

Primena automatizovane tehnike određivanja topografskih vododelnica analizom DEM-a

RASTKO PETROVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
VLADIMIR ŠUŠIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
UROŠ ĐURIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
MILOŠ MARJANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
SNEŽANA ZEČEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Originalni naučni rad
UDC: 551.435.1

Osnovne topografske osobine igraju važnu ulogu u određivanju hidroloških karakteristika sliva, prilikom modeliranja vodnih resursa. Algoritam, koji je korišćen, u ovom radu, za definisanje kontura vododelnica, se oslanja na digitalni elevacioni model (DEM), kao osnovni rasterski ulazni podatak. Preciznost automatskog načina određivanja kontura vododelnica zavisi, pre svega, od rezolucije DEM-a. Sa druge strane, preciznost može zavisiti i od načina delinacije mreže tokova u raster Stream Network. Da bi se izvela ova funkcija, potrebno je znati koliko vode struji kroz svaki pojedinačni piksel. To znači da je neophodno zadati graničnu vrednost, prag, iz koliko je piksela potrebno da struji voda ka pojedinačnom pikselu, da bi on bio prepoznat kao rečni tok. Taj broj se određuje na različite načine, a na ovom konkretnom primeru utvrđen je tariranjem. Analiza DEM-a je primenjena na Izvorištu u Gornjoj Lisini, gde je za 9 izvora izvršeno određivanje kontura vododelnica, pomenutom metodom. Korišćen je DEM rezolucije 25 m. Za tariranje granične vrednosti broja ćelija, korišćene su različite vrednosti, na osnovu kojih su računane vrednosti površina neposrednih slivova, koje su upoređivane sa vrednostima površina, izračunatim uobičajenim hidrološkim metodama.

Ključne reči: *topografska vododelnica, DEM, raster Stream Network, Gornja Lisina*

1. UVOD

Automatizovano određivanje hidroloških karakteristika, uz upotrebu DEM-a, kao osnovni ulazni podatak, je toliko napredovalo poslednjih godina, da sad predstavlja sastavni deo većine softverskih paketa, koji se bave geografskim informacionim sistemima (GIS). Automatizovane tehnike su brže i mogu pružiti preciznije rezultate merenja od tradicionalnih, takozvanih manualnih tehnika [1]. Osnovni uslov za kvalitetan izlazni podatak, odnosno, rezultat, pre svega, predstavlja rezolucija i kvalitet DEM-a, što su svojim istraživanjima potvrdili Zhang & Montgomery [2], Wolock & Price [3], Garbrecht & Martz [4], DeBarry

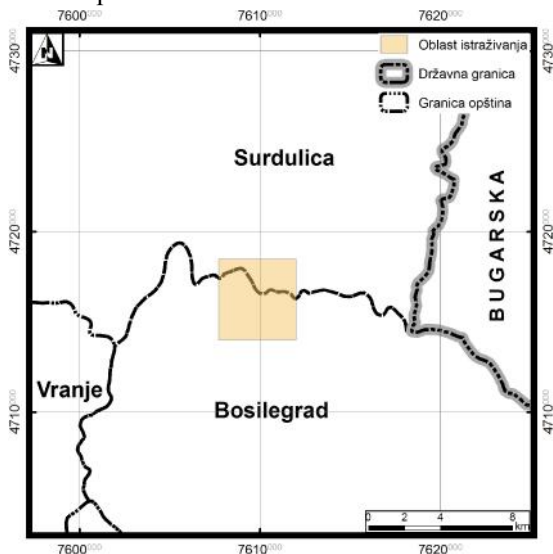
[5] i dr. Sa druge strane, ono što može bitno da utiče na kvalitet proračuna je sam način automatizovanog određivanja, jer derivacioni rasteri, generisani iz DEM-a, mogu da se proračunaju na različite načine. Suština ovog rada je preciznost određivanja karakteristika sliva, gde promenljivu predstavlja način delinacije mreže tokova u raster Stream Network. Ranije su se vrlo sličnom tematikom bavili španski autori Lopes Garcia i Camarasa [6], a u ovom radu su sublimirana njihova iskustva i podaci sa terena, u okviru hidrogeoloških istraživanja, sprovedenih u periodu 2008-2012, na području izvorišta u Gornjoj Lisini.

2. OBLAST ISTRAŽIVANJA

Geografski položaj. Istražno područje se nalazi u jugoistočnoj Srbiji, na teritoriji opština Surdulica i Bosilegrad, koje predstavljaju granične opštine sa Bugarskom (slika 1).

Adresa autora: Rastko Petrović, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet, Beograd, Đušina 7
Rad primljen: 11.02.2013.

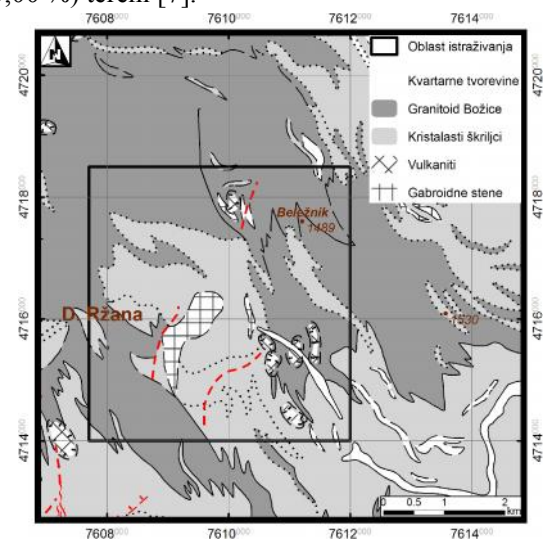
Generalno, ovaj deo Srbije spada u kategoriju slabo naseljenih, sa prosečno nešto manje od jednog domaćinstva po km².



Slika 1 - Geografski položaj

Geomorfološke karakteristike. Teren pripada planinskom tipu reljefa, sa relativno blagim vrhovima i jasno izraženim jarugama. Hipsometrijska razlika istraživanog terena kreće se od ispod 1000, u rečnoj dolini, pa do 1400 m, na lokaciji nekih izvora, pa i znatno više, gde nadmorska visina prelazi i 1650 m. Viša zona i vrhovi su uglavnom ogoljeni i nenastanjeni.

U pogledu morfometrijskih karakteristika, odnosno, nagiba terena, najznačajniji deo istražnog područja je predstavljen strmim terenima, sa nagibom od 15 do 25° (46,67%). Takođe, značajno rasprostranjenje imaju veoma strmi (nagib 25-40°, zatupljenost 26,19%) i umereno strmi (nagib 7-15°, zastupljenost 23,00 %) tereni [7].

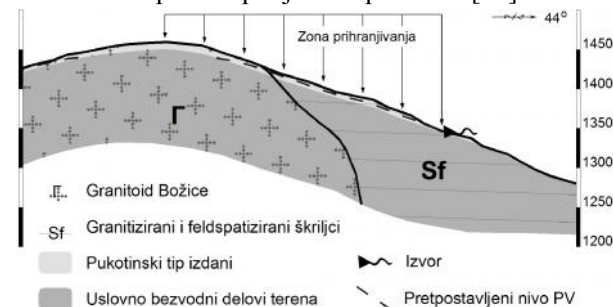


Slika 2 - Geološka karta

Geološke karakteristike. Karakteristične su dve dominantne geološke strukture (slika 2): granitoid

Božice i kristalasti škriljci, dok su ostale jedinice znatno manje rasprostranjene. Granitoid Božice je intruzivno telo, koje je, verovatno pre Devona, utisnuto u seriju specifičnih tvorevina, nazvanu serija Božice [8]. Utisnuti granitoidi su jedan deo serije progresivno metamorfisali različitim fenomenima granitizacije i feldspatizacije škriljaca. Na taj način su, po obodu utisnutog granitoida, u širokom pojasu, formirani feldspatizirani i granitizirani škriljci i gnajsevi, sa iznizansiranim prelazima, pa je njihovo terensko izdvajanje dosta subjektivno, jer su istog mineralnog sastava, ali različite strukture [9].

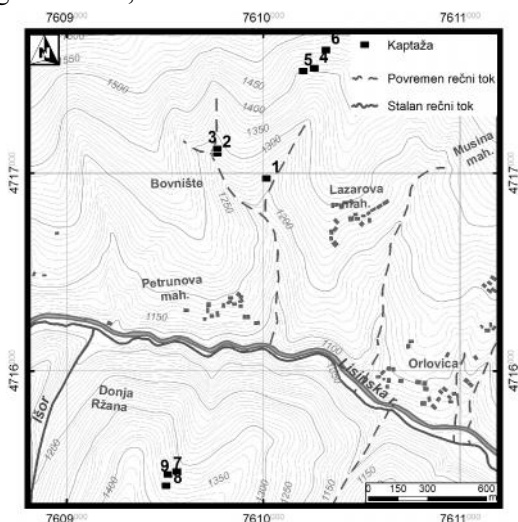
Hidrogeološke karakteristike. Izdan je formirana u plitkoj pukotinskoj izdani, koju, uglavnom karakteriše egzokinetička ispucalost. Izdan je predisponirana tako da formira otvorenu hidrogeološku strukturu, jer su zone prihranjivanja, kretanja i isticanja podzemnih voda otvorene [10]. Kao posledica takve hidrogeološke postavke, geomorfoloških i drugih karakteristika, izvori su gravitacionog tipa (slika 3). Izdan se prihranjuje infiltracijom padavina, koje se izlučuju na neposredno slivno područje izvorišta. Imajući u vidu veliku nadmorsku visinu zone prihranjivanja (i preko 1600 m), veliki značaj ima prihranjivanje topljenjem snežnog pokrivača. Kretanje podzemnih voda se odvija, od mesta prihranjivanja, cirkulacijom sistemom prslina i pukotina, do mesta dreniranja, preko gravitacionih izvora. Brzina cirkulacije je srazmerna gradientu pada (koji u nekim delovima iznosi i preko 0.3), a obrnuto stepenu zapunjenosti pukotina [11].



Slika 3 - Karakterističan hidrogeološki profil

Opis izvorišta. Izvorište se nalazi u slivnom području Lisinske reke, na udaljenosti od oko 7 kilometara uzvodno od mesne zajednice Gornja Lisina. U razmatranje je uzeto devet izvora, od kojih je šest (1-6) pozicionirano na severnoj, a tri (7-9) na južnoj padini slivnog područja Lisinske reke (slika 4). Svi izvori su zahvaćeni odgovarajućom kaptažom, izvedenom namenski za potrebe utvrđivanja režima izdašnosti. Prilikom njihove izrade, neophodno je bilo raskopavanje oko svakog izvora, kako bi se na što kvalitetniji način zahvatile vode, koje dotiču u zonu izviranja. Tom prilikom je konstatovan nekonsolidovani materijal, prečnika od desetak centimetara do preko jednog metra, ispunjen frakcijom, srednjeg i sitnog

zrna. Imajući u vidu geotehničku podelu ispucalosti na zone: mrvica, drobine i blokova, nakon kojih sledi monolitna zona, može se konstatovati da su izvori nastali u zoni drobine i blokova. To ukazuje da dubina ispucalosti, u zonama izviranja, iznosi najviše do jednog metra, a same pukotinske izdani, generalno, svega nekoliko, a verovatno ne više od 6-7 metara.



Slika 4 - Situaciona karta Izvorista

U pogledu prihranjivanja, imajući u vidu međusobnu udaljenost izvora, ono se odvija iz četiri podsliva, gde se sa površine jednog podsliva prihranjuje izvor 1. Sa površine drugog se prihranjuju izvori 2 i 3. Sa trećeg se vrši prihranjivanje izvora 4, 5 i 6, dok se sa četvrtog vrši prihranjivanje izvora 7, 8 i 9.

Režim izdašnosti i temperature podzemnih voda je uslovljen klimatskim režimom. Izvore karakteriše mala izdašnost (tabela 1). Isticanje je konstantno, uz razliku maksimalne i minimalne izdašnosti, koja ne prelazi vrednost od 2.85. Brzina kretanja podzemnih voda je usvojena na osnovu empirijskih vrednosti, izračunatih za granitoidne stene, za teritoriju istočne Srbije [12].

Tabela 1. Opšte karakteristike izvora, na osnovu režimskih osmatranja u periodu sep. 2008- dec. 2009

Izvor	Q [l/s]		T [°C]		K [m/s]
	min	max	min	max	
1	0,15	0,34	6,1	7,9	10 ⁻⁶
2	0,14	0,40	6,1	6,9	
3	0,32	0,93	5,9	7,7	
4	0,10	0,14	5,4	8,5	
5	0,08	0,11	6,0	8,2	
6	0,27	0,38	6,2	8,6	
7	0,09	0,12	6,2	8,8	
8	0,07	0,10	6,2	8,1	
9	0,56	0,79	6,3	8,0	

Sve navedeno nedvosmisleno potvrđuje da je kretanje podzemnih voda direktno uslovljeno morfologijom terena, odnosno, da se, prilikom modeliranja vektora pravaca kretanja, može posmatrati kao kretanje površinskih voda.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Za potrebe automatizovanog određivanja hidroloških karakteristika sliva, korišćen je Hydrology podalat, u okviru Spatial Analyst alata, softverskog paketa ArcGIS 9.2. Generalni algoritam funkcionisanja ovog alata je prikazan na slici 5, gde su štiklirani oni koraci, koji su upotrebljeni u ovom radu.

Algoritam, korišćen u ovom radu, je podrazumevao, prvo, izradu digitalnog elevacionog modela terena [13], rezolucije 25 m. DEM je generisan na osnovu digitalizovanih izohipsi, ekvidistance 10 i 5 m, metodom Topo to Raster, koja je i dizajnirana tako da generiše hidrološki ispravne DEM-ove [14], [15]. Na osnovu DEM rastera, izvršen je proračun Flow Direction rastera [16], uz pomoć istoimenog alata. Ovaj raster ima u sebi integrisanu informaciju o smeru kretanja tokova, iz svakog diskretizovanog polja, odnosno, piksela [17], istraživanog područja, čime predstavlja najvažniji raster za dalje proračune. Na osnovu Flow Direction rastera, kao provera, izvršen je proračun Sink rastera, na osnovu koga je ustanovljeno da nema značajnijeg broja „ponora/depresija“. To je, za ovu rezoluciju DEM-a, i bilo očekivano, jer je njihova identifikacija, sa takvim ulaznim podacima, moguća samo u glacijalnim i karstnim terenima [18]. U protivnom, ukazivalo bi na grešku u proračunu. Suštinski, osnovni razlog za proračun pomenutog rastera je bila verifikacija hidrološke ispravnosti proračuna DEM rastera.

Nakon što je verifikovan početni DEM, izvršeno je određivanje mreže vodenih tokova, tj. proračun Flow Accumulation, na osnovu Flow Direction rastera. Flow Accumulation alat funkcioniše tako što za svaku ćeliju (piksel) biva izračunat broj ćelija, koje u se u nju „ulivaju“.

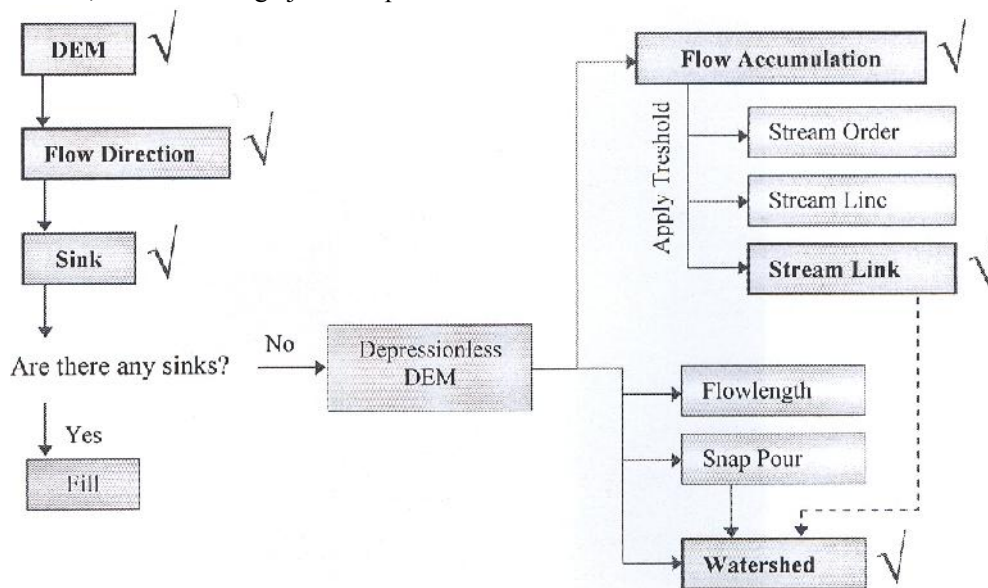
Prema generalnom algoritmu (Slika 5), sledeći korak bi trebalo da bude proračun Stream Link rastera, odnosno, definisanje svakog kraka i ušća, u okviru drenažne mreže. Međutim, postoji međukorak, koji nije predstavljen u algoritmu, a koji prethodno podrazumeva delineaciju tokova, u Stream Network raster. Taj međukorak i predstavlja suštinu ovog rada. Delineacija se postiže pomoću alata Map algebra, zadavanjem funkcije Setnull, kojom se ćelijama zadaje vrednost NoData, na osnovu zadatog kriterijuma. To je, na ovom konkretnom primeru, značilo da je svakom pikselu, koji predstavlja tok, zadata vrednost 1, a ostalim poljima vrednost 0. Da bi se izvela ova fun-

kcija, potrebno je bilo dobro poznavati istraživano područje, odnosno, znati koliko vode struji kroz svaki pojedinačni piksel. To znači da je bilo neophodno zadati graničnu vrednost, prag, iz koliko je piksela potrebno da struji voda ka pojedinačnom pikselu, da bi on bio prepoznat kao rečni tok [19], [20]. Taj broj se određuje na različite načine [21], a na ovom konkretnom primeru utvrđen je zadavanjem različitih vrednosti, tj. tariranjem. Korišćene vrednosti su bile 50, 100, 150 i 200. Za svaku zadatu vrednost, proračunat je Stream Network, na osnovu koga je vršen proračun

Stream Link rastera. Kao krajnji korak algoritma (slika 5), izvršen je proračun rastera Watershed.

Zatim je izvršena konverzija rasterskih u vektorske Watershed podatke i izračunata površina svakog pod-sliva, sa čijih se površina odvija prihranjivanje izvora u Gornjoj Lisini.

Uporedo, izvršen je proračun površina slivova, uobičajenim hidrološkim metodama [22], da bi, na kraju, bila izvršena uporedba izračunatih vrednosti obema metodama (tabela 2).



Slika 5 - Algoritam funkcionisanja Hydrology pod-alata [23]

Tabela 2. Površine podslivova - Uporedba vrednosti izračunatih različitim metodama

Metoda ↓	Podsliv →	Površina [km ²]			
	Odstupanje [%]	Izvor 1	Izvori 2 i 3	Izvori 4, 5 i 6	Izvori 7, 8 i 9
Hidrološka		0,121000	0,324000	0,125000	0,117000
Streamnet_50		0,122230	0,016228	0,124598	0,112851
	(HL-SN_50)/HL	-1,02	94,99	0,32	3,55
Streamnet_100		0,122230	0,323071	0,124598	0,117553
	(HL-SN_100)/HL	-1,02	0,29	0,32	-0,47
Streamnet_150		0,123183	0,335671	0,127339	0,125311
	(HL-SN_150)/HL	9,40	0,12	-1,57	5,04
Streamnet_200		48,607749			

4. REZULTATI

Ono što je bilo jasno i pre proračuna je da za veću zadatu graničnu vrednost, manje polja biva prepoznata kao vodeni tok i obrnuto. Posledično, proračunom se identifikuje manji broj podslivova, veće pojedinačne površine, odnosno, obrnuto, veći broj podslivova, manje pojedinačne površine.

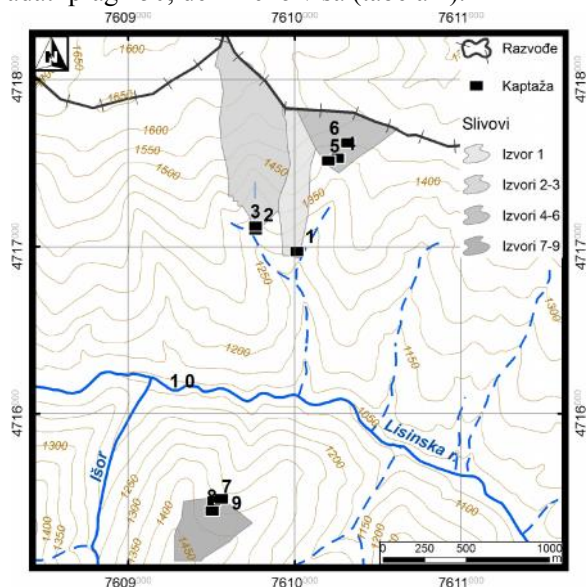
Prilikom analize rezultata, u ovom radu, pre svega, je izvršena vizuelna provera. Prvo što je ustanovljeno je da se, za graničnu vrednost 200, kod proračuna Stream Network rastera, kao izlazni podatak, dobijaju konture topografskih vododelnica, koje ne odgovaraju realnim, prirodnim, uslovima, jer je, za datim proračunom, gotovo čitavo područje istraživa-

nja predstavljeno kao površina, sa koje se direktno prihranjuje svih 9 izvora. Drugi zaključak je da se za zadate granične vrednosti 50, 100 i 150, vizuelno, dobijaju približno iste vrednosti površina podslivova, sa kojih se odvija prihranjivanje izvora. Zatim je izvršena uporedba površina podslivova, izračunatih uobičajenim hidrološkim metodama, sa površinama izračunatih za svaku pomenutu zadatu graničnu vrednost (tabela 2).

Za podsliv, sa čije površine se vrši prihranjivanje izvora 1, proračunom se dobijaju približno iste vrednosti za svaku prikazanu metodu. Za zadati prag 50 i 100, izračunate vrednosti površine podsliva su identične i neznatno odstupaju od vrednosti izračunatih hidrološkom metodom, dok je površina, izračunata za zadati prag 150, delimično manja (tabela 2).

Za podsliv, sa čije površine se vrši prihranjivanje izvora 2 i 3, proračunom se dobija značajno odstupanje vrednosti, za zadati prag 50, dok su ostale vrednosti gotovo iste (tabela 2).

Za podsliv, sa čije površine se vrši prihranjivanje izvora 4, 5 i 6, dobijaju se približno iste vrednosti za svaku prikazanu metodu (Tabela 2). Za zadati prag 50 i 100, izračunate vrednosti površine podsliva su identične i neznatno su niže od vrednosti izračunatih hidrološkom metodom, dok je površina, izračunata za zadati prag 150, delimično viša (tabela 2).



Slika 6 - Rasprostranjenje podslivova, sa kojih se vrši prihranjivanje izvora Izvorišta u Gornjoj

Za podsliv, sa čije površine se vrši prihranjivanje izvora 7, 8 i 9, takođe se dobijaju približno iste vrednosti za svaku prikazanu metodu (tabela 2). Za zadati prag 50 i 150, izračunate vrednosti su delimično niže od vrednosti izračunatih hidrološkom metodom, dok je površina, izračunata za zadati prag 100, gotovo ista, odnosno, niža za manje od 1%.

Na kraju, može se zaključiti da vrednosti izračunatih površina podslivova, za zadatu graničnu vrednost 100, najviše odgovaraju vrednostima, izračunatim hidrološkom metodom. Na osnovu toga, može se usvojiti da je njihovo rasprostiranje realno i prihvatiti kao takvo.

5. DISKUSIJA

Do sada su navedene isključivo prednosti ove metode. Ipak, neophodno je naglasiti i ograničenja. Dosadašnja istraživanja su potvrdila da je ova metoda preciznija u strmijim predelima, kao posledica očigledne razlike u elevacijama susednih piksela. Sa druge strane, u umereno strmim i ravničarskim terenima, primena ove metode je nepouzdana, time i neprikladna [24].

Istraživači sa Instituta za životnu sredinu i održivost, iz Vareseza (Italija), predlažu klasifikaciju predela, kao korekciju prilikom proračuna, koja uzima u obzir mogućnost da se razvije gušća ili ređa drenažna mreža [25]. Kriterijumi za određivanje 5 klasa, koliko su ponudili, su vegetacija, klima, morfologija terena, tip zemljišta i litologija. U ovom radu je taj efekat postignut na osnovu poznavanja terena, kalibracijom Stream Network rastera. Međutim, to sa sobom nosi određeni nivo subjektivnosti i isključuje analizu, bez odličnog poznavanja terena.

Još jedno ograničenje predstavlja urbanizacija i narušavanje prirodnih uslova. Primena prikazane metode je opravdana samo u nenarušenim uslovima.

Na kraju, ograničenje primene ove metode može da predstavlja eventualna izražena anizotropnost ispućalosti stenske mase, u okviru pukotinskog tipa izdani. To znači da bilo kakvo kretanje podzemnih voda, koja ima neki predisponirani pravac, a koje se, iz tog razloga, ne može okarakterisati kao gravitaciono, ne može biti modelirano ovom metodom. Ova metoda je predviđena za hidrološko modeliranje, tj. kretanje površinskih voda i može biti iskorišćena za modeliranje podzemnih voda, isključivo ako se usvoji da se kretanje podzemnih i površinskih voda odvija u istom pravcu, što je bio slučaj, u ovom konkretnom primeru.

6. ZAKLJUČAK

Automatizovane tehnike određivanja hidroloških karakteristika sliva predstavljaju brz, precizan i relativno jednostavan način da se one utvrde. Osnovni ulazni podatak je DEM, pa njegova rezolucija predstavlja osnovnu promenljivu. U ovom radu, korišćen je DEM, rezolucije 25 m, a kao promenljiva, način delinacije mreže tokova u raster Stream Network, odnosno, granična vrednost, koja se zadaje, prilikom njegovog proračuna. Izračunate vrednosti površina

podslivova, ovom metodom, su upoređivane sa površinama, izračunatim uobičajenim hidrološkim metodom.

Rezultati proračuna, za razmatrano područje i rezoluciju DEM-a od 25 m, su pokazali da se, zadanjem niže granične vrednosti, prilikom računanja Stream Network rastera, kao izlazni podatak, dobija veći broj površinski manjih podslivova i obrnuto.

Prikazano je nekoliko ograničenja metode, od kojih je najznačajnije da je modeliranje kretanja podzemnih voda, ovom metodom, opravdano isključivo ukoliko se može usvojiti da bi se kretanje podzemnih voda odvijalo u istom pravcu, u kom bi se odvijalo i kretanje površinskih voda.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je uglavnom realizovan kao deo Projekta „Primena LIDAR i GNSS tehnologije u monitoringu stabilnosti infrastrukturnih objekata i terena“ (TR 36009), pod pokroviteljstvom Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije, za period 2011-2014.

LITERATURA

- [1] Johnson L. E., 2008: Geographic Information Systems in Water Resources Engineering, CRC Press, Taylor and Francis Group, ISBN 978-1-4200-6913-6.
- [2] Zhang, W., Montgomery, D. R., 1994. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. *Water Resources Research*, V. 4, pp. 1019–1028.
- [3] Wolock, D. M., Price, C.V., 1994. Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model. *Water Resources Research*, V. 30, pp. 3041–3052.
- [4] Garbrecht J., Martz L. W., 1999, TOPAZ: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization; TOPAZ Overview. ARS Publication No. GRL 99-1. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Grazinglands Research Laboratory, El Reno, Okla.
- [5] Debarry P., 1999: GIS modules and distributed models of the watershed, Reston, Va.: ASCE.
- [6] Lopez-Garcia M. J., Camarasa A. M., 1999: Use of geomorphological units to improve drainage network extraction from a DEM - Comparison between automated extraction and photointerpretation methods in the Carraixet catchment (Valencia, Spain), *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 1, Number 3, 1999, pp. 187-195(9).
- [7] Petrović R., 2012: Elaborat o rezervama podzemnih voda izvorišta u Gornjoj Lisini (Izvor 10), Departman za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [8] Dimitrijević M. D, 1995: Geologija Jugoslavije, Geoinstitut, Beograd.
- [9] Grupa autora, 1977: Tumač za OGK SFRJ 1:100000, list K 34-57 Trgovište sa Radomirom, Savezni geološki zavod, Beograd.
- [10] Grupa autora, 1976: Geologija Srbije, VII-1, Hidrogeologija, Zavod za regionalnu geologiju i paleontologiju Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerzitet u Beogradu.
- [11] Tomić V., 1981: Vodonosnost ispucalih stena i hidrogeološka svojstva pukotinskih izdani u nekim našim terenima, OOUR grupa za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [12] Tomić V., 2012: Vodonosnost stena sa pukotinskom strukturom poroznosti i metodologija određivanja rezervi podzemnih voda u pukotinskim izdanima, Zbornik radova XIV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor 17-20. maj 2012. godine, ISBN 978-86-7352-236-4, pp. 446-452.
- [13] Hutchinson M. F., 1996: A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models, *Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis.
- [14] Hutchinson M. F., 1988: Calculation of hydrologically sound digital elevation models, *Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia*.
- [15] Hutchinson M. F., 1989: A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits, *Journal of Hydrology* 106, pp. 211-232.
- [16] Jenson, S. K., Domingue, J. O., 1988: Extracting topographic structure from digitalelevation data for geographic information system analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54 (11), pp. 1593–1600.
- [17] Grenlee, D. D., 1987: Raster and vector processing for scanned linework, *The Imaging and Geospatial Society, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, pp. 1383-1387.

- [18] Mark D., 1983: Automated Detection of Drainage Networks from Digital Elevation Models, Proceedings of the Sixth International Symposium on Computer Assisted Cartography (Auto-Carto VI), Vol. 2, pp. 288–298.
- [19] Tarboton, D. G., Bras R. L. & Rodriguez-Iturbe I., 1991. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data, Hydrological Processes. 5: pp. 81–100.
- [20] Helmlinger, K. R., Praveen K., Foufoula-Georgiou E., 1993: On the use of digital elevation model data for Hortonian and Fractal analyses of channel networks, Water Resources Research 29(8): pp. 2599-2613.
- [21] Gandolfi C., Bischetti G. B., 1997: Influence of the drainage network identification method on geomorphological properties and hydrological response, Hydrological Processes 11: pp. 353-375.
- [22] Jemcov, I., Petrović, R., 2010: Elaborat o rezervama podzemnih voda izvorišta u Gornjoj Lisini, Departman za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [23] webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/. [Online] Environmental Science Research Intitute.
- [24] Wu W., Fan Y., Wang Z., Liu H., 2008: Assessing effects of digital elevation model resolutions on soil–landscape correlations in a hilly area, Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol 126, 3-4, pp. 209-216.
- [25] Vogt, V. J., Colombo, R., Bertolo, F., 2003: Deriving drainage networks and catchment boundaries: a new methodology combining digital elevation data and environmental characteristics, Geomorphology, Vol 53, 3-4, pp. 281-298.

SUMMARY

APPLICATION OF AN AUTOMATED TECHNIQUE FOR TOPOGRAPHIC WATERSHED DERIVING USING DEM ANALYSIS

Basic topographic features play major role in deriving basin hydrological characteristics for water resources modeling. Algorithm used in this paper for defining watershed contours relies on digital elevation model (DEM) as primary input data. Automatic watershed contours deriving accuracy primarily depends from DEM resolution. On the other hand, accuracy may depend from stream network delineation into Stream Network raster method. To perform this function it is necessary to know how much water flows through each pixel. This means that it is necessary to set the threshold of how many pixels flow into another pixel to consider the location is to have a stream passing through it. There are several ways to set up the threshold value and herein the calibration method is used. This paper treats Gornja Lisina source, where this method was used to determine watershed contours for 9 springs. Source DEM had 25 m resolution. Threshold values were various. For each threshold value catchment area was calculated and compared to area values calculated using common hydrological methods.

Key words: Topographic watershed, DEM, Stream Network raster, Gornja Lisina