

УТИЦАЈ ГЕОЛОШКЕ ПОДЛОГЕ НА ОТИЦАЈ

ЈУГОСЛАВ НИКОЛИЋ
ЗОРАН НИКИЋ
ВЛАДАН ДУЦИЋ

Извод: Отицај је основни елемент водног биланса и фаза хидролошког циклуса на коју утичу многобројни фактори. Одређивање утицаја појединих фактора на процес отицаја може имати стратешки значај за планирање и контролу водних ресурса. У раду се изучава и приказује структура процеса укупног отицаја, као и степена могућег утицаја различитих геолошких подлога на отицај воде у природним условима.

Кључне речи: хидролошки циклус, отицај, падавине, водни биланс, геолошка грађа, хидрогеолошке карактеристике

THE INFLUENCE OF GEOLOGICAL TERRAIN ON RUNOFF

Abstract: Runoff is the basic element of the water balance and phase of hydrological cycle influenced by numerous factors. The determination of the influence of certain factors on the runoff process can have strategic importance for planning and control of water resources. The study explores and presents the structure of the total runoff process, as well as the degree of possible influence of various geological terrains on the water runoff in natural conditions.

Key words: hydrological cycle, runoff, precipitation, water balance, geological structure, hydrogeological characteristics

1. УВОД

На планети Земљи вода се налази у атмосфери, на површини Земље и у Земљиној кори, образујући хидросферу планете. Горња граница хидросфере најчешће се дефинише висином тропопаузе, као горњом границом тропосфере изнад које вода подлеже интензивној фотодисоцијацији. Дебљина тропосфере није стална, она се временом мења и у циклонима је за неколико километара мања у односу на антициклоне. Њена најчешћа вредност у умереним географским ширинама је 10-12 km.

Доња граница хидросфере није јасно дефинисана. Она се може условно дефинисати дубином Земљине коре до које се јављају подземне воде у различитим видовима. У профилу литосфере разликују се две зоне распрострањења подземних вода: горња и доња. Горња зона обухвата све воде у течном, чврстом и гасовитом стању, физички и већи део хемијски везане воде. Доња зона односи се на воде у надкритичном стању и део хемијски везане воде у минералима. Дебљина горње зоне на континентима је 10-25 km, док је у пределу океана, најчешће, мања од 10 km. Она се смањује у зонама кенозојске тектонске активности, а повећава у области распрострањења прекамбријумских творевина.

др Јуџослав Николић, научни сарадник, Републички хидрометеоролошки Завод Србије, Београд; др Зоран Никић, доцент, Шумарски факултет, Београд; др Владан Дуцић, ванредни професор, Географски факултет, Београд.

Хидролошки циклус обухвата процес кружења воде у систему *тритроисфера-џорња зона Земљине коре*. Циклус се састоји од падавина, преко којих вода из атмосфере доспева на површину Земље, као и површинског, потповршинског и подземног отицаја у реке, језера и мора. Описује се преко једначине водног биланса. Циклус је затворен кад вода поново испари у атмосферу. Хидролошки циклус не подразумева подземне воде доње зоне профила литосфере, односно геолошки циклус условљен учешћем воде у различитим геолошким процесима.

Отицај је онај део падавина који, после свих неповратних губитака, површинским или подземним токовима доспева у водотоке датог слива и појављује се на његовом излазном профилу. Као последица акумулационих капацитета површинских слојева, део падавина се задржава и постепено “испушта” у водотоке слива. У пракси се, углавном, третирају падавине из облачних система, које се рутински мере, док се падавине настале кондензацијом водене паре на чврстим телима у виду росе, слане или иња, најчешће занемарују.

2. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Основни циљ рада је изучавање и приказ генезе укупног отицаја и процена степена могућег утицаја различитих геолошких подлога на укупни отицај воде у природним условима.

Анализом елемената отицаја и њихових међусобних веза дошло се до шематског приказа процеса укупног отицаја и распореда падавина над сливом (Ни колић, Ј., 2004).

Извршена је класификација фактора отицаја и направљен приступ у одабиру карактеристичних сливова. У процесу одабира разматрана су шездесет два слива (сливна подручја) хидролошких станица из састава осматрачке мреже Републичког хидрометеоролошког завода Србије. Ова подручја одликује сложена геолошка грађа са заступљеношћу многобројних литостратиграфских чланова у распону старости од камбријума до квартара. Геолошка грађа истраживана је коришћењем Основне геолошке карте.

Категоризација терена извршена је у 5 хидрогеолошких категорија, А, Б, Ц, Д и Е, према типу порозности (Ни кић, З., Ј. Ни колић, 2006):

- А, интергрануларна;
- Б, интергрануларна и пукотинска комбиновано;
- Ц, карстно-пукотинска;
- Д, пукотинска;
- Е, условно безводни делови терена.

Ранија истраживања (Ни колић, Ј., 2002) указала су на улогу водопропустљивости терена у процесу отицаја и испаравања воде. Отуда је избор карактеристичних сливова у овом раду извршен тако да претежно заступљене геолошке творевине једног сливног подручја буду екстремно различите у односу на друго сливно подручје, пре свега са аспекта пропустљивости воде излучене падавинама. За детаљнију анализу одабрана су два слива: један из категорије Ц, а други из категорије Е, као примери водопрпусног и водонепропусног терена у природним условима, респективно.

Додатни услов при избору сливова био је да исти садрже одговарајуће хидролошке станице на којима постоје вишегодишња мерења протицаја, као и репрезентативна мрежа падавинских станица и довољно дуги низови измерених вредности падавина.

За билансирање су коришћене расположиве упоредне серије измерених вредности протицаја и падавина. У хидролошкој, метеоролошкој и хидрогеолошкој пракси устаљена је употреба јединице милиметар (mm) за количину падавина, отицаја или испаравања, при чему милиметар представља висину слоја воде у милиметрима која падне, отекне или испари. Ова јединица је ван система SI, али је њена употреба уобичајена и дозвољена.

Како су падавине изражене преко слоја падавина у милиметрима, прорачун висине слоја отицаја за годишњи ниво извршен је преко релације (Николић, Ј., 2002):

$$h = \frac{31536 \cdot Q}{F} \quad (1)$$

где су:

h - висина годишњег отицаја ($mm \cdot god^{-1}$);

Q - протицај на излазном профилу ($m^3 \cdot s^{-1}$);

F - површина слива (km^2)

Код методе водног биланса примењен је хидрогеолошки приступ истраживањима да би било испитано евентуално дотицање/отицање подземних вода из једног у други слив.

Падавине су, поред евапотранспирације и отицаја, један од основних елемената водног биланса чија анализа може бити извршена различитим методама (Николић, Ј., С. Прохаска, 2005). У зависности од тога да ли се примењују упрошћени методи анализе, или се просторна расподела падавина одређује на сложенији начин, добијају се и различити резултати (Николић, Ј., et al., 2005). Код просторне анализе падавина у овом раду примењен је метод који, поред осталог, укључује орографске и динамичке ефекте. Извршена је тродимензионална динамичка анализа, применом одговарајућег нехидростатичког мезо модела аатмосфере (Frenzen, G., et al, 1987), који даје боље резултате у односу на класичне методе интерполације. Један од првих корака код овакве анализе је ажурирање одговарајуће базе података из домена анализе на бази грид система. Улазни подаци у раду добијени су физичким мерењем и картометријски.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

3. 1. Основни физичко-географски услови терена изабраног за анализу процеса отицаја

За анализу су одабрани сливови Јабланице и Пећке Бистрице. Географски положај слива Јабланице илустрован је на слици 1, а Пећке Бистрице на слици 2.



Слика 1. Географски положај слива Јабланице
Figure 1. Geographic position
of the Jablanica basin



Слика 2. Географски положај слива Пећке Бистрице
Figure 2. Geographic position of the Peška Bistrica basin

Слив реке Јабланице представља део Јужног Поморавља у југозападном делу Централне Србије. Слив лежи између $42^{\circ}40'00''$ и $43^{\circ}06'00''$ северне географске ширине и $21^{\circ}23'30''$ и $21^{\circ}58'00''$ источне географске дужине. Горњи и средњи део слива Јабланице, узводно од Лебана, претежно је планинска територија.

Слив Пећке Бистрице формиран је на југоисточним огранцима Проклетија. Планински део слива Пећке Бистрице налази се између $42^{\circ}46'08''$ и $42^{\circ}37'02''$ северне географске ширине и $19^{\circ}58'06''$ и $20^{\circ}16'02''$ источне географске дужине.

Као карактеристични репрезенти двају крајности геолошких подлога анализирани су слив Јабланице у односу на профил “Лебане” и Пећке Бистрице у односу на профил “Пећ”.

3. 2. Фактори отицаја

Фактори који утичу на процес отицаја могу се класификовати на следеће категорије:

- метеоролошки фактори;
- карактеристике терена;
- антропогени утицаји.

Метеоролошки фактори обухватају првенствено утицај падавина, евапорације и транспирације на отицај.

Утицај падавина испољава се кроз интензитет падавина и њихово трајање. Иста количина падавина, излучена у два различита временска трајања, производи два различита отицаја. Утицај трајања падавина зависи и од величине и карактеристика слива. Мањи сливови су више подложни утицају краткотрајних киша јаког интензитета.

Карактеристике терена односе се на карактеристике сливова и карактеристике водотока. Карактеристике сливова подразумевају величину, облик, нагиб, оријентацију и друге морфолошке, геометријске и висинске карактеристике. Осим наведених, као значајне јављају се **геологија терена**,

вегетација, присуство и карактеристике подземних вода и сл. Карактеристике водотока првенствено се односе на пропусну моћ истих.

Утицај вегетације на отицај је разнолик. Вода у шуми зими брже понире и храни постојеће издани. У исто време, вода са отворених делова терена највећим делом отиче површински, јер је подлога дубље замрзнута и делује као вододржив слој.

У летњем периоду доминантан је процес транспирације чиме се смањује отицај, односно део падавина који доспева у корита река.

У јесен, са слабљењем процеса евапотранспирације, долази најпре до попуњавања изданских резерви, а потом и до значајнијег отицања падавина у водотоке. То је један од узрока кашњења максимума јесењих водостаја у односу на максимум падавина.

Висок проценат шуме делује позитивно на отицање падавина јер утиче на уједначавање отицаја и смањење ефеката наглих надолазака вода и њиховог изливања из речних корита.

Антропогени утицаји односе се на утицаје људског фактора на процес отицаја: изградњу насипа, регулационих објеката, брана и пратећих објеката, претварање природних површина (пашњака и шума) у пољопривредне површине, мочвара у шуме, као и повећану урбанизацију са асфалтним, бетонским и другим вештачким водонепропусним површинама.

Избор карактеристичних сливова извршен је тако да морфолошки услови буду релативно слични (планински делови оба слива), а утицај разлике у клими, антропогеним и другим факторима практично занемарљив у односу на утицај разлике геолошких карактеристика подлоге (Ни колић, Ј., 2002).

3. 3. Геолошка грађа и хидрогеолошки услови одабраних сливова

Геолошка грађа слива Јабланице истражена је на основу Основне геолошке карте 1:100000, листови “Лесковац”, “Ниш” и “Подужево” (Ни колић, Ј., 2002).

Планински део сливног подручја Јабланице, узводно од хидролошке станице Лебане, изграђен је од кристаластих шкриљаца и гранитоида протерозојске старости, као и андезита и њихових пирокластита из терцијарног вулканогено-седиментног комплекса.

Кристаласти шкриљци припадају геолошки најстаријим стенским масама Српско-македонског комплекса. Уочавају се творевине доњег комплекса пре-камбријске старости представљене гнајсевима, а присутни су и лептинолити, микашисти и амфиболити. При површини терена кристаласти шкриљци су испуцали. Пукотине су малог зева, највећим делом заступљене прашинасто-песковитим материјалом.

На уском простору, од око 3% посматране територије, присутне су **гранитоидне стенске масе** које захватају крајњи југ планинског дела сливног подручја, испод Веље главе, у изворишној области Шуманске реке.

Вулканогено-седиментне творевине заступљене су на око 4% планинског дела сливног подручја Јабланице. Захватају западне делове изучавањег простора где је у терцијару дошло до вулканске активности, која је у вези са тектонским дислокацијама које пресецају ову зону. Остатак терцијарне вулканске активности је и Мркоњски вис код села Тулара.

Дацито-андезитске стенске масе са својим туфовима захватају крајње северне делове сливног подручја, падине планина Мајдан и Радан, односно, око 12% планинског дела слива

Равничарски део слива изграђују неогене наслаге преко којих су наталожене квартерне алувијалне и терасне творевине.

Алувијални седименти широко су распрострањени дуж тока реке Јабланице, захватајући око 40% равничарског дела сливног подручја.

Основно хидрогеолошко обележје планинског дела сливног подручја представља чињеница да заступљене стенске масе припадају терену који је практично без издани, или са плитким локалним изданима (Ni ko lić, J., et al, 2006).

Кристаласти шкриљци, који највећим делом изграђују планински терен сливног подручја Јабланице (око 80% терена), практично су водонепропусна средина са ретко заступљеним малим изданима. Уочавају се само мање локалне издани у зонама већих нагомилавања дробине, у танкој површинској зони распаднутих основних стена и деловима чврстих стенских маса испуцалих шкриљаца.

Гранитоидне стене, испуцале у приповршинском делу, имају генерално малу порозност и водопропусност, мада се запажа појава локалних издани у зонама веће испуцалости и више сталних извора мале издашности.

Вулканогено-седиментни стенски комплекс практично је водонепропусан и безводан.

Дацито-андезитске масе изграђују чврсте, местимично испуцале стене. У зонама јаче испуцалости терена, због релативне водопропусности, запажају се стални извори минималне издашности испод $1\text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$.

Од појава су карактеристични термоминерални извори Сијаринске Бање, који су везани за лецки андезитски масив.

Геолошки и хидрогеолошки услови планинског дела слива, то јест екстремно мала водопропустљивост терена и појава ретких плитких издани, омогућавају максимално дејство енергетских и динамичких фактора на процес евапотранспирације. Зато је за овакве терене карактеристична велика евапо-транспирација, а мали отицај воде.

Терен Пећке Бистрице изграђују нискометаморфне стене палеозојске старости, кластичне и карбонатне стене тријаса, дијабазројачке формације и стене стваране током неогена и квартара. Истраживања су извршена коришћењем ОГК 1:100 000, лист "Рожаје" (Ни ко лић, Ј., 2002).

Палеозојске творевине запажају се у југозападним деловима сливног подручја, кроз заступљеност метаморфисаних седимената девона и карбона. Уочавају се серицитски шкриљци, кварцити, метапешчари, аргилошисти и филити. Понегде се још јављају делимично, или потпуно, рекристалисани кречњаци (мермери) и доломити.

Мезозојске творевине захватају највећи део терена сливног подручја Пећке Бистрице. **Стене из различитих одељака тријаса су просторно доминантне**, мада се, као знатно мање распрострањени, срећу и јурски седименти.

Седименти доњег тријаса препознају се на подручју Пепића, околини В. Штупеља, Лазањској реци и Јошаници.

На простору изучаваног терена широко су распрострањени и **седименти средњег тријаса**.

Седименти горњег тријаса запажају се у југозападним деловима Мокре горе, где се појављују кречњаци, доломитични кречњаци и доломити.

Јурске творевине, на проучваном терену, представљају дијабаз-рожначке формације развијене на просторима Нећината, Планинице и југозападним деловима Мокре Горе. У њен састав улазе седиментне, магматске и метаморфне стене. Од седимената преовлађују пешчари, глинци, алевролити, лапорци и рожнаци. Од магматских стена појављују се дијабази спилити и кератофири. Западно од Дреља откривени су серпентинити као редован члан дијабаз-рожначке формације.

Кенозоик представљају седименти неогена и шљунковито-песковите творевине квартара. Неогене творевине наталожиле су се у метохијском језерском басену током миоцена и плиоцена. Седименти миоцена налазе се у околини Пећи, а чине их груби конгломерати, пескови и шљункови, лапорци и кречњаци.

Квартарне творевине су, такође, заступљене у мањем обиму проучаваног терена, а представљене су различитим типовима стена: глацио-флувијалним, делувијалним, пролувијалним, терасним, изворским, сипарским и алувијалним.

Кречњаке доњег, средњег и горњег тријаса карактерише карстни тип издани. Карактеристика овог терена је изражена карстификација карбоната и честа појава карстних канала, пећина и каверни.

Геолошки и хидрогеолошки услови, односно екстремно велика водопропустљивост карстног терена и појава дубоких карстних издани, блокирају дејство енергетских и динамичких фактора што, за овакве терене, условљава малу евапотранспирацију, а велики отицај воде.

3. 4. Процес отицаја

Процес отицаја обухвата површинско, потповршинско и подземно отицање воде које преко директног и базног формира укупни отицај.

Површински отицај чини део укупног отицаја који тече површином терена (површинско сливање) и кроз корита речне мреже до излазног профила датог слива. Кад уђе у корито водотока овај део се спаја са осталим компонентама у процесу формирања укупног отицаја.

Потповршински отицај потиче од дела падавина инфилтрираних у површински слој слива. Највећи део ове компоненте отицаја доспе до корита водотока пре него што дође у контакт са нивоом подземних вода (брзи потповршински отицај). Један део ипак доспе до нивоа подземних вода учествујући у базном отицају (касни потповршински отицај).

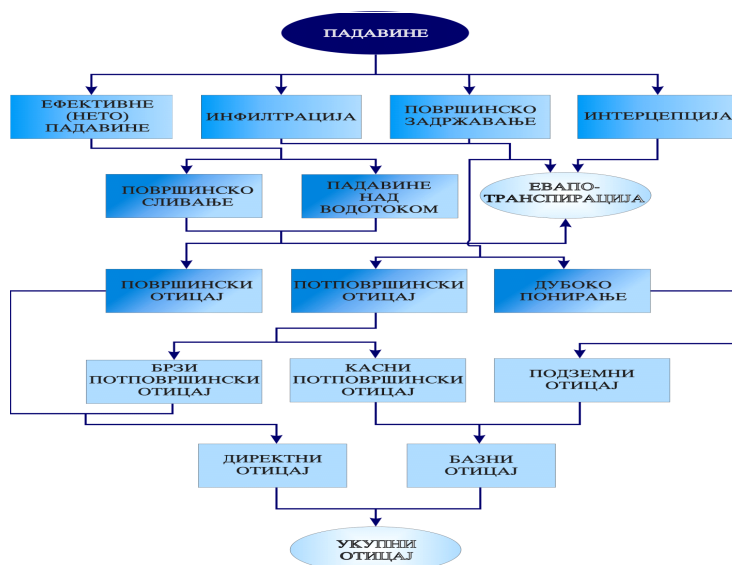
Подземни отицај потиче од дела падавина који инфилтрира у површински слој терена, а онда, вертикалним понирањем доспева до нивоа подземне воде, да би кретањем подземне воде доспео до водотока слива.

Директни отицај је онај део укупног отицаја који доспе у водотоке слива брзо по престанку падавина, или топљења снега, а једнак је суми површинског отицаја, брзог потповршинског отицаја и падавина над самим водотоком слива.

Базни отицај сачињавају подземни и касни потповршински отицај. У сушним епизодама, у природним условима, отицај реком је у целини базни (мале воде).

Ефективне (нето) падавине дефинишу се као онај део укупних падавина над сливом који директно ствара површински отицај. Остатак падавина делом инфилтрира, делом испари, делом се задржава интерцепцијом и на крају испари, а делом се површински задржава у локалним депресијама слива одакле понире или испари.

Наведена разматрања довела су до шематског приказа распореда падавина над сливом и генезе процеса укупног отицаја (слика 3).



Слика 3 - Шематски приказ генезе укупног отицаја (Николић, Ј., 2004)

Figure 3 - Schematic illustration of the total runoff genesis

Билансирањем се дошло до констатације да на планинском делу сливног подручја Јабланице, узводно од Лебана, од воде излучене падавинама у просеку отекне 20.4 %, а испари 79.6 % (табела 1).

Табела 1 - Средња годишња сума падавина $P(mm)$ и средњи годишњи укупни отицај $h(mm)$ изабраних сливних подручја (1958-1988)

Table 1 - Average annual precipitation sum $P(mm)$ and average annual total runoff $h(mm)$ of the chosen basin areas (1958-1988)

РЕКА	ВОДОМЕРНА СТАНИЦА	СРЕДЊИ ГОДИШЊИ ПРОТИЦАЈ $Q(m^3 \cdot s^{-1})$	ПОВРШИНА СЛИВНОГ ПОДРУЧЈА $F(km^2)$	СРЕДЊА ГОД. СУМА ПАДАВИНА $P(mm)$	СРЕДЊИ ГОДИШЊИ ОТИЦАЈ $h(mm)$
Јабланица	Лебане	3. 83	713. 00	830. 95	169. 34
Пећка Бистрица	Пећ	6. 48	256. 40	1181. 20	797. 30

На посматраном делу слива Пећке Бистрице ситуација је сасвим друга-чија. Од укупно излучених падавина, у просеку отекне 67.5%, а испари 32.5%.

Имајући у виду да посматрана сливна подручја нису сачињена у потпуности од карста, односно водонепропусних творевина, може се очекивати да се вредности отицаја у природним условима крећу од око 70 % од падавина за карстне, до око 20 % за условно безводне терене, при релативно сличним климатским, морфолошким и другим условима терена.

4. ЗАКЉУЧАК

Анализом отицаја, као дела хидролошког циклуса, описује се веза између падавина и отицаја. Извори укупног отицаја су падавине које падну директно на водоток, сливање падавина површином терена у процесу површинског отицања истих у реке и дотицај воде у водотоке од дела понираних падавина који после више дана, месеци или година, доспе у реке кроз порозну средину.

Истраживања су потврдила полазну хипотезу да су фактори подлоге чиниоци који значајно утичу (модификују) укупни отицај воде, где примарни значај има утицај водопропустљивости терена.

Билансирањем, за расположиве низове, може да се констатује да са планинског дела Јабланице у просеку отекне 20.4 % воде која се излучи падавинама. За Пећку Бистрицу, истим методом, добија се отицај 67.5 %, који је око 3.3 пута већи у односу на посматрано сливно подручје Јабланице. Имајући у виду две крајности геолошких подлога изабраних сливова (водонепропустан, тј условно безводан терен, и веома водопропустан карст), уз компаративну анализу осталих фактора који утичу на отицај, разлика добијена због утицаја терена првенствено се може приписати утицају водопропустљивости подлоге. Може се закључити да између терена сачињеног у потпуности од карста и терена сачињеног у потпуности од водонепропусних стенских творевина постоји значајна разлика у вредностима укупног отицаја, која се највероватније креће у распону 20-70 % од воде излучене падавинама у вишегодишњем низу. Добијени распон је највероватнији интервал у коме се може наћи укупни отицај са било које категорије терена.

ЛИТЕРАТУРА

- Frenzen G., D. Heimann, M. Wamser (1987): Dokumentation des Regionalen Klimamodells (RKM) auf der Basis von FITNAH. DFVLR-Mitt. 87-07.
- Nikić Z., J. Nikolić (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, CD version of papers, National Committee of Serbia for the Int. Hydrological Programme of UNESCO, Belgrade, 8pp.

- Николић Ј. (2002): Испаравање воде у природним условима (геолошки, хидролошки и метеоролошки аспекти). Научна књига, прво издање, РХМЗ Србије, Београд, 380 стр.
- Николић Ј. (2004): Модел одређивања евапотранспирације у хетерогеним геолошким условима на примеру горњег слива Западне Мораве. РГФ, Београд, 359 стр. .
- Nikolić J., V. Ducić, S. Dragičević (2005): The analysis of precipitation conducted on the upper watershed of the Zapadna Morava river (Analiza padavina na primeru gornjeg dela sliva Zapadne Morave). Bulletin of the Serbian Geog. Society, tome LXXXV – N^o 1, Belgrade, 19-30.
- Nikolić J., S. Prohaska (2005): Determination of evapotranspiration in heterogeneous geological conditions on the case example of the Veliki Ržav river basin. Proceedings of the international conference and field seminars "Water Resources and Environmental Problems in Karst" organized by the National Committee of the International Association of Hydrogeologists (IAH) of Serbia and Montenegro, held in Belgrade and Kotor, September 13-22. Institute of Hydrogeology - Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 609-614.
- Nikolić J., V. Ducić, J. Smilagić (2006): Contribution to the Analysis of the Water Balance Factors on the Case Example of the Jablanica River Basin. XXIII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, CD version of papers, National Committee of Serbia for the International Hydrological Programme of UNESCO, Belgrade, 12pp.

THE INFLUENCE OF GEOLOGICAL TERRAIN ON RUNOFF

*Jugoslav Nikolić
Zoran Nikić
Vladan Ducić*

S u m m a r y

Runoff is the basic element of the water balance and phase of hydrological cycle influenced by numerous factors. The determination of the influence of certain factors on the runoff process can have strategic importance for planning and control of water resources. The research confirmed initial hypothesis that terrain factors have significant influence on the total water runoff. Geological terrain structure is the natural runoff modifier, where primary importance lies with the influence of waterpermeability of the terrain. By water balance method, for available observation periods, a conclusion is reached that from mountainous part of the Jablanica river, on average, runoffs 20.4% of water created by precipitation. For Pecka Bistrica river, by the application of the same method, runoff result is 67.5% in relation to precipitation, which is almost 3.3 time greater in relation to Jablanica basin area. Taking into consideration the two extremes of the geological terrains of selected basins (impermeable, that is to say conditionally waterless terrain, and very waterpermeable karst), with comparative analysis of other factors, the resulting difference obtained due to influence of the terrain can primarily be attributed to the influence of waterpermeability of the terrain.