

# Usporedba proračuna fiziografskih parametara sliva

Darko Barbalić

## Ključne riječi

srednja visina sliva,  
srednji pad sliva,  
fiziografski parametar,  
proračun,  
metode proračuna,  
GIS

## Key words

mean height of drainage basin,  
mean gradient of drainage basin,  
physiographic parameter, analysis,  
methods of analysis, GIS

## Mots clés

hauteur moyenne du bassin versant,  
pente moyenne du bassin versant,  
paramètre physiographique,  
calcul,  
méthodes de calcul, GIS

## Ключевые слова

средняя высота бассейна,  
среднее падение бассейна,  
физиографический параметр,  
расчёт,  
методы расчёта,  
ГИС (GIS)

## Schlüsselworte

mittlere Höhe des Einzugsgebiets,  
mittleres Gefälle des Einzugsgebiets,  
physiographischer Parameter, Berechnung,  
Berechnungsmethoden,  
GIS

D. Barbalić

Stručni rad

## Usporedba proračuna fiziografskih parametara sliva

U članku je prikazana usporedba fiziografskih parametara srednje visine i srednjeg pada sliva proračunanih tradicionalnim i suvremenim metodama. Pri proračunu primijenjeni su rasterski i vektorski modeli terena. Proračun, statistička obrada i usporedba rezultata provedeni su za 62 podsliva rijeke Orljave koristeći se dostupnim komercijalnim GIS alatima. Na osnovi statističke obrade rezultata određeni su izrazi za proračun srednjeg pada sliva i njihovi intervali povjerenja.

D. Barbalić

Professional paper

## Comparative analysis of physiographic parameters for a drainage basin

The comparative analysis of physiographic parameters for a drainage basin of medium height and gradient, based on traditional and modern calculation methods, is presented. Raster and vectorial terrain models are applied in the analysis. The analysis, statistical treatment, and comparison of results, were conducted for 62 sub-drainage basins of the Orjava river using commercially available GIS tools. Expressions for calculating the mean gradient of the drainage basin, and their confidence intervals, were determined based on statistical results.

D. Barbalić

Ouvrage professionnel

## Une comparaison des calculs des paramètres physiographiques d'un bassin versant

L'article fournit une comparaison des paramètres physiographiques de la hauteur moyenne et de la pente moyenne d'un bassin versant, calculés selon les méthodes traditionnelles et modernes. Les modèles de terrain vectoriels et de type raster ont été utilisés lors du calcul. Le calcul, le dépouillement statistique et la comparaison des résultats ont été faits pour 62 sous-bassins de la rivière Orjava, à l'aide des outils commerciaux disponibles GIS. Le dépouillement statistique des résultats ont permis de déterminer les expressions pour le calcul de la pente moyenne du bassin versant, ainsi que leurs intervalles de confiance.

Д. Барбалич

Отраслевая работа

## Сравнение расчётов физиографических параметров бассейна

В статье дано сравнение физиографических параметров средней высоты и среднего падения бассейна, рассчитанных традиционными и современными методами. При расчёте применены растровые и векторные модели местности. Расчёт, статистическая обработка и сравнение результатов проведены для 62 подбассейнов реки Орлявы, пользуясь доступными коммерческими ГИС (GIS) инструментами. На основании статистической обработки результатов определены выражения для расчёта среднего падения бассейна и их достоверности.

D. Barbalić

Fachbericht

## Vergleich der Berechnungen von physiographischen Parametern des Einzugsgebiets

Im Artikel wird ein Vergleich der physiographischen Parameter der mittleren Höhe und des mittleren Gefälles des Einzugsgebiets dargestellt, berechnet nach traditionellen und zeitgemässen Methoden. Bei der Berechnung wurden Raster- und Vektormodelle des Geländes angewendet. Berechnung, statistische Bearbeitung und Vergleich der Ergebnisse wurden für 62 Subeinzugsgebiete des Flusses Orjava durchgeführt, wobei zugängliche kommerzielle GIS-Werkzeuge genutzt waren. Auf Grund der statistischen Bearbeitung der Ergebnisse bestimmte man die Ausdrücke für die Berechnung des mittleren Gefälles des Einzugsgebiets und deren Vertrauensintervalle.

Autor: **Darko Barbalić**, dipl. ing. građ., Zavod za vodno gospodarstvo, Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb

## 1 Uvod

Fiziografske karakteristike bitni su pokazatelji odvijanja hidroloških procesa na slivu. Tradicionalno, te se karakteristike iskazuju parametrima koji jese dalje mogu koristiti i pri raznim vrstama proračuna. Često upotrebljavani parametri su srednja visina i srednji pad sliva. Proračun tih bazičnih fiziografskih parametara zahtijeva opsežnu pripremu ulaznih podataka (utvrđivanje dužina slojnica sliva, planimetriranje površina između slojnica i slično). Razvoj informatičke tehnologije, a posebice GIS-a (geografskih informacijskih sustava) i novih metoda prikupljanja podataka omogućio je promjenu pristupa opisu terena, te se on često prikazuje pomoću rasterskog (DEM) ili vektorskog (TIN) modela, a ne slojnica. Rasterski (DEM) model prikazuje teren rasterom - matricom kvadratnih ćelija različitih visina dok ga vektorski (TIN) prikazuje kao skup nejednakih trokuta sa zajedničkim bridovima. Opis terena modelom omogućava jednostavno i brzo provođenje detaljnih analiza fiziografskih karakteristika, ali po principima koji se donekle razlikuju od dosadašnjih. Uporaba GIS-a i modela terena u svakodnevnoj praksi je uobičajena [6], a može se očekivati da će u budućnosti biti još češća. Tako je npr. u [2] ovakav način izrade karte nagiba ocijenjen kao najpogodniji od svih korištenih. Iz modela terena se također mogu interpolirati slojnice i provesti navedeni proračuni ovih parametara, ali takav način rada u većini slučajeva zahtijeva dodatne napore i nije jednostavan. Danas se brojne u praksi široko prihvaćene metode zasnivaju na korištenju fiziografskih parametara, pa se postavlja pitanje odnosa njihovih vrijednosti proračunanih na različite načine.

## 2 Teorijske osnove proračuna

### 2.1 Tradicionalni pristup

Srednja visina sliva se računa na osnovi formule:

$$H_{sr} = \frac{1}{2A} \sum_{i=1}^N A_i (h_{i,1} + h_{i,2}), \quad (1)$$

gdje je:

- $H_{sr}$  - srednja nadmorska visina sliva [m n.m.]
- $N$  - broj površina na koje slojnice dijele sliv
- $A_i$  - površina sliva između susjednih slojnica [m<sup>2</sup>]
- $A$  - površina sliva (m<sup>2</sup>)
- $h_{i,1}, h_{i,2}$  nadmorske visine susjednih slojnica koje ograničavaju površinu  $A_i$  [m n.m.].

Srednji pad sliva definira se na više načina, a jedan od zastupljenijih oblika je [1, 4]:

$$I_{sr} = \frac{z}{A} \sum_{i=1}^N l_i, \quad (2)$$

gdje je:

- $I_{sr}$  - srednji pad sliva [m/m]
- $N$  - broj slojnica na slivu
- $z$  - razmak slojnica [m]
- $l_i$  - dužina  $i$ -te slojnice [m]
- $A$  - površina sliva [m<sup>2</sup>].

Princip sličan ovome koristi se i u [7] samo što se, pojednostavljeno rečeno, ne proračunava ukupni broj slojnica na slivu nego njihova prosječna udaljenost.

### 2.2 Suvremeni pristup - modeli terena

Za potrebe ovog proračuna korišten je rasterski i vektorski model terena. Rasterski digitalni model terena (DEM) kreiran je s rezolucijom od 20 m a korišteni tip interpolacije (topogrid) detaljnije je opisan u [3]. Principi TIN interpolacije su detaljnije opisani u [3 i 5].

Ako se pri radu koristi model terena, srednja visina sliva se računa na sljedeći način:

$$H_{sr} = \frac{1}{A} \int_A h dA, \quad (3)$$

gdje je:

- $H_{sr}$  - srednja nadmorska visina sliva [m n.m.]
- $h$  - nadmorska visina elementa diskretizacije [m n.m.]
- $dA$  - površina elementa diskretizacije
- $A$  - površina sliva [m<sup>2</sup>].

Srednji pad sliva proračunava se na osnovi formule

$$I_{sr} = \frac{1}{A} \int_A I dA, \quad (4)$$

gdje je:

- $I_{sr}$  - pad sliva [m/m]
- $I$  - pad elementa terena [m/m]
- $dA$  - površina elementa diskretizacije
- $A$  - površina sliva [m<sup>2</sup>].

Pri tome se kao nadmorska visina elementa diskretizacije uzima visina u težištu tog elementa dok se pad elementa diskretizacije, ovisno o tipu modela terena, računa na sljedeći način:

Za DEM model terena (prema [3]):

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}, \quad (5)$$

gdje je:

$I$  - pad diskretizacijskog elementa [m/m]

$I_x$  - pad u pravcu  $x$  [m/m]

$I_y$  - pad u pravcu  $y$  [m/m]

pri čemu je:

$$I_x = \frac{h_{i-1,j-1} + 2h_{i-1,j} + h_{i-1,j+1} - h_{i+1,j-1} - 2h_{i+1,j} - h_{i+1,j+1}}{8d} \quad (6)$$

$$I_y = \frac{h_{i-1,j-1} + 2h_{i,j-1} + h_{i+1,j-1} - h_{i-1,j+1} - 2h_{i,j+1} - h_{i+1,j+1}}{8d} \quad (7)$$

gdje je:

$I_x$  - pad u pravcu  $x$  [m/m]

$I_y$  - pad u pravcu  $y$  [m/m]

$d$  - dužina rasterske ćelije [m]

$h_{ij}$  - nadmorska visina ćelije s indeksom  $i, j$  [m n.m.].

Za TIN model terena, pad elementa se računa kao:

$$I = \text{tg arccos}(\vec{h} \cdot \vec{e}) \quad (8)$$

gdje je:

$I$  - pad terena u točki [m/m]

$\vec{h}$  - jedinični vektor okomit na teren

$\vec{e}$  - jedinični vektor okomit na horizontalu.

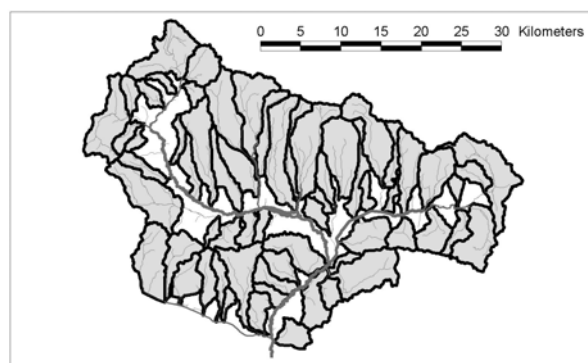
### 3 Priprema

Da bi se utvrdio odnos tradicionalno proračunanih parametara i istih parametara dobivenih korištenjem modela terena, provedeno je sljedeće:

1. priprema konzistentnog skupa ulaznih podataka za sve tri metode,
2. generiranje TIN i DEM modela terena na osnovi slojnice iz 1,
3. proračun odabranih fiziografskih parametara na osnovi sve tri metode,
4. statistička obrada i usporedba rezultata.

Proračun je proveden za dio sliva rijeke Orljave kojemu pripadaju pritoci rijeke Save, što iznosi 1608 km<sup>2</sup>. Korištene su slojnice ukupne dužine 71570 km (od toga na slivu 26764 km), digitalizirane (prenesene s topografske

karte u računalu prihvatljivu formu) s karata mjerila 1:25 000, s razmacima od 10 i 5 m. Prekontrolirana je konzistentnost slojnice (tj. ispravljena mjesta na kojima se sijeku slojnice različitih visina te povezane slojnice istih visina). Rasterski digitalni model terena (DEM) kreiran je u okviru ARC/INFO programskog paketa, dok je vektorski model terena (TIN), kreiran u okviru ArcView programskog paketa. ARC/INFO i ArcView su komercijalni GIS programski paketi tvrtke Environmental Systems Research, Institute, Inc, Redlands, USA. Sliv i podslivovi su određeni iz DEM-a na osnovi mreže vodotoka, digitalizirane s karte mjerila 1:100 000. Za testiranje su odabrana ukupno 62 sliva veličine između 5 i 50 km<sup>2</sup>. Slivovi su prikazani na slici 1. Proračun je proveden za sva 62 sliva i na 3 navedena načina. Proračun srednjeg pada sliva prema formuli (2) zahtijeva korištenje slojnice istog razmaka, pa su u obzir uzete samo slojnice sa zadnjom cifrom 0.



Slika 1. Odabrani slivovi

### 4 Rezultati i zaključci

Pri usporedbi rezultata korištene su sljedeće oznake:

$H_{VEC}$  - srednja visina sliva proračunana na osnovu formule (1)

$H_{DEM}$  - srednja visina sliva proračunana korištenjem DEM modela terena na osnovi formule (3)

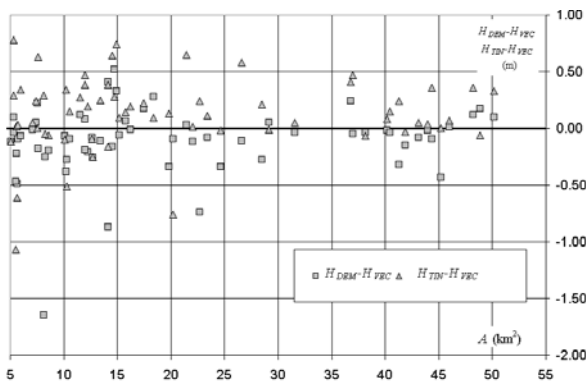
$H_{TIN}$  - srednja visina sliva proračunana korištenjem TIN modela terena na osnovi formule (3)

$I_{VEC}$  - srednji pad sliva proračunan na osnovu formule (2)

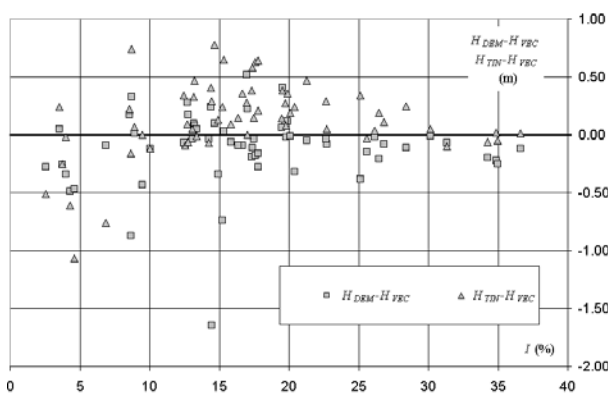
$I_{DEM}$  - srednji pad sliva proračunan na osnovu formula (4), (5), (6) i (7) - DEM model terena

$I_{TIN}$  - srednji pad sliva proračunan na osnovu formula (4) i (8) - TIN model terena.

Odnos između vrijednosti srednje visine sliva proračunane na osnovu DEM i TIN sa srednjom visinom sliva proračunanom formulom (1) prikazani su na slikama 2. i 3., a sumarni parametri u tablici 1.



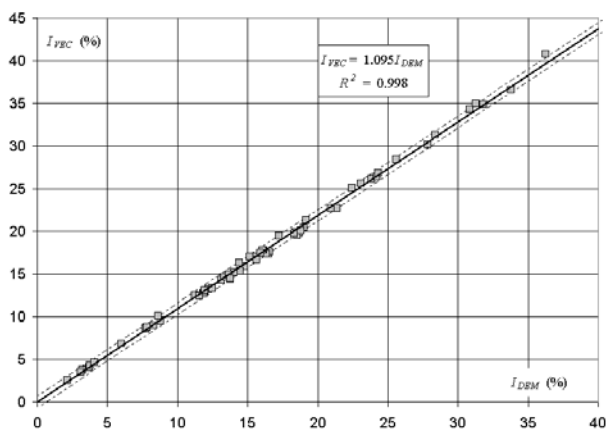
Slika 2. Usporedba razlika u proračunu srednjih visina sliva u odnosu na površinu sliva



Slika 3. Usporedba razlika u proračunu srednjih visina sliva u odnosu na srednji pad sliva

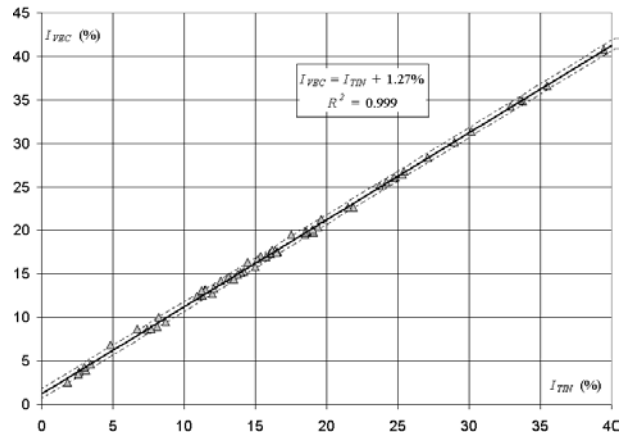
Tablica 1. Apsolutna razlika srednje visine sliva

|                   | prosječna [m] | maksimalna [m] |
|-------------------|---------------|----------------|
| $H_{VEC}-H_{DEM}$ | 0,21          | 1,65           |
| $H_{VEC}-H_{TIN}$ | 0,26          | 1,07           |
| $H_{TIN}-H_{DEM}$ | 0,33          | 1,94           |



Slika 4. Odnos srednjeg pada sliva proračunatog tradicionalno i na osnovu DEM modela terena

Razlike u rezultatima izračuna srednje visine sliva prema sva tri gore opisana načina mogu se smatrati zanemarljivim. Interesantno je zamijetiti da je u većini slučajeva (77%) srednja visina sliva proračunana na osnovu TIN modela terena veća (mada zanemarivo) od srednje visine sliva proračunane na osnovu DEM modela terena što je vjerojatno posljedica načina interpolacije. U cjelini, za praktičnu primjenu, može se pretpostaviti da su rezultati proračuna na sva tri načina jednaki, te da se mogu koristiti bez posebnih ispravaka i preračuna.



Slika 5. Odnos srednjeg pada sliva proračunatog tradicionalno i na osnovu TIN modela terena

Za razliku od procjene srednje visine sliva kod koje su razlike za praktičnu primjenu zanemarive, pri procjeni srednjeg pada sliva razlike u rezultatima su značajnije.

Može se primijetiti da je prema obje metode koje koriste model terena, procijenjeni pad sliva manji nego pri procjeni tradicionalnom metodom. Rezultati dobiveni proračunom prema obje metode koje koriste model terena statistički su čvrsto povezani s rezultatima tradicionalne metode, tako da se:

- pri preračunu iz DEM može koristiti formula  $I_{VEC} = 1.095 I_{DEM}$ , (9)

gdje je:

$I_{VEC}$  - pad sliva proračunan na tradicionalni način [%]

$I_{DEM}$  - pad sliva proračunan na osnovi DEM modela terena [%].

Interval povjerenja za 95% vjerojatnosti iznosi između +/- 0.67% za  $I_{DEM}=16.0\%$  i +/- 0.77% za  $I_{DEM} = 50\%$  i

- pri preračunu iz TIN može koristiti formula  $I_{VEC} = I_{TIN} + 1.27\%$  (10)

gdje je:

$I_{VEC}$  - pad sliva proračunan na tradicionalni način [%]

$I_{TIN}$  - pad sliva proračunan na osnovi TIN modela terena [%].

Interval povjerenja za 95% vjerojatnosti iznosi između  $\pm 0.56\%$  za  $I_{TIN} = 16.2\%$  i  $\pm 0.62\%$  za  $I_{TIN} = 50\%$ .

Iako su statistički opisi veza srednjih padova sliva proračunanih na različite načine vrlo dobri, ovim razlikama trebalo bi obratiti više pozornosti, imajući na umu da su značajnije te da ovise o tipu modela terena.

#### LITERATURA

- [1] Srebrenović, D.: *Primijenjena hidrologija*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1986.
- [2] EUR 13233 - CORINE soil erosion risk and important land resources, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1992.
- [3] ARC Commands, Environmental Systems Research, Institute, Inc, Redlands, USA, 1994.
- [4] Guide to Hydrological Practices, Fifth edition, World Meteorological Organization, 1994.
- [5] Meijerink, A.: *Introduction to the Use of Geographic Information Systems for Practical Hydrology*, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, Netherlands, 1994.
- [6] Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water resources Management, IAHS Publication No. 235, IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom, 1996.
- [7] Guidelines for Mapping and Measurement of Rainfall-Induced Erosion Processes in the Mediterranean Coastal Areas, Priority Actions Programme Regional Activity Centre (MAP/UNEP), with the cooperation of FAO, Split, 1997.

Trebalo bi također utvrditi osjetljivost proračunanih parametara na vrstu interpolacije terena, ako se ona primjenjuje, te na rezoluciju kod DEM modela terena. Vjerojatno je utjecaj ovih faktora na rezultate značajniji pri proračunu srednjeg pada nego pri proračunu srednje visine sliva.

Ovdje je provedena usporedba zasnovana na uzorku koji sadrži relativno male slivove (62 sliva površine od 5 km<sup>2</sup> do 50 km<sup>2</sup>) padova manjih od 50%. Bilo bi uputno ponoviti usporedbu uzimajući u obzir uzorak s većim rasponom analiziranih parametara.