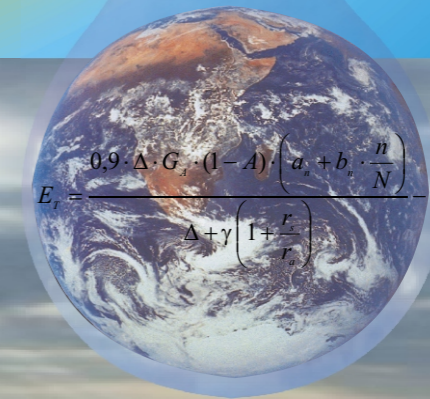


ГЕОГРАФСКИ ИНСТИТУТ "ЈОВАН ЦВИЈИЋ"
СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

Југослав Николић

ИСПАРАВАЊЕ ВОДЕ
У ХЕТЕРОГЕНИМ ГЕОЛОШКИМ УСЛОВИМА
РАЗВОЈ НУМЕРИЧКОГ МОДЕЛА ОДРЕЂИВАЊА ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ

ISBN 978-86-80029-48-1



9 788680 029481 >

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

**SPECIAL ISSUES
№ 77**

Jugoslav Nikolić

**THE WATER EVAPORATION
IN HETEROGENOUS GEOLOGICAL
CONDITIONS**

**THE DEVELOPMENT OF NUMERICAL MODEL FOR
DETERMINATION OF EVAPOTRANSPIRATION**

**BELGRADE
2010**

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

**ПОСЕБНА ИЗДАЊА
КЊИГА 77**

Југослав Николић

**ИСПАРАВАЊЕ ВОДЕ
У ХЕТЕРОГЕНИМ ГЕОЛОШКИМ
УСЛОВИМА**

**РАЗВОЈ НУМЕРИЧКОГ МОДЕЛА ОДРЕЂИВАЊА
ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ**

**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 Technica, 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 (Bekešcaba); Walter Zsilincsar (Grac), Dmitri Vandenberghе (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 Miloјko 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

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

I УМЕСТО ПРЕДГОВОРА

...“Научна публикација под називом “Испаравање воде у хетерогеним геолошким условима – развој нумеричког модела одређивања евапотранспирације”, аутора др Југослава Николића, представља оригинално научно дело веома значајно, поред осталог, за област хидрогеологије, у оквиру кога је аутор израдио модел за одређивање евапотранспирације на основу улазних параметара који се уобичајено мере и који су доступни инжењерској пракси.

Дело се према свим релевантним критеријима може вредновати у категорију научних монографија, односно ИСТАКНУТЕ МОНОГРАФИЈЕ НАЦИОНАЛНОГ ЗНАЧАЈА, или монографија међународног значаја.

Ово дело представља научни допринос пре свега у сфери тачнијег одређивања водног биланса чија процена је, у хидрогеолошкој науци и пракси, као и у метеоролошкој, хидролошкој, шумарској и пољопривредној пракси и заштити животне средине, од великог значаја. Дело представља допринос и за решавање других привредних проблема. На основу добијених резултата у току вишегодишњих истраживања, који су кроз конкретно реализоване циљеве и задатке директно видљиви, може се закључити научна оправданост израде овог ауторског дела. Садржај рукописа је научно оправдан и веома актуелан за хидрогеологију, хидрологију и метеорологију, али и неке друге научне дисциплине. Тематика дела је од интереса за науку и представља врхунски домет код нас, као и у свету. Дело има велики значај за већи број научних дисциплина, нарочито за практичне примене код решавања бројних проблема и садржи све елементе за сврставање овог рукописа у категорију научне монографије.

У уводном поглављу аутор, поред осталог, дефинише хидросферу планете и указује да се истраживања у раду односе на процес укупног испаравања воде као елемента хидролошког циклуса. Наглашава се потреба мултидисциплинарног приступа проблему евапотранспирације и дефинишу се основни фактори испаравања које модел укључује.

Друго поглавље монографије објашњава предмет и циљ истраживања, методологију истраживања, истиче искуства из области проблема одређивања евапотранспирације у свету и код нас, значајне компоненте које модел укључује, као и принципе моделског решавања проблема евапотранспирације за хетерогена подручја у најширем смислу. Дефинише се основна једначина модела на бази комбинованог приступа и указује на основне методолошке елементе у развоју модела.

У трећем поглављу објашњавају се битни елементи фазних прелаза воде, процеса евапорације, транспирације и евапотранспирације и објашњава потенцијална и стварна евапотранспирација.

У четвртом поглављу изучавају се назначајнији фактори који утичу на испаравање воде у природи. Проучавају се аеродинамички фактори и детаљно изучавају фактори енергетског биланса у систему земља-атмосфера који примарно утичу на процес евапотранспирације. Истичу се и додатни фактори на процес испаравања воде у природи као што су утицаји загађивача, количине воде у подлози, утицаји карактеристика биљног покривача, хидрографских фактора и других.

Пето поглавље односи се на директно одређивање испаравања воде са неке активне површине мерењем. Наглашава се потреба стандардизације инструмената и методологије мерења и описују начини мерења која прописује Светска метеоролошка организација.

Шесто поглавље односи се на индиректне методе одређивања процеса евапотранспирације. Ово поглавље садржи и критички осврт на методе мерења испаравања воде, указује на недостатке и тешкоће у мерењу уз наглашавање предности и значаја прорачуна евапотранспирације кроз развој нумеричких модела са добром физичком основом и улазним подацима систематских и доступних мерења.

Седмо поглавље је најобимније у монографији. У њему аутор развија нумерички модел за одређивање евапотранспирације. Полази се од физичког костура са добром физичком основом који се даље надограђује кроз модуларни приступ. У овом поглављу, поред осталог, развијају се модули за адекватно укључивање компоненти енергетског биланса у основну једначину модела. На бази података који се уобичајено мере и који су доступни у пракси, развија се емпиријска формула за одређивање глобалног зрачења које има највећи значај у енергетском и физиолошком смислу у процесу евапотранспирације, као и формула за одређивање дуготаласних компоненти зрачења. На бази података о температури ваздуха, напону водене паре и свих мерења компоненти биланса зрачења у прошлости, аутор емпиријски одређује и коефицијенте у одговарајућој формули за ефективно израчивање, као дуготаласни део биланса зрачења који битно утиче на величину евапотранспирације. Процену рефлектованог дела Сунчеве енергије, која директно утиче на износ апсорбоване енергије у приземном турбулентном слоју и горњим деловима Земљине коре, расположиве, поред осталог, за процес евапотранспирације аутор решава кроз развој модула за одређивање албеда активних површина. Површински отпор у моделу аутор одређује на основу расположивих података, а аеродинамички отпор израчунава као функцију брзине ветра и храпавости вегетације, односно њене просечне висине. Флукс топлоте у подлози такође се параметрише на упрошћен начин. Аутор тако долази до основне

једначине модела у развијеном облику и врши њену калибрацију на основу података мерења помоћу два електронска тежинска лизиметра у оквиру Републичког хидрометеоролошког завода Србије, за два типа подлоге: чернозем и смоницу.

*У осмом поглављу сумирају се најважније чињенице везане за процес евапотранспирације и изводе основни закључци који се односе на развијени модел евапотранспирације. Аутор показује критички однос, указујући на резултате, њихов велики значај за науку и праксу, али и најважније недостатке модела” ...**

*Др Милојко Лазић, редовни професор
Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду*

** Из извештаја о прегледу и оцени монографије др Југослава Николића*

САДРЖАЈ

1.	УВОД.....	29
2.	МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА	33
2.1.	Предмет и циљ презентованих истраживања	33
2.2.	Методолошки приступ истраживању	34
3.	ФАЗНИ ПРЕЛАЗИ ВОДЕ И ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈА.....	39
3.1.	Опште напомене о фазним прелазима воде	42
3.2.	Појам евапотранспирације.....	47
3.2.1.	<i>Потенцијална и стварна евапотранспирација</i>	<i>52</i>
3.2.2.	<i>Латентна топлота водене паре</i>	<i>56</i>
4.	ФАКТОРИ ИСПАРАВАЊА ВОДЕ У ПРИРОДИ	59
4.1.	Аеродинамички фактори	59
4.2.	Фактори енергетског биланса.....	61
4.3.	Фактори подлоге.....	78
4.4.	Додатни фактори	79
5.	МЕТОДЕ МЕРЕЊА ИСПАРАВАЊА ВОДЕ	83
5.1.	Атмометри.....	83
5.2.	Испаритељи.....	84
5.3.	Лизиметри	86
5.4.	Мерења испаравања воде у Републици Србији	88
5.5.	Критички осврт на методе мерења испаравања воде.....	92
6.	ИНДИРЕКТНО ОДРЕЂИВАЊЕ ИСПАРАВАЊА ВОДЕ	95
6.1.	Методе телеметријског одређивања	96
6.2.	Метод водног биланса.....	97
6.3.	Аеродинамичке методе	97
6.3.1.	<i>Метод преноса масе</i>	<i>98</i>
6.3.2.	<i>Метод аеродинамичког профила</i>	<i>99</i>
6.3.3.	<i>Метод турбулентног преноса</i>	<i>100</i>
6.4.	Методе енергетског биланса	101
6.5.	Емпиријске методе	101
6.5.1.	<i>Емпиријске формуле за испаравање са слободне водене површине засноване на Dalton-овој једначини</i>	<i>102</i>
6.5.2.	<i>Друге емпиријске формуле и одређивање евапорације.....</i>	<i>102</i>
6.5.3.	<i>Емпиријске формуле за одређивање евапотранспирације.....</i>	<i>103</i>

6.6. Методе граничног слоја	106
6.7. Комбиноване методе	106
6.8. Критички осврт на методе	
индиректног одређивања испаравања воде.....	108
6.8.1. Методе телеметријског одређивања	108
6.8.2. Метод водног биланса	109
6.8.3. Аеродинамичке методе.....	109
6.8.4. Методе енергетског биланса	110
6.8.5. Емпиријске методе.....	111
6.8.6. Методе граничног слоја.....	111
6.8.7. Комбиноване методе	112
7. РАЗВОЈ НУМЕРИЧКОГ МОДЕЛА	
ОДРЕЂИВАЊА ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ.....	115
7.1. Основна једначина модела.....	116
7.1.1. Развој модула основне једначине тодела	121
7.1.1.1. Модул за одређивање глобалног зрачења	122
7.1.1.2. Модул за одређивање албеда	
у функцији типа подлоге,	
карактеристика вегетације	
и висине Сунца	129
7.1.1.3. Модул за одређивање	
ефективног израчивања.....	142
7.1.1.4. Параметаризација површинског	
и аеродинамичког отпора.....	143
7.1.2. Основна једначина модела у развијеном облику.....	144
7.2. Калибрација основне једначине модела.....	152
7.3. Почетни услови.....	157
7.4. Домен и резолуција модела	158
8. ЗАКЉУЧАК.....	161
9. SUMMARY	165
10. ЛИТЕРАТУРА	169
ПРИЛОЗИ	183

9. SUMMARY

Under the influence of the Solar energy and gravitation, the constant process of circulation of water occurs in nature. The hydrological cycle includes the circulation of water in the system *troposphere - the upper part of the Earth's crust*, which is defined by the equation of the water balance. The classical notion of water circulation relates to the hydrological cycle with precipitation, total evaporation and surface/groundwater runoff as basic elements of the water balance equation, not including geological cycle which is conditioned by the participation of water in various geological processes in the lower zone of lithospheric section with the slow water exchange.

Significant need exists for the development of procedures for a more accurate calculation of the water balance. That is necessary for planning and control of water resources and for practical applications in many scientific disciplines.

A calculation of the water balance depends on the estimate of the basic elements: evapotranspiration and precipitation as meteorological/climatological elements and run-off as a hydrological element. Each of these elements depends on many different factors: climatological, geological, hydrogeological, morphological, vegetational and other. The more accurate determination of any of the basic elements will improve the accuracy of the water balance for the given area.

Along with precipitation and runoff, water evaporation is a basic item of the water balance and cycle phase that is most difficult to quantify, since it is a very complex and hardly measurable process controlled by many factors. Direct measurement of evaporation from the active surface of a gauging instrument, which would represent evaporation in natural conditions, is not solved in a satisfactory way. Precise direct measurements of evapotranspiration are provided only by the electronic weight lysimeters, however these instruments are relatively expensive, bulky, immobile and impractical. Therefore, development of numerical models for indirect determination of integral water evaporation is very important.

Designing the model to calculate evapotranspiration under different natural conditions is significant for the practical use in hydrogeology, hydrology, meteorology, agriculture, environmental protection and other scientific areas. The determination of evapotranspiration is important for many scientific disciplines, at least as important as calculation of the water balance.

Evapotranspiration depends on the energy and dynamic conditions in the system *troposphere - vegetation cover - upper zone of Earth's crust*, on one hand, and on the physiology of a plant, stage of growth, root system development, distribution of stomes, kind and structure of vegetation, and character of terrain, on the other.

In this paper, the numerical model for calculating spatial evapotranspiration, based on modular approach, is presented. The model is comprised of modules that describe the energy, dynamic and plant physiology influences, with parameterization of geological influences of terrain. Modularly determined parameters are integrated through the basic equation of the model which includes, among others, physical processes that mainly regulate the evapotranspiration: the absorption of solar energy, which provides latent evaporation heat to active surface and transport mechanism of water steam from evaporating surface. The equation is based on a combined approach, deeply founded in physics, where input data is regularly and routinely measured. The error in an evaporation calculation from the system lacking water, such as drought episodes for instance, is eliminated by introducing additional factors through superficial resistance that modifies the process of evapotranspiration.

Geologic influence is parameterized on the mode requiring hydrogeologic approach to the ground research methodology. Influences of the aerodynamic resistance, and the superficial resistance of plant species, are parameterized in a specific way. The superficial resistance of plant species simulates the control of watery vapour exhalation from plant leaves by means of the available practical parameters. Aerodynamic resistance is calculated in relation to the wind speed and active surface roughness.

The model, among other things, consists of modul for calculation of spatial and time dependency of albedo, as well as crop cover and aerodynamic resistances through the use of parameters available in practice.

The model includes significant components of energy balance, which primarily influence the process of evapotranspiration, such as: *earth-atmosphere* system radiation balance, latent heat flux, sensitive heat flux, and heat flux in the ground. Due to often lack of actinometric measurements, the methods of indirect determination of suitable shortwave and longwave components of the radiation balance were developed, based on parameters from which these radiations depend the most, and which are accessible to a relatively wider range of explorers. The global radiation is calculated based on relative sunshine duration or cloudiness, with coefficients that are adapted to the concrete terrain conditions. The adapted coefficients in relation to terrain conditions are also used for the calculation of effective longwave radiation. This is the way to get a specific approach for the calculation of evapotranspiration.

Modularly determined parameters are integrated through a basic model equation that includes influences of all relevant factors on the process of evapotranspiration: most important energy and aerodynamic factors, vegetation cover and geologic substrate.

In the nature surrounding watersheds, heterogeneous geological conditions exist, which cause heterogeneous evapotranspiration field; in other words, the characteristics of evapotranspiration vary with the change of coordinates. Model enables determination of total water evaporation for heterogeneous areas, calculating in net points with horizontal resolution, which is such, that elementary surface approximates homogenous area with satisfying accuracy.

Contributions of energy and aerodynamic factors in the model are not possible to consider without some practical knowledge of meteorology, as a geophysical science, and an estimate of the geological influence without hydrogeological and hydrologic investigations. Physiological water evaporation, or transpiration, also depends on additional factors, which can be investigated by applying some knowledge of forestry, agriculture and other sciences. For all these reasons, evapotranspiration requires a complex, multidisciplinary approach.

The basic model equation was calibrated using data from electronic weight lysimeters of the Hydrometeorological Institute of Serbia and concurrent measurements of all necessary meteorological parameters taken in the same location.

ПРИЛОЗИ

Таб. 5. Вредности астрономског трајања сијања Сунца

Таб. 6. Максимално могуће глобално зрачење

Таб. 9-12. Типичне вредности албеда различитих природних површина

Таб. 13-16. Вредности одговарајућих параметара
из основне једначине модела

Таб. 17-20. Израчунате и измерене вредности испаравања воде
за чернозем и смоницу

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

551.573

556.131

НИКОЛИЋ, Југослав, 1955 -

Испаравање воде у хетерогеним геолошким условима:
развој нумеричког модела одређивања евапотранспирације /
Југослав Николић - Београд: Географски институт
"Јован Цвијић" САНУ, 2010 (Београд: BS Print). - 199 стр. :
илустр. ; 25 cm - (Посебна издања / Српска академија наука
и уметности, Географски институт "Јован Цвијић"; #књ.#77)

На спор. насл. стр. : The Water Evaporation
in Heterogenous Geological Conditions. -
Тираж 300. - Summary. - Библиографија: стр. 169-182.

ISBN 978-86-80029-48-1

а) Евапотранспирација - Прорачун
COBISS.SR-ID 176968716