

УТИЦАЈ ШУМСКЕ ВЕГЕТАЦИЈЕ НА ОТИЦАЊЕ ВОДА У СЛИВУ РЕКЕ СКРАПЕЖ

МИЛИЈАНА МАРИЋ¹
ВЕСНА НИКОЛИЋ ЈОКАНОВИЋ

Извод: У овом раду анализиран је утицај вегетације на отицање у сливу реке Скрапеж. На основу спроведених анализа, утврђено је да очуван, стабилан педолошки слој и шумски покривач имају велики утицај на отицање вода и генерално на водни режим у земљишту. За моделирање отицаја коришћен је континуелни HEC–HMS модел. Подаци коришћени за потребе моделирања осматрани су на хидролошкој и метеоролошкој станици Пожега. Падавине и отицај су праћени током 2 узастопне године, а начин коришћења земљишта и вегетације добијени су помоћу анализе одговарајућих карата у програмском пакету ArcGIS 10.3. Утицај вегетације на отицање представљен је хипотетички, под претпоставком да ће се станишни услови променити уколико се повећа шумовитост. Површинско отицање је могуће значајно смањити правилном применом конзервационих мера и перманентним радом на побољшању текстурних и структурних карактеристика земљишта. Инфилтрациона својства земљишта се веома повећавају његовим правилним коришћењем и обрадом. Добијени резултати показују да повећањем површине под шумским покривачем долази до смањења и директног и базног отицања.

Кључне речи: река Скрапеж, отицање, вегетација, континуелно моделирање, HEC–HMS модел

IMPACT OF FOREST VEGETATION ON THE WATER RUNOFF IN THE SKRAPEŽ RIVER BASIN

Abstract: This paper analyses the influence of vegetation on the runoff in the Skrapež River Basin. The conducted analyses determined that the well-preserved and stable soil layer and forest cover greatly affect the water runoff and the soil water regime in general. A continuous HEC–HMS model was used to model runoff. The data used for the modelling purposes were observed at the hydrological and meteorological station of Požega. Precipitation and runoff were monitored for two consecutive years, and the method of land and vegetation use was obtained by analyzing the appropriate maps in the ArcGIS 10.3 software package. The effect of vegetation on runoff is presented hypothetically, assuming that site conditions change with an increase in the forest cover of the basin. Surface runoff can be significantly reduced by the proper application of conservation measures and permanent work to improve the characteristics of soil texture and structure. The infiltration properties of soil are greatly increased by its proper use and cultivation. The obtained results show that an increasing area under forest cover decreases both direct and basic runoff.

Keywords: Skrapež River, runoff, vegetation, continuous modelling, HEC-HMS model

1. УВОД

Отицај представља отицање воде по површини земљишта. Атмосферске падавине које доспевају на површину земље која је огољена, директно ната-

¹ Милијана Марић, мајстор инжењер; др Весна Николић Јокановић, доцент, Универзитет у Београду, Шумарски факултет Београд

пају површински слој земљишта и геолошку подлогу. Један део воде понире у дубље хоризонте, а након што дође до натапања површинског хоризонта, почиње формирање површинског сливања. У случају када је земљиште обрасло и покривено вегетацијом, атмосферске падавине прво натапају лишће, гране и дебла дрвенастих биљака, а затим приземну флору. Након тога, део падавина који доспе до земљишта, натапа шумску простирку и шумско земљиште чиме вегетација игра значајну улогу у смањењу настанка површинског отицаја (Анђелковић, А. *et al.*, 2018). Колико ће вегетација својим надземним деловима смањити утицај кише на земљиште, зависи од типа вегетације и степена њене покровности, одређеног простора. Различити типови вегетације на различите начине прихватају кишне капи. Што је већи степен покровности вегетације, ниво површинског отицања је мањи. Кишним капима које се процеде кроз крошњу до тла, смањује се брзина и деструктивна моћ. Поред надземних делова, вегетација и својим подземним деловима учествује у стабилизацији земљишта, везивањем земљишних честица својим кореновим системом. Промене климе као и начин коришћења земљишта (неправилна обрада, неконтролисана сеча шума и др.) интензивирају процесе отицања воде. Сваки вид нарушавања структуре земљишта, смањује његове инфилтрационе способности. Због свега наведеног од великог значаја је анализа фактора који утичу на појаву отицаја и неопходан је плански приступ у даљим начинима коришћења земљишта. Побољшање инфилтрационих карактеристика земљишта постиже се, у највећој мери, пошумљавањем деградираних површина, чиме се спречава појава ерозије у будућности као и настанак поплаве од падавинских вода, чиме се уједно обезбеђује и продужено отицање, које је нарочито значајно за летње месеце (Летић, Љ. *et al.*, 2017). Како речни слив представља посебну геоморфолошку целину, која у себи садржи хидрографску мрежу, сачињену од главног тока и притока, као и падина које гравитирају према истом реципијенту, он представља територију са које се површинске воде сливају у природни водоток. Облик слива игра велику улогу у динамици формирања отицаја, нарочито када су у питању велике воде.

Циљ овог рада јесте приказ утицаја вегетације на отицање у сливу реке Скрапеж, за реалне услове који се налазе у сливу, као и за претпостављене услове, који би могли да настану услед измењеног начина коришћења земљишта. Измењени услови односе се на пренамену површина, приликом повећања површина под шумом у сливу Скрапежа.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

2.1. Подручје истраживања

Река Скрапеж простире се на територији две општине: Косјерић и Пожега, на простору Златиборског округа. Градско језгро општине Косјерић налази се директно у усеченој котлини реке Скрапеж, док општина Пожега

лежи на широј котлини Скрапежа, до места где се улива у Ђетињу. Заједно са Ђетињом припада сливу Западне Мораве. Ове две општине повезане су магистралним путем Ваљево - Ужице, као и пругом Београд - Бар. Према попису становништва из 2011. године, општина Косјерић има 3992 становника, а њена површина износи 358 km², док општина Пожега броји 13153 становника, са површином од 426 km². Границу слива са северне стране чине планине Маљен (1102 m н. в.) и Повлен (1347 m н. в.). Идући према западу, границу слива чини развође са Рогачицом, а даље према југозападу граница је планина Јелова гора (1011 m). На југу, границу представља планина Коса (651 m н. в.) и она одваја Скрапеж од Ђетиње. Развође према Каменици и другим притокама Западне Мораве у Овчарско-кабларској клисури чине његову границу на истоку (Ковачевић Мајкић, Ј., 2009).



Слика 1. Приказ слива реке Скрапеж на територији Србије
Figure 1 Skrapež River Basin on the territory of Serbia

2.2. Физичко-географске карактеристике

Река Скрапеж извире на јужним падинама планине Повлен, испод бигрене акумулације, познате под називом Таорска врела. Ова река гравитира од севера према југу. Слив ове реке састоји се од великог броја притока, од којих је се највећи број налази у горњем (северном) делу слива. Главне притоке, и са леве и са десне стране, имају своје мање притоке, што указује на густо развијену хидрографску мрежу, (слика 2).

2.3. Просторни распоред нагиба

Анализа просторног распореда нагиба за слив реке Скрапеж урађена је на основу дигиталног елевационог модела терена, преко програмског пакета ArcGIS 10.3.

Табела 2. Распоред нагиба

Table 2 The slope layout

Редни број / Sequence number	Нагиб / Sequence number (°)	Категорија / Sequence number	Површина / Sequence number (km ²)	Процентуална заступљеност / Sequence number (%)
1	0 - 5°	Равнице	109.04	16.84
2	5 - 30°	Умерени нагиб	523.43	80.83
3	> 30°	Стрме падине	15.19	2.35

Из табеле 2. уочава се да највећи проценат, више од 80%, површине слива налази под умереним нагибом терена. Иако стрме падине заузимају врло мали проценат од укупне површине слива, и на умереним нагибима долази до појава олакшаног површинског кретања земљишних честица, услед ерозионих процеса. Нагиб истраживаног слива је у програму ArcGIS 10.3 сврстан у три категорије, ради даљњих прорачуна.

2.4. Просторни распоред експозиција

Анализа просторног распореда експозиције за слив реке Скрапеж урађена је на основу дигиталног елевационог модела терена, преко програмског пакета ArcGIS 10.3.

Табела 3. Распоред експозиција

Table 3. The exposure layout

Редни број / Sequence number	Експозиција / Exposure	Површина / Area (km ²)	Процентуална заступљеност / Share (%)
1	север	85.27	13.62
2	североисток	40.59	6.48
3	исток	85.98	13.73
4	југоисток	86.12	13.75
5	југ	76.78	12.26
6	југозапад	87.53	13.98
7	запад	89.49	14.29
8	северозапад	74.42	11.88

На основу табеле 3. уочава се да је на сливу реке Скрапеж највећа заступљеност западне експозиције терена, са процентуалном од 14.29%, док је најмање заступљена североисточна експозиција са 6.48%.

2.5. Климатске карактеристике истраживаног подручја

Слив реке Скрапеж налази се на територији две општине: Косјерић и Пожега. Обе општине налазе се у условима умерено-континенталне климе, са одликама планинске климе у брдско-планинским подручјима. Умерено-континенталну климу одликују оштре зиме и постојан снежни покривач. Зимом су многи дани с мразом, пролеће је кратко, лето топло и влажно, а јесени хладне.

Просечне измерене месечне вредности падавина, у протеклих 30 година, за општину Косјерић износе 66,58 mm, највише падавине јављају се у мају месецу, а најниже у фебруару, док за општину Пожега износе 52,42 mm, највише падавине јављају се у мају месецу, а најниже у августу.

На територији обе општине, у сливном подручју реке Скрапеж, постоје метеоролошке станице: Метеоролошка станица Косјерић и Метеоролошка станица Пожега. За потребе овог рада коришћени су подаци о падавинама и температури, са Метеоролошке станице Пожега, за изабрани период од 2006. до 2007. године.

2.6. Начин коришћења земљишта



Слика 3. Начин коришћења земљишта у сливу реке Скрапеж

Figure 3 Land use in the Skrapež River Basin

Начин коришћења земљишта у сливу реке Скрапеж дефинисан је применом програмског пакета ArcGIS 10.3 преко карте CORINE Land Cover 2018 (слика 3). На основу приказане табеле види се да највећу површину у сливу заузимају лишћарске шуме са процентуалним учешћем од 37,7%, затим следе пољопривредне површине са процентом од 30,65% и култивисана земљишта са 20,69% заступљености у односу на укупну површину слива (табела 4).

Анализом карте о начину коришћења земљишта види се да су у самом врху слива, у изворишном делу, највише заступљене лишћарске шуме и прелазне шумске састојине. У овом делу слива нема насељених области, као ни развијене саобраћајне мреже, а обзиром на стрми нагиб терена, изостаје и активна пољопривредна делатност. У складу са свим поменутим, у изворишном делу слива не очекује се појава интензивног отицања воде услед падавина.

Идући ка средњем делу слива и даље се јавља доста лишћарских састојина, као и пољопривредних површина у близини главног тока. Из разлога све интензивније пољопривредне производње у овом делу слива може се очекивати појава отицаја и спирање земље са обрадивих површина, услед неправилне обраде (обраде низ нагиб). У средњем делу слива, на месту где се Сечица улива у Скрапеж, јавља се индустријска зона и ископ руда. У овом делу налази се и градско језгро општине Косјерић, где се јављају непропусне површине (асфалт, бетон) које немају могућност инфилтрације воде у току кишних епизода.

Табела 4. Начин коришћења земљишта у сливу реке Скрапеж
Table 4 The ways of land use in Skrapež river basin

Редни број / Sequence number	Начин коришћења / Land use	Површина / Area (km ²)	Процентуална заступљеност / Share (%)
1	Лишћарске шуме	240.06	37.07
2	Четинарске шуме	26.99	4.17
3	Мешовите шуме	6.73	1.04
4	Прелазне шумске састојине	13.88	2.14
5	Пашњаци	6.79	1.05
6	Природни травњаци	5.25	0.81
7	Пољопривредна земљишта	198.51	30.65
8	Пољопривредна земљишта без наводњавања	7.72	1.19
9	Култивисано земљиште	133.99	20.69
10	Насеља	5.35	0.83
11	Индустријска зона	1.50	0.23
12	Ископ руда	0.55	0.08
13	Путна и железничка мрежа	0.32	0.05

Идући ка северу, према општини Пожега, главни ток овог слива протиче кроз шуме и пољопривредна земљишта и завршава се у градском делу Пожеге, уливајући се у Ђетињу. До самог ушћа у Ђетињу, Скрапеж са собом може носити значајне количине наноса, нарочито након обилних падавина, које настају неправилном обрадом и неодговарајућим начином коришћења земљишта.

2.7. Хидролошко моделирање применом НЕС-HMS модела

Хидролошко моделирање представља делове хидролошког циклуса, који се користе у сврху хидролошких прогноза, за процену количине водних ресурса и за помоћ приликом пројектовања објеката за заштиту од наиласка великих вода (Ерић, Р., 2016).

НЕС-HMS (Hydrologic Modeling System) представља софтверски пакет који се користи за хидролошка моделирања, првенствено за моделирање отицаја на основу рачунских киша, али омогућава и континуалне хидролошке симулације. Састоји се из више компоненти, које су намењене моделирању ефективних падавина, директног и базног отицаја, као и за пропагације таласа у водотоцима (Тодоровић, А., Плавшић, Ј., 2014).

Принцип моделирања у НЕС-HMS-у захтева четири важне компоненте:

1. модел слива - физичка представа слива, подсливова, излаза и речних деоница. У моделу слива су дефинисани начини прорачуна компоненти падавине - отицај: модел губитака, модел трансформације ефективне кише у површински отицај и модел прорачуна базног отицаја;
2. метеоролошки модел - компонента прорачуна у којој се дефинишу метеоролошке карактеристике слива са улазним подацима о падавинама, мереној или потенцијалној евапотранспирацији и моделу снега, уколико се користи. Обавезно је унети временске серије падавина на постојећим метеоролошким станицама на сливу да би се могао покрећути прорачун, док су подаци о евапотранспирацији и снегу опциони;
3. временске серије - обухватају меродавне часовне падавине као и протичаје измерене на посматраним мерним станицама;
4. контролне спецификације - подразумевају одабир дужине симулације и прорачунског корака. Дужина симулације се бира тако да се добију што бољи и уверљивији резултати.

2.8. Континуелне хидролошке симулације у оквиру НЕС-HMS модела

Континуелне хидролошке симулације подразумевају моделирање хидролошких величина током више узастопних кишних епизода, као и у сушним периодима између њих. Да би се добила што боља вредност отицаја, потребно је да почетни услови у сливу буду што тачније одређени. У почетне услове за континуелни модел сврставају се прорачун евапотранспирације и топљење снега. Како би се извршио прорачун ових вредности, неопходно је, поред падавина, имати доступне податке о температурама, сунчевом зрачењу, брзини ветра и друго. Континуелни модели имају значајну улогу за хидролошке прогнозе, за анализу рада водопривредних система, као и

за анализу утицаја климатских промена на водне ресурсе (Тодоровић, А., Плавшић, Ј., 2014).



Слика 4. Формирање слива у оквиру HEC-HMS модела

Figure 4 HEC-HMS modelling of the Basin

У оквиру овог рада, применом HEC-HMS софтвера, моделиран је слив реке Скрапеж и на основу расположивих података о регистрованим падавинама, извршена је калибрација и верификација модела отицаја.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

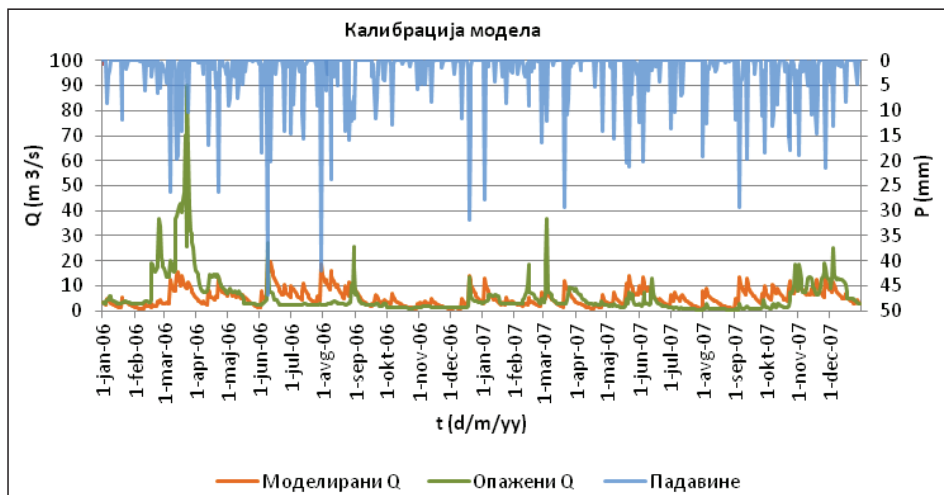
3.1. Калибрација модела на сливу реке Скрапеж

У табели 3. приказани су осмотрени подаци калибрације падавина и отицаја за две узастопне године, 2006. и 2007. годину.

Табела 5. Усвојени параметри и показатељи квалитета модела

Table 5 Adopted model parameters and quality indicators

Параметри модела / Model parameters			Показатељи квалитета модела / Model quality indicators
Усвојени параметри	Прорачунате вредности	Калибрисане вредности	NS = 0.124 r = 0.36 r ² = 0.13 RMSE = 6.23
	Max Surface Storage = 16.28 mm Max Canopy Storage = 1.64 mm Max Deficit (d) = 75.87 mm Constant Rate = 14.91 mm/h Lag Time = 4.37 (HR)	Initial Surface Storage = 25% Initial Canopy Storage = 95% Initial Loss = 5% Recession = 0.9 Ratio = 0.74	



Слика 5. Приказ осмотреног и моделираног отицаја приликом калибрације
Figure 5 Representation of the observed and modelled runoff during the calibration

На основу слике 5. уочава се да је проток за обе посматране године потцењен у зимским месецима, док је проток у току летњих месеци прецењен у односу на осматране податке. Пикови осмотреног и симулираног хидрограма налазе се у приближно једнакој тачки у априлу и мају за обе посматране године. Показатељ квалитета – NS износи 0.124 што значи да је модел делимично прихватљив, јер вредност NS није негативна. Коефицијент корелације износи 0.36, што значи да је интерпретација слаба, док RMSE износи 6.23 за моделиране вредности. Недовољно добар квалитет модела и немогућност поклапања хидрограма, јавља се услед тога што модел не обухвата компоненту снега. Притоке главног тока у сливу реке Скрапеж се налазе претежно у брдско-планинском подручју, где се у рано пролеће јавља интензивно топљење снега. Отапање снега доводи до појаве високих количина отицаја у марту месецу, а услед мале количине падавина.

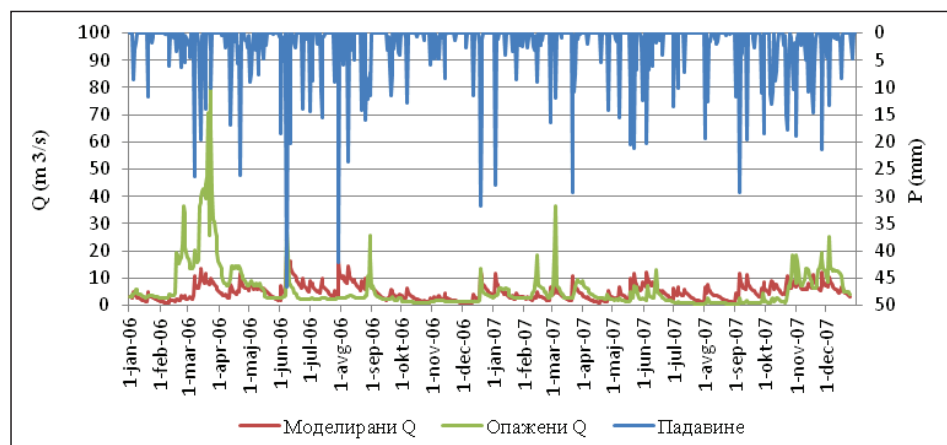
3.2. Повећање површина под шумом у сливу

У табели 6 приказани су осмотрени и моделирани подаци отицаја за две узастопне године које су коришћене приликом калибрације модела (2006. и 2007. године). Коришћени параметри модела (калибрисане вредности) су исте као и у току калибрације модела.

Резултати модела приказују да би за наведене претпоставке дошло до смањења директног и базног отицаја у односу на опажене вредности, као и у односу на вредности добијене калибрацијом модела, што је представљено хидрограмом отицаја (слика 6) за стварне услове на сливу и за услове приликом пренамене површина.

Табела 6. Вредности опаženих и моделираних отицаја услед повећања пошумљених површина
Table 6 Values of the observed and modelled runoff with the forest cover increase in the basin

Резултати модела / Model results	
Опажене вредности отицаја	Моделиране вредности отицаја
$Q_{o, direct} = 79402.8 \text{ m}^3$ $Q_{o, baseflow} = 278461.7 \text{ m}^3$	$Q_{s, direct} = 67015.5 \text{ m}^3$ $Q_{s, baseflow} = 235492.2 \text{ m}^3$



Слика 6. Приказ моделираног и опаженог отицаја при повећању процента пошумљених површина

Figure 6 Representation of the observed and modelled runoff with the forest cover increase

Вредности моделираног отицаја приказаног у табели и на хидрограму, добијени су повећањем удела површина под шумом у сливу реке Скрапез, у односу на стварне услове. Анализом карте о начину коришћења земљишта:

1. површин под лишћарским шумама повећане су за 16.07%, и за исти тај проценат смањен је проценат пољопривредних земљишта;
2. површин под четинарским шумама повећане су за 0.49%, и за исти тај проценат смањен је проценат површина под пашњацима;
3. површин под мешовитим шумама повећане су за 0.58%, и за исти тај проценат смањен је проценат површина под пашњацима;

Директни моделирани отицај ($Q_{s, direct}$) смањио би се за 15.60% у односу на опажени директни отицај ($Q_{o, direct}$), док би се вредност базног моделираног отицаја ($Q_{s, baseflow}$) смањила за 15.43 % у односу на опажени базни отицај ($Q_{o, baseflow}$).

Промене на хидрограму уочавају се у летњим, али и у зимским месецима, за обе посматране године. У току летњих периода јавља се већа количина падавина, која у стварним условима на сливу не доводи до појаве екстремних вредности отицаја, услед добре пропустљивости земљишта. Након повећања површина под шумом, долази до додатног повећања инфилтрационе способности земљишта. Пре свега, запремина отицаја смањује се услед боље покривености земљишта надземним деловима вегетације, који повећавају капацитет задржавања кишних капи у својим крошњама. Пошумљавањем у сливу реке Скрапеж смањује се и ниво деградације, присутан услед обраде земљишта за пољопривредну производњу. Коренов систем дрвенастих врста учвршћује честице земљишта и спречава да се, и услед појаве одређене количине отицања воде по тлу, јави откидање површинског дела земљишта и настану ерозивни процеси.

4. ДИСКУСИЈА

Начин коришћења земљишта у зависности од педолошког слоја и нагиба терена има пресудну улогу у запремини отекле воде, те је на основу тога утврђено да у случају да су ливаде и пашњаци присутни процентуално као шума у сливу, отицај на посматраној површини би се повећао за чак 2.83 пута, док је у случају обрадивих површина, та разлика доста мања и износи 1.89 пута (Летић, Љ. *et al.*, 2017). У овом раду, добијено је да би услед пренамене површина у сливу реке Скрапеж директни отицај био смањен за 15.60 %, а базни за 15.43 %, када би се површина под лишћарским шумама повећала за 16.07 % на рачун пољопривредних површина, површина под четинарским шумама повећала за 0.49 % и под мешовитим шумама за 0.58 % на местима где се у реалним условима налазе пашњаци. Исти аутори наводе да је климатогена шума сладуна и цера на истраживаном сливу реке Крчевике биоиндикатор присутних типова станишта, као и да девастирање ових шумских екосистема погоршава хидролошку улогу овог вегетацијског покривача. Анђелковић, А. *et al.* (2018) наводе да је способност вегетације и шумског земљишта за задржавање већих количина воде последица повољног водно-ваздушног режима земљишта. Оштећењем шумске стеље нарушава се инфилтрациона способност шумског земљишта и када се уништи шумска стеља и педолошки слој шумском земљишта, на стрмим теренима долази до даље деградације, а често се активирају и разни облици ерозионих процеса са појавом елемената крашке ерозије – вртаче, пећински облици и понорнице (Spalević, V. *et al.*, 2014; Ђековић, В. *et al.*, 2015). Летић, Љ. *et al.* (2014) установили су, на подручју Фрушке горе, да је хидролошка улога шумског покривача везана за обезбеђење максималне инфилтрације атмосферских вода, а то се дешава захваљујући преовлађујућем типу шуме букве и храста китњака на киселим смеђим земљиштима. Поред тога што човек спровођењем шумскоузгојних и газдинских мера може значајно повећати прираст и продуктивност шума, сведоци смо да, са друге стране, антропоге-

ни фактор често може модификовати природни режим површинских и подземних вода, што доводи до деградације и девастирања шумских станишта и стварања забарених, мочварних површина у којима преовлађују редукциони процеси (Ле тић, Љ. *et al.*, 2016). Резултати добијени у овом раду потврђују да се инфилтрационе способности земљишта повећавају његовом правилном обрадом и коришћењем, при чему главну улогу има вегетациони покривач. Из овога произилази да компактнији шумски покривач са дебелим слојем стеље у значајној мери смањује површинско отицање. У горњем делу слива реке Скрапеж највише је заступљена пољопривредна производња, која се углавном односи на обраду низ нагиб, која значајно утиче на формирање површинског отицаја. Из овог разлога, највећи акценат пренамене површина у оквиру овог рада, стављен је управо на ове површине, при чему је утврђено да би приликом њиховог пошумљавања дошло до значајног побољшања инфилтрационих капацитета земљишта. Крајњи резултат пошумљавања довео би до смањења ризика од формирања поплавног таласа у доњим деловима слива, у коме се налазе насељена подручја.

Ерић, Р. (2016) је на примеру Луковске реке обрадила однос падавине – отицај, у оквиру HEC-HMS пакета, приликом чега је користила модел епизода. Епизоде представљају догађаје на сливу који кратко трају у односу на континуалне симулације. Ово је кратак временски период, па се у оквиру модела епизода не сврстава евапотранспирација, тако да је због тога овај тип модела ускраћен за овај и још неке параметре који могу додатно описати стање на сливу. Приликом калибрације овог модела примећено је да мала промена параметара даје велике разлике у резултатима симулације од епизоде до епизоде. Да би се у HEC-HMS пакету могао што боље приказати утицај вегетације на отицање, у оквиру овог рада коришћен је континуелни модел, како би се у обзир узела потенцијална и стварна евапотранспирација. Како би се извршио прорачун у оквиру континуелног модела, неопходно је, поред падавина, имати доступне податке о температурама и сунчевом зрачењу, који су узети у обзир за слив реке Скрапеж и који доприносе бољем приказу хидрограма отицаја за стварне услове на сливу.

5. ЗАКЉУЧЦИ

Отицање воде по површини земљишта може се смањити правилном применом конзервационих мера, радећи на побољшању текстурних и структурних карактеристика земљишта. Инфилтрационе способности земљишта повећавају се његовом правилном обрадом и коришћењем, при чему највећи утицај има вегетациони покривач. Применом континуелног HEC-HMS модела, уз прорачун вредности и калибрацијом модела, за стварно стање на сливу реке Скрапеж добијене су различите вредности директног и базног отицаја. Запремина директног отицаја износи $V_{o, direct} = 79402.8 \text{ m}^3$, а запремина базног отицаја износи $V_{o, baseflow} = 278461.7 \text{ m}^3$.

Приликом повећања површина под шумском вегетацијом, запремина директног отицаја износи $V_o, direct = 67015.5 \text{ m}^3$, а запремина базног отицаја износи $V_o, baseflow = 235492.2 \text{ m}^3$. Овај резултат указује на смањење директног отицаја, са 122.60 mm у реалним условима, на 103.47 mm, и смањење базног отицаја са 429.96 mm на 363.61 mm за претпостављени услов на сливу. Процентуално, директни отицај се услед повећања површине под шумом, смањује за 6.75%, а базни се смањује за 5.58%.

Пошто се у саставу слива реке Скрапеж налази више мањих бујичних сливова, модел епизода би можда имао боље перформансе. Наиме, сваку бујичну поплаву изазивају епизоде јаких киша, па у том смислу би у оваквим случајевима требало дати предност моделу епизода у односу на континуални модел. На основу ових резултата у будућности би требало испитати утицај структуре модела на репродукцију протицаја, тј. да ли једноставнија структура модела даје боље перформансе.

ЛИТЕРАТУРА

- Анђелковић, А., Ђековић, В., Николић, В., Вукин, М. (2018): Утицај вегетације на квалитет површинских вода у сливу реке Пек. Шумарство бр. 1-2 Удружење шумарских инжењера и техничара Србије; Универзитет у Београду Шумарски факултет. Београд. (стр. 111-128)
- Вујадиновић Мандић М. (2015): Моделирање хидролошког циклуса у интегрисаном геофизичком систему. Докторска дисертација у рукопису; Универзитет у Београду Физички факултет. Београд. (стр. 1-66)
- Ђурђевић, В., Вуковић, А., Вујадиновић Мандић, М. (2018): Осмотрене промене климе у Србији и пројекције будуће климе на основу различитих сценарија будућих емисија. Министарство заштите животне средине. Београд. (стр. 1-20)
- Ђековић, В., Анђелковић, А., Спалевић, В., Баровић, Г. (2015): Анализа поплава реке Колубаре у Ваљеву током 2014. године. Шумарство бр. 3. Удружење шумарских инжењера и техничара Србије; Универзитет у Београду Шумарски факултет. Београд. (стр. 57-74)
- Ерић, Р. (2016): Моделирање великих вода на сливу Луковске реке применом пакета HEC-HMS. Мастер рад у рукопису. Универзитет у Београду Грађевински факултет. Београд. (стр. 5-60)
- Jianbo, L., Guangyao, G., Shuai, W., Lei, J. (2018): The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. Research Center for Eco-Environmental Sciences. China. (pp. 59-78)
- Ковачевић-Мајкић, Ј., (2009): Хидрогеографска студија реке Скрапеж. Географски институт „Јован Цвијић». Београд. (стр. 9-131)
- Kundzewicz, Z., Radziejewski, M., Pińskwar, I. (2006): Precipitation extremes in the changing climate of Europe. Research Centre for Agricultural and Forest Environment. Poland. (pp. 51-58)
- Летић, Љ., Никић, З., Савић, Р., Николић, В. (2014): Утицај вегетационог покривача на ретенцију и отицање воде на подручју Фрушке Горе. Шумарство бр. 1-2 Удружење шумарских инжењера и техничара Србије; Универзитет у Београду Шумарски факултет. Београд. (стр. 97-111)
- Летић, Љ., Николић, В., Лозјанин, Р., Анђелковић, А. (2017): Утицај вегетације на отицање воде у сливу реке Крчевце. Шумарство бр. 3-4 Удружење шумарских инжењера и техничара Србије; Универзитет у Београду Шумарски факултет. Београд. (стр. 141-152)

- Летић, Љ., Савић, Р., Николић, В., Матијевић, М. (2016): Утицај промена режима влажења на еколошку целину „Градска шума” ГЈ „Доње Потамишје”. Шумарство бр. 3-4 Удружење шумарских инжењера и техничара Србије; Универзитет у Београду Шумарски факултет. Београд. (стр. 47-57)
- Лујић, Р., (1973): Шумске мелиорације. Универзитет у Београду Шумарски факултет. Београд. (стр. 1-415)
- Spalević, V., Ćurović, M., Anđelković, A., Đeković, V., Ilić, S. (2014): Calculation of soil erosion intensity in the Nedakusi watershed of the Polimlje region, Montenegro. Proceedings. 14-17 December. Skoplje, Makedonija (pp. 723-729).
- Тодоровић, А., Плавшић, Ј. (2014): Могућност примене модела HEC-HMS за континуалне хидролошке симулације. Универзитет у Београду Грађевински факултет. Београд. (стр. 117-128)
- Ункашевић, М. (2004): Шумарска еоклиматологија. Универзитет у Београду Шумарски факултет. Београд. (стр. 1-231)

IMPACT OF FOREST VEGETATION ON THE WATER RUNOFF IN THE SKRAPEŽ RIVER BASIN

*Milijana Marić
Vesna Nikolić*

Summary

This paper presents how vegetation affects direct and baseflow runoff. It shows how different land use can improve soil stability or how some other land use methods can indicate soil degradation, especially when we talk about the surface soil layer. We studied the Skrapež River Basin located in western Serbia. The method of land and vegetation use was obtained by analysing the appropriate maps in the ArcGIS 10.3 software package. The runoff modelling was conducted by implementing the continuous HEC-HMS model. Both precipitation (p) and runoff (Q) data values used for the modelling purposes were observed at the hydrological and meteorological station of Požega for two consecutive years (2006 and 2007). The runoff hydrogram was obtained through calculation and calibration of the model for the actual conditions of the basin. The shown vegetation influence on the runoff is based on the assumed conditions which could ensue under certain, modified circumstances in the basin. The study shows that by increasing the forest cover area under identical model parameters, different simulations and quality parameters of the model are achieved. The results for the modified volume of direct and baseflow runoff are gathered according to assumed conditions of the Skrapež River Basin. The paper shows that agricultural land afforestation of 16.07% with deciduous tree species and 0.49 % with coniferous tree species, as well as afforestation of pastures with mixed forests amounting to 0.58 % could reduce the direct runoff (Qs, direct) by 15.60 % and baseflow runoff (Qs, baseflow) by 15.43 %. In this study, we used the continuous HEC-HMS model because of the possibility to use evapotranspiration data for different types of vegetation in the Skrapež River Basin. The model performance was evaluated based on the computed statistical parameters and visual checking of plotted hydrographs. For the calibration period of the continuous modelling, the performance of the model was partially acceptable with a Nash-Sutcliffe Efficiency $NS = 0.124$, with a Correlation Coefficient $r = 0.36$, and a Root Mean Squared Error $RMSE = 6.23$. Regarding future research, we recommend the use of the HEC-HMS model by episodes because it would be possible to obtain results with better visual and statistical parameters. In the past few years, there were several consecutive rainy days that caused some damage, especially to agricultural land. Therefore, we find it necessary to educate the local population about all the benefits of proper land use in order to reduce the potential future damage from floods and soil erosion.