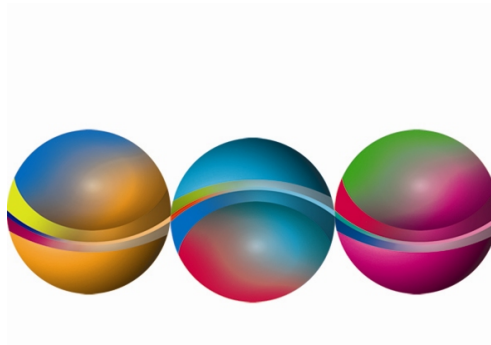


**ЗБОРНИК РАДОВА**  
**15. КОНГРЕСА ГЕОЛОГА СРБИЈЕ**  
**СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ**

**PROCEEDINGS**  
**OF THE 15TH CONGRESS OF GEOLOGISTS OF**  
**SERBIA WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION**



**Београд / Belgrade 2010**

ЗБОРНИК РАДОВА 15. КОНГРЕСА ГЕОЛОГА СРБИЈЕ  
СА МЕЂУНАРОДНИМ УЧЕШЋЕМ

PROCEEDINGS OF THE 15TH CONGRESS OF GEOLOGISTS OF  
SERBIA WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION

Београд / Belgrade, 26-29. 05. 2010

**Издавач / Publisher**

Српско геолошко друштво, Каменичка 6., п.фах 227, Београд  
Serbian Geological Society, Kamenicka 6, P.O.B. 227, Belgrade

**Техничка припрема / Technical preparation**

Ненад Малешевић

**Тираж / Copies**

500

**Штампа / Printed by**

JOVŠIĆ PRINTING CENTAR

ISBN 978-86-86053-08-4

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

55(082)  
624.13(082)

КОНГРЕС геолога Србије са међународним учешћем (15 ; 2010 ; Београд)  
Зборник радова 15. конгреса геолога Србије са међународним учешћем,  
Београд, [26-29 мај] 2010. = Proceedings of the 15th Congress of Geologists of  
Serbia with International Participation, Belgrade [26-29 May] 2010 /  
главни уредник, editor-in-chief Ненад Бањац ; уредници, editors Александра  
Маран [и др.] ; [организатори, organizers Српско геолошко друштво ... и др.] -  
Београд : Српско геолошко друштво = Serbian Geological Society, 2010  
(Београд : Jovšić Printing Centar). - [3], XI, 736 стр. : илустр. ; 30 cm  
Део текста упоредо на срп. и енгл. језику. - Радови на срп. и енгл. језику. -  
Тираж 500. - Напомене уз текст. - Стр. [2-3]: Предговор /уредници = Preface  
/editors. - Библиографија уз сваки рад.

ISBN 978-86-86053-08-4

1. Српско геолошко друштво (Београд)  
а) Геологија - Зборници б) Инжењерска геологија - Зборници  
COBISS.SR-ID 175362060

## Квантификација инжењерскогеолошких чинилаца за избор најповољније трасе саобраћајнице применом ГИС технологије

### Quantification of Engineering Geological Factors for the Purpose of Optimal Road Route Selection

УРОШ ЂУРИЋ<sup>1</sup>

**Апстракт.** У овом раду инжењерско геолошки фактори који утичу на услове градње путева, анализирани су коришћењем ГИС технологије, засноване на методологији више-критеријумске анализе која је развијена од стране стручњака из Института за путеве из Београда. Испитани су и анализирани следећи фактори: геолошка структура, стабилност терена, рељефа (нагиб површине терена), стишљивост терена, услови земних радова, хидролошке и хидрогеолошке карактеристике стенске масе у испитиваним областима. Вишекритеријумска анализа је урађена у ГИС окружењу и састоји се пре свега од математичких операција са растером. Јединичним пољем растерских докумената који се користе у анализи смањена је величина пиксела на 10×10 m. Као резултат анализе, направљена је карта изолинија утицаја ових фактора, на основу које се врши процена и избор најбољег пута путу у долини реке Лим, јужно од Пријеполја између Велика Жупа и Лучица.

**Кључне речи:** Инжењерска геологија, ГИС-а, вишекритеријумске анализе.

**Abstract.** In this paper the engineering geological factors, affecting the conditions of construction of roads, were analyzed using GIS technology, based on the methodology of multi-criteria analysis which was developed by experts of the Highway Institute, Belgrade. In particular, the following factors were examined and analyzed: geological structure, stability of terrain, relief (slope of the terrain surface), compressibility of terrain, conditions of performance ground works, hydrological and hydrogeological characteristics of the cliffs mass in investigated area. Multi-criteria analysis was performed in a GIS programming environment and primarily comprised of mathematical operations with rasters. Unit field of raster documents used in the analysis reduced the pixel size of 10×10 m. As a result of the analysis, individual and total isoline-map of influence these factors were made, based on which the assessment is made and the selection of the best road route in the valley of the Lim River, south of the Prijepolje between the Velika Župa and the Lučica.

**Key words:** Engineering Geology, GIS, Multicriteria Analysis.

## Увод

„Информациони бум“ је, између осталих, захваћено и геолошке науке. Он се догодио као последица великог броја информација које није могуће мануелно довољно брзо, прецизно и поуздано обрађивати. Услед тога, и пред геолозима се појавио проблем у виду прикупљања, чувања, предаје и обраде информација и усвајање квалитетних решења са великом вероватноћом и што мањом могућности грешке. Да би научник-истраживач био у могућности да брзо и ефикасно обради велику количину прикупљених података и на основу њих направи циљане анализе, наметнула са потреба за увођењем

географских информационих система (ГИС). ГИС је према општој дефиницији *скупи информационо-рачунарска алатија и корисничке програмске подршке у сврху прикупљања, организовања, руковања, анализе, моделовања и приказа података са циљем решавања сложених проблема пројектовања и планирања* DAVIS (1973). Треба имати у виду, да компјутерска обрада геолошких информација не „заменује“ геолога, већ само припрема информације за усвајање решења, при чему су информације после обраде на компјутеру поједностављене.

У овом раду су приказане могућности коришћења ГИС-а да анализира инжењерскогеолошке чиниоце који су меродавни приликом одабира

<sup>1</sup> Рударско-геолошки факултет, Бушина 7, 11000 Београд. E-mail: djuric@rgf.bg.ac.rs

најповољније варијанте трасе саобраћајнице. Саобраћајнице представљају линијске објекте који повезују насеља. Поред тога оне су и мерило економског развоја неког места, регије и државе. Објекти на саобраћајницама заузимају велику површину терена, па је зато приликом њиховог пројектовања неопходно обратити пажњу да оне буду функционалне у сваком погледу: да приликом њихове изградње природна околина буде нарушена у што мањем опсегу, да буду безбедне али и да буду изграђене што економичније. Сходно томе, инжењерскогеолошки услови изградње саобраћајница представљају основне чиниоце који утичу на одабир најповољније трасе саобраћајнице. Инжењерскогеолошка истраживања се врше у првим фазама и као таква су веома важна за одабир економичног и функционалног решења. У пракси, резултати добијени током инжењерскогеолошких истраживања се најчешће приказују специјалистичким, инжењерскогеолошким картама које чине основну подлогу при пројектовању саобраћајнице.

Оправданост приступа анализи инжењерскогеолошких података применом ГИС технологије је вишеструка. За кратко време могу се обавити вишеструке анализе према различитим критеријумима, док је омогућено и стручњацима који нису геолошке струке да користе добијене податке и да овај проблем сагледају из различитих углова. Подаци добијени оваквим приступом имају висок степен компатибилности са подацима из других струка (нпр. са урбанистичким плановима и сл.).

## Истраживано подручје

За пилот-подручје одабрана је долина реке Лим у Србији, јужно од Пријепоља на потезу између Велике Жупе и Лучица. Подручје је интересантно за анализу из више разлога: терен обилује различитим морфолошким облицима на малом растојању, променама нагиба површине терена, разноликошћу геолошке грађе и заступљености различитих творевина савремених геодинамичких процеса (клизишта, одрона, сипара, тецишта итд.) Управо ови чиниоци имају највећи утицај на подобност терена за изградњу саобраћајница. Осим наведеног, подручје истраживања је интересантно јер је приликом изградње пруге Београд-Бар, на овом месту дошло до недоумица којом трасом би било најповољније премостити реку. То је био још један разлог одабира ове деонице за пилот подручје примене ГИС технологије у анализи инжењерскогеолошких чиниоца за одабир најповољније трасе саобраћајнице. У оптицају је било више траса, на жалост одабрано решење које је изведено није се показало оправданим, јер је убрзо по експлоатацији пруге дошло до деформација мостовских стубова и њиховог померања. Због неповољних инжењерскогеолошких

услова ЈЕВРЕМОВИЋ *и др.* (1984) и чињенице да је један стуб фундиран у клизној зони, а други стуб је фундиран у речном циновском лонцу (што доводи до његовог померања услед струјања реке) коришћење пруге на овој деоници је знатно ограничено и небезбедно. Било је неколико покушаја санације моста, међутим резултати су изостали па је у оптицају измештање трасе пруге у овом делу, јер су железничке композиције принуђене на кретање ограниченом брзином преко моста од само 15 km/h. У раду је између осталих варијанти траса анализирана и постојећа траса железничке пруге као и траса постојећег пута па је могућност упоређивања резултата допринела квалитету анализе добијених резултата.

## Примењена методологија

Моделски приступ у овом раду обухвата моделовање базирано на: анализи, синтези и генерализацији података. Њиховом комбинаториком, добија се крајњи резултат – карта подобности терена за изградњу саобраћајница. Карта је послужила као основа за додатну линеарну анализу (преклапањем са векторским објектима - трасама саобраћајница), у циљу добијања параметра подобности за изградњу пројектоване трасе. Да би се добила квалитетна решења пожељно је да модел не буде поједностављен, како добијени резултати не би били сувише генерализовани, а са друге стране ни превише сложен, чиме би се довела у питање његова практична примена VOŽENÍLEK (2000).

Израда модела подобности терена за изградњу саобраћајница је процес који се састоји од неколико сукцесивних фаза:

- анализа и избор инжењерскогеолошких чинилаца меродавних за услове грађења и експлоатације саобраћајница,
- вредновање одабраних чинилаца,
- класификација изабраних чинилаца,
- припрема података за рад у програмском окружењу,
- израда модела на основу одабраних чинилаца,
- анализа модела и прорачун коефицијента подобности пројектованих траса,
- визуелизација модела.

## Избор и анализа инжењерскогеолошких чинилаца

Инжењерскогеолошки услови знатно утичу на извођење грађевинских радова. Искусствено је показано да изразито неповољни инжењерскогеолошки услови у односу на изразито повољне могу да повећају трошкове изградње и до 10 пута, па је оправданост овакве вишепараметарске анализе за

утврђивање оптималне трасе саобраћајнице од великог значаја.

Анализирани чиниоци у овом раду су усвојени од стране стручњака Института за путеве на основу искуства и изведеног анкетирања стручњака из области инжењерске геологије и нискоградње. Иако се у циљу побољшања модела чиниоци могу мењати у складу са литературом, консултацијама са стручњацима и инвеститором, у овом раду су третирани само усвојени меродавни чиниоци како би се формирао најподобнији могући модел за анализу.

Усвојени инжењерскогеолошки чиниоци који утичу на услове грађења саобраћајница су: 1) стабилност терена, 2) рељеф терена, 3) стишљивост терена, 4) хидролошки и хидрогеолошки услови и 5) услови извођења земљаних радова. **Стабилност терена** је изабрана као меродаван чинилац, јер нестабилни терени задају велике тешкоће приликом грађења, као и што свака деформација терена изазива у одређеној мери, оштећења на саобраћајницама. Терени са развијеним геодинамичким процесима (клизиштима, сипарима, бујицама и сл.) захтевају израду скувих санационих или заштитних објеката (потпорних зидова, дренаже и сл), а не ретко и градњу посебних објеката у случају немогућности санације терена (мостове, вијадукте и сл). **Рељеф терена** (нагиб) је други битан чинилац јер се са повећањем нагиба и разуђености рељефа, повећава и обим земљаних радова (усека и насипа), али и објеката које треба изградити: пропуста, тунела, мостова, заштитних конструкција, берми, што значајно утиче на трошкове градње саобраћајница. **Стишљивост терена** је такође битан чинилац, јер слабо носива тла представљају велику природну препреку приликом градње. Да би се постигао задовољавајући квалитет коловозне конструкције на стишљивој подлози, неопходно је повећање њених димензија, али и побољшања квалитета материјала у постелици што може захтевати употребу геосинтетика или експропријацију већих делова терена, а самим тим и повећање трошкова градње. **Хидролошки и хидрогеолошки** чиниоци су одабрани јер присуство воде на самој површини терена или у непосредној близини утиче на изградњу саобраћајница на више начина. Неповољност се огледа у потреби извођења додатних грађевинских радова, како би се одстранио утицај воде на конструкцију и то најчешће у виду извођења каптаже извора, пиптевина, дренаже, одводних канала и сл. Овај чинилац није значајан у мери у којој су претходна три јер извођење ових објеката изискује мање материјалне трошкове. **Услови извођења земљаних радова** су релевантни јер савремена технологија грађења захтева потпуно коришћење механизације при извођењу земљаних радова, зато присуство тврдых, чврстих или жилавих стена у терену приликом градње саобраћајница поскупљује и успорава радове због промене начина и технологије грађења.

## Вредновање одабраних чинилаца

Да би се израдио модел подобности терена за изградњу, сваки одабрани чинилац је неопходно изразити процентуалним уделом његовог изразито неповољног утицаја на трошкове грађења саобраћајнице. На основу искуства и спроведене анкете учешће сваког анализираниг чиниоца се може изразити следећим процентуалним учешћем:

1. стабилност терена – 35%
2. рељеф терена – 30%
3. стишљивост терена – 25%
4. хидрогеолошке карактеристике терена – 5%
5. услови извођења земљаних радова – 5%

Треба узети у обзир да ће у различитим геолошким срединама владати различити процентуални односи ових параметара, па ће тако у равничарским пределима стишљивост и хидрогеолошке карактеристике терена имати већи удео у односу на стабилност и обрнуто. Управо зато у оквиру комплексног али и савременог приступа какав је ГИС није једноставно одлучити се за аналитички поступак и избор репрезентативног модела. Међутим, једноставност употребе растерских модела, намеће управо такав приступ, првенствено због улоге која им је намењена у овом раду, а то је могућност комбиновања различитих сетова података које истраживач доводи у корелацију, проценом њиховог утицаја на одређени феномен МАРЈАНОВИЋ (2008) – у овом раду конкретно на подобност терена за услове изградње саобраћајница. Такође је битно напоменути да се у литератури и у стручној јавности могу срести различита мишљења о томе колики је процентуални удео сваког од поменутих чинилаца на трошкове грађења саобраћајница. Коришћењем ГИС технологије могућа је брза анализа различитих параметара по дефинисаном моделу и према различитим критеријумима за исти модел, што омогућава упоредну анализу добијених резултата.

## Класификација изабраних чинилаца

Како би се добио репрезентативан модел терена, било је неопходно класификовати индивидуалне чиниоце. У овом раду, класификација је извршена визуелним анализирањем инжењерскогеолошке карте истражног подручја БАЛИЋ (1971). Сваки издвојени чинилац је подељен на пет категорија које дефинишу услове градње. (табела 1). На основу поделе из табеле 1, извршена је дигитализација појединачних чиниоца, чиме су добијене четири тематске карте које су трансформисане у растерски облик како би са њима могле да се врше математичке операције. Пета карта, карта нагиба терена, је добијена на основу дигиталног елевационог модела (ДЕМ) над којим је у ArcGIS програму извршена операција *SLOPE*. На тај начин добијена је

карта нагиба површине терена изражена у степенима. Над таквом картом је извршена рекласификација тако да су степени нагиба сведени на пет категорија које су приказане у табели 1 (ред *нагиб терена*). ДЕМ је израђен на основу векторизованих изохипси које су исцртане са топографске основе и над којима је у програму извршена интерполација Кригинг методом.

уделом сваког чиниоца и на крају су сабрани чиме је добијена финална карта укупног утицаја инжењерскогеолошких чинилаца за изградњу саобраћајнице. Финална карта теоретски може да има вредности пиксела у распону од 100 (што представља најповољније услове за изградњу саобраћајнице до 500 (најнеповољнији услови), док су раду добијене вредности пиксела у опсегу од 110 до 405, што пока-

Табела 1. Категоризација инжењерскогеолошких чинилаца према условима градње

МЕРОДАВНИ ЧИНИЛАЦ	КАТЕГОРИЗАЦИЈА ИГ ЧИНИЛАЦА ПРЕМА УСЛОВИМА ГРАДЊЕ				
	1	2	3	4	5
Стабилност терена	изразито стабилан	стабилан	лабилан	умерено нестабилан	изразито нестабилан
Нагиб терена	равничарски (0–5°)	брежуљкасти (5°–10°)	Брдовит (10°–25°)	Нископланински (25°–45°)	Високопланински (>45°)
Хидрогеолошка својства терена	врло дубок н.п.в. (>10 m)	дубок н.п.в. (5–10 m)	умерено дубок н.п.в. (3–5 m)	плитак н.п.в. (1–3 m)	врло плитак н.п.в. (0–1 m)
Стишљивост терена	практично нестишљив $M_c > 40$ Мра	умерено стишљив $M_c: 5–40$ Мра	веома стишљив 0-5 МРа дљбине стиш, наслага до 3 m	веома стишљив 0-5 МРа дљбине стиш, наслага: 3-10 m	веома стишљив 0-5 МРа дљбине стиш, наслага > 10 m
Услови извођења земљаних радова	поптуно механизовано	риповањем и повременим минирањем	минирањем у меком камену	минирањем у тврдом камену	минирањем у врло тврдом камену

### Припрема података за рад у програмском окружењу

За сваки чинилац појединачно (осим за карту нагиба), на основу анализе инжењерскогеолошке карте у ArcGIS-у исцртана је карта утицаја на услове изградње саобраћајнице са вредностима пиксела у распону до 1–5 тако да вредност сваког пиксела одговара категоризацији из табеле 1. Све карте су извезене (експортиране) у растерски (TIFF) формат како би се омогућила опција сабирања растера коришћењем алата *RASTER CALCULATOR*. Предложене трасе саобраћајнице су представљене линијама па су као такве дигитализоване у посебним векторком формату. На овај начин је добијен сет од пет растерских карата и један линијски векторки (\*.shp) фајл.

### Израда модела на основу одабраних чинилаца

Карта скупног утицаја наведених параметара је добијена сабирањем растерских карата (слика 1) у алату *RASTER CALCULATOR* према следећој једначини:

$$35b(1)+30x(2)+25x(3)+5x(4) + 5x(5) = (6).$$

Вредности пиксела (који су у распону од 1–5) сваке карте су помножени са процентуалним

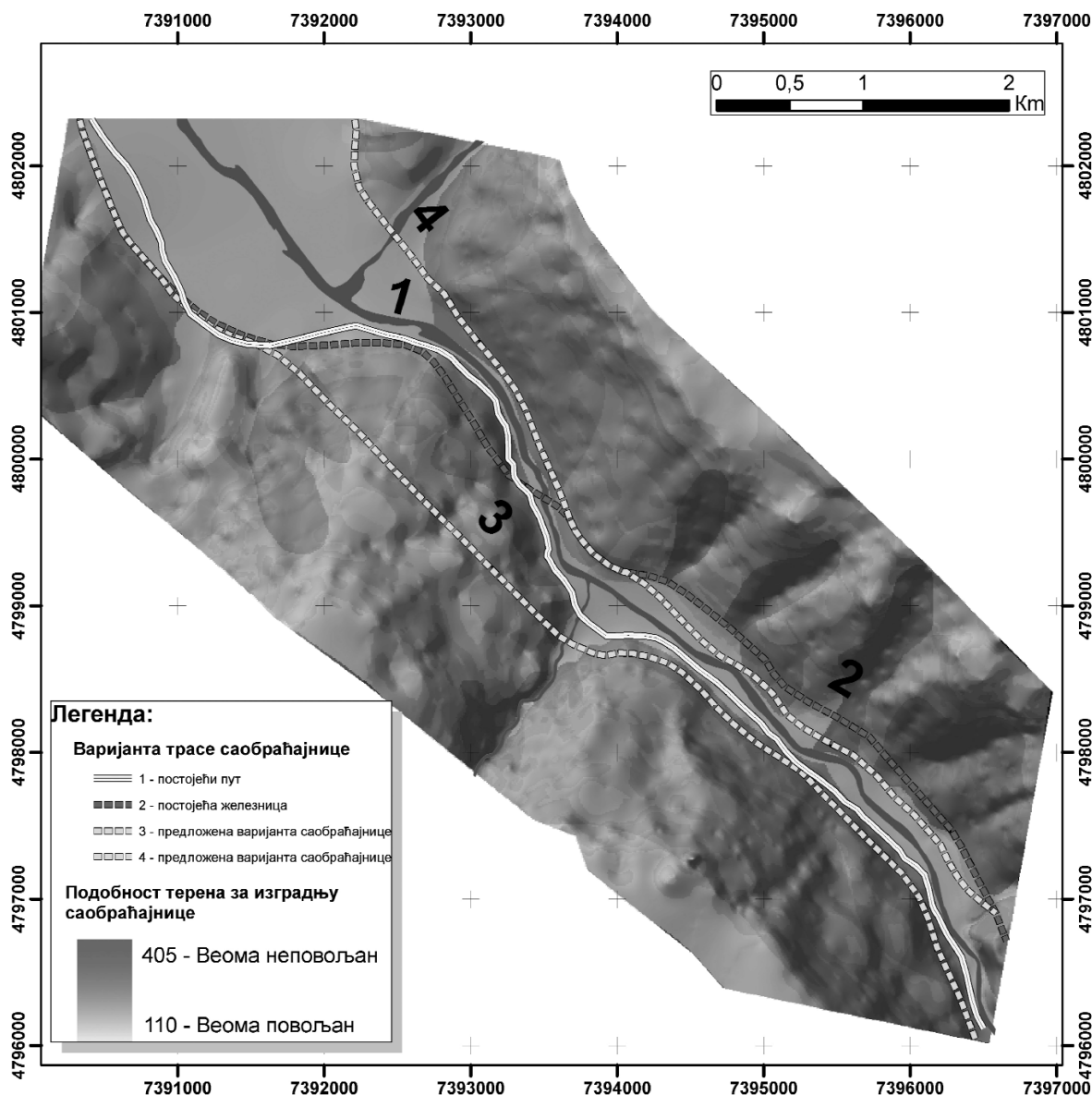
зује да у терену владају умерено повољни до неповољни услови изградње саобраћајнице.



Сл. 1. Шематски приказ растерског сабирања карата  
Fig. 1. Raster calculation diagram

### Анализа модела и прорачун коефицијента подобности пројектованих траса

Добијена финална карта скупног утицаја послужила је као подлога за прорачун коефицијента подобности пројектованих траса саобраћајнице. Коефицијент представља збир свих пиксела по



Сл. 2. Карта скупног утицаја инжењерскогеолошких чинилаца за изградњу саобраћајница  
 Fig. 2. Isoline-map of engineering-geological influence factors on building roads

траси саобраћајнице подељен са дужином трасе. Коefицијент је добијен коришћењем додатног алата за ГИС - *LINE RASTER INTERSECTON STATISTICS*. Овај алат омогућава да се траса саобраћајнице (представљена векторски) анализира у односу на растер, тј. омогућава сабирање вредности свих пиксела преко којих прелази линија и рачуна средњу вредност свих пиксела по траси према једначини (**Length weighted mean**):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \times v}{L}$$

где је:  $l$  – дужина сегмента трасе,  $v$  – вредност пиксела и  $L$  – укупна дужина трасе

На овај начин се добија коефицијент подобности пројектоване трасе и он се читава из табеле атрибута векторског документа у ком су исцртане трасе саобраћајница.

У раду су анализиране четири различите трасе, од којих су две постојеће (изграђене) и две предложене. Добијени резултати су приказани у табели бр. 2

Најповољнији коефицијент има траса 1, тј. постојећи пут, док најнеповољнији има траса број 3. Овакви резултати су оправдани јер постојећи пут “пролази” великим делом долином реке, док би за реализацију трасе три морали бити изграђени тунели, препусти и мостови због конфигурације терена преко којег прелази али би морала и да се врши санација клизишта и нестабилних косина који су такође на тој траси. Железничка пруга има доста

Табела 2. Резултати анализе

бр. трасе	дужина L	коэффициент $\bar{x}$	напомена
1	9,6 km	188	постојећи пут
2	9,06 km	234	постојећа пруга
3	9,104 km	243	предложена траса
4	7,198 km	209	предложена траса

неповољан коефицијент у односу на постојећи пут и трасу број 3, што је такође оправдан резултат ако се у обзир узму потешкоће које су се јавиле приликом градње и експлоатације железничке пруге на овој деоници.

### Визуелизација Модела

Предност коришћења ГИС програма, поред коришћења алата за анализу је и веома брза, једноставна и квалитетна визуелизација модела са пратећим садржајем. У овом раду је финални модел приказан као карта скупног утицаја инжењерско-геолошких чинилаца за изградњу саобраћајница. Да би се добио инструктивнији тј. реалистичнији изглед карте, у програму ArcGIS је на основу ДЕМ-а урађена рељефна карта којој је претходно повећана транспарентност, чиме је карта добила псеудо тродимензионални изглед. На карти су приказани и положаји постојећих и предложених саобраћајница као и легенда (слика 2).

### Закључак

У путоградњи је од велике важности пажљиво анализирање варијанти траса саобраћајница и одабрање најпогодније са инжењерскогеолошког ас-

пекта. На тај начин се неповољне варијанте одмах на почетку, одбацују што доприноси рационалном пројектовању. Обзиром на велики број различитих информација, класичан приступ при њиховој обради захтева дуготрајан рад. Применом ГИС технологије тај недостатак је отклоњен. Осим тога, ГИС омогућује чување информација и њихово касније коришћење у било којој фази истраживања. Циљ овог рада је управо био да покаже предност ГИС-а у односу на класичан приступ вишекритеријумске анализе инжењерскогеолошких чинилаца при одабирању најпогодније варијанте саобраћајнице.

### Литература

- БАЛИЋ, Д., ГОЛГИЋ, Д. 1971. Утицај инжењерскогеолошких истраживања на избор трасе пруге Београд-Бар на делу од Пријепоља до Гостуна. *Симпозијум о изградњи њуџе Београд-Бар*, Златибор.
- VOŽENÍLEK, V. 2000. Landslide modeling for natural risk/hazard assessment with GIS. *Geographica, Acta Universitatis Carolinae*, 145–155.
- ЈЕВРЕМОВИЋ, Д. 2009. Методе инжењерскогеолошких истраживања. Материјали за полагање испита.
- ЈЕВРЕМОВИЋ, Д., СУНАРИЋ, Д., ЂОРИЋ, С. 1984. Приказ резултата новијих истраживања клизишта код моста Лим-2 у близини пријепоља. *Зборник реферата VIII Југословенског симпозијума о хидрогеологији и инжењерској геологији*, Будва.
- ЈОВАНОВИЋ, В., ВЛАХОВИЋ, М., ВУЛАНИЋ, В., ПРАХ, Л. 1977. Израда синтетских инжењерско-геолошких карата за избор најповољније варијанте ауто-путева. *Часопис института за њуџе*, Београд, 5–13.
- МАРЈАНОВИЋ, М. 2008. Моделовање утицаја својстава геолошке средине на стабилност северо-западних падина Фрушке Горе. Дипломски рад.
- FERHATBEGOVIĆ, E., KIKANOVIĆ, N., AVDIĆ, A. 2007. Valorizacija zemljišta u GIS-u u svrhu odabira optimalne trase. *Zbornik radova međunarodnog naučnog skupa "Uticaj prometa na regionalni razvoj Bosne i Hercegovine i susjednih zemalja"*.