

ДРАГОЉУБ ШТРБАЦ,
ЈЕЛЕНА КОВАЧЕВИЋ-МАЈКИЋ,
ДРАГАНА МИЉАНОВИЋ

UDC: 551.5

ОДРЕЂИВАЊЕ ГОДИШЊЕ КОЛИЧИНЕ ПАДАВИНА ПРИМЕНОМ ГИС-А

Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, 11000 Београд, Србија

Абстракт: Примена растерског ГИС-а за добијање података о количини падавина је метод који је показао добре резултате у сливу реке Скрапеж (притока Западне Мораве, Западна Србија). Циљ овог рада је тестирање модела на другим просторима и оцена његове поузданости и применљивости.

Као тест-подручја су одабрани простор у непосредној близини и са сличним карактеристикама (слив реке Голијске Моравице) и простор на већој удаљености и са нешто измењеним условима формирања падавина (територија града Јагодине).

Коришћење ГИС окружења омогућило је примену методе просторне интерполације која користи функционалну повезаност између надморске висине и количине падавина.

Добри резултати добијени применом предложене методе на тест-подручјима говоре о њеној применљивости на просторе сличних карактеристика.

Кључне речи: падавине, растерски ГИС, моделовање

Abstract: Application of raster-based GIS packages for calculation of precipitation values is a method which showed good results in the Srkapež River basin (tributary of the Zapadna Morava River, Western Serbia). The aim of this paper was testing of the mentioned model on other areas and determination of its reliability and applicability. Research was done in the river basin situated close to the already tested river basin, where conditions for precipitation forming are similar (Golijska Moravica River, tributary of the Zapadna Morava River, Western Serbia), as well as in the area at larger distance, where conditions for precipitation forming are somewhat different (Jagodina municipality, Central Serbia). GIS workspace enables spatial interpolation of precipitation which includes elevation (digital elevation model - DEM). Good results on test-areas obtained by the mentioned method indicate its applicability on the areas with similar characteristics.

Key words: precipitation, raster-based GIS, modeling

УВОД

Одређивање годишње количине падавина најчешће се ради за неки простор од интереса (слив, држава, општина), при чему метод одређивања годишње количине падавина даје најбоље резултате у природним целина, тачније сливовима.

Проблеми који се јављају приликом одређивања количине падавина су последица релативно слабог познавања механизма формирања падавина, као и чињенице да интерполационе методе за одређивање падавина нису стандардизоване. Тако се као интерполационе методе користе *TIN*, *IDW*, *Kriging*, *Topogrid*, *RST* и сличне. Још једна потешкоћа приликом одређивања годишње количине падавина је недостатак података, који подразумева мали број кишомерних станица. Од изабраних простора слив Скрапежа има осам кишомерних станица, слив Голијске Моравице 10 кишомерних станица, а град Јагодина девет кишомерних станица. Неконтинуирано мерење количине падавина услед укидања кишомерних станица или промене њиховог положаја, имало је за последицу попуњавање недостајућих података. Такође је било потребно кориговати податке о координатама и надморским висинама кишомерних станица, јер нису довољно тачно дате.

Подаци су прикупљени у *CAD* окружењу, док је њихова обрада и просторна анализа урађена у растерском географском информационом систему (ГИС-у). Нумеричка обрада података рађена је у *Microsoft Office – Excel*.

Предложени метод израчунавања годишње количине падавина прво је коришћен за слив реке Скрапеж, притоке Западне Мораве у Србији (Ковачевић-Мајкић, Штрбац, 2008). Метод је затим тестиран на територији града Јагодине (Милошевић, 2009) и на сливу реке Голијске Моравице. Слив Голијске Моравице се налази у близини слива реке Скрапеж, те постоји одређен степен сличности ова два простора. Простор града Јагодине се налази на већој удаљености, има мање сличне карактеристике и његова граница није дефинисана природним карактеристикама као код поменута два слива, већ је то административна граница. При томе су и површине проучаваних простора различите.

Добра карактеристика растерског ГИС-а јесте што омогућава да се вредности годишњих падавина израчунају за елементарну површину (пиксел) изабране величине, а затим збрајањем тих вредности добије укупна количина падавина за цео слив или неки његов део.

МЕТОДОЛОГИЈА

Просторни распоред падавина добијен је просторном интерполацијом података о падавинама измереним на кишомерним станицама које се налазе у сливу, узимајући у обзир осим њиховог просторног распореда и њихове висинске карактеристике.

У првом кораку било је потребно урадити анализу познате везе између надморске висине и количине падавина. Као мера повезаности узета је вредност линеарне корелације при чему је надморска висина независна променљива, а падавине зависна променљива (слика 1). Вредност линеарне корелације је израчуната по формули:

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

при чему је

x - надморска висина

y - годишња количина падавина

Добијене високе вредности линеарне корелације указују на могућност коришћења линеарне регресије као одговарајућег модела за представљање ове зависности:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x$$

Коефицијенти линеарне регресије израчунати су по формулама:

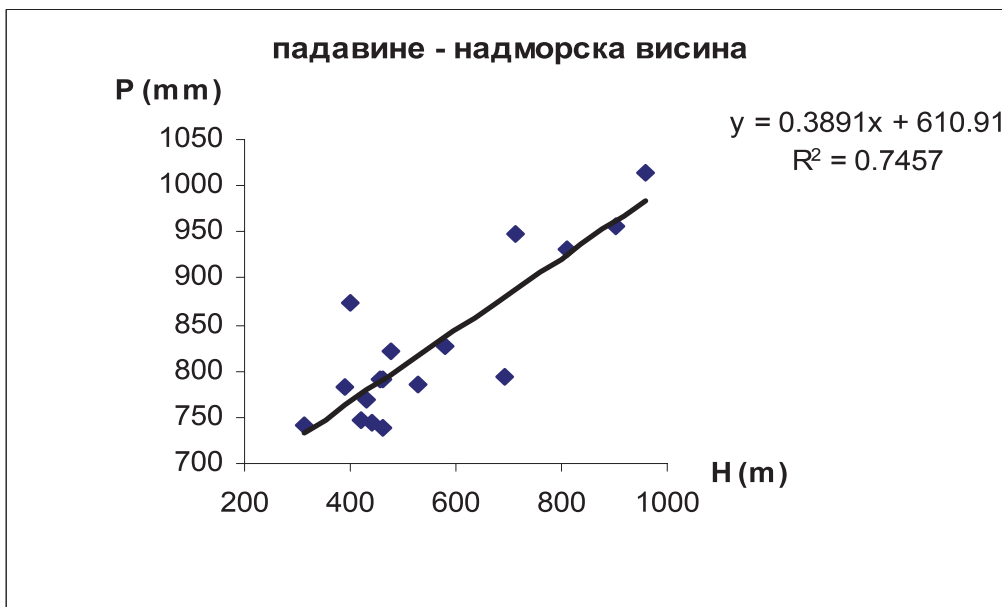
$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

$$b_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Поступак интерполације састојао се у множењу вредности сваког пиксела дигиталног модела висина коефицијентом b_1 и додавању вредности коефицијента b_0 . Тако су добијене вредности падавина за сваки пиксел у сливу. Примењени модел је практично линеарна трансформација података о висини простора за који се ради интерполација, односно простора за који се израчунава годишња количина падавина.

Примењени линеарни модел је пренео у податке о падавинама и високе фреквенције које су карактеристичне за рељеф, а које нису својствене падавинама. Издвајање високих фреквенција из просторних података о падавинама урађено је применом просторног ниско пропусног филтера (*low-pass filter*). Конструисан је филтер величине 2900x2900 m. Филтер дате величине је одабран због велике вероватноће да је просторни распоред падавина сличан на

површини тих димензија. Као резултат филтрирања просторних података о падавинама добијен је просторни распоред падавина без високих фреквенција. Овако добијен просторни распоред



падавина јесте у функцији висине, али та веза није линеарна (Ковачевић-Мајкић, Штрбац, 2008) и приказана је на слици 2.

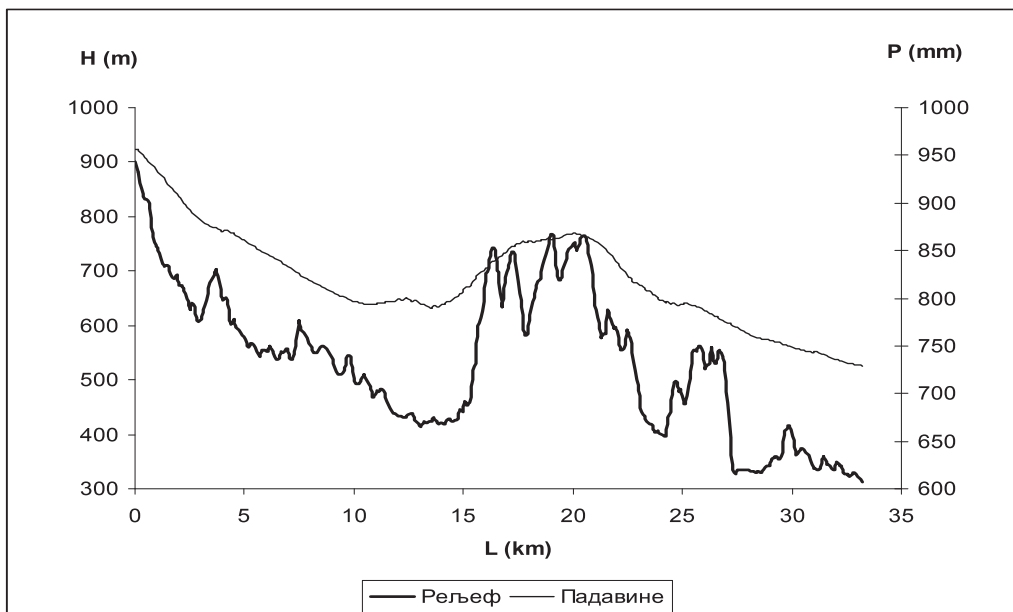
Слика 1. Линеарна зависност падавина и надморске висине

Слика 2. Профили рељефа и падавина

Тестирање модела је урађено поређењем мерених и моделских вредности падавина и то у два наварта. Прво тестирање је урађено упоређивањем мерених и моделских вредности када се у моделу налазе све станице, а друго када се из модела искључује једна по једна станица.

ПОДАЦИ

Истраживано подручје обухвата сливове река Скрапеж и Голијске Моравице, као и територије града Јагодине. Слив Скрапежа се простире између $43^{\circ}49'08''$ и $44^{\circ}08'29''$ N и



19°43'02'' и 20°06'58'' Е, има површину од 647.6 km², а средњу надморску висину од 600.7 m (Ковачевић-Мајкић, 2009). Слив Голијске Моравице се простире између 43°19' и 43°51' N и 19°45' и 20°22' E, има површину од 1518 km², а средњу надморску висину од 960 m (Урошев, 2007). Град Јагодина се простире између 43°50'21'' и 44°07'26'' N и 21°03'14'' и 21°22'29'' E, има површину од 470 km², а средњу надморску висину од 229.5 m (Милошевић, 2010).

Положај и границе тест-подручја су дати на слици 3, а подаци о њиховој величини и средњој надморској висини су приказани у табели 1.



Слика 3. Положај и границе тест - подручја
1 – Слив Голијске Моравице, 2 – Слив Скрапежа, 3 – Град Јагодина

Табела 1. Карактеристике тест - подручја

| Назив тест подручја | Површина (km ²) | Средња надморска висина (m) |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Слив Скрапежа | 647.6 | 600.7 |
| Слив Голијске Моравице | 1518 | 960 |
| Град Јагодина | 470 | 229 |

За добијање података о годишњим падавинама коришћени су и подаци о измереним падавинама (подаци Републичког хидрометеоролошког завода, РХМЗ) за периоде 1961-2000 и 1961-1990. Недостајући подаци у низовима су попуњавани методом редукције, а провера података о положају кишомernih станица и корекција података о њиховом положају је урађена

за слив реке Скрапеж (Ковачевић-Мајкић, Штрбац, 2008), док су подаци за слив реке Голијске Моравице и град Јагодину преузети од РХМЗ-а (Метеорлошки годишњази, 1960-1990).

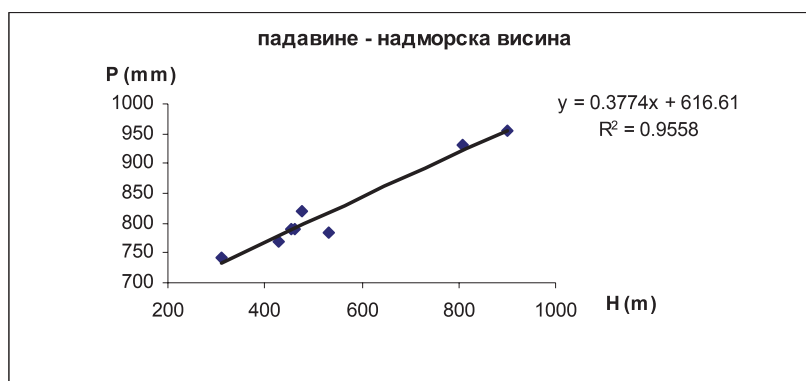
Дигитални модел висина (ДМВ) за тест-подручја добијен је интерполацијом података о изохипсама, а затим су подаци конвертовани у растерски облик. Подаци о изохипсама су добијени дигитализацијом изохипси са топографских карата 1:25000 (ВГИ, 1970-1972). За интерполацију добијених података коришћена је *TIN* метода. С обзиром на величину слива и потребе истраживања изабрана је величина пиксела 100x100 m. (Ковачевић-Мајкић, Штрбац, 2008). Иста величина пиксела је изабрана и за слив реке Голијске Моравице и територију града Јагодине. Дигитализација изохипси је урађена у програму *Micro Station*. Добијени подаци о изохипсама унети су у ГИС окружење *IDRISI* у којем је урађена контрола дигитализованих података, интерполација и конверзија у растерски облик. Квалитет креираног дигиталног модела висина проверен је методом коју су дали Бајат и Штрбац (2003) и одговара намени.

РЕЗУЛТАТИ

У циљу добијања вредности падавина за проучаване територије утврђена је корелација између количине падавина и надморске висине. Израчунате вредности коефицијената линеарне корелације (r) између надморске висине кишомерних станица (независна променљива) и количине падавина измерених на њима (зависна променљива) дате су у табели 2. Добијене вредности коефицијената корелације оправдавају примену линеарне регресије као методе просторне интерполације. Вредности b_0 и b_1 примењене линеарне регресије дате су такође у табели 2 за свако тест-подручје посебно. Линеарна регресија за слив реке Скрапеж приказана је на слици 4.

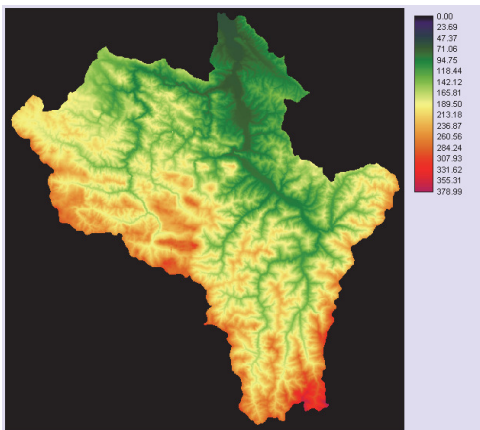
Табела 2. Коефицијенти корелације и параметри линеарне регресије

| Истраживани простор | r | b_1 | b_0 | R^2 |
|---------------------|------|-------|--------|--------|
| Скрапеж | 0.98 | 0.387 | 616.61 | 0.9558 |
| Голијска Моравица | 0.74 | 0.188 | 789.10 | 0.5424 |
| Град Јагодина | 0.86 | 0.752 | 533.83 | 0.8629 |

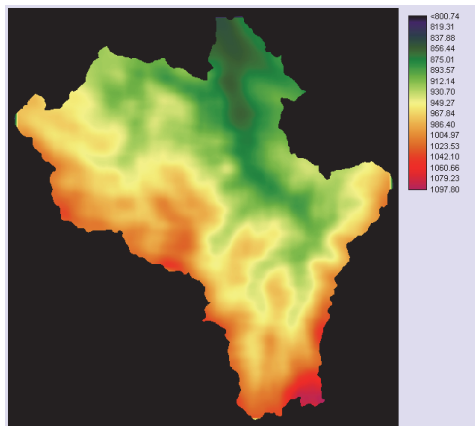


Слика 4. Линеарна регресија падавина и надморске висине за слив реке Скрапеж

Применом линеарног модела са параметрима b_0 и b_1 израчунатим из линеарне регресије и података ДМВ-а коришћењем функција програма *IDRISI*, сваки пиксел је добио и вредности падавина. На тај начин су добијене вредности падавина које узимају у обзир и надморску висину, тј. линеарна су трансформација ДМВ-а (слика 5). Применом поменутог просторног нископропусног филтера, добијене су падавине без високих фреквенција које су приказане на слици 6.



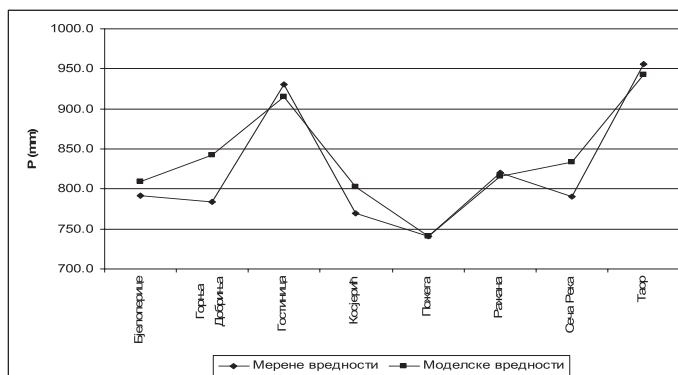
Слика 5. Падавине добијене трансформацијом ДМВ-а пре филтрирања



Слика 6. Падавине добијене трансформацијом ДМВ-а после филтрирања

Линеарна регресија урађена је за сва тест-подручја са свим релевантним кишомерним станицама, а затим је у циљу провере модела урађена и у случајевима када се искључују једна по једна станица.

Прва провера примењеног модела урађена је упоређивањем мерених података и података добијених из модела у случају када су у модел укључене све станице. Резултати мерених и моделских вредности падавина за слив Скрапежа су приказани на слици 7.



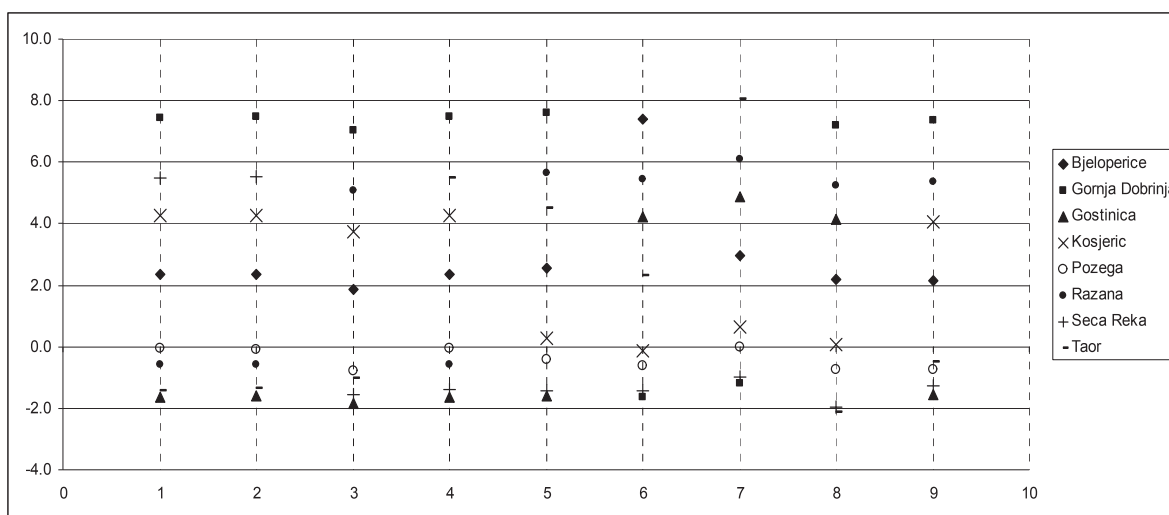
Слика 7. Мерене и моделске падавине у сливу Скрапежа

У табели 3. приказани су резултати који се односе на укупан слив реке Голијске Моравице. Модел је урађен на основу свих станица изузев станице Осоница, која има надморску висину 680 m, а прима 1014 mm падавина. То се може објаснити њеним положајем у клисурастом делу слива. Као таква је искључена из прорачуна на нивоу целог слива.

Табела 3. Мерене и моделске падавине у сливу Голијске Моравице

| Ред. број | Станица | Мерене | Моделске |
|-----------|-----------|--------|----------|
| 1 | Ариље | 835.2 | 859 |
| 2 | Ивањица | 852.0 | 896 |
| 3 | Крушчица | 924.0 | 937 |
| 4 | Сирогојно | 930.0 | 956 |
| 5 | Скржути | 978.0 | 922 |
| 6 | Љубиш | 997.2 | 977 |
| 7 | Катићи | 957.6 | 969 |
| 8 | Кушићи | 963.6 | 972 |
| 9 | Косовица | 906.0 | 942 |
| | Осоница | 1014.0 | 933 |

Друга провера модела је урађена упоређивањем мерених података и података добијених из модела уз искључивање једне по једне станице. Процентуалне разлике између мерених и моделских падавина у сливу Скрапежа су приказане на слици 8. Када модел укључује све станице разлике између мерених и моделских падавина се крећу између -1.6% и 7.5%. Када се искључује једна по једна станица разлике се крећу од -2.11% до 8.03%, при чему је максимални износ разлике у апсолутним мерама 63 mm на годишњем нивоу.



Слика 8. Процентуалне разлике између мерених и моделских падавина у сливу Скрапежа

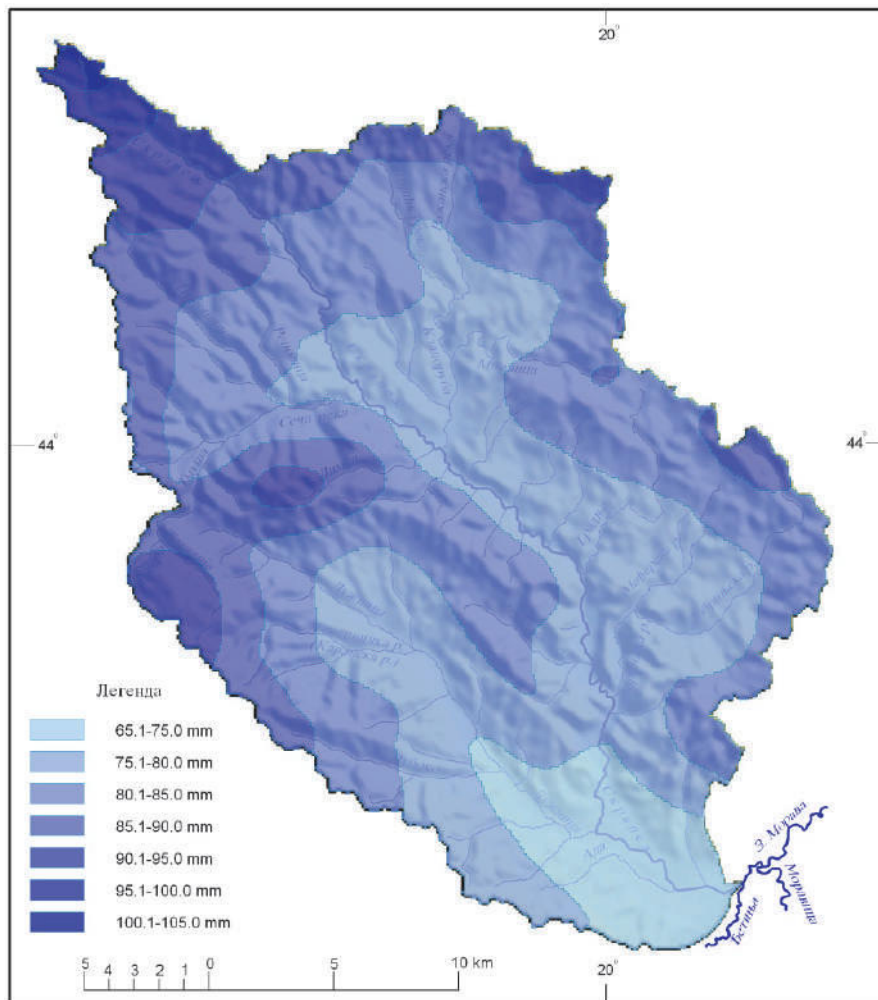
У табели 4. су приказане процентуалне разлике између мерених и моделских падавина у сливу Голијске Моравице. Када модел укључује све станице разлике између мерених и моделских падавина се крећу између -5.2% и 5.7%. Када се искључује једна по једна станица разлике се крећу од -6.5% до 6.6%. Највеће разлике су добијене код кишомерне станице Осоница и крећу се између 7.5% и 8.9%, при чему је максимални износ разлике у апсолутним мерама 90 mm на годишњем нивоу.

Побољшање резултата тарирањем модела, тачније смањење разлике између мерених и моделских падавина на још мању меру је урађено за слив Скрапежа и уколико модел укључује све станице разлике између мерених и моделских падавина се крећу између -3.2% и 5.6% (Ковачевић-Мајкић, Штрбац, 2008).

Табела 4. Процентуалне разлике између мерених и моделских падавина у сливу Голијске Моравице

| Ред. број | Станица | Све станице | Изостављене станице | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------------|---------------------|---------|----------|-----------|---------|-------|--------|--------|----------|
| | | | Ариље | Ивањица | Крушчица | Сирогојно | Скржути | Љубиш | Катићи | Кушићи | Косовица |
| 1 | Ариље | -2.8 | -5.1 | -4.4 | -2.7 | -2.7 | -0.9 | -2.6 | -2.3 | -2.8 | -3.0 |
| 2 | Ивањица | -5.2 | -6.5 | -6.1 | -5.2 | -5.3 | -3.8 | -4.7 | -5.2 | -5.2 | -5.5 |
| 3 | Крушчица | -1.4 | -1.7 | -1.7 | -1.4 | -1.8 | -0.6 | -0.6 | -2.1 | -1.4 | -2.1 |
| 4 | Сирогојно | -2.8 | -2.6 | -2.8 | -2.8 | -3.3 | -2.2 | -1.8 | -3.5 | -2.7 | -3.5 |
| 5 | Скржути | 5.7 | 5.1 | 5.2 | 5.7 | 5.4 | 6.6 | 6.3 | 5.4 | 5.7 | 5.2 |
| 6 | Љубиш | 2.0 | 2.6 | 2.2 | 2.0 | 1.4 | 2.3 | 3.0 | 1.0 | 2.1 | 1.1 |
| 7 | Катићи | -1.2 | -0.7 | -1.0 | -1.2 | -1.7 | -0.8 | -0.1 | -2.1 | -1.1 | -2.0 |
| 8 | Кушићи | -0.9 | -0.4 | -0.7 | -0.9 | -1.5 | -0.5 | 0.2 | -1.8 | -0.8 | -1.7 |
| 9 | Косовица | -4.0 | -4.2 | -4.3 | -4.0 | -4.5 | -3.3 | -3.2 | -4.6 | -4.0 | -4.7 |
| | Осоница | 8.0 | 7.7 | 7.7 | 8.1 | 7.7 | 8.9 | 8.8 | 7.6 | 8.1 | 7.5 |

На основу примењеног модела добијене су вредности за падавине које су излучене на сваки пиксел. На слици 8 је приказана карта годишњих падавина добијених коришћењем описаног модела за слив реке Скрапеж за период 1960-2000.



Слика 8. Карта годишњих падавина слива Скрапежа у периоду 1960-2000

ДИСКУСИЈА

Вредности коефицијената корелације r између падавина са кишомernih станица и њихових надморских висина, приказане у табели 2, указују на то да међу њима постоји висока корелација. Вредности се крећу од 0.74 за слив реке Голијске Моравице, 0.86 за простор града Јагодине до 0.98 за слив реке Скрапеж. Овако високе вредности корелације оправдавају примену линеарне регресије као модела повезаности висине терена и падавина. Вредности коефицијената детерминације R^2 , које су дате у табели 2, говоре да је веома висок проценат варијансе падавина објашњен овим моделом у случају слива реке Скрапеж и простора града Јагодине, а мањи за слив реке Голијске Моравице.

Провера модела, која је подразумевала искључивање једне по једне станице из модела и спровођење комплетног поступка одређивања количине падавина у сливу, показала је промене вредности параметара регресије, који су за сваки поједини случај искључивања станице из модела за сливова река Скрапеж и Голијске Моравице, приказани у табели 5. Изабрана су ова два тест-подручја јер имају највишу и најнижу вредност коефицијента детерминације. Подаци у табели говоре да искључивање појединих станица из модела значајно утиче на квалитет модела. Неопходна су даља истраживања у циљу утврђивања разлога за овакво понашање модела.

Табела 5. Упоредни приказ параметара линеарне регресије за сливове река Скрапеж и Голијске Моравице

| Изостављене станице | b_1 | b_0 | R^2 | Изостављене станице | b_1 | b_0 | R^2 |
|---------------------|-------|--------|--------|---------------------|-------|--------|--------|
| Таор | 0.38 | 616.23 | 0.9155 | Ариље | 0.15 | 823.69 | 0.3027 |
| Ражана | 0.38 | 609.01 | 0.9728 | Ивањица | 0.16 | 811.71 | 0.4296 |
| Сеча Река | 0.38 | 616.68 | 0.9545 | Крушчица | 0.19 | 788.48 | 0.5427 |
| Косјерић | 0.37 | 620.62 | 0.9549 | Сирогојно | 0.20 | 784.75 | 0.5680 |
| Бјелоперице | 0.38 | 615.64 | 0.9458 | Скржути | 0.21 | 765.88 | 0.7326 |
| Горња Добриња | 0.37 | 622.40 | 0.9834 | Љубиш | 0.17 | 792.85 | 0.5845 |
| Гостиница | 0.37 | 621.41 | 0.9393 | Катићи | 0.21 | 755.29 | 0.5513 |
| Пожега | 0.39 | 610.80 | 0.9480 | Кушићи | 0.19 | 790.03 | 0.5128 |
| | | | | Косовица | 0.20 | 785.43 | 0.6082 |

Анализом разлика између мерених и моделских падавина утврђено је да су оне мале. Претпоставка је да то указује на поузданост модела и даје препоруку да се модел може користити и на другим просторима где постоје слични услови као у тест-подручјима. У радовима других аутора при коришћењу резолуције од 100 m, разлике су биле 10% (Sborina, С., 2001).

ЗАКЉУЧАК

Употреба модела у коме се уз помоћ растерског ГИС-а, а на основу позитивне и високе корелације између надморске висине и падавина на кишомерним станицама, добијају годишње падавине, дала је добре резултате, како на простору у непосредној близини где је модел први пут примењен (слив реке Голијске Моравице), тако и на простору који је на већој удаљености (територија града Јагодине). При томе су величине истраживаних простора варирале више од два пута. Избор резолуције дигиталног модела висина (100 m) је задржан као и код слива реке Скрапеж без обзира на различиту величину истраживаног простора, а заснован је на намени модела и на досадашњим искуствима приликом креирања дигиталних модела висина. Вишеструко тестирање модела приликом његове примене на различитим просторима потврдило је оправданост његовог коришћења. Упоредивањем мерених и моделских вредности падавина може се закључити да су разлике мале, што говори о добром квалитету примењене методологије. Примењујући овакав поступак за добијање падавина могуће је одредити вредности коефицијента отицаја односно водни биланс за цео слив или део слива до мерних профила. Детаљније билансирање воде би се добило рачунањем ефективних падавина, тј познавањем и других карактеристика (геолошких, педолошких, вегетацијских и других) и начина коришћења земљишта. Оваква истраживања су значајна приликом решавања водопривредних проблема као и за потребе просторног планирања.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бајат, Б. и Штрбац, Д. (2003). Анализа квалитета дигиталног модела терена на локацији „Златибор“. *Гласник Српског географског друштва*, 53 (1), (31-42)
2. Ковачевић-Мајкић Ј., Штрбац Д. (2008): Просторна интерполација падавина у зависности од надморске висине у сливу Скрапежа. *Гласник Српског географског друштва*, 88 (1), стр. 89-100.

3. Ковачевић-Мајкић Ј. (2009): Хидрогеографска студија реке Скрапеж. Посебна издања, књига 74, Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Српско географско друштво, Београд
4. Милошевић М. (2010): Клизишта на територији града Јагодине – генетски фактори и последице. Посебна издања, књига 79, Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд
5. Sboarina, С. (2001): Creation of climatic maps for Trentino from spread data. U *Geomatics Workbooks 2 - 2nd Italian GRASS users meeting proceedings*
6. Урошев М. (2007): Слив Голијске Моравице хидролошка анализа. Посебна издања, књига 69, Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд
7. Метеоролошки годишњаци. Савезни хидрометеоролошки завод, Београд, 1961-2000.
8. Топографске карте, 1:25000, листови: Ваљево 3-2, Ваљево 3-4, Ваљево 4-3, Ваљево 4-4, Лазаревац 3-4, Ужице 2-1, Ужице 2-2, Ужице 2-3, Ужице 2-4, Ужице 3-2, Ужице 4-1, Ужице 4-2, Ужице 4-3, Ужице 4-4, Чачак 1-1, Чачак 1-3, Чачак 1-4, Чачак 3-1, Чачак 3-2, Чачак 3-3, Чачак 3-4, Чачак 4-1, Чачак 4-2, Чачак 4-3, Чачак 4-4, Сјеница 1-1, Сјеница 1-2, Сјеница 1-3, Сјеница 1-4, Сјеница 2-1, Сјеница 2-3, Војногеографски институт, Београд, 1970-1972
9. Хидролошки годишњаци. Савезни хидрометеоролошки завод, Београд, 1961-2000.

CALCULATION OF ANNUAL PRECIPITATION BY GIS

DRAGOLJUB ŠTRBAC, JELENA KOVAČEVIĆ-MAJKIĆ, DRAGANA MILJANOVIĆ

Geographical institute „Jovan Cvijić“, SANU, 11000 Belgrade, Serbia

In this paper raster GIS was applied, using positive and high correlation between elevation and precipitation on measurement stations in order to get annual precipitation. Usage of this kind of model gave good results in the river basin near by first tested river basin (Golijaska Moravica River Basin), as well in the area on larger distance (Jagodina municipality). At the same, size of the test – areas varies more than two times. DEM resolution (100 m) is the same as in the Skrapež River Basin no mater of different test-area sizes and it is based on model applicability and previous experience in DEM creating. Multiple model testing during its usage in different areas, confirmed validity of its usage. Comparing measured and modeled precipitation values it could be concluded that the differences are small, which indicates good quality of applied methodology. Using this procedure for precipitation estimation it is possible to get runoff coefficient and water balance for whole river basin or its part upstream from the measure cross section. More detailed water balance could be got by calculating of effective precipitation, as well by knowing other characteristics (geology, pedology, vegetation and others) and land usage. This kind of researches is important in water management problems solving as well in spatial planning.