

**GIS APPLICATION IN THE SPATIAL ANALYSIS OF ILLEGAL LANDFILLS
IN BIG CITIES – A CASE STUDY OF BELGRADE**

STEFAN PAUNOVIĆ^{1*}, FILIP KRSTIĆ¹

¹ *University of Belgrade – Faculty of Geography, Studentski trg 3/3, Belgrade, Serbia*

Abstract: This paper represents the attempt to map and analyze spatial distribution of illegal landfills in the City of Belgrade. To make this happen the main tasks were to form the geospatial database of illegal landfills in the study area and to analyze the patterns in their spatial distribution. The data on the landfill locations were obtained from the Agency of Environmental Protection of the Republic of Serbia, while the ArcGIS software was used for their spatial analysis. The City of Belgrade, respectively the public utility companies use five landfills, which cover up the area of 89 ha. On the other hand, in the study area there are 223 illegal landfills. The spatial analysis showed two patterns: (1) increasing of the number of illegal landfills with distancing from the city urban center, and (2) increasing of their number with distancing from the municipal centers. This paper also showed that there is landfill clustering, or that their spatial distribution is not random.

Key words: waste, illegal landfills, GIS, spatial analysis, spatial distribution, Belgrade

Introduction

Solid waste consists of items that man uses in everyday life, and then disposes them when they become unusable (product packaging, furniture, clothing, bottles, food scraps, newspapers, batteries). The sources of solid waste are households, schools, hospitals, and businesses. In attempt to satisfy his everyday needs, man engages in the production of goods or services, and as the consequence of this process, the waste is generated. All aspects of man's activities involve the generation of waste. The way this products are stored, collected and disposed can pose great risk to the environment and public health (Danbuzu L.A.S. et al., 2014).

Most city governments are confronted by problems regarding the collection and disposal of solid wastes. In high-income countries the problems usually center on the high costs of disposing the large volume of waste. In lower-income countries the main problems are related to collection, with between one-third and one-half of all solid wastes generated in Third world countries remaining uncollected. In many urban centers of the lowest-income countries only 10-20 per cent of solid waste is collected.

Urban waste may be viewed from two aspects: (1) as a health and environmental hazard, and (2) as an economic resource from which marketable products can be derived. Despite evidence of a trend in favor of recycling, the dumping of urban waste in landfill

* E-mail: stefan.paunovic@yahoo.com

Article history: Received 15.08.2014 ; Accepted: 02.11.2014

This paper is part of the project No 176008 financed by Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia

sites remains the main means of disposal in the cities of Western Europe and the United States. In London, for example, less than 10 per cent of household waste is recycled. The level of waste recycling is generally higher in Third world cities. The low levels of resource use and waste generation and high levels of waste reuse (recycling) are indicative of the inadequate incomes and poor living standards of a large proportion of the urban population. High levels of recycling are the result of tens of thousands of people eking out a precarious living on city waste dumps, often with serious health risks (Pacione M., 2009).

Waste generation is experiencing a fast growth throughout the whole world as a result of economic growth, urbanization and industrialization. As the world hurtles towards its urban future, the amount of municipal solid waste, one of the most important by-products of an urban lifestyle, is growing. Ten years ago there were 2.9 billion urban residents who generated about 0.64 kg of municipal solid waste per person per day (0.68 billion tonnes per year). In 2012 these amounts have increased to about 3 billion residents generating 1.2 kg per person per day (1.3 billion tonnes per year). By 2025 this will likely increase to 4.3 billion urban residents generating about 1.42 kg/capita/day of municipal solid waste (2.2 billion tonnes per year) (Hoornweg D., Bhada-Tata P., 2012).

Belgrade, the capital of Serbia, is experiencing the continuing population growth. As a result of demographic expansion there is also growth of the areas used in residential, commercial, industrial and institutional purposes. Parallel population and settlement growth have resulted in the increase of the amounts of municipal solid waste.

Collection and disposal of municipal solid waste in the territory of the City of Belgrade is the principal activity of the Public utility company "Gradska čistoća". Except this company, this activity is operated also by independent utility companies of the municipalities of Barajevo, Grocka, Mladenovac, Lazarevac, Obrenovac and Sopot. These seven companies collected and disposed around 614,500 tonnes of waste on five legal landfills during 2012 (Vinča, Baroševac, Vlaška, Grebača and Nemenikuće) (Zavod za informatiku i statistiku grada Beograda, 2013).

Possibilities of GIS in the municipal solid waste management process

Geographic location is an important attribute of many activities, strategies and plans. Geographic information systems are a special class of information systems that keep track not only of events and activities, but also of where these events and activities happen or exist. Because location is so important, it is an issue in many of the problems society must solve. Problems that involve an aspect of location are termed geographic problems. Some examples of the areas in which GIS finds its use are: health, transportation, geodemographics, forestry, local government (Longley P.A. et al., 2005).

Municipal solid waste management process is one of the greatest challenges large cities face. This is the consequence of the fact that settlements have potential to generate huge amounts of waste. Collection, transportation and disposal of waste are in the municipal and city authorities' competence. The waste management process represents serious problem for spatial planners all around the world. The most serious problem is in the developing countries where rapid urbanization, lack of planning documents and lack of resources lead to inadequate management in this process.

The role of geographic information systems in the waste management process is very large, and some of the application roles in this area are (Oyinloye M.A., 2013; Eedy W., 1995; Shahabi H. et al., 2012):

- (1) selection of the waste disposal locations,
- (2) analysis of the illegal landfills spatial distribution,
- (3) planning of the vehicle route from residential, commercial and industrial zones to landfills,

- (4) landfill monitoring,
- (5) real-time communal vehicles monitoring,
- (6) the environmental impact assessment.

The selection of micro-sites for municipal solid waste landfills is the most important step in the spatial organization of the physical elements of waste management. The purpose of GIS in this process is reflected in the rapid separation of favorable and unfavorable locations, for this purpose. During this process, the most important step is to set the criteria and value scale for selection of possible locations. After the elimination of unfavorable locations, the remaining sites are being taken into account. And, afterwards they are included in the process of detailed analysis (Josimović B., Krunic N., 2008).

Analysis of the spatial distribution of landfills involves primarily the use of different geostatistical methods and models. This aspect of GIS application has special significance especially in spatial planning and spatial development. By using spatial analysis we can determine the distribution of the landfills, and the subsequent analysis shows their negative impact on the infrastructure systems and housing: obstruction of the free water flow, transport routes, air pollution, surface and groundwater pollution, multiplication of pests that may be the cause of infectious diseases (Benedine A. et al., 2011).

Hazardous waste management system, as a separate segment, includes the transportation of hazardous waste, which specifically involves its transport from the place of origin to the place of storage, treatment or final disposal. This function includes all transport modes, but experience has shown that the most prevalent is road traffic, which also includes a very high risk of possible accident and endangering the local population, material resources and the environment. For that reason, it is necessary to establish control over transport and risk, which is achieved through the implementation of risk assessment, and then selecting the optimal transportation route. GIS has found its indispensable application in each of these phases (Panic M. et al., 2010).

Combined application of remote sensing and geographic information systems creates very favorable conditions for landfill monitoring. In this system, remote sensing is used to detect anomalies in landfills, while geographic information systems have found application primarily in the analysis of potential risks to humans and animals, based on the distribution of atmospheric or other pollution (Jensen J.R. et al., 2009).

The increase in the number of cars increases environmental pollution and the number of accidents, and also passengers spend longer period of time in traffic jams. These jams are harmful for two reasons: economic (time-consuming) and environmental (pollution). For transportation of waste, especially hazardous one, it is very important that the time spent on the road is as short as possible. Using geographic information systems, for this purpose, can bring significant savings in transportation. But it is also very important that the transport time should be as short as possible, so that the pollutant emissions should be brought to a minimum. GIS has been applied in the alert system of occurrences of traffic jams on the roads, so that they would be avoided, and also points out to the routes that should be avoided (Daunoras J. et al., 2008).

Geographic location of the study area

Spatial analysis in this paper covers the administrative area of the City of Belgrade. The City of Belgrade is situated between 44°16' N and 45°06' N, and also 19°59' E and 20°52' E and it covers an area of 3,226.93 square kilometers. According to the census of 2011, City of Belgrade has 1.65 million inhabitants. The city of Belgrade is administratively divided into 17 municipalities.

The study area has very favorable geographical position, and it represents the intersection of Western, Central and Eastern Europe. Very important corridor X passes through the territory of the City of Belgrade, which goes through Morava-Vardar and

Nišava-Marica valleys, leading to Asia Minor. The Danube river (Corridor VII) is an important traffic artery that connects this part of Europe with Western and Central European countries and the countries of Southeast and Eastern Europe.

Research methodology

Spatial analysis is the systematic use of the geographic locations of objects of interest as an important variable in description, analysis and prediction (Unwin D.J., 2008). Point patterns represent the simplest possible spatial data. Nevertheless, this does not mean that they are especially simple to analyze. It is vital to be able to describe the patterns made by the point events and to test whether or not there is either some concentration of events, or clustering, in particular areas or, alternatively, some evidence that the objects are randomly spread in space (O’Sullivan D., Unwin D.J., 2010).

Among many methods of spatial point pattern analysis, we will use the Mean Nearest Neighbor method. The Average Nearest Neighbor tool measures the distance between each feature centroid and its nearest neighbor’s centroid location. The mean nearest neighbor distance is given by (Lloyd C.D., 2010):

$$\bar{d}_{min} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{min}(x_i)}{n} \quad (1)$$

where n is the number of events and d_{min} is the distance from the nearest event. In words, the distance of each event i at location x_i to its nearest neighbor and the average of these distances are computed.

It then averages all these nearest neighbor distances and if the average distance is less than the average for a hypothetical random distribution, the distribution of the features being analyzed is considered clustered. If the average distance is greater than a hypothetical random distribution, the features are considered dispersed (Lloyd C.D., 2010).

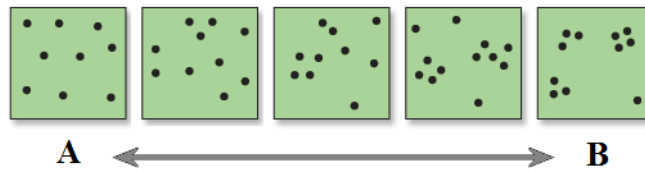


Figure 1. Spatially dispersed (A) and clustered (B) point features

(Source: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//005p00000008000000>)

Most statistical tests begin by identifying a null hypothesis. The null hypothesis for the pattern analysis is Complete Spatial Randomness (CSR), either of the features themselves or of the values associated with those features. The z-scores and p-values returned by the pattern analysis tell you whether you can reject that null hypothesis or not. P-value is the probability that the observed spatial pattern was created by some random process, while the z-scores are simply standard deviations (Esri, 2013a, 2013b).

Table 1. Critical p-values and z-scores for different confidence levels

z-scores (st. dev)	p-value	Confidence level
< -1,65 or > +1,65	< 0,10	90%
< -1,96 or > +1,96	< 0,05	95%
< -2,58 or > +2,58	< 0,01	99%

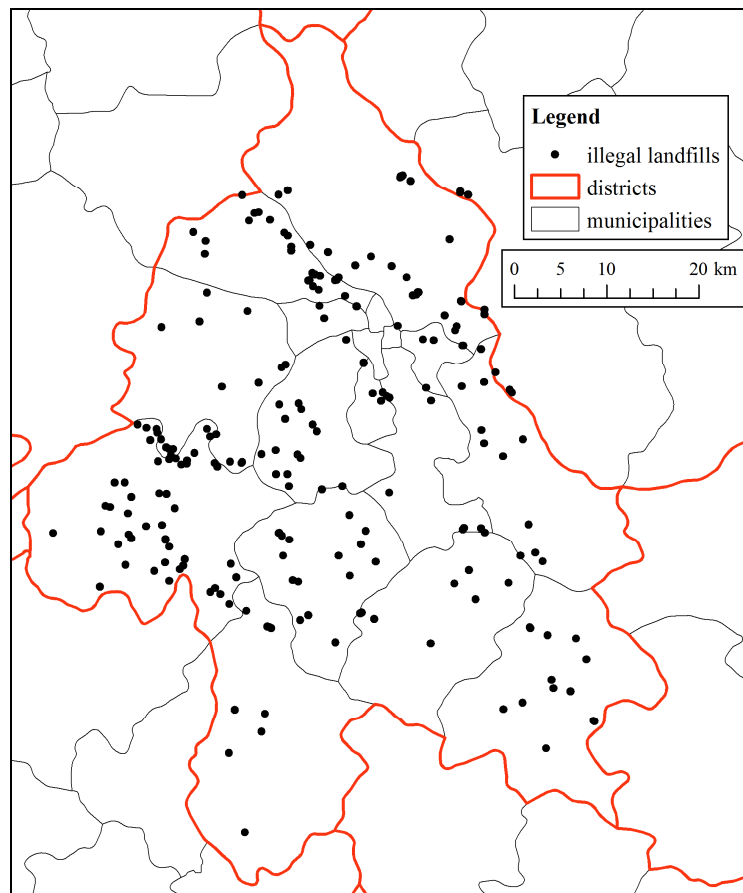
Source: Esri, 2013b

The analysis process included several phases. Base map was obtained from ArcGIS Online Base, and then georeferenced in ArcGIS software (version 10.2.1). Landfill locations were obtained from the Agency of Environmental Protection of the Republic of Serbia, then imported into the GIS environment as a text file, and converted to shape file, to show their spatial distribution on a digital map. Illegal landfill locations were shown as point features. Then, the spatial statistics method was conducted in the analysis, respectively the mean nearest neighbor, followed by the analysis of the results.

Results and discussion

Spatial distribution of illegal landfills shown on Map 1 shows that their number increases in two directions, respectively that two spatial patterns were determined:

- (1) with distancing from inner city core towards suburban area of the city, and
- (2) with distancing from the City of Belgrade's municipal centers towards the periphery of those municipalities.



Map 1. Spatial distribution of the illegal landfills in the City of Belgrade

This fact leads to conclusion that the inner city core has greater number of places for legal waste disposal (garbage disposals), and also that the public utility company responsible for waste disposal is better organized. Also, in densely populated areas there are

fewer places for illegal waste disposal. Similar trend is determined also in centers of the municipalities (Mladenovac, Lazarevac, Obrenovac): with distancing from the municipal center the number of illegal landfills increases.

The absence of adequate waste management can endanger not only public health but also infrastructure systems (road network, drainage channels, sewer lines), because people dispose waste in these places. Also, in rural areas of the City of Belgrade, people burn down waste in their backyards or farming lands, which can lead to environmental endangerment. Large number of factors affects this condition in Belgrade, primarily insufficient financing and inadequate institutional support. Public utility service companies are facing the lack of vehicles and equipment in order to cover all parts of the City of Belgrade. The service is better organized in the inner city core, while with the distancing from this zone the intensity of service reduces. In suburban areas of the city utility service companies collect the municipal solid waste once a week, and as a result the area around garbage disposals turn into small landfills.

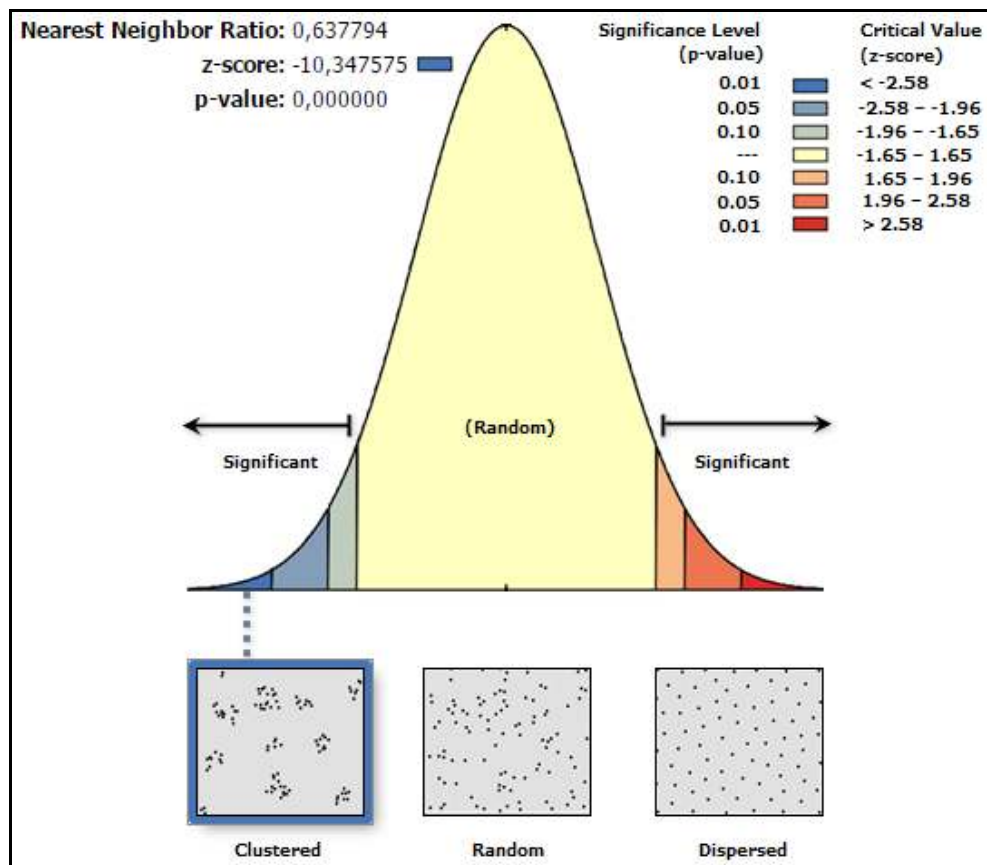


Figure 2. Results of the mean nearest neighbor analysis

The spatial analysis was performed using the mean nearest neighbor analysis in the ArcGIS. With the fact that the study area has only five legal landfills, the analysis was performed in one phase and included only the illegal landfills. The results of the spatial analysis show that (Figure 2) there is clustering with the R-value of 0.64 and Z-score of -10.35, while the result ranges on the scale within the critical value of -2.58 and the significance level of 0.01. The result indicates that there is less than 1% likelihood that this

clustered pattern could be the result of random chance. The R-value is given as the ratio of the observed mean distance between each feature and their nearest neighbor, and the expected mean distance for the features. If the R-value is less than 1, the pattern shows clustering, and if its value is greater than 1, the trend shows dispersion.

Identifying geographic patterns is important for understanding how geographic phenomena behave. Although you can get a sense of the overall pattern of features and their associated values by mapping them, calculating a statistic quantifies the pattern. The analysis starts with the null hypothesis that the features exhibit a spatially random pattern, and then by applying the different methods, the null hypothesis is confirmed or rejected.

Conclusion

The use of geographic information systems in the analysis of spatial patterns facilitates the interpretation of their spatial distribution. GIS has important role in the municipal solid waste management process. This paper represents the attempt to analyze spatial distribution of illegal landfills in the City of Belgrade. Average nearest neighbor analysis showed clustering in their spatial distribution. The spatial analysis results indicate that inner city core has better communal service organization and therefore has smaller number of illegal landfills. On the other hand, in peripheral zones of the study area their number increases. General recommendation is better organization of the communal services in peripheral zones, with higher frequency of these services. Also, it is important to include the population number and population density in the process of communal services planning.

The use of GIS in the municipal solid waste management process has to be institutionalized, to help the city and municipal authorities' better access to the geospatial information. Also, GIS should be consulted in the process of future landfills localization planning. In order to facilitate the decision making process it is of great importance to keep updating the databases.

References

- Agencija za zaštitu životne sredine. (2014). *Otpad – Deponije*. Retrieved on October 2nd, 2014 from Internet address <http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=207&id=1006&akcija=showExternal>
- Benedine, A., Robert, T.A. & Abbas, I.I. (2011). The Impact of Spatial Distribution of Solid Waste Dumps on Infrastructure in Samaru, Zaria, Kaduna State, Nigeria using Geographic Information Systems (GIS). *Research Journal of Information Technology*, 3(3), 113-117.
- Danbuzu, L.A.S., Tanko, A.I., Ibrahim, U.A. & Ahmed, M. (2014). Spatial Distribution of Solid Waste Collection Points Using GIS Approach in Urban Katsina, Katsina State, Nigeria. *American Journal of Engineering Research*, 3(7), 107-116.
- Daunoras, J., Bagdonas, V. & Gargasas, V. (2008). City transport monitoring and routes optimal management system. *Transport*, 23(2), 144-149.
- Eedy, W. (1995). The Use of GIS in Environmental Assessment. *Impact Assessment*, 13(2), 199-206.
- Esri. (2013a). *Average Nearest Neighbor (Spatial Statistics)*. Retrieved on October 2nd, 2014 from Internet address <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/005p00000008000000>
- Esri. (2013b). *What is a z-score? What is a p-value?* Retrieved on October 2nd, 2014 from Internet address http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/What_is_a_z_score_What_is_a_p_value/005p00000006000000/
- Hoonweg, D. & Bhada-Tata, P. (2012). *A Global Review of Solid Waste Management*. Washington: World Bank.
- Jensen, J.R., Hodgson, M.E., Garcia-Quijano, M., Im, J. & Tullis, J.A. (2009). A Remote Sensing and GIS-assisted Spatial Decision Support System for Hazardous Waste Site Monitoring. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(2), 169-177.
- Josimović, B. & Krunić, N. (2008). Implementation of GIS in selection of locations for regional landfill in the Kolubara region. *Spatium*, 17/18, 72-77.
- Lloyd, C.D. (2010). *Spatial Data Analysis: An Introduction for GIS Users*. Oxford: Oxford University Press.

- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (2005). *Geographical Information Systems and Science*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- O'Sullivan, D. & Unwin, D.J. (2010). *Geographic Information Analysis*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Oyinloye, M.A. (2013). Using GIS and Remote Sensing in Urban Waste Disposal and Management: A Focus on Owo L.G.A, Ondo State, Nigeria. *European International Journal of Science and Technology*, 2(7), 106-118.
- Pacione, M. (2009). *Urban Geography: A Global Perspective*. New York: Routledge.
- Panić, M., Milošević, M.V. & Jojić Glavonjić, T. (2010). Mogućnosti primene GIS-a za potrebe planiranja transporta opasnog otpada. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 90(1), 179-185.
- Shahabi, H., Allahvirdiasl, H. & Ali Zadeh, M. (2012). Application of GIS models in site selection of waste disposal in urban area. *IOSR Journal of Applied Physics*, 1(6), 1-7.
- Unwin, D.J. (2008). Spatial Analysis. In K. K. Kemp (Ed.), *Encyclopedia of Geographic Information Science* (pp. 392-396). Los Angeles: SAGE Publications.
- Zavod za informatiku i statistiku grada Beograda. (2013). *Statistički godišnjak grada Beograda 2012*. Beograd: Zavod za informatiku i statistiku grada Beograda.

ПРИМЕНА ГИС-а У АНАЛИЗИ ПРОСТОРНОГ РАЗМЕШТАЈА ДИВЉИХ ДЕПОНИЈА У ВЕЛИКИМ ГРАДОВИМА – ПРИМЕР ГРАДА БЕОГРАДА

СТЕФАН ПАУНОВИЋ^{1*}, ФИЛИП КРСТИЋ¹

¹ Универзитет у Београду – Географски факултет, Студентски трг 3/3, Београд, Србија

Сажетак: Овај рад представља покушај да се картира и анализира просторни размештај дивљих депонија на простору Града Београда. Да би се тај циљ постигао главни задаци били су да се формира геопросторна база података депонија на проучаваном простору и да се анализирају правилности у њиховом просторном размештају. Подаци о локацијама депонија преузети су од Агенције за заштиту животне средине Републике Србије, док је за њихову просторну анализу коришћен програм ArcGIS. Град Београд, односно Јавна комунална предузећа користе пет депонија, чија је укупна површина 89 ha. Са друге стране, на проучаваном простору регистровано је 223 дивљих депонија. Просторна анализа указала је на два просторна обрасца: (1) повећавање броја дивљих депонија са удаљавањем од ужег градског језгра, и (2) повећавање њиховог броја са удаљавањем од центара општина АП града Београда. Студија је такође показала да постоји кластеринг депонија, односно да њихов просторни размештај није производ случаја.

Кључне речи: отпад, дивље депоније, ГИС, просторна анализа, просторни размештај, Београд

Увод

Отпад се састоји од предмета које човек користи у свакодневном животу, а затим их одлаже када постану неупотребљиве (картонска амбалажа, намештај, одећа, флаше, остаци од хране, новине, батерије). Извори отпада су домаћинства, школе, болнице и фирме. У покушају да задовољи свакодневне потребе, човек се укључује у производњу добара или услуга, а као последица тог процеса настаје отпад. Сви аспекти људских активности укључују стварање отпада. Начин на који се отпад складишти, прикупља и одлаже може представљати велики ризик по природну средину и јавно здравље (Danbuzu L.A.S. et al., 2014).

Већина градских власти суочава се са проблемом прикупљања и одлагања отпада. У високо-развијеним земљама овај проблем односи се пре свега на високе трошкове одлагања великих количина отпада. У слабије развијеним земљама главни проблем представља прикупљање отпада, док се између трећине и половине отпада насталог у земљама „трећег света“ и не прикупља. У урбаним срединама слабије развијених земаља прикупи се свега 10-20% отпада.

На урбани отпад може се гледати са два аспекта: (1) као здравствени и еколошки hazard, и (2) као економски ресурс од кога се могу направити други производи. Иако постоје позитивни трендови у области рециклирања, одлагање урбаног отпада на депоније остаје још увек главни начин уклањања отпада из градова Западне Европе и САД-а. У Лондону се на пример рециклира мање од 10% отпада из домаћинства. Ниво рециклирања је, међутим, већи у градовима тзв. трећег света. Низак степен коришћења ресурса и стварања отпада и висок ниво поновног коришћења отпада (рециклирање) су индикатори неадекватних примања и ниског животног стандарда великог дела популације ових урбаних средина. Висок ниво рециклирања је резултат чињенице да десетине хиљада људи допуњује несигуран животни стандард на градским депонијама, често ризикујући своје здравље (Racione M., 2009).

Стварање отпада доживљава брз пораст широм целог света као резултат економског раста, урбанизације и индустријализације. Упоредо са кретањем света ка урбаној будућности, повећава се количина чврстог комуналног отпада (енг. *municipal*

* E-mail: stefan.paunovic@yahoo.com

solid waste), као једног од главних продуката урбаног начина живота. Пре десет година у урбаним срединама било је 2,9 милијарди становника који су стварали око 0,64 kg чврстог комуналног отпада дневно по особи (0,68 милијарди t/год.). Године 2012. ове вредности су се повећале, тако да се процењује да око 3 милијарде становника урбаних средина ствара 1,2 kg по особи дневно (1,3 милијарди t/год.). Процене су да ће до 2025. године на свету бити око 4,3 милијарди становника у урбаним срединама који ће стварати 1,42 kg чврстог комуналног отпада по особи дневно (2,2 милијарде t/год.) (Hoornweg D., Bhada-Tata P., 2012).

Београд, главни град Србије, суочава се са континуираним порастом броја становника. Као последица демографске експанзије јавља се и повећање површина које се користе у стамбене, комерцијалне, индустријске и институционалне сврхе. Упоредни пораст броја становника и ширење насеља имају за последицу повећање количина чврстог комуналног отпада.

Одношење и депоновање чврстог комуналног отпада на територији града Београда основна је делатност Јавног комуналног предузећа „Градска чистоћа“. Осим овог предузећа, овом делатношћу баве се и самостална јавна комунална предузећа у општинама Барајево, Гроцка, Младеновац, Лазаревац, Обреновац и Сопот. Ових седам комуналних предузећа током 2012. године прикупило је и депоновало око 614.500 t отпада на пет легалних депонија (Винча, Барошевац, Влашка, Гребача и Неменикуће) (Zavod za informatiku i statistiku grada Beograda, 2013).

Могућности ГИС-а у процесу управљања чврстим комуналним отпадом

Географска локација (положај) важно је обележје многих активности, стратегија и планова. Географски информациони системи су посебни део информационих система који „воде рачуна“ не само о активностима и догађајима, него и где се те активности и догађаји дешавају или постоје. Управо из разлога што је локација важна, то је један од аспеката посебног друштвеног интересовања. Проблеми који укључују аспект локације називају се географски проблеми, код којих ГИС долази до изражаја. Неке од области у којима је ГИС нашао широку примену су: здравство, саобраћај, геодемографија, шумарство, локална самоуправа (Longley P.A. et al., 2005).

Управљање чврстим комуналним отпадом један је од највећих изазова великих градова. То је последица чињенице да насеља имају потенцијал да створе огромне количине отпада. Прикупљање, превоз и одлагање комуналног отпада у надлежности је општинских и градских власти. Процес управљања отпадом представља велики проблем за просторне планере широм света. Најозбиљнији проблем је у земљама у развоју где убрзана урбанизација, одсуство планерских регулатива и недостатак ресурса доводи до неадекватног управљања у овом процесу.

Улога географских информационих система у управљању отпадом је огромна, а неки видови његове примене у овој области су (Oyinloye M.A., 2013; Eedy W., 1995; Shahabi H. et al., 2012):

- (1) одабир локација погодних за одлагање отпада,
- (2) анализа просторног размештаја дивљих депонија,
- (3) планирање маршрута којима возила транспортују опасни отпад из резиденцијалних, комерцијалних и индустријских делова града до депонија,
- (4) мониторинг депонија,
- (5) мониторинг тренутног кретања комуналних возила,
- (6) процена утицаја на животну средину.

Избор микро-локације за депоније чврстог комуналног отпада представља најосетљивији корак у просторној организацији физичких елемената система

управљања отпадом. Улога ГИС-а у овом процесу огледа се у брзом раздвајању погодних и непогодних локација за ову намену. У том процесу најважније је поставити критеријуме и вредносну скалу за одабир могуће локације. Након елиминације неповољних локација, узимају се у обзир преостале локације, које су потом укључене у процес детаљне анализе (Josimović B., Krunić N., 2008).

Анализа просторног размештаја депонија отпада подразумева пре свега примену различитих геостатистичких метода и модела у анализи. Овај аспект примене ГИС-а има посебног значаја пре свега у просторном планирању и уређењу простора. Просторном анализом утврђује се размештај депонија, а накнадном анализом њихов негативан утицај на инфраструктурне системе и стамбене објекте: опструкција слободног протока воде и саобраћаја, загађење ваздуха, површинских и подземних вода, множење штеточина које могу бити узрочници појаве заразних болести (Benedine A. et al., 2011).

Систем управљања опасним отпадом као посебан сегмент обухвата транспорт опасног отпада, који конкретно подразумева његов превоз од места настанка до места складиштења, третмана или финалног одлагања. Ова функција подразумева све видове транспорта, али су искуства показала да је најприсутнији друмски саобраћај, који уједно са собом носи изузетно висок ризик од могуће појаве акцидента и угрожавања локалног становништва, материјалних добара и животне средине. Управо из тог разлога, неопходно је успоставити контролу над транспортом, а самим тим и ризиком, што се постиже спровођењем процене ризика, а потом и одабиром оптималних транспортних маршрута. У свакој од поменутих фаза ГИС је нашао своју значајну примену (Panić M. et al., 2010).

Комбинованом применом даљинске детекције и географских информационих система стварају се веома повољни услови за мониторинг депонија. У овом систему даљинска детекција користи се за детектовање аномалија на депонијама, док су географски информациони системи примену нашли пре свега у анализи потенцијалних ризика по људе и животиње, заснованој на распрострањењу атмосферских или других загађења (Jensen J.R. et al., 2009).

Пораст броја аутомобила утиче на повећање загађености животне средине и броја удеса, а такође све више времена путници проводе у тзв. закрчењима саобраћаја. Ова закрчења су штетна из два разлога: економског (утрошак времена) и еколошког (загађење). Код транспорта отпада, а посебно оног опасног, веома је битно да време проведено у путу буде што краће. Коришћење географских информационих система у ту сврху може донети значајне уштеде у транспорту, али такође је веома битно да време транспорта буде што краће како би емисија штетних материја била што мања. ГИС је нашао примену у систему обавештавања о појавама саобраћајних загушења на путевима, како би се они избегли, а такође указује и на маршруте којима се избегавају (Daunogas J. et al., 2008).

Географски положај проучаваног простора

Просторном анализом у овом раду обухваћено је Административно подручје града Београда. Град Београд смештен је између 44°16' N и 45°06' N, односно 19°59' E и 20°52' E, и има површину од 3.226,93 km². Према резултатима пописа становништва 2011. године, на територији АП града Београда живи 1,65 милиона становника. Град Београд административно је подељен на 17 општина.

Проучавани простор има веома повољан саобраћајно-географски положај, и представља раскрсницу западне, централне и источне Европе. Кроз Град Београд пролази веома важан Коридор X, који моравско-вардарском и нишавско-маричком долином води ка Малој Азији. Река Дунав (Коридор VII) представља веома важну

саобраћајну артерију, која овај део Европе повезује са западноевропским и средњоевропским земљама и са земљама југоисточне и источне Европе.

Методологија истраживања

Просторна анализа (енг. *spatial analysis*) представља систематско коришћење географских локација објеката интересовања као важне варијабле у описивању, анализи и предвиђању (Unwin D.J., 2008). Тачкасти објекти представљају најједноставнији облик геопросторних података. Међутим, то не значи да су они једноставни за анализу. Веома је важно добро описати просторне обрасце тачкастих објеката и тестирати да ли постоји неки облик њихове концентрације, или кластеринга на неким просторима или, можда доказ да су објекти насумично распршени у простору (O'Sullivan D., Unwin D.J., 2010).

Међу бројним методама просторне анализе тачкастих објеката, у овом раду примењен је метод просечног најближег суседа (енг. *Mean Nearest Neighbor*). Овај метод мери растојање између центроида сваког објекта и његовог најближег суседа. Метод просечног најближег суседа може се приказати формулом (Lloyd C.D., 2010):

$$\bar{d}_{min} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{min}(x_i)}{n} \quad (1)$$

где је n број тачкастих појава, а d_{min} растојање до најближе појаве. Другим речима, одређују се растојање сваке појаве i на локацији x_i до најближег суседа и просек ових растојања.

У анализи се потом одређују просечне вредности свих ових најближих суседа и ако је резултат мањи од просека за насумични размештај, сматра се да дистрибуција тачкастих објеката има облик кластера. Са друге стране, ако је просечно растојање веће од насумичне дистрибуције, онда се сматра да су тачкасти објекти распршени у простору (Lloyd C.D., 2010).

Слика 1. Просторно распршене тачкасте појаве (А) и кластер (В)

Већина статистичких тестова почиње са идентификовањем почетне хипотезе. Потпуна просторна случајност (енг. *Complete Spatial Randomness*) самих објеката проучавања или њихових квантитативних обележја представља почетну хипотезу код анализе просторних образаца. Z-бодови и р-вредности израчунати у поступку просторне анализе говоре нам да ли можемо да одбацимо почетну хипотезу или не. Р-вредност представља вероватноћу да је проучавани просторни образац настао под утицајем неког случајног процеса, док z-бодови представљају вредност стандардне девијације (Esri, 2013a, 2013b).

Табела 1. Критичне вредности за одређене нивое поверљивости

Процес анализе обухватио је неколико фаза. Картографска подлога преузета је из ArcGIS Online базе, а потом унета у програм ArcGIS (верзија 10.2.1) где је извршено њено геореференцирање. Локације депонија преузете су од Агенције за заштиту животне средине Републике Србије, потом унете у ГИС окружење као text file, а затим конвертоване у shape file формат, како би била приказана њихова просторна дистрибуција на дигиталној карти. Локације дивљих депонија приказане су као тачкасти објекти. У анализи је потом примењена метода просторне статистике,

односно одређивања просечног најближег суседа, након чега је било неопходно извршити анализу добијених резултата.

Резултати истраживања и дискусија

Просторни размештај дивљих депонија приказан на Карти 1 показује да се њихов број повећава у два правца, односно да су утврђена два просторна обрасца:

- (1) са удаљавањем од ужег градског језгра ка субурбаном појасу града, и
- (2) са удаљавањем од центара општина АП града Београда ка периферији тих општина.

Карта 1. Просторна дистрибуција дивљих депонија у АП града Београда

Ова чињеница наводи на закључак да у ужем градском језгру постоји већи број места за легално одлагање отпада (контејнера), као и да је служба надлежна за уклањање отпада боље организована. Притом, у гушће насељеном простору има знатно мање места за нелегално одлагање отпада. Сличан тренд јавља се и код општинских центара (Младеновац, Лазаревац, Обреновац): са повећавањем удаљености од центра општине повећава се број дивљих депонија.

Одсуство адекватног управљања отпадом може да угрози не само здравље људи већ и инфраструктурне системе (путеви, одводни канали, кишна канализација), јер људи депонују отпад управо на овим местима. Уз то, у руралним деловима АП града Београда, људи спаљују отпад у својим двориштима или пољопривредним поседима, што може довести до угрожавања животне средине. Велики је број фактора који утичу на овакво стање у Београду, пре свега недовољно финансирање и неадекватна институционална подршка. Јавна комунална предузећа суочавају се пре свега са мањком возила и опреме да би покрили све делове Града Београда. Служба је боље организована у централним градским деловима, док се са удаљавањем од ове зоне интензитет пружања услуга смањује. У субурбаним деловима града комунална предузећа чврсти комунални отпад односе углавном једном недељно, па се простор око контејнера претвара у праве мале депоније.

Просторна анализа извршена је применом методе просечног најближег суседа у програму ArcGIS. С обзиром да на проучаваном простору има свега пет легалних депонија, анализа је обављена у једној фази и обухватила је само дивље депоније. Резултати просторне анализе указују да је (Сл. 2) утврђено постојање кластера са R-вредношћу од 0,64 и Z-вредношћу од -10,35, уз кретање на скали од критичне вредности <-2,58 до нивоа значајности од 0,01. Резултат показује да постоји мање од 1% шансе да је просторни размештај дивљих депонија резултат случајности. R-вредност представља однос уоченог просечног растојања између сваке појаве и њиховог најближег суседа, и очекиваног просечног растојања између појава. Уколико је R-вредност мања од 1, просторни образац показује облик кластера, а уколико је већи од 1, онда се креће ка дисперзији.

Слика 2. Резултати просторне анализе применом методе просечног најближег суседа

Идентификовање географских просторних образаца важно је за разумевање њиховог просторног понашања. Иако се самим картирањем просторних појава и њихових вредности може добити неки уопштени утисак њиховог просторног појављивања, применом геостатистичких метода ове појаве се квантификују. У анализи се полази од хипотезе да појаве имају случајан просторни размештај, а применом различитих метода почетна хипотеза се потом потврђује или одбацује.

Закључак

Примена географских информационих система у анализи просторних појава помаже упрошћавању интерпретације просторног размештаја тих појава. ГИС има важну улогу у систему управљања комуналним отпадом. Овим радом покушали смо да анализирамо дистрибуцију дивљих депонија на простору града Београда. Применом методе просечног најближег суседа утврђено је да њихов просторни размештај показује облик кластера. Резултати просторне анализе указују да уже градско подручје има боље организовану службу уклањања комуналног отпада и да се стога на том простору јавља мањи број дивљих депонија. Са друге стране, у периферним деловима проучаване територије повећава се број ових депонија. Препорука је да се у ободним деловима града боље организује комунална служба, уз већу фреквентност пружања комуналних услуга. Такође, веома је важно да се приликом планирања организације комуналних делатности узму у обзир број становника и густина насељености.

Примена ГИС-а у процесу управљања чврстим комуналним отпадом мора да буде институционализована, како би градске и општинске власти лакше располагале геопросторним информацијама. Такође, приликом планирања локација будућих депонија ГИС би требало да буде консултован. Притом, неопходно је стално ажурирање база података како би се олакшао процес доношења одлука.

Литература

Литературу видети на страни 47