

1 Uvod

Digitalni modeli terena (DMT), ili digitalni elevacioni modeli (DEM), sve više postaju nezaobilazni u hidrotehničkoj praksi, čak i u ekonomski rovitim zemljama kao što je naša. Postavljaju se dva osnovna pitanja: (i) tačnosti elektronskih topografskih podloga i (ii) izbora razmere elektronskih podloga u zavisnosti od karaktera problema koji se rešava.

U analizama površinskog oticaja, koje prethode analizama prostiranja poplavnih talasa i odredjivanju plavnih površina, počinje se od odredjivanja granica slivnog područja i odgovarajućih podslivova. U definisanju tih granica, treba imati u vidu da automatsko generisanje granica pomoću računara može dovesti do grešaka, zbog nemogućnosti prepoznavanja veštačkih linijskih objekata koji utiču na površinski oticaj – puteva, jaraka, nasipa itd. Neka iskustva u svetu [4] pokazuju da generalno, povećanje rezolucije elektronske karte povećava tačnost definisanja slivnog područja, ali samo do određene razmere, kada paradoksalno, dalje povećanje rezolucije karte daje sve lošije rezultate. Ovakav zaključak je važan sa stanovišta korisnika, koji mogu bespotrebno biti izloženi značajnim troškovima nabavke elektronskih podloga visoke rezolucije, koje zahtevaju duže vreme obrade, a da na kraju rezultati budu lošiji od onih koji bi se brže dobili sa kartama u sitnijoj razmeri. U nastavku će se ova tvrdnja detaljnije razmotriti.

Poznato je da je definisanje granica i karakteristika slivnog područja osnova za hidrološku analizu nastanka poplavnih talasa na tom području. Tradicionalno se granica sliva ili podsliva, definiše ručno, na osnovu topografije terena, a vodeći računa o uticaju ljudskog faktora kroz prisustvo objekata kao što su putevi, kanali, nasipi itd. Iako najsigurniji, ovaj pristup je zametan i dugotrajan, naročito kada su u pitanju veliki slivovi. Sa razvojem računarstva, ručna obrada polako ustupa mesto automatskom generisanju granica slivova pomoću odgovarajućih algoritama [1]. Neki od tih algoritama su sastavni deo komercijalnih GIS paketa, kao što je na primer popularni paket ArcView.

Prvo pitanje prilikom definicije granica sliva je izbor razmere elektronske karte, odnosno elektronskog (digitalnog) modela terena (DTM), ili digitalnog elevacionog modela (DEM). Ovi mogu biti dati u vidu:

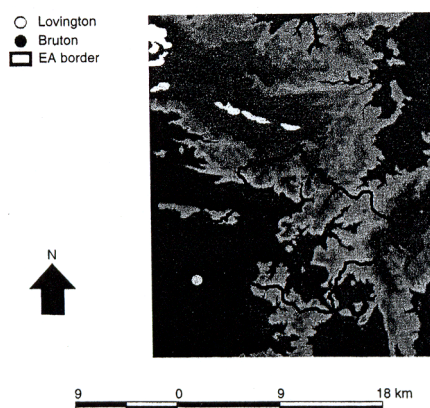
- (a) dvodimenzionih nizova (matrica) brojeva koji predstavljaju kote terena (vertikalna odstojanja u odnosu na neku referentnu ravan); ovaj, najčešće korišćeni, format DEM zove se „rasterski”;
- (b) liste koordinata (x, y, z) za mrežu nepravilnog oblika koja se dobija triangulacijom; ovaj format se zove „TIN” (engl. *triangulated irregular network*);
- (c) vektorskih podataka koji definišu konture, ili izolinije kota terena – izohipse; ove linije, kao što je poznato, povezuju tačke sa istom nadmorskom visinom i predstavljaju lako razmenjive podatke, pogodne za razgraničenje slivnih područja.

U svetu se digitalne podloge u određenoj razmeri dobijaju od odgovarajućih institucija, servisa ili kompanija. Tipične razmere vektorskih karata su 1:25000 i 1:10000. Ove karte su izradjene na osnovu aktuelne aerofotogrametrije i tačnost im je oko 1 m. (Kod nas se ove podloge dobijaju skeniranjem i georeferenciranjem postojećih papirnih karata, koje su u

većini slučajeva, zastarele). Detalji koji nisu vidljivi na fotografijama, određuju se geodetskim snimanjem na terenu. Pomoću vektorskih karti sa izohipsama, matematičkim putem se, interpolacijom, dobijaju kote terena za DEM u pravilnoj mreži rezolucije 10 m. U zavisnosti od namene, mogu se koristiti digitalne podloge u sitnijim ili krupnijim razmerama (1:5000, 1:50000, 1:100000 itd.). Od velike je važnosti dati korisnicima određena uputstva za korišćenje DEM, ukazujući na njihove prednosti i nedostatke. U tom cilju, razmotriće se konkretan primer iz literature [4].

2 Demonstracioni primer

Sliv reke Brue u jugo-zapadnoj Engleskoj je površine 135 km², sa izlaznom vodomernom stanicom u Lovingtonu (Slika 1). Reč je o dobro izučenom ruralnom slivu umerenih nagiba terena, čiji geološki sastav čini uglavnom glinovito-peskoviti materijal. Ovakav sastav tla utiče na brzu pojavu poplavnih talasa. Srednja godišnja visina kiša je 867 mm (1961-1990), a sliv je pokriven sa 49 kišomerne stanice.



Slika 1: DEM *sliva reke Brue*

2.1 Metode razgraničenja sliva

Podela sliva reke Brue obavljena je na šest načina:

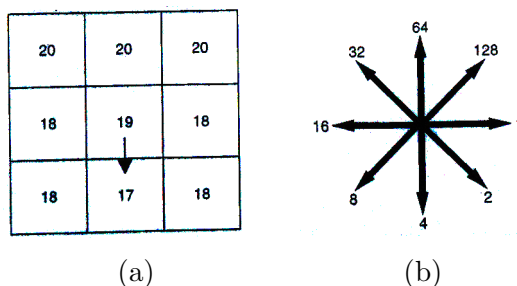
- (a) ručna podela;
- (b) postojeća podela definisana u Agenciji za Okolinu (Environmental Agency, EA);
- (c) automatska podela korišćenjem podataka rasterskog DEM u rezoluciji 10 m;
- (d) automatska podela korišćenjem podataka rasterskog DEM u rezoluciji 50 m;
- (e) automatska podela korišćenjem vektorske karte izohipsi u razmeri 1:10000;
- (f) automatska podela korišćenjem vektorske karte izohipsi u razmeri 1:50000.

Ručni način podele sliva je tradicionalno prisutan u praksi i daje veoma dobre rezultate ako se raspolaze dovoljnim vremenom i dovoljno kvalitetnim kartama i drugim podlogama. Pored topografije sliva, treba, kao što je veće rečeno, voditi računa o uticajima objekata kao što su putevi, drenažni kanali i kanali za navodnjavanje, nasipi i dr. Ovi objekti

moгу bitno uticati na vezu izmedju površinskog oticaja i tokova podzemnih voda, tako da se javi velika nesaglasnost izmedju orografskog (rečnog) sliva (koji obuhvata površinske vode) i geološkog sliva (koji obuhvata površinske i podzemne vode). U konkretnom slučaju, prepostavljena je jednakost orografskog i geološkog sliva. Granice sliva su ručno povučene na rasterskoj karti razmere 1:10000 u ArcView okruženju.

Mogućnost automatskog generisanja granica slivova i podslivova ima većina komercijalnih paketa zasnovanih na GIS tehnologiji. Najpoznatiji od tih paketa je HEC-GeoHMS, američkog inženjerskog korpusa (US Army Corps of Engineers, [1]).

Koncept automatskog definisanja sliva je zasnovan na vezivanju smera površinskog oticaja sa topografskim karakteristikama sliva. Metoda primenjena u navedenom softverskom paketu poznata je pod imenom „metoda D8”. Posmatra se računsko polje sa 8 okolnih polja (Slika 2-(a)). Algoritam pretpostavlja jedinična odstojanja do susednih polja, osim ugaonih polja, gde je jedinično odstojanje množeno faktorom $\sqrt{2}$. Polje u pravcu najstrmijeg nagiba ne mora biti i polje sa najvećom visinskom razlikom. Poljima se dodeljuju celobrojne vrednosti koje označavaju 8 mogućih pravaca toka i te vrednosti se pamte kao niz. Primer takvog niza dat je na Slici 3. Postoje i drugi algoritmi, od kojih neki imaju ugrađene stohastičke komponente.



Slika 2: (a) Algoritam D8: tok u pravcu najvećeg nagiba; (b) celobrojne vrednosti za definisanje pravca toka

Korisnici se često suočavaju sa dva problema. Prvi je problem depresionih tačaka („ponora”), a drugi, određivanje pravca toka na ravnom terenu. Lokalne depresione tačke, ili ponore, karakterišu veće kote terena u svim okolnim tačkama. Treba proceniti da li su ponori stvarno fizički prisutni, ili su posledica digitalizacije. Najčešće se pretpostavlja da je ovo drugo po sredi, pa se kota ponora zamenjuje najnižom kotom okolnih tačaka, iako to ne mora biti uvek opravdano. Problem ravnog terena se tretira iterativno, pretpostavljajući da postoji neki ispust.

Automatska podela konkretnog slivnog područja izvedena je na nekoliko načina, uključujući korišćenje raster DEM rezolucije 10 m i vektorske karte izohipsi. Ove su triangulacijom pretvorene u TIN format. Takodje su korišćene raster podloge u rezoluciji 50 m i vektorske podloge u razmeri 1:50000. Granice sliva su tako određene na osnovu podataka iz četiri izvora.

2.2 Poredjenje rezultata

Rezultati su sumirani u Tabeli 1. Pretpostavlja se da su tačne granice slivnog područja one dobijene ručnim postupkom (Slika 3-(a)). Rezultat ručne obrade je „standard” u odnosu na koji se vrednuju rezultati automatske obrade. Ako se „standard” označi slovom „B”, a automatski generisan sliv – slovom „A”, onda se tačnost automatski generisane granice sliva može kvantifikovati poredjenjem površina unutar tih granica, A i B. Ako se presek površina A i B označi: $A \cap B$, onda se oznaka „precenjeno” odnosi na slučaj kada granica A zahvati šire područje od granice B: $A - (A \cap B)$, a oznaka „podcenjeno”, na slučaj kada granica B „padne” izvan granice A: $B - (A \cap B)$. Zbir te dve površine daje ukupnu grešku, po analogiji sa srednjom apsolutnom greškom. Ovaj način vrednovanja daje mogućnost razlikovanja dve granice sliva koje ograničavanju istu površinu, ali imaju različite oblike i položaje.

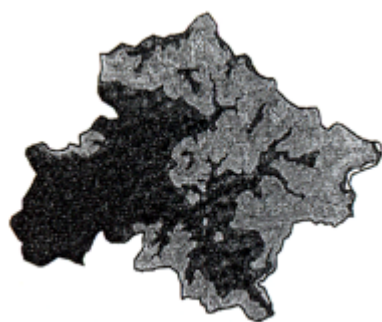
Tabela 1: Rezultati definisanja slivnog područja

Metoda	Površina [km ²]	Precenjeno [km ²]	Podcenjeno [km ²]	Ukupna greška [km ²]
Ručni postupak	136.15	0.00	0.00	0.00
Automatski, raster 10 m DEM	150.47	17.00	2.68	19.68
Automatski, raster 50 m DEM	144.01	9.80	1.83	11.63
Automatski, vektor 1:10000	166.33	29.89	2.78	232.67
Automatski, vektor 1:50000	142.41	12.35	6.10	18.45
EA karta	142.38	8.33	2.11	10.44

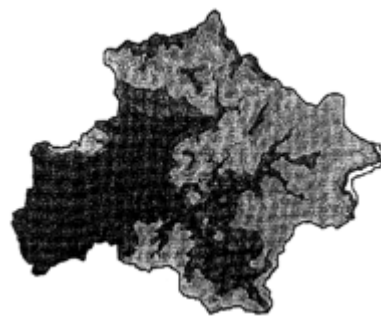
Sve generisane granice sliva (Slika 3 (c)-(f)) relativno se dobro slažu sa ručno određenom granicom. Neslaganja su ograničena uglavnom na tri mesta. Prvo se nalazi na zapadnom delu sliva, gde put preseca korito reke duž jednog dela granice sliva. Korito je „palo” izvan sliva, što ukazuje na potrebu pažljivog razmatranja uticaja saobraćajne i vodoprivredne infrastrukture. Drugo sporno mesto je na severo-zapadnoj granici, gde postoji više drenažnih kanala na relativno ravnom terenu. Algoritam automatske detekcije ovde ima problem da odredi pravce tečenja. Na istočnoj strani slivnog područja postoji veliki kamenolom, pa opet nije jasno gde voda otiče. Ovaj problem nije detektovan na rasterskoj DEM podlozi u 50-to metarskoj rezoluciji. Nije sigurno da bi u tome pomogla i bolja rezolucija. Ova zapažanja relativizuju tačnost automatskih postupaka u odnosu na ručni postupak, naročito kada ga primenjuju iskusni obradivači.

3 Računske granice sliva i rezolucija DEM

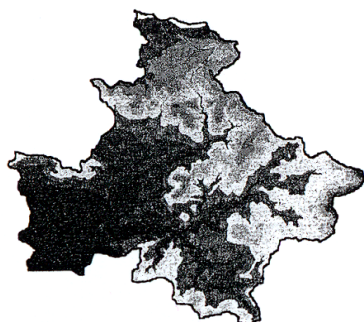
Jasno je da rezolucija DEM utiče na automatsko određivanje granica sliva. Da bi se taj uticaj ispitao, uzet je DEM u rasterskom formatu rezolucije 10 m, pa je interpolacijom rezolucija povećana na 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200 i 500 m. Za ovo su korišćena dva pristupa. Prvi je prost odabir najbližeg polja kada se smanjuje rezolucija, a drugi je bilinearna interpolacija, koja se standardno koristi za procesiranje slike da bi se promenila njena veličina. Pri bilinearnoj interpolaciji može doći do pojave koja se zove „lažni prikaz”



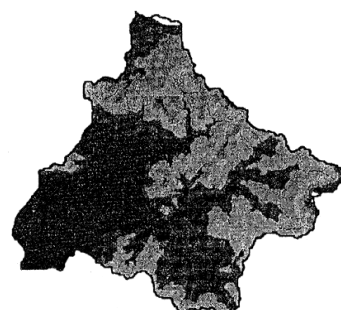
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

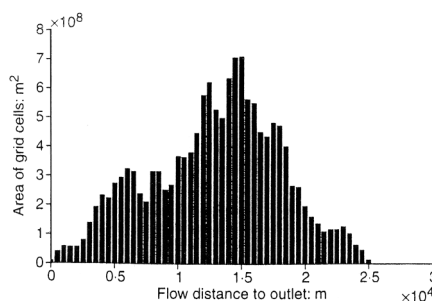


(f)

Slika 3: *Granice sliva određene na osnovu različitih podloga: (a) ručni postupak, (b) karta EA, (c) DEM, raster 10 m, (d) DEM, raster 50 m, (e) Vektorska karta 1:10000, (f) Vektorska karta 1:50000*

(engl. *aliasing*), a koja nastaje kada je rezolucija piksela isuviše gruba da se detektuju nagle promene vrednosti piksela. Ovaj problem se rešava primenom „low-pass” filtra, što znači da se uzima aritmetička sredina kote terena u nekom polju i kota u osam okolnih polja, što uravnava reljef. Posle filtriranja, može se primeniti bilinearna interpolacija, koja se sastoji u interpolaciji vrednosti polja na osnovu 4 (2×2) okolna polja. Ovaj postupak se primenjuje ne samo za povećanje, već i za smanjenje rezolucije neke slike.

Kako se ovde radi o analizi podloga za automatsko generisanje slivnog područja, nije razmatran ručno definisan sliv, već je kao etalon uzet sliv definisan na osnovu DEM u rezoluciji 10 m. Upoređenjem su izmerene „precnjene” ili „podcjenjene” površine u odnosu na ovaj etalon sliv i određena je ukupna greška, kao što je objašnjeno u prethodnoj tački. Pored toga, kao dopunski statistički parametar, uzeta je računaska dužina toka od svake tačke u slivu do izlaznog profila u Lovingtonu. Na taj način se može formirati histogram, kao što je prikazano za etalon sliv na Slici 4. Oblik dobijenih funkcija gustine raspodele zavisi od razmere DEM u kojoj je računata dužina toka.



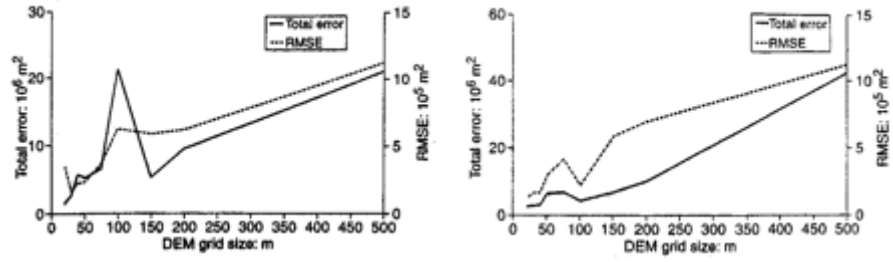
Slika 4: Prikaz dužina toka za etalon sliv dobijen na osnovu DEM rezolucije 10 m

Srednja greška se može sračunati pomoću izraza:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{Bi} - D_{Gi})^2}{n}}, \quad (1)$$

gde simbol D_B predstavlja ordinatu na histogramu etalon sliva, a simbol D_G , ordinatu na histogramu neke druge raster rezolucije. Ovaj statistički pokazatelj greške dobro ukazuje na posledice automatskog generisanja granica sliva kada se za to koriste karte u raznim rezolucijama (razmerama).

Rezultati dve metode interpolacije su prikazani na Slici 5 (a)-(b). Može se uočiti opšti porast greške sa povećanjem veličine polja, ali to povećanje nije pravilno. Simptomatično je kako se greška pri rezoluciji (veličini polja mreže) od 100 m menja u zavisnosti od interpolacione metode. Na izgled velika greška pri rezoluciji od 100 m kada se koristi metoda „najbližeg polja” ne odražava se proporcionalno na veliku vrednost RMSE. To je posledica činjenice da je precenjena greška u blizini izlaznog profila sa sliva i da to ne uvećava mnogo ukupnu dužinu toka. Diskutabilno je međjutim da li je velika greška u blizini izlaznog profila značajnija od jednako velike greške koja se javlja daleko od izlaznog profila. Takodje je diskutabilno da li je greška u pravcu „precnjivanja” slivne površine bolja ili gora od greške u pravcu „podcunjivanja” ove površine imajući u vidu pouzdanost hidroloških proračuna.



Slika 5: Greška u zavisnosti od veličine polja: (a) interpolacija „najbližeg polja”, (b) bilinearna interpolacija

Može se pretpostaviti da postoje dva uroka greške u veličini i obliku sliva sa porastom veličine polja. Prvi uzrok je povezan sa pretvaranjem vektorskog objekta (kao što je na primer linija) u rasterski objekat. Drugi uzrok je što promena veličine polja menja topografiju, tako da se dobije drugačija granica sliva. Interesantno bi bilo ustanoviti koji je od ova dva uzroka doveo do grešaka navedenih u prethodnoj tački. Da bi se dao odgovor na ovo pitanje, neophodno je najpre odrediti veličinu grešaka koje se mogu očekivati pri prevodjenju iz vektorskog u rasterski format, ili iz finog rasterskog formata u grubi rasterski format. U tom cilju treba razmotriti statističke pokazatelje u opštem slučaju, koji nije vezan za određen oblik sliva i gustinu mreže.

Ako se pretpostavi da postoji „tačna” granica sliva, može se proceniti očekivana greška pretvaranja linije u rasterski format. Jedan način da se dodje do tog podatka je da se sračuna srednja kvadratna površina otsečenog dela svakog presečenog graničnog polja „ i ”. Ovaj podatak predstavlja „varijansu greške”:

$$V_i = a \cdot S^4, \quad (2)$$

gde je V_i - varijansa greške i -tog polja, a - konstanta, a S - dužina stranice polja (na primer, 10, 20, ..., 50 m).

Vrednost konstante a računa se pretpostavljajući da je mreže presečena slučajnom pravom linijom. Predložene vrednosti konstante iznose: $a = 0.0452$ i $a = 0.0619$ [4]. Da bi se sračunala ukupna varijansa, potrebno je poznavati ukupni broj polja n koja su presečena „tačnom” granicom. Ovo dovodi do vrednosti standardne greške, koja se dobija kao koren varijanse:

$$SE = \sqrt{(n \cdot a) S^2}. \quad (3)$$

Procena broja polja koja seče granica može se obaviti pomoću izraza:

$$n = \frac{2 \cdot k_1 \sqrt{(\pi \cdot A)}}{k_2 \cdot \gamma}, \quad (4)$$

gde je $\gamma = 0.794$ - konstanta jednaka srednjoj kvadratnoj dužini slučajne prave povučene preko jediničnog kvadrata, k_1 - parametar čija vrednost zavisi od površine A unutar granice

i dužine granice L :

$$k_1 = \frac{L}{2\sqrt{(\pi \cdot A)}}. \quad (5)$$

Parametar k_2 je faktor „skupljanja” unutar polja i najčešće se uzima da je $k_2=1$.

Kombinacijom navedenih izraza, dobija se izraz za standardnu grešku u obliku:

$$SE = \sqrt{\left(\frac{L \cdot a}{\gamma}\right)} S^{3/2}. \quad (6)$$

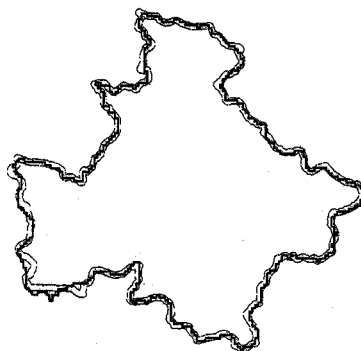
Ako se smatra da su „doprinosi” polja nezavisni, vrednost koeficijenta a se može sračunati pod pretpostavkom da je svako polje presečeno pravom, a primenom jednačine (5) na etalon sliv dobijen iz rasterskog DEM rezolucije 10 m, dobijena je vrednost faktora oblika $k_1=2.35$. Primenom jednačine (6) na ove podatke, sračunate su vrednosti standardne greške za konkretni sliv, date u Tabeli 2.

Tabela 2: Očekivana greška rasterizacije u odnosu na etalon sliv

DEM, razmera [m]	20	30	40	50	75	100	150	200	500
SE [km ²]	0.008	0.015	0.023	0.032	0.058	0.089	0.164	0.252	0.998

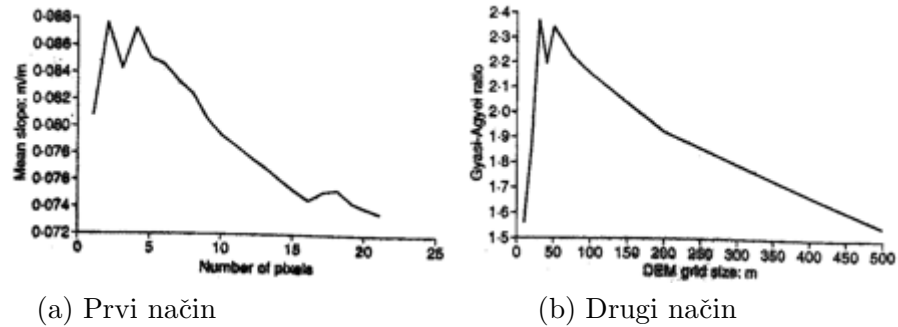
Može se primetiti da su vrednosti greške nešto manje od onih iz prethodne tačke, što ukazuje na to da postoji dodatni uzrok greške, odnosno da greške nije samo posledica rasterizacije.

Postoji još jedan način da se analizira greška rasterizacije. Radi se o konceptu „epsilon trake greške” oko digitalizovane linije. Ako se pogleda skica na Slici 6, teško je tvrditi da je greška većinom posledica digitalizacije. Skica prikazuje granice sliva dobijene iz rasterskih DEM rezolucije 10 m i 150 m. Oko granica je postavljena trakasta zona označavajući najveću moguću grešku rasterizacije. Iako granica dobijena sa 150 m povremeno izlazi van ove zone, može se zaključiti da ona relativno dobro ograničava sliv.



Slika 6: Granica sliva dobijena iz DEM rezolucije 150 m, sa trakastom zonom oko etalon sliva

Ovakve analize imaju smisla samo ako se praksi ponude određene preporuke u pogledu izbora optimalne razmere rasterskih mapa. U literaturi se može naći preporuka da razmera rasterske karte treba da bude jednaka *dužini linije uzdužnog nagiba*. Ova dužina se računa tako što se formira zavisnost prosečnog nagiba od pripadajuće površine, koristeći D8 algoritam, a zatim se utvrdi tačka infleksije. Teorijsko objašnjenje ovog pristupa je zasnovano na činjenici da voda teče niz teren duž linije sa najvećim nagibom, sve dok ne dostigne dolinu, gde se pravac toka menja ulivanjem u rečni prijemnik. Ovo je prikazano na Slici 7-(a).



Slika 7: Rezultati zasnovani na srednjem uzdužnom nagibu terena

Prema drugom predlogu, DEM je pogodan za definisanje hidrografske mreže i granice sliva ako je odnos prosečnog pada preko piksela i vertikalne rezolucije veći od jedinice:

$$\frac{\alpha \cdot D_x}{\sigma_{\Delta x}} = \frac{\text{Prosečni pad piksela}}{\text{Vertikalna rezolucija}} > 1, \quad (7)$$

gde je: α - prosečan pad [m/m], D_x - gustina mreže (dužina polja) [m], $\sigma_{\Delta x}$ - standardna devijacija relativne greške.

Rezultati na Slici 7-(b) pokazuju da, iako je navedeni odnos veći od razmere mreže, odnos ima najveće vrednosti između 30 i 50 m (3-5 piksela, svaki dužine 10 m), koje ukazuju na optimalnu razmeru mreže.

4 Zaključci

Odredjivanje granica slivova i podslivova je danas nezamislivo bez korišćenja računara i karti u elektronskom formatu. Na osnovu analiza koje su sprovedene za konkretni sliv (reka Brue u Engleskoj), mogu se izvući sledeći opšti zaključci:

(1) Automatsko generisanje granica sliva podložno je greškama. Uzrok najvećih grešaka su veštački objekti (putevi, kanali, drenažni sistemi itd.), koje kompjuter ne „prepoznaje” kao faktore koji bitno utiču na pravac kretanja površinskog oticaja. S druge strane, na tačnost rezultata utiče i više drugih faktora, kao što su rezolucija karte, algoritam za odredjivanje pravca i smera toka, kvalitet podataka i dr. Zbog toga je ručna intervencija pri povlačenju granice sliva i dalje neophodna, naročito u oblastima intenzivnih antropogenih aktivnosti.

(2) Rezolucija, ili razmera, digitalne karte može uticati na ishod definisanja slivnog područja. Iako se generalno greške smanjuju sa smanjenjem dužine polja mreže, postoji tačka kada se taj trend zaustavlja, pa finija rezolucija više automatski ne garantuje i tačnije rezultate. Prilično je izvesno da karta u finijoj rezoluciji, ili sitnijoj razmeri (na primer mreža sa dužinom polja od 10 m) daje manje tačnu granicu sliva od karte u grubljoj rezoluciji (na primer mreža sa dužinom polja od 50 m). Šta više, vreme procesiranja je najmanje proporcionalno kvadratu broja polja (n^2), tako da DEM rezolucije 50 m može biti procesiran najmanje 25 puta brže od mreže sa poljima od 10 m. To znači da karte u većoj rezoluciji ne samo da su skuplje na tržištu i da potencijalno generišu veću grešku, već zahtevaju i veći utorošak računarskih resursa.

(3) Zaključak pod (2) može se objasniti činjenicom da su dva bitna uzroka greške u različitim delovima spektra rešenja. Na gruboj karti, mala rezolucija smanjuje tačnost definicije slivnog područja usled značajne greške rasterizacije, dok kvalitet podataka i računski algoritam imaju manju ulogu. Obrnuto je kod karata u finoj rezoluciji; greške usled kvaliteta podataka postaju nepredvidive, tako da je granica sliva manje pouzdana. Važno je za korisnika da prepozna ovaj prag nestabilnosti za konkretni sliv, jer još uvek nije moguće dati dovoljno opšte preporuke, koje bi važile u svim slučajevima.

(4) Iz prethodnog proizilazi da je najbolje kombinovati automatsko generisanje granica sliva sa ručnim postupkom i da je u najmanju ruku, uputno uvek kontrolisati rezultate automatske obrade. Preporučuje se da se za dati sliv najpre izabere prag rezolucije, odnosno granična gustina mreže, a da se zatim za automatsko generisanje granica sliva koristi DEM u rezoluciji koja je blizu izabranog praga. U nastavku, treba u pozadini staviti klasičnu raster geodetsku kartu sa veštačkim objektima, sa koje bi se vizuelno kontrolisala kompjuterski generisana granica sliva i po potrebi, ručno vršile ispravke. Ovakav pristup je sigurno mnogo brži od klasičnog, ručnog postupka, a mnogo sigurniji i pouzdaniji od potpuno automatizovanog postupka.

Literatura

- [1] HEC-Geo HMS, www.hec.usace.army.mil/software
- [2] Jenson, S.K., Dominique, J.O., *Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, No. 11, 1988.
- [3] Costa-Cabral, M.C., Burges, S.J., *Digital elevation model networks (DEMON): a model of flow over hillslope for computation of contributing and dispersal areas*, Water Resources Research, No. 6, 1994.
- [4] Hammond, M., Han, D., *Issues of using digital maps for catchment delineation*, ICE, March, 2006.