

## TOPSIS optimizacija za izbor izvođača remedijacije zemljišta u Srbiji

MIMICA R. MILOŠEVIĆ, Visoka škola za poslovnu ekonomiju  
i preduzetništvo, Beograd

DUŠAN M. MILOŠEVIĆ, Univerzitet u Nišu,  
Elektronski fakultet, Niš

ANA D. STANOJEVIĆ, Univerzitet u Nišu,  
Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš

DRAGAN M. STEVIĆ, Univerzitet u Prištini,  
Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica

Pregledni rad

UDC: 502.174:502.521(497.11)

DOI: 10.5937/tehnika1805724M

*U kontekstu ekološke održivosti poslednjih decenija se znatno ulaže u projekte zaštite životne sredine. Pored toga, građevinska praksa se aktivnije bavi rešavanjem pitanja obnove napuštenih područja bivših industrijskih, vojnih i drugih kompleksa označenih kao braunfild područja, i stvaranjem mogućnosti za njihovo ponovno korišćenje. Imajući u vidu da najveći broj braunfild područja predstavlja napuštene komplekse industrijskih postrojenja i divlje deponije, u toku procesa njihove regeneracije potrebno je izvršiti sanaciju zemljišta i ukloniti zagađenja koja predstavljaju opasnost po okolinu i ljude. Različite ekonomske, društvene i političke promene koje su obeležile tranzicioni period, kao i nemarnost građana, dovele su do formiranja velikog broja braunfilda u Srbiji. Usled nedovoljne razvijenosti društvene svesti o značaju i potrebi za obnovom područja, proces njihove regeneracije svodi se mahom na dekontaminaciju tla primenom odgovarajućih metoda remedijacije. Savremena nauka nudi širok spektar remedijacionih tehnologija, a pitanje izbora izvođača remedijacije zemljišta od presudne je važnosti jer utiče na ukupnu visinu investicionih troškova i krajnju uspešnost obnove. Cilj rada je da matematičkom metodom Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS, korišćenjem programskog paketa Mathematica, omogući donosiocima odluke u Srbiji da se na osnovu uspostavljenih kriterijuma opredele za optimalnu alternativu u pogledu izvođača remedijacije zemljišta braunfild područja.*

**Ključne reči:** braunfild područja, remedijacija zemljišta, izvođači remedijacije, Srbija, višekriterijumska analiza, TOPSIS

### 1. UVOD

Održivi urbani razvoj predstavlja aktuelnu temu današnjice i neizostavan deo svih strategija koje se tiču gradova i unapređenja kvaliteta života ljudi u njima. Urbana područja i urbane funkcije trebaju biti isplanirane i razvijene na način koji će ljudima pružiti satisfakciju i sigurnost kako u pogledu jake ekonomije i mogućnosti obrazovanja, tako i u pogledu jačanja socijalne kohezije, formiranja zdravog i zelenog okruženja, i atraktivne sredine koja će podstaći priliv turista

uz očuvanje lokalnog kulturno-istorijskog identiteta. Procesi izgradnje su dugi niz godina često bili stihijski kao posledica nedostatka adekvatne planerske dokumentacije i naglog i kontinualnog širenja gradova koje je obeležilo XX vek. Pored toga, procesi industrijalizacije, a potom i kasnije deindustrijalizacije, demilitarizacije i okretanja tercijarnom privrednom sektoru doveli su do diskontinuiteta u urbanim matricama i stvaranja napuštenih i devastiranih područja [1]. Bivši industrijski, vojni i drugi kompleksi koji su nekada zauzimali periferne delove gradova i koji više nisu u funkciji, usled suburbanizacije i širenja gradova danas zauzimaju same gradske centre. Ove lokacije, označene kao braunfild područja, imaju negativan uticaj na gradsku sredinu. Svojom neaktivnošću one umanjuju ekonomsku vrednost nekretnina u okruženju, odbijaju stanovnike i turiste i vizuelno često narušavaju siluete gradova.

---

Adresa autora: Mimica Milošević, Visoka škola za poslovnu ekonomiju i preduzetništvo, Beograd, Mitropolita Petra 8

e-mail: mimica.milosevic@gmail.com

Rad prihvaćen: 23.07.2018.

Rad primljen: 22.08.2018.

Prema savremenom tumačenju, braunfield područja obuhvataju sve lokacije i delove građevinskog zemljišta koji su ugroženi ranijim načinom korišćenja, koji su zapušteni i/ili nedovoljno iskorišćeni, koje prati izvestan stepen zagađenja sredine, koji se najčešće nalaze u urbanom izgrađenom području, a koje je potrebno rehabilitovati kako bi se stvorili uslovi za njihovo ponovno aktiviranje [2, 3]. Ona se najčešće javljaju u obliku bivših industrijskih proizvodnih pogona, skladišta, vojnih kasarni i kompleksa, železničkih i aerodromskih servisa, poljoprivrednih dobara, kao i deponija i neuređenih naselja.

Zbog nedostatka slobodnog zemljišta za buduće građevinske aktivnosti i postojanja veće svesti o značaju očuvanja kulturno-istorijskog graditeljskog nasleđa, braunfield područja su u središtu svih održivih strategija urbanog razvoja. Smatra se da se obnovom i adaptacijom ovih područja i objekata koji se na njima nalaze istovremeno regenerišu šire gradske zone u ekonomskom, sociološkom, ekološkom i kulturološkom smislu. S obzirom na prethodnu namenu braunfield područja, ove lokacije karakteriše izvestan stepen zagađenja, posebno u zemljištu, koje često sadrži otrovne materije teških metala, naftnih derivata, pesticida i drugih organskih i neorganskih jedinjenja.

Sanacija braunfield područja obavezan je deo procesa njegove obnove i praćena je između ostalog i dekontaminacijom tla. Sprovedenjem dekontaminacije odnosno remedijacije zemljišta stvaraju se inicijalni uslovi za dalji razvoj projekata obnove i ponovne upotrebe ovih prostora. Pod remedijacijom podrazumevamo skup različitih intervencija u pogledu tretiranja tla i uklanjanja zagađujućih materija iz njega, kako bi se zagađenje u potpunosti odstranilo ili svelo na minimum štetnog uticaja po okolinu i ljude [4]. Na ovaj način pored urbanista, planera, arhitekata i konzervatora, inženjeri geotehnike su takođe aktivno uključeni u proces obnove braunfielda [5]. Polje geotehnike nudi danas veliki izbor remedijacionih tehnologija koje se prema karakteru dele na termičke, fizičko-hemijske i biološke metode [6, 7].

Termičkim metodama zagađenje iz zemljišta se uklanja primenom postupaka zagrevanja, spaljivanja i topljenja i one predstavljaju jedne od najefikasnijih metoda remedijacije jer za relativno kratak vremenski rok uspešno uklanjaju kontaminante. Fizičko-hemijske metode koriste se principima prirodnih zakona i hemijskih reakcija kojima se toksična organska jedinjenja transformišu u neorganska. Biološke metode remedijacije pak uklanjaju zagađenje dodavanjem biljaka, kiseonika i mikroorganizama zemljištu, pri čemu traže više vremena za uklanjanje zagađenja ali su ekološki najčistije tehnologije i vrlo isplative. Na osnovu mesta sprovođenja remedijacije, metode se dele na in-situ metode, ukoliko se sprovode na samoj

lokaciji i ex-situ, ukoliko se zemljište transportuje i dekontaminira na drugoj lokaciji. Za koju će se metodu remedijacije braunfield područja odgovorni donosioci odluka opredeliti, zavisi prvenstveno od vrste zagađenja koje je prisutno u tlu, a potom i od efikasnosti, cene, složenosti postupka, i raspoloživog vremena za dekontaminaciju [8].

U toku obnove braunfield područja neophodno je pored odgovarajuće tehnologije odabrati i izvođača postupka remedijacije zemljišta. Mnoge građevinske kompanije danas se bave geotehničkim proračunima i izvođenjem metoda remedijacije zemljišta poput fitoremedijacije, bioremedijacije, bioventilacije, hemijske ekstrakcije, vitrifikacije, elektrokinetičke remedijacije, pirolize, ekstrakcije parom, ispiranja tla i drugog [9, 10]. Premda se izbor tehnologije remedijacije i izvođača u praksi često vrši uporedo, donošenje odluke o izboru izvođača je zaseban proces tokom kog je potrebno sagledati više uticajnih faktora kako bi bili sigurni u ispravnost odluke i kasniju uspešnost rezultata remedijacije. Pored dostupnosti usluga u pogledu ponude sprovođenja remedijacione tehnologije koja će delovati na zagađenje koje je u tlu konkretnog braunfield područja prisutno, važan kriterijum kod izbora izvođača je i cena sprovođenja postupka, iskustvo i reputacija koje kompanija ima u polju ove vrste geotehničkih radova, kao i dostupnost relevantnih informacija na zvaničnim internet sajtovima kompanija.

Rad se bavi problematikom višekriterijumske analize i odlučivanja, kao i mogućnošću optimalnog odabira izvođača remedijacije zemljišta, sa osvrtom na problematiku zagađenja braunfield područja u Srbiji i praksu njenih geotehničkih kompanija. Istraživanje se zasniva na metodi Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Rad teži da matematičkom metodom TOPSIS omogući donosiocima odluke da se na osnovu pomenutih kriterijuma opredele za najoptimalniju alternativu u pogledu izbora izvođača remedijacije zemljišta braunfield područja.

## 2. REMEDIJACIJA BRAUNFIELD PODRUČJA U SRBIJI

Braunfield područja su u Srbiji formirana kao produkt i proces post-socijalističkog perioda, odnosno kao rezultat tranzicionih političkih, ekonomskih i društvenih reformi koje su nakon pada socijalističkog političkog režima zahvatile ceo Istočni blok. Ova područja su se na teritoriji Srbije postepeno razvila, ne samo kao posledica deindustrijalizacije i opšte poznatih geopolitičkih promena sa kraja XX veka karakterističkih za sve evropske zemlje, već i usled opšteg ekonomskog pada na nacionalnom nivou, političkih nesuglasica nakon raspada bivše Jugoslavije i građanskih ratova. U nekadašnjim industrijskim centrima i većim gradovima, braunfield područja se najčešće

javljaju u obliku bivših industrijskih postrojenja, koja su ugašena nakon neuspešnih pokušaja privatizacije, divljih deponija razvijenih u perifernim zonama gradova i neuređenih priobalja. Za razliku od razvijenih zapadnoevropskih, i pojedinih istočnoevropskih zemalja, koje se aktivno angažuju u regeneraciji i prenameni braunfield područja, u Srbiji se još uvek razvija društvena svest o samom značaju njihove obnove. Srbija je suočena sa problemom neodgovarajuće upotrebe zemljišta ranije korišćenog za industriju, vojsku, železnicu, komunalne servise i poljoprivredu [11]. Uvidom u važeće prostorne i urbanističke planove i Plan zaštite životne sredine, može se uočiti da su braunfield lokacije i inicijative vezane za njihovu obnovu prepoznate kao značajni deo budućeg održivog razvoja gradova tek odnedavno [12]. Premda su prednosti braunfield investicija isticane kroz mnogobrojna istraživanja stranih i domaćih autora, gradovi i opštine u Srbiji ne registruju u dovoljnoj meri ove lokacije kao šansu za povećanje privlačnosti i ekonomskog prosperiteta urbanih sredina. Oni veću pažnju još uvek pridaju izgradnji grinfild lokacija uprkos pozamašnom ulaganju u novu infrastrukturu koje prati ovakav vid investiranja.

Procesi regeneracije braunfield područja često ostaju na nivou idejnih urbanističkih i arhitektonskih rešenja, dok se njihovo realizovanje svodi na selektivno investiranje stranih kompanija i ne predstavlja rezultat dugoročnih strateških planova. U Beogradu su u toku poslednje decenije pokrenuti pojedini projekti transformacije bivših industrijskih zona i priobalja u poslovno-stambene komplekse, ali se konačna realizacija ovih projekata očekuje u narednom periodu. Kao jedni od većih inesticionih projekata regeneracije braunfield područja ističe se između ostalog Savski amfiteatar i Luka Beograd, odnosno područje Marine Dorćol i Ada Huje koja je dugi niz godina korišćena kao divlja deponija i čije je zemljište visoko zagađeno (slika 1) [13].



Slika 1 - Deponija na Ada Huji u Beogradu [14]

U mnogim gradovima i regionima Srbije problem braunfield područja je marginalizovan u izvesnoj meri,

što uzrokuje dalje propadanje postojećeg građevinskog fonda na ovim lokacijama i kontinualno zagađivanje životne sredine. Osnovni problem leži u nepostojanju jasno definisanih zakonskih okvira za upravljanje braunfield lokacijama. U odnosu na druge evropske države u kojima su formirani nacionalni registri braunfield područja, u Srbiji ovakvih baza podataka još uvek nema, što u velikoj meri otežava sagledavanje postojećeg stanja i utvrđivanje kvaliteta životne sredine ovih prostora.

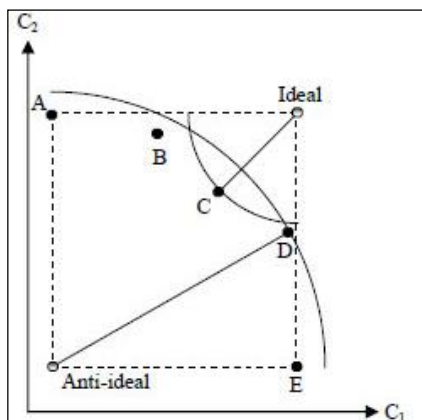
Generalno gledano, obnova braunfield lokacija se u Srbiji danas svodi mahom na dekontaminaciju visoko zagađenih područja, i primeni metoda remedijacije zemljišta. Preduslovi za razvoj remedijacionih tehnologija stvoreni su kasno u odnosu na druge države Evrope, i to tek donošenjem Zakona o zaštiti životne sredine 2004. godine i Zakona o upravljanju otpadom 2009. godine. Prema Izveštaju o stanju zemljišta u Republici Srbiji iz 2012. godine, identifikovano je ukupno 384 lokacija, od kojih je 90,4% potencijalno kontaminiranih, dok je kod 7,6% lokacija utvrđen stepen kontaminacije, a kod preostalih 2,0% i sprovedena neka od remedijacionih tehnologija sanacije [15]. Prema istom dokumentu iz 2015. godine ističe se da je identifikovano 423 potencijalno kontaminirane i kontaminirane lokacije, pri čemu najveći udeo imaju komunalne deponije sa 42,78% [16]. Na osnovu Izveštaja o stanju životne sredine u Republici Srbiji iz 2016. godine registrovano je ukupno 709 lokacija od kojih se 478 nalazi u kategoriji potencijalno kontaminiranih, 103 u kategoriji kontaminiranih, a remedijacija je izvršena na 52 lokacije [17]. Podaci ukazuju na nizak stepen primene metoda remedijacije u praksi u odnosu na broj utvrđenih potencijalno zagađenih područja. Metode remedijacije se u praksi primenjuju prvenstveno kod onih lokacija kod kojih se na osnovu Uredbe o utvrđivanju kriterijuma za određivanje statusa ugrožene životne sredine i prioriteta za sanaciju i remedijaciju, utvrdi visok stepen kontaminacije zemljišta, a od strane mnogobrojnih firmi specijalizovanih za geotehničke radove [18].

Podaci o kontaminiranim područjima u Srbiji se prikupljaju na osnovu Inventara kontaminiranih lokacija, ali njima nisu zasebno odvojena braunfield područja, već se podaci odnose na sve lokacije kod kojih je kvalitet zemljišta ugrožen. Pored toga treba napomenuti da ovim inventarom nisu obuhvaćena vojna područja.

Zbog toga je od ogromnog značaja da se u nekom budućem periodu formira nacionalni registar kojim bi se obuhvatili podaci o broju braunfield područja, njihovom karakteru, položaju, veličini i stepenu kontaminiranosti, te da se pristupi dekontaminaciji zemljišta, kao preduslovu za uspešnu obnovu i prenamenu ovih prostora.

### 3. MATEMATIČKI KONCEPT TOPSIS METODE

Za potrebe sprovedenog istraživanja korišćena je matematička metoda TOPSIS. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) metoda je kreirana od strane stručnjaka kao metoda višekriterijumske analize za pronalaženje rešenja iz konačnog seta rešenja. Tehnika je zasnovana na konceptu da izabrana alternativa treba da ima najkraće rastojanje od idealnog rešenja i najduže od anti-idealnog rešenja (slika 2) [19, 20, 21, 22, 23].



Slika 2 - Šematski prikaz TOPSIS metode

Primena metode vrši se u sledećim koracima:

Korak 1 - Formiranje matrice odlučivanja;

Korak 2 - Normalizacija matrice odlučivanja;

Korak 3 - Formiranje težinske normalizovane matrice odlučivanja;

Korak 4 - Određivanje idealnog i negativnog idealnog rešenja;

Korak 5 - Određivanje Euklidskog rastojanja alternativa od idealnog i negativno idealnog rešenja;

Korak 6 - Određivanje koeficijenta relativne bliskosti idealnog rešenja;

Korak 7 - Izbor najbolje alternative ili rangiranje alternativa.

#### 3.1. Formiranje matrice odlučivanja

Za primenu TOPSIS metode potrebno je najpre formirati matricu odlučivanja  $X$ . Vrste matrice odlučivanja su alternative, a kolone kriterijumi. Ako u matrici odlučivanja imamo kvalitativne vrednosti prvo ove vrednosti treba pretvoriti u brojčane vrednosti pomoću tabele 1 i Matrice odlučivanja (1).

Tabela 1. Skala vrednovanja u TOPSIS metodi

Skala	Korist (pozitivan uticaj)	Cena (negativan uticaj)
9	Vrlo visoka	Vrlo niska
7	Visoka	Niska
5	Srednja	Srednja
3	Niska	Visoka
1	Vrlo niska	Vrlo visoka

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

#### 3.2. Normalizacija matrice odlučivanja

Za normalizaciju matrice odlučivanja  $R_{ij}=(r_{ij})_{m \times n}$  koristimo metodu normalizacija vektora:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

#### 3.3. Formalizacija težinske normalizovane matrice odlučivanja

Težinska normalizovana matrica  $V$  dobijena je kao proizvod normalizovane matrice  $R_{ij}=(r_{ij})_{m \times n}$  sa težinskom matricom kriterijuma  $W_j$ :

$$V = W_j \cdot R_{ij}, \quad V = v_{ij} = w_j \cdot r_{ij},$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) (\sum_{j=1}^n w_j = 1).$$

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

#### 3.4. Određivanje idealnog i negativnog idealnog rešenja

Vrši se formiranje pozitivno idealnog PIS i negativno idealnog NIS rešenja.

$$PIS = A_+ = \{v_{1+}, v_{2+}, \dots, v_{n+}\},$$

gde je

$$V_{j+} = \{(\max(v_{ij}) \text{ if } j \in J_+), (\min(v_{ij}) \text{ if } j \in J_-)\}$$

$$NIS = A_- = \{v_{1-}, v_{2-}, \dots, v_{n-}\},$$

gde je

$$V_{j-} = \{(\min(v_{ij}) \text{ if } j \in J_+), (\max(v_{ij}) \text{ if } j \in J_-)\}$$

i  $J_+$  udružen sa korisnim atributima a  $J_-$  je povezan sa nekorisnim atributima.

#### 3.5. Određivanje Euklidskog rastojanja alternativa od idealnog i negativno idealnog rešenja

Udaljenost alternative od idealnog rešenja je:

$$d_i^+ = \left( \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right)^{\frac{1}{2}}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4)$$

Udaljenost alternative od anti-idealnog rešenja:

$$d_i^- = \left( \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right)^{\frac{1}{2}}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (5)$$

#### 3.6. Određivanje koeficijenta relativne bliskosti idealnog rešenja

Računanje relativne bliskosti alternative idealnom rešenju vrši se:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}; \quad 0 \leq C_i \leq 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (6)$$

### 3.7. Izbor najbolje alternative ili rangiranje alternativa

U ovom koraku vrši se rangiranje alternativa  $C_i$ . Rangiranje vrednosti  $C_i$  pravi se poređenjem u opadajući niz (od najveće do najmanje vrednosti).

$C_i = 1$  ako i samo ako alternativa je pozitivno idealno rešenje (najbolja alternativa);

$C_i = 0$  ako i samo ako alternativa je negativno idealno rešenje (najlošija alternativa).

## 4. ANALIZA IZBORA

Prilikom izbora izvođača metode remedijacije na jednom braunfield području u Srbiji, a na osnovu prethodno utvrđenog stepena kontaminacije tla i vrste zagađivača, u obzir je uzeto nekoliko kompanija koje se na teritoriji zemlje aktivno bave građevinskim i geotehničkim radovima, koji uključuju i sprovođenje radova na remedijaciji zagađenih zemljišta: „MEGRA Beograd“, „Brem Group Beograd“, „Dekonta d.o.o. Beograd“, „BMD BAU d.o.o. Beograd“, „Miteco Knjaževac“, „Expert Inženjering d.o.o. Šabac“ i „Hi-Tech ltd Beograd“. Nakon toga postignuta je saglasnost za formiranje užeg izbora koji su činile četiri kompanije, ali između njih nije mogla da se donese optimalna odluka o izboru jednog izvođača remedijacije.

Za potrebe izbora najoptimalnijeg izvođača radova od četiri ponudene alternative (u radu će biti označene kao A, B, C i D) korišćena je matematička metoda TOPSIS. Poređenje izvođača remedijacije izvršeno je u odnosu na nekoliko relevantnih kriterijuma koje donosioci odluka trebaju uzeti u obzir, a koji imaju sledeće oznake:

$K_1$  - Dostupnost usluga koje kompanija nudi i koje su u skladu sa stvarnim potrebama predmetnog područja (određene vrste zagađivača moguće je dekontaminirati tačno definisanim metodama remedijacije);

$K_2$  - Cena izvođenja radova remedijacije (i transporta ukoliko je metoda ex-situ tipa);

$K_3$  - Iskustvo u oblasti remedijacije zemljišta braunfield područja (adekvatne reference);

$K_4$  - Reputacija kompanije u društvu i široj javnosti;

$K_5$  - Godine iskustva u radu na remedijaciji zagađenog zemljišta;

$K_6$  - Dostupnost informacija o radu i uslugama preko internet portala.

Tabela 2. predstavlja zavisnost ocena kriterijuma koji se uzimaju u obzir prilikom izbora izvođača radova i formirana je kao matrica poređenja. Tabela pokazuje da je na primer dostupnost usluga kompanije važnija od njenog iskustva u oblasti izvođenja remedijacije zemljišta sa relevantnom važnošću 3, odnosno od

godina iskustva sa relevantnom važnošću 5. S obzirom da je  $CR=0.022 < 0.10$  matrica poređenja je konzistentna.

Tabela 2. Tabela poređenja kriterijuma po značaju kod izbora izvođača remedijacije

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	W
$K_1$	1	2	3	4	5	5	0.38
$K_2$	1/2	1	2	3	4	4	0.25
$K_3$	1/3	1/2	1	2	3	3	0.16
$K_4$	1/4	1/3	1/2	1	2	2	0.10
$K_5$	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	0.07
$K_6$	1/5	1/4	1/3	1/2	1/2	1	0.05

$CI=0.027$ ,  $CR=0.022 < 0.10$

Tabela 3. predstavlja kvalitativno upoređivanje alternativa u odnosu na prethodno navedene kriterijume. Pri tom, na primer, izvođač A nudi sve vrste usluga u pogledu tipova metoda remedijacija zemljišta, izvođači B i C većinu, dok izvođač D pruža usluge za usko ograničene tipove metoda remedijacije zemljišta. Sa aspekta cene, najpovoljnije su alternative B i D dok su cene usluga izvođača A najskuplje. Najveće iskustvo sa aspekta izvedenih radova u oblasti remedijacije zemljišta braunfield područja ima izvođač A, a najmanje izvođači C i D. Alternativa A i C prednjače u pogledu godina iskustva u radu, dok znatno manje iskustvo poseduju kompanije označene kao B i D. Najbolju reputaciju ima alternativa C, a najmanju alternativa D. Dostupnost informacija preko internet portala najpogodnija je kod izvođača B, dok je kod ostalih u većoj ili manjoj meri ograničena.

Tabela 3. Tabela poređenja alternativa u odnosu na kriterijume

	A	B	C	D
$K_1$	sve metode	većina metoda	većina metoda	malo metoda
$K_2$	visoka	niska	srednja	niska
$K_3$	veliki broj referenci	srednji broj referenci	mali broj referenci	mali broj referenci
$K_4$	optimalna	optimalna	odlična	slaba
$K_5$	25 godina	10 godina	25 godina	<10god.
$K_6$	srednja	odlična	slaba	slaba

## 6. ZAKLJUČAK

Jedan od vodećih izazova planiranja i razvoja urbanih područja u XXI veku predstavlja problem pojave braunfield područja u urbanim matricama gradova kao i potreba za njihovim adekvatnim tretiranjem. Obnova braunfilda smatra se značajnim mehanizmom održivog razvoja koji prvenstveno štiti životnu sredinu i zdravlje ljudi, čuva graditeljsko nasleđe i pospešuje ekonomski

rast okoline. U toku procesa obnove područja neophodno je izvršiti njegovu sanaciju i remedijaciju zagađenog zemljišta kako bi se stvorili ekološki uslovi za ponovno korišćenja lokacije. Pored izbora adekvatne metode remedijacije koja treba uspešno da odgovori na prisutna zagađenja u tlu, donosioci odluka moraju da se opredele i za građevinsku firmu koja će preuzeti na sebe odgovornost i biti zadužena za sprovođenje odabranog postupka remedijacije. U cilju pronalazjenja najoptimalnijeg rešenja kod izbora izvođača remedijacije zemljišta braunfield područja u Srbiji, izvršeno je poređenje četiri kompanije kao alternativnih rešenja A, B, C i D u odnosu na zadate kriterijume: dostupnost usluga koje kompanija obavlja, cena izvođenja radova, iskustvo u oblasti remedijacije, reputacija kompanije i godine rada, dostupnost informacija na internet portalima. Kvantitativno poređenje alternativa izvršeno je korišćenjem matematičke metode višekriterijumske analize TOPSIS. Rezultati istraživanja prikazani su u tabeli 4. U poslednjoj koloni nalaze se odgovarajući težinski koeficijenti. Rezultati pokazuju da dominantnu prednost ima alternativa (građevinska firma) B, dok najmanji značaj ima alternativa D.

Table 4. Tabela poređenja alternativa u odnosu na kriterijume

	KRITERIJUMI						
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	W
A	1	5	1	3	1	3	0.597
B	3	1	3	3	3	1	0.623
C	3	3	5	1	1	5	0.491
D	5	1	5	5	5	5	0.393

Sprovedeno istraživanje pokazuje da se predloženi model zasnovan na primeni TOPSIS matematičke metode višekriterijumske analize, može uspešno primenjivati u procesu donošenja odluka u vezi sa remedijacijom tla prilikom obnove braunfield područja.

## 7. ZAHVALNICA

Istraživanje je sprovedeno uz podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, TR 36045, 174022.

## LITERATURA

- [1] Perović S, Kurtović-Folić N. Braunfield regeneracija imperativ za održivi razvoj, *Građevinar*, Vol. 5, pp. 373-383, 2012.
- [2] Tang Y. T, Nathanail P. C, Sticks and Stones: The Impact of the Definitions of Brownfield in Policies on Socio-Economic Sustainability, *Sustainability*, Vol. 4, pp. 840-862, 2012.
- [3] CLARINET. *Brownfields and Redevelopment of Urban Areas - A Report from the Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies*, Umweltbundesamt, Vienna, 2002.
- [4] Marković Đ, Đarmati S, Gržetić I, Veselinović D, *Fizičko-hemijski osnovi zaštite životne sredine-Izvori zagađivanja, posledice i zaštita*, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1996.
- [5] Norrman J, Volchko Y, Hooimeijer F, Maring L, Kain JH, Bardos P, Broekx S, Beames A, Rosen L, Integration of the subsurface and the surface sectors for a more holistic approach for sustainable redevelopment of urban brownfields, *Science of the Total Environment*, Vol. 563-564, pp. 879-889, 2016.
- [6] Beškovski V, Gojgić-Cvijović G, Milić J, Ilić M, Miletić S, Jovančević B, Vrvic M, Bioremedijacija zemljišta kontaminiranog naftom I naftnim derivatima - mikroorganizmi, putanje razgradnje tehnologija, *Hemijska industrija*, Vol. 66, pp. 275-289, 2012.
- [7] Kisić I, *Sanacija onečišćenog tla*, Agronomski fakultet Sveučelišta u Zagrebu, Zagreb, 2012.
- [8] Milošević M, Milošević D, Stanojević A, Milošević A. The choice of soil remediation methods in brownfield regeneration process by MCDA, in *Proceedings 5<sup>th</sup> International Scientific Conference Contemporary achievements in civil engineering 2017*, Subotica, Serbia, pp. 553-562, 21 April 2017.
- [9] Singh A, Ward O, *Applied Bioremediation and Phytoremediation*, Springer Science and Business Media, Berlin, 2004.
- [10] Beames A, Broekx S, Lookman R, Touchant K, Seuntjens P, Sustainability appraisal tools for soil and groundwater remediation: How is the choice of remediation alternative influenced by different sets of sustainability indicators and tool structures, *The Science of the Total Environment*, Vol. 470-471, pp. 954-966, 2014.
- [11] Miljuš M, Vujošević M, Relation towards brownfield sites in the urban planning strategies, in *Proceedings 2<sup>nd</sup> International Scientific Conference Regional development, spatial planning and strategic governance RESPAG 2013*, Belgrade, Serbia, pp. 150-159, 22-25 May 2013.
- [12] Stojanović B, Maričić T, Kritički osvrt na realizaciju Plana zaštite životne sredine u okviru implementacije PPRS, *Monografsko izdanje Neki aspekti održivog prostornog razvoja Srbije*, Institut za arhitekturu i urbanizam, Beograd, Srbija, pp. 35-45, 2009.
- [13] Perić A, Maruna M, Predstavnicu društvene akcije u procesu regeneracije priobalja - slučaj braunfield lokacije „Luka Beograd“, *Sociologija i prostor*, Vol. 192, No. 1, pp. 61-88, 2012.



- [14] <https://www.blic.rs/vesti/beograd/ada-huja-potencijal-koji-beograd-ne-sme-da-protraci/sfddt50> (pristupljeno 14.06.2018.)
- [15] Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine. *Izveštaj o stanju zemljišta u Republici Srbiji za 2012. godinu*, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, 2013.
- [16] Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine. *Izveštaj o stanju zemljišta u Republici Srbiji za 2015. godinu*, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, 2017.
- [17] Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine. *Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2016. godinu*, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, 2017.
- [18] Uredba o utvrđivanju kriterijuma za određivanje statusa ugrožene životne sredine i prioriteta za sanaciju i remedijaciju, Sl. Glasnik RS br. 22/2010.
- [19] Hwang C. L, Yoon K, Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, a State of the Art Survey, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, No. 186, Springer-Verlag, New York, 1981.
- [20] Maliki A, Owens G, Bruce D. Combining AHP and TOPSIS Approaches to Support Site Selection, *IP-CBEE*, Vol. 37, pp. 1-8, 2012.
- [21] Alnaser N. W, Flanagan R, Alnaser W. E, Model for calculating the sustainable building index SBI in the kingdom of Bahrain, *Energy and Buildings*, Vol. 40, pp. 2037-2043, 2008.
- [22] Hanafi T, Abou-El-Enien M, On the Solution of a Special Type of Large Scale Integer Linear Vector Optimization Problems with Uncertain Data through TOPSIS Approach, *International Journal Contemporary Mathematic Sciences*, Vol. 6, No. 14, pp. 657-669, 2011.
- [23] Samantha B, Mukherjee S. K, *Selection of opencast mining equipment by multi-criteria decision making process*, Institute of Mining and Metallurgy, Australia, 2002.

## SUMMARY

### TOPSIS OPTIMIZATION FOR THE CHOICE OF SOIL REMEDIATION CONTRACTOR IN SERBIA

*Environmental projects are being intensively invested in recent decades due to the ecological context of sustainability. Besides, construction practice has been actively focused on solving the issue of abandoned industrial, military and others complexes marked as brownfield areas, and creating opportunities for their reuse. Brownfields often represent landfills and former industrial plants so during the renewal process it is necessary to carry out soil remediation and remove pollution that poses a threat to the environment and people. Various economic, social and political transitional changes, as well as citizens' negligence, have led to the formation of a large number of brownfields in Serbia. Due to insufficient social awareness about the importance and need for brownfields reconstruction, their regeneration process is usually limited to the decontamination of highly polluted soil using appropriate remediation methods. Modern science offers a wide range of remediation technologies, but the question of choosing the soil remediation contractor is crucial, as it affects the overall amount of investment costs and the rehabilitation success. The paper aims to enable decision-makers to determine, based on established criteria, the optimal alternative in terms of choosing the contractor for brownfield soil remediation by TOPSIS mathematical method, using the Mathematica software package.*

**Key words:** brownfield, soil remediation, contractor of remediation, Serbia, multi-criteria analysis, TOPSIS