

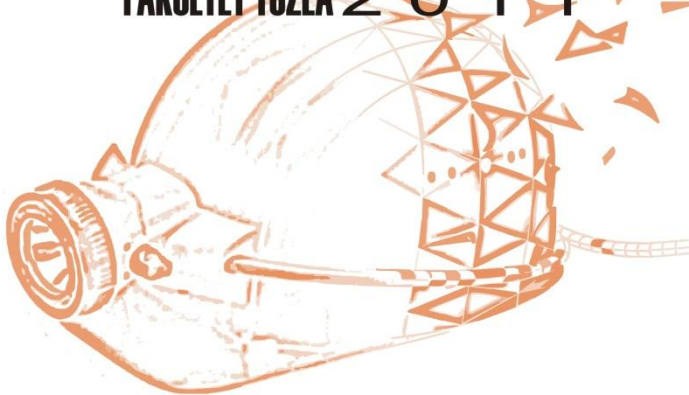


# Zbornik radova

Posebno izdanje Zbornika radova  
Rudarsko-geološko-građevinskog  
fakulteta Tuzla  
Broj XXXV  
Tuzla, 2011

**GEOREKS**

**RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKI  
FAKULTET TUZLA 2011**



**14. - 17. juni 2011.**

**Rudarsko-geološko-građevinski fakultet Tuzla  
Bosna i Hercegovina**

**Univerzitetska br. 2, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina [www.rggf.untz.ba](http://www.rggf.untz.ba)**

**ZBORNİK RADOVA**  
**RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRAĐEVINSKOG FAKULTETA U TUZLI**

**Posebno izdanje**

**IZDAVAČKI SAVJET**

*(Publishing council)*

Nastavno-naučno vijeće Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta

**UREĐIVAČKI ODBOR**

*(Editorial Board)*

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK

*(Editor in Chief)*

Dr.sc. Rijad Šišić, docent

UREĐIVAČKI ODBOR

*(Editorial Board)*

1. Dr.sc. Rijad Šišić, docent
2. Dr.sc. Elvir Babajić, docent
3. Ismail Durmić, studnet

TEHNIČKI UREDNIK

*(Technical Editor)*

Dr.sc. Rijad Šišić, docent

**ŠTAMPA**

*(Print)*

IN SCAN d.o.o. Tuzla

ISSN 1512-7044

*Uroš Đurić<sup>1</sup>, Branka Petrović<sup>2</sup>, Ana Gogić<sup>3</sup>*

## **PRIMENA DEM-A ZA MORFOMETRIJSKU ANALIZU KLIZIŠTA**

### **Rezime**

U ovom radu je prikazana mogućnost kvantitativne i kvalitativne analize morfometrijskih podataka o klizištu "Umka" na osnovu digitalnog elevacionog modela (DEM). Kvantitativna analiza je podrazumevala računanje osnovnih morfometrijskih elemenata klizišta: dužine, širine, površine i zapremine klizišta. Kvalitativna analiza podrazumevala je izradu i tumačenje karte nagiba padine kao i klasifikaciju klizišta na osnovu površine i zapremine klizišta, dubine klizenja i oblika klizne površine. Postupak morfometrijske analize DEM-a je sproveden u celosti unutar GIS softverskog okruženja na osnovu raspoloživih podataka ranijih istraživanja.

**Ključne reči:** DEM, morfometrija, analiza, klizište, Umka

## **DEM USAGE FOR LANDSLIDE MORPHOMETRIC ANALYSIS**

### **Summary**

In this paper Digital Elevation Model (DEM) is used for quantitative and qualitative landslide analysis. Quantitative analysis was conducted by counting basic morphometric parameters of landslide: length, wide, area and volume of landslide. Qualitative analysis was conducted by generation and explanation of landslide slope map. Landslide was aslo classified by: area and volume, landslide depth and shape of slide pane. Morphometric analysis of digital elevation model was committed inside of GIS software using possessed data from historic geotechnical site investigation.

**Key words:** DEM, morphometry, analysis, landslide, Umka

---

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, uros.djuric@rgf.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, , branka.petrovic88@yahoo.com

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, anag6070@hotmail.com

## **1. UVOD**

Morfometrijski podaci nose informaciju o veličinskim parametrima reljefa nekog terena, odnosno procesa u kojem je taj reljef nastao [6]. Osnovni morfometrijski parametri u tom smislu su: širina, dužina, visina, dubina pojedinih oblika (u ovom radu konkretno - dubina do klizne površi), apsolutna i relativna visina itd. Međutim, podjednako su važni svi ostali parametri koji na kvantitativan način iskazuju neko geomorfološko svojstvo kao i rezultati matematičko-statističke analize i interpretacije takvih parametara. Morfometrijski podaci, u najširem smislu, obuhvataju rezultate kvantitativne geomorfološke analize [6]. Od morfometrijskih podataka, jedan od bitnijih jeste nagib površine terena, na osnovu koga je moguće izvršiti kvalitativnu analizu stabilnosti terena.

Digitalni Elevacioni Model (DEM), se može predstaviti kao specijalni slučaj interpolovane neprekidne površi koji prikazuje promenu visine nekog terena iskazane dvodimenzionalnom matricom. Važno je naglasiti da DEM ne mora nužno da bude samo model visine površine terena, njime se može predstaviti i površina koja se nalazi ispod površine Zemlje npr: DEM podinskog ili povlatnog sloja uglja, DEM klizne površine itd. U literaturi se pored skraćenice DEM mogu naći i sledeći sinonimi: matrica visina, Digitalni Model Terena (DTM), Digitalni Model Reljefa (DMR).

DEM se može modelovati kao pravilna mreža (grid) tj. matrica visina, ili kao nepravilna triangulaciona mreža (eng; Triangular Irregular Network - TIN). DEM je moguće transformisati u TIN i obrnuto, dok pogodnost primene jednog od njih zavisi od tipa analize koju treba sprovesti, konkretno za potrebe ovog rada biće korišćena oba oblika.

U ovom radu su prikazane mogućnosti da se na osnovu postojećih topografskih osnova i podataka o dubini klizne površine (dobijenih geotehničkim istražnim bušenjem) mogu generisati DEM-ovi na osnovu kojih se može izvršiti kvantitativna morfometrijska i kvalitativna geomorfološka analiza klizišta. Kao rezultat kvantitativne morfometrijske analize na osnovu DEM-a dobijeni su sledeći podaci: dužina, širina, površina i zapremina klizišta i nagib površine terena dok je kao rezultat kvalitativne analize protumačena je karta nagiba padine i izvršena je klasifikacija klizišta na osnovu dobijenih kvantitativnih parametara.

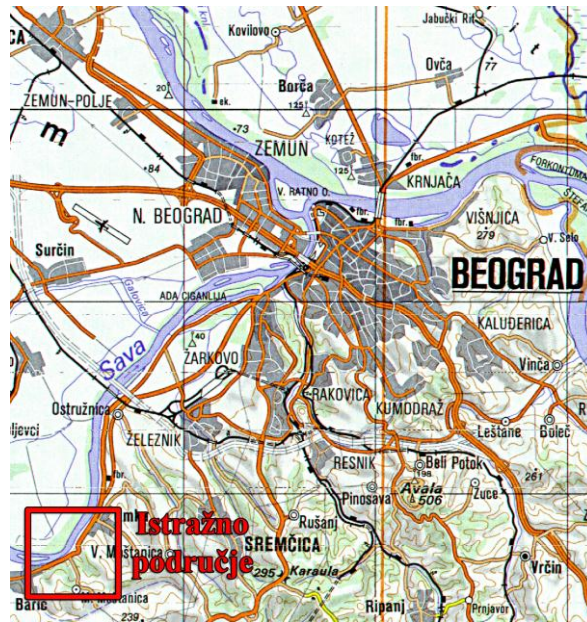
## **2. ISTRAŽNO PODRUČJE**

Za istražno područje je odabrano klizište "Umka" sa neposrednom okolinom. Klizište se nalazi na desnoj obali reke Save u rasponu od 21-23 kilometra plovnog puta Save. Klizište obuhvata jugozapadni deo Beogradskog naselja Umka. Naselje Umka se nalazi 22 km jugozapadno od Beograda, na desnoj obali reke Save. Teritorijalno pripada gradskoj opštini Čukarica i predstavlja najistureniji deo opštine prema opštini Obrenovac. Preko tela klizišta prelazi magistralni put M-19 (tzv. Savska magistrala) i to od stacionaže 16+670 do 18+400 (Slika 1).

Klizište "Umka" je izabrano za područje istraživanja iz više razloga:

- postojanje topografskih osnova iz različitih vremenskih perioda,

- preko klizišta je projektovana deonica autoputa Beograd-Južni Jadran pa su za potrebe njegove izgradnje izvršena brojna inženjerskogeološka istraživanja za različite nivoe projektovanja
- klizište “Umka“ ugrožava znatan broj domaćinstava, i aktivno je više od 50 godina



Slika 1. Geografski položaj istražnog područja

### 3. PRIMENJENA METODOLOGIJA

Metodologija primenjena u izradi ovog rada se zasnivala na kabinetskoj analizi i interpretaciji podataka. Kabinetski rad je podrazumevao: analizu postojeće dokumentacije, digitalizaciju podataka, obradu podataka na računaru i na kraju interpretaciju dobijenih rezultata. Obrada podataka je vršena u okviru ArcGIS© softverskog okruženja koji sadrži niz alata koji su omogućili geostatističku obradu i interpretaciju podataka.

#### 3.1. ANALIZA POSTOJEĆE DOKUMENTACIJE I DIGITALIZACIJA ODABRANIH PODATAKA

Analizom postojeće dokumentacije odabrane su dve podloge sa koje su digitalizovani podaci koji su korišćeni za generisanje DEM-a i njihovu analizu.

Za generisanje DEM-a površine terena izabrana je Digitalna Topografska Karta (DTK) Beograda koja je izrađena na osnovu digitalnih ortofotoa Beograda iz 2007. godine. Kako se DEM može generisati na osnovu interpolacije tačkastih vektorskih podataka koji nose informaciju o nadmorskoj visini (z), iz DTK Beograda koja je izrađena u CAD formatu bilo je neophodno izvesti te podatke (export) u ArcGIS kompatibilan šejp (.shp)

fajl. Uz pomoć AutoCAD Map 3D© softvera koji je kompatibilan sa ArcGIS-om, bilo je moguće opcijom Map>Tools>Export jednostavno izvoženje ležera sa tačkastim podacima o nadmorskoj visini u ArcGIS šejp fajl na osnovu koga je izvršena interpolacija u matricu visina.

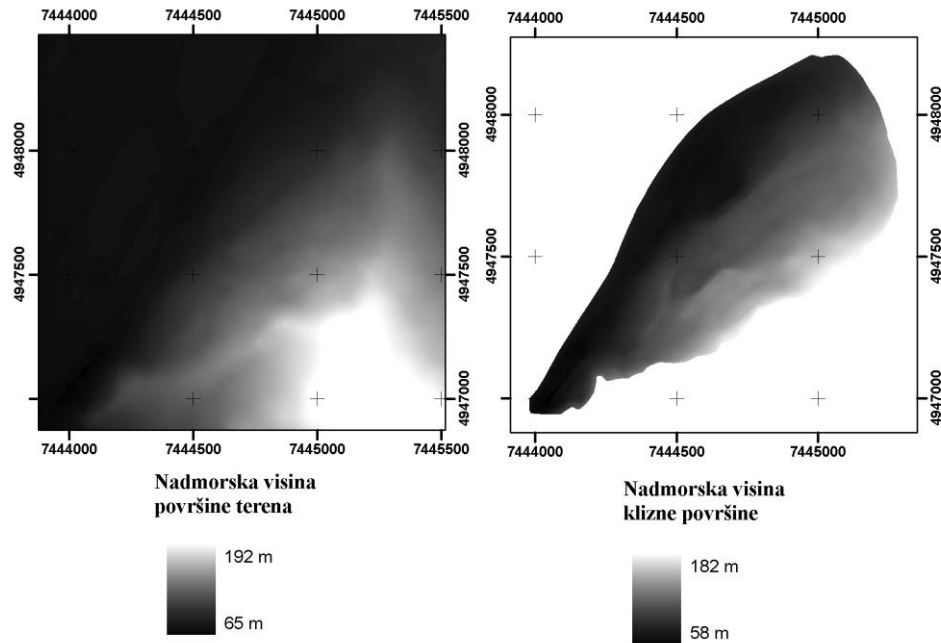
Podaci o kliznoj površini dobijeni su na osnovu istražnih bušotina koje je izveo Institut za puteve Beograd [2], za potrebe detaljnih geotehničkih istraživanja povodom izgradnje autoputa Beograd - Južni Jadran čija je trasa projektovana preko klizišta "Umka". Podatke dobijene pregledom ove dokumentacije bilo je neophodno digitalizovati kako bi bila moguća njihova interpolacija u matricu visina. Unutar ArcGIS kataloga je kreiran tačkasti šejp fajl koji je nosio tri atributa: X i Y koordinate tačke (bušotine) i nadmorsku visinu klizne površine. Klizne površine su detektovane geotehničkim kartiranjem jezgara, a nadmorska visina je izračunata tako što je od nadmorske visine usta bušotine oduzeta dubina do klizne površine. Prethodno je šejp fajlu dodeljena georeferenca tj. šejp fajl je definisan unutar trostepenog Gaus Krigerovog koordinatnog sistema (Zona 7), istu referencu je nosila i pomenuta DTK Beograda. Nakon toga prazan šejp fajl je uvezen u ArcMap, u kojem je na osnovu podataka iz profila geotehničkih bušotina generisano 28 tačaka, gde je svakoj tački dodeljena X i Y koordinata i izračunat podatak o nadmorskoj visini klizne površine.

### 3.2. INTERPOLACIJA DOBIJENIH PODATAKA U MATRICE VISINA

Interpolacijom podataka dobijenih sa DTK Beograda i podataka o nadmorskoj visini klizne površine dobijena su dva DEM-a (slika 2):

- DEM nadmorske visine površine terena
- DEM nadmorske visine klizne površine

Interpolacija je izvršena na osnovu dva prethodno dobijena šejp fajla. Interpolacija je izvršena unutar ArcGIS-a, uz pomoć *Spatial Analyst Tool* seta alata. Unutar pomenutog seta se nalazi podkategorija alata *Interpolation* u kojoj se nalaze alati za različite metode interpolacije. Za potrebe ovog rada je korišćena IDW interpolaciona metoda (Inverse Distance Weighted). Pozivanjem ovog alata neophodno je pozvati i tačkasti šejp fajl koji nosi informaciju o nadmorskoj visini (z) i definisati osnovne parametre interpolacije. U ovom radu je korišćen radijus pretrage (search radius) od 12 tačaka (broj okolnih tačaka koje će učiti u proračun interpolacije) dok je snaga (power) interpolacije postavljena na maksimalnu vrednost (2) što je značilo da su udaljenije tačke od one nad kojom algoritam vrši interpolaciju imale manji značaj u odnosu na bliže tačke. Za oba DEM-a je postavljena ista rezolucija od 1x1 m (cell size). Kao poseban derivat izveden od DEM-a se dobija karta osenčenog reljefa koja ima primenu u realističnijem prikazivanju morfologije terena. On se dobija tako što se DEM površine propusti kroz algoritam *Hillshade* unutar *Spatial Analyst* seta alata. Za potrebe ovog rada je generisana karta osenčenog reljefa na osnovu DEM-a visine površine terena i kasnije je korišćen kao podloga ispod svih karata koje su postavljanjem određene transparentije (najčešće 35%) dobijale utisak „trodimenzionalnog“ prikaza.



Slika 2. DEM površine istražnog prostora (levo) i DEM klizne površine (desno)

### 3.3. KVANTITATIVNA MORFOMETRIJSKA ANALIZA KLIZIŠTA

Kvantitativna morfometrijska analiza je podrazumevala da se na osnovu DEM-a dobiju podaci o širini, dužini, površini i zapremini klizišta. Ovi podaci se lako mogu dobiti unutar ArcGIS-a (ili bilo kog drugog GIS programa) ukoliko su svi podaci sa kojima se raspolaže referencirani unutar istog koordinatnog sistema. Pošto su u ovom radu svi podaci referencirani unutar Gaus-Krigerovog koordinatnog sistema, očitani podaci su izraženi u metričnom sistemu. Da bi se dobila dužina, širina i površina klizišta bilo je neophodno na prvom mestu definisati granice klizišta. Granice klizišta se mogu dosta precizno definisati inženjerskogeološkim rekognosciranjem terena ili primenom metoda daljinske detekcije, tj. analizom aerostereo snimaka. U ovom radu granica klizišta nije posebno određivana, već je preuzeta na osnovu ranije sprovedenih inženjerskogeoloških i geotehničkih istraživanja terena. Usvojena je granica klizišta koju su definisali stručnjaci iz Instituta za puteve - Beograd [2]. Da bi se dobio poligoni šejp fajl koji definiše granicu klizišta, bilo je neophodno skenirati inženjerskogeološku kartu klizišta "Umka", zatim referencirati je u definisani koordinatni sistem, a potom digitalizovati površinu klizišta kao poligoni šejp fajl unutar ArcMap okruženja. Na taj način je dobijen referencirani šejp fajl koji nosi informaciju o površini ali i granicama klizišta. Takav šejp fajl je potom uvezen u ArcMap, pa je uz pomoć dodatnog seta alata za ArcGIS *Xtools*, komandom *Table operations, Calculate Area, Perimeter, Length, Acres and Hectares* tom poligonom šejpu pridodat atribut tj. polje u kojem je alat sračunao njegovu površinu izraženu u m<sup>2</sup>. Potom je uz pomoć ArcGIS integrisane opcije *Measure* izmerena dužina i širina klizišta. Dužina klizišta

je izmerena kao duž od najviše tačke do najniže tačke kliznog tela u pravcu klizenja, dok je širina izmerena kao približno upravna duž na dužinu klizišta (slika 3 ).

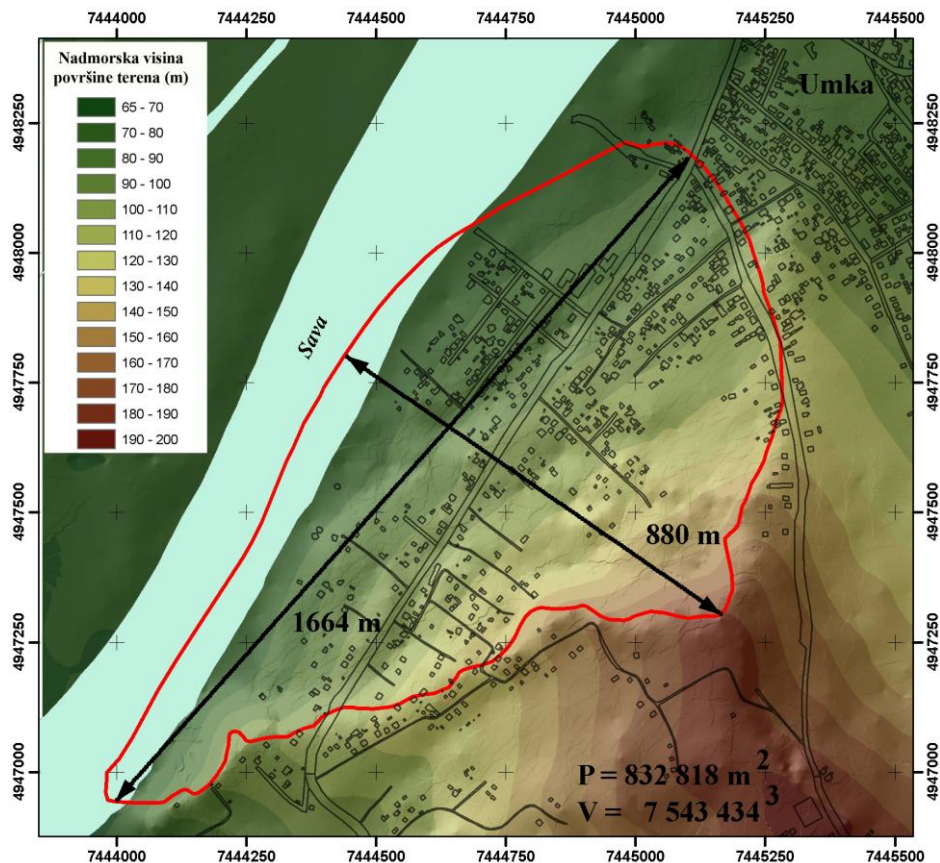
Na ovaj način su dobijene sledeće morfometrijske vrednosti klizišta:

Površina klizišta (P) = 832 818 m<sup>2</sup>,

dužina klizišta = 880 m i

širina klizišta = 1664 m

Postupak računanja zapremine klizišta je zahtevao nešto komplikovaniju proceduru. Prvo je bilo neophodno iseći tj. „kropovati“ (crop) DEM nadmorske visine terena i DEM površine klizne površine koji su dobijeni opisanom metodom interpolacije. Ovo je bilo potrebno uraditi kako bi u proračun zapremine klizišta ušao samo onaj deo DEM-a koji obuhvata klizno telo. Potom je bilo neophodno oba DEM-a prevesti u TIN, jer alat unutar ArcGIS-a koji služi za proračun zapremine tela definisanog sa dve površine može sprovesti račun samo nad TIN objektima. Konverzija oba DEM-a je izvršena alatom *Convert Raster to TIN* koji se nalazi unutar ArcGIS 3D analyst seta alata. Proračun zapremine je potom izvršen nad oba DEM-a, alatom *TIN difference* unutar istoimenog seta alata. Na ovaj način je generisan novi poligoni šejp fajl koji je u svojim atributima imao sračunatu zapreminu kliznog tela. Ovim postupkom je izračunata zapremina klizišta  $V = 7\,543\,434\text{ m}^3$ .



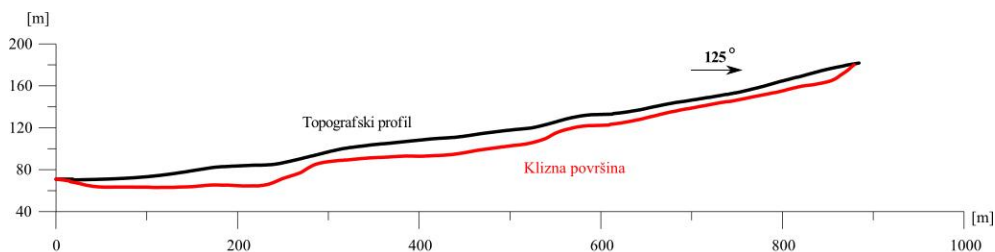


Slika 3. Granica klizišta sa prikazanim osnovnim morfometrijskim elementima

### 3.4. KONSTRUISANJE TOPOGRAFSKOG PROFILA I PROFILNE LINIJE KLIZNE POVRŠINE NA OSNOVU DEM-A

Na osnovu DEM-a je moguće unutar GIS okruženja na vrlo brz i lagan način konstruisati topografsku liniju površine terena i profilne linije klizne površine (ukoliko postoji DEM klizne površine). Konstruisanje topografskih profila ima poseban značaj prilikom geoloških istraživanja jer je njihova konstrukcija neizbežna za pravilnu interpretaciju geoloških profila. Opcijama *Interpolate to Line* unutar *3D analyst* ArcGIS seta alata, moguće je po definisanoj proizvoljnoj liniji konstruisati profilnu liniju izabranog DEM-a, zatim je dobijene podatke moguće izvesti u Microsoft Excel kompatibilan .csv fajl i potom profilne linije prikazati u željenoj grafičkoj formi.

Za potrebe ovog rada su generisane dve profilne linije po pravcu najveće dužine klizišta (koja je sračunata već objašnjenim postupkom). Prva profilna linija je definisana po željenom pravcu na osnovu DEM-a površine terena dok je druga profilna linija konstruisana po istom pravcu ali na osnovu DEM-a klizne površine. Na taj način je dobijen profil terena (slika 4) sa prikazanom kliznom ravni nad kojom je moguća dalja geotehnička analiza ukoliko postoje podaci o fizičko-mehaničkim svojstvima stenske mase (na prvom mestu zapreminske težine, ugla unutrašnjeg trenja i kohezije) željenim specijalističkim programima (npr. GeoSlope).



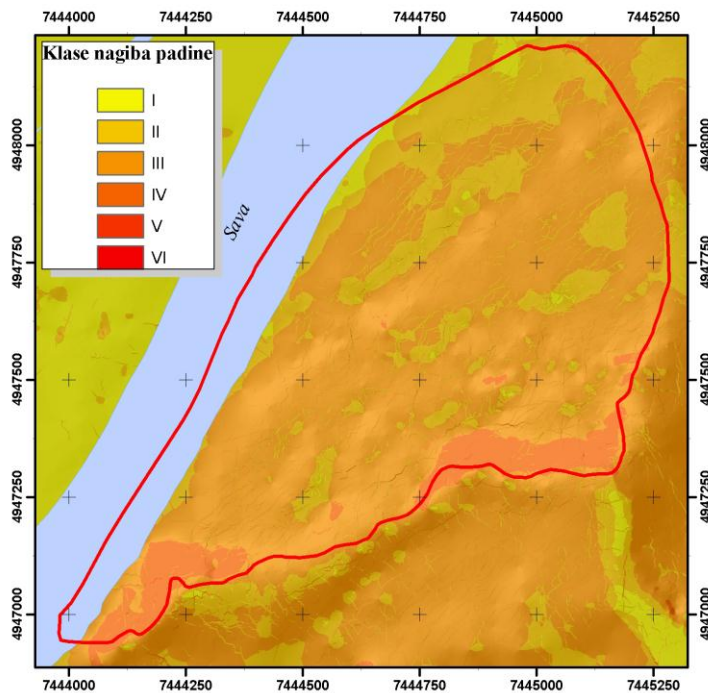
Slika 4. Topografski profil površine terena i profli klizne površine po pravcu maksimalne dužine klizišta

### 3.5. GENERISANJE KARTE NAGIBA PADINA

Nagib padine se može definisati kao vertikalni ugao koji zaklapa površina terena sa horizontalnom ravni. U lokalnim okvirima predstavlja neposrednu posledicu dejstva egzogenih geomorfoloških procesa. Nagib terena može poslužiti kao parametar za kvantitativnu geomorfološku analizu. Dobijeni podaci mogu se iskoristiti za utvrđivanje intenziteta erozije, odnosno akumulacije ili za analizu stabilnosti terena, jer je prema mnogim autorima upravo nagib padine jedan od značajnijih činioca koji definišu stabilnost padine.

Savremeni GIS programi omogućuju da se na osnovu DEM-a površine može na jednostavan način generisati karta nagiba. U ovom radu karta nagiba je urađena za površinu

terena. Karta nagiba je generisana uz pomoć *Spatial Analyst* seta alata, pozivanjem *Slope* alata. Kao ulazni raster na osnovu koga je generisana karta nagiba je pozvan DEM površine terena, za jedinicu nagiba je odabran nagib izražen u stepenima, dok je za izlaznu rezoluciju postavljena veličina piksela od 1x1 m (slika 5). Dobijeni raster je potom preklasifikovan. Izbor klasa utvrđen je na osnovu *Projekta jedinstvenog ključa za detaljnu geomorfološku kartu Sveta* [3]. Prema tom predlogu izdvajaju se klase prikazane u Tabeli 1. Ova klasifikacija ujedno predstavlja i ključ za tumačanje kvalitativne geomorfološke analize dobijene karte nagiba koja prikazana na slici 5.



Slika 5. Karta nagiba padine sa izdvojenim klasama, linijom je uokvirena granica klizišta utvrđena ranijim geotehničkim istraživanjima.

Tabela 1. Ključ za detaljnu geomorfološku kartu Sveta [3]

Klasa	Nagib ( $\alpha^\circ$ )	Karakteristike
I	0-2	Nema vidljivih tragova kretanja masa. Minimalno površinsko spiranje.
II	3-5	Vidljive su pojave kretanja. Izraženo je spiranje, tečenje i kliženje tla
III	6-15	Snažna erozija; intenzivno spiranje i pokreti masa
IV	16-35	Veoma snažna erozija; pojačano spiranje i odnošenje materijala
V	36-55	Pokreti masa toliko su izraženi da se akumulacioni materijal tek mestimično zadržava. Javljaju se pretežno ogoljene stenovite površine.

---

VI	>55	Strmi odseci. Dominiraju gravitaciona, kolapsiona kretanja stenskih masa.
----	-----	---

---

#### 4. ZAKLJUČAK

Kao što je prikazano, unutar GIS okruženja moguće je na veoma brz i relativno pouzdan način generisati različite setove podataka - digitalne elevacione modele na osnovu kojih je moguće izvršiti kvantitativnu i kvalitativnu morfometrijsku analizu klizišta. Tačnost ovih modela u ovom slučaju zavise od ulaznih podataka: tačnosti topografske osnove i preciznosti kartiranja jezgra bušotine na osnovu kojih je definisana klizna površina. Prednost ovakvog pristupa je u tome što se ovakav rad vrši kabinetski i samim tim je ekonomičniji, zatim je moguće dosta preciznije računanje osnovnih morfometrijskih elemenata klizišta (dužine, širine, površine, zapremine itd.) u odnosu na klasičan metod očitavanja podataka sa štampanih topografskih karata i uobičajenog proračuna uprošćene zapremine kliznog tela koje se računalo množenjem približne površine sa uprošćenom dubinom do klizne površine. Nedostaci su: greška DEM-a prilikom interpolacije podataka i zavisnost preciznosti od rezultata ranijih istraživanja. Greška DEM-a prilikom interpolacije je neizbežna zbog činjenice da je u pitanju matematički model terena a ne stvarni prikaz površine terena, ali je ona u odnosu na greške koje se javljaju „klasičnim“ metodama računanja morfometrijskih elemenata zanemarljivo mala.

Na osnovu dobijenih podataka može se zaključiti da klizište "Umka" spada u [5]:

- vrlo velika klizišta; prema zapremini i površini
- vrlo duboka klizišta; prema dubini klizenja
- konsekventna klizišta; prema obliku klizne površine (u eluvijalnoj raspadini, sa površinom klizenja duž kontakta raspadnute i sveže stenske mase) što je i potvrđeno detaljnim inženjerskogeološkim istraživanjima klizišta "Umka" (klizenje se odvija duž degradiranih laporovitih glina na kontaktu sa laporom).

#### LITERATURA

- [1] P. Burrough, R. McDonnell, "Principles of geographical information systems", Oxford University Press, 1998
- [2] Grupa autora, "Autoput E-763, Sektor 1: Beograd-Ljig, Deonica 2: Umka-Obrenovac, Idejni projekat - finalna dokumentacija, Inženjerskogeološki i geotehnički uslovi, Podloge za sanaciju klizišta Umka-Duboko", Institut za puteve-Beograd, Beograd, 2006
- [3] IGU, Commission on applied geomorphology, Subcommission on geomorphological mapping, „The unified key to the detailed geomorphological map of the world 1:25 000-1:50 000“, Folia geografica, series geografica-physica, vol. II, Kraków, 1968
- [4] U. Đurić, "Kvantifikacija inženjerskogeoloških činilaca za izbor najpovoljnije trase saobraćajnice primenom GIS tehnologije", Beograd, 15. Kongres geologa Srbije, 2010., p 675-680
- [5] M. Janjić, "Inženjerska geodinamika", Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1979
- [6] M. Marković et al, "Geomorfologija", Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2003