

Зоран Никић

UDK: 556.536

Прегледни рад

РЕГИОНАЛНА АНАЛИЗА МАЛИХ ВОДА НА СРЕДЊИМ И МАЛИМ ВОДОТОЦИМА У БРДСКОПЛАНИНСКИМ ПОДРУЧЈИМА СРБИЈЕ - ХИДРОГЕОЛОШКИ ПРИСТУП

Извод: Током сушног периода године, када наступе дужи временски периоди без атмосферских падавина, на средњим и малим водотоцима долази до значајног смањивања протицаја, познатог под општеприхваћеним називом „мале воде”. На хидролошки неизученим водотоцима, меродавне „мале воде” одређују се применом методе регионалне анализе. У спроведеним истраживањима примењена је методологија која се базира на ставу да протицаји на средњим и малим водотоцима у сушном периоду зависе од хидрогеолошких услова. Коришћењем теорије вишеструке линеарне регресије, анализирана је улога хидрогеолошких услова у формирању малих вода на средњим и малим сливовима у природним условима у брдско-планинским подручјима Србије. Као зависно променљиве узети су минимални средњи тридесетодневни протицаји 80%-тне и 95%-тне обезбеђености, а као независно променљиве квантификовани хидрогеолошки елементи. У анализу су укључени водотоци са малом и средњом величином сливне површине. Узорак представља 61 сливно подручје са хидролошком станицом на излазном профилу. Добијене регионалне зависности за минимални средњи тридесетодневни протицаји 80%-тне и 95%-тне обезбеђености приказане су у раду. Квалитет успостављене зависности проверен је одговарајућим статистичким тестовима.

Кључне речи: мале воде, регионална анализа, хидрогеолошки елементи, брдско-планинско подручје, минимални средњи тридесетодневни протицај 80%-тне и 95%-тне обезбеђености

HYDROGEOLOGICAL APPROCH TO THE REGIONAL ANALYSIS OF LOW FLOW IN MEDIUM AND SMALL STREAMS OF THE HILLY AND MOUNTAINOUS AREAS OF SERBIA

Abstract: During the long rainless spells of the dry season, flows in medium and small streams get reduced to what is generally known as „low flow”. For ungauged streams, the controlling „low flows” are determined using the regional analysis method. In the presently described exploration, the method applied was based on

др Зоран Никић, доцент, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд

the assumption that dry-weather discharges in medium and small rivers depended on the hydrogeological conditions. The controlling effect of hydrogeology on the natural low flow in medium and small streams of the hilly and mountainous part of Serbia was analyzed applying the theory of multiple linear regression. The thirty-day minimum mean 80 and 95 per cent exceedence flows were taken for dependent variables, and quantified hydrogeological elements as independent variables. The analysis covered streams that had small or medium-size catchment areas. The treated example encompassed sixty-one gauged catchments. The resulting regional relations for the thirty-day minimum mean 80 and 95 per cent exceedence flows are presented in this paper. The quality of the established relation was controlled by relevant statistic tests.

Key words: low flow, regional analysis, hydrogeological elements, hilly and mountainous areas, thirty-day minimum mean 80 and 95 per cent exceedence flows

1. УВОД

У сушном периоду године, када наступе дужи временски периоди без атмосферских падавина, у водотоцима долази до значајног смањивања протицаја, познатог под опште прихваћеним називом „мале воде”. Мале воде се манифестују, између осталог, ниским водостајем и малом количином протицаја у рекама, спуштањем нивоа подземних вода у хидрогеолошким колекторима, малим запреминама воде у акумулацијама, дефицитом влажности у земљишту.

Мале воде у речним токовима су веома битно хидролошко стање и један од најзначајнијих елемената водопривреде. Познавање њихових карактеристика значајно је за пројектовање, грађење, одржавање и управљање разним водопривредним системима. Нарочито важну улогу имају у заштити и очувању природне средине. При томе, сви корисници вода веома су осетљиви на промене режима речних вода у маловодном периоду.

У природним условима маловодни речни отицај представља базни отицај који потиче од подземних вода (Владимиров, 1976). Комплексност хидрогеолошке средине и могућност да практично сваки квадратни метар сливног подручја може имати другачије вредности хидрогеолошких параметара, чинили су главну тешкоћу у укључивању хидрогеологије у изучавању малих вода. Посебан проблем представља израчунавање малих вода на водотоцима где се не обављају континуирана хидролошка мерења. У циљу одређивања количине маловодног отицаја на хидролошки неизученим водотоцима, најчешће се користи регионална анализа малих вода (Владимиров, 1976). Мада су оцене режима малих вода на основу карактеристика слива грубе, потреба за таквим прорачунима у хидротехници, водопривреди и посебно заштити вода од загађења, оправдава изразу регионалних зависности.

У овом раду се анализирају, тумаче и доносе закључци о улози хидрогеолошких услова у процесу формирања малих вода са циљем проналажења што поузданије

регионалне зависности за прорачун карактеристичних меродавних малих вода за средње и мале сливове у брдско-планинским подручјима Србије. Применом математичке статистике, спроведени су одговарајући прорачуни, чији су резултати омогућили доношење закључака о улози хидрогеолошких услова у формирању малих вода. У раду су приказане добијене регионалне зависности за минимални средњи тридесетодневни протицаји 80%-тне и 95%-тне обезбеђености.

2. ПРИКАЗ РАЗВОЈА ИДЕЈЕ О УКЉУЧИВАЊУ ХИДРОГЕОЛОШКИХ ЕЛЕМЕНАТА У РЕГИОНАЛНУ АНАЛИЗУ МАЛИХ ВОДА

Под појмом „мале воде“ подразумева се фаза речног отицања у којој се протицај воде у реци формира на рачун исцрпљивања подземних резерви вода у сливу (Владимиров, 1976). Мале воде представљају базни протицај који може трајати и по неколико месеци. Током периода малих вода, режим издани се карактерише постепеним исцрпљивањем динамичких резерви и спуштањем нивоа издани (Магона *et al.*, 1984).

Бројни истраживачи, почевши од Barnes-a (1939), Mitchell-a (1948), Roche-a (1963), Chow-a (1964) и других, указивали су да маловодни речни протицаји представљају подземне воде из сливног подручја. Међутим, због комплексности и разноврсности геолошких односа, непосредно повезивање хидрогеолошких елемената са маловодним протицајем, стално је изостајало. Изучавањем малих речних протицаја на територији Србије, дошло се до става да у природним условима, количину маловодног протицаја у рекама треба тумачити првенствено у функцији хидрогеолошких услова на сливном подручју (Игњатовић *et al.*, 1994/а, 1994/б, Прохаска *et al.*, 1998, 1999, Никић, 2001).

Прихватајући претходни став и емпиријско знање које тврди да маловодни отицаји у природним условима на средњим и малим водотоцима у сушном периоду зависе од хидрогеолошких услова, настављена су истраживања у том смеру. Имајући у виду природни процес преласка дисконтинуалних атмосферских падавина у опадајућу величину протицаја у рекама током сушног периода, реално је закључити да је то резултат процеса који се одиграва у хидрогеолошком колектору (Никић, 2001, 2003). При томе, хидрогеолошки колектор је стена толико грубље порозна од непосредно суседних стена да може да прими инфилтрационе воде са површине терена и да у њој слободне подземне воде могу да се крећу.

Улога хидрогеолошког колектора је да делује као „оператор“ у систему „крне кутије“ омогућавајући прелаз дисконтинуалне улазне величине атмосферских падавина у излазну величину коју представља маловодни протицај у реци (Никић, 2001). Захваљујући акумулационој и ретардационој способности хидрогеолошког колектора у повољним хидрогеолошким условима у рецесионом периоду године подземне воде алиментирају маловодни протицај у рекама (Никић *et al.*, 2002). Стални извори у сливу су места истицања динамичких резерви подземних вода

које су се у претходном времену, периоду интензивних падавина, са површине терена инфилтрирале и акумулирале у хидрогеолошки колектор. Подземне воде које се дренирају преко сталних извора, у рецесионом периоду директно доприносе алиментирању маловодног речног отицаја (Никић, 2004, Никић *et al.*, 2005). Улога климатског фактора у процесу формирања маловодног отицаја огледа се кроз специфичан климатски догађај, а то је суша (Никић, 2001, Никић *et al.*, 2006). За мале воде климатски фактор је значајан у актуелном времену суше, а у претходном временском периоду, у периоду интензивних падавина, кроз величину атмосферског талога излученог на област прихрањивања подземних вода (Мак Магона *et al.*, 1984).

Међутим, само дескриптиван приказ значаја улоге хидрогеолошких услова за маловодни протицај без потпоре у резултатима математичких прорачуна, не даје потпун ефекат. Полазна хипотеза је да у природним условима количину маловодног протицаја на средњим и малим сливовима треба тумачити као последицу хидрогеолошких услова на сливном подручју. Због тога је неопходно квантификовање хидрогеолошких елемената, помоћу којих ће се извршити математички прорачуни са циљем доказивања или оповргавања полазне тезе (Никић *et al.*, 2001). Приступ истраживањима био је регионалног карактера, али са елементима детаљних истраживања за сваки случај који представља индикативну специфичност или „аномалију“ значајну за тумачење предметне проблематике. Анализа се темељила на изучавању 61 сливног подручја са водомерном станицом на излазном профилу. Информација о улози хидрогеолошких услова сагледавана је преко вредности меродавног карактеристичног маловодног отицаја на хидролошкој станици.

3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

У циљу добијања што поузданије оцене улоге хидрогеолошких услова у формирању малих вода, у анализе су укључени мали и средњи сливови према величини површине. Разлог за овако опредељење била је могућност прецизнијег сагледавања хидрогеолошких услова и геолошких односа у сливу, па тиме и успостављања поузданије зависности између малих вода и хидрогеолошких елемената. Истраживањима су обухваћена сливна подручја водотока до хидролошке станице, пошто за њих постоје дефинисане мале воде одређених карактеристика. Сливно подручје сваке анализираних хидролошке станице третирано је као засебна хидрогеолошка целина.

При избору водотока није било условљавања и ограничавања природног амбијента на сливном подручју. Оваквим приступом у потпуности је уважена природна разноликост која се огледа кроз геолошке, хидролошке, хидрогеолошке, геоморфолошке, климатске, биолошке и друге услове заступљене на датим теренима.

На основу усвојених критеријума одабран је 61 слив. Налазе се на 25 водотока јужно од Саве и Дунава, и то у сливу: Јужне Мораве, Западне Мораве, непосредне притоке Велике Мораве, Великог Тимока, Дунава (непосредне десне притоке), Колубаре, Дрине (десне притоке) и Белог Дрима. Најмања површина сливног подручја износи

78 km² за хидролошку станицу Црнајка (река Црнајка), а највећа износи 2.185 km² за хидролошку станицу Зајечар (река Бели Тимок). Број станица са величином сливног подручја у распону од 78-200 km² и од 200-600 km² приближно је исте заступљености и то са 31%, односно 38%, са површином од 600-1.000 km² припада 20%, а са површином од 1.000-2.185 km² чини 11% од укупног броја одабраних хидролошких станица. Укупна површина анализираних сливних подручја износи 18.072 km². Анализама је обухваћено 647 сталних извора минималне издашности $Q \geq 1 L \cdot s^{-1}$. Терени сливних подручја припадају брдско-планинским подручјима. Коте „0” водомерних станица износе од око 100-940 m надморске висине.

За одабране хидролошке станице вредности меродавног минималног средњег тридесетодневног протицаја 80%-тне и 95%-тне обезбеђености преузете су из студије „Меродавне мале воде у Србији“ (Вукмировић *et al.*, 1988). Евентуални антропогени утицаји на маловодни протицај су одговарајућим поступком укључени у прорачуне, тако да вредности приказане у студији одсликавају природно стање. Меродавни минимални средњи тридесетодневни протицај 80%-тне и 95%-тне обезбеђености за сваку анализирану хидролошку станицу доведен је у везу са квантификованим хидрогеолошким елементима коришћењем вишеструке линеарне регресионе и корелациона анализа.

У моделу су коришћене следеће променљиве (Никић, 2001, 2003):

Ознака и јединица мере	Опис варијабле
<u>Зависно променљиве</u>	
$Q_{80\%}^{30} [m^3 \cdot s^{-1}]$	Минимални средњи тридесетодневни протицај 80%-тне обезбеђености
$Q_{95\%}^{30} [m^3 \cdot s^{-1}]$	Минимални средњи тридесетодневни протицај 95%-тне обезбеђености
<u>Независно променљиве</u>	
$F [km^2]$	Површина хидрогеолошког сливног подручја хидролошке станице
$\sum_A^E F_i = FA, FB, FC, FD, FE [km^2]$	Површина појединих хидрогеолошких категорија терена на хидрогеолошком сливном подручју
$I [№]$	Број сталних извора минималне издашности веће или једнаке $1 L \cdot s^{-1}$ на хидрогеолошком сливном подручју хидролошке станице
$\sum_A^E I_i = IA, IB, IC, ID, IE [№]$	Број сталних извора минималне издашности веће или једнаке $1 L \cdot s^{-1}$ на заступљеној хидрогеолошкој категорији терена на хидрогеолошком сливном подручју
$\sum Q [L \cdot s^{-1}]$	Сумарна издашност сталних извора минималне издашности веће или једнаке $1 L \cdot s^{-1}$ на хидрогеолошком сливном подручју

$\sum_{A}^E Q_i = QA, QB, QC, QD, QE [L \cdot s^{-1}]$	Сумарна издашност сталних извора минималне издашности веће или једнаке $L \cdot s^{-1}$ на заступљеној хидрогеолошкој категорији терена на хидрогеолошком сливном подручју
	<u>Објашњење</u>
A, B, C, D, E	Ознаке за хидрогеолошке категорије терена
A	Издани у стенским масама са интергрануларном порозношћу
B	Издани у стенским масама са интергрануларном и пукотинском порозношћу
C	Издани у стенским масама карстне и карстно-пукотинске порозности
D	Издани у стенским масама пукотинске порозности
E	Терен без значајних издани или са локалном издани.

Значај познавања хидрогеолошког сливног подручја (F) изучаваног водотока огледа се у одређивању простора који учествује у формирању маловодног протицаја. Код неподударана топографског и хидрогеолошког сливног подручја могућа су следећа три случаја значајна за маловодни отицај:

- изданске воде врше алиментирање маловодног отицаја само изучаваног водотока;
- изданске воде не врше алиментирање маловодног отицаја изучаваног водотока;
- изданске воде врше алиментирање маловодног отицаја изучаваног и суседног водотока.

Сва три случаја имају директног утицаја на маловодни отицај. За поједине одабране хидролошке станице разлика величине између хидрогеолошке и топографске сливне површине износи и по више десетина km^2 . Битан квалитет констатованих разлика између топографске и хидрогеолошке величине сливне површине хидролошке станице огледа се у истицању делова терена који учествују или не у алиментирању маловодног речног отицаја изучаваног водотока, а не суседног (Никић *et al.*, 1999, Никић *et al.*, 2004).

Преко површине заступљеног типа хидрогеолошке категорије терена (FA, FB, FC, FD и FE) на хидрогеолошком сливном подручју одабране хидролошке станице (F), исказана је могућност постојања, или непостојања, издани на сливу. Значај сагледавања величине површина заступљених хидрогеолошких категорија на сливном подручју огледа се у фокусирању дела или делова слива који имају предвидиве ефекте на маловодни отицај (Никић *et al.*, 2003, Никић *et al.*, 2002). Може се са великом дозом сигурности тврдити да целокупно хидрогеолошко сливно подручје не доприноси формирању маловодног отицаја истим интензитетом.

Учесталост појављивања сталних извора минималне издашности веће или једнаке $1 L \cdot s^{-1}$ на хидрогеолошком сливном подручју (I), или на заступљеној хидрогеолошкој категорији терена сливног подручја хидролошке станице ($\sum_A^E I_i$), релевантан је показатељ постојања повољних хидрогеолошких услова и значајних динамичких резерви подземних вода. Извршено је квантификовање само сталних извора минималне издашности једнаке или веће од $1 L \cdot s^{-1}$, јер ови извори сигурно репрезентују значајне хидрогеолошке колекторе (Никић, 2001). У суштини, извори као реална хидрогеолошка појава кроз учесталост обједињују бројност извора на заступљеној хидрогеолошкој категорији терена или сливу и водоиздашност хидрогеолошког колектора, са чијом издани су извори у генетској вези.

Сумарна издашност сталних извора минималне издашности веће или једнаке $1 L \cdot s^{-1}$ на хидрогеолошком сливном подручју хидролошке станице ($\sum Q$), или на заступљеној хидрогеолошкој категорији терена сливног подручја ($\sum_A^E Q_i$), представља приближну сумарну минималну издашност свих сталних извора. Сталност извора наведених карактеристика у рецесионом периоду указује на постојање хидрогеолошког колектора са респектабилним динамичким резервама подземних вода у повољним хидрогеолошким условима за њихово акумулирање у периоду поводња и истицање на површину терена у сушном периоду (Никић, 2003).

Квантификовање хидрогеолошких елемената извршено је за цело хидрогеолошко сливно подручје до хидролошке станице, када су добијене вредности третиране као агрегиране ($F, I, \sum Q$), а затим и на заступљеним хидрогеолошким категоријама терена унутар сливног подручја до хидролошке станице, када су добијене вредности третиране као дисагрегиране ($\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i$). Варијација учесталости појављивања и заступљености квантификованих хидрогеолошких елемената веома је разноврсна, односно специфична, што је последица конкретних хидрогеолошких и геолошких услова.

Сви прорачуни су изведени на рачунару коришћењем комерцијалног програма SPSS 8.0, верзија настала 1998. године (Brosius, 1998). За оцену непознатих параметара вишеструких линеарних регресија коришћена је метода најмањих квадрата. Тестирана је исправност регресионих једначина и статистичка значајност коефицијената регресије. Квалитет успостављених зависности је тестиран преко (Прохаска *et al.*, 1998):

$$\text{– стандардне грешке регресије } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q - \bar{Q})^2}{n - 1}}, \text{ где су: } Q - \text{ стварна просечна}$$

вредност минималних сред. протицаја одговарајуће обезбеђености [$m^3 \cdot s^{-1}$],
 \bar{Q} - оцењена просечна вредност минималних средњих протицаја одговарајуће обезбеђености [$m^3 \cdot s^{-1}$], n - укупан број посматраних случајева;

– квадрата коефицијента вишеструке корелације (R^2);

– односа $\delta = \frac{S}{\sigma}$, где је σ - стандардна девијација минималних средњих протицаја одговарајуће обезбеђености у [$m^3 \cdot s^{-1}$].

За најбољу варијанту регресионе зависности усвојена је она једначина вишеструке регресије која обезбеђује највећи квадрат коефицијента вишеструке корелације и најмањи однос δ .

4. РАЗВОЈ ВИШЕСТРУКОГ РЕГРЕСИОНОГ МОДЕЛА

4.1. Анализа корелационе матрице

Корелациона матрица урађена је за агрегиране и дисагрегиране коришћене хидрогеолошке елементе. У табели 1 дати су израчунати коефицијенти корелације агрегираних коришћених хидрогеолошких елемената ($F, I, \Sigma Q$). У односу на независне варијабле, и то:

1. површина хидрогеолошког сливног подручја (F);
2. број сталних извора (I);
3. сумарне издашности сталних извора (ΣQ),

уочава се висока позитивна корелација са зависним варијаблама минималним средње тридесетодневним протицајима 80%-тне ($Q_{80\%}^{30}$) и 95%-тне ($Q_{95\%}^{30}$) обезбеђености (од 0,69-0,86).

Табела 1. Корелациона матрица карактеристичних минималних протицаја ($Q_{80\%}^{30}$ и $Q_{95\%}^{30}$) и коришћених агрегираних хидрогеолошких елемената $F, I, \Sigma Q$

Table 1. Correlation matrix of characteristic minimum flows ($Q_{80\%}^{30}$ and $Q_{95\%}^{30}$) and aggregated hydrogeological elements ($F, I, \Sigma Q$) used

		$Q_{80\%}^{30}$ $m^3 \cdot s^{-1}$	$Q_{95\%}^{30}$ $m^3 \cdot s^{-1}$	F km^2	I №	ΣQ $L \cdot s^{-1}$
$Q_{80\%}^{30}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	1,00	0,99	0,73	0,86	0,71
$Q_{95\%}^{30}$	$m^3 \cdot s^{-1}$		1,00	0,69	0,84	0,73
F	km^2			1,00	0,86	0,41
I	№				1,00	0,59
ΣQ	$L \cdot s^{-1}$					1,00

У табели 2 приказани су израчунати коефицијенти корелације карактеристичних минималних протицаја ($Q_{80\%}^{30}$ и $Q_{95\%}^{30}$) и дисагрегираних хидрогеолошких елемената ($\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i$). Корелациона матрица карактеристичних минималних протицаја и дисагрегираних хидрогеолошких елемената показује да у односу на површине заступљених хидрогеолошких категорија терена ($\sum_A^E F_i$) највећу чврстину слагања са минималним средње тридесетодневним протицајем 80%-тне и 95%-тне обезбеђености има површина заступљене хидрогеолошке категорије FC, односно FE, где коефицијент корелације износи од 0,594-0,642. Површине хидрогеолошких категорија FA, FB и FD су знатно мање повезане са $Q_{80\%}^{30}$ и $Q_{95\%}^{30}$, што показују

Табела 2. Корелациона матрица карактеристичних минималних проточија ($Q_{80\%}^{30}$ и $Q_{95\%}^{30}$) и коришћених дисагрегираних хидро-геолошких елемената $\sum_A^E F_i$, $\sum_A^E I_i$, $\sum_A^E Q_i$

Table 2. Correlation matrix of characteristic minimum $Q_{80\%}^{30}$ and $Q_{95\%}^{30}$ flows and disaggregated hydrogeological elements used $\sum_A^E F_i$, $\sum_A^E I_i$, $\sum_A^E Q_i$

	$Q_{80\%}^{30}$	$Q_{95\%}^{30}$	$\sum F_i [km^2]$									$\sum I_i [№]$									$\sum Q_i [L \cdot s^{-1}]$								
			FA	FB	FC	FD	FE	IA	IB	IC	ID	IE	QA	QB	QC	QD	QE												
$Q_{80\%}^{30}$	1,00	0,99	0,34	0,37	0,62	0,26	0,64	0,13	0,33	0,56	0,41	0,68	0,28	0,32	0,66	0,24	0,40												
$Q_{95\%}^{30}$		1,00	0,31	0,38	0,63	0,24	0,59	0,11	0,35	0,57	0,39	0,64	0,26	0,34	0,69	0,20	0,37												
FA			1,00	0,33	0,27	0,31	0,54	0,82	0,32	0,26	0,09	0,44	0,59	0,31	0,06	0,07	0,15												
FB				1,00	0,72	-0,15	0,22	0,16	0,74	0,70	-0,13	0,08	0,21	0,60	0,30	-0,10	0,11												
FC					1,00	-0,11	0,25	0,11	0,52	0,96	-0,08	0,09	0,26	0,45	0,71	-0,14	0,30												
FD						1,00	0,26	0,30	-0,16	-0,17	0,85	0,38	0,15	-0,12	0,05	0,60	0,51												
FE							1,00	0,39	0,05	0,23	0,33	0,86	0,38	0,04	0,16	0,17	0,04												
IA								1,00	0,04	0,12	-0,01	0,34	0,82	0,01	-0,06	-0,05	0,02												
IB									1,00	0,49	-0,14	0,03	0,05	0,95	0,25	-0,08	-0,04												
IC										1,00	-0,13	0,09	0,32	0,42	0,63	-0,15	0,25												
ID											1,00	0,50	-0,02	-0,11	0,09	0,77	0,52												
IE												1,00	0,41	0,04	0,09	0,37	0,40												
QA													1,00	0,03	0,02	-0,05	0,05												
QB														1,00	0,25	-0,06	-0,03												
QC															1,00	-0,07	0,40												
QD																1,00	0,21												
QE																	1,00												

вредности израчунатих коефицијената корелације од 0,240-0,379 за све три групе ових површина. Слични закључци се могу извући и посматрањем повезаности $Q_{80\%}^{30}$, односно $Q_{95\%}^{30}$ са дисагрегираном учесталашћу појављивања сталних извора ($\sum_A^E I_i$). Елементи IC и IE имају већи степен слагања, од 0,569-0,686, него преостала три елемента IA, IB и ID (од 0,110-0,411). Посматрањем зависности $Q_{80\%}^{30}$ и $Q_{95\%}^{30}$ са сумарном издашношћу сталних извора ($\sum Q_i$) уочава се тенденција груписања података у две целине, с тим што интензивнији степен слагања са $Q_{80\%}^{30}$, односно $Q_{95\%}^{30}$ има елемент QC (0,665, односно 0,694). Остале четири сумарне издашности сталних извора: QA, QB, QD и QE имају мањи степен слагања са $Q_{80\%}^{30}$, односно $Q_{95\%}^{30}$ (од 0,202-0,396).

На основу укупно добијених резултата, реално је закључити да су терени сврстани у C хидрогеолошку категорију битан елемент величине маловодног речног отицаја на анализираним водотоцима. У C хидрогеолошку категорију сврстани су терени изграђени од карбонатних стенских маса са дисолуционом и дисолуционо-пукотинском порозношћу који у повољним хидрогеолошким условима омогућавају постојање знатних количина динамичких резерви подземних вода (Чубриловић *et al.*, 1999).

Захваљујући изразито највећој површинској заступљености терена сврстаних у E хидрогеолошку категорију (63%) евидентан је знатан број сталних извора али претежно мале издашности. Стагистички посматрано постоји јак степен слагања између хидрогеолошке категорије терена E и анализираних елемената.

Општи утисак о коришћеним подацима се добија и на основу дескриптивних мера - средњих вредности и мера варијације. У табели 3 дате су дескриптивне мере зависних и независних променљивих за агрегирану варијанту коришћених хидрогеолошких елемената. Израчуната средња вредност - аритметичка средина, показује да просечни минимални средње тридесетодневни протицај 80%-тне обезбеђености износи $Q_{80\%}^{30}=0,49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, а 95%-тне обезбеђености $Q_{95\%}^{30}=0,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Просечна величина сливног подручја хидролошке станице износи $F=532,86 \text{ km}^2$ на којој просечно постоји $I=20,84$, тј. 21 стални извор просечне сумарне издашности сталних извора $\sum Q=249,66 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$.

Посматрањем аритметичке средине и позиционих средњих вредности, моду-са и медије, може да се закључи да посматране променљиве имају приближно нормалан распоред.

Израчунате мере варијације, стандардна девијација и средње апсолутно одступање, показују да посматрани елементи ($F, I, \sum Q$) значајно одступају од сопственог просека.

Коефицијент варијације показује да површина хидрогеолошког сливног подручја хидролошке станице F ($C_v=0,93$) и број сталних извора I ($C_v=0,94$) мање варирају од сопственог просека него сумарна издашност сталних извора $\sum Q$ ($C_v=1,47$).

На основу дескриптивних показатеља дисагрегираних хидрогеолошких елемената може да се закључи да се просечне површине заступљених хидрогеолошких

категија терена на хидрогеолошком сливном подручју хидролошке станице ($\sum_A^E F_i$) значајно разликују. Најмању просечну површину има хидрогеолошка категорија FD ($4,62 \text{ km}^2$), најмањи број сталних извора имају IB и IA (мање од један), а најмању средњу издашност сталних извора минималне издашности веће од $1 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ има елемент QB ($1,32 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$).

Табела 3. Дескриптивне мере зависних ($Q_{80\%}^{30}$ и $Q_{95\%}^{30}$) и независних променљивих за коришћене агрегиране хидрогеолошке елементе $F, I, \Sigma Q$

Table 3. Descriptive measures of dependent ($Q_{80\%}^{30}$ and $Q_{95\%}^{30}$) and independent variables for aggregated hydrogeological elements $F, I, \Sigma Q$

Дескриптивне мере Descriptive measures	$Q_{80\%}^{30}$	$Q_{95\%}^{30}$	F	I	ΣQ
	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	km^2	$Q \geq 1 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$
Сума Amount	30,106	21,550	32.504,500	1.271,000	15.229,100
Максимум Maximum	1,967	1,608	2.185,000	84,000	1.585,600
Минимум Minimum	0,009	0,001	78,000	0,000	0,000
Сред. вред., ар. средина Mean, arithmetic mean	0,494	0,353	532,861	20,836	249,657
Медијана Mediana	0,401	0,254	370,000	13,000	94,500
Модус Modus	0,540	0,502	340,000	6,000	13,400
Опсег промене Variation range	1,958	1,607	2.107,000	84,000	1.585,600
Сред. апс. одступање Mean absolute difference	0,350	0,270	368,847	15,604	264,195
Варијанса Variance	0,198	0,119	244.706,522	384,006	134.904,735
Стандардна девијација Standard deviation	0,445	0,346	494,678	19,596	367,294
Коеф. варијације Variation coefficient	0,903	0,978	0,928	0,940	1,471

Посматран по групама дисагрегираних елемената, интервал варијације је, такође, различит. Код површина затупљених хидрогеолошких категорија терена уочава се да већи интервал варијације имају елементи који имају већу просечну површину. Највећи распон промене има елемент FE (1.582,50), који, такође, има и највећу просечну површину, а најмањи опсег промене има FD (28,0).

Код опсега промене дисагрегираног броја сталних извора ($\sum_A^E I_i$) постоји слична тенденција, с тим што највећи опсег промене има елемент IC (58,0), који има и највећу средњу вредност (9,23). Код сумарне издашности сталних извора ($\sum_A^E Q_i$) наставља се претходна тенденција. Елемент QC са највећом просечном издашношћу (201,03) има и највећи опсег промене (1.537,20).

На основу резултата приказаних у корелационим матрицама агрегираних и дисагрегираних хидрогеолошких елемената може да се закључи, да има смисла формирати регресионе једначине између специфицираних хидрогеолошких елемената и карактеристичних меродавних маловодних протицаја. С обзиром на сложеност маловодног протицаја, даљи развој модела захтева укључивање више независних варијабли и коришћење вишеструког регресионог модела.

4.2. Развој вишеструког регресионог модела

После тестирања испуњености претпоставки за израду регресионог модела и провере оригиналних података у више итерација примењен је регресиони модел. У циљу налажења најприкладнијег модела, тестирано је више варијанти модела. За меродавне минималне средње тридесетодневне протицаје 80%-тне и 95%-тне обезбеђености изабране су варијанте модела које укључују квантификоване хидрогеолошке елементе на сливним подручјима. При формирању модела пошло се од најједноставније варијанте вишеструког модела укључивањем по две независне варијабле, и то: (F, I), ($F, \Sigma Q$) и ($I, \Sigma Q$).

Потом су формиране модели који укључују по два дисагрегирана хидрогеолошка елемента, тј. комбинацијом од по десет варијабли по групама. На крају, формиран је модел који укључује све дисагрегиране независне варијабле, што претставља укупно 15 независно променљивих ($\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i$).

Табела 4. Варијанте модела за меродавни минимални средњи тридесетодневни протицај 80%-тне обезбеђености и добијени резултати

Table 4. Model variants for relevant minimum mean thirty-day 80 percentile flow and the results

Модел	n	R	R^2	\bar{R}^2	S	$F\text{-stat.}$	p	
M_1	$Q_{80\%}^{30} = f(F, I)$	61	0,863	0,744	0,736	0,229	84,50	0,000
M_2	$Q_{80\%}^{30} = f(F, \Sigma Q)$	61	0,857	0,734	0,725	0,234	80,17	0,000
M_3	$Q_{80\%}^{30} = f(I, \Sigma Q)$	61	0,899	0,808	0,801	0,199	121,88	0,000
M_4	$Q_{80\%}^{30} = f(F, I, \Sigma Q)$	61	0,899	0,809	0,799	0,199	80,36	0,000
M_5	$Q_{80\%}^{30} = f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i)$	61	0,921	0,849	0,818	0,189	28,05	0,000
M_6	$Q_{80\%}^{30} = f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,918	0,842	0,811	0,194	26,66	0,000
M_7	$Q_{80\%}^{30} = f(\sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,961	0,923	0,908	0,135	60,14	0,000
M_8	$Q_{80\%}^{30} = f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,969	0,938	0,918	0,128	45,50	0,000

Табела 5. Варијанте модела за меродавни минимални средњи тридесетодневни протицај 95%-тне обезбеђености и добијени резултати**Table 5.** Model variants for relevant minimum mean thirty-day 95 percentile flow and the results

Модел	n	R	R^2	\bar{R}^2	S	F -stat.	p
M_9 $Q_{95\%}^{30}=f(F, I)$	61	0,840	0,706	0,696	0,190	69,70	0,000
M_{10} $Q_{95\%}^{30}=f(F, \Sigma Q)$	61	0,847	0,718	0,708	0,186	73,90	0,000
M_{11} $Q_{95\%}^{30}=f(I, \Sigma Q)$	61	0,888	0,789	0,782	0,161	108,44	0,000
M_{12} $Q_{95\%}^{30}=f(F, I, \Sigma Q)$	61	0,888	0,789	0,778	0,163	71,09	0,000
M_{13} $Q_{95\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i)$	61	0,908	0,824	0,789	0,159	23,41	0,000
M_{14} $Q_{95\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,910	0,828	0,793	0,157	24,02	0,000
M_{15} $Q_{95\%}^{30}=f(\sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,960	0,921	0,905	0,107	58,01	0,000
M_{16} $Q_{95\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,968	0,936	0,915	0,100	44,19	0,000

Укупно је урађено посебно за $Q_{80\%}^{30}$ и $Q_{95\%}^{30}$ по три модела са по две независне варијабле, по један модел са по три независне варијабле, по три модела са по десет независних варијабли и по један модел са по 15 независних варијабли. На тај начин, формирано је по осам модела за $Q_{80\%}^{30}$ и $Q_{95\%}^{30}$. У табелама 4 и 5 приказане су варијанте модела, као и добијени резултати.

Табеле 4 и 5 у заглављу садрже: број модела, варијабле које су укључене у модел, број валидних случајева на које је модел примењен, као и групу показатеља оцењених вредности појединих модела.

4.3. Резултати анализе модела

Мере репрезентативности вишеструке регресије су оцењене помоћу квадрата коефицијента вишеструке корелације (R^2) и коригованог квадрата коефицијента вишеструке корелације (\bar{R}^2), као релативне мере, и стандардне грешке регресије (S) као апсолутне мере ваљаности регресије.

Изречунаји коефицијент вишеструке корелације (R) у свим варијантама модела показује високе вредности од 0,840 до 0,969. Међутим, кориговани квадрат коефицијента вишеструке корелације (\bar{R}^2) показује незнатно смањење објашњеног варијабилитета у укупном варијабилитету. Он има најмању вредност код агрегираних независних и у моделу M_2 ($\Sigma Q_{80\%}^{30}=f(F, \Sigma Q)$) износи $\bar{R}^2=0,725$, док у моделу M_9 ($\Sigma Q_{95\%}^{30}=f(F, I)$) износи $\bar{R}^2=0,696$.

Највеће вредности има у дисагрегираним моделу са 15 варијабли и износи M_8 ($Q_{80\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i)$) $\bar{R}^2=0,918$, а у моделу M_{16} ($Q_{95\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i)$) $\bar{R}^2=0,915$.

На основу вредности коригованог квадрата коефицијента вишеструке корелације \bar{R}^2 , може се закључити да међусобну зависност између квантификованих

хидрогеолошких елемената и $Q_{80\%}^{30}$ и $Q_{80\%}^{30}$ најбоље описују модели са дисагрегираним хидрогеолошким елементима.

Стандардна грешка регресије (S) је изражена у истим мерним јединицама као и зависна променљива $Q_{80\%}^{30}$, односно $Q_{95\%}^{30}$. Пошто су обе зависно променљиве исто скалиране, може се извршити поређење и оценити ваљаност модела. Анализирани агрегирани модели имају стандардну грешку регресије од 0,229 (M_1) до 0,199 (M_3) за $Q_{80\%}^{30}$ и од 0,190 (M_9) до 0,161 (M_{11}) за $Q_{95\%}^{30}$. Најмања стандардна грешка регресије је за дисагрегирани модел $Q_{80\%;95\%}^{30}$, где износи 0,128 за 80%-тну обезбеђеност, односно 0,100 за 95%-тну обезбеђеност минималног средње тридесетодневног протицаја.

Вредности F -статистике показују да се не може прихватити хипотеза H_0 која тврди да су сви коефицијенти једнаки нули ($H_0: \beta_1=\beta_2=\dots=\beta_n=0$). Истовремено, са сигурношћу се може прихватити алтернативна хипотеза H_1 (Жижић *et al.*, 1999). Ова тврдња важи за све изабране моделе независно од нивоа агрегације. Истоветан закључак се може донети и посматрањем вероватноће (p) датих у последњој колони табела 4 и 5. Укратко, на бази квадрата коефицијената вишеструке корелације R^2 , \bar{R}^2 и спроведеног F -теста ($\alpha=0,05$), може се закључити да сви изабрани модели добро репрезентују минимални средњи тридесетодневни протицај 80%-тне и 95%-тне обезбеђености.

5. ДИСКУСИЈА И ПРИКАЗ КВАЛИТЕТА УСПОСТАВЉЕНИХ РЕГИОНАЛНИХ ЗАВИСНОСТИ

У циљу налажења најприкладнијег модела регионалне зависности између минималног средњег тридесетодневног протицај 80-тне и 95%-тне обезбеђености и квантификованих хидрогеолошких елемената формирано је и тестирано више варијанти модела.

У табелама 6 и 7 приказани су упоредни резултата прорачуна статистичких параметара стварних и израчунатих серија минималних средњих тридесетодневних протицаја, и то: просечна вредност \bar{Q} , стандардна девијација σ и коефицијент варијације C_v . Поред тога, дати су: стандардна грешка регресије S , однос стандардне грешке регресије и стандардне девијације δ , и коефицијент вишеструке корелације R . Може да се закључи да за оба случаја карактеристичних минималних средњих 30-одневних протицаја најбољи резултати се добијају у осмом (M_8), односно шеснајестом (M_{16}), моделу, тј. моделу $Q_{80\%;95\%}^{30}$.

Високе вредности квадрата коефицијента вишеструке корелације R^2 и мале вредности параметра δ , упућују да је на анализираном простору Републике Србије улога хидрогеолошких услова веома значајна у формирању малих вода. Вредности ових коефицијената указују на висок степен објашњености карактеристичног маловодног отицаја хидрогеолошким елементима.

Испитивањем ваљаности специфицираних модела, дошло се до закључка да изабрани модели на одговарајући начин репрезентују оригиналне податке. Најбоље

прилагођени модели имају највећу вредност квадрата коефицијената вишеструке корелације и за модел $Q_{95\%}^{30}$ износи $R^2=0,936$.

Табела 6. Приказ показатеља успостављених регионалних зависности минималних средњих 30-одневних протицаја 80%-тне обезбеђености

Table 6. Quality indices for established regional control of minimum mean thirty-day 80 per cent exceedence

Модел	n	\bar{Q}		σ		δ		C_v	
		1	2	1	2	1	2	1	2
M_1 $Q_{80\%}^{30}=f(F, I)$	61	0,494	0,493	0,445	0,388	0,903	0,787	0,514	0,590
M_2 $Q_{80\%}^{30}=f(F, \Sigma Q)$	61	0,494	0,493	0,445	0,385	0,903	0,781	0,525	0,607
M_3 $Q_{80\%}^{30}=f(I, \Sigma Q)$	61	0,494	0,493	0,445	0,402	0,903	0,815	0,447	0,495
M_4 $Q_{80\%}^{30}=f(F, I, \Sigma Q)$	61	0,494	0,493	0,445	0,402	0,903	0,815	0,447	0,495
M_5 $Q_{80\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i)$	61	0,494	0,493	0,445	0,425	0,903	0,862	0,424	0,444
M_6 $Q_{80\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,494	0,493	0,445	0,408	0,903	0,827	0,436	0,475
M_7 $Q_{80\%}^{30}=f(\sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,494	0,493	0,445	0,414	0,903	0,839	0,303	0,326
M_8 $Q_{80\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,494	0,493	0,445	0,423	0,903	0,858	0,287	0,302

Легенда / Legend: 1 - Стварно / Observed, 2 - Израчунато / Calculated

Табела 7. Приказ показатеља квалитета успостављених регионалних зависности минималних средњих тридесетодневних протицаја 95%-тне обезбеђености

Table 7. Quality indices for established regional control of minimum mean thirty-day 95 per cent exceedence

Модел	n	\bar{Q}		σ		δ		C_v	
		1	2	1	2	1	2	1	2
M_9 $Q_{95\%}^{30}=f(F, I)$	61	0,353	0,353	0,346	0,293	0,978	0,830	0,549	0,648
M_{10} $Q_{95\%}^{30}=f(F, \Sigma Q)$	61	0,353	0,353	0,346	0,295	0,978	0,835	0,537	0,630
M_{11} $Q_{95\%}^{30}=f(I, \Sigma Q)$	61	0,353	0,353	0,346	0,308	0,978	0,872	0,465	0,522
M_{12} $Q_{95\%}^{30}=f(F, I, \Sigma Q)$	61	0,353	0,353	0,346	0,308	0,978	0,872	0,471	0,529
M_{13} $Q_{95\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i)$	61	0,353	0,353	0,346	0,326	0,978	0,923	0,459	0,487
M_{14} $Q_{95\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,353	0,353	0,346	0,319	0,978	0,903	0,453	0,398
M_{15} $Q_{95\%}^{30}=f(\sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,353	0,353	0,346	0,318	0,978	0,901	0,309	0,336
M_{16} $Q_{95\%}^{30}=f(\sum_A^E F_i, \sum_A^E I_i, \sum_A^E Q_i)$	61	0,353	0,353	0,346	0,332	0,978	0,940	0,289	0,301

Легенда / Legend: 1 - Стварно / Observed, 2 - Израчунато / Calculated

Вредности F -статистике су показале да се не може прихватити H_0 хипотеза која тврди да су сви коефицијенти регресионе равни једнаки нули. Пошто F -тест не даје одговор који од наведених хидрогеолошких елемената значајно одступа од нуле,

извршено је тестирање свих коефицијената помоћу t -теста на нивоу значајности $\alpha=0,05$. Спроведеним t -тестом на нивоу значајности $\alpha=0,05$ у свим специфицираним моделима дошло се до закључка да се једино у агрегираним моделима $Q_{80\%;95\%}^{30}=f(F, \Sigma Q)$ и $Q_{80\%;95\%}^{30}=f(I, \Sigma Q)$ сви коефицијенти значајно разликују од нуле. Специфицирани модели су следећег облика:

$$Q_{80\%;95\%}^{30}=b_0+b_1 \cdot F+b_2 \cdot \Sigma Q;$$

$$Q_{80\%;95\%}^{30}=b_0+b_1 \cdot I+b_2 \cdot \Sigma Q.$$

Вредности коефицијената са одговарајућим t -статистикама у заградама дају се у наредним једначинама. У моделима се уочава да су, ако занемаримо константу, коефицијенти b_1 и b_2 статистички значајни не само на нивоу значајности $\alpha=0,05$, већ и на нивоу значајности $\alpha=0,01$. У сумарним резултатима наведених модела дата је гранична вероватноћа (сигнификантност) наведених коефицијената која је за сва четири модела мања од једног хиљадитог дела, што показује да су коефицијенти статистички високо значајни.

Специфицирани модели имају следеће функционалне зависности, а у заградама испод вредности оцењених параметара дати су резултати тестирања значајности регресионих коефицијената (t -тест):

$$Q_{80\%}^{30}=0,092+0,00047 \cdot F+0,0006 \cdot \Sigma Q;$$

(2,057) (7,029) (6,722)

$$Q_{80\%}^{30}=0,077+0,0151 \cdot I+0,00038 \cdot \Sigma Q;$$

(2,081) (9,510) (4,399)

$$Q_{95\%}^{30}=0,052+0,00033 \cdot F+0,0005 \cdot \Sigma Q;$$

(1,450) (6,147) (7,045)

$$Q_{95\%}^{30}=0,039+0,011 \cdot I+0,00034 \cdot \Sigma Q.$$

(2,057) (7,029) (6,722)

где је: F - површина хидрогеолошког сливног подручја хидролош. станице у km^2 , I - број сталних извора минималне издашности веће или једнаке $1 L \cdot s^{-1}$ на хидрогеолошком сливном подручју хидролошке станице (број извора), ΣQ - сумарна издашност сталних извора минималне издашности веће или једнаке једном $L \cdot s^{-1}$ на хидрогеолошком сливном подручју хидролошке станице у $L \cdot s^{-1}$, $Q_{80\%}^{30}$ - минимални средњи тридесетодневни протицај 80%-тне обезбеђености у $m^3 \cdot s^{-1}$ и $Q_{95\%}^{30}$ - минимални средњи тридесетодневни протицај 95%-тне обезбеђености у $m^3 \cdot s^{-1}$.

На основу почетног узорка, образована су претходно приказана четири модела који су исправни по свим критеријумима. Примена специфицираних модела на оригиналне податке, тј. у интервалу оригиналних података је показала квалитет предвиђања у датим границама за сваки квантификовани хидрогеолошки елемент. Из теорије је познато да модел даје прецизније резултате ако је нова вредност независне варијабле у интервалу емпиријских вредности (Жижић *et al.*, 1999). Пошто се полази од претходно наведене претпоставке, изабрани специфицирани и оцењени модели се могу узети као поуздана подлога за регионализацију малих вода, и то у најмањој

мери као претходна представа о могућим минималним средње тридесетодневним протицајима 80%-тне и 95%-тне обезбеђености неизучених водотока.

6. ЗАКЉУЧАК

На узорку од 61 сливног подручја са хидролошком станицом на излазном профилу спроведена су истраживања у циљу развоја модела за оцену утицаја хидрогеолошких услова у формирању малих вода и налажења најприкладнијег модела регионалне зависности између минималног средњег тридесетодневног протицаја 80%-тне и 95%-тне обезбеђености и квантификованих хидрогеолошких елемента. Анализирана сливна подручја спадају у категорију малих и средњих, према величини сливне површине, а налазе се на простору Републике Србије, јужно од Саве и Дунава.

Добијени резултати у спроведеним вишеструким регресионим анализама показују статистичку значајност везе успостављене између квантификованих хидрогеолошких елемената као независно променљивих, и карактеристичних меродавних маловодних протицаја ($Q_{80\%}^{30}$ и $Q_{95\%}^{30}$) на одабраним хидролошким станицама, као зависно променљивих.

На основу расположивих података формирано је 16 модела са различитим комбинацијама агрегираних или дисагрегираних независних променљивих, за које су добијени високи коефицијенти вишеструке корелације (R), квадрат коефицијента вишеструке корелације (R^2) и коригованог квадрата коефицијента вишеструке корелације (R^2), као и мале вредности параметра δ . Вредности ових коефицијената указују на висок степен објашњености карактеристика маловодног отицаја хидрогеолошким елементима. Резултати прорачуна за све анализираних моделе показали су да хидрогеолошки услови на брдско-планинским теренима Републике Србије имају битну улогу у формирању маловодног отицаја у природним условима на средњим и малим водотоцима. Због тога је укључивање хидрогеолошких елемената у моделе регионалне анализе малих вода веома значајно.

Иако су оцене режима малих вода, на основу карактеристика слива грубе, потребна за таквим прорачунима у хидротехници, водопривреди и посебно заштити малих речних вода од контаминације, оправдава израду регионалних зависности. Регионална анализа омогућава релативно брзу оцену меродавне мале воде на водотоцима на којима се не врше систематска осматрања и мерења хидролошких величина или режим малих вода није довољно изучен.

На основу почетног узорка, формирана су четири модела [$Q_{80\%;95\%}^{30}=f(F, \Sigma Q)$ и $Q_{80\%;95\%}^{30}=f(I, \Sigma Q)$] који су ваљани по свим критеријумима (F -тест, t -тест на нивоу значајности $\alpha=0,05$), што даје могућност њихове примене за интерполацију у датим границама за сваки квантификовани хидрогеолошки елемент, односно за примену у регионалној анализи на хидролошки неизученим сливовима. Имајући у виду сву сложеност процеса маловодног отицања, правилност исказана претходно наведеним

моделима не мора да значи да су једино коришћени хидрогеолошки елементи битни за регионализацију малих вода.

ЛИТЕРАТУРА

- Barnes B.S. (1939): *The Structure of Discharge Recession Curves*, Trans. Amer. Geophys. Union 20(4) (721-725)
- Brosius F. (1998): *SPSS 8.0 Professionelle Statistik unter Windows*, MITP-Verlag GmbH, Bonn
- Владимиров А.М. (1976): *Сток реке в маловодниј период тога*, Гидрометеоиздат, Ленинград
- Вукмировић В., Покрајац Д., Хајдуковић Д. (1988): *Меројавне мале воде у Србији*, студија, Грађевински факултет Универзитет у Београду, Београд
- Жижих М., Ловрић М., Павличих Д. (1999): *Методи статистичке анализе*, Економски факултет Универзитет у Београду, Београд
- Игњатовић Ј., Никић З. (1994/а): *Регионална анализа малих вода на територији Републике Србије*, Зборник радова „Заштита вода 94“, Игало (267-271)
- Игњатовић Ј., Никић З. (1994/б): *Regional analysis of low-flows for the territory of the Republic Serbia*, Proceedings: XVIIth Conference of the Danube countries on hydrological Forecasting and hydrological bases of water management, Budapest (129-134)
- Мак Магона Т. А., Диаса Аренаса А. (1984): *Методи расчета ниског стока*, Гидрометеоиздат, Ленинград
- Mitchell W.D. (1948): *Unit Hydrograph in Illinois, Illinois Division of Waterways*, prepared in cooperation with US Geological Survey, Springfield (26-28)
- Никић З. (2001): *Улога хидрогеолошких услова у формирању малих вода, средњих и малих водојока у Србији*, докторска дисертација у рукопису, Рударско-геолошки факултет Универзитет у Београду, Београд
- Никић З. (2003): *Хидрогеолошка анализа формирања и регионализација малих вода*, монографија, Задужбина Андрејевић, Београд
- Никић З. (2004): *Специфичност карста височког краја као битан елемент режима прогицања Височице*, Зборник абстракта: 5 Симпозијума о заштити карста, Гуча (5)
- Никић З., Јовић А. (2002): *Мале воде и њихова заштитна на хидролошки неизученим водојоцима*, Зборник радова ELECTRA II, Електропривреда Републике Србије, Тара (222-224)
- Никић З., Јонић Љ., Ристић Р. (2004): *Специфичност карста Висок краја (Стара Планина) као битан елемент режима прогицања Височице*, Зборник радова са V симпозијума о заштити карста, Академски спелеолошко-алпинистички клуб, Београд (113-120)
- Никић З., Луковић С. (2005): *Специфичност режима Раиких врела као елемент издвајања и промовисања геонаслеђа*, Зборник радова са II научног скупа о геонаслеђу Србије, Посебна издања завода за заштиту природе Србије, број 20, Београд (217-221)
- Никић З., Николић Ј. (2006): *Regional analysis of low flows in hilly and mountainous areas of the Republic of Serbia*, XXIII Conference of The Danubian countries on The

- hydrological forecasting and hydrological bases of water management, Belgrade (CD-ROM)
- Никић З., Прохаска С. (2001): *The role of hydrogeology in low flows analysed by mathematical and statistical methods*, International scientific meeting, Proceedings: Computer integrated technologies in minerals industry, University of Belgrade Faculty of Mining and Geology, Prijedor (363-367)
- Никић З., Радошевић Б., Ристић Р. (2003): *Characteristics of extreme Visocica river flow rate-influence of hydrogeological conditions*, Annual, vol. 46, part I, Geology and Geophysics, University of mining and geology „St. Ivan Rilski”, Sofia (267-270)
- Никић З., Ристић Р. (2002): *Специфичности екстремних притока Раике - утицај хидрогеолошких услова*, Зборник радова са XIII симпозијума о хидрогеологији и инжењерској геологији, СИРГ СР Југославије, Херцег Нови (323-330)
- Никић З., Чубриловић П. (1999): *Улога хидрогеолошких услова у формирању притока Јабланице у сушном периоду године*, Зборник радова са XXVIII конференције о актуелним проблемима заштите вода, Соко Бања (219-224)
- Прохаска С., Никић З., Ристић В. (1998): *Улога хидрогеологије у регионализацији малих вода*, Зборник радова „Заштита вода 98“, Котор (123-138)
- Прохаска С., Никић З., Ристић В. (1999): *Регионализација малих вода, малих и средњих сливова у Србији - хидрогеолошки прилици*, XII Југословенски симпозијум о хидрогеологији и инжењерској геологији, Нови Сад (273-280)
- Рош М. (1971): *Гидрологија суши*, Гидрометеоролошко издештво, Ленинград
- Chow V.T. (1964): *Handbook of Applied Hydrology*, Hydrology and its Developments, Section 1, McGraw-Hill, New York (14-9-11)
- Чубриловић П., Никић З. (1999): *Утицај хидрогеолошких одлика ширена на притока Височице у сушном периоду године*, XII Југословенски симпозијум о хидрогеологији и инжењерској геологији, Нови Сад (469-478)

Zoran Nikić

HYDROGEOLOGICAL APPROACH TO THE REGIONAL ANALYSIS OF LOW FLOW IN MEDIUM AND SMALL STREAMS OF THE HILLY AND MOUNTAINOUS AREAS OF SERBIA

Summary

The method used in the reported investigation is based on the working hypothesis that the natural low flow in medium and small catchments depends on the hydrogeological situation. Development of models for assessment of the hydrogeological effect on low stream flow and for selection of the most suitable model of the regional relationship between the thirty-day minimum mean 80 and 95 per cent exceedence flow and the quantified hydrogeological elements was based on information for sixty-one gauged catchments.

The given gauged catchment areas were those of small and medium streams in Serbia south of the Rivers Sava and Danube. Multiple regression analyses indicated statistical significance of the relation between the quantified hydrogeological elements as independent variables and the characteristic control low flows, $Q_{80\%}^{30}$ and $Q_{95\%}^{30}$, in selected gauging stations as dependent variables. Sixteen models were developed using the available data, with different combinations of aggregated or

disaggregated independent variables, for which were obtained high coefficients of multiple correlation (R), square coefficients of multiple correlation (R^2) and corrected square coefficient of multiple correlation (\bar{R}^2), and low values of parameter δ . Values of these coefficients described fairly well the low flow by hydrogeological elements.

The calculation results for all the models analyzed confirmed an essential effect of hydrogeology on the natural flow in medium and small streams of the hilly and mountainous part of Serbia. Hence the importance of the inclusion of hydrogeology in the models of regional low flow analysis. From the initial sample four models were developed [$Q_{80\%;95\%}^{30}=f(F, \Sigma Q)$ and $Q_{80\%;95\%}^{30}=f(I, \Sigma Q)$], which are valid by any criterion (F -test, t -test at the significance level ($\alpha=0.05$), which makes them applicable to the interpolation within the limits of each quantified hydrogeological element, or usable in regional analyses of ungauged catchments. In view of the complexity of the low flow procedure, the regularity expressed by the foregoing models does not necessarily mean that hydrogeological elements alone are essential for the low flow regionalization.