

МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ ГИС-а ЗА ПОТРЕБЕ ПЛАНИРАЊА ТРАНСПОРТА ОПАСНОГ ОТПАДА

МИЛЕНА ПАНИЋ¹, * МАРКО В. МИЛОШЕВИЋ¹, ТАМАРА ЈОЈИЋ ГЛАВОЊИЋ¹

¹Географски институт „Јован Цвијић” САНУ, Буле Јакичић 9/3, Београд, Србија

Сажетак: 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, чиме је омогућен рад са различитим врстама података, поједностављен поступак вишекритеријумске анализе и јасно визуелно представљање добијених резултата.

Кључне речи: опасан отпад, транспорт, процена ризика, оптималне маршруте, ГИС

Увод

Једна од последица постојања и функционисања савременог друштва огледа се у генерисању значајних количина опасног отпада, који својим карактеристикама (запаљивост, корозивност, реактивност, токсичност и др.) може озбиљно угрозити људско здравље, односно, целокупну животну средину. Да би се избегла могућност неодговорног односа према оваквој врсти отпада и његово неконтролисано ослобађање, у развијеним индустријским земљама успостављени су адекватни национални системи управљања опасним отпадом, чиме су тачно дефинисане све фазе његовог животног циклуса, уз одговарајући законодавни и институционални оквир који усмеравају и омогућавају његово функционисање (Панић, Јојић-Главоњић, 2009).

Један од сегмената поменутог система подразумева транспорт опасног отпада, који представља карику која повезује место генерисања опасног отпада са местом његовог складиштења, третмана или финалног одлагања. У јако малом броју случајева појединачни генератори, односно, велика индустријска постројења могу имати сопствене капацитете за складиштење или третман опасног отпада, тако да је јасно да значајне количине опасног отпада генерисаног из других индустријских постројења, здравства, комерцијалног сектора, пољопривреде и домаћинства захтевају организацију и учешће транспортне функције (La Grega et al., 2001; Панић, 2009).

Иако је евидентна неопходност транспорта опасног отпада, чак и у развијеним индустријским земљама, њему се приступа као високо ризичној, политички и

* e-mail:m.panic@gi.sanu.ac.rs

Рад представља резултате истраживања у оквиру пројеката 146011 које финансира Министарство науке и технолошког развоја Републике Србије.

социјално непопуларној и веома скупој опцији (McGlenn, 2000). Како статистика показује, најзначајнију практичну примену нашли су друмски и железнички саобраћај, док се водени и авио саобраћај готово не користе (Јакшић, Илић, 2000), тако да се на територији САД-а друмским саобраћајем превезе 98,6% од укупног броја пошилки, односно, 80% од укупне количине опасног отпада, а железницом 1,4% од укупног броја пошилки, односно 20% од укупне количине опасног отпада (Blackman, 2001).

Сасвим је сигурно да друмски саобраћај, који ће бити у фокусу овог рада, носи са собом многобројне предности у смислу лакоће избора почетне и крајње тачке кретања, измене маршруте и томе слично, али истовремено захтева строгу контролу услед високо израженог ризика појаве могућих акцидената који је константно присутан носећи са собом широк опсег могућих последица како по локално становништво, тако и по животну средину у целини. Управо из тежње и потребе да се поменуте ситуације потпуно избегну или пак сведу на минимум учесталости, формиран су сложени законски оквири који регулишу питање транспорта опасног отпада и прописују одговарајуће мере превенције, заштите и санације у случају акцидента (Chakraborty, Armstrong, 1996). Такође, као једно од битних решења поменуте ситуације подразумева се утврђивање стратегија или оквира за идентификацију оптималних маршрута, које примарно морају да узму у разматрање рањивост околног простора, односно, свих елемената присутних у простору (велики урбани центри, поједини објекти у урбаним зонама, становништво његов распоред и густина насељености, зоне водоснабдевања и слично) и у односу на то израде скалу њихове потенцијалне угрожености и постојање могућности за њихово потпуно изостављање или делимично коришћење приликом транспорта (Lovett, Parfitt, Brainard, 1997; Batta, Chiu, 1988; Panwhar, Pitt, Anderson, 2000). Концепт који је омогућио добијање оваквих података подразумева процену ризика и његово моделовање, односно, калкулисања вероватноће појаве акцидента за сваки сегмент пута и низа могућих последица које се могу јавити, што је значајно поједностављено и унапређено укључивањем ГИС-а у поменути поступак, уједно дајући могућност и бољег визуелног представљања добијених резултата.

Као последица формирања одговорног односа према високо израженом ризику од појаве акцидената и њиховим последицама, владе појединих земаља одредиле су сталне маршруте за транспорт различитих врста опасног отпада, а велики број истраживача приступило је утврђивању методологије и изради стратегија за идентификацију оптималних маршрута са тежњом ка смањењу ризика од угрожавања животне средине (Lovett, Parfitt, Brainard, 1997).

Значај ГИС-а и његова примена за потребе транспорта опасног отпада

Како је већ познато, буран развој информатичких технологија, карактеристичан за последњих неколико деценија, довео је до њиховог комплексног повезивања и преплитања са свим сегментима живота и рада људског друштва (Јовичић, 1997). Омогућен је проток и доступност велике количине података који су нашли широку практичну примену у многим научним областима, али је веома брзо постало јасно да процес прикупљања и гомилања података без унапред постављених циљева и смерница за формирање информационих система, који уједно представљају и подршку процесу доношења одлука, немају никакав значај. Поменути приступ допринео је убрзању поступка њиховог формирања и тежњи ка сталном унапређењу, што је у једном свом сегменту резултирало формирањем географског информационог система чије стална надоградња траје и данас. Географски информациони систем

(ГИС), као компјутеризовани систем омогућује прикупљање, анализу и обраду просторних података, једноставно повезивање са другим врстама података организованих у базе података, а потом и картографско приказивање добијених резултата на мерљив, јасан и прецизан начин (Radović et al., 2008; Смиљанић, 2005; Манић, 2009; Herzog, 2000). Управо употребом ГИС-а данас је могућа једноставна, готово рутинска примена логичких и нумеричких модела, као и статистичких метода на просторним подацима (Burrough, McDonnell, 2006).

Крајем осамдесетих година 20. века, експерти у области транспорта почињу да сагледавају транспортну функцију и саме путеве као географски детерминисане појаве, што је довело до формирања ставова да се за њихову анализу веома успешно може користити ГИС (O'Neill, Nagler, 2000). Наравно, почетна фаза је подразумевала значајну спорост и заостајање за многим другим алатима који су се користили у поменутој области, што је брзо превазиђено, тако да се данас ГИС и његове вишеструке могућности користе пуним капацитетом за различите врсте моделовања које су од круцијалне важности за адекватно планирање и одвијање транспорта уопште, а посебно транспорта опасног отпада која са собом носи висок ризик од појаве акцидентата (Souleyrette, Strauss, 2000).

Анализирајући искључиво проблематику транспорта опасног отпада, лако се уочава да је ГИС нашао значајну примену управо у оним сегментима планирања који изискују укључивање и обраду великог броја параметара, прецизне пројекције и визуелно јасну слику могућег стања, чак и у ситуацијама када поједини подаци недостају. Пре свега, ту се издваја поступак спровођења анализе ризика приликом појаве акцидента, као основе за одрживо планирање, а потом и адекватну реализацију транспортне функције, у оквиру кога ГИС модели омогућују квантификацију могућег ризика и већу прецизност приликом његове даље анализе у односу на постављене критеријуме (Panwhar, Pitt, Anderson, 2000). Као логични наставак поменутог поступка који такође подразумева примену ГИС-а, надовезује се вредновање добијених решења, чија бројност варира од унапред постављених критеријума, а потом следи и одабир најбољег (Смиљанић, Ђурђић, 2006), чиме је ГИС директно инкорпориран у процес доношења одлука, односно, у систем за подршку одлучивању (Burrough, McDonnell, 2006; Манић, 2006).

Примена ГИС-а приликом процене ризика

Како је већ поменуто, транспорт опасног отпада са собом носи изузетан ризик од могуће појаве акцидентата чије размере по питању угрожавања становништва и животне средине могу бити веома озбиљне, најчешће остављајући дугорочне последице, чија неутрализација захтева мултидисциплинарна знања, експертска решења, укључивање специјализованих служби и значајна финансијска средства. Управо из тог разлога, током осамдесетих година 20. века, након великог броја негативних искустава, у развијеним земљама, дошло је до буђења свести о поменутој проблему и тежње ка смањењу могућих последица, што је изискивало увођење поступка процене ризика, са циљем да се унапред укаже на могуће нежељене ефекте транспорта опасног отпада на људе и животну средину у окружењу (Verter, Kaga, 2001; Erkut, Verter, 1998). Временом, поменути поступак је добио на научној утемељености, што је значајно утицало и на његову широку практичну примену, чиме је процена ризика издвојена као неопходан сегмент приликом каснијег вредновања и утврђивања оптималних маршрута за транспорт опасног отпада.

У зависности од расположивих података и жељених резултата, у примени су *квалитативна и квантитативна* процена ризика. Квалитативна процена ризика омогућује постављање и идентификацију највероватнијих сценарија могућих

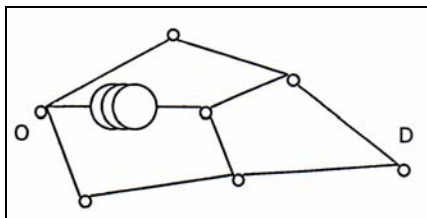
акцидента и даје процену њихових нежељених последица, јер у највећем броју случајева, услед недостатка поузданих података није могуће утврдити вероватноћу појаве акцидента и дати тачан обим последица. Квантитативна процена ризика даје далеко одређеније и прецизније резултате, кроз нумерички изражену процену ризика, али као улаз подразумева прикупљање и груписање конкретних података кроз три основна корака: идентификацију опасности и изложеног рецептора; анализу учесталости и моделовање последица и прорачун ризика (Erkut et al. 2007).

У суштини, процена ризика представља калкулацију вероватноће појаве неког акцидента, која се појединачно сагледава за сваки сегмент постојеће мреже путних праваца, са једне и процену обима очекиваних последица које се сагледавају у складу са изабраним критеријумима, са друге стране. Критеријуми који се том приликом узимају у обзир су многобројни, а њихов избор и уједначено анализирање кроз поступак процене ризика представља комплексан проблем. У научној литератури која обрађује проблематику моделовања ризика од појаве акцидента приликом транспорта опасног отпада, лако је уочљиво неслагања међу ауторима о јединственом приступу моделовању поменутог ризика, већ је присутно неколико критеријума који се најчешће узимају у разматрање и на тај начин формиран одговарајући модели који се стално унапређују и дорађују.

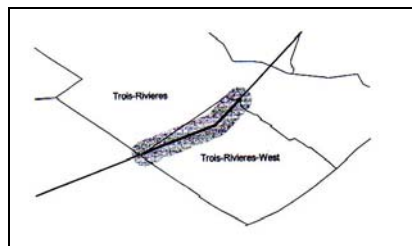
Одређени број модела за процену ризика, који се уједно и најчешће користе, примарно третира проблем изложености локалног становништва могућим последицама акцидента услед транспорта опасног отпада. Основно полазиште представља анализа постојеће транспортне мреже, од почетне до крајње тачке кретања пошиљке, кроз издвајање мањих сегмената као међусобно континуирано повезаних засебних елемената за које се врше појединачне процене ризика. Том приликом утврђује се зона утицаја, која захтева одређени степен апроксимације, а треба да омогући издвајање појаса одређене ширине, односно, одређивање тачних граница са обе стране пута, у оквиру којих ће се последице акцидента одразити подједнако на локално становништво, а ван истих неће уопште доћи до изражаја (Zhang, Hodgson, Erkut, 2000).

Тако су Erkut и Verter (1998) поставили свој метод „круга опасности” (Слика 1) чијим повлачењем дуж путање кретања од места поласка до финалне дестинације је лако извршити издвајање поменуте зоне, а њен просторни обухват се одређује на основу врсте опасне материје која се транспортује и њених карактеристика (запаљивост, експлозивност, токсичност и друго).

Битно је напоменути да се ограничење поменутог модела огледало у неопходности поделе постојеће мреже путева на мање сегменте који су представљени као дужи те није било могуће сагледати стварну дужину издвојене маршруте нити је третирати као целину.



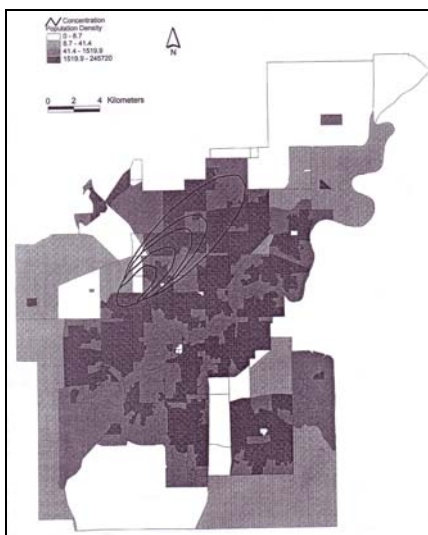
Слика 1. Издвајање зоне угрожености помоћу круга опасности
(Извор: Erkut, Verter, 1998)



Слика 2. Издвајање зоне угрожености помоћу ГИС-а
(Извор: Verter, Kara, 2001)

Када су у поменути модел за процену ризика Verter и Kara (2001) инкорпорирали ГИС, као основу су третирали насељена места, путну мрежу и почетну и крајњу тачку кретања пошљики опасног отпада. С обзиром да се у пракси обично не води евиденција о тачним маршрутама којима се врши транспорт, већ само о почетној и крајњој тачки транспорта, аутори су у ГИС-у самостално издвојили све могуће правце, а потом извршили процес елиминације на основу претпоставке да су биране углавном најкраће могуће варијанте. Тиме се формирана адекватна основа за процену ризика угрожености локалног становништва, а сам поступак прорачуна густине насељености становништва дуж путање кретања је значајно унапређен јер је било могуће узети у обзир и претпоставку о њеној променљивости, чиме су добијени резултати били прецизнији и тачнији. Потом је уследио поступак одређивања и издвајања зоне утицаја дуж потенцијалних маршрута кретања, које су у овом случају представљене поли линијом, чиме је омогућено сагледавање изабране маршруте као целине у смислу располагања подацима о њеној реалној дужини пружања (Слика 2).

Наравно, како је већ поменуто, поступак издвајања зоне утицаја неминовно са собом носи одговарајући степен апроксимације, али зарад што успешније укупне процене ризика, треба тежити укључивању што више критеријума који могу бити реално заступљени (Erkut, Verter, 1998). У конкретном случају процене ризика по локално становништво када приликом акцидента долази до емисије загађујућих материја, узимају се у разматрање и додатни фактори пре свега утицај ветра (правац дувања и брзина) на ширење загађујућих материја, као и сагледавање промене њихове концентрације са променом удаљености од извора (Lovett, Parfitt, Brainard, 1997). Као резултат поменутог односа, јасно је да границе зоне утицаја не могу бити симетричне и обично знатно добијају на ширини у правцу дувања ветра, те нису чврсто утврђене. Такође, с обзиром на правила која важе за распрострањавање загађујућих материја, треба имати на уму да унутар зоне угрожености њихова концентрација не може бити уједначена, већ долази до издвајања појасева различите концентрације, која најчешће показују тенденцију опадања са удаљавањем од извора, што се директно одражава на очекивану озбиљност и величину последица по присутно становништво. Из тог разлога је битно издиференцирати различите вероватноће очекиваних последица на различитим локацијама и повезати их са бројем становника који су изложени њиховом деловању. Као одлично решење за поменути проблем Zhang, Hodgson, Erkut (2000) применили су делимично модификован Гаусов "plume" модел и растерски ГИС, чиме су добијени прорачуни ширења облака и промене концентрације загађујућих материја и могућност визуелног приказивања угрожености локалног становништва и степена очекиваних последица. Како су аутори истакли растерски ГИС им је омогућио дискретизацију континуираног простора на пикселе којима су касније додељивали одговарајуће вредности, те је добијен јасан просторни распоред анализираних појава и њихових карактеристика. Примарно су утврдили тачне вредности и промене у густини насељености становништва у окружењу тачке коју су издвојили као могуће место акцидента, а потом и правац пружања, ширину облака и вредности концентрације унутар поменутог облака. На тај начин омогућено је преклапање добијених карата и визуелно приказивање укупног обима угроженог становништва различитим нивоима концентрације загађујућих материја (Слика 3) и очекиваних последица по становништво рангираних према распрострањању поменутих концентрација.



Слика 3. Угроженост становништва различитим нивоима концентрације загађујућих материја
Извор: Zhang, Hodgson and Erkut (2000)

Примена ГИС-а за издвајање оптималних маршрута за транспорт опасног отпада

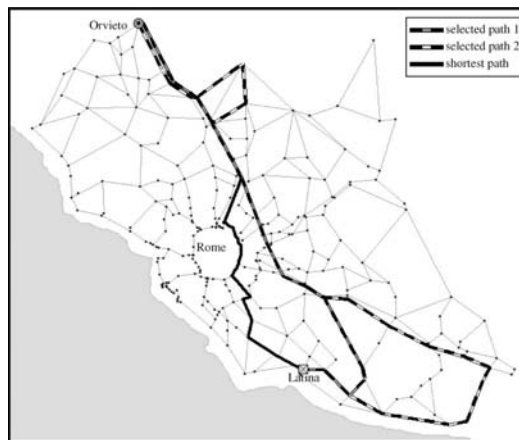
Финализирање поступка планирања функције транспорта опасног отпада подразумева одабир оптималне маршруте која треба да задовољи два основна критеријума која подразумевају минимални ризик и минималне трошкове транспорта (Alamur, Kara, 2007; Sadjadi, 2007; Zografos, Androutsopoulos, 2008). Структуру поменутог процеса чине међусобно повезани и условљени елементи, који подразумевају постојећу путну мрежу која повезује почетну и крајњу тачку транспорта, резултате претходно спроведене процене ризика који добијају улогу улазног податка и критеријума за градацију или пак елиминацију приликом евалуације предложених праваца и издвајање једног или више критеријума по којима се врши коначна евалуација анализираних праваца. Поменути процес значајно је поједностављен и убрзан увођењем ГИС алата, чиме је олакшано уређење и манипулација великим бројем улазних података, потом провођење процеса анализе у односу на један или више постављених критеријума, чије резултате је могуће јасно визуелно представити. Овакав приступ карактерише издвајање неколико оптималних решења прихватљивих са различитих аспеката у складу са коришћеним критеријумима, што се позитивно одражава на каснији поступак доношење коначне одлуке о маршрути која ће заиста бити коришћена.

Потпуно је јасно да је немогуће очекивати издвајање такве маршруте која са собом неће носити неки облик и степен ризика, али се управо поступком утврђивања једне или више оптималних, тежи његовом умањењу и довођењу на прихватљив ниво, који се одговарајућим приступом може држати под сталном контролом. По правилу, ако се сагледава искључиво ризик, трошкови транспорта значајно расту, тако да је неопходно анализирати оба поменута критеријума истовремено.

Сагледавајући ранија искуства вазана за утврђивање маршрута транспорта опасног отпада, доминирао је критеријум најкраће могуће путање, која је суштински

подразумевала скраћење трајања и смањење троškova који су присутни приликом обављања поменуте функције (Souleyrette, Strauss, 2000). Међутим, испоставило се да је испуњење поменутог критеријума најчешће подразумевало кретање опасних пошилки кроз насељена подручја при чему је ризик по локално становништво изразито висок што се сматра непримерним. Такође, поменуту ситуацију додатно компликује и сукоб интереса јер су транспортери ти који теже испуњењу критеријума минималних транспортних троškova, док су локалне власти дужне да заговарају коришћење минимално ризичних маршрута и на тај начин смање ризик по локално становништво пре свега (Erkut, Alp, 2007; Veroggi, Wallace, 1994).

Тиме је постало јасно да усвојини критеријум минималне дужине маршруте најчешће не подразумева испуњавања многих унапред утврђених безбедоносних услова, те да не може престављати приоритет, већ је акценат пребачен на могућност укључивања других алтернативних критеријума. Временом, формиран су различити модели за издвајање оптималних маршрута који су се заснивали на анализи више различито комбинованих критеријума којима се тежило добијању најреалнијих резултата. Saccomanno & Chan су поставили модел који је третирао 3 критеријума: минимални ризик, минимална вероватноћа појаве акцидента и минималне транспортне троškove; Zografos & Davis су у свој модел укључили 4 критеријума: ризик по становништво, угрожавање материјалних добара, троškove транспорта и уједначену дистрибуцију ризика по деловима постојеће путне мреже. Међутим, како су навели аутори Batta & Chiu (1988) поменути модели су имали ограничење у смислу прихваћене претпоставке да је ризик појаве акцидента, сагледан кроз угроженост становништва, увек исти без разлике на специфичност неке локације, што су они својим моделом оспорили, посебно издвајајући тачке укрштања више маршрута које су означене као далеко ризичније од других сегмената путне мреже.



Слика 4. Однос најкраће и оптимално означених маршрута за транспорт опасног отпада
(Извор: Carotenuto, Giordani, Ricciardelli 2007)

И данас се приликом моделовања оптималних маршрута за транспорт опасног отпада вишекритеријумском анализом третирају раније поменути критеријуми, с тим, што применом ГИС-а поступак далеко поједностављен пружајући могућност за укључивање и додатних циљева који омогућавају добијање квалитетних резултата. Обично се полази од издвајања најкраће могуће маршруте, која касније неће бити вреднована као оптимална, али служи као основа за поређење са другим добијеним

предлозима и сагледавање степена њиховог одступања, што се директно одражава на повећање трошкова транспорта. Како су Carotenuto, Giordani, Ricciardelli (2007) приказали моделовањем оптималних маршрута на примеру региона у околини Рима, у Италији, коришћени су раније поменути критеријуми, са посебним акцентом на просторни распоред становништва и минимизацију ризика како по становништво на месту где се може догодити акцидент, тако и по становништво које је у непосредном окружењу и употребили ГИС алат за низ различитих прорачуна који су уследили укључивањем и делимичним корекцијама додатних критеријума. Поставили су више различитих сценарија у оквиру којих су узимали у обзир различите вредности коришћених критеријума за анализу различитих маршрута: максимална вредност ризика, просечна вредност ризика, вероватноћа и обим последица, различите величине зоне утицаја и слично.

На тај начин су примарно издвојили маршруту која испуњава критеријум минималне дужине али уједно подразумева коришћење дела кружног пута око града Рима, чиме се ризик по становништво у случају акцидента значајно увећава те се неће касније уврстити у прихватљиве опције и две оптималне маршруте које у потпуности заобилазе градско подручје Рима, па самим тим значајно умањују поменути ризик (Слика 4). Такође, лако је уочљиво делимично преклапање оптималних маршрута, које у конкретном случају указују на предност коришћења аутопута, али и њихово одвајање у појединим сегментима које је условљено различитим вредностима коришћених критеријума, посебно величине зоне утицаја и ризика по локално становништво.

Закључак

Један од продуката постојања и функционисања модерног друштва јесте опасан отпад који својим специфичним карактеристикама може значајно угрозити живи свет и квалитет животне средине уопште. Управо из тог разлога неопходно је успоставити адекватан систем управљања опасним отпадом који подразумева одговоран однос, праћење и контролу кретања отпада од места његовог генерисања до места обављања третмана или финалног одлагања. Као компонента поменутог система која омогућује његово континуирано функционисање повезујући све сегменте животног циклуса опасног отпада издваја се транспорт опасног отпада. Самим тим јасно је назначена његова неопходност, али је изузетно важно сагледати и ризик који носи са собом услед могуће појаве акцидента и последица које се могу јавити.

Управо из тог разлога, последњих неколико деценија, поменута проблематика привлачи велику пажњу научника и истраживача који су покушали да формирају одговарајуће научне приступе и методе у намери да успоставе контролу над ризиком који се јавља, чиме се уједно могу предочити и обим и врста очекиваних последица.

Као један сегмент решавања поменутог проблема успостављена је методологија за израду процене ризика, којом се добијају резултати о вероватноћи појаве акцидента и обиму последица, најчешће представљене кроз угроженост локалног становништва дуж маршрута којима се транспорт опасног отпада одвија. Временом је успостављен низ различитих модела процене ризика, који су у великој мери унапређени повезивањем са ГИС окружењем које је истраживачима пружио могућност анализе различитих врста података, олакшало њихову обраду, а потом омогућило и визуелно јасно представљање резултата. Суштински резултати треба да прикажу вероватноћу појаве акцидента и границе зоне утицаја дуж маршруте која се може користити за транспорт опасног отпада, са проценом степена озбиљности последица које могу имати на популацију која се налази унутар издвојене зоне.

Добијени резултати се потом користе у наредном процесу који подразумева издвајање оптималне маршруте за обављање транспорта опасног отпада, који треба да

усклади остварење два битна, али делимично опречна критеријума који подразумевају смањење ризика и последица од појаве акцидента и смањење економских трошкова одвијања транспортне функције. Употребом ГИС-а, истраживачима је омогућено укључивање и великог броја додатних критеријума чије је комбиновање и вредновање значајно поједностављено, уз графичко приказивање сваке добијене маршруте. На тај начин могуће је добити више различитих сценарија са оптималним решењима, чиме се додатно пружа могућност доношења квалитетне финалне одлуке о најприхватљивијој маршрути за одвијање транспорта опасног отпада.

Литература

- Alumur S., Kara B.Y. (2007). A new model for the hazardous waste location-routing problem. *Computers & Operations Research*, 34, pp. 1406-1423.
- Batta R., Chiu S.S. (1988). Optimal obnoxious paths on a network: Transportation of hazardous materials, *Operations Research*, Vol. 36, No. 1, pp. 84-91.
- Beroggi G., Wallace A.W. (1994). A prototype decision support system in hypermedia for operational control of hazardous material shipments. *Decision Support Systems*, 12, pp. 1-12.
- Blackman, C. W., Jr. (2001). Basic Hazardous Waste Management – 3rd edition, Lewis Publishers, USA.
- Burrough A.P., McDonnell A.R. (2006). Principi geografskih informacionih sistema. Građevinski fakultet, Beograd. Prevod sa engleskog Bajat B., Blagojević D.
- Verter V., Kara B.Y. (2001). A GIS-based framework for hazardous materials transport risk assessment. *Risk Analysis*, Vol. 21, No. 6, pp. 1109-1120.
- Erkut E., Tjandra A. S., Verter V. (2007). Hazardous Materials Transportation – Chapter 9. *Handbook in OR&MS*, Vol. 14, editors Barnhart C., Laporte G.
- Erkut E., Ingolfsson A. (2005). Transport risk models for hazardous materials: revisited. *Operations Research Letters*, 33, pp. 81-89.
- Erkut E., Alp O. (2007). Designing a road network for hazardous materials shipments. *Computers & Operations Research*, 34, pp. 1389-1405.
- Erkut E., Verter V. (1998). Modeling of transport risk for hazardous materials. *Operations Research*, Vol. 46, No. 5, pp. 625-642.
- Zografos G.K., Androusoopoulos N.K. (2008). A decision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decisions. *Transportation Research*, Part C, 16, pp. 684-703.
- Zhang J., Hodgson J., Erkut E. (2000). Using GIS to assess the risks of hazardous materials transport in networks. *European Journal of Operational Research*, 121, pp. 316-329.
- Јакшић Б., Илић М. (2000). Управљање опасним отпадом. Урбанистички завод Републике Српске, Бањалука.
- Јовичић Ж. (1997). Географски информациони системи – индикације и контраиндикације. *Српско географско друштво*, Свеска LXXVII, Број 1, стр. 57-62, Београд.
- Kara B.Y., Erkut E., Verter V. (2003). Accurate calculation of hazardous materials transport risks. *Operations Research Letters*, 31, pp. 285-292.
- La Grega et al. (2001). Hazardous waste management. Second edition. McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA.
- Lovett A., Parfitt J., Brainard J. (1997). Using GIS in Risk Analysis: A case study of Hazardous Waste Transport. *Risk Analysis*, Vol. 17, No. 5, pp. 625-633.
- Манић Е. (2006). ГИС базирани технологије и њихова примена у пољопривреди. *Српско географско друштво*, Свеска LXXXVI, Број 2, стр. 151-161, Београд.
- Манић Е. (2009). Примена ГИС-а у анализи трговинског подручја. Зборник радова, Географски институт «Јован Цвијић» САНУ, Vol. 1, No 59, стр. 187-206, Београд.
- McGlinn L. (2000). Spatial patterns of hazardous waste generation and management in the United States. *Professional Geographer*, Vol. 52, No 1, pp. 11-22
- O'Neill W., Harper E. (2000). Implementation of linear referencing systems in GIS. *Urban planning and development applications of GIS*, American Society of Civil Engineers, USA.
- Panić M. (2009). Planiranje sistema upravljanja opasnim otpadom. Geografski fakultet, Beograd, magistarska teza.
- Панић М., Јојић Главоњић Т. (2009): Организација система управљања опасним отпадом у Републици Србији и одабраним европским државама, *Зборник Географског факултета* књ. 57, Београд, стр. 243-259.

- Panwhar S., Pitt R., Anderson M. (2000). Development of a GIS-based hazardous materials management system – demonstration project. University Transportation Center for Alabama, USA.
- Radović D., Andrian G., Radović I., Srdić Z., Protić D. (2009). Evolving GIS technologies in nature conservation and spatial planning strategy of Tara NP (Serbia) as a potential UNESCO MAB reserve, *Српско географско друштво*, Свеска LXXXVIII, Број 3, стр. 87-100, Београд.
- Sadjadi J.S. (2007). An application of efficient frontier in transportation of hazardous materials. *Computers&Industrial Engineering*, 53, pp. 357-360.
- Смиљанић С. (2005). Пример методолошког решења за избор и примену географских информационих система. *Српско географско друштво*, Свеска LXXXV, број 1, стр. 281-291, Београд.
- Смиљанић С., Бурђић С. (2006). Примена ГИС-а у вредновању природних потенцијала општине Ражањ за потребе пољопривреде, *Српско географско друштво*, Свеска LXXXVI, Број 2, стр.161-170, Београд.
- Souleyrette R., Strauss T. (2000). Transportation. *Urban planning and development applications of GIS*, American Society of Civil Engineers, USA.
- Herzog T. M. (2000). GIS technology and implementation. *Urban planning and development applications of GIS*, American Society of Civil Engineers, USA.
- Carotenuto P., Giordani S., Ricciardelli S. (2007). Finding minimum and equitable risk routes for hazmat shipments. *Computers & Operations Research*, 34, pp. 1304-1327.
- Chakraborty J., Armstrong P.M. (1996). Using geographic plume analysis to assess community vulnerability to hazardous accidents. *Computer, Environment and Urban Systems*, Vol. 19, No.5/6,pp.341-356.

THE POSSIBILITY OF GIS APPLICATION FOR THE NEEDS OF PLANNING TRANSPORT OF HAZARDOUS WASTE

MILENA PANIĆ^{1*}, MARKO V. MILOŠEVIĆ¹, TAMARA JOJIĆ GLAVONJIĆ¹

¹*Geographical Institute "Jovan Cvijić" Serbian Academy of Sciences and Arts, Đure Jakšića 9/3, Belgrade, Serbia*

Abstract: Hazardous waste management system as a separate segment includes the transportation of hazardous waste, which specifically includes transportation from the place of its origin to the place of storage, treatment or final disposal. This function includes all forms of transport, but experience has shown that the most used one is a road traffic, which also carries an extremely high risk of possible occurrence of accident and endangering the local community, material resources and environment. Therefore, it is necessary to establish control over transport option, and the risk too, which is achieved by conducting risk assessments and then selecting the optimal transport routes. In each of these phases GIS has found its major application, enabling operation with different types of data, a simplified procedure of multi-criteria analysis and a clear visual representation of the received results.

Key words: hazardous waste, transportation, risk assessment, optimal transportation routes, GIS.

Introduction

One of the consequences of the existence and functioning of modern society can be seen in the generation of significant quantity of hazardous waste which with its characteristics (inflammable, corrosive, reactive, toxic and other) can seriously endanger human health, and the whole environment. In order to avoid the possibility of such irresponsible relation towards this kind of waste and its uncontrolled release, adequate national systems of hazardous water management have been established, and therefore all phases of its life cycle are clearly defined with appropriate legislative and institutional framework which direct and enable its functioning (Panić, Jojić- Glavonjić, 2009).

One of the segments of the aforementioned system means transport of hazardous waste which represents a link that connects the place of hazardous waste origin with the place of its storage, treatment or final release. In very small number of cases individual generators or big industrial plants can have their own capacities for storage or treatment of hazardous waste. Therefore, it is obvious that significant quantity of hazardous waste generated from other industrial plants, health care, commercial sector, agriculture and households demand organization and participation of transport function (La Grega et al., 2001; Panić, 2009).

Although the necessity for hazardous waste transport is evident, even in the developed industrial countries this option is considered as highly risky, politically and socially unpopular and very expensive (McGlenn, 2000). According to the statistics, the most important practical application have road and railroad traffic, while water and air traffic are almost not used at all. Therefore, on the territory of the USA 98,6 % of the total number of shipments are transported by road traffic, (Jakšić, Ilić, 2000), or 80 % of total quantity of hazardous waste, and by railroad 1,4 % of the total number of shipments or 20% of the total quantity of hazardous waste (Blackman, 2001).

*e-mail: m.panic@gi.sanu.ac.rs

This paper represents research results of the 146011 project, financed by the Ministry of science and technological development of the Republic of Serbia

It is completely certain that road traffic, which will be in the focus of this paper, has numerous advantages in terms of easy selection of the origin and destination point of transport, the change of route and similar. But, at the same time, it demands strict control because of the high risk of occurrence of possible accidents which is constantly present carrying with itself wide span of possible consequences on both local population and the whole environment. Exactly for this intention and the need to avoid the aforementioned situations or even put them to minimum, complex legal frameworks have been formed regulating the question of hazardous waste transport and issuing appropriate measures for prevention, protection and recovery in the case of accident (Chakraborty, Armstrong, 1996). Also, one of the important solutions for the aforementioned situation is strategy making or frameworks for identification of optimal routes which primary have to consider the vulnerability of the surroundings, or, all the elements present in the space (large urban centres, some objects in urban zones, population-their organization and population density, water-supply zones and similar) and according to it make a scale of their potential exposure to the risk and possibilities for their complete exclusion or partial use during the transport (Lovett, Parfitt, Brainard, 1997; Batta, Chiu, 1988; Panwhar, Pitt, Anderson, 2000). The concept which enables these data means assessment of risk and its modeling, or in other words, calculating possibilities of accident occurrence for each segment of the route and the series of possible consequences that can occur, all of which is significantly simplified and improved by involvement of GIS in the aforementioned approach, giving at the same time possibility for better visual representation of the received results.

As the consequence of formation of responsible relation towards highly expressed risk for the occurrence of accident and their consequences, the government of some countries established constant routes for transport of different types of hazardous waste and large number of researchers set on creating methodology and strategies for identification of optimal transport routes in order to lessen the risk imposed on the environment (Lovett, Parfitt, Brainard, 1997).

The importance of GIS and its application for the needs of hazardous waste transport

As it is already known, hasty development of information technologies, characteristic for the recent decades, has brought to their complex connection and interaction with all segments of life and work of human society (Jovičić, 1997). The flow and accessibility of large quantity of data which have found practical application in numerous scientific fields was made possible. However, very soon it became clear that the process of collecting and gathering data without setting objectives and directives for formation of informational systems in advance, which at the same time represent the support to the process of decision making, does not have any importance at all. The aforementioned approach hastened the process of their formation and tendency for constant improvement which in one segment resulted in formation of the Geographic Informational System whose constant upgrading has lasted till today. The Geographic Informational System (GIS) as a computerized system enables gathering, analysis and procession of spatial data, simple connection with other types of data organized in data base, and then cartographical presentation of the received results in measurable, clear and precise way (Radović et al., 2008; Smiljanić, 2005; Manić, 2009; Herzog, 2000). Exactly with the use of GIS today it is possible to have simple, almost routine application of logic and numeric models, as well as statistic models on spatial data (Burrough, McDonnell, 2006).

At the end of the eighties of the 20th century the experts in the field of transport started to consider transport function and the roads themselves as geographically determined occurrences, which formed the attitudes that GIS could be very successfully used for their

analysis (O'Neill, Harper, 2000). Surely, the beginning phase was considerably slow and lagged behind many other tools used in the mentioned field. However, this was soon overcome so today GIS and its multiply possibilities have been used with full capacity for different type of modeling which are of crucial importance for adequate planning and development of transport in general, especially for hazardous waste transport with high risk for the occurrence of accident (Souleyrette, Strauss, 2000).

Analyzing exclusively the problems of hazardous waste transport it can be easily noticed that GIS has found significant application exactly in those segments of planning which demand involvement and processing of large number of parameters, precise projections and visually clear picture of possible state, even in the situations when some data are lacking. Primary, the process of conducting the risk analysis during the accident occurrence stands out as a base for sustainable planning and then for the adequate realization of transport function, in the scope of which GIS models enable quantification of the possible risk and better precision in its further analysis comparing to the established criteria (Panwhar, Pitt, Anderson, 2000). The evaluation of the received results, whose quantity varies depending on the already established criteria, is a logic continuation of the mentioned approach which also supposes GIS application, and after it comes the selection of the best one (Smiljanić, Djurdjić, 2006) with which GIS is directly incorporated in the process of decision making, in other words, in the system of the decision support (Burrough, McDonnell, 2006; Manić, 2006).

GIS application in the risk assessment

As it has already been mentioned, hazardous waste transport carries extremely high risk of the occurrence of accidents which can seriously endanger population and the environment, most often leaving long-lasting consequences whose neutralization demands multidisciplinary knowledge, expert solutions, involvement of specialized services and considerable financial means. Exactly for this reason, after large number of negative experience during eighties of the 20th century in the developed countries the conscience was aroused on the aforementioned problem as well as the tendency to decrease possible consequences which demanded introduction of the process of risk assessment with the objective to indicate in advance on the possible unwanted effects of the hazardous waste transport on people and living environment in the surroundings (Verter, Kara, 2001; Erkut, Verter, 1998). In time, the mentioned approach gained scientific foundation which considerably influenced its wide practical application and singled out the risk assessment as a necessary segment in further evaluation as well as for selecting optimal routes for hazardous waste transport.

Depending on the available data and wanted results, qualitative and quantitative risk assessments are in use. Qualitative risk assessment enables setting and identification of the most probable scenarios of possible accidents and gives assessment of their unwanted consequences since in the large number of cases, because of the lack of reliable data, it is not possible to establish the probability of the occurrence of accidents and give precise scope of consequences. Quantitative risk assessment gives a lot more certain and more precise results through numerically expressed risk assessment, but as the entry it supposes gathering and grouping of concrete data through three basic steps: identification of danger and the exposed receptor; the analysis of frequency and modeling of consequences and risk assessment (Erkut et al. 2007).

Basically, risk assessment represents calculation of probability of the occurrence of some accident, which is individually observed for each segment of the existing network of traveling directions on the one hand, and the assessment of the scope of the expected consequences which are observed in the accordance with the chosen criteria on the other

hand. The criteria which are taken into consideration in that case are numerous and their selection and equal analyzing through the process of the risk assessment is a complex problem. The disagreement among the authors on the question of the unique approach to modeling of the aforementioned risk can easily be noticed in the scientific literature which studies the problems of modeling the risk of the accident occurrence during the transport of hazardous waste. Therefore, there are several criteria which are mostly taken into consideration and in that way formed certain models which have constantly been improved and finished off.

Some of the risk assessment models, which are at the same time most often used, treat primary the problem of the exposure of local population to possible consequences of accidents in hazardous waste transport. The basic standpoint is the analysis of the existing transportation network, from the origin to the destination point of the shipment movement, by singling out smaller segments as separate elements continually connected among themselves for which separate risk assessment are made. In that way the impact area is established demanding certain degree of approximation. Also, it should enable singling out of the area of certain width, or in other words, determine precise borders from both side of the road in the scope of which the accident consequences will reflect equally on local population, while out of these borders they will not come to the effect at all (Zhang, Hodgson, Erkut, 2000). Similarly, Erkut and Verter (1998) set their “danger circle” method (Figure 1) in which it is easy to single out the aforementioned zone by drawing a line along the movement route from the origin to the destination point, while its spatial scope is established according to the type of hazardous material which is transported and its characteristics (flammable, explosive, toxic and other). It is important to emphasize that the limitation of the aforementioned model was in the necessity to divide the existing road network on smaller segments which were represented as straight lines so the real length of the singled out route could not be seen or treated as a whole.

Figure 1. Singling out of the zone at risk using the danger circle

(Source: Erkut, Verter, 1998)

Figure 2. Singling out of the zone at risk using GIS

(Source: Verter, Kara, 2001)

When Verter and Kara (2001) incorporated GIS in the mentioned risk assessment model they treated inhabited places, road network and the origin and destination point of the movement of hazardous waste shipments as a base. Considering the fact that usually there is no record on the exact transport routes in practice but only on the origin and destination point of transport, the authors singled out all possible directions in GIS on their own, and then they carried out the process of elimination on the basis of assumption that mostly the shortest possible options were selected. In such way the adequate base for the risk assessment imposed on the local population was formed, and the procedure of the assessment of population density along the movement line was significantly improved since it was also possible to take into consideration the assumption on its changeability, by which the received results were more precise and accurate. After it, the procedure of establishing and singling out the area of influence along potential transport routes followed which were in this case represented with polyline. This enabled the observation of the chosen transport route as a whole in terms of availability of data on its real length of spreading (Figure 2).

Naturally, as it has already been mentioned, the procedure of singling out the impact area unavoidably carries with itself the degree of approximation, but in order to have more successful total risk assessment there should be as many criteria as possible involved which can be really present (Erkut, Verter, 1998). In concrete case of the risk assessment imposed on the local population when contaminants are emitted during the accident, additional factors are also considered. Primary, there is the influence of wind (the direction of blowing

and its velocity) on dispersion of contaminants, as well as observation of the change of their concentration with the change of distance from the source. As the result of the aforementioned relation it is clear that the borders of influence zone cannot be symmetrical and they often become wider in the direction of the wind blowing, so they are not firmly established (Zhang, et al. 2000). Also, considering the rules of dispersion of contaminants we should have in mind that inside the impact area their concentration cannot be even but the zones of different concentration single out. Therefore, decreasing tendency of contaminant concentration is most often shown while moving from the source, which directly reflects on the expected seriousness and the size of consequences on the present population. That is why it is important to distinguish different probabilities of expected consequences on different locations and connect them with the number of population who are disposed to their activity. As an excellent solution for the mentioned problem Zhang, Hodgson, Erkut (2000) applied partly modified Gaussian plume model and GIS environment, which enabled calculations of spreading clouds and the change of concentration of contaminants and possibility of visual representation of the risk imposed on local population as well as the degree of expected consequences. As the authors emphasized raster GIS enabled them to give to every pixel appropriate value, so clear spatial organization of the analyzed occurrences and their characteristics was achieved. Primary, they established exact values and changes in the population density in the surroundings of the point they singled out as possible location of accident, and then the direction of spreading, the width of cloud and value of the concentration inside the mentioned cloud. In this way overlapping of the received maps was enabled, as well as the visual representation of total scope of population at risk by different levels of concentration of contaminants (Figure 3). The expected consequences for population ranged according to the distribution of the aforementioned concentration.

Figure 3. The risk imposed on population by different levels of contaminant concentration

Source: Zhang, Hodgson and Erkut (2000)

The application of GIS for singling out optimal routes for hazardous waste transport

Finalizing the procedure of planning the hazardous waste transport function means selection of optimal route which has to satisfy two basic criteria of minimal risk and minimal transport expanses (Alamur, Kara, 2007; Sadjadi. 2007; Zografos, Androutsopoulos, 2008). The structure of the aforementioned process consists of mutually connected and conditioned elements supposing the existing road network that connects origin and destination point of transport, the results of the previously conducted risk assessment which receive the role of entry datum and criteria for gradation or even elimination during evaluation of the suggested directions as well as singling out of one or more criteria according to which final evaluation of the analyzed direction is performed. The aforementioned process is significantly simplified and hastened by introduction of GIS tools which facilitated organization and manipulation of large number of entry data as well as carrying out the process of analysis in relation to one or more adopted criteria with clear visualization of the results. This approach characterizes singling out of several optimal solutions acceptable from different aspects in accordance with the used criteria which positively reflect on the later procedure of final decision making on route which will be really used.

It is completely obvious that it is impossible to expect to find such a route which will not carry some form and degree of risk. However, exactly this procedure of establishing one or more optimal routes shows the tendency to decrease risk and bring it to the acceptable

level which can constantly be kept under control using the appropriate approach. According to the rule if we only observe the risk transport expenses will significantly grow. Therefore, it is necessary to analyze both of the aforementioned criteria at the same time.

Observing previous experience connected to establishing the hazardous waste transport routes, the criterion of the shortest possible route dominated, which basically meant shortening of duration and lessening expenses present in carrying out the aforementioned function (Souleyrette, Strauss, 2000). However, it turned out that realization of the mentioned criterion mostly supposed transport of hazardous shipments through inhabited areas where the risk imposed on local population is extremely high, which is considered inappropriate. Also, the mentioned situation is additionally complicated by the conflict of interest since the transporters are those who tend to realize the criterion of minimal transport expenses while local government are obliged to recommend the use of minimally risky routes and in that way lessen the risk on local population in the first place (Erkut, Alp, 2007; Beroggi, Wallace, 1994).

Therefore, it became obvious that the adopted criterion of the shortest route length mostly did not mean realization of numerous previously established safety conditions, so it could not be a priority, but the emphasis was placed on the possibility of involvement of other alternative criteria. In time different models for selecting optimal routes were formed which were based on the analysis of several differently combined criteria with the tendency to achieve the most reasonable results. Saccomanno & Chan set a model which treated 3 criteria: minimal risk, minimal probability of the accident occurrence and minimal transport expenses; Zografos & Davis introduced 4 criteria in their model: the risk imposed on population, endangering of material resources, transport expenses and even risk distribution over the parts of existing road network. However, as authors Batta & Chiu (1988) stated the aforementioned models had limitation in terms of accepting the assumption that the risk of accident occurrence, observed through the risk imposed on population, was always the same without any difference in distinction of some location. They disputed this with their model specially singling out points of intersection of several routes which were marked by far more risky than other segments of road network.

Even today the aforementioned criteria have been also treated during modeling of optimal routes for transport of hazardous waste using multi criteria analysis. However, with the application of GIS this procedure is considerably simplified providing possibilities for involvement of additional objectives which enable qualitative results. Singling out of the shortest route is usually the starting point which later will not be valued as optimal, but it is used as a base for comparison with other received suggestions and for the observation of the degree of their exception, which directly reflects on the increase of transport expenses. As Carotenuto, Giordani, Ricciardelli (2007) represented, modeling optimal routes on the example of the regions in the surroundings of Rome in Italy, the previously mentioned criteria were used with special emphasis on the spatial organization of population and lessening the risk for both population at the location where accident can occur and for population in close surroundings. Also, they used GIS tools for a series of different calculations which appeared with the involvement and partial corrections of additional criteria. They set several different scenarios in which they took into consideration different values of the used criteria for the analysis of different routes: maximal risk value, average risk value, probability and the scope of consequences, different sizes of influence zones and similar.

Figure 4. The relationship between the shortest and optimally marked routes for transport of hazardous waste (Source: Carotenuto, Giordani, Ricciardelli 2007)

In that way they primary singled out the route which realized the criterion of minimal length but at the same time meant the use of circular road around Rome, by which the risk

imposed on population in the case of accident significantly increased so it would not be later classified into acceptable options, and two optimal routes which bypassed urban area of Rome and therefore significantly lessened the aforementioned risk (Figure 4). Additionally, partial intersection of optimal routes is obvious which in the concrete case indicates the advantage of using highway. Also, the separation of optimal routes is apparent in some segments, conditioned by different values of used criteria, especially the size of impact area and the risk imposed on local population.

Conclusion

One of the products of existence and functioning of modern society is hazardous waste which with its specific characteristics can significantly harm living world and the quality of living environment in general. That is why it is necessary to establish adequate system for hazardous waste management which means responsible relationship, monitoring and controlling the transport of waste from the place of its origin to the place of treatment or final disposal. Hazardous waste transport stands out as a component of the aforementioned system which enables its continuous functioning, connecting all segments of hazardous waste life cycle. Therefore, its necessity is clearly emphasized but it is extremely important to observe the risk it carries in the case of possible occurrence of accident and consequences that may happen.

For this reason the mentioned problem has drawn attention of scientists and researchers in last several decades who have tried to form appropriate scientific approaches and methods with the attention to establish control over the risk that occur, by which the scope and the type of the expected consequences can also be predicted at the same time.

The methodology for risk assessment has been established as one segment in solving the aforementioned problem and it provides results about the probability of the accident occurrence and the scope of consequences, mostly presented through the risk imposed on local population living along the routes where hazardous waste is transported. In time a series of different risk assessment models were established. They were at great extent improved by connection with GIS surroundings which enabled researchers to analyze different type of data, simplified their processing, and enabled clear visualization of results. Basically, the results should show the probability for the occurrence of accident and the borders of influence zone along the route which can be used for transport of hazardous waste with assessment of the seriousness of consequences which they can cause to population inside the singled out zone.

The received results are then used in the following process of singling out the optimal route for hazardous waste transport which should harmonize two important, but partially opposed criteria- lessening the risk and consequences of the occurrence of accident and decreasing economic expanses of transport function. Using GIS, researchers are also enabled to involve large number of additional criteria and their combining and valuing has been significantly simplified with graphical representation of each of the received route. Therefore, it is possible to achieve more different scenarios with optimal solutions, giving additional opportunity for final decision making on the most acceptable route for hazardous waste transport.

References

See References on page 187