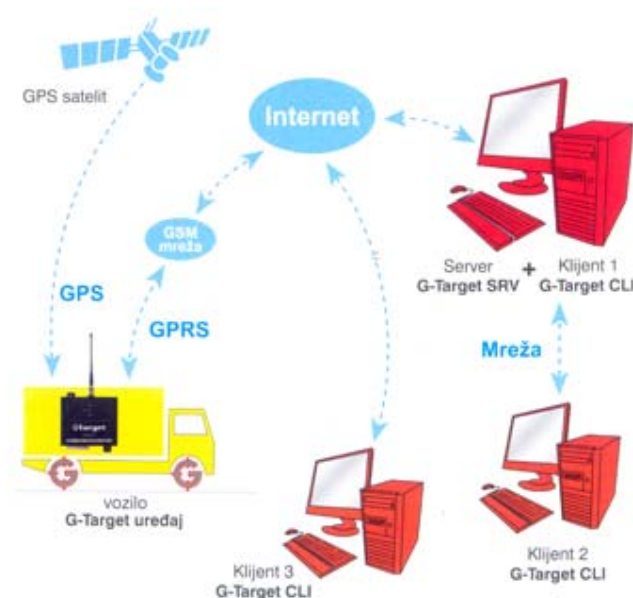


Слика 8. Јединичне расподеле прикупљеног отпада по турама у оквиру једног типичног градског реона (комерцијална зона)

- **Мониторинг процеса сакупљања градског отпада применом GPS/GIS технологија**

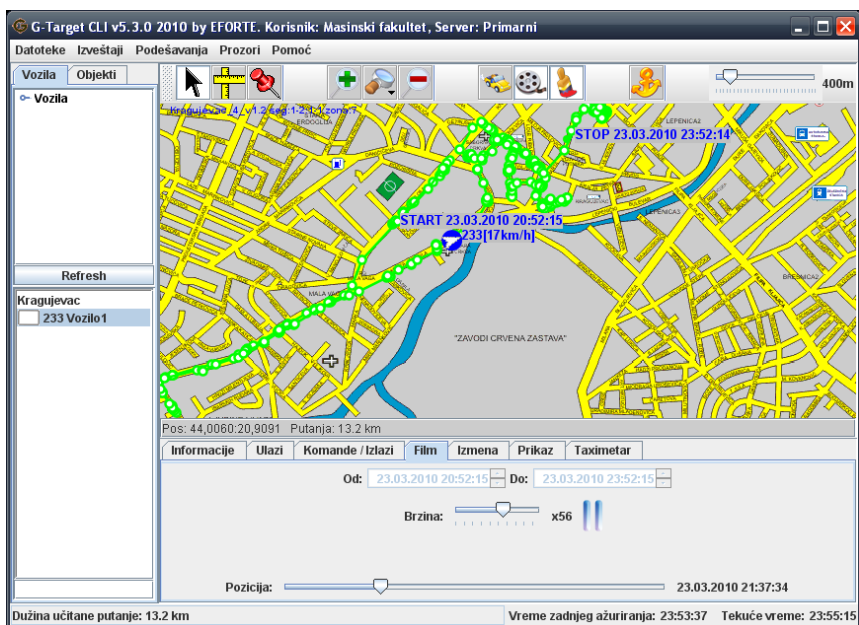
Предвиђеним техничким решењем створена је могућност реализације процеса мониторинга сакупљања комуналног отпада коришћењем GPS/GIS технологија.

Током истраживачких активности на наведеним пројектима у једно комунално возило предузећа ЈКП Чистоћа, уграђен је GPS уређај G-Target домаће производње и инсталиран одговарајући софтвер за мониторинг возила путем Интернета (слика 9).



Слика 9. Шематски приказ G-Target система за мониторинг кретања комуналног возила

Софтвер G-Target CLI је део интегрисаног система за праћење и контролу возила G-Target AVL који користи систем за глобално позиционирање преко сателита (GPS), GSM мрежу (GPRS) и Internet (слика 10).



Слика 10. Софтвер G-Target CLI и надзору комуналног возила ЈКП Чистоћа путем Interneta

Помоћу програма G-Target CLI корисник "гледа" своја возила на географској карти, односно плану града, приказује податке и задаје команде уређају у возилу. G-Target уређај одређује позицију возила помоћу GPS-а (географска ширина и дужина, брзина, смер, време,...), компресује добијене податке и преко GSM мреже GPRS-ом (са минималним трошковима преноса) и Interneta шаље серверском програму. Серверски програм G-Target SRV прима податке од уређаја у возилу и уписује их у базу података. Исто тако прима и команде од корисника преко клијентског програма G-Target CLI и прослеђује их уређајима. Клијентски програм G-Target CLI омогућава кориснику приказ позиције возила на географској карти, односно плану града у реалном времену, исцртавање историје кретања возила, задавање команди G-Target уређају, детекцију активирања сензора (укључен Паник прекидач, отворена врата,...) и др.

Кроз развој и овладавање општом методологијом повезивања GPS уређаја у комуналном возилу са информационам центром корисника, формиран је систем за надзор возила коришћењем специјализоване (GIS) мапе Града Крагујевца. Коришћењем ресурса развијене базе података о инфраструктури градског система за управљање чврстог отпада, мапа Града Крагујевца је унапређена са подацима о размештају места за прикупљање отпада. На тај начин створени су услови за формирање система за мониторинг целокупног процеса прикупљања и депоновања отпада у реалном времену путем Интернета. Поред визуелног надзора, развијени систем пружа могућност да се додатним софтверским модулима врши прикупљање, складиштење и обрада свих података релевантних за сакупљање комуналног отпада (пређени пут комуналног возила, енергетски расходи, временски показатељи експлоатације, итд)

Допринос примене техничког решења на уштеду енергије и повећању енергетске ефикасности комуналног сервиса

Као што је већ наглашено предложени информатички ресурс се састоји од базе података о местима за прикупљање комуналног отпада Града Крагујевца и базе података о путањама комуналних возила ЈКП Чистоћа, Крагујевац. Дакле, наведене базе су неопходни предуслов и први корак у процесу унапређења и оптимизације комуналног система за сакупљање чврстог отпада.

У ту сврху спроведена је, по обиму, ограничена имплементација методологије оптимизовања кретања комуналних возила. Циљ ове прелиминарне имплементације је био да се утемељи методологија којом би се, у каснијој фази реализације ширег пројекта, анализирао део по део и на крају цео градски систем за сакупљање и депоновање отпада. У том смислу, анализирана је рута комуналног возила која обухвата места прикупљања у градским насељима Ердоглија, Багремар, Станово (слика 11). Такође, на истој слици су приказана и 2 карактеристична, издвојена места за прикупљање отпада која су лоцирана на паркингу, у близини фабрике

Zastava Automobili. Ukupna dužina postojeće rute iznosi oko 31 km. Анализом је утврђено да би било оправдано да се изузму 2 наведена места прикупљања, и да би се у том случају пређени пут комуналног возила смањио за 2,5km, тако да би укупна дужина руте била 28,4km.



Слика 11. Оптимизација путање комуналног возила

Укупно смањење пређеног пута од 2,5 km представља уштеду од 8,1% дужине постојеће руте. Имајући у виду чињеницу да наведено возило пролази ову путању 6 пута недељно, може се закључити да би се модификовањем само једне путање остварила уштеда од 780 km на годишњем нивоу (Табела 1).

| | Дужина руте [km] | Уштеда [%] | Уштеда по руте [km] | Годишња уштеда [km] |
|-----------------------|------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| Постојећа рута | 30.9 км | | | |
| I фаза анализе | 28.4 km | 8.1 % | 2.5 km | 780 km |
| АrcGis анализа | 22.2 km | 21.8 % | 6.2 km | 1930 km |
| Укупно | | 28.1 % | 8.7 km | 2710 km |

Поред овог крајње поједностављеног али брзог и ефикасног приступа, који се базирао на визелном сагледавању слабих тачака система, у II фази анализе коришћен је и специјализовани софтвер ArcGis. Анализа спроведена овим моћним алатом је резултовала новим, енергетски ефикаснијим радоследом пражњења контејнера на анализираној руте. Евидентирана је нова уштеда од 6,2 km (на

годишњем нивоу 1930 km) или 21,8%. Укупна уштеда, спроведена у обе фазе оптимизације, достиже ниво од 28,1% или 2710 km на годишњем нивоу.

Као што је већ наглашено, Град Крагујевац, на годишњем нивоу производи око 57.000 t чврстог отпада а на пословима сакупљања и превоза чврстог отпада троши око 45.000.000 динара. У складу са публикованим светским искуствима, на пројектима унапређења и оптимизације система сакупљања комуналног отпада, уштеда укупних трошкова је била у границама од 20-40%. Имајући у виду ову чињеницу, као резултате прелиминарне анализе, може се очекивати да се у нашим условима применом предложеног техничког решења оствари уштеда од око 20%. Конкретно, ЈКП Чистоћа би у том случају остварила следеће уштеде: 1) 50.000 литара горива, 2) 1.500 литара уља, 3) 1.200.000 динара у резервним деловима, односно, укупну уштеду на пословима сакупљања и превоза чврстог отпада од око 9 милиона динара (90.000 €) на годишњем нивоу.

Током реализације наведених пројеката, као нови, оригинални производ, формирана је комплетна методологија за унапређење енергетске ефикасности система за управљање отпадом. Отуда, примена освојене методологије на друга комунална предузећа би подразумевала: трошкове формирања базе о инфраструктури конкретног система (5 € по месту за прикупљање отпада), трошкове имплементације система за мониторинг процеса прикупљања и депоновања отпада путем Interneta (300 € по комуналном возилу), трошкове израде техно-економске анализе са предлогом еколошко-енергетски унапређеног и економски одрживог система за сакупљање отпада (10 € по месту за прикупљање отпада). За Град Крагујевац (око 2000 места за прикупљање, 20 комуналних возила), инвестиција би била на нивоу 36.000 €. Дакле, користећи податке за Град Крагујевац (улагање 36.000 €, уштеда 90.000 € на годишњем нивоу), може се закључити да би примена оваквих техничких решења на унапређењу енергетске ефикасности комуналног сервиса сакупљања отпада обезбеђивала повратак инвестиције у року од неколико месеци.

Ово је само један од начина сагледавања могућих уштеда које се могу остварити применом методологије за мониторинг и оптимизацију комуналног система за сакупљање комуналног отпада. Развојем и коришћењем специјализованих информатичких алата за оптимизацију путања возног парка (или коришћењем релативно скупих комерцијалних софтверских пакета за рутирање) може се на комплексан начин сагледати и вршити даље унапређење функционисање градског система за прикупљање отпада.

5. Литература

- [1] Erdelez, A., Margeta, J., Knezić, S., Integrate Approach in Solid Waste Management, (in Croatian), *Грађевинар*, 59(2007), 6, pp. 505-516
- [2] Kim, B., Kim, S., Sahoo, S., Waste collection vehicle routing problem with time windows, *Computers & Operations Research*, 33(2006), 12, pp. 3624-3642

- [3] Karadimas, N., Loumos, V., GIS-based modelling for the estimation of municipal solid waste generation and collection, *Waste Management Research*, 26(2008), 4, pp. 337-346
- [4] Lakshumi, A., Ramiya, A., Ssthya, R., Optimal Route Analysis for Solid Waste Disposal Using GIS, *Proceedings*, International Conference of Land Registration and Cadastre - MAP India, New Delhi, India, 2006
- [5] Apaydin, O., Gonullu, M.T., Route Optimization for Solid Waste Collection: Trabzon (Turkey) Case Study, *Global NEST Journal*, 9(2007), 1, pp. 6-11
- [6] Karadimas, N., Doukas, N., Kolakathi, M., Defteraiou, G., Routing Optimization Heuristic Algorithms for Urban Solid Waste Transportation Management, *WSEAS Transaction on Computers*, 7(2008), 12, pp. 2022-2031
- [7] Tavares G., Zsigraiova Z., Semiao V., Carvalho M.G., Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling, *Waste Management*, 29(2009), 3, pp. 1176–1185
- [8] Carić, T., Improving of transport organization using heuristics methods, (in Croatian), Ph.D thesis, University of Zagreb, Croatia, 2006
- [9] Jovičić, N., Kalinić, Z., Jovičić, G., Bošković, G., Locale Environmental Information System, *Proceedings*, 2. National conference of life quality, Kragujevac, Serbia, 2007
- [10] Ntziachristos, L., Samaras, Z., COPERT III – Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport, Methodology and Emission Factors (Ver. 2.1), European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark, 2000
- [11] Ericsson E., Larsson H., Brundell-Freij K., Optimizing route choice for lowest fuel consumption – Potential effects of a new driver support tool, *Transportation Research Part C*, 14 (2006), 6, pp. 369–383

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу бр.01-1/1128-14 од 22. 4.2010. године именовани смо за рецензенте предлога техничког решења:

**„Методологија за мониторинг и оптимизацију процеса сакупљања чврстог
отпада“**

аутора: Др Небојше Јовичић, ван. проф., Др Милана Деспотовића, ван.проф., Др Добрице Миловановић, ред. Проф, Др Милуна Бабића, ред. проф., Др Душана Гордића, ван. проф., Др Горана Вујића, доц., Др Гордане Јовичић, доц., Др Вање Шуштершич, ван.проф., Горана Бошковића, дипл.инг.маш. На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Методологија за мониторинг и оптимизацију процеса сакупљања чврстог отпада“ аутора: Небојше Јовичић, Милана Деспотовића, Добрице Миловановић, Милуна Бабића, Душана Гордића, Горана Вујића, Гордане Јовичић, Др Вање Шуштершич и Горана Бошковића, реализован 2009-2010 године, приказано је на 19 страница формата А4, писаних 12 фонтом, проредом 1, садржи 11 слика и једну табелу. Састављено је од следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења
3. Суштина техничког решења
4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже)
5. Литература

Техничко решење припада области научно-технолошких услуга, услуге индустријске анализе и истраживања (класа 42).

Наручилац техничког решења је **Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије, Агенција за заштиту животне средине Републике Србије, Град Крагујевац и ЈКП Чистоћа, Крагујевац.**

Техничко решење је реализовано у оквиру рада на два пројекта: **Унапређење енергетске ефикасности градског система за управљање чврстим отпадом и Идентификација и категоризација депонија на територији Републике Србије.**

Основне идеје као и резултати примене овог техничког решења су објављени од стране аутора на домаћим и међународним конференцијама. Такође, један рад је у фази завршне рецензије у међународном часопису са SCI листе. Примена предложеног техничког решења предвиђена је у ЈКП Чистоћа, Крагујевац.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „Методологија за мониторинг и оптимизацију процеса сакупљања чврстог отпада“, су јасно приказали, теоријски обрадили и имплементирали комплетну структуру техничког решења.

Предложено техничко решење написано је на основу потребе ЈКП Чистоћа, Крагујевац, за унапређењем процеса управљања чврстим отпадом у сфери мониторинга и оптимизације сакупљања и депоновања комуналног отпада, кроз подизање енергетско-еколошке ефикасности и смањивање трошкова.

На основу описа техничког решења могу се донети следећи закључци:

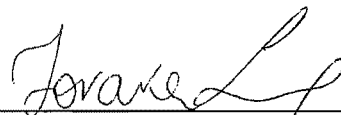
1. Ово техничко решење се базира на развијеном и имплементираним моделу опште базе инфраструктуре градског система за сакупљање и депоновање комуналног отпада. Ова база података садржи евиденцију места за прикупљање комуналног отпада и евиденцију путања комуналних возила. Подаци су прилагођени за коришћење у типичним GIS апликацијама.
2. У циљу успостављања система за надзор и праћење процеса сакупљања комуналног отпада путем Интернета, приказан је детаљно читав хардверско-софтверски систем базиран делом на елементима домаће производње.
3. Флексибилност примене техничког решења, у контексту приступа и оперативног коришћења базе података и система за праћење процеса

сакупљања комуналног отпада, дата је кроз могућност коришћења више софтверских алата (комерцијалних и бесплатних).

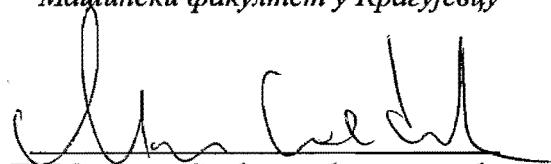
4. Имплементацијом техничког решења може се на поуздан и ефикасан начин доћи до економско-енергетских трошкова процеса сакупљања комуналног отпада.
5. Базирајући се на подацима из базе о инфраструктури градског система за сакупљање отпада (као неопходног предуслова), развијен је и имплементиран метод за унапређење путања комуналних возила. Применом ове методологије на један типичан урбани реон, остварене су уштеде од 28% у смислу скраћења путање једног комуналног возила, и последично, адекватно смањење потрошње горива и емисије издувних гасова.
6. Ово техничко решење представља оригиналан и ефикасан начин за унапређење енергетске ефикасности типичног градског сервиса за сакупљање и депоновање отпада.

Дакле, „Методологија за мониторинг и оптимизацију процеса сакупљања чврстог отпада“ има веома значајно место као ефикасан начин за подизање енергетско-еколошко-економског нивоа функционисања комуналног сервиса за управљање отпадом и може се применити на свако слично предузеће у Србији. Са задовољством предлагемо да се „Методологија за мониторинг и оптимизацију процеса сакупљања чврстог отпада“ прихвати као ново техничко решење.

07. јуни 2010., у Крагујевцу



Др Јованка Лукић, ван. проф.
Машински факултет у Крагујевцу



Др Миладин Стефановић, ван. проф.
Машински факултет у Крагујевцу



Универзитет у Крагујевцу
Машински факултет у Крагујевцу
Број : **ТР-39/2010**
10. 06. 2010. године
Крагујевац

Наставно-научно веће Машинског факултета у Крагујевцу на својој седници од 10. 06. 2010. године на основу члана 200. Статута Машинског факултета, донело је

ОДЛУКУ

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „**Методологија за мониторинг и оптимизацију процеса сакупљања чврстог отпада**“, аутора др **Небојше Јовичића**, др **Милана Деспотовића**, др **Добрице Миловановића**, др **Милуна Бабића**, др **Душана Гордића**, др **Горана Вујића**, др **Гордане Јовичић**, др **Вање Шуштершич** и **Горана Бошковића**.

Решење припада класи **M85**, према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, ("Сл. гласник РС", бр. 38/2008).

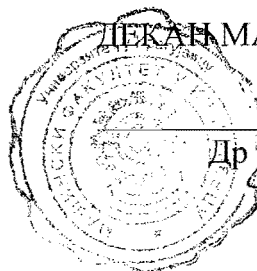
Рецензенти су:

1. др **Миладин Стефановић**, ванредни професор, Машински факултет Крагујевац
2. др **Јованка Лукић**, ванредни професор, Машински факултет Крагујевац

Достављено:

Ауторима

Архиви



ДЕКАН МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Др **Мирослав Бабић**, ред. проф.