

UDK 551.435.9(497.5)

Prihvaćeno (*Accepted*): 20. 1. 1996.Primljeno (*Received*): 3. 1. 1996.

Izvorni znanstveni članak

*Original Scientific Paper*

# MORFOGRAFSKI POKAZATELJI PORIJEČJA KRAPINE

Danijel Orešić

U članku se iznose ishodi mjerenja površine, duljine razvodnice, duljine poriječja, reljefnog raspona, ukupne duljine tekućica i duljine glavne tekućice poriječja Krapine. Ovi osnovni izravno mjereni morfološki pokazatelji mjereni su računalno (PC ARC INFO program) iz oblikovane GIS baze podataka i pojedinačno predstavljeni.

*The paper presents the results of the measurements of the catchment area, the length of the topographic drainage boundary, basin length, maximum basin relief, the total stream length and the main channel (Krapina river) length. These simple morphographic variables are measured by computer aid (PC ARC INFO) program from prepared GIS database and separately presented and discussed.*

**Ključne riječi:** Poriječje Krapine, morfološki pokazatelji, PC ARC INFO

**Key Words:** Krapina river drainage area, morphology, PC ARC INFO

## UVOD

Od objavljivanja klasičnih Hortonovih članaka (Horton, 1932., 1945.) poriječje je postalo uobičajena, moglo bi se reći i standardna, prostorna jedinica za mjerenja i istraživanja u fizičkoj geografiji. Hormann (1969.) opisuje drenažne bazene kao "idealne morfološke jedinice" u istraživanjima jer se međusobno mogu uspoređivati i jer su njihove značajke tijesno povezane s fiziografskim procesima. Poriječje je značajno i kao jedinica uzorkovanja. Ono je omeđena, nedvosmislena i razmjerno prikladna topografska jedinica koja je i hijerarhizirana na osnovi svrstavanja tekućica kako je predloženo od Hortona i primjereno preoblikovano i prilagođeno od Strahlera (Chorley, 1969.). Tako je raščlamba poriječja kao takvih standardnih jedinica bila osnova čitavog niza radova.

Općenito se razna prirodna (fizička) geografska obilježja poriječja, očitana i mjerena

iz zemljovida i snimaka, razvrstavaju u morfološke (morfološke) pokazatelje koje se prvenstveno odnose na crtolike i izdužene predmetke i obilježja, površinska obilježja, oblik poriječja i reljef poriječja (Gustavson, 1973.). Budući da je teško sve morfološke promijenljivke razvrstati u nabrojane skupine, obično se izdvaja i dodatna skupina složenijih pokazatelja. Morfološke pokazatelje moguće je podijeliti na temeljne i složene (Gardiner, 1975.) pri čemu se temeljne vežu za osnovna mjerenja.

U radu su prikazana temeljna morfološka obilježja i način mjerenja pojedinih pokazatelja na primjeru poriječja Krapine. Za poriječje Krapine iznositi će se rezultati mjerenja i računanja obavljenih u sklopu širega rada (Orešić, 1994.). U ovom članku se prikazuje prvi dio, odnosno osnovni mjereni (neizvedeni) morfološki pokazatelji poriječja, dok će skupina složenih morfološ-

skih pokazatelja biti objavljena drugom prigodom. Svrstavanje (klasifikacija) tekućica bit će uvrštena među složene, odnosno nemjerene pokazatelje i prikazano u drugom članku.

### METODA RADA

Svi pokazatelji koji su zahtijevali mjerenje izmjereni su računalnim putem. Pri tom je primjenjen GIS program PC ARC INFO 3.4 d. Poriječje Krapine, odnosno odgovarajući slojevi uneseni su s orohidrografskih karata u mjerilu 1:50000, izdanje VGI, Beograd. Unesena grafika obrađena je, dodani su odabrani podatci o obilježjima i načinjena je prostorna baza podataka za cijelo poriječje s posebnim slojevima za reljef, tekućice, razvodnice, a proširena je kasnije sa slojem geologije i centroida naselja. Ova je prostorna, odnosno geografska baza podataka poslužila za mjerenja osnovnih morfografskih pokazatelja s odgovarajućim prihvatljivim čimbenikom pogriješke. Postupak zahtijeva skupu opremu, razmjerno je spor, no vrlo je precizan način mjerenja (Gardiner, 1975.).

Pri mjerenjima treba istaknuti da se crtni i površinski oblici u poriječju uobičajeno mjere planimetrijski. Za morfometrijske potrebe (geomorfologija, hidrogeografija) mjere se najčešće onako kako su proicirani na ravninu, na zemljovidu ili neposredno sa snimaka. Budući da se površine i krivulje u stvarnosti razlikuju od svojega ortogonalnoga prikaza, dolazi do pogriješki. Učinke ove razlike u geografskim istraživanjima istraživali su neki znanstvenici (Neuenschwander, 1944.). Izravno mjerenje s topografskih karata općeprihvaćeno je, tim više što je pogriješka sustavna i pokazalo se da ne utječe bitno na rezultate odnosnih istraživanja.

Terenskim izlascima u doba hidrološkog maksimuma i minimuma potvrđivane su odluke o načelima mjerenja s podloga, posebice prigodom utvrđivanja i mjerenja tekućica u poriječju.

### REZULTATI I RASPRAVA

**1. Površina poriječja (oznaka:  $F_E$ ) - (druge moguće oznake:  $F = \text{Fläche}$ ,  $A_E$ ,  $A = \text{area}$ )**

Poriječje (općengl.-drainage basin, river basin; USA engl.-watershed; UK engl.-catchment area; njem. Flusseinzugsgebiet; rus.

rečnoj bassejn ili vodosbor; franc. bassin fluvial; tal. bacino fluviale) je dio prostora što ga odvodnjava tekućica sa svojim pritocima na površini kopna i kroz podzemlje. Površina poriječja je cijela površina odvodnjavana sustavom tekućice, omeđena razvodnicom, a projicirana na vodoravnu plohu. Jasno je da će posebne poteškoće biti ako je poriječje u području u kojemu se površinska i dubinska razvodnica neće poklapati. Za poriječje Krapine bilo je dovoljno utvrditi površinsku razvodnicu. U proračunima se, ako nije posebno drugačije rečeno, kada se govori o površini poriječja, podrazumijeva projicirana površina. Za količinu padalina to je dovoljno jer se padalina mjeri na vodoravnu plohu. Stvarna površina poriječja ima određeno značenje kod računanja veličine isparavanja i tada se može uzimati u obzir. Površina poriječja posebno je zanimljiva hidrolozima, geomorfolozima i drugima. Površina se naziva "najvažnijom fizičkom značajkom" poriječja (Golding i Low, 1960.). Primjenjena istraživanja otkrivanja, prijenosa taloga i sl. nalaze jake korelacije tih veličina s površinom poriječja. S druge strane, teorijske studije o geometriji poriječja također nalaze površinu prvenstvenom značajkom poriječja. Kada je određena razvodnica, odnosno međa poriječja, pristupa se mjerenju površine.

Postoji niz načina na koji se može provoditi mjerenje površina. Osnovne skupine načina mjerenja su: a) geometrijski načini - najčešće se broje jedinične površine unutar mjerjenog lika. To mogu biti četvorine (npr. milimetarski papir) ili trokuti i dr. (Monkhouse i Wilkinson, 1963.); b) planimetriranje - odnosno mjerenje različito ustrojenim planimetrima (napravama za mjerenje površina); c) vaganjem - vagom velike točnosti važe se papir poznate gustoće izrezanog prema površini koju mjerimo i d) mjerenje pomoću računala i odgovarajuće opreme. Tu postoji čitav niz načina kojima je prednost razmjerno velika točnost.

Poriječje Krapine proteže se na 7 listova u mjerilu 1:50 000 s kojih su digitalizirane prethodno određene i ucrtane glavna razvodnica (poriječja Krapine) i razvodnice poriječja glavnih pritoka Krapine. Nakon spajanja, pregleda i računalnog oblikovanja topologije dobiveni su ishodi prikazani u Tablici 1.

Tablica 1: Površine poriječja i duljine razvodnica glavnih pritoka Krapine

	desni glavni pritoci				lijevi glavni pritoci						
	ime	površina poriječja km <sup>2</sup>	duljina razvodnice km	okupljenost (Gravelius)	kružnost (Miller)	ime	površina poriječja km <sup>2</sup>	duljina razvodnice km	okupljenost (Gravelius)	kružnost (Miller)	
1	"Zaprešić"	9.4	15.7	1.44	0.48	1	Ivanščak	1.8	7.4	1.55	0.41
2	"Pojatno"	1.7	6.2	1.34	0.55	2	Kutinci	7.1	12.5	1.33	0.56
3	"Kupljenovo"	3.5	9.4	1.42	0.49	3	Bistra (I)	27.3	26.3	1.42	0.50
4	Vučelnica	50.3	42.9	1.70	0.34	4	Dedina (+Kupina)	12.9	19.1	1.50	0.44
5	Luka	14.1	19.5	1.46	0.47	5	Bistra (II)	17.5	28.7	1.94	0.27
6	"Vižovlje"	10.5	20.2	1.76	0.32	6	"Igrišće"	4.1	11.9	1.67	0.36
7	Horvatska	241.4	89.4	1.62	0.38	7	Jamno	9.5	18.4	1.68	0.35
8	Krapinčica	194.6	91.4	1.85	0.29	8	Krčinec	1.7	6.9	1.50	0.44
9	Sovinjak	3.7	9.5	1.41	0.51	9	Conec	1.7	7.5	1.62	0.38
10	Križanec	8.8	16.6	1.58	0.40	10	Toplica	89.5	52.1	1.55	0.41
11	Vojsak	34.3	29.6	1.43	0.49	11	Štefanščak	4.8	12.3	1.58	0.40
12	Velika reka	75.5	54.7	1.78	0.32	12	a prtok Stare krapine	1.9	5.5	1.12	0.80
13	Reka	55.2	48.6	1.84	0.29	13	b prtok Stare krapine	2.3	7.6	1.41	0.50
14	Bukovec	11.0	19.3	1.64	0.37	14	Lepaveščak	5.5	10.8	1.30	0.60
15	"Veleškovec"	2.3	7.9	1.47	0.46	15	c prtok Stare krapine	1.1	4.7	1.27	0.62
16	Ivanec	13.0	17.1	1.34	0.56	16	Pinja	23.3	24.6	1.43	0.49
17	Batina	32.4	40.9	2.02	0.24	17	"Selnica 1"	0.3	2.7	1.32	0.58
18	Selnica	39.3	40.9	1.84	0.30	18	"Selnica 2"	2.8	8.8	1.48	0.46
19	"A prtok Krapine"	0.6	3.7	1.31	0.58	19	Bistrica	43.2	34.9	1.50	0.44
20	"Budničina"	1.9	6.5	1.33	0.56	20	"Gorički"	1.6	6.1	1.35	0.55
21	"Zajezda"	14.7	19.6	1.44	0.48	21	Žitomirka	16.2	20.2	1.41	0.50
22	"Pece"	2.1	6.0	1.16	0.74	22	"Martinci"	1.5	6.8	1.54	0.42
						23	"Jertovec"	6.7	12.8	1.40	0.51
						24	"Cvetki"	3.0	7.8	1.27	0.62

izvor: D. Orešić (1994.) - GIS baza podataka poriječja Krapine

napomene: Kao glavni pritoci u obzir su uzete tekućice ucrtane na zemljovidima VGI 1:50 000, istodobno barem drugoga reda po Strahleru.

Imena tekućica u navodnicama su neslužbena, jer nisu poznata ili ih puk različito naziva.

Za prvih devet lijevih glavnih pritoka (Ivanščak... Conec) površina poriječja (i dr.) se računa do ušća u lateralni kmal.

Za poriječje Krapine u cjelosti izmjerena je površina od 1235,8 km<sup>2</sup>, dok je duljina razvodnice 209,7 km. Iz toga se daje izračunati da je Graveliusov pokazatelj okupljenosti 1,682, dok je Millerov pokazatelj kružnosti 0,353. Drugim riječima, prema Graveliusu (1914.), proizlazi da je razvodnica za oko 1.7 puta dulja od kružnice kruga poriječju jednake površine. Ili, prema Milleru (1953.) površina poriječja Krapine čini tek oko 1/3 površine kruga čiji bi opseg bio jednak duljini razvodnice. Dakle, iako je oblik poriječja Krapine razmjerno pravilan, ipak je razvodnica razmjerno razvedena. Pravilnost poriječja Krapine proizlazi iz njegova sročika oblika. Oblik poriječja povezan je s njegovim hidrološkim obilježjima i o njemu će još biti riječi. Međutim, u poriječju Krapine do izražaja dolazi nesimetrija u odnosu na glavnu tekućicu. Iz podataka o pritokama (tab. 1) očitavamo da su površine pojedinih poriječja desnih pritoka uglavnom veće od lijevih. Tako prosječna veličina poriječja navedenih desnih

pritoka iznosi 37,3 km<sup>2</sup>, dok lijevih 12,0 km<sup>2</sup>. Desne su pritoke općenito dulje i imaju veće poriječje. To proizlazi iz reljefnoga ustrojstva, odnosno položaja Krapine. Desna strana poriječja u cjelini ima površinu od 866,8 km<sup>2</sup>, a lijeva 368,9 km<sup>2</sup>; što je odnos 70,15% naspram 29,85% u korist desne strane poriječja. Ova činjenica ima hidrološki značaj. Naime, sredotežna mreža tekućica koja se oblikuje zahvaljujući reljefu (gorski okvir koji zatvara uleknuce) i obliku poriječja Krapine odgovara mogućnostima pojave vrlo visoke vode. Međutim, ova nesurijednost poriječja čimbenik je koji ublažava pojave visoke vode, kao i razlike visokih i niskih voda. To je stoga, što je otjecanje vode s lijeve i desne strane poriječja različito. Lijevi pritoci su brojni, kratki, bujičasti i s medvedničkog osoja brzo odnose vodu u Krapinu. Ovdje su opasnost bujice. Desni pritoci su dulji i veći, daleko blažega nagiba, te se njihove visoke vode ne ulijevaju istodobno u Krapinu kad i visoke vode lijeve strane poriječja. Kada bi zagorje



Sl. 1. Poriječje Krapine

Fig. 1 Krapina river drainage basin

Medvednice i grigorje Ivančice imala sličnije značajke, nesusrijednost bi bila manja, a vodni val veći, dugotrajnije poplave izraženije.

**2. Površinska razvodnica (oznaka:  $L_{r1}$ ) - (duljina razvodnice - opseg poriječja) - (druge moguće oznake:  $l_w$  = Lange Wasserscheide,  $P$  = perimeter,  $O$  = opseg).**

Površinska razvodnica (općeengl.-topographic drainage boundary, drainage divide, - a za razvodnicu nižega reda, tj. koja se nalazi unutar promatranog poriječja i dijeli dva manja poriječja koja oba pripadaju motrenom višem sustavu postoji izraz - interfluve; UK

eng.- watershed; njem.- oberirdische (topographische) Wasserscheide; rus.- poverhnostnyj vodorazdel; franc.- ligne de partage topographique; tal.- linea spatiacque) jest geometrijski pojam, odnosno krivulja koja spaja najviše točke na razvodu. Razvodnica se određuje na zemljovidima, snimkama, a na neodređenim razvodima (u ravninama i močvarama) i na terenu. Površinska razvodnica može se bez teškoća odrediti dovoljno točno na karti 1:100000 za veća poriječja od 400 km<sup>2</sup>, a za manja na karti 1:50 000 (Srebrenović, 1986.). Za poriječje Krapine s tog stajališta potpuno su odgovarale podloge 1:50 000. Treba reći da

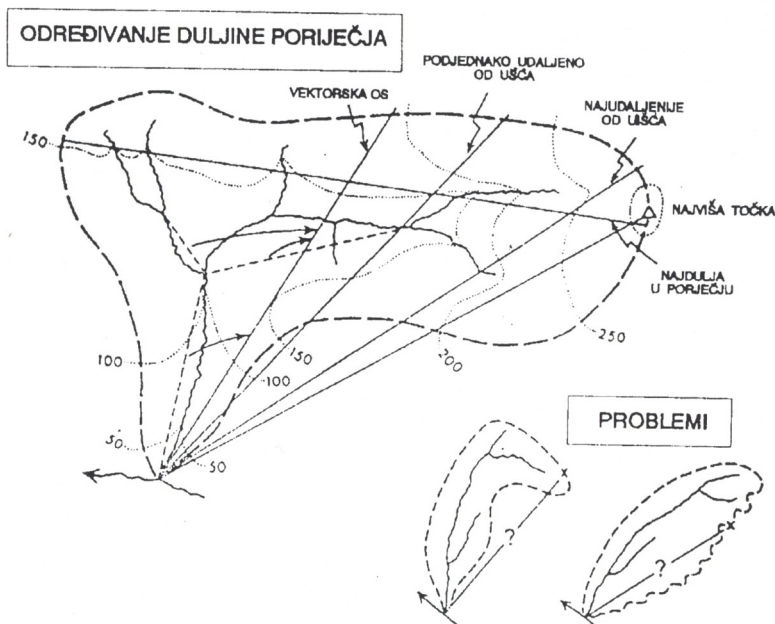
se u dijelovima poriječja koja su izgrađena od vodopropusnih stijena dubinska razvodnica ne mora poklapati s površinskom. Tada je određivanje hidrološke razvodnice nemoguće provesti bez hidrogeoloških istražnih radova kojima se utvrđuje podzemno kolanje vode. Problem se otežava time što razvodnica ne mora biti nepomična, već može ovisiti o geološkoj strukturi i promjenljivoj visini vodnog lica. U praksi se nastoji da se razvodnice odrede topografski, jer se time mnoga pitanja pojednostavljaju (Seyhan, 1977., Srebrenović, 1986.).

Svakako je duljina površinske razvodnice, odnosno opseg poriječja (često je oznaka: P, premaengl. - drainage perimeter; u literaturi na njemačkom: lw - Lange der oberirdischen Wasserscheide) nezaobilazna morfometrijska značajka poriječja. Iako je to duljinska mjera, obično se svrstava u površinske varijable jer je usko povezana s površinom (Gustavson, 1973.). Osim toga, često se koristi s drugim varijablama da bi se iznašao neki količnik koji

se odnosi na poriječje, koji izražava neko svojstvo u svezi s površinom.

Za mjerenje duljina postoji niz mogućih načina: a) mjerenje krivinomjerom; b) mjerenje dvošiljnim šestarom s vijkom za namještanje točnog raskoraka, kojim se mjere duljine ophodnjom i brojanjem koraka. Za različite raskorake šestara postoje odgovarajuće ispravke (Volkov, 1950.); c) mjerenje označivanjem na papirnoj traci pojedinih odsjeka na duljini koju mjerimo; d) pričvršćivanjem niti (konca i sl.) uzduž duljine koju mjerimo; e) računalno mjerenje.

Većina od ovih načina je spora i zamorna, no ukoliko ne posjedujemo elektroničku opremu, tada je razmjerno točan i brz način mjerenja dvošiljnim šestarom. Točniji, ali i sporiji je način mjerenja papirnom trakom. Digitalizacijom utvrđena duljina razvodnice poriječja Krapine iznosi 209 653 metara, odnosno 209,7 km. Iz tablice 1 mogu se očitati i duljine razvodnica za poriječja glavnih pritoka.



Sl. 2. Načini određivanja duljine poriječja

Fig. 2 Methods of the drainage basin length determination

### 3. Duljina poriječja (oznaka: $L_E$ ) - (druge moguće oznake: $L$ , $L_b$ , $l_E$ )

Za duljinu poriječja (engl.- basin length; njem.- Lange des Einzugsgebietes; rus.- dlina bassejna) predložen je niz odredbi, odnosno načina mjerenja. Pregledom udžbenika i metodoloških priručnika nađeno je 12 različitih načina utvrđivanja duljine poriječja (!):

a) poistovjećuje se s duljinom glavne tekućice,

b) utvrđuje se kao duljina glavne tekućice od ušća do razvodnice, pri čemu se od izvora glavne tekućice produžuje crta do razvodnice slijedom najkraćeg površinskog otjecanja (preporučeni način po E. Seyhanu (1977.)),

c) glavna tekućica, promatrana tlocrtno, ucrtava se kao niz pripadnih točaka na graf. Tada se točke promatraju kao dijagram rasipanja te se izračuna matematička krivulja koja se, metodom najmanjih kvadrata, najbolje prilagođava ucrtanim vrijednostima. Ta krivulja presjeca razvodnicu na dva mjesta, između kojih se mjeri njena duljina i uzima kao duljina poriječja.

d) utvrđuje se kao duljina pravca koji spaja ušće i izvor glavne tekućice s produžetkom do razvodnice (kako D. Dukić (1984.) navodi za pravilnija poriječja),

e) utvrđuje se kao duljina medijalne crte (crte sredine). To je krivulja koja se na zemljovidu ucrtava polazeći od razvodnice pri izvoru glavne tekućice prema ušću na taj način da je uvijek jednako udaljena od suprotnih razvodnica (lijevo i desno od glavne tekućice) (kako D. Dukić (1984.) navodi za nepravilnija poriječja),

f) utvrđuje se kao duljina dužine između ušća i najudaljenije točke na razvodnici (prema J. Ridanoviću (1993.) preporučeni najpouzdaniji i najjednostavniji način),

g) utvrđuje se kao duljina najdulje dužine koja se može povući između dviju točaka na razvodnici,

h) utvrđuje se kao duljina dužine (između ušća i neke točke na razvodnici) tako povučene da presjeca poriječje na takav način da s jedne i s druge njene strane ostaju jednake površine,

i) utvrđuje se kao duljina dužine povučene između ušća i najviše točke na razvodnici,

j) utvrđuje se kao duljina vektorske osi poriječja (zbrajaju se vektori pojedinih ili svih odsječaka na tekućicama poriječja),

k) utvrđuje se kao duljina dužine od ušća, preko središta poriječja, do crte koja je okomita na prethodnu, a otsjeca oko 5% površine poriječja,

l) utvrđuje se kao duljina dužine povučene od ušća do točke na razvodnici koja razvodnicu dijeli na dva jednako duga dijela (jednako je udaljena od ušća, mjereći po razvodnici na bilo koju stranu) (preporučeni način po V. Gardineru (1975.)).

Neki od ovih načina mjerenja prikazani su na slici 2.

Nije moguće uspoređivati tu veličinu ako nije u usporedbi mjerena jednako u svim primjerima. Zaključujemo da je teško odlučiti se uvrštavati ovu veličinu u složene pokazatelje poriječja, jer time i njima smanjujemo mogućnost usporedbe s obzirom na nepostojanje standardnog načina. Pojedini načini ipak se rjeđe provode. Neke su odredbe nedovoljno objektivne ili uključuju neka teža mjerenja. Zapaženo je da se razmjerno često javlja slučaj da konačna dužina koja predstavlja duljinu poriječja leži djelom izvan crta poriječja ili se ne pruža prema uobičajenom pojmu duljine poriječja (pr. najdulja dužina unutar poriječja, sl.2). Izabrana su tri načina koji su jednostavni, oslonjeni na osnovna mjerenja i češće korišteni u radovima.

Prvi je predložen kao najpouzdaniji i najjednostavniji prema Ridanoviću (1993.), a i u drugim istaknutim udžbenicima (Baumgartner & Liebscher, 1990.), tj. mjerenje udaljenosti između ušća i najudaljenije točke na razvodnici. Slijedeći to pravilo utvrđena je točka ušća (GK koordinate: x 5076238, y 5564314) i najudaljenija točka na razvodnici (GK: x 5115072, y 5597039) u prostornoj računalnoj bazi, te je računalom određena udaljenost na 50 784 m. Drugim riječima, prvi način mjerenja određuje duljinu poriječja na 50,8 km.

Nadalje je, prema preporuci Gardinera (1975.), duljina poriječja uzeta kao duljina između ušća i točke na razvodnici na polovici udaljenosti od ušća. Pritom Gardiner iznosi kako je ova mjera, temeljena na duljini razvodnice, nezadovoljavajuća jedino ako pos-

toje značajne teškoće u utvrđivanju razvodnice ili u rijetkim slučajevima izrazite nepravilnosti poriječja (sl. 2). Kako to nije došlo do izražaja u poriječju Krapine, računalno je određena točka polovišta razvodnice (GK: x 5115388, y 5572326), odnosno točka od koje je na obje strane do ušća razvodnica jednako dugačka. Računalom je utvrđena udaljenost između ušća i točke polovišta razvodnice na 39 961 m, što je, poštujući ograničenja točnosti bolje izraziti na 40 km.

Treća odabrana odredba duljine poriječja je prema preporuci Seyhana (1977.), tj. mjeri se kao ukupna duljina glavne tekućice i njenog produžetka od izvora do razvodnice, slijedeći površinsko otjecanje. Seyhan preporučuje da se u odgovarajućim slučajevima primjenjuje Hortonovo pravilo (Horton, 1945.) manjeg kuta. Naime, u sutoku dviju tekućica kao glavna se uzima ona koja utječe pod manjim kutom u odnosu na unazadno produženje toka iza sutoka. U slučaju da su kutovi podjednaki uzima se dulja tekućica kao glavna. Kod Krapine nije bilo potrebe odstupiti, budući da se njen tok poklapa s tokom određenim pravilom kuta sutoka, kako je provjereno na terenu (čime se izbjegava pogriješka koja proizlazi iz generalizacija na zemljovidima). Duljina Krapine iznosi 70 260 m, a produžetak daljnjih 372 m, pa je računalno izmjerena duljina poriječja prema ovom načinu 70 632 m, odnosno 70.6 km.

**4. Reljefni raspon** (*indeks reljefa*) (*oznaka:  $H_E$* ) - (*ostale moguće oznake  $H_m$ ,  $H_b$* ).

Raspon (razmah, skok) reljefa poriječja nazvan (Ridanović, 1993.) indeks reljefa (engl.- maximum basin relief, ponekad samo basin relief, relative relief i local relief; njem.- Reliefamplitude; rus.- koeficient reljefa) izračunava se jednostavno kao razlika između najviše ( $H_{max}$ ) i najniže ( $H_{min}$ ) točke u poriječju. To je ujedno i najjednostavnija morfografska promjenljivka koja se tiče reljefa. Gustavson (1973.) se izjašnjava za pojednostavljenje, te raspon reljefa (kojeg on naziva relative relief) izračunava kao razliku između najviše točke na razvodnici i najniže točke na razvodnici (najčešće ušće). Pri tom se Gustavson poziva na Coffmana (1971.) i



Sl. 3. Tri osnovna načina mjerenja duljine poriječja Krapine

Fig. 3 Three basic methods of measuring the length of the Krapina drainage basin

kaže kako su iznimke oni slučajevi kada najviša i najniža točka u poriječju nisu na razvodnici već unutar poriječja. Seyhan (1977.) se također slaže s odredbom da je raspon reljefa (kojeg on naziva maximum basin relief) razlika između nadmorske visine ušća i najviše točke na razvodnici. Ovdje treba reći da Seyhan posebno razlikuje basin (watershed) relief kojeg računa kao razliku prosječne visine razvodnice i visine ušća.

U sklopu poriječja Krapine razlika između najniže točke (ušće, 125 m n.m.) i najviše (vrh Ivančice na razvodnici, 1 061 m n.m.) iznosi 963 metra.

**5. Ukupna duljina svih tekućica** (*oznaka:  $\Sigma LF$* ) - (*ostale moguće oznake:  $\Sigma L$ ,  $\Sigma L_u$ ,  $L_F$ ,  $C_t$  = total channel length*).

Ukupna duljina svih tekućica (engl.- total stream length, total channel length; njem.- Gesamtflusslänge, Gesamtlänge aller Flussabschnitte; rus.- summa dlin vseh rek) temeljno je mjerenje i jedan od temeljnih morfografskih pokazatelja. Koristi se kod složenijih pokazatelja, a posebno kod gustoće mreže.

Ovdje treba spomenuti osnovne poteškoće pri korištenju ovog pokazatelja, odnosno pri

mjerenju duljina tekućica. Prvenstveno, mjerenja duljina tekućica ovisi o mjerilu zemljovida (generalizacija oblika). Tako mjerenjem iste tekućice na topografskim kartama različitoga mjerila dobijamo različite vrijednosti.<sup>1</sup> Stoga ponovimo da su veličine mjerene na zemljovidu 1:50 000. Prema Dukiću (1984.) za mjerenje duljina rijeka najčešće su se koristile upravo podloge toga mjerenja. No, osim mogućih pitanja o točnosti same podloge (o čemu se ovdje iz razumljivih razloga ne može pisati; vidi izdanja VGI) treba kazati da su tekućice promjenljiv sustav, vrlo "žive", i kao takve mijenjaju (a pogotovu prije razdoblja regulacija) svoje značajke. Ponekad se javlja zahtjev da se mjere tekućice u što prirodnijem stanju; misli se da treba izbjegavati ljudskom intervencijom promijenjene dijelove tekućica. No, budući da su stariji zemljovidi manje točni i manje sadržajni ne mogu se lako koristiti, pa se na novijim zemljovidima predlažu razna rješenja u suvremenom knjištvu. Mjerenje je provedeno prema uputstvima koje predlaže Gardiner (1975.) prema kojima se mjeri duljina svih iscrtanih plavih crta, budući da je primjena određivanja mreže uključivanjem svih dolina (praćenjem "v" usjeka izohipsi) pokazala određene slabosti. Tim prije, što se ovdje ne mjeri drenažna mreža, već duljina svih tekućica. Ipak, mjerenje svih tekućica uključuje i mjerenje tekućica koje su na karti ucrtane crtkano, dakle povremene. Odstupanje od pravila necrtanja svih usjeka učinjeno je jedino u slučaju kada je na podlozi bilo ucrtano izvorište koje nije bilo spojeno sa sustavom tekućica, iako postoji dolina, naznačena "v" oblikom izohipsi. U tom slučaju ucrtana je tekućica, kako to dopušta i Gardiner s naznakom da se to koristi kao pravilo. Prema pravilima, kada god je bilo moguće, izbjegnuta su mjerenja umjetnih građevina. U slučaju grananja tekućice, izabran je središnji rukavac. U slučaju veće tekućice, koja je na karti prikazana dvijema crtama, mjerenje je obavljeno crtom sredine.

Digitalizacijom je mreža tekućica prenesena u računalni oblik, i ujedno služi kao baza podataka iz koje se može doznati ne samo duljina tekućica, već i duljina pojedinih izabranih tekućica ili skupine tekućica. Isto tako moguće je mjerenje pojedinih odsječaka, što

je korišteno pri svrstavanju tekućica, te mjerenje duljina svih tekućica unutar određene površine, pravilne ili nepravilne. Prema bazi podataka ukupna duljina tekućica poriječja Krapine iznosi 1 683,7 km ne računajući nesvrstane (razvrstavanje prema Strahleru, 1952.) tokove, dakle ne računajući mrtvice, neteče, rukavce, suteče i prokope označene na digitalizacijskoj podlozi 1:50 000, a čija ukupna duljina iznosi daljnjih 102 km.

### 5. Duljina glavne tekućice (oznaka: $L_{Fprim}$ ) - (ostale moguće oznake: $L_b$ , $C_m$ - main channel length)

Niti ova veličina poriječja nije potpuno jednoznačno određena. Duljinu glavne tekućice (engl.- primary (main) channel length; njem.- Lange der Hauptfluss; rus.- dlna glavnoj reki). Izbor, odnosno imenovanje neke tekućice za glavnu tekućicu može biti odraz povijesnih prilika i nije objektivno uvijek slijediti glavnoimenovanu tekućicu. Uglavnom se u knjištvu navode dva osnovna načina koji nastoje izbjeći subjektivnost. Prvi je način da se za glavnu tekućicu uzima središnji vodotok bez obzira na duljine odsječaka, dok je drugi način, koji teži još većoj objektivnosti, da se za glavnu tekućicu uzima najduži mogući vodotok. Pri tom se često uzima i produžetak od izvora glavne tekućice do razvodnice slijedeći površinsko otjecanje. Primjenjuje se češće i preporučuje mjerenje središnjega vodotoka, jer se pokazalo da je pravilo najdužeg mogućeg vodotoka kruto i teško je primjenljivo, napose bez računala i u većim mrežama tekućica. Pod određivanjem glavne tekućice kao središnje u poriječju najčešće se uzima Hortonovo pravilo manjeg kuta, no, ukoliko se raspolaze s podatcima može se pokušati utvrditi prema količini vode koju pojedine tekućice donose (ujedno je to u svezi s manjim kutem utjecanja), uz potreban oprez zbog ljudskih djelatnosti koje mijenjaju prirodno stanje. Duljina tekućice utvrđuje se od ušća prema izvoru, budući da je ušće moguće (u

1 Prema Radoševiću (Peterca, Radošević, Milisavljević, Racetin, 1974.) pod pretpostavkom pravilnog uopćavanja smanjena je duljina toka u odnosu na mjerilo tako da ako ona na 1:25 000 iznosi 100% duljine tada na 1:100 000 mjerimo 76% a na 1:1 000 000 mjerimo 63% njene duljine.



velikoj većini slučajeva) razmjerno lako i točno odrediti, a izvor je teže odrediti. Već je rečeno da Krapina ima sve značajke glavne tekućice poriječja, a njena duljina iznosi 70,26 km, prema korištenim podlogama. Treba imati na umu da je ovo mjerenje obavljeno nakon regulacije toka 50-ih godina (oko 30% skraćen tok na odsječku od ušća do Zaboka).

### ZAKLJUČAK

Na praktičnom primjeru utvrđeno je da program PC ARC INFO 3.4.d može prilagoditi potrebama mjerenja u hidromorfometriji. To se pokazalo pri oblikovanju prostorne baze podataka poriječja Krapine,

što uključuje slojeve tekućica, razvodnica, slojnice i dr. Mjerenja se, po oblikovanju prostorne baze podataka, obavljaju relativno brzo i jednostavno, za razliku od pojedinih nekadašnjih načina mjerenja morfografskih pokazatelja poriječja. Potrebna je dobra priprema koja uključuje odabir podloga, posebno odgovarajućeg mjerila, prije digitalizacije. Kako se pokazalo, i kod pojedinih jednostavnih, izravno mjerljivih, morfografskih pokazatelja postoji niz načina mjerenja koji se navode u literaturi. Izdvojeni su prihvatljiviji i češće korišteni i izneseni ishodi mjerenja za poriječje Krapine.

### Summary

## MORPHOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF KRAPINA RIVER DRAINAGE BASIN

by Danijel Orešić

The investigated area in this paper is the Krapina river drainage basin situated in Hrvatsko zagorje region in Croatia. The aim of the paper was to put forward some measurement results in the Krapina drainage basin and the same time to present a group of simple morphographic (hydromorphologic) parameters, i.e. which can be obtained by measurement alone.

The method of measurements performed was computer based. For this purpose as well for the further investigations in the area a GIS database was founded (PC ARC INFO 3.4.d). The software has proved to be flexible and adjustable for the purpose of morphographic measurements in a drainage basin. Orographic - hydrographic maps (relief and blue lines) in scale 1:50 000 where used as the source of the data to be digitised. The scale of the maps is chosen during the preparations. The related measurement errors are to be taken into account.

For the case of Krapina river drainage area the results of measurements are as follows: the catchment area is 1 235,8 km<sup>2</sup>, and the length of the topographic drainage boundary is 209,7 km. Thus, the roundness (Gravelius, 1914.) is 1,682 and circularity (Miller, 1953.) 0.353, in-

dicating that the topographic boundary is well indented, although the shape is not particularly distorted. However there is a basin asymmetry (70,15% of the total area is on the right side) which allows different concentration times and lowers main stream water-wave. Basin length is measured in three different ways, and is not particularly high. Maximum basin relief is 963 meters (125 m at mouth and 1 061 m at mountain peak of Ivančica). The total stream length is 1 683,7 km and the main channel (Krapina river) is 70,3 km long. Each of these simple morphographic characteristics (variables) are discussed separately. The literature is consulted for to present the measurement possibilities, as well as the way of determination. For some variables more than one definition can be found. This is especially the case for the basin length, so three more often used definitions of basin length are used and measurements performed.

For the proper comprehension of the results of the morphographic measurements in Krapina river drainage area the role of the scale, measurement way, changes in the objects measured, equipment and man factor are to be taken into account.

## Literatura

1. Baumgartner, A. & H-J Liebscher (1990.): *Allgemeine Hydrologie; Quantitative Hydrologie. Lehrbuch der Hydrologie, Band 1, Gebrüder Borntraeger, Berlin - Stuttgart.*
2. Chorley, R. J. (1969.): *The Drainage Basin as the Fundamental Geomorphic Unit. Water, Earth and Man, Methuen, Cambridge.*
3. Coffman, D. M. et.al. (1971.): *The W.A.T.E.R. System: computer Programs for Stream Network Analysis. Technical Report No. 16, Purdue University Water Resources Research Center.*
4. Dukić, D. (1984.): *Hidrologija kopna. Naučna knjiga, Beograd.*
5. Gardiner, V. (1975.): *Drainage Basin Morphometry. Technical Bulletin of the British Geomorphological Research Group, Vol. 14, Geo Abstracts Ltd.*
6. Golding, B., L., D. E. Low (1960.): *Physical Characteristics of Drainage Basins. Journal of Hydrology Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineering, Vol. 86.*
7. Gravelius, H. (1914.): *Grundriss der gesamten Gewasserkunder. Flusskunde, 1, Berlin - Leipzig.*
8. Gustavson, G. C. (1973.): *Quantitative Investigation of the Morphology of Drainage Basins using Orthophotography. Münchner geographische Abhandlung, Band 11, Geographisches Institut der Universität München.*
9. Hormann, K. (1969.): *Geomorphologische Kartenanalyse mit Hilfe elektronischer Rechenanlagen. Zeitschrift für Geomorphologie, vol. 13.*
10. Horton, R. E. (1932.): *Drainage Basin Characteristics. Transactions of the American Geophysical Union 13.*
11. Horton, R. E. (1945.): *Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Bulletin of the Geological Society of America, vol. 56.*
12. Miller, V. C. (1953.): *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Columbia University, Department of Geology, Technical Report 3, New York.*
13. Monkhouse, F.J. & H. Wilkinson (1963.): *Morphometric Analysis. Maps and Diagrams, Methuen, London.*
14. Neuenschwander, G. (1944.): *Morphometrische Begriffe. Dissertation. University of Zürich, Emil Ruegg&Co., Zürich.*
15. Orešić, D. (1994.): *Hidrogeografske značajke poriječja Krapine. Magistarski rad, Geografski odjel, PMF, Zagreb.*
16. Peterca, M., N. Radošević, S. Milisavljević, F. Racetin (1974.): *Kartografija. VGI, Beograd.*
17. Ridanović, J. (1993.): *Hidrogeografija. Drugo izdanje, Školska knjiga, Zagreb.*
18. Seyhan, E. (1977.): *The Watershed as an Hydrologic Unit. Geografisch Institut der Rijksuniversiteit Utrecht, serie B, nr. 63, Utrecht.*
19. Srebrenović, D. (1986.): *Primjenjena hidrologija, Tehnička knjiga, Zagreb.*
20. Strahler, A. N. (1952.): *Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. Bulletin of the Geological Society of America, vol. 63.*
21. Volkov, N. M. (1950.): *Principi i metodi kartometriji. Izdanje Akademiji Nauk, Moskva - Lenjingrad.*