

# Izbor lokacije za sanitarno odlagalište

Jure Margeta, Gordan Prskalo

## Ključne riječi

zbrinjavanje otpada, sanitarno odlagalište, izbor lokacije, sustavsko inženjerstvo, Malostonski zaljev

## Key words

waste disposal, sanitary landfill, site selection, systems engineering, Mali Ston Bay

## Mots clés

entreposage de déchets, site d'enfouissement sanitaire, sélection de site, ingénierie des systèmes, baie de Mali Ston

## Ключевые слова

уход за отходами, санитарная свалка, выбор локации, систематическое инженерство, Малостонский залив

## Schlüsselworte

Abfallversorgung, sanitäres Müllager, Standortauswahl, Systemingenieurwesen, Maloston-Bucht

J. Margeta, G. Prskalo

Pregledni rad

## Izbor lokacije za sanitarno odlagalište

Prikazana je metodologija izbora lokacije za sanitarno odlagalište koja se temelji na metodama sustavskog inženjerstva. Predložena metodologija omogućava cjelovito i sustavno rješavanje problema, otvoreno prema javnosti. Rezultat je prijedlog lokacije koja predstavlja najbolje kompromisno rješenje u skladu s kriterijima i preferencijama sudionika i javnosti. Razvijena metodologija prikazana je na primjeru izbora lokacije za sanitarno odlagalište na području Malostonskog zaljeva.

J. Margeta, G. Prskalo

Subject review

## Sanitary landfill site selection

The methodology for sanitary landfill site selection, based on the systems engineering methods, is presented. The proposed methodology enables an integral and systemic resolution of problems, fully opened to public scrutiny. The result is the site proposal that constitutes the best possible compromise solution, fully compliant with the criteria and preferences expressed by participants and general public. The methodology is presented using as an example the procedure adopted for selecting the sanitary landfill site in the Mali Ston Bay area.

J. Margeta, G. Prskalo

Ouvrage de synthèse

## Sélection du site d'enfouissement sanitaire

La méthodologie pour la sélection des sites d'enfouissement sanitaire, basée sur les méthodes de l'ingénierie des systèmes, est présentée. La méthodologie proposée permet une résolution systématique et intégrale des problèmes, avec la consultation du public. Le résultat final est une proposition de site qui constitue une meilleure solution de compromis, tout à fait conforme aux critères et préférences formulés par les participants et le public. La méthodologie est présentée en utilisant comme exemple le procédé adopté pour sélectionner le site d'enfouissement sanitaire dans la région de la baie de Mali Ston.

Џ. Маргета, Г. Прскало

Обзорная работа

## Выбор локации для санитарной свалки

В работе показана методология локации для санитарной свалки, которая основывается на методах систематического инженерства. Предложенная методология обеспечивает целостное и систематическое решение проблем, открыто перед публичностью. Результатом является предложение локации, которое представляет самое лучшее компромиссное решение в соответствии с критериями и предпочтениями участниками и публичностью. Развита методология показана на примере выбора локации для санитарной свалки на территории Малостонского залива.

J. Margeta, G. Prskalo

Übersichtsarbeit

## Standortauswahl für ein sanitäres Müllager

Dargestellt ist die Methodologie der Standortauswahl für ein sanitäres Müllager, beruhend auf den Verfahren des Systemingenieurwesens. Die vorgeschlagene Methodologie ermöglicht ein komplettes und systematisches Lösen des Problems, offen zur Öffentlichkeit. Das Ergebnis ist die Auswahl eines Standortes der die beste Kompromisslösung vorstellt im Einklang mit den Kriterien und Präferenzen der Teilnehmer und der Öffentlichkeit. Die entwickelte Methodologie ist am Beispiel der Standortauswahl für das sanitäre Müllager im Gebiet der Maloston-Bucht dargestellt.

Autori: Prof. dr. sc. **Jure Margeta**, dipl. ing. građ., Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu; mr. sc. **Gordan Prskalo**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, BiH

## 1 Uvod

Izbor lokacije za izgradnju sanitarnog odlagališta vrlo je značajan, ali i zahtjevan zadatak u realizaciji projekta zbrinjavanja otpada (1). Zbog toga se izbor mora provesti na temelju cjelovite analize problema i uz sudjelovanje svih dionika, a posebno stanovnika i korisnika prostora uz odlagalište. Treba težiti ravnoteži očitih suprotnosti između ekonomskih, društvenih i ekoloških interesa koji se pojavljuju na tim prostorima kako bi se zadovoljili dugoročni ciljevi i potrebe obuhvaćenih naselja, regije pa i šire. Konačna odluka o tome gdje se i kako otpad može odložiti mora biti rezultat cjelovite analize i procjene kojom se ispituje svaka prihvatljiva lokacija u određenom području, i to uz potpuno i trajno sudjelovanje svih zainteresiranih strana. Sve potencijalne lokacije trebale bi biti predmetom detaljnih istraživanja i obuhvatne analize, kako bi se dobile pouzdane informacije i utvrdile međusobne razlike. To je dugotrajan i skup proces koji se zbog toga najčešće i ne provodi, što na kraju rezultira sukobom između donositelja odluke i stanovništva, pa se projekt često ne realizira. Takvi složeni problemi mogu se uspješno rješavati primjenom sustavske analize [2] ako se ona pravilno primijeni.

Cilj je sustavskoga pristupa rješavanje problema izbora lokacije za sanitarno odlagalište ima cilj primijeniti prihvatljivu metodologiju kojom se izabire «najbolja kompromisna lokacija» na osnovi karakteristika sustava, raspoloživih podataka, postavljenih kriterija i ograničenja [3]. Za ostvarenje tog cilja valja upotrijebiti znanstvene postavke sustavskog inženjerstva te djelotvorne alate prihvatljive za konkretan problem [4].

Općenito, metodologija izbora lokacija za sanitarno odlagalište treba jednim dijelom biti skup političko-ekonomskih, a drugim tehničko-tehnološko-ekoloških aktivnosti vezanih za cjelokupni prostor, odnosno prostor na kojem žive korisnici za koje se traži prikladno rješenje zbrinjavanja/odlaganja otpada.

Cilj jest:

- smanjiti mogućnost greške
- uključiti u analizu cijelo područje i sve njegove prostorne značajke: prirodne, društvene, infrastrukturne, ekonomske itd.
- smanjiti/racionalizirati istražne radove
- povećati opseg istražnih radova samo na mogućim, realno ostvarivim lokacijama;
- jasno predstaviti donositelju odluke rješenje, njegove prednosti i mane, te moguće varijante rješenja
- jasno prezentirati utjecaje pojedinih rješenja (ekološke, ekonomske, društvene itd.)
- postići cjelovito uključivanje javnosti u proces rješavanja problema

- uključiti sve zainteresirane grupe u cijeli postupak
- osigurati transparentnost i demokratičnost postupka.

Ključna “dimenzija” takvog problema jest “prostor”, odnosno prostorni aspekti, i to cjeloviti prostor na kojem problem treba riješiti ili može poslužiti za rješavanje problema. U ovako jako osjetljivim društvenim temama nužno je pokazati nepristranost u razmatranju mogućih lokacija, što se može postići jedino ako se cijeli prostor na isti način i istom detaljnošću ravnopravno tretira. Druga je “dimenzija” vizualizacija, odnosno “zornost” prostora i njegovih karakteristika i utjecaja. Zornost je nužna kako bi svi sudionici imali jednake uvjete spoznavanja i razumijevanja problematike koja se obrađuje te mogućnost aktivnog sudjelovanja u usmjeravanju rješenja k prihvatljivom kompromisu. Svi sudionici moraju doživjeti prostor, njegova ograničenja i pogodnosti za odlagalište otpada, odnosno pozitivne i negativne značajke, a posebno one vezane uz kriterije isključivosti (da/ne).

Ove dvije ključne dimenzije nužne za rješavanje problema danas se mogu uspješno nadomjestiti GIS tehnologijama koje su izvrsna supstitucija za osobni obilazak prostora i njegovo doživljavanje [5]. Uz to GIS zorno prikazuje i druge značajke prostora koje se ne mogu lako uočiti (pogotovo ne od strane nestručnjaka) primjerice, geološke i hidrogeološke značajke prostora. GIS omogućava upoznavanje cjelokupnog prostora odjednom što bitno pomaže sagledavanje cjeline i njezinih posebnosti te jednakom i ravnopravnom tretiranju cjeline prostora [6].

U ovome ćemo radu razmotriti četveroetapnu metodologiju zasnovanu na sustavskome pristupu izboru lokacije sanitarnog odlagališta primjenom sustavskog inženjerstva i GIS-a.

## 2 Metodologija izbora lokacije za sanitarno odlagalište

Za ostvarivanje postavljenih ciljeva te potrebe sustavnog rješavanja problema predlaže se metodologija izbora lokacije za sanitarno odlagalište. Ova metodologija rješava problem u četiri etape (četveroetapni postupak) (slika 1.). Etape su:

### 1. Etapa - postavljanje zadataka

Ova etapa osigurava osnovne političko-pravne uvjete za gradnju sanitarnog odlagališta, a rezultat je odluka o gradnji potvrđena od nadležne uprave, odnosno institucije. Ovim se ostvaruju osnovni planski uvjeti te polazni okvir za rješavanje problema. Potvrđuje se osnovno opredjeljenje da se odlaganje otpada rješava izgradnjom sanitarnog odlagališta.

### 2. Etapa - prethodno odabiranje skupa realnih i provedivih rješenja

Sastoji se od tri podetape od kojih su prve dvije uvijek obvezatne dok potreba za trećom ovisi o veličini razmatranog područja odnosno veličini skupa rješenja koji je definiran u prvoj i drugoj podetapi.

2.a određuje područja mogućih rješenja postupkom eliminiranja negativnog područja na temelju kriterija isključivosti. Rezultat su pozitivna područja, odnosno područja mogućih rješenja.

Etapa 2.a pripada aktivnostima takozvanog "makrozoniranja rješenja", odnosno odabira područja rješenja, dok sljedeća etapa 2.b pripada u aktivnostima takozvanog "mikrozoniranja rješenja", odabira lokacija.

Ako se s (P) označi ukupno razmatrano područje u kojem se želi pronaći najprihvatljivije rješenje ono je sastavljeno od dva područja, podskupa:

$$P = P^+ \cup P^- \quad (1)$$

gdje su:

- $P^+$  - područje mogućih rješenja (pozitivno područje)
- $P^-$  - eliminirano područje, tj. područje u kojem nema mogućih rješenja (negativno područje).

Negativno je ono područje ( $P^-$ ) koje ne zadovoljava isključive kriterije, odnosno:

$$P^- = P_1^- \cup P_2^- \cup \dots \cup P_k^- \quad (2)$$

gdje su:

- $P_1^-, P_2^-, \dots, P_k^-$  - negativna potpodručja po eliminacijskim kriterijima ili kriterijima isključivosti k
- broj eliminacijskih kriterija

Područja rješenja ( $P^+$ ) preostalo je potpodručje, odnosno:

$$P^+ = P - P^- \quad (3)$$

Vizualizacija prostora i kriterija na ovom je koraku rješavanja problema veoma korisna i praktično nezamjenjiva komponenta. Stoga se koristi GIS-om i njegovim metodama.

2.b određuje skup rješenja unutar određenog područja mogućih rješenja ( $P^+$ ).

Rezultat je skup lokacija koje čine skup mogućih rješenja;

Unutar pozitivnog potpodručja ( $P^+$ ) nalazi se konačni broj mogućih lokacija i skup rješenja (A). Ako je skup:

$$A = A\{a_i | a_i \subset P^+, i = 1 \dots n\} \quad (4)$$

tada je A skup rješenja, odnosno alternativa.

Iz praktičnih razloga ali i objektivnosti cijelog procesa, poželjno je da broj rješenja (n) u skupu (A) bude  $3 \leq n \leq m$ , što znači da je najmanji broj potrebnih alternativa za

daljnju objektivnu analizu 3. Preporučuje se da (m) bude u granicama od 5 do 10. Broj lokacija je rezultat interesa i zahtjeva javnosti te donositelja odluka, ali i posljedica potrebe ravnopravnog tretiranja svih lokacija, a sve da bi se izbjegla pristranost. Rezultat je najčešće velik broj lokacija (m).

2.c prethodno rangiranje skupa mogućih lokacija koje ima za cilj eliminiranje najmanje prihvatljivih.

Ova se podetapa provodi u slučaju da razmatrano područje zauzima veću površinu, odnosno da je pronađen značajan broj mogućih rješenja te je broj rješenja prevelik i skup za kvalitetnu analizu (veliki troškovi i dugotrajan proces) pa je potrebno skup smanjiti eliminiranjem niže rangiranih lokacija. To se provodi postupkom prethodnog rangiranja koristeći se manjim brojem najvažnijih kriterija – kriteriji s najvećim težinskim vrijednostima (hidrogeološka pogodnost, utjecaj na zdravlje, transportni troškovi itd.) ili samo jednog od njih koji znatno utječe na izbor.

U slučaju da je  $n > m = 10$ , tada se provodi 2.c potetapa gdje se eliminiraju najslabija rješenja po najvažnijim kriterijima (kriteriji s većim težinskim vrijednostima). Razvrstavanje, odnosno eliminiranje najslabijih rješenja može biti zasnovano na višekriterijskom ili jednokriterijskom postupku. U slučaju velikog broja alternativa (m, vrlo velik kao rezultat interesa javnosti) primjenjuje se samo najvažniji kriterij ili više njih, ali iterativno kao jednokriterijski postupak:

$$\text{Max}\{f(a) | a \in A\} \quad (5)$$

A - skup rješenja/alternativa

$f: A \rightarrow R_1$  - kriterij koji razvrstava alternative.

Rješenje problema je ukupni poredak alternativa u skupu A. Ovo je dobro postavljen problem jer pri određivanju optimalne alternative "ã" nejednakost  $f(\tilde{a}) \geq f(a_i), a_i \in A$  ima smisla.

Ako je skup  $A = A\{a_i, i = 1, 2, \dots, p\}$  ukupni poredak alternativa, iz daljnjeg procesa odbacuju se rješenja  $a_i$  kod kojih je  $p > m$ .

U iterativnom postupku kad se primjenjuje više kriterija, primjenom prvog eliminira se manji broj najslabije rangiranih lokacija i dobije manji skup mogućih rješenja  $A'$ .

$$A' = A\{a_i, i = 1, 2, \dots, m\} \quad (6)$$

Primjenom sljedećeg kriterija postupak se ponavlja, skup preostalih lokacija se još više smanjuje i tako redom dok se ne dobije zadovoljavajući broj lokacija ili iscrpe svi glavni kriteriji. Ako se smatra nužnim, postupak rangiranja može se provesti uporabom svih glavnih kriterija odjednom primjenom višekriterijskog postupka.

Vizualizacija problema, kriterija i njihovih veličina uveliko pomaže prihvaćanju postupka i rezultata. Nema skrivenih elemenata postupak je jasan, razumljiv i objektivan.

3. Etapa - višekriterijsko rangiranje

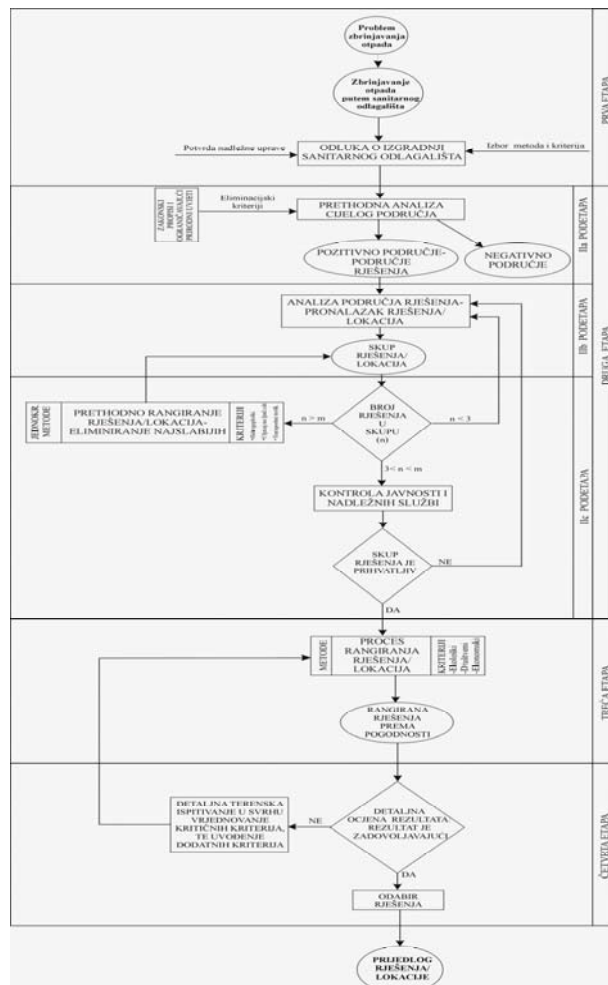
To je cjelovito rangiranje mogućih rješenja/lokacija. U ovome se postupku rangiranja primjenjuju svi dogovoreni kriteriji tako da je postupak višekriterijski:

$$Max\{f_1(a), f_2(a), \dots, f_j(a), \dots, f_k(a) | a \in A\} \quad (7)$$

$f_j(a), j = 1, 2, \dots, k$ , gdje je  $k$  broj kriterija.

Ovako postavljen problem nema rješenja u obliku ukupnog poretka u skupu A kao u jednokriterijskom problemu jer pojam optimalne alternative nema smisla, tj. zadatak nije dobro postavljen (strukturiran). U općem slučaju ne postoji alternativa “ $\tilde{a}$ ” takva da je:

$$f_j(\tilde{a}) \geq f_j(a_i), a_i \in A, \forall j \forall i \quad (8)$$



Slika 1. Četveroetajni postupak izbora lokacije za sanitarno odlagalište

Međutim, ovakvi su problemi stvarni i česti kao što je i izbor lokacije za sanitarno odlagalište te je nužno pronaći kompromisno rješenje.

Ako su “a” i “b” dva rješenja/alternative iz skupa A takve da vrijedi:

$$f_j(a) \geq f_j(b), \forall j \in (1, 2, \dots, k), \quad (9)$$

pri čemu je barem jedna nejednakost stroga, tada kažemo “a” dominira nad “b”. Na ovaj način dobiva se djelomični poredak u A i zove se poredak dominacije. Poredak dominacije jest općenito vrlo “siromašan” čak i ako problem sadrži samo nekoliko kriterija i često se događa da je poredak dominacije prazan.

Kao pomoć donositelju odluke, u takvim situacijama za rješavanje konkretnih problema razvijene su tri osnovne grupe metoda [7]:

- metode agregiranja koje se koriste funkcijama korisnosti (*utility functions*)
- razne interaktivne metode (metode “cjenkanja”)
- metode “višeg ranga”.

U praksi se najviše rabe metode “višega ranga”.

4. Etapa - analiza i predlaganje rješenja

U ovoj etapi analiziraju se rezultati i stabilnost postupka rangiranja. Ako je više alternativa prihvatljivo postupak se ponavlja za najprihvatljivije, uz provođenje dodatnih istraživanja i samo projektiranje kojima se preciznije određuju značajke pojedinih lokacija i rješenja na tim lokacijama, odnosno vrijednosti kriterija odabira i/ili uvode novi kriteriji. Isto je uglavnom isplativo samo za manji skup dobrih lokacija 2 - 3, odnosno za lokacije koje su najbolje po rangu. Rezultat ponovljenog višekriterijskog postupka je «najbolja kompromisna lokacija».

3 Primjer

Osnovni podaci i obuhvatno područje (slika 2.) preuzeti su iz projekta *Neum - regionalni sustav za odvođenje otpadnih voda i upravljanje krutim otpadom* [8] u kojem je jedan od glavnih zadataka na predviđenom području pronaći lokaciju za izgradnju sanitarnog odlagališta kao rješenje zbrinjavanja otpada naselja Neum, Klek, Komarna, Duboka i Ston. Cilj je zaštita Malostonskog zaljeva od utjecaja zagađivanja koji generira kruti otpad na njegovu slivnom području.

Otpad naselja Neum i Ston trenutačno se odlaže na lokaciji Klepovica (BIH) koja se nalazi sjeverozapadno od grada Neuma, udaljena oko 7,5 km od centra, dok se otpad iz drugih naselja ovog područja odvozi na odlagališta u Metkoviću i Pločama.



Slika 2. Područje projekta – «Malostonski zaljev»

### 1. Etapa

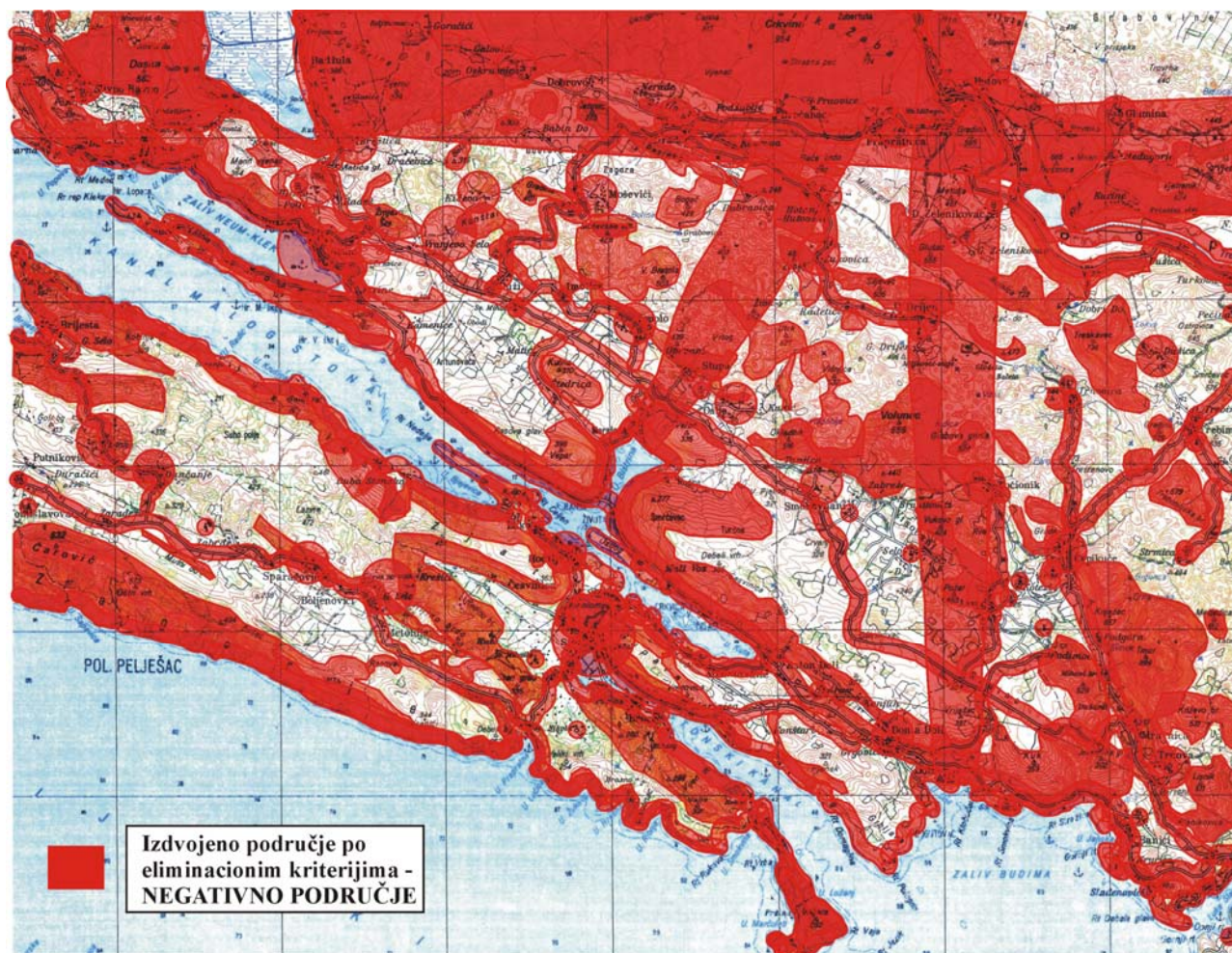
Vrlo loše stanje u sustavu zbrinjavanja i odlaganja otpada te ugrožavanje izvora pitke vode i vodnih resursa navele su političke i nadležne strukture da donesu odluku o izgradnji sanitarnog odlagališta. Projekt je predložen kao probni projekt BIH-a i Hrvatske GEF-ovu projektu *Determination of priority action for the further elaboration and implementation of the Strategic Action Program for the Mediterranean Sea* (GF/ME/6030-00-08). Projekt je prihvaćen i realiziran tijekom 2004. -2005.

### 2. Etapa

Prethodna analiza područja napravljena je na osnovi dostupnih karata i drugih relevantnih podataka.

Za eliminiranje negativnog područja, odnosno definiranje pozitivnog područja, u ovome su primjeru uporabljene sljedeći eliminacijski kriteriji:

- udaljenost od površinskih voda: najmanje 400 m od obalne crte
- udaljenost od cesta: 300 m od magistralne ceste, 150 m od ostalih cesta
- udaljenost od naseljenih mjesta: udaljenost od većih naselja 1 km, a od manjih naselja i pojedinačnih kuća 500 m
- udaljenost od ekoloških, povijesnih i drugih vrijednih područja (sakralni objekti, arheološka nalazišta itd.): udaljenost najmanje 100 m
- područja s velikim nagibom terena
- geološka pogodnost: na osnovi geološke karte izdvojeno je područje koje nije pogodno za odlaganje otpada
- hidrogeološka pogodnost: na osnovi hidrogeoloških podataka i karata [9] izdvojeno je područje s privilegiranim pravcima podzemne vode
- udaljenost od izvorišta pitke vode: udaljenost najmanje 1 km.



Slika 3. Izdvojeno «negativno područje» po eliminacijskim kriterijima

Za svaki kriterij GIS tehnologijom određeno je pripadajuće područje. Preklapanjem svih izdvojenih područja dobije se ukupno izdvojeno područje po svim eliminacijskim kriterijima, (slika 3.). Cilj je ovog postupka izdvajanje područja koje ne treba dalje analizirati niti terenski ispitivati (slika 3.) pa se veća pozornost može posvetiti području koje je ocijenjeno kao pozitivno. Drugim riječima, kvantitativnim smanjenjem područja povećana je kvalitativna analiza preostalog. Mogu se primijeniti još neki eliminacijski kriteriji, no u ovome postupku ne treba pretjerivati i uvoditi velik broj kriterija jer to može dovesti do neopreznog isključivanja određenih područja koja zaslužuju detaljniju analizu [11].

Nakon određivanja pozitivnog područja (slika 4.), daljnje aktivnosti provedene su u suradnji s lokalnim institucijama (Komunalno poduzeće Neum, Mareko-Neum), te se na osnovi dosadašnjih projekata koji su obrađivali pojedine lokacije [10] i izvršenih terenskih istraživanja, definirao skup mogućih lokacija. Skup mogućih lokacija koje se nalaze unutar pozitivnog područja odredili su stručnjaci na temelju karakteristika terena (vlasništvo

zemljišta, topografske značajke, namjena zemljišta, okoliš lokacije, itd.) i karakteristike budućeg odlagališta (količina otpada, volumen, sastav otpada, pristupni put, priključak na vodovod, ostala infrastruktura, itd.).

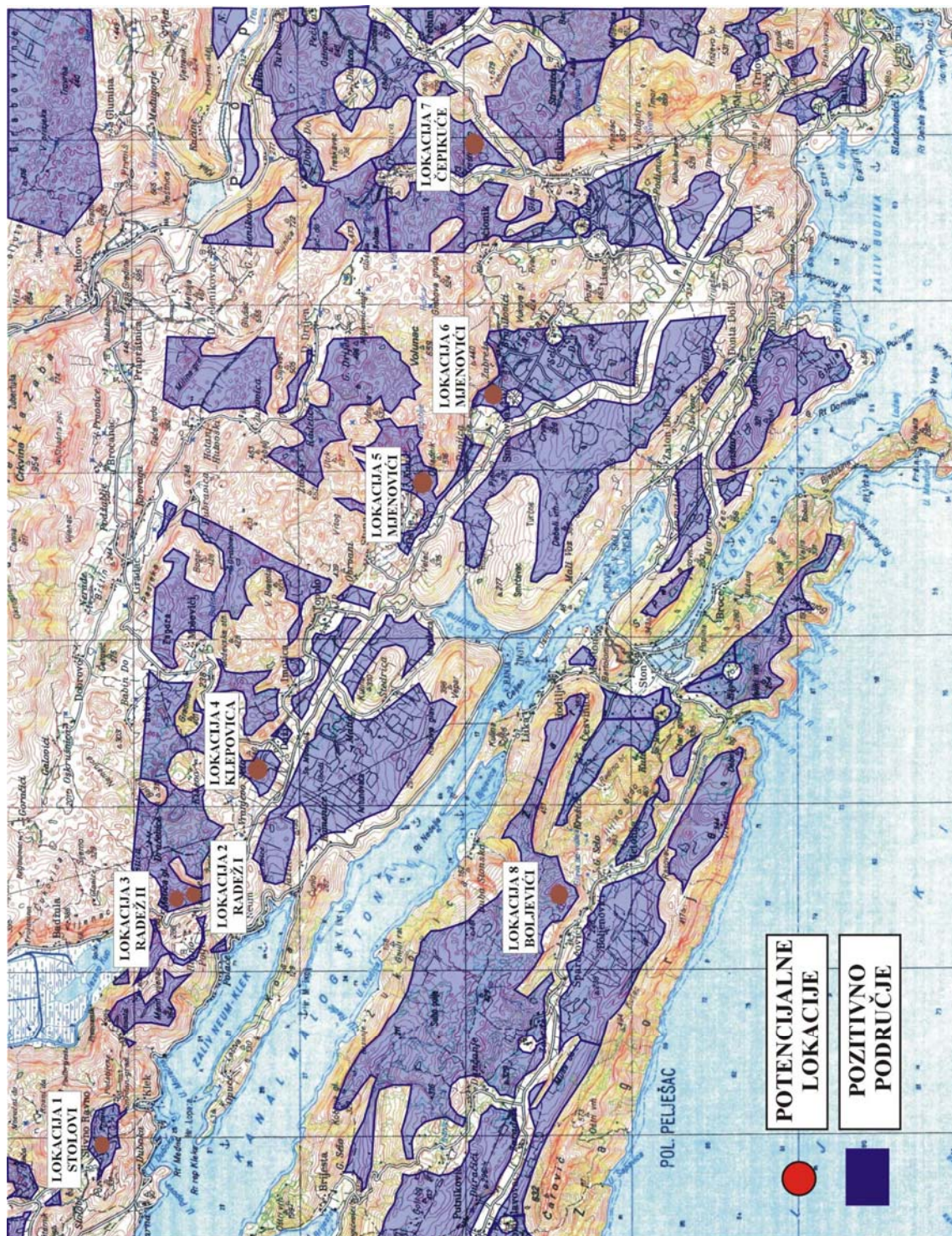
Kao rezultat 2.b potetape predložene metodologije dobiven je skup realnih i izvodivih lokacija (slika 4.):

- L1. STOLOVI
- L2. RADEŽ I
- L3. RADEŽ II
- L4. KLEPOVICA
- L5. MJENOVIĆI
- L6. TUNJICA
- L7. ČEPIKUĆE
- L8. BOLJEVIĆI

Broj od 8 lokacija nije prevelik, tako da bi se potetapa 2.c mogla izostaviti. Međutim, radi racionalizacije višekriterijskog postupka odlučeno je da se broj još više smanji. Smanjenje je zasnovano primjenom kriterija - "trans-

portni troškovi” koji je u sustavu zbrinjavanja otpada najskuplja komponenta. Na ovaj je način postavljen jednokriterijski problem koji se može jednostavno riješiti. Analizom transportnih udaljenosti zaključeno je da postoje dvije grupe lokacija u odnosu na ovaj kriterij:

1. grupa sadrži šest potencijalnih lokacija kod kojih transportne udaljenosti ne prelaze 25 km (24,6 km)
2. grupa sadrži dvije potencijalne lokacije kod kojih transportne udaljenosti prelaze 40 km (43,9 km)



Slika 4. Položaj potencijalnih lokacija unutar «pozitivnog područja»

Kako je riječ o malom području s manjim naseljima i količinama otpada, 2. grupa lokacija (Čepikuće, Boljevići) zbog relativno velikih udaljenosti eliminirana je iz daljnjeg postupka.

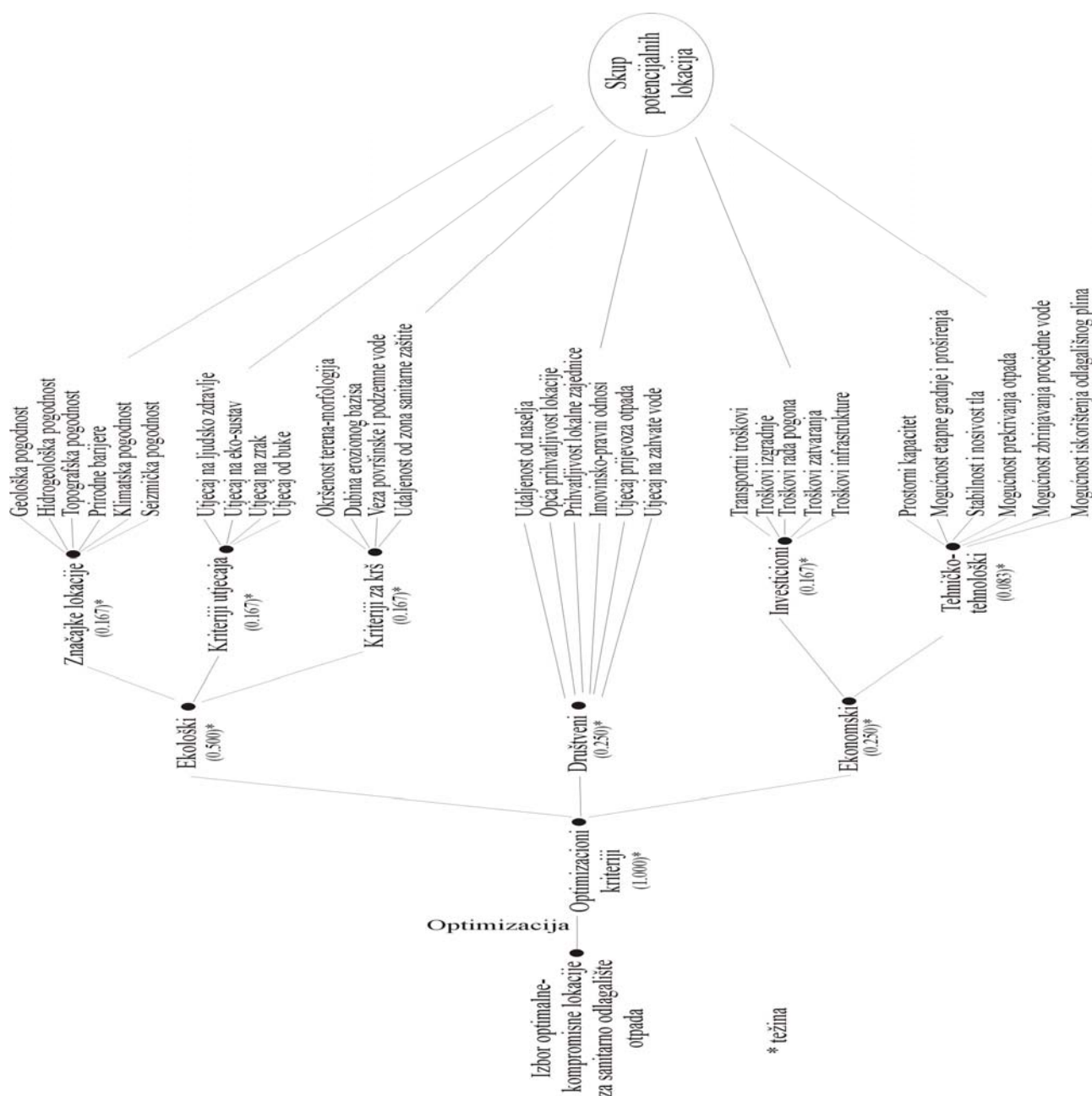
Normalno, moguće je u podetapi 2.c primijeniti i višekriterijsku analizu sa manjim brojem najvažnijih kriterija, a sve kako bi se broj lokacija u narednoj etapi izbora kompromisnog rješenja smanjio. U ovom primjeru to nije bilo nužno.

### 3. Etapa

Izbor najpovoljnije (kompromisne) lokacije u višekriterijskom postupku napravljen je primjenom kriterija koji su svrstani u tri glavne grupe:

- A) ekološki
- B) društveni
- C) ekonomski.

Za ove tri osnovne grupe kriterija koje određuju održivost sustava sanitarnog odlagališta izrađena je hijerarhijska struktura kriterija, (slika 5.). Ova je struktura usuglašena s donositeljima odluke i dionicima. Svakom kriteriju je dodana pripadajuća težinska vrijednost koja je u ovom

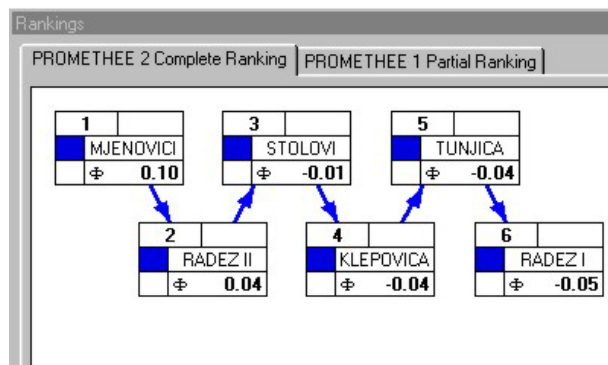


Slika 5. Hijerarhijska struktura kriterija i pripadajuće težinske vrijednosti



primjeru određena na temelju ekspertne prosudbe važnosti i prosudbe lokalnih dionika, (slika 5.). Uvijek je poželjno težinske vrijednosti odrediti sustavskom analizom što šireg kruga stručnjaka, dionika i svih drugih zainteresiranih sudionika. To podrazumijeva i odgovarajuću analizu osjetljivosti dobivenog rješenja.

Usklađivanje težinskih vrijednosti grupa kriterija i kriterija pojedinačno kao i procjena potencijalnih lokacija prema predloženim kriterijima provedena je metodom AHP (14), korištenjem programskim paketom EXPERT CHOICE kojim se proračunavaju težinske vrijednosti svih kriterija na osnovi procjena važnosti kriterija njihovim međusobnim usporedbama [12]. Nakon određivanja težinskih vrijednosti kriterija za svaku potencijalnu lokaciju izvršeno je utvrđivanje vrijednosti kriterija. U ovom primjeru primijenjeno je kvalitativno ocjenjivanje u rasponu vrijednosti od 1 do 10 za sve numerički nemjerljive kriterije. Mjerljivi su kriteriji uzeti u skladu s proračunanim vrijednostima. U početnoj fazi rješavanja problema svi detaljni podaci nisu poznati jer se ne mogu dobiti bez projektiranja svake lokacije. S obzirom da je neracionalno projektirati svaku raspoloživu lokaciju to se u početnoj analizi izostavlja. Ovi se kriteriji unose u analizu u idućim etapama rješavanja problema, kod kojih se obično analiziraju samo tri najbolje rangirane lokacije za koje se treba izraditi bar idejno rješenje. Ulazni su podaci prikazani u tablici 1. Višekriterijalna je analiza izrađena programskim paketom DECISION LAB 2000, [13] koji sadržava sve navedene metode Promethee I i II, GAIA [15].



Slika 6. Rezultati rangiranja metodom PROMETHEE II [15].

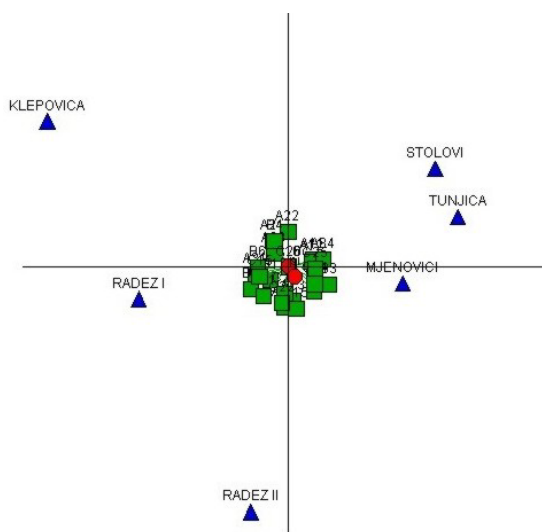
Primjenom metode PROMETHEE I i II (15) dobiveni su rezultati prikazani na slici 6. Najbolja je varijanta Mjenovići, zatim Radež II, Stolovi i tako redom.

Detaljniji uvid u stabilnost rezultata rangiranja i bolji prikaz samog problema i rezultata omogućava programski paket GAIA kojim se bitne karakteristike n-dimenzijškoga problema (u primjeru 25-dimenzijški, jer su se lokacije vrednovala po 25 kriterija) geometrijski predstavljaju u dvodimenzijškom prostoru. Na slici 7. vidi se dis-

perzija kriterija što upozorava na slabu strukturiranost problema, tj. difuznost njegovih osnovnih parametara. Potencijalne lokacije su također "razbacane" što pokazuje da su im bitne značajke relativno različite. Može se uočiti da je lokacija L3. (Radež II) po svojim značajkama oprečna u odnosu na ostale, dok se određena bliskost uočava kod lokacija L1. (Stolovi), L5. (Mjenovići) i L6. (Tunjica).

#### 4. Etapa

Primjenom postupka izbora lokacije za sanitarno odlagalište uporabom odabranih jednokriterijalnih metoda i višekriterijalne analize kao rješenje dobiva se lokacija Mjenovići koja ima prednost u odnosu na ostale. Dobiivena lokacija je rješenje postupka po jednom scenariju vrjednovanja, odnosno težinskih vrijednosti kriterija i vrijednosti ostalih parametara. Da bi se utvrdila stabilnost rješenja može se analizirati nekoliko različitih scenarija težinskih vrijednosti, koji mogu rezultirati istim ili različitim rješenjem. Daljnji rad ekspertnog tima temelji se na određivanju novih scenarija težinskih vrijednosti, valoriziranju dobivenih rješenja, te prezentiranju svih nužnih informacija donositeljima konačne odluke koji će na osnovi detaljnijih podataka o varijantama moći kvalitetnije spoznati problem radi donošenja konačnoga kompromisnoga rješenja.



Slika 7. Geometrijski prikaz problema s programskim paketom GAIA

Težinske vrijednosti uvelike utječu na rangiranje lokacija, pa je stoga uvijek važno analizirati njihov utjecaj na rješenje. Takva analiza omogućava argumentirano obrazloženje rezultata i lakše prihvaćanje rješenja od strane svih sudionika. Naime, različite grupe dionika imaju različite preferencije u odnosu na pojedine grupe kriterija, odnosno glavne kriterije održivosti. Nekima su najvažniji ekološki kriteriji, drugima društveni, a trećima ekonomski. Stoga je važno znati koliko je rješenje stabilno

ako se težinske vrijednosti mijenjaju. Analiza osjetljivosti rješenja u ovome primjeru provedena je promjenom težinskih vrijednosti pojedinih grupa kriterija. Predložena su četiri scenarija. U prvom scenariju veće težinske vrijednosti dane su grupi ekoloških kriterija, u drugom društvim, trećem ekonomskim, dok su u četvrtom scenariju

vrijednosti iste (tablica 2.). Na osnovi ovih rezultata mogu se analizirati rješenja u slučaju preferiranja različitih zainteresiranih grupa u postupku odlučivanja i njihova utjecaja na izbor lokacije.

Rezultati pokazuju da dvije potencijalne lokacije imaju znatniju prednost u odnosu na sve ostale, L3.-Radež II i

Tablica 1. Ulazni podaci:kriteriji i njihove težinske vrijednosti

Oznaka	POTENCIJALNE LOKACIJE KRITERIJI	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Težine	min/ maks
<b>A</b>	<b>EKOLOŠKI</b>								
<b>A1</b>	<b>Značajke lokacije</b>								
A11	Geološka pogodnost	6	3	3	2	4	4	<b>0,032</b>	maks
A12	Hidrogeološka pogodnost	6	4	3	2	5	4	<b>0,062</b>	maks
A13	Topografska pogodnost	5	6	8	3	5	5	<b>0,021</b>	maks
A14	Prirodne barijere	4	5	8	4	5	4	<b>0,022</b>	maks
A15	Klimatska pogodnost	4	4	5	4	5	4	<b>0,015</b>	maks
A16	Seizmička pogodnost	3	3	3	3	3	3	<b>0,014</b>	min
<b>A2</b>	<b>Kriteriji utjecaja</b>								
A21	Utjecaj na ljudsko zdravlje	5	4	6	3	4	5	<b>0,094</b>	min
A22	Utjecaj na eko-sustav	4	5	6	3	4	4	<b>0,044</b>	min
A23	Utjecaj na zrak	4	3	5	4	4	5	<b>0,020</b>	min
A24	Utjecaj od buke	4	3	5	4	4	5	<b>0,009</b>	min
<b>A3</b>	<b>Kriteriji za krš</b>								
A31	Okršenost terena-morfologija	5	3	3	2	4	5	<b>0,017</b>	min
A32	Dubina erozijskog bazisa*	-	-	-	-	-	-	<b>0,036</b>	maks
A33	Veza površinske i podzemne* vode	-	-	-	-	-	-	<b>0,041</b>	min
A34	Udaljenost od zona sanitarne zaštite	5	1	1,5	0	6	7	<b>0,073</b>	maks
<b>B</b>	<b>DRUŠTVENI</b>								
B1	Udaljenost od naselja	700	800	1000	1000	800	900	<b>0,052</b>	maks
B2	Opća prihvatljivost	5	3	6	2	5	5	<b>0,034</b>	maks
B3	Prihvatljivost lokalne zajednice	2	1	2	1	2	2	<b>0,074</b>	maks
B4	Imovinsko-pravni odnosi	10	0	0	100	30	30	<b>0,017</b>	maks
B5	Utjecaj prijevoza otpada	5	3	3	3	4	5	<b>0,010</b>	min
B6	Utjecaj na zahvate vode	5	3	3	1	5	6	<b>0,063</b>	min
<b>C</b>	<b>EKONOMSKI</b>								
<b>C1</b>	<b>Investicijski</b>								
C11	Transportni troškovi	230,02	153,70	160,72	209,82	239,52	247,91	<b>0,058</b>	min
C12	Troškovi izgradnje*	-	-	-	-	-	-	<b>0,036</b>	min
C13	Troškovi rada*	-	-	-	-	-	-	<b>0,027</b>	min
C14	Troškovi zatvaranja*	-	-	-	-	-	-	<b>0,016</b>	min
C15	Troškovi infrastrukture (10 <sup>3</sup> KM)	700	595	500	450	700	800	<b>0,030</b>	min
<b>C2</b>	<b>Tehničko-tehnološki</b>								
C21	Prostorni kapacitet	4	9	7	3	6	5	<b>0,005</b>	maks
C22	Mogućnost etapne gradnje i proširenja	3	9	8	3	6	5	<b>0,005</b>	maks
C23	Stabilnost i nosivost tla*	-	-	-	-	-	-	<b>0,012</b>	maks
C24	Mogućnost prekrivanja otpada	4	4	5	3	6	6	<b>0,015</b>	maks
C25	Mogućnost zbrinjavanja procjedne vode	5	4	4	3	6	5	<b>0,026</b>	maks
C26	Mogućnost iskorištenja odlagališnog plina	2	2	2	2	2	2	<b>0,019</b>	maks

\* Nedostupni podaci na ovoj razini obrade

Tablica 2. Težinske vrijednosti za grupe kriterija po različitim scenarijima

Grupe kriterija	Scenariji	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4
Ekološki		0,50	0,25	0,25	0,33
Društveni		0,25	0,50	0,25	0,33
Ekonomski		0,25	0,25	0,50	0,33

Tablica 3. Težinske vrijednosti za kriterije po različitim scenarijima

Kriteriji Scenarij	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A21	A22	A23	A24	A31
	<b>Težinske vrijednosti</b>										
SC 1	0,032	0,062	0,021	0,022	0,015	0,014	0,094	0,044	0,020	0,009	0,017
SC 2	0,016	0,031	0,011	0,011	0,007	0,007	0,047	0,022	0,010	0,005	0,008
SC 3	0,016	0,031	0,011	0,011	0,007	0,007	0,047	0,022	0,010	0,005	0,008
SC 4	0,022	0,041	0,014	0,015	0,010	0,009	0,063	0,029	0,013	0,006	0,011
Kriteriji Scenarij	A32	A33	A34	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C11	C12
	<b>Težinske vrijednosti</b>										
SC 1	0,036	0,041	0,073	0,052	0,034	0,074	0,017	0,010	0,063	0,058	0,036
SC 2	0,018	0,020	0,036	0,104	0,067	0,149	0,034	0,020	0,126	0,058	0,036
SC 3	0,018	0,020	0,036	0,052	0,034	0,074	0,017	0,010	0,063	0,115	0,071
SC 4	0,024	0,027	0,049	0,069	0,045	0,099	0,023	0,014	0,084	0,077	0,048
Kriteriji Scenarij	C13	C14	C15	C21	C22	C23	C24	C25	C26		
	<b>Težinske vrijednosti</b>										
SC 1	0,027	0,016	0,030	0,005	0,005	0,012	0,015	0,026	0,019		
SC 2	0,027	0,016	0,030	0,005	0,005	0,012	0,015	0,026	0,019		
SC 3	0,054	0,032	0,061	0,010	0,011	0,025	0,030	0,052	0,039		
SC 4	0,036	0,022	0,041	0,007	0,007	0,016	0,020	0,035	0,026		

Tablica 4. Poredak potencijalnih lokacija prema metodi PROMETHEE II (Phi) (15) za različite scenarije dodjele težinskih vrijednosti

Scenariji	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4
	Poredak potencijalnih lokacija prema metodi PROMETHEE II (Phi)			
Potencijalne lokacije (Phi)	L5 ( 0,10 )	L3 ( 0,20 )	L3 ( 0,17 )	L3 ( 0,14 )
	L3 ( 0,04 )	L5 ( 0,05 )	L5 ( 0,05 )	L5 ( 0,07 )
	L4 ( -0,01 )	L4 ( -0,02 )	L2 ( 0,01 )	L4 ( -0,03 )
	L6 ( -0,04 )	L6 ( -0,03 )	L4 ( -0,04 )	L6 ( -0,05 )
	L1 ( -0,04 )	L1 ( -0,07 )	L6 ( -0,09 )	L1 ( -0,06 )
	L2 ( -0,05 )	L2 ( -0,13 )	L1 ( -0,09 )	L2 ( -0,06 )

L5.-Mjenovići, jer su uvijek prva ili druga po rang. L5.-Mjenovići prva je po rangi jedino ako se najveća važnost daje grupi ekoloških kriterija, dok je u svim drugim slučajevima najprihvatljivija lokacija L3.-Radež. Ovako obrađeni rezultati mogu se ponuditi donositeljima odluke kao rješenje problema izbora lokacije za sanitarno odlagalište jer se odlučuju samo između dvije lokacije s jasnim prednostima i manama svake od njih. Koju će od ove dvije lokacije izabrati donositelji konačne odluke (političke strukture) ovisi o scenariju koji će prihvatiti.

Skupina kompetentnih stručnjaka predloženom metodologijom ima zadatak ponuditi kvalitetna rješenja s odgo-

varajućim pretpostavkama za svako rješenje. Konkretno navedene lokacije su rješenja izbora lokacije za sanitarno odlagalište po određenim scenarijima u kojima je dana veća važnost jednoj ili drugoj grupi kriterija, ili su pak sve grupe po važnosti iste. Drugim riječima, ovdje se ne daje jedno rješenje već se donositeljima konačne odluke pomaže u cjelovitom spoznavanju problema i u skladu s tim donošenju kvalitetnog i provedivog rješenja. Potrebno je istaknuti da je ovo tek prethodna analiza poslije koje može slijediti detaljnija analiza nakon projektiranja ovih dviju lokacija, jer ostale lokacije očito nisu konkurentne, osim ako u ovome koraku konačno rješenje nije već odabrano. Na temelju detaljnijih analiza karak-

teristika samo ovih dviju lokacija, i to na osnovi novih podataka i proračuna, mogu se dobiti preciznije vrijednosti veličine kriterija, te veličine onih kriterija koje u prvoj etapi rješavanja problema nisu bile uzete u obzir. Ponovljenim rangiranjem samo dviju lokacija dobit će se jasnija slika prednosti i nedostataka svake od njih, te će se tako lakše i sigurnije odabrati najprihvatljivije kompromisno rješenje-lokacija. U ovome radu taj postupak nije prikazan jer investitor još nije naručio detaljnija istraživanja dviju najprihvatljivijih lokacija.

#### 4 Zaključak

Iz prikazanog se primjera vidi da je predložena metodologija obuhvatna, te da sustavskim pristupom omogućava djelotvorno rješavanje problema izbora lokacije sanitarnog odlagališta. Postupak izbora prihvatljive lokacije je jasan i razumljiv za sve sudionike procesa. To posebno vrijedi za prvu etapu rješavanja problema u kojoj se primjenjuju eliminacijski kriteriji GIS tehnologijom. Uz to, postupak je racionalan i zbog toga lako izvediv jer se u početnoj fazi, kada se analizira velik broj potencijalnih lokacija, osniva na lakše dostupnim i jeftinijim podacima. Tek nakon eliminiranja najvećeg broja niže rangiranih prilazi se projektiranju i istraživanju najbolje rangiranih lokacija i njihovoj detaljnijoj analizi i rangiranju. Primjenom alata sustavskog inženjerstva omogućava se

sveobuhvatna i racionalna analiza valjanosti i osjetljivosti rješenja na temelju koje se može predložiti najprihvatljivije rješenje za određeno područje. Takvom metodologijom moguće je na osnovi argumentiranih stavova spriječiti nepotrebna suprotstavljanja javnosti, interesnih grupa i donositelja odluke, te postići nužni konsenzus za donošenje odluke o konačnom zbrinjavanju otpada.

Kvaliteta cijelog postupka najviše ovisi o kvaliteti ulaznih podataka. S obzirom da se u procesu eliminiranja neprihvatljivih područja uglavnom rabe pouzdani prostorni podaci/karte, i to GIS tehnologijom, greške su vrlo male. Cijeli je postupak vidljiv pa zbog toga i vrlo uvjerljiv. U drugom dijelu postupka, kada se rangiraju lokacije na temelju većeg broja kriterija, važnost ulaznih podataka je veća, osobito u slučaju izravno nemjerljivih kriterija. U takvim slučajevima analiza osjetljivosti i utjecaja pojedinih kriterija i njihovih težinskih vrijednosti ključna je pomoć u donošenju konačne prosudbe o valjanosti/rangu pojedinih lokacija. Konačnu odluku treba donijeti tek nakon izrade idejnih projekata najkonkurentnijih lokacija jer se tek tada mogu dobiti svi potrebni podaci za preciznije rangiranje ovih lokacija. Zbog svega navedenog možemo zaključiti da primjena prikazanog postupka može biti od velike pomoći u rješavanju ovog vrlo osjetljivog društvenog problema.

#### LITERATURA

- [1] AEA Technology Environment, Culham, Abingdon, Oxfordshire, UK: *BiH Solid Waste Management Strategy*, EU PHARE, 2000.
- [2] Margeta, J.: *Uvod u sistemsko inženjerstvo u projektiranju i upravljanju volumenima akumulacija*, Građevinski fakultet, Split 1998.
- [3] Čupić, M. E.; Rao, V. M.: *Savremeno odlučivanje – Metode i primjena*, Beograd, 1991.
- [4] Joerin, F.; Golay, F.; Musy, A.: *GIS and Multicriteria Analysis for Land Management*, COST C4 Final Conference, 1998;
- [5] Siddiqui; Everett; Vieux: *Landfill Siting Using GIS*, A Demonstration, Journal of Environmental Engineering, June 1996., 515-523.
- [6] Hung-Yueh Lin; Jehng-Jung Kao: *Enhanced spatial model for landfill siting analysis*, Journal of environmental engineering, 1999.
- [7] Salminen, P.; Hokkanen, J.; Lahdelma, R.: *Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems*, European Journal of Operational Research 104, 1998, 485-496.
- [8] Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru: Neum – regionalni sustav za odvođenje otpadnih voda i upravljanje krutim otpadom, Mostar, 2004;
- [9] Milanović, P. T.: *Geološko inženjerstvo u karstu*, Stolac, BIH, 1989.
- [10] Zavod za vodoprivredu – Sarajevo: Studija regionalne sanitarne deponije Neum-Mljet, Sarajevo, 1990.
- [11] Milanović, Z.: *Deponij - trajno odlaganje otpada*, Zagreb 1992;
- [12] Mummolo, G.: *An Analytic Hierarchy Process Model for Landfill Site Selection*, Journal of Environmental Systems, Volume 24 (4), 1996.
- [13] Decision Lab: North America Headquarter Visual Decision Inc, Vancouver, Canada
- [14] Saaty T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York
- [15] Brans J. P., Vincke Ph. (1984). *Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)*. Centrum voor Statistiek en Operationeel Onderzoek, Vrije Universiteit Brussel