

ГЕОГРАФСКИ ИНСТИТУТ "ЈОВАН ЦВИЈИЋ"
СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

ВЕРИФИКАЦИЈА МОДЕЛА ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ
ХИДРОГЕОЛОШКА, ХИДРОЛОШКА, ГЕОГРАФСКА И МЕТЕОРОЛОШКА ИСТРАЖИВАЊА
НА ПРИМЕРУ ГОРЊЕГ СЛИВА ЗАПАДНЕ МОРАВЕ

Југослав Николић

ВЕРИФИКАЦИЈА
МОДЕЛА ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ

ХИДРОГЕОЛОШКА, ХИДРОЛОШКА, ГЕОГРАФСКА
И МЕТЕОРОЛОШКА ИСТРАЖИВАЊА
НА ПРИМЕРУ ГОРЊЕГ СЛИВА ЗАПАДНЕ МОРАВЕ

ISBN 978-86-80029-49-8



Југослав Николић



**GEOGRAPHIC INSTITUTE "JOVAN CVIJIĆ"
SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS**

**SPECIAL ISSUES
№ 78**

Jugoslav Nikolić

**VERIFICATION OF THE
EVAPOTRANSPIRATION MODEL**

**HYDROGEOLOGICAL, HYDROLOGICAL, GEOGRAPHICAL
AND METEOROLOGICAL RESEARCH ON THE CASE EXAMPLE
OF ZAPADNA MORAVA UPPER RIVER BASIN**

**BELGRADE
2010**

**ГЕОГРАФСКИ ИНСТИТУТ „ЈОВАН ЦВИЈИЋ“
СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ**

**ПОСЕБНА ИЗДАЊА
КЊИГА 78**

Југослав Николић

**ВЕРИФИКАЦИЈА
МОДЕЛА ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ**

**ХИДРОГЕОЛОШКА, ХИДРОЛОШКА, ГЕОГРАФСКА
И МЕТЕОРОЛОШКА ИСТРАЖИВАЊА
НА ПРИМЕРУ ГОРЊЕГ СЛИВА ЗАПАДНЕ МОРАВЕ**

**БЕОГРАД
2010**

ИЗДАВАЧ / PUBLISHER

Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ

11000 Београд, Буре Јакшића 9, РЕПУБЛИКА СРБИЈА

Geographical institute “Jovan Cvijić” SASA

11000 Belgrade, Đure Jakšića 9, REPUBLIC OF SERBIA

Telephone / fax: +381 11 26–37–597, E-mail: general@gi.sanu.ac.rs

ЗА ИЗДАВАЧА / ACTING PUBLISHER

Милан Радовановић

Прихваћено на седници Научног већа Института 21.12.2009.

Accepted on the meeting of the Scientific board of the Institute on December 21th, 2009

УРЕДНИК / EDITOR

Др Мирослав Оцокољић (Београд)

РЕДАКЦИЈСКИ ОДБОР / EDITORIAL BOARD

Мирчета Вемић (Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд), Joao Fernando Pereira Gomes (Chemical Engeneering Department-Institut Superior Tehnica, Lisabon), Синиша Зарић (Економски факултет, Београд), Весна Лукић (Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд), Мариана Николова (Географски институт Бугарске академије Наука, Софија), Rahman Nurković (Prirodnomatematički fakultet, Sarajevo), Никола Панев (Природноматематички факултет, Скопје), Иван Б. Поповић (Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ), Милан Радовановић (Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ), Никола Тасић (академик САНУ, Београд), Олга Хаџић (академик САНУ, Нови Сад), Imre Nagy (Bekešbaba); Walter Zsilincsar (Grac), Dmitri Vandenberghe (Geological Institute, Ghent), Bjoern Machalett (Humboldt University of Berlin), Čedo Maksimović (Imperial College, London)

РЕЦЕНЗЕНТИ / REVIEWERS

Проф др Стеван Прохаска / Prof dr Stevan Prohaska

Проф др Милојко Лазић / Prof dr Milojko Lazić

Проф др Ђуро Радиновић / Prof dr Đuro Radinović

ТЕХНИЧКИ УРЕДНИК И КОРИЦЕ / TECHNICAL EDITOR

Југослав Николић, аутор публикације / Jugoslav Nikolić

ШТАМПАЊЕ ОВЕ ПУБЛИКАЦИЈА ОМОГУЋИЛО ЈЕ /

PRINTING OF THIS PUBLICATION WAS SUPPORTED BY

Министарство за Науку и технолошки развој Републике Србије

Ministry for Science and tehnological development of Republic Serbia

ТИРАЖ / CIRCULATION: 300

ШТАМПА / PRINTED BY: BS Print, Београд

WEB ПРЕЗЕНТАЦИЈА / WEB PRESENTATION: <http://www.gi.sanu.ac.rs>

I УМЕСТО ПРЕДГОВОРА

...“Публикација аутора др Југослава Николића, “Верификација модела евапотранспирације – хидрогеолошка, хидролошка, географска и метеоролошка истраживања на примеру горњег слива Западне Мораве”, може се према свим релевантним критеријумима вредновати у категорију научних монографија, односно ИСТАКНУТЕ МОНОГРАФИЈЕ НАЦИОНАЛНОГ ЗНАЧАЈА, па и шире. Рукопис представља оригинални допринос науци и валидну подлогу за даљу примену нумеричког модела. Аутор верификује нумерички модел евапотранспирације кроз истраживања и примене у хетерогеним геолошким условима терена. Тиме је остварен значајан научни допринос за практичне примене нумеричког модела у одређивању интегралног испаравања воде на произвољном терену.

Резултати истраживања које аутор излаже у овој монографији представљају квалитативну надоградњу, кроз вишегодишња истраживања, раније започетог пројекта за који је аутор добио награду Привредне коморе Београда, као најбољи научни рад са практичним применама у привреди.

У рукопису аутора др Југослава Николића, дају се истраживања везана за укупно испаравање воде у природним условима са аспекта геологије, хидрогеологије, метеорологије, хидрологије, географије, пољопривреде и заштите животне средине, у циљу верификације развијеног ауторског модела кроз примену у хетерогеним геолошким условима.

Кроз мултидисциплинарни приступ проблему евапотранспирације аутор укључује у истраживање утицај многобројних фактора: од утицаја различитих геолошких подлога до утицаја географских, геоморфолошких, метеоролошких, хидрогеолошких и хидролошких чинилаца.

Аутор врши верификацију развијеног нумеричког модела евапотранспирације кроз истраживања и примене на терене горњег слива западне Мораве. Истражује се утицај фактора терена на величину прорачуна испаравања. Анализирају се физичко-географски, хидролошки и климатски параметри горњег слива Западне Мораве и разматра утицај географског положаја, геоморфолошких карактеристика терена, хидрографски и хидролошки услови. Изучававају се климатске карактеристике и вегетациони покривач у циљу реалније процене албеда. Анализирају се елементи геолошке грађе и основна хидрогеолошка својства стена и терена. На комплексан начин, уз уважавање утицаја топографије и динамике, анализирају се и падавине, као и процес укупног отицаја. На

*основу вишегодишњих низова измерених вредности протицаја и падавина врши се прорачун падавина и отицаја за слив. Методом водног биланса одређује се интегрално испаравање воде са изучаваног слива које се пореди са израчунатим испаравањем добијеним применом нумеричког модела и утврђује корекција прорачуна испаравања воде условљена утицајем фактора терена. Домен модела дефинише се у односу на површину посматраног слива/сливног подручја”...**

*Проф др Стеван Прохаска, научни саветник
Институт за водопривреду “Јарослав Черни”*

* Фрагменти из извештаја о прегледу и оцени монографије др Југослава Николића

С А Д Р Ж А Ј

1. УВОД.....	25
2. ПОСТАВКА ИСТРАЖИВАЊА	29
2.1. Предмет и циљ монографије	29
2.2. Методологија истраживања.....	30
2.3. Избор сливног подручја.....	34
3. ОСНОВНИ ФИЗИЧКО ГЕОГРАФСКИ УСЛОВИ ТЕРЕНА ИЗАБРАНОГ ЗА ВЕРИФИКАЦИЈУ МОДЕЛА.....	39
3.1. Положај и квалитативне карактеристике рељефа изучаваног терена изабраног за верификацију модела.....	39
3.2. Квантитативна анализа рељефа изучаваног терена	43
4. ХИДРОЛОШКИ УСЛОВИ СЛИВНОГ ПОДРУЧЈА ИЗАБРАНОГ ЗА ВЕРИФИКАЦИЈУ МОДЕЛА ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ	47
4.1. Слив Моравице	48
4.2. Слив Ђетиње	56
4.3. Слив Бјелице	59
4.4. Слив Каменице	61
4.5. Слив Чемернице	62
4.6. Специфичне хидролошке појаве у горњем сливу Западне Мораве.....	64
4.6.1. <i>Дајићко језеро</i>	64
4.6.2. <i>Језеро Округлица</i>	65
4.7. Напомене о квалитету воде горњег слива Западне Мораве	65
4.8. Основне напомене о ерозији подлоге изучаваног слива.....	67
4.9. Површина изучаваног сливног подручја према нумеричкој анализи.....	73
4.10. Геометријске карактеристике горњег слива Западне Мораве	75
5. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ХИДРОЛОШКИХ И МЕТЕОРОЛОШКИХ СТАНИЦА ИЗУЧАВАНОГ ТЕРЕНА.....	79
5.1. Хидролошке станице.....	79
5.1.1. <i>Детаљније информације о водомерним станицама</i>	79
5.2. Метеоролошке станице.....	85

6.	ОСНОВНЕ КЛИМАТСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИЗАБРАНОГ ТЕРЕНА	89
6.1.	Ваздушни притисак	89
6.2.	Температура ваздуха	92
6.3.	Влажност ваздуха	94
6.4.	Падавине.....	97
6.5.	Облачност и инсолација.....	99
6.6.	Ветар.....	102
7.	ВЕГЕТАЦИОНИ ПОКРИВАЧ ИЗУЧАВАНОГ ТЕРЕНА.....	109
8.	ГЕОМОРФОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИЗАБРАНОГ ТЕРЕНА	119
9.	ГЕОЛОШКА ГРАЂА ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА	135
9.1.	Приказ досадашњих истраживања и оцена степена истражености изучаваног терена	135
9.2.	Геолошки састав и литостратиграфске карактеристике терена	136
9.2.1.	<i>Старији палеозоик</i>	137
9.2.2.	<i>Млађи палеозоик</i>	138
9.2.2.1.	<i>Карбон</i>	138
9.2.2.2.	<i>Перм</i>	139
9.2.3.	<i>Мезозоик</i>	140
9.2.3.1.	<i>Тријас</i>	140
9.2.3.2.	<i>Јура</i>	142
9.2.3.3.	<i>Креда</i>	144
9.2.4.	<i>Кенозоик</i>	149
9.2.4.1.	<i>Неоген</i>	149
9.2.4.1.	<i>Квартар</i>	151
10.	ХИДРОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРЕНА СЛИВНОГ ПОДРУЧЈА ОДАБРАНОГ ЗА ВЕРИФИКАЦИЈУ РАЗВИЈЕНОГ МОДЕЛА ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ.....	155
10.1.	Приказ досадашњих хидрогеолошких истраживања и оцена степена истражености терена	155
10.2.	Хидрогеолошка својства терена и типови издани у оквиру подручја истраживања.....	156
10.2.1.	<i>Збијени тип издани</i>	156
10.2.2.	<i>Пукотински тип издани</i>	159
10.2.3.	<i>Карстни тип издани</i>	160
10.2.4.	<i>Условно “безводни” делови терена</i>	162
10.3.	Изворишта термалне и минералне воде	163
10.4.	Специфичне појаве	171

11. ЕЛЕМЕНТИ ВОДНОГ БИЛАНСА	
ИЗУЧАВАНОГ СЛИВНОГ ПОДРУЧЈА.....	175
11.1.Отицај у горњем сливу Западне Мораве	175
10.1.1. Фактори који утичу на отицај	175
10.1.2. Структура процеса укупног отицаја	177
10.1.3. Прорачун укупног отицаја горњег слива Западне Мораве.....	179
11.2.Анализа падавина	
на примеру горњег слива Западне Мораве.....	182
11.2.1. Основне статистичке вредности падавина добијених мерењем у домену модела	182
11.2.2. Однос измерених и анализом добијених сума падавина	182
11.2.3. Утицај надморске висине слива на суму падавина.....	185
11.2.4. Запажања у вези промена режима падавина на изучаваном сливу.....	186
12. РЕЗУЛТАТИ ПРИМЕНЕ МОДЕЛА	
ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ	191
12.1.Евапотранспирационо поље	192
13. ЗАКЉУЧАК.....	197
14. SUMMARY	203
15. ЛИТЕРАТУРА	207
ПРИЛОЗИ	221

14. SUMMARY

The evapotranspiration is one of the most important processes of water circulation. The evapotranspiration, along with precipitation and total runoff, represents the basic element of the water balance, which is difficult to determine quantitatively.

The accurate spatial determination of evapotranspiration has strategic importance for various scientific disciplines and practical applications, especially in waterpower engineering, agriculture, forestry, electrical industry, construction industry and tourism. This research represents an attempt for a more realistic perception of an evapotranspiration in heterogeneous geological conditions by the application of numerical model with solid physical base. The above described model represents good physically based tool for successful solving of various problems.

The basic equation of the model was calibrated using the data obtained through lysimeter and meteorological measurement from experimental research. The application and verification of the model was conducted on the upper basin of the Zapadna Morava river.

Parameterization of geological influences of terrain on the water evaporation was performed by comparative analysis of spatial evaporation calculated by the model and the values obtained from the water balance method. Balancing takes into account the hydrogeological approach to terrain exploration and the analysis of the precipitation using the verified model. Hydrogeological research includes the analysis of physical-geographic, hydrological and climatological conditions of terrain as well as vegetative cover, geomorphological characteristics of terrain, elements of geological structure and hydrogeological attributes of rocks of the selected watershed area. The elements of the water balance were obtained from series of data and measurements, lasting several years, of precipitation and water flow on relevant locations from the model domain.

The input values of certain physical variables at model application were obtained by existing measurements on available locations (meteorological stations). An output from evapotranspiration model are monthly values in terms of quantity of the evapotranspiration in network points 1x 1 km.

The model integrates energy and dynamic effects, and the effect of plant physiology, whereas specific influences of various foundation rocks are

parametric. The methodology of application, among other things, includes digitalized topography with spatial and time analysis of entry parameters obtained by existing measurements. The model domain is defined in relation to an area of the examined river basin. The model resolution with spatial step $k = \Delta x = \Delta y = 1 \text{ km}$ secures precise enough calculation of the evapotranspiration values in heterogeneous geophysical and geological conditions of natural environment, which conditions its spatial variability.

In natural conditions of observed hydrogeological systems, the evapotranspiration can be significantly influenced by physical characteristics of terrain. The model does not explicitly include specific influences of various geological terrains. Due to the lack of lysimetric measurements, an empirical determination of terrain influences in the Zapadna Morava upper river basin was conducted through comparative application of the water balance. The balancing is conducted through hydrogeological approach, paying special attention to inflows/outflows of groundwater from basin to basin. Analyzing the evapotranspiration obtained by an application of the model and „referential“ values determined by the water balance method, enables corrections of the evapotranspiration according to the model.

Major parameters determining the evapotranspiration process are modularly established and integrated into the model through its basic equation. The first step connotes updating the database from the domain of the grid-based analysis (Nikolić et al, 2005). For each unit field of 1 km^2 relevant information is updated and used as a matrix in model calculations. Input data were cartometric, or obtained by standard physical measurements of meteorological parameters at climate stations.

Cartographic parameters are determined using geographic maps at scale 1:25,000. For each field, $1 \times 1 \text{ km}$, from the model domain, coordinates of the left lower corner, maximum, minimum and mean land altitudes, slope and afforestation were used. The squares including river basin were divided into hundred smaller squares, $100 \times 100 \text{ m}$ in size, for a precise calculation in the watershed border area.

On the case example of the Zapadna Morava upper river basin, the evapotranspiration calculation model was used comparatively with the water balance method whose basic elements are precipitation, water evaporation and runoff.

Comparative with the numerical model for study of the areal evapotranspiration in the Zapadna Morava upper catchment area, the method of water balance was used that accounts precipitation, evaporation and runoff. Perennial series of values for precipitation and flow at given river sections may be used, under certain condition, to determine with sufficient precision the

average water evaporation from the catchment area. The condition was a good precipitation analysis in addition to hydrogeological investigations (Nikolić et al, 2007) for relative reliability of certain assumptions (e.g. exclusion of the likely groundwater inflow/outflow from one basin to another).

For comparative analysis of the evapotranspiration by the water balance method, a dynamic precipitation analysis was made, which included the influence of orography and dynamics on precipitation quantities. A given value of precipitation, obtained by numerical analysis, was added to each elementary field. The dynamic precipitation analysis used three-dimensional non-hydrostatic numerical model FITNAH (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources). The model specifically solves the representation of orography influence on meteorological parameters (Frenzen et al., 1987; Nikolić, 2002). The amount of precipitation is calculated by the mentioned method.

The results of evapotranspiration calculation for the Zapadna Morava upper river basin prove that the applied model is a good tool for the estimation of the evapotranspiration.

The average values of the evapotranspiration for the Zapadna Morava upper river basin according to the model are larger than the average value obtained by balancing, which is explained by geological factors of the terrain. The evapotranspiration determined by the model for the Zapadna Morava upper river basin comes closer to referential value, obtained by the method of water balance, when it is multiplied with the correction coefficient 0,91. The earlier research showed that this coefficient in natural conditions can be somewhere in the interval from 0,3 - 1,0, depending on the geological characteristics of the terrain, and presence and evolution of karst processes on the terrain (Nikolic J., 2002).

The research shows that, when analyzing precipitation, the orographic effects should be taken into consideration, which increase precipitation with height, along with dynamic effects that condition the size of this increase, as well as decrease of precipitation with the further increase in height, above some critical value. It appears that the problem is not simple and that the use of simplified relations for precipitation interpolation can lead to substantial mistakes in the estimation. The outcome is justification for the application of stated three-dimensional non-hydrostatic numerical model as a better tool in the precipitation analysis in relation to classical interpolation methods.

The described numerical model for determination of the evapotranspiration in heterogeneous geological conditions represents physically based tool for successful solution of numerous practical problems in different scientific disciplines. The primary advantage of the mentioned model is a good

physical foundation and simplicity in a practical application, that is to say implementation, along with the use of common, available data, without excessive investments.

The research has shown that, in addition to the primary meteorological and hydrological factors, the geology and hydrogeological conditions can substantially modify the water balance of an area.

ПРИЛОЗИ

Карте

Карта 2. Хидрографска мрежа горњег слива Западне Мораве

Карта 3. Геолошка карта горњег слива Западне Мораве

Карта 4. Хидрогеолошка карта горњег слива Западне Мораве

Табеле

Таб. 5-11. Распоред горњег слива Западне Мораве по висинским зонама

Таб. 14. Основни подаци о коришћеним метеоролошким станицама

Таб. 17-30. Серије средњих месечних и средњих годишњих вредности протицаја за различите профиле

Таб. 31-44. Моделска анализа падавина из домена модела

Таб. 45. Измерене вредности падавина из домена модела

Таб. 46-50. Статистичке вредности измерених параметара коришћених за прорачун евапотранспирације

Таб. 51-63. Компаративан приказ евапотранспирације добијене моделом и методом водног биланса

Скице

Ск. 11-17. Хипсометријске криве за сливне површине коришћене за верификацију развијеног модела

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

551.573(282.243.744)(497.11)

556.131(282.243.744)(497.11)

НИКОЛИЋ, Југослав, 1955 -
Верификација модела евапотранспирације:
хидрогеолошка, хидролошка, географска
и метеоролошка истраживања
на примеру горњег слива Западне Мораве /
Југослав Николић. - Београд:
Географски институт "Јован Цвијић" САНУ, 2010
(Београд : BS Print). - 303 стр.
: илустр. ; 25 см. - (Посебна издања /
Српска академија наука и уметности,
Географски институт "Јован Цвијић"; #књ. #78)

На спор. насл. стр.: Verification of the
Evapotranspiration Model. - Тираж 300. -
Summary. - Библиографија: стр. 207-219.

ISBN 978-86-80029-49-8

а) Слив Западне Мораве - Евапотранспирација
COBISS.SR-ID 176979724