

МОРФОМЕТРИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ СЛИВА МОКРАЊСКЕ МИЉАЦКЕ

Резиме: У раду се анализирају најзначајније морфометријске карактеристике слива Мокрањске Миљацке: површина, дужина, просјечна ширина, коефицијент асиметрије, коефицијент пуноће, просјечан пад, коефицијент пошумљености, веза између морфометријских особина слива и дужине ријеке и др. Циљ рада је да се утврде специфичне карактеристике слива које се директно или индиректно одражавају на хидрографску мрежу, режим ријеке, водни биланс и остале важније хидролошке особине.

Мокрањска Миљацка је планинска ријека са релативно малом површином слива, специфична по богатству рељефних облика, хидролошких феномена, биогеографских разноликости и другим физичко-географским особинама. Захваљујући геолошкој подлози, активној тектоници и високом просјечном паду слива, попречни профил је неусаглашен а поједине мање притоке се преко водопада улијевају и главни водоток. Саставком са Паљанском Миљацком чини ријеку Миљацку која се у Сарајевском пољу улијева у Босну.

Иако мале површине, унутар слива се на малој удаљености налазе три познате пећине и туристичке атракције: пећина на врелу Мокрањске Миљацке, Орловача и Новакова пећина.

Кључне ријечи: Мокрањска Миљацка, ријечни слив, морфометријске карактеристике, ријечни режим, водни биланс.

УВОД

Ријека Мокрањска Миљацка извире из пећине на западним падинама Романије, недалеко од Кадиног Села, на надморској висини од 995 m. Њен ток се према хидрографским особинама, терену и морфометрији слива може подијелити на три дијела: горњи, средњи и доњи. У горњем дијелу тока, дужином око 6 km, у сливу преовлађују надморске висине преко 1000 m и стрме долиנסке стране усјечене у карбонатним стијенама. Слив има нагиб према југу, па се ријека у том правцу пробија усијецајући корито дубоко између околних узвишења. Средњи ток, најдужа дионица (око 15 km), већим дијелом просторно је позициониран унутар дуге (око 8 km) и релативно уске (до 3 km) мокрањске котлине. Карактерише га мали ријечни пад, појава аку-

¹ branislav.draskovic@ffuis.edu.ba

мулативних облика флувијалне ерозије, меандрирања ријечног тока и композитни карактер ријечне долине. Надморске висине око корита ријеке крећу се од 900 m по уласку у мокрањску котлину до 800 m код Хан Дервенте, гдје завршава средњи ток. Лијева (јужна) долинска страна је пространија и положенија, са већим бројем сталних притока, и израженијим ерозивним облицима. За доњи дио тока, дужине око 5 km, карактеристична је клисураста долина усјечена у кречњачким слојевима. Ријечни пад на овој дионици поприма високе вриједности повећавајући брзину тока воде пред саставак са Паљанском Миљацком (Драшковић 2011:136).

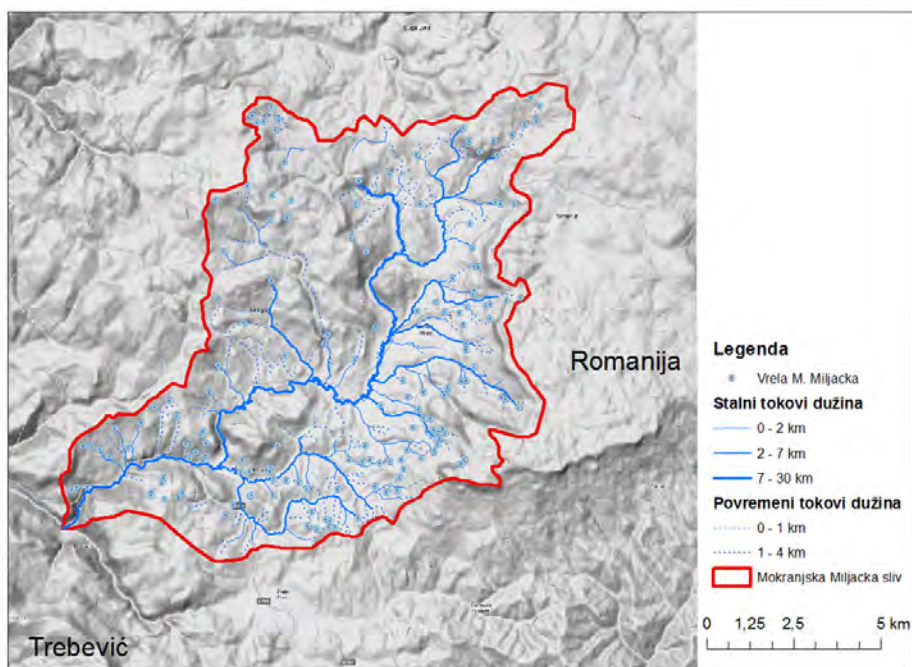
Изворишно подручје Мокрањске Миљацке амфитеатралног је облика, са три стране окружено узвишењима (са истока Градина и кота 1135 m, са сјевера кота 1139 m и са запада Товарник са котом 1197 m), те се ријека пробила текући у правцу југоистока. Послије почетних 3 km тока, ријека прима своју прву и највећу притоку – поток Кржуљ чија дужина износи 6,67 km. Овај поток извире из истоименог врела, испод Великог врха (1328 m), на коти 1080 m. Кота ушћа му је на 940 m, те укупан пад износи 140 m, а просјечан 21 m/km. Коефицијент развитка ријечног тока износи 1,68. Двије значајније сталне притоке су му: Лелетва са лијеве стране ($l=1,4$ km) и Ситница са десне стране ($l=2,8$ km). Након ушћа Кржуља, Мокрањска Миљацка пробија клисуру обилазећи са сјеверне и западне стране око узвишења Црни врх (1158 m). Дужине клисуре и тока на овом дијелу износи око 2,3 km.

По уласку у мокрањску котлину ријека тече спорије, равничарским током са бројним меандрима, примајући више притока са лијеве долинске стране од којих су најзначајнији: Дубоки поток ($l=4,8$ km), Јасенова ($l=5,3$ km) и Липов поток ($l=2,13$ km). Унутар мокрањског проширења ријека је нанијела и наталожила материјал из горњег тока створивши алувијалну раван површине око 2 km². До изласка из котлине ријека углавном тече према југу (око 8 km), да би пред Сумбуловцем нагло скренула према западу држећи углавном тај правац тока до самог ушћа. У Сумбуловцу прима и значајније десне притоке: Сињеву ($l=1,73$ km), која само дијелом тече површинским током и Бијели поток ($l=3,1$ km) који извире испод Бијеле горе (1248 m). Изласком из мокрањског проширења, од Сумбуловца до Хан Дервенте ријека пробија двије мање клисуре (Дјевојачки вир и Подсоколина) раздвојене проширењем код насеља Рогоушићи, гдје прима мању десну притоку Рјечицу.

Према Љ. Мухићу (1987: 71), ширина Мокрањске Миљацке у Мокрањском пољу достиже 2 - 5 m, а у клисури до Хан Дервенте и даље до саставака са Паљанском Миљацком, корито и ријека се шире до 10 m. Дубина воде на прељевима и брзацима је од 30-60 cm, а у вировима у горњем току до 1 m, а у доњем току и више.

По изласку из клисуре, на подручју Хан Дервенте, Мокрањска Миљацка са лијеве стране прима притоку Љубогошту која извире у близини села Горња Љубогошта, на коти 830 m. Њена дужина износи око 4,4 km, ушће је на 785 m, те просјечан пад износи 10 m/km. Од притока Љубогоште најзначајнија је лијева, Шиповница, у горњем дијелу слива ($l=3,06$ km, кота изворишта 905 m), и десна Раковац, у доњем дијелу ($l=6,36$ km, кота изворишта 950 m), који већим дијелом тече скоро паралелно са Љубогоштом и Шиповницом (изворишта су им удаљена мање од 500 m). Раковац се сматра притоком Љубогоште иако је дужи, што се може тумачити чињеницом да Љубогошта протиче кроз насељеније подручје (насеља Горња и Доња Љубогошта) (Драшковић 2011: 137).

Карта1. Рељеф слива Мокрањске Миљацке са хидрографском мрежом



Након ушћа Љубогоште, Мокрањска Миљацка улази у доњи дио тока, градећи клисуру дужине преко 5 km, на чијој тераси је изграђен магистрални пут Пале-Сарајево. У том дијелу ријека има висок градијент пада, око 33 m/km.² Са десне стране прима три стална и три периодична водотока. Посебно атрактиван је водопад код тунела Челџиговићи, активан након ја-

² Од ушћа Љубогоште до саставака са Паљанском Миљацком дужина ријеке износи око 6,2 km. На тој дионици ријечни пад износи 205 m.

чих киша, гдје се са 30-так метара вода једне од притока (долази из правца села Видовићи) стрпоштава према Мокрањској Миљацки. Лијева долинска страна је нешто стрмија, са појавом гравитационог откидања блокова. На читавој дионици ријека прима само један повремени водоток који се спушта низ Брезову косу. Напокон, након 26 km тока Мокрањска Миљацка се испод села Булози састаје са Паљанском Миљацком (која дотиче са југоистока), на коти 595 m. Укупан ријечни пад Мокрањске Миљацке износи 400 m а просјечан 15 m/km односно 1,5 %.³

Коефицијент развитка ријечног тока има вриједност 1,98 ($L=26$ km, $L_{min}=13,1$ km) захваљујући прије свега лактастом скретању водотока код Сумбуловца и меандрима унутар мокрањске котлине. Површина слива Мокрањске Миљацке износи 117,7km².⁴ Протицај на ушћу износи око 1,9m³/s.

ХИДРОГРАФСКЕ ОДЛИКЕ СЛИВА МОКРАЊСКЕ МИЉАЦКЕ

Слив Мокрањске Миљацке богат је водама, што најбоље илуструје чињеница да укупан број врела на подручју слива износи чак 159 или 1,35 по km². Неки од разлога су: средња висина слива износи 1077 m (па су и падавине нешто веће), хидрогеолошки услови терена (контакт између хидрогеолошког водоспроводника и изолатора: средњег и доњег тријаса), шумљеност и вегетација која успорава отицање и уједначава издашност врела, људска активност није претјерано интензивна (нпр. сјеча шуме) и др. Процјена средње количине падавина у сливу износи 1060 mm.⁵

Укупан број сталних водотока у сливу Мокрањске Миљацке, рачунајући све токове чија је дужина преко 100 m, износи 68. Дакле, честина водотока (Df), која представља однос броја водотока и површине слива износи

³ Према Јовановићу и др. (1972: 24) вриједност градијента пада тока је дупло већи и износи 2,98 % односно 29,8 m/km. Имајући у виду годину издавања публикације ријеч је ипак о претјераној процјени.

⁴ Површина слива, према Јовановићу и др. (1972: 23), износи 114,675 km².

⁵ Процјена се базира на основу процјене падавина за цјелокупни слив Миљацке: 1032 mm, и линеарне корелације тј. међузависности параметара висина падавине. У обзир су узете метеоролошке станице у близини: Бјелаве, Бутмир и Врх Бјелашнице. Поредџи средње висине сливова види се да је слив Мокрањске Миљацке нешто виши од слива Миљацке: 1077 m на према 1038 m, због чега је логично да је и количина падавина нешто већа. Једначина линеарне (просторне) регресије: $y = a + bx$; гдје су: y = количина падавина (зависна варијабла), x = надморска висина (независна варијабла), a = вриједност у кад је $x = 0$, b = регресиони коефицијент (који у овом случају, према Драшковићу, 2013:36, износи 0,203). Према овим параметрима средње падавине у сливу Мокрањске Миљацке износе 1059 mm.

око 0,58 по km^2 . Најдужи водоток у сливу је Мокрањска Миљацка са дужином од 25,97 km а најкраћи је дуг око 120 m . Средња дужина свих сталних токова⁶ у сливу износи 1,66 km . Укупна дужина свих сталних водотока на сливном подручју Мокрањске Миљацке (ΣL) износи 112,721 km , па густина ријечне мреже израчуната по Нојмановом обрасцу $D = \Sigma L / F$ износи високих 0,96 km/km^2 .

Уколико се урачунају и периодични водотоци који такође имају дужину преко 100 m , онда сума свих токова унутар слива износи 233. Број периодичних токова износи 163, или 2,5 пута више него сталних. Најдужи има 3,8 km , а најкраћи 132 m . Средња дужина свих повремених водотока износи 512 m , троструко мање од сталних. Укупна дужина свих повремених токова унутар слива износи 83,533 km .

Табела 1: Карактеристике водотока и ријечне мреже у сливу Мокрањске Миљацке

	површина слива [km^2]	Укупан број водотока	Дужина токова (ΣL) [km]	L_{max} [km]	L_{min} [m]	L_{sr} [km]	D_f	D
Стални водотоци	117,7	70	112,7	26	120	1,66	0,58	0,96
Периодични водотоци		163	83,5	3,8	132	0,51	1,38	0,71
Сви водотоци		233	196,2	26	120	1,085	1,99	1,67

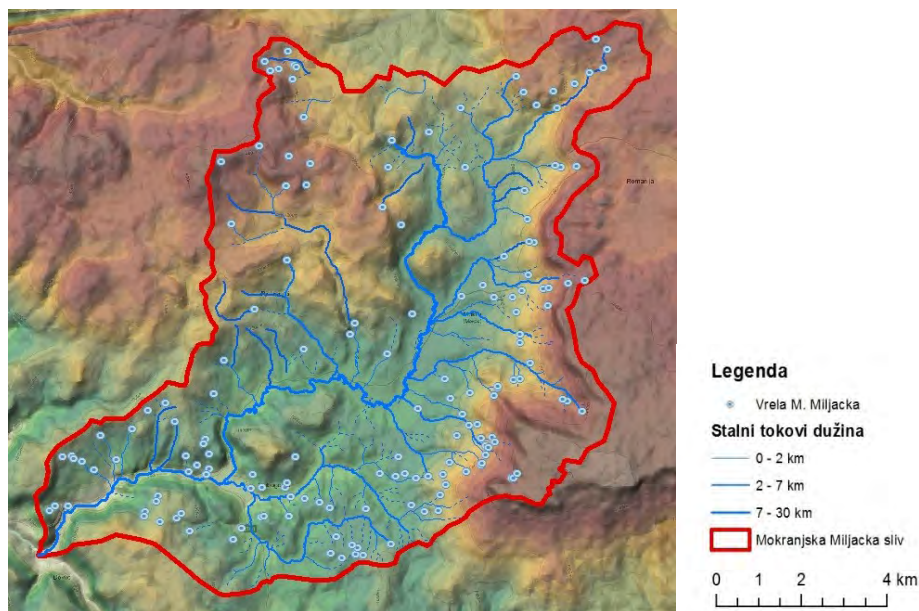
МОРФОМЕТРИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ СЛИВА

Површина слива Мокрањске Миљацке износи 117,7 km^2 . Средња висина слива, израчуната према дигиталном моделу висина, износи 1077 m . Дигитални модел висина слива урађен је према величини ћелије од 200x200 m и формиран је на основу еквидистанције изохипси од 40 m . Око 60 % територије слива отпада на надморске висине изнад 1000 m .⁷ Источни дио слива има највеће нагибе терена које чине обронци главног гребена Романије. Такође, веће надморске висине и нагиби терена забиљежени су на сјеверозападу, у подручју Вучје Луке.

⁶ Вриједност се добије када се укупна дужина свих водотока подијели са њиховим бројем.

⁷ Израчунато на основу броја пиксела са вриједношћу изнад 1000 метара са дигиталног модела висина слива.

Карта 2: Дигитални модел висина слива Мокрањске Миљацке (према TIN методи)



Највиша тачка у сливу је врх Велики Лупоглав⁸ са 1652 m, на југо-источној страни слива, док је најнижа тачка на 595 m, тј. мјесто саставака са Паљанском Миљацком. Слив је издужен и са нагибом у правцу сјеверо-исток-југозапад. Максимална дужина слива износи 19,2 km а максимална ширина око 11,6km.⁹

Просјечна ширина слива ($Bm=F/L$) износи 6,07 km, а пошто је скоро дупло мања од дужине за очекивати је равномјерније протицње поводња. Код сливова оваквог облика приликом отицања поводањ се постепено повећава и исто тако смањује. Просјечна ширина лијеве стране слива износи ($Bl=Fl/Ls$) 3,75 km а десне стране ($Bd=Fd/Ls$) 2,33 km. Према типизацији облика слива Мокрањска Миљацка спада у ријеке које имају највећу ширину слива у средњем току.¹⁰

⁸ Велики Лупоглав је највиши врх Романије. Чини развође између сливова Миљацке и Праче (такође између Босне и Дрине). У непосредној близини, на око 1 km удаљености, налази се Мали Лупоглав (1627m).

⁹ Максимална дужина слива с обзиром на његов елипсасти облик израчуната је од ушћа ријеке до изворишта потока Кржуљ, па продужено до границе слива. То је урађено јер је поток Кржуљ дужи рачунајући од ушћа у Мокрањску Миљацку од изворишног крака главне ријеке.

¹⁰ Аполов и Котловаја су установили да се сви сливови, без обзира на разноврсност, могу сврстати у пет група (Дукић 2007:91). По тој подјели Мокрањска Миљацка припада првој групи, са највећом ширином слива око средњег тока.

Као што је видљиво из табеле 2, слив је асиметричан, лијева страна заузима нешто већу површину: 72,2 km² или 61,4 %, док десна страна обухвата око 45,5 km² или 38,6 %. Коефицијент асиметрије слива ($k_a = F_l/F_d$) износи око 1,6 односно толико је пута већа лијева од десне стране. Асиметричност се одражава и на хидрографске особине: број врела и водотока је већи на лијевој страни. Илустрације ради, однос врела је 108:51, односно њих око 68 % је просторно позиционирано на лијевој долиноској страни. Слично је и са сталним водотоцима чији однос је 51:19, што говори да скоро 73 % водотока долази са лијеве стране слива.

Табела 2: Морфометријске карактеристике слива Мокрањске Миљацке

	Површина [km ²]	Дужина L_s [km]	B_{max} [km]	B_{min} [km]	Средња ширина B_m [km]	Коефицијент пуноће kp
Десна страна	45,5	13,6	5,8	1,2	2,33	0,24
Лијева страна	72,2	20	5,1	2,6	3,74	0,18
Укупно	117,7	19,2	11,6	5,1	6,07	0,32

Коефицијент пуноће слива показује колико је развијен слив. Добија се по обрасцу $kp = F/L^2s$ и увијек има вриједност мању од 1. Што је већа вриједност већи су поплавни таласи и поводњи на ријеци. У случају Мокрањске Миљацке овај коефицијент износи очекивано умјерених 0,32 имајући у виду издужени облик слива.

Просјечан пад ријечног слива (i_j) је важан параметар за хидролошка истраживања јер од њега зависи брзина површинског отицања падавина до сталних токова.¹¹ У случају Мокрањске Миљацке просјечан пад ријечног слива износи 229,4m/km, што је карактеристично за планинске водотоке.

Коефицијент пошумљености добија се по обрасцу $kp = F_s/F_j$ је F_s површина шума у сливу. Укупна површина под шумом или прелазном зоном износи 75,2 km², тако да коефицијент пошумљености k_s има вриједност око 64 %.¹² Највећи дио шума унутар слива налази се на југоистоку и сјеверозападу (слике 1 и 2), на подручјима гдје надморска висина прелази 1000 метара: падине главног гребена Романије на истоку и подручје Вучије Луке на сјеверозападу.

¹¹ Добија се множењем еквидистанције (у овом случају 40 m) са сумом дужина изохипси у сливу и потом дијелењем са површином слива. Сума дужина изохипси (којих има 127) износи 27377,36 km.

¹² До ове вриједности се дошло дигитализацијом, односно учртавањем полигона или зона под шумом или полуприродном зоном преко сателитског снимка као базне мапе. Имајући у виду прелазне вегетацијске зоне, овај податак има приближну (апроксимативну) вриједност.

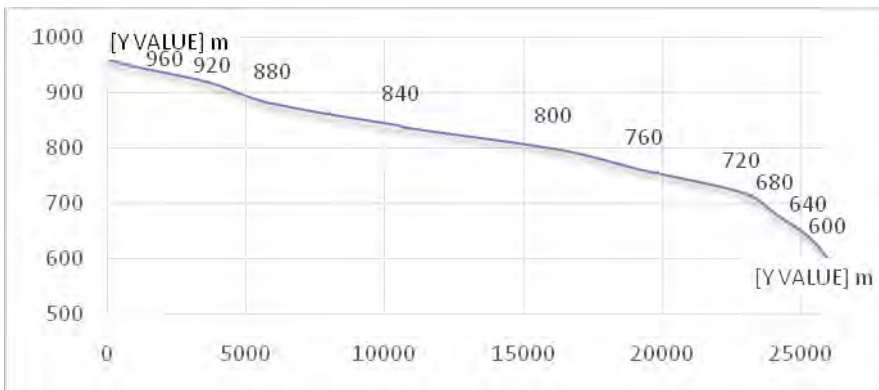
Веза између морфометријских карактеристика слива и дужине ријеке представља се једначином $L=k\sqrt{F}$. За велике ријеке коефицијент износи 2,9 док за планинске ријеке износи 2,4-2,5. Када се у једначину уврсти вриједност 2,4 добија се да би дужина Мокрањске Миљацке требала бити 25,95km, што одговара стварној дужини.

Слике 1 и 2: Сателитски снимак слива Мокрањске Миљацке и преглед шумске и типови покривности и кориштења земљишта (нијансе зелене представљају шуму)



Из дијаграма који слиједи видљиво је да Мокрањска Миљацка највећи ријечни пад има непосредно пред ушћем, што указује на претпоставку да је главни водоток Миљацка брже усјецала своје корито. Од изворишта до 2-3 km прије саставака са Паљанском Миљацком ријека има лаган и равномјеран пад да би задњих 2,7 km тока имала пад 127 m, односно 47 m/km.

Дијаграм 1: Пад ријечног тока Мокрањске Миљацке



ВОДНИ БИЛАНС СЛИВА

Водни биланс се представља једначином: $P=R+E$ гдје су P падавине, R отицање а E испаравање из чега произилази да је отицање једнако разлици између падавина и испаравања. Како смо добили приходовну компоненту средње вриједности падавина у сливу, потребно је у једначину водног биланса још уврстити количину испаравања, да бисмо добили укупно отицање.

Укупно испаравање (евапотранспирација) зависи од надморске висине и утврђена је на основу емпиријских истраживања евапорације са водене површине која за МС Сарајево (630 m) износи 691 mm. Потенцијална евапотранспирација (PET) износи 553 mm, а стварна (SET) 470 mm (0,85 PET)¹³. Коефицијент испаравања (P/E) износи 1,321 (Стратегија управљања водама ФБиХ, 2009: 50). Све поменуте вриједности евапотранспирације односе се на количину падавина измјерену на МС Сарајево: 931 mm. Међутим, како је ријеч о процјени евапотранспирације за много шири (и виши) простор слива Миљацке који прима просјечно више падавина (1059 mm), то је и средња вриједност евапотранспирације нешто већа и износи око 545mm.

Када се укупна вриједност испаравања одузме од укупних падавина добија се расходовна компонента тј. отицање, које у овом случају износи: $124,644-64,146=60,5 \text{ Mm}^3$, односно $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

ЗАКЉУЧАК

Слив Мокрањске Миљацке спада у планинске сливове у којима преовлађују надморске висине изнад 1000 метара. Елипсастог је облика са највећом ширином у средњем дијелу. Посједује значајна водна богатства која карактеришу бројна врела ($1,36$ по km^2) и висока густина ријечне мреже ($0,96\text{km}/\text{km}^2$). Слив је асиметричан, на лијеву романијску страну отпада око 61,4% површине па је та страна и богатија водотоцима и врелима: 68 % врелана лијевој долиноској страни а скоро 73 % сталних водотока долази са те стране. Према сателитским снимцима и подацима о типовима покривности земљишта, око 64 % слива покривено је шумом и прелазном зоном што утиче на спорије отицање и уједначавање протицаја.

Специфичност водотока је што највећи пад има у посљедњих три километра, као посљедицу тектонских активности у окружењу. Због тога се у прошлости често помињао енергетски потенцијал Миљацке који до данас није валоризован на конкретан начин.

¹³ Број 0,85 представља вриједност Пенмановог коефицијента за овај дио Европе (извор: ФХМЗ).

ЛИТЕРАТУРА

- Војногеографски институт 1986: Топографске карте сарајевског подручја, Р 1: 25,000 и 1: 200,000.
- ГИББ/КЦИЦ ЕЕ Конзорцијум 2000: GIBB/KCIC Consortium, *Dugoročno rješavanje vodosnabdjevanja, odvodnje i tretmana otpadnih voda u Kantonu Sarajevo - Master plan*, Sarajevo, Vodovod i Kanalizacija Kantona Sarajevo.
- Драшковић 2011: Б. Драшковић, *Хидролошке карактеристике сарајевске котлине*, докторска дисертација, Филозофски факултет Пале.
- Драшковић 2013: Б. Драшковић, Савремене ГИС-базиране методе физичко-географских истраживања, Посебна издања *НАУЧНИ СКУПОВИ, Наука и традиција*, Филозофски факултет Пале, том 3, стр. 31-40.
- Дукић и Гавриловић 2006: Д. Дукић и Ј. Гавриловић, *Хидрологија*, Београд: Завод за уџбенике и наставна средства.
- Јовановић 1972: R. Jovanović, *Неке геолошке, хидрогеолошке и инџинџерске геолошке одлике терена уџе околине Сарајева*, II Jugoslovenski simpozijum o hidrologiji, hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji.
- Кујунџић и Говедар 2006: S. Kujundžić i Z. Govedar, Klima kao turistička vrijednost prirodnog dobra Jahorina, Гласник Шумарског факултета Универзитета у Бањој Луци, бр 6, стр. 95-113.
- Михић 1987: Lj. Mihić, *Jahorina i Trebević – planine XIV Zimske olimpijade*, Skupština opštine Pale i Vojna ustanova Romanija, Sarajevo-Pale.
- ОГК (Основна геолошка карта) 1978: Р 1: 100,000; ОГК Savezni geološki zavod Beograd, Tumač za list Sarajevo, К 34-1, Zavod za inženjersku geologiju i hidrologiju Građevinskog fakulteta u Sarajevu.
- Рокић 1989: Lj. Rokić, *Улога и значај инџинџерско геолошких модификатора на инџинџерско геолошке одлике терена Средње Босне*, Zavod za geotehniku i fundiranje Građevinskog fakulteta u Sarajevu.
- Стратегија управљања водама ФБИХ 2010, *Strategija upravljanja vodama FBiH 2010: Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo, Zavod za vodoprivredu d.o.o. Mostar, Federalno ministarstvo poljoprivrede vodoprivrede i šumarstva, Sarajevo.*
- Хидрогеолошка карта подручја БиХ, Р 1:500,000; Геозавод, Зворник.
- Жунић 2010: L. Žunić, Rijeka Miljacka - osnovne potamološke karakteristike (hidrografski prikaz), Sarajevo, Časopis agencije za vodno područje rijeke Save "Voda i mi" br. 70, 67-72.

Branislav J. Drašković

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF MOKRANJSKA MILJACKA RIVER BASIN

Summary

The paper analyzes the most important morphometric characteristics of the Mokranjska Miljacka river basin: area, length, average width, asymmetry coefficient, fullness coefficient, average river fall, the coefficient of forestation, the relations between morphometric characteristics of the catchment area and the length of the river, among others. The aim is to identify the specific characteristics of the basin that directly or indirectly affect the hydrographic network, the regime of the river, the water balance, and other important hydrologic attributes.

Mokranjska Miljacka is a mountain river with a small basin, known for the richness of relief forms, hydrological phenomena, biogeographic diversity, and other characteristics related to physical geography. Thanks to the geology of the area, very active tectonic movements, and high slope, the river cross-section is very steep and some tributaries come over the falls to the main stream. Mokranjska Miljacka and Paljanska Miljacka together make Miljacka River, which flows through Sarajevo valley and ends in the Bosnia River.

Although occupying only a small area within the basin, there are three very famous caves and tourist attractions only a short distance away: the caves at the source of Mokranjska Miljacka, Orlovaca cave, and Novak's Cave.