

Часопис за уређење бујица и заштиту од ерозије
Journal of erosion and torrent control

ЕРОЗИЈА

Број 45

UDK 626

ISSN 0350-9648



Београд, 2019. година

ЕРОЗИЈА

Научно-стручни часопис за уређење бујица и заштиту од ерозије

Scientific Journal of erosion and torrent control

Главни и одговорни уредник
Проф.др Станимир Костадинов

Уређивачки одбор

Проф.др Станимир Костадинов, проф.др Нада Драговић, проф.др Миодраг Златић, проф.др
Снежана Белановић, Универзитет у Београду-Шумарски факултет, Београд
Зоран Гавриловић, дипл.инг., Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Београд
Prof. Ivan Blinkov, University of SV. Kiril and Metodij, Faculty of Forestry, Skopje, Macedonia
Prof. Johannes Huebl, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria
Prof. Ivan C. Marinov, Forest Research Institute - BAS, Sofia, Bulgaria
Prof. Panagiotis Stefanidis, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Технички уредници

Милутин Стефановић, дипл. инж. шум.
Марко Урошевић, маст. инж. шум.

Издавач

Удружење бујичара Србије
Кнеза Вишеслава 1, 11030 Београд
Тел: + 381-11-3053-851; + 381-11-3906-461;
Адреса е-поште: bujicari@gmail.com
Интернет презентација: www.udruzenjebujicara.com

Тираж: 250

Штампа

Тукан принт

ЕРОЗИЈА

Scientific Journal of erosion and torrent control

Научно-стручни часопис за уређење бујица и заштиту од ерозије

Editor in Chief

Prof. Stanimir Kostadinov

Advisory Board

Prof. Stanimir Kostadinov, Prof. Nada Dragović, Prof. Miodrag Zlatić,
Prof. Snežana Belanović, University of Belgrade – Faculty of Forestry, Belgrade
Zoran Gavrilović, B.Sc, Institute for Water Management „Jaroslav Černi“, Belgrade
Prof. Ivan Blinkov, University of SV. Kiril and Metodij, Faculty of Forestry, Skopje, Macedonia
Prof. Johannes Huebl, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria
Prof. Ivan C. Marinov, Forest Research Institute - BAS, Sofia, Bulgaria
Prof. Panagiotis Stefanidis, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Technical editors

Milutin Stefanović, dipl. ing.
Marko Urošević, MSc eng. of forestry

Publisher

Association of graduate engineers in torrent control of Serbia
Kneza Visislava 1, 11030 Belgrade
Phone: +381-11-3053-851; +381-11-3906-461;
E-mail address: bujicari@gmail.com
Web site: www.udruzenjebujicara.com

Circulation: 250 copies

Print

Tukan Print

садржај

contents

	РЕЧ ГЛАВНОГ УРЕДНИКА WORD OF THE EDITOR	6
I	ОРИГИНАЛНИ НАУЧНИ РАДОВИ Original scientific paper	
	Јасмина Радовић Рестаурација слива Лукачеве долине применом противерозионих радова Restoration of Lukacheva Dolina watershed by erosion control works	8
	Милутин Стефановић, Никола Златановић Систем ране најаве на реци Ђетињи и притокама на подручју града Ужице Early warning system on the river Đetinja and tributaries in the city of Užice	18
	Ранка Ерић, Весна Ђукић, Невена Анђелић Поређење метода Clark-овог и Snyder- овог јединичног хидрограма за моделирање површинског отицаја Comparison of Clark and Snyder Unit Hydrograph methods for surface runoff modeling	31
	Михаило Раткнић, Соња Брауновић, Зоран Милетић, Татјана Раткнић, Сабахудин Хадровић Human impact in the catchment area of the Žukovska river Antropogeni uticaj u slivu Žukovske reke	47
	Лука Стефановић, Снежана Белановић Симић, Предраг Миљковић, Јелена Белојица Ризик на приступачност Pb, Zn и Cd у дистричним смеђим земљиштима слива реке Расине Risk of accessibility Pb, Zn and Cd in dystric cambisol in the Rasina river watershed	57
	Snežana Кесман Екосистем и услуге екосистема у отвореним градским просторима Ecosystem and ecosystem services in urban open space	68
II	СТРУЧНИ РАДОВИ	
	Ненад Ранковић Прилог методама и техникама научно-истраживачког рада : метод и методологија научних истраживања Contribution to methods and techniques of scientific research : method and methodology of scientific research.	78
III	УПУТСТВО ЗА АУТОРЕ INSTRUCTIONS TO AUTHORS OF “EROZIJA”	94

РЕЧ ГЛАВНОГ УРЕДНИКА

Овај број „Ерозије“ излази на време и садржи низ интересантних радова који третирају проблематику у уској вези са проблемима ерозије и ефектима противерозионих радова, могућностима ране најаве бујичних поплава, моделирања површинског отицања, антропогених утицаја на процесе у сливовима, приступачност тешких метала у земљиштима, и екосистемске услуге у отвореним градским просторима.

Поред тога у овом броју објављујемо и рад проф. Ранковића који третира проблематику методологије научних истраживања. Редакција сматра да то може бити корисно за наше читаоце студенте мастер и докторских студија, као и стале стручњаке из области ерозије, бујичних токова и поплава и било које друге струке. Овакви радови могу помоћи и стручњацима из праксе код припремања радова за научне и стручне часописе. Аутори из праксе могу саопштавати своје резултате рада на пројектовању и реализацији противерозионих радова износећи своја искуства и препоруке на правом месту. Колегинице и колеге који су у пензији могу саопштавати нека искуства из своје богате праксе, што може бити од користи за нашу науку и праксу.

Главни уредник

Др Станимир Костадинов, ред.проф. у пензији

РЕСТАУРАЦИЈА СЛИВА ЛУКАЧЕВЕ ДОЛИНЕ ПРИМЕНОМ ПРОТИВЕРОЗИОНИХ РАДОВА

др Јасмина Радоњић

ЈВП „Србијаводе“, ВПЦ „Морава“ Ниш, Трг Краља Александра Ујединитеља, бр.2, 18000 Ниш; E-mail: jasmina.radonjic@srbijavode.rs

Извод

Процена ефеката досадашње противерозионе праксе користи се за развој унапређених метода, најпогоднијих за фрагилне екосистеме брдско-планинских подручја (CTSW-RT-03-049, 2003; Kammerbauer, 1999), уз поштовање захтева заштите животне средине и очувања аутентичног пејзажног амбијента (Chanson, 2004). Један од првих сливова на којем су извршени радови рестаурације јесте бујица Лукачева Долина. Основни параметри за приказ промена ефеката примењених рестаурационих мера на противерозионом уређењу су стање ерозије, промена коефицијента ерозије, годишња продукција наноса, специфични годишњи пронос наноса кроз хидрографску мрежу, вредност броја криве отицаја као и вредност максималног протицаја. Радови на заштити од ерозије и уређењу бујица утицали су на смањење вредности коефицијента ерозије са $Z=1.124$ на $Z=0.238$, као и на редуковање вредности максималног протицаја са $Q_{\max(1955)}=51.68\text{m}^3/\text{s}$ на вредност до $Q_{\max(2016)}=23.88\text{m}^3/\text{s}$.

Кључне речи: рестаурација, коришћење земљишта, противеро-зиони радови, максимални протицај

Restoration of Lukacheva Dolina watershed by erosion control works

Abstract

The assessment of the effects of erosion control works is used to develop advanced methods best suited to fragile ecosystems of mountainous areas (CTSW-RT-03-049, 2003; Kammerbauer, 1999), while respecting environmental requirements and preserving an authentic landscape environment (Chanson, 2004). One of the first catchments where restoration work was carried out is the LukčevaDolina basin. The basic parameters for demonstrating changes in the effects of the applied erosion protection restoration measures are the state of erosion, the change in the erosion coefficient, the annual production of the deposit, the specific annual transmission of the deposit through the hydrographic network, the value of the number of the runoff curve and the value of the maximum flow. Works on erosion protection and streamflow management reduced the value of erosion coefficient from $Z = 1.124$ to $Z = 0.238$, as well as reduced maximum flow rate from $Q_{\max(1955)} = 51.68\text{m}^3/\text{s}$ to $Q_{\max(2016)} = 23.88\text{m}^3/\text{s}$.

Keywords: restoration, land use, erosion control, maximal discharges

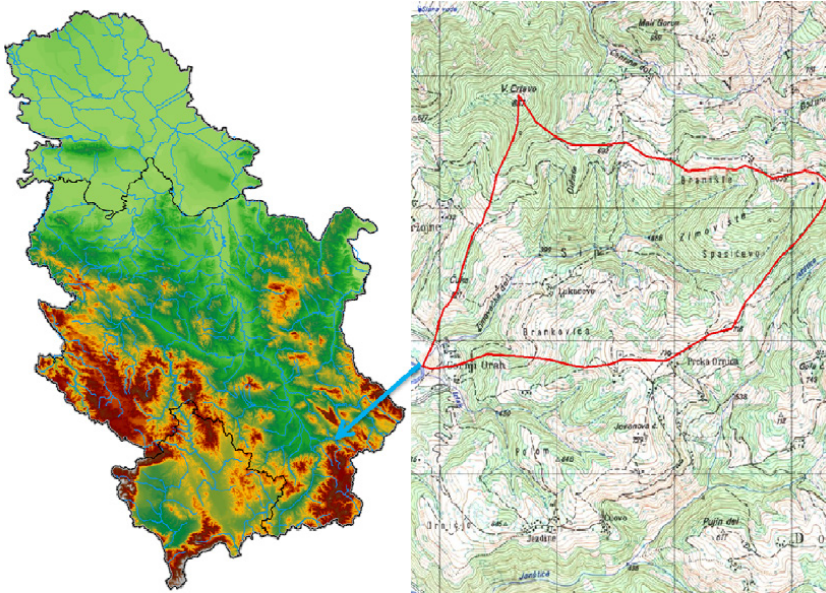
УВОД

Заштита од бујичних поплава и деструктивних ерозионих процеса се заснива на интегралном уређењу простора, „ризичних“ сливова, што обухвата највише делове слива, падине, речна или поточна корита, као и приобаље. Тежиште је на примени биолошких противерозионих радова (пошумљавање голети; попуњавање деградираних шума; мелиорације деградираних ливада и пашњака), чиме се побољшава интерцепција, умањује ефекат „бомбардовања“ површине земљишта кишним капима, и стварају услови за побољшање инфилтрационо-ретенционог капацитета земљишта, јер систем „земљиште-вегетација“ представља најмоћније средство за контролу ерозије (Cummins, 2003). У одређеној мери, нужна је примена биотехничких (санација јаруга системима плетера и рустикалних преграда, са садњом назаплавима; израда контурних зидића на падинама, са садњом одговарајућих жбунастих и дрвенастих врста; формирање илофилтарских појасева са ободним каналима) и техничких мера (системи депонијско-консолидационих преграда за задржавање наноса и стабилизацију падина; израда регулација бујичних токова; формирање микро-акумулација и ретензија за задржавање дела запреминепоплавног таласа и вученог наноса). Истовремено, примењују се одређене агротехничке мере и системи агрошумарства, са циљем да се подржи локална економска активност, у условима одрживог коришћења простора, са аспекта превенције ерозије и бујичних поплава. Локално становништво се усмерава, да кроз обавезујуће мере и одређене забране, уграђене у планске документе, користи шумске и пољопривредне површине на одржив начин, без иницирања деструктивних ерозионих процеса. Применом наведених мера значајно средукују ефекти изазвани хидролошким екстремима, као што су интензивне падавине, нагло отапање снега или коинциденција ових појава.

Један од првих сливова који је третиран противерозионим радовима, био је слив бујице Лукачева Долина, 1955. године. Слив Лукачеве Долине истражен је у целости, а између осталог, издвојено је 27 посебних целина унутар који су изведени пројектовани противерозиони радови. Акцент је био на извођењу биолошких и биотехничких радова на сливу, послечега је следила примена техничких мера, у складу са одговарајућом пројектном документацијом.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

Основни параметри за приказ примењених рестаурационих мера су стање ерозије, вредност коефицијента ерозије, годишња продукција ерозионог материјала, специфичан годишњи пронос наноса, број криве отицаја као и вредност максималног протикаја. Лукачева Долина је десна притока реке Власине, у коју се улива код места званог Горњи Орах, на 5 km узводно од Свођа, непосредно низводно од места укрштања са путем Лесковац-Црна Трава. Анализирани су сви параметри од значаја за сагледавање стања слива: хидролошке, педолошке и геолошке карактеристике; структура површина (начин коришћења простора); изведени противерозиони радови (Радоњић, 2018). Промене начина коришћења простора су анализиране на основу постојеће техничке документације и релевантних података за период 1955-2016, теренских истражних радова, анализе сателитских и орто-фото снимака. Начин коришћења простора је представљен применом CORINE методологије (ЕЕА, 1994). Продукција ерозионог материјала и пронос наноса су утврђени на основу Метода Потенцијала ерозије-МПА (Гавриловић, 1972).



Слика 1 Положај слива Лукачеве Долине

Figure 1 Location of the Lukačeva Dolina basin

Промене хидролошких услова су сагледане на основу упоређивања вредности максималног протицаја из периода пре примене противерозионих радова (1955) и после извођења противерозионих радова на сливу Лукачеве Долине(2016). Прорачун максималног протицаја извршен је применом *комбинованог поступка* (Ристић, 2011). Прорачун максималног протицаја обављен је уз примену регионалних зависности: времена кашњења слива (Ристић, 2003); унутар дневне расподеле падавина (Јанковић, 1994); класификације хидролошких класа земљишта (Ђоровић, 1984).

Циљ истраживања јесте приказ промена које су уследилена сливу бујичног водотока, након рестаурацијеслива, кроз побољшање хидролошких услова на сливу.

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Слив Лукачеве Долине налази се између $42^{\circ}08' - 43^{\circ}11'$ северне географскеширине и $22^{\circ}18' - 22^{\circ}19'$ источне географске дужине. Слив је назван према насељу Лукачева Махала, а простиресе у атарима села Горњи Орах, Пржојне, Алексине, Лукачево и Врело. Слив се одликује купираним брдско-планинским тереном и веомаузаним долинама.

На основу Основне геолошке карте СФРЈ, размере $P=1:100000$, листови Власотинце К34-45, дефинисане су геолошке катактеристике. На сливу Лукачеве Долине, као доминантнагеолошка подлога, јављају се седиментне стене (44.26%), док се метаморфне (28.36%) и магматскестене (28.38%) јављају у скоро једнакој размери.

Табела 1 Основне физичко-географске карактеристике слива Лукачеве Долине*Table 1* Main physical characteristics of Lukačeva Dolina basin

Параметар	Ознака	Јединица	Вредност
Површина слива	F	km ²	4.08
Обим слива	O	O	9.27
Кота врха слива	Kv	mnm	813
Кота ушћа слива	Ku	mnm	330
Средња надморска висина	Hsr	mnm	590
Дужина главног тока	L	km	4.19
Уравнати пад тока	Iu	%	7.79
Средњи падслива	Isr	%	45.77
Густина хидрографске мреже	G	km/km ²	3.897

На основу Педолошке карте (Институт заземљиште)слива Јужне Мораве, Р=1:50000, утврђена је заступљеност типова земљишта на сливу Лукачеве Долине. Педолошки покривач, пре извођења противерозионих радова био је условљен постојећом оскудном вегетацијом и процесима ерозије. На сливној површини било је заступљено неколико типова земљишта, међу којима се на првом месту издваја еродирана гајњача, затим „сиво-шумско“ земљиште (ГПУ-Лукачева Долина, 1955) и на осталим деловима слива агенетично земљиште. У свим земљиштима је регистровано високо учешће скелета до 30%, док је код скелетних и скелетоидних заступљеност и до 50%. Анализом педолошких карактеристика за потребе приказа садашњег стања на сливу Лукачеве Долине, издвојена су 3 типа земљишта: еутрични камбисол, флувисол и ранкер. На сливу је доминантно заступљено хумусно-акумулативно земљиште (25.58%) затим, литосол на пешчару, флишу и рожнацима (30.71%), литосол на шкриљцима игнајсу (30.23%), флувисол (6.51%) и гајњача (6.97%).

Реконструкцијом структуре површина на сливу из 1955. године, на основу техничке документације (ГПУ-Лукачева Долина, 1955), пре извођења радова на противерозионом уређењу, издвојено је шест целина (Табела 2). Насеља нису посебно назначена јер је био заступљен разбијени тип насеља. Анализом структуре површина на сливу из 2016. године, на основу јавно доступних сателитских снимака и теренских истраживања, утврђен је актуелан начин коришћења земљишта, и издвојено је седам различитих површина (Табела 2).

На сливу Лукачеве Долине обављени су обимни биолошки радови, који су обухватили пошумљавање на 78.7 ха и затрављивање на 15.9 ха. Од биотехничких радова, извршено је терасирање косина са засадама у дужини од 7 км и израда контурних бразда, са засадама на површини од 9.3 ха, као и израда 4800 м³ зидања против спирања. Технички радови су обухватили изградњу 2 преграде, једног појаса од камена у цементном малтеру и једног појаса од габиона. Оваколичина радова представља око 80% планираних биолошких и биотехничких радова, док су изведени технички радови заступљени са мање од 10% (изведена су свега 2 од 31 пројектованог попречног објекта).

Табела 2 Коришћење земљишта пре и после примене рестаурационих мера

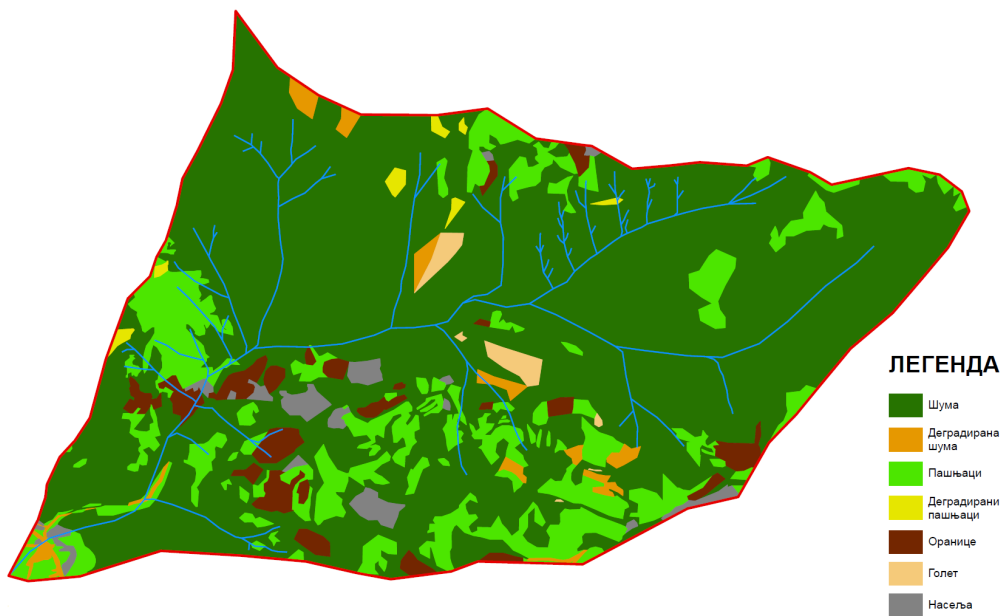
Table 2 Land use before and after restoration

Начин коришћења простора		1955.		2016.	
		км ²	%	км ²	%
1.	Шума	0.18	4.42	3.17	77.51
2.	Деградирана шума	1.09	26.78	0.06	1.47
3.	Пашњак	0.06	1.47	0.60	14.67
4.	Деградирани пашњак	/	/	0.02	0.49
5.	Оранице	1.47	36.12	0.14	3.42
6.	Воћњак	0.23	5.56	/	/
7.	Голет	1.04	25.55	0.03	0.73
8.	Насеља	/	/	0.07	1.71



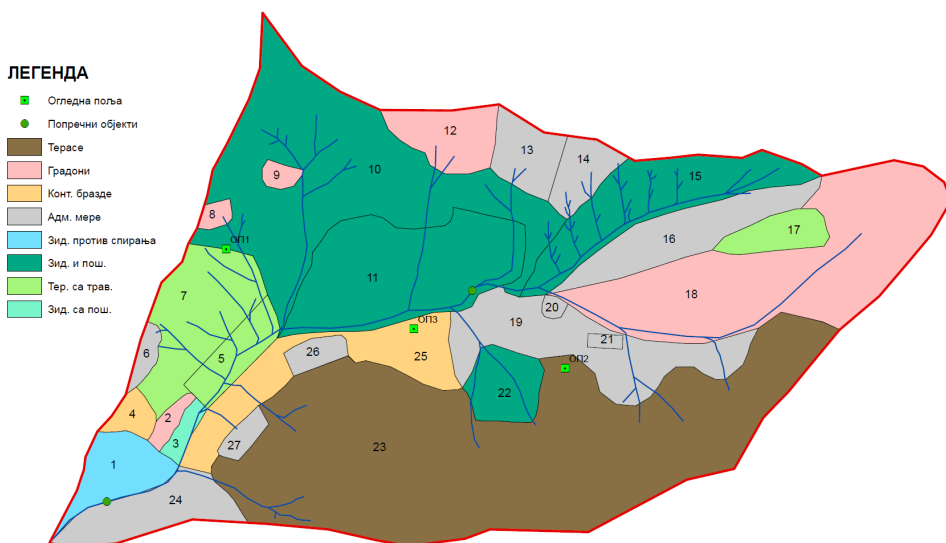
Слика 2 Начин коришћења земљишта на сливу Лукачеве Долине 1955. године

Figure 2 Land use in 1955 on the Lukačeva Dolina basin



Слика 3 Начин коришћења земљишта на сливу Лукачеве Долине 2016. године

Figure 3 Land use in 2016 on the Lukačeva Dolina basin



Слика 4 Биолошки, биотехнички и технички радови на сливу Лукачеве Долине

Figure 4 Biological, biotechnical and technical works on the Lukačeva Dolina basin

Продукција и пронос наноса

Карактеристичне вредности продукције и проноса наноса приказане су у Табели 3. Ове вредности су репрезентативни показатељи вредности коефицијента ерозије, у условима пре и после извођења радова на заштити од ерозије и уређења бујица. Примарна функција изведених попречних објеката била је задржавање наноса узаплавима преграда и консолидација обала. У заправу 2 преграде у главном току Лукачеве Долине задржано је укупно 24.875,00 m³ наноса.

Табела 3 Упоредни приказ вредности продукције и проноса наноса 1955. и 2016. године

Table 3 Comparative presentation of the value of sediment production and deposition in 1955 and 2016

Параметар	Ознака	Јединица	1955.	2016.
Укупна продукција наноса	W_{god}	m ³	14327.17	1203.87
Специфична продукција наноса	W_{sp}	m ³ /km ² /год	3511.56	294.87
Годишњи пронос наноса	W_p	m ³	6269.96	526.50
Специфични пронос наноса	W_{psp}	m ³ /km ² /год	1536.75	129.04
Коефицијент ерозије	Z	/	1.124	0.238

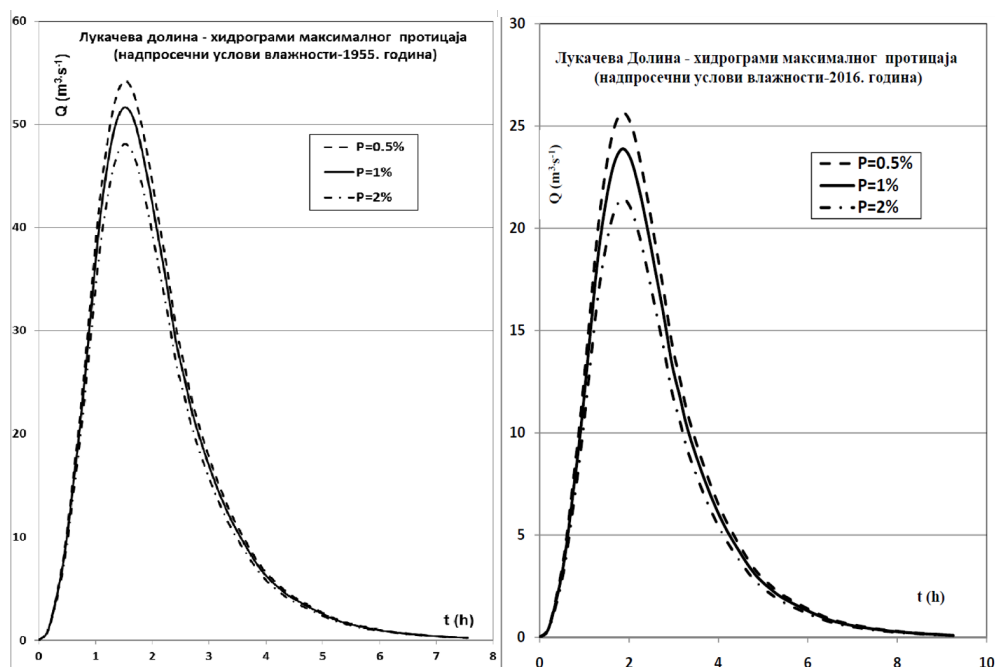
Промене хидролошких услова

Применом теорије синтетичког јединичног хидрограма и SCS методологије добијене су вредности (Табела 4) великих вода за повратне периоде од 200, 100 и 50 година, односно, вероватноће појаве $p=0.5, 1$ и 2% , за 2 временска пресека (1955. и 2016. годину), на сливу Лукачеве Долине.

Табела 4 Упоредни приказ резултата прорачуна максималног протицаја и запремине хидрограма директног отицаја

Table 4 Comparative presentation of the results of the calculation of the maximum flow rate and volume of direct flow hydrograms

Година	Максимални протицај			Запремина хидрограма директног отицаја
	m ³ /s			$W_d (\times 10^6) m^3$
	$Q_{0.5\%}$	$Q_{1\%}$	$Q_{2\%}$	$Q_{0.5\%}$
1955.	54.24	51.68	48.11	0.391
2016.	25.66	23.85	21.43	0.235



Слика 5 Хидрограм максималног отицаја пре и после извођења рестаурационих радова

Figure 5 Hydrogram of maximal runoff before and after restoration work

ДИСКУСИЈА

Комплексна анализа начина коришћења простора, односно намене површина, била је иницијална фаза укомпарацији стања слива у различитим временским пресецима, што је био основ за касније вредновање хидролошких и геоморфолошких ефеката изведених противерозионих радова. Нагиб терена има јак утицај на генезу и развој ерозионих процеса. Развијеност хидрографске мреже, такође, погодује развоју бујичних поплава. Слив Лукачеве Долине има добро развијену хидрографску мрежу. Противерозионо уређење предметног слива, током 60-их година XX века, резултирало је у првом кораку променом структуре начина коришћења простора (намена површина), а касније кроз повољне модификације стања ерозионих процеса и процеса отицаја, пре свега кроз смањену продукцију ерозионог материјала и пронос наноса, као и редукцију потенцијала за формирање брзог површинског отицаја и појаву бујичних поплава. Стање слива које је представљено у техничкој документацији, практично представља „нулто“ стање, односно, референтни ниво који је омогућио примену редбеног модела вредновања ефеката изведених противерозионих радова. Пројектна документација за слив Лукачеве Долине третирао је целокупно сливно подручје. Примењени приступи последиčno су довели до значајних ефеката изведених противерозионих радова. Промене у начину коришћења простора, односно, намене површина, последица су примењених противерозионих радова и мера, миграција становништва, смањења обима

пољопривредне производње и урбанизације. Начин коришћења земљишта на сливу јесте фактор који директно утиче на интензитет ерозионих процеса и могућност појаве бујичних поплава. Такође, ово је једини фактор који је у потпуности под контролом човека, јер је условљен његовим активностима на различитим просторним размерама. Деградиција земљишта и ерозиони процес често се вреднују на три референтна нивоа: просторна заступљеност и проценат угроженог становништва, врста еколошке политике и њена повезаност са другим аспектима заштите животне средине, као што је биодиверзитет (Gisladottir, 2005). На сливу Лукачеве Долине, који је био потпуно руиниран ерозионим процесима и са веома slabим потенцијалом за пољопривредну производњу, дошло је до значајних промена на површинама под обрадивим земљиштем. Наиме, већи део ораница је претворен у ливадско-пашњачке површине, док су шумске површине доведене досастојина средњег и доброг склопа, после примене биолошких и биотехничких мера. Применом административних мера забрањено је сечење лисника ради исхране стоке, као и остали поступци који би могли довести до деградиције шума и оштећења земљишта. Захваљујући таквом приступу шумовитост је повећана на 77.51%. Површине под голетима пролазе спору (вишегодишњу) трансформацију у ливаде и пашњаке, а затим у шуме, док реколонијација вегетације која се шири и прелази у жбунасту и дрвенасту вегетацију, доприноси прогресивном ублажавању неповољних хидролошких услова на раније огољеним локалитетима (García-Ruiz, 2010). Мали проценат голети који се ипак задржао на сливу Лукачеве Долине, сведочи о томе да је могућност спонтаног обнављања шума на појединим локалитетима веома мала, услед веома великих нагиба терена и неразвијених земљишта, малог производног потенцијала

ЗАКЉУЧАК

Природне карактеристике бујичног слива, у садејству са антропогеним фактором, веома супогодовале развоју ерозионих процеса и појави бујичних поплава на експерименталном сливу. Изведени противерозиони радови довели су до смањења коефицијента ерозије Z , најважнијег показатеља интензитета ерозионих процеса, према МПЕ, на сливу Лукачеве Долине, са $Z_{1955} = 1.124$ на $Z_{2016} = 0.238$ (из I у IV категорију ерозије). Карактеристични максимални протицаји ($Q_{\max 1\%}$) и одговарајуће запремине хидрограма директног отицаја су значајно редуковани, што је утврђено поређењем рачунских вредности за хидролошке услове у I (1955. година) и II (2016. година) временском пресеку. Редукција максималног протицаја ($Q_{\max 1\%}$) износи на сливу Лукачеве Долине 53.6%. На истраживаном подручју постигнути су задовољавајући ефекти противерозионе заштите, иако планирани радови нису изведени у пуном обиму. Изведено је свега 10% техничких и 80% биолошких и биотехничких објеката. Изведени технички објекти омогућили су одређене повољне ефекте одмах по завршетку процеса градње (формирање заплава и задржавање наноса; смањење природног пада корита; стабилизација обала). Противерозионо уређење условило је промену структуре површина на истраживаном подручју, где су уочљиве специфичне посебности, поређењем стања из I и II временског пресека: на сливу Лукачеве Долине процентуално учешће голети је сведено са 25.6% на свега 0.73%, ораница са 36.12% на 3.42%, док је учешће површина под шумама порасло са 4.42% на 77.51%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chanson, H., (2004): Sabo chack dams – mountain protection. *International Journal Of River Basin Management*, Vol. 2; 4, 301–307.
2. CTSW-RT-03-049, (2003): (Caltrans erosion control new technology report), California Department of Transportation.
3. Cummings, J., (2003): Using process-oriented parameters to assess degradation. *Ecological Management and Restoration*; 4, 79–82.
4. Гавриловић, С., (1972): Инжењеринг о бујичним токовима и ерозији, часопис „Изградња“, специјално издање, Београд
5. Ђоровић, 1984: Одређивање хидролошке групе земљишта при дефинисању отицаја у методи SCS, *Водопривреда* 16, Београд
6. Garcia-Ruiz, J.M., (2010): The effects od land uses on soil erosion in Spain: A review, *Catena* 81 (2010), 1-11
7. Gísladóttir, G., Stocking, M., (2005): Land Degradation and Mitigation. *Land Degrad. Dev.*, 16: 97. doi:10.1002/ldr.668
8. ГПУ – Лукачева Долина (1955): Главни пројекат уређења бујице Лукачева Долина – слив Власине; Секретаријат за шумарство и водопривреду НРС- Београд, Дирекција за сузбијање бујица, Одсек за пројектовање, Реонска секција за заштиту земљишта од ерозије и уређења бујица, Ниш.
9. Јанковић, Д., (1994): Карактеристике јаких киша за територију Србије, Грађевински календар, Београд.
10. Kammerbauer, J., Ardon, C., (1999): Land use dynamics and landscape change pattern in a typical watershed in the hillside region of central Honduras. *Agriculture ecosystems and environment*: 75, 93–100
- Радоњић, Ј., (2018): „Хидролошки и псамолошки ефекти противерозионих радова на бујичним подсливовима Јужне Мораве, Докторска дисертација, Шумарски факултет, Универзитет у Београду,
11. Ристић Р. (2003): Време кашњења отицаја на бујичним сливовима у Србији. *Гласник Шумарског факултета*, 87, 51-65.
12. Ристић, Р., Малошевић, Д., (2011): Хидрологија бујичних токова (ИСБН 978-86-7299-074-4, Универзитет у Београду Шумарски факултет, стр. 221
13. SCS, (1972): *National Engineering Handbook: Hydology (section 4)*, SCS&U.S. Dept. od agriculture, Washington D.C

СИСТЕМ РАНЕ НАЈАВЕ НА РЕЦИ ЋЕТИЊИ И ПРИТОКАМА НА ПОДРУЧЈУ ГРАДА УЖИЦА

Милутин Стефановић[□], Никола Златановић[†]

Абстракт: Слив реке Ћетиње, налази се на западу Србије, на подручју града Ужице, и један је од неизучених сливова на коме је током претходних деценија дошло до многих бујичних поплава. У граду Ужицу не постоје метеоролошке станице за мерење интензитета кише и није могуће пружити потребне податке за праћење појаве бујичних поплава и благовремено реаговање, што је предуслов за успешну одбрану од ових катастрофа. Последње поплаве ове врсте и урбане поплаве које су угрозиле центар града Ужица указале су на неопходност решења за такве појаве.

Кључне речи: Ужице, поплава, рана најава

EARLY WARNING SYSTEM ON THE RIVER ĐETINJA AND TRIBUTARIES IN THE CITY OF UŽICE

Abstract: The Đetinja river basin, located within Užice municipality in western Serbia, is an ungauged basin where many torrential floods have occurred over the past decades. In the city of Užice, there are no gauges for measuring rainfall intensity and it is not possible to provide necessary data for monitoring the occurrence of torrential floods and timely response, which is a precondition for the successful defense from these disasters. The latest floods of this kind and urban floods which endangered the center of the town of Užice indicated the necessity of solutions for such phenomena.

Key words: Užice, flood, early warning

1. УВОД

Бујичне поплаве настају након кратких пљускова великог интензитета и муњевито се сјуре ка ушћу где нанесу велике штете, а често и људске жртве. Синхронизовано деловање је основа за успешну одбрану од поплава, функционише једино на великим рекама, јер је цео досадашњи осматрачки систем у који су укључена ЈВП Србијаводе и РХМЗ прилагођен тој намени и брзина реаговања је прилагођена природи поплава на великим рекама.

Последње поплаве које припадају групи бујичних и урбаних поплава које су претиле угрожавањем виталних система градског језгра Ужица, указале су на потребу да се изврши јасно прецизирање активности и расподела обавеза на одбрани од ове врсте поплава, које су изразито локалне и муњевите и никако их не треба мешати са организованом одбраном од поплава на великим рекама.

Бујични токови се, најчешће означавају се као „хидролошки неизучени“. То, једноставније речено, значи да нису хидролошки осматрани. Хидролошка осматрања која су вођена на Ћетињи, на локацији Стапари су обустављена након израдње бране Врутци.

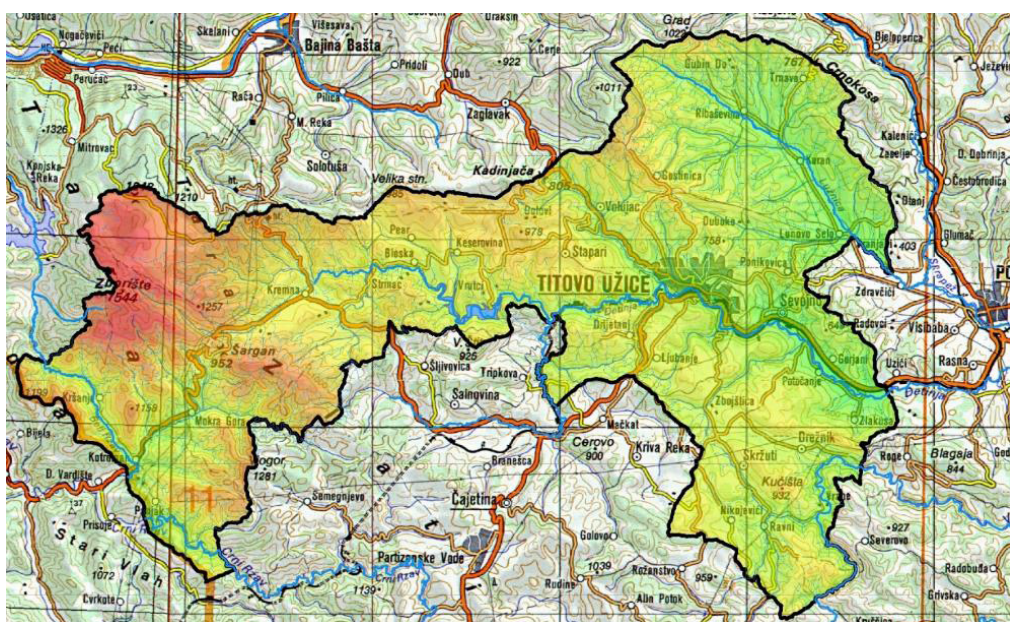
Потреба за увођењем ране најаве бујичних поплава на подручју града Ужице је ипак постала очигледна после катастрофалних поплава 2009. и 2014. године и изливања реке Ћетиње у самом Ужицу.

На реци Ћетињи су у прошлости бележене честе поплаве. Велика плављења забележена

су у јулу 1926. и 1959., мају 1965., априлу, јуну и јулу 1967., децембру 1968., јуну, јулу и новембру 1975. године, 1981, 1987, новембру 2009. године и мају 2014. године. Последњих година смо опет сведоци учесталих поплава на територији града Ужица.

2. МЕТОД РАДА

Територија града Ужица обухвата површину од 667 km². Главна опасност од поплава на територији града Ужица потиче од великих вода река Ђетиње, Белог и Црног Рзава и Лужнице, Волујца као и других водотока који се уливају у наведене реке. Због планинског карактера подручја, водени токови имају бујични карактер. Поплаве обично долазе изненада приликом интензивних падавина и/или наглог топљења снега, уз брзо повећање протикаја. Најважније сливно подручје је слив реке Ђетиње, која протиче кроз уже градско језгро Ужица.



Слика 5 Приказ територије града Ужице (подлога је топографска карта 1:300.000 и дигитални модел терена)

Сагледани су проблеми на целој територији Ужица, а затим је изабрано да се детаљно истраже сливови река на којима се јавља највише штета од бујица, преваходно, дуж тока као и стање на сливовима поменутих река. Из наведеног разлога су изабрани сливови Ђетиње и Лужнице.

Методолошки су дефинисане следеће активности:

- Прикупљани су и анализирани постојећи пројекти и студије од значаја;
- Прикупљени су и анализирани расположиви метеоролошко-климатолошки и хидролошки подаци;

- Прикупљене су и анализирани постојеће картографске подлоге (топографске, педолошке, геолошке) из одговарајућих фондова. На основу прикупљених података и анализа дати су утицаји на услове отицања воде са слива.
- Извршена је анализа хидрографских карата предметних сливова и на бази тога одређени су профили за хидролошке анализе и успостављање профила за осматрање;
- Претходно је извршено детаљно рекогносцирање терена и мерење јачине сигнала мобилних мрежа за потребе избора најбољих локација за осматрачки систем, тј. за локације за постављање метеоролошких и падавинских станица у сливу и локације на токовима за постављање ултразвучних или радарских сензора са пратећом комуникационом опремом;
- За изабране локације на токовима извршено је и геодетско снимање за потребе хидролошких и хидрауличких анализа;
- Извршени су прорачуни великих вода за изабране профиле, са циљем да се дефинишу карактеристике великих вода на изабраним профилима анализираних токова за вероватноће појаве од 1%, 2%, 5% и 10% (за повратне периоде од 100, 50, 20 и 10 година.);
- Извршена је анализа падавина јаког интензитета. Анализирани су падавине, као улазни параметар у моделу падавине-отицај, и коришћене су у облику зависности “максимална висина кише - трајање - вероватноћа појаве” (Х-Т-П криве) за кише јаког интензитета, а кратког трајања. Срачунати су губици кише и ефективне кише. По спроведеном поступку прорачуна приказани су резултати максималних протицаја за вероватноће појаве $p=1\%$, $p=2\%$, $p=5\%$ и $p=10\%$ (повратни периоди од 100, 50, 20 и 10 година) и рачунске хидрограме таласа великих вода;
- Извршене су хидрауличке анализе у зонама локација изабраних осматрачких профила са циљем да се дефинишу нивои водостаја за различите протицаје. Прорачуни и анализе су урађени за све потенцијалне хидрометријске профиле на којима ће да се осматрају водостаји;
- Извршен је прорачун критеријума за рану најаву, бујичних падавина и бујичних поплава. На основу изведених прорачуна и анализа приказане су вредности интензитета падавина и нивоа воде на осматрачким профилима које представљају граничне вредности за алармирање.

2.1 Теренски истражни радови

Спроведена су теренска истраживања и одређена места за постављање мерних уређаја за осматрање метеоролошких и хидролошких појава. Обрађени су сви доступни хидролошки и метеоролошко-климатолошки подаци. Извршена су геодетска снимања на локацијама за осматрање водостаја за потребе хидрауличких прорачуна (6km Волујачког потока, 9km реке Ђетиње и 300m реке Лужнице – локација Каран).

2.2 Приказ расположивих података

За потребе овог пројекта прикупљени су подаци који су побројани у наставку.

Хидролошки подаци (подаци су добијени од РХМЗ-да Србије)

Дневни подаци са хидролошких станица:

- Стапари (Q 1961-2002; H 1958-2002)
- Шенгољ (H 1976 -2012; Q 1977-2017)
- Врутци (Q 1973; 1975-1977)
- Горобиље (Q 1951-1979)

Часовни подаци са хидролошких станица:

- Стапари – 5 хидрограма поплавних таласа
- Шенгољ– 4 хидрограма поплавних таласа

Максимални годишњи протицаји

- Стапари (1961-2002)
- Шенгољ (1977-2017)
- Горобиље (1951-1976)

Метеоролошки подаци (подаци су добијени од РХМЗ-да Србије)

Часовни подаци:

- Седам епизода падавина на ГМС Златибор (1978, 1979, 1984, 1989x2, 2009 и 2014)

Дневни подаци са станица:

- Бајина Башта – висина снега 1961-2012
- Бајина Башта – падавине 1961-2012
- Бајина Башта – температуре ваздуха 1961-2012
- Пожега – висина снега 1961-2012
- Пожега – падавине 1961-2012
- Пожега – температуре ваздуха 1961-2012
- РЦ Ужице – висина снега 1978-2012
- РЦ Ужице – падавине 1978-2012
- РЦ Ужице – температуре ваздуха 1978-2012
- Златибор – висина снега 1951-2012
- Златибор – падавине 1951-2012,

- Златибор – температуре ваздуха 1961-2012

Дневне количине падавине са станица за период 1946-2013 (постоје прекиди у мерењима):

- Чајетина, Ариље, Кремна, М.Гора, Заовине, Скржути, Семегњево, Дуб, Растиште, Гостиница и Крушчица

Метеоролошки подаци (подаци су преузети из Годишњака СХЗ Југославије и РХМЗ Србије)

Максималне годишње дневне сума падавине са станица:

- Чајетина (1941-1990)
- Златибор (1950-2017)
- Бајина Башта (1942-2015)
- Пожега (1945-2017)
- РЦ Ужице (1990-2017)
- Ариље (1946-1993)
- Кремна (1954-1985)
- Мокра Гора (1957-2009)
- Заовине (1946-2011)
- Скржути (1949-2016)
- Семегњево (1949-2014)
- Дуб (1949-1993)
- Растиште (1949-2004)
- Гостиница (1949-1993)
- Крушчица (1956-1993)
- Ужице (1945-1984)
- Севојно (1946-1987)

•

ИТП криве за ГМС Златибор и ГМС Пожега (подаци су добијени од РХМЗ-да Србије)

Дневни подаци са бране и акумулације „Врутиц“ (подаци су добијени од ЈКП Водовод Ужице):

- кота воде у акумулацији (1985-2018)
- захватање за водоснабдевање (1985-2000)
- испуштање воде на темељним испустима (1985-2018)

- преливање воде на преливу (1985-2018)
- захватање воде за рад МХЕ (2010-2018)
- испуштање минималног одрживог протицаја (1985-2000)

2.3 Избор мерних места за метеоролошка и хидролошка осматрања

Детаљним обиласком терена и увидом у постојеће хидролошке, метеоролошке и падавинске станице које се већ налазе на терену, а у оквиру су осматрачког система РХМЗ-а, као и потребом од стране града Ужица да се одбрани од бујичних поплава које сваке године представљају највећу опасност за људе и имовину, процењено је да је потребно поставити нове и заменити старе хидролошке, метеоролошке и падавинске станице.

Локације хидролошких станица

Према анализи која је заједно са РХМЗ-ом рађена, за праћење водостаје потребно је да се инсталира опрема на три водотока:

1. Река Ђетиња (локација Стапари)
2. Волујачки поток (локација Волујац)
3. Река Лужница (локација Каран)

Локације метеоролошких и падавинских станица

Такође, детаљном анализом постојећих метеоролошких и падавинских станица на подручју Града Ужице, а које су под непосредном јурисдикцијом РХМЗ, дат је предлог за постављање нових аутоматских метеоролошких, климатолошких и падавинских станица на сливовима наведених водотока. Након теренских истраживања предложене су четири потпуно нове локације:

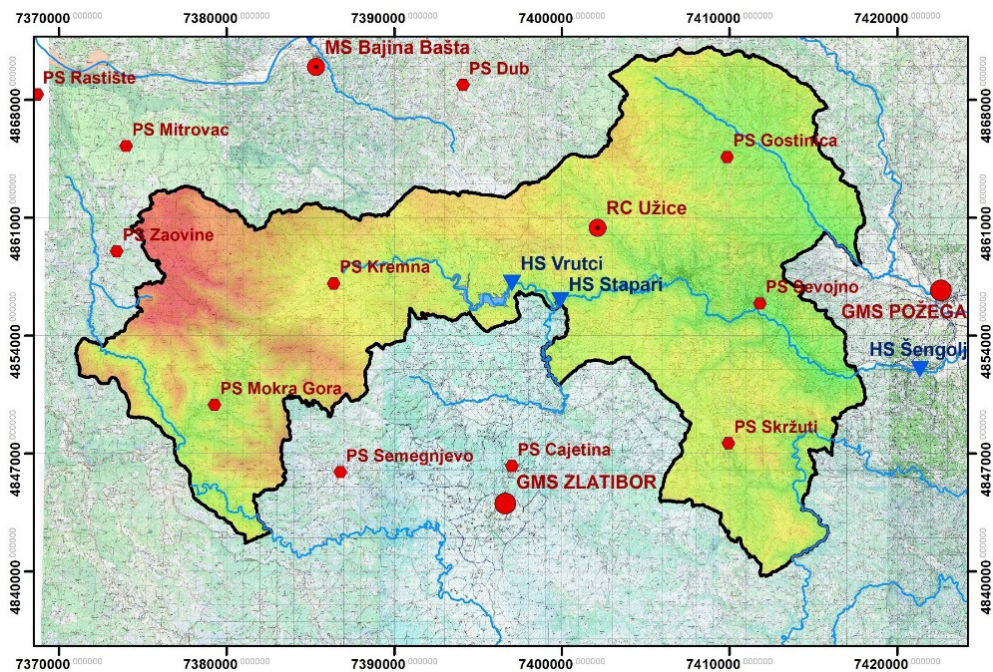
1. Трнава
2. Јелова гора
3. Златиборска ноћ
4. Кадињача

Осим наведених, нових локација аутоматских падавинских и климатолошких станица, биће замењене и новелиране старе метеоролошке и падавинске станице на којима већ РХМЗ врши осматрања падавина, да би се на тај начин унапредило осматрање. Следеће локације које ће бити замењене новим су:

1. Буар (локација код радарског центра),
2. Скржути
3. Чајетина

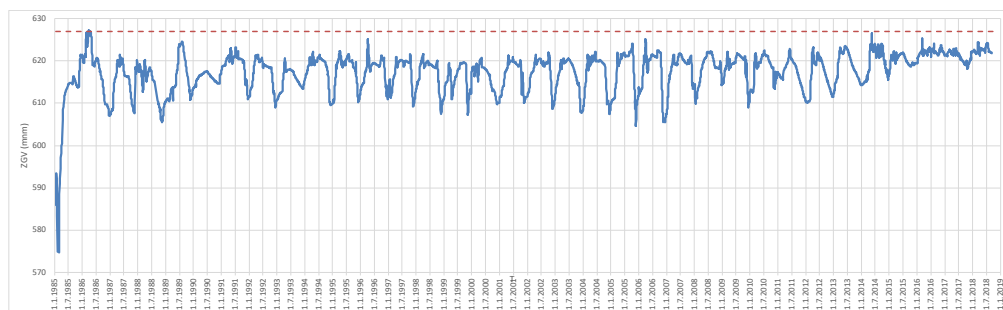
Хидро-метеоролошке анализе и прорачуни

Током израде Студије прикупљени су метеоролошки и хидролошки подаци, који су били доступни од стране РХМЗ-а, са свих околних станица које су у ближој и даљој околини Града Ужица (дневне количине падавина са станица за период 1946-2013. - постоје прекиди у мерењима). Детаљно су анализирани и часовни подаци са главних метеоролошких станица Златибор и Пожега.

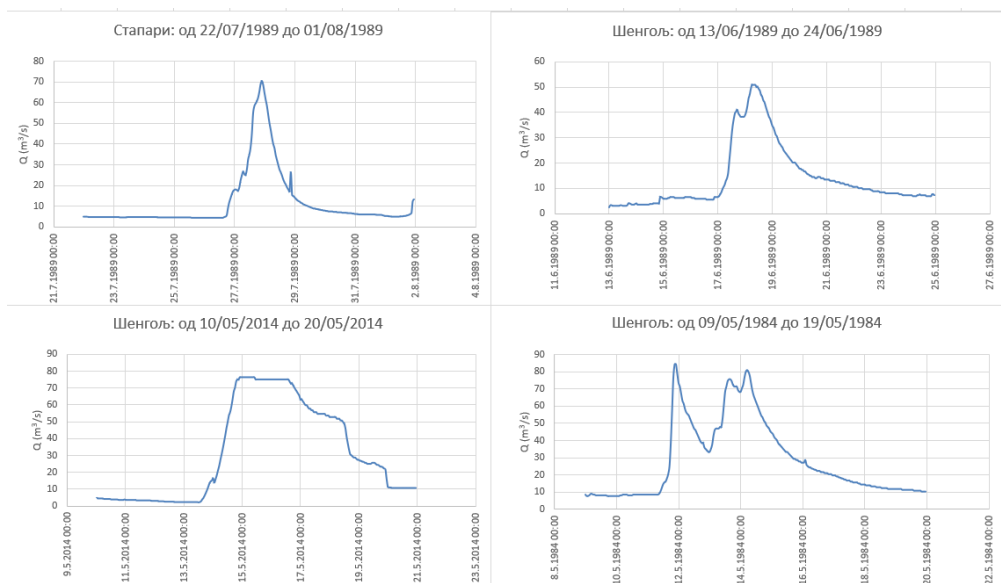


Слика 2. Ситуациони приказ сливног подручја и хидрографске мреже на територије Града Ужице са положајем постојећих хидролошких, метеоролошких, падавинских станица (подлога је топографска карта 1:25.000)

Такође су узети у анализу и добијени подаци са бране и акумулације „Врутци“ (слика 4).



Слика 3. Графички приказ кота у акумулацији „Врутци“ (КНУ=621,30мнм, КПП=627,00мнм)



Слика 4. Часовни подаци на хидролошким станицама Шенгољ и Стапари

3. РЕЗУЛТАТИ СА ДИСКУСИЈОМ

3.1 Резултати прорачуна великих вода на будућим хидролошким станицама

Што се тиче хидролошких прорачуна, израчунати су меродавни протицаји за вероватноће појаве $Q_{1\%}$, $Q_{2\%}$, $Q_{5\%}$, $Q_{10\%}$ и $Q_{20\%}$. Овако широк дијапазон протицаја прорачунат је из разлога провере купалишта на реци Ђетињи и регулације реке Ђетиње кроз Ужице.

На основу хидро-метеоролошких прорачуна и анализа, као и на основу морфометријских карактеристика сливова, дошло се до одређивања критеријума за алармирање на систему падавинских станица и хидролошких профила.

За кишомерне станице усвојено је да први критеријум за алармирање („жути“ аларм) укључује киша од 15 mm трајања до 100 минута, киша од 20 mm трајања 300 минута, одн. киша од 41 mm која падне за 24 часа.

Усвојено је да други критеријум за алармирање („наранџасти“ аларм) укључује киша од 21 mm трајања до 100 минута, киша од 29 mm трајања 300 минута, одн. киша од 67 mm која падне за 24 часа.

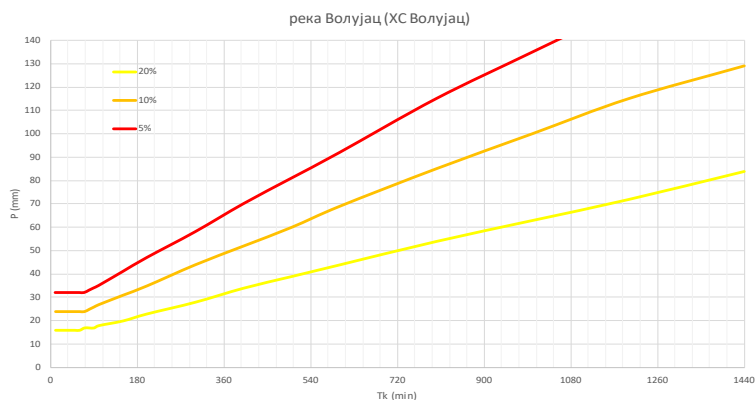
Усвојено је да трећи критеријум за алармирање („црвени“ аларм) укључује киша од 28 mm трајања до 80 минута, киша од 40 mm трајања 300 минута, одн. киша од 95 mm која падне за 24 часа.

Коришћењем методе синтетичког јединичног хидрограма прорачуна великих вода за све комбинације трајања кише ($T_k=10, 11, 12, \dots, 1440$ минута) и вредности бруто кише

на сливу ($P=10,11,12,\dots,200$ mm) дефинисане су вредности протицаја великих вода на профилима, затим су за карактеристичне вредности протицаја великих вода ($p=5\%$, $p=10\%$ и $p=20\%$) дефинисане криве T_k - P . Ове криве приказане су са три боје: жута ($p=20\%$), наранџаста ($p=10\%$) и црвена ($p=5\%$).

3.1.1 Анализе нивоа алармирања на сливу Волујац

На реци Волујац, на профилу планиране ХС Волујац су дефинисани критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на овом сливу. Као што је речено анализирани су трајање кишне епизоде (T_k – min) и количина падавина (P - mm). Генерално, поплавне таласе стварају интензивне кише одређеног трајања.

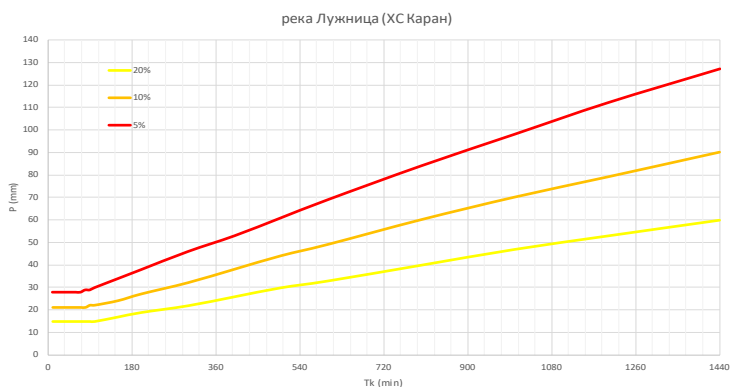


Слика 5. Критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на сливу Волујац (до профила ХС Волујац)

Са претходног графикона се може видети које су то граничне вредности за алармирање. Нпр. ако за 720 минута (12 сати) падне 50 mm кише то је гранична вредност за укључивање „жутог“ аларма. Ако за исто време падне 63 mm кише то је гранична вредност за укључивање „наранџастог“ аларма. Ако пак за 12 сати падне 105 mm кише то је гранична вредност за укључивање „црвеног“ аларма.

3.1.2 Анализе нивоа алармирања на сливу Лужнице

На исти начин као и на Волујцу и на реци Лужници, на профилу планиране ХС Каран су дефинисани критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на овом сливу. Опет су анализирани трајање кишне епизоде (T_k – min) и количина падавина (P - mm). Приказ добијених резултата је дат на следећој слици.

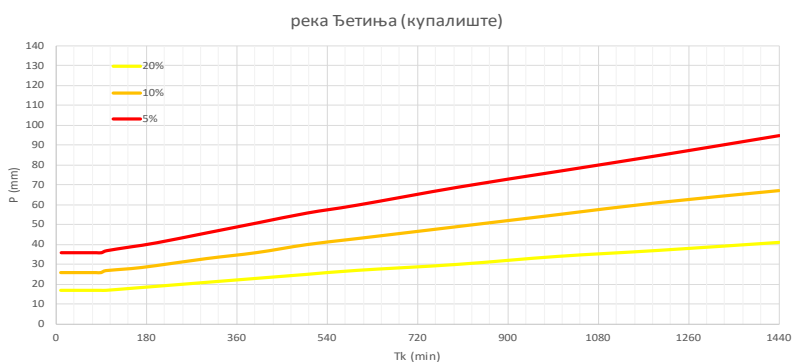


Слика 6. Критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на сливу Лужнице (до профила ХС Каран)

Са претходног графика се може видети које су то граничне вредности за алармирање. Нпр. ако за 360 минута (6 сати) падне 23 mm кише то је гранична вредност за укључивање „жутог“ аларма. Ако за исто време падне 35 mm кише то је гранична вредност за укључивање „наранџастог“ аларма. Ако пак за 6 сати падне 50 mm кише то је гранична вредност за укључивање „црвеног“ аларма.

3.1.3 Анализе нивоа алармирања на сливу Ђетиње

На исти начин као и на Волујцу и Лужници, и на профилу купалишта на Ђетињи су дефинисани критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на овом сливу. Опет су анализирани трајање кишне епизоде (T_k – min) и количина падавина (P – mm). Приказ добијених резултата је дат на следећој слици.



Слика 7. Критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на сливу Ђетиње (до профила купалишта) без дела слива који контролише брана Врутци

Са претходног графикона се може видети које су то граничне вредности за алармирање. Нпр. ако за 1440 минута (24 сата) падне 40 mm кише то је гранична вредност за укључивање „жутог“ аларма. Ако за исто време падне 68 mm кише то је гранична вредност за укључивање „наранџастог“ аларма. Ако пак за 24 сата падне 95 mm кише то је гранична вредност за укључивање „црвеног“ аларма.

На основу историјских поплава и падавина које су пратиле те поплаве (1984, 1978.), детаљном анализом установљено је да је време појаве пика хидрограма поплавног таласа, 1978. године, на раци Ђетињи, путовало од ХС Страгари до Ужица за 5,5h. Што се тиче поплаве из 1984. године, време појаве пика хидрограма поплавног таласа који је путовао од ХС Стапари до Ужица је био 8,5h.

Коришћењем хидролошких метода дефинисане су вредности протицаја великих вода на профилима који су обрађени, за карактеристичне вредности протицаја великих вода ($p=1\%$, $p=2\%$, $p=5\%$, $p=10\%$ и $p=20\%$). На бази овако дефинисаних вредности протицаја дефинисане су вредности критеријума за алармирање на систему хидролошких станица. Ови критеријуми су приказани са три боје: жута ($p=20\%$), наранџаста ($p=10\%$) и црвена ($p=5\%$), на профилима ХС Вољујац, Каран, Стапари и купалишта на Ђетињи.

Табеларно то би изгледало:

На профили ХС Вољујац

	p	T	Qmax	H*	Z*
	(%)	(год)	(m ³ /s)	(cm)	(mm)
црвени аларм	5	20	48,8	69,00	558,19
наранџасти аларм	10	10	35,6	55,00	558,05
жути аларм	20	5	23,2	39,00	557,89

На профили ХС Каран

	p	T	Qmax	H*	Z*
	(%)	(год)	(m ³ /s)	(cm)	(mm)
црвени аларм	5	20	88,8	213	389,13
наранџасти аларм	10	10	63,6	169	388,69
жути аларм	20	5	42,0	125	388,25

На профили ХС Стапари

	p	T	Qmax	H*	Z*
	(%)	(год)	(m ³ /s)	(cm)	(mm)
црвени аларм	5	20	104	159	515,09
наранџасти аларм	10	10	77	133	514,83
жути аларм	20	5	55	108	514,58

И на профилу купалишта на реци Ђетињи

	p	T	Qmax	H*	Z*
	(%)	(год)	(m ³ /s)	(cm)	(mm)
црвени аларм	5	20	133,3	72	407,22
наранџасти аларм	10	10	93,4	53	407,03
жути аларм	20	5	56,9	32	406,82

4. ЗАКЉУЧАК

Град Ужице је доживело историјске поплаве (1926, 1959, 1967, 1968, 1975, 1981) али у последњих 10-так година (2009, 2011, 2014, 2016, 2018.) претрпело велике штете од бујичних падавина и поплава. Ова Студија је тачно показала колике су то поплаве биле (вероватноће појаве) и које су слабости у систему одбране од поплава на подручју Града.

Студијом су јасно дефинисани сливови који представљају директну опасност за Град Ужице (сливови Ђетиње и Сушице и слив Вољујачког потока) и слив Лужничке реке, који ће у неком даљем развоју система ране најаве бити неопходан да се разматра, гледајући целокупан слив Скрапежа и одбране од поплава Пожеге и других градова низводно на реци Западној Морави.

За прогнозу и најаву бујичних таласа потребно је располагати подацима о интензитету и количини падавина као и подацима о нивоу воде у токовима. Потребно је да се сви осмотрени подаци тренутно прослеђују осматрачком центру и одговорним људима у Граду Ужицу. За то је потребна опрема која ће својим перформансама да задовољи захтеве Осматрачког центра.

Калибрација система ране најаве

Калибрација система мора да се изврши у периоду после 2 године, након инсталације опреме и пуштања у рад система. Тада треба да се уради детаљна анализа прикупљених и осмотрених података и дају нови критеријуми за аларме који најављују обилне падавине и поплавне таласе.

Људство, који ће учествовати у имплементацији система ране најаве бујичних поплава за Град Ужице мора бити оспособљено за рад на метео станицама и софтверу за осматрање. Поред упознавања са хардвером, испоручилац опреме је дужан и да обучи људство за коришћење софтвера, а такође и упозна са практичном применом и руковањем WEB портала и системом алармирања.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Хидролошки годишњаци СФР Југославије и РХМЗ Србије, Београд
2. Климатолошки годишњаци СФР Југославије и РХМЗ Србије, Београд
3. Прохаска С., Петковић Т. Методе за прорачун великих вода, Део 2 - Проблеми вода на хидролошки неизученим профилима, Грађевински календар, Београд, 1990. године
4. Водопривредна основа Србије, Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд, 2001. год.
5. Плавшић Јасна., Увод у хидрологију, Грађевински Факултет, Београд, 2001. год.
6. Прохаска С., Ристић В., Хидрологија кроз теорију и праксу, Рударско-геолошки факултет, Београд, 2002. год.
7. Анализа оправданости изградње ХЕ "Врутци", Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд, 2002. године
8. Прохаска С., Хидрологија - I Део, Београд, 2003. год.
9. Студија одржавања, управљања и осматрања 8 високих брана "Врутци на Ђетињи", Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд, 2005. године
10. Прохаска С., Хидрологија - II Део, 2008. год.
11. Водопривредна основа Србије, Хидрометеоролошке подлоге, РХМЗ и Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд, 2009. године
12. Драгана Милијашевић, Вероватноћа појаве великих вода на реци Ђетињи, Географски институт „Јован Цвијић” САНУ, Београд, Србија, 2010. године
13. Генерални пројекат 8 МХЕ на водопривредним објектима (Бован, Барје, Златибор, Ровни, Врутци, Парменац, Врутци и Врутци), Институт за водопривреду Јарослав Черни, 2011. године,
14. Интезитети јаких киша у Србији, Стеван П., Владислава Бартош Дивац, Институт „Јарослав Черни“, Београд, 2014. године
15. Студија за постављање мерно-регулационе станице и кишомера у сливу реке Ђетиње и система раног упозорења» - Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Београд, 2014. године,
16. Прохаска С., Хидрологија - III Део, Београд, 2017. год.
17. Хидролошки годишњаци РХМЗ Србије, Београд
18. Климатолошки годишњаци РХМЗ Србије, Београд
19. Подаци о раду бране Врутци и захватањима/испуштањима воде из акумулације Врутци, ЈП Водовод Ужице,
20. Хидролошки и климатолошки подаци, РХМЗ Србије

Ранка Ерић¹, Весна Ђукић¹, Невена Анђелић²

Поређење метода Clark-овог и Snyder-овог јединичног хидрограма за моделирање површинског отицаја

Comparison of Clark and Snyder Unit Hydrograph methods for surface runoff modeling

¹ Универзитет у Београду, Шумарски факултет

² Енергопројект, Ентел, Београд

Извод

У раду је анализирана примена две методе за моделирање површинског отицаја на сливу реке Обнице. Хидролошки модел формиран је помоћу софтверског пакета HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System) и укључује моделирање процеса инфилтрације (губитака) и модел трансформације ефективне кише у површински (директни) отицај. За модел губитака коришћена је SCS (Soil Conservation Service) метода, а директни отицај симулиран је помоћу две методе, Clark-овог и Snyder-овог јединичног хидрограма. На основу девет поплавних таласа урађена је калибрација и валидација оба модела. Ефикасност модела представљена је помоћу Nash-Sutcliffe коефицијента (NS), грешке у пика хидрограма (ϵ_p), грешке у запремини отицаја (ϵ_v), грешке у времену појаве пика хидрограма (ϵ_t), коефицијента детерминације (R^2) и коефицијента корелације (r) између осматраних и симулираних протока. Оцене модела се налазе у прихватљивом опсегу и према резултатима Snyder-ов јединични хидрограм се показао ефективнији у симулацији таласа током калибрације, а Clark-ов јединични хидрограм током валидације.

Кључне речи: површински отицај, јединични хидрограм, велике воде, HEC-HMS

Abstract

This paper analyzes the application of two methods for surface runoff modeling in the Obnica River basin. The hydrological model is developed using the HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) software package. It includes the infiltration model and the model of the transformation of excess rainfall into the surface (direct) runoff. The SCS (Soil Conservation Service) method is used for the loss model, and the direct runoff is obtained by using two methods, Clark's and Snyder's Unit Hydrograph. The model calibrations and validations are performed on the basis of nine observed flood events. The model efficiency is evaluated by the Nash-Sutcliffe coefficient (NS), the error in the peak hydrograph (ϵ_p), the error in the volume of runoff (ϵ_v), the error in time of the peak hydrograph occurrence (ϵ_t), the coefficient of determination (R^2) and the correlation coefficient (r) between observed and simulated flows. The model estimates are in the acceptable range and, according to the results, the Snyder Unit Hydrograph is more effective during the calibration, and the Clark Unit Hydrograph during the validation.

Keywords: surface runoff, unit hydrograph, flood events, HEC-HMS

Увод

У последње време поплаве и велике воде су веома честа појава. Услед великих киша или топљења снега, као и комбинованим дејством обе наведене појаве, може доћи до екстремних водостаја и протока. Најозбиљније поплаве у нашој земљи настају првенствено као последица киша и топљења снега, мада ни друге узроке не треба потцењивати. Познавање и прогнозирање великих вода веома је важно за димензионисање хидротехничких објеката и од пресудне је важности са гледишта економичности изградње истих. Још важније, изградњом ових објеката се директно утиче на сигурност и заштиту становништва и животне средине од поплава.

Моделирање великих вода, тј. развијање хидролошких модела сливова, све чешће представља део студија за унапређење заштите од вода и самог управљања водама (2016, 2017). Хидролошки модели представљају поједностављене представе хидролошких процеса у природи. Са гледишта хидролошких појава модели се деле на моделе за симулирање изолованих поплавних таласа (моделе епизоде) и моделе за континуално симулирање хидрограма отицаја у дужем временском периоду (Јовановић, Радић, 1990). Према просторној хетерогености хидролошки модели се деле на дистрибуиране (расподељени параметри), семи-дистрибуиране (делимично расподељени параметри) и хомогене (интегрисани параметри) моделе (Јовановић, Радић, 1990).

Површински (директни) отицај је једна од главних компоненти хидролошког циклуса и представља већински део укупног хидрограма отицаја који настаје од ефективних падавина (Јовановић, Радић, 1990). Површински отицај се још назива и брзи отицај, који иде директно у водоток при чему је и најодговорнији за настанак великих вода (Јовановић, Радић, 1990). Мера давна вредност протока, важна за димензионисање објеката, се добија на основу максималних вредности отицаја (Плавић *et al.*, 2019). Према томе, треба бити пажљив у одабиру методе за моделирање директног отицаја како би се ова компонента хидролошког циклуса што верније симулирала.

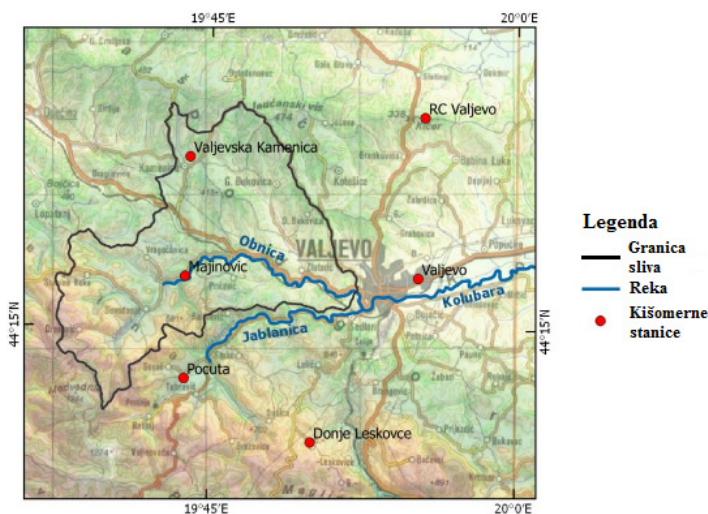
У саставу софтверског пакета HEC-HMS постоје различите методе за моделирање директног отицаја и великој мери су примењиване током досадашњих истраживања. Користе се како за изучене тако и за неизучене сливове (Илић *et al.*, 2018, Petroselli *et al.*, 2013, King *et al.*, 1999, Adib *et al.*, 2011). Walega, 2011 је поредио Clark-ов и Snyder-ов j.x. (јединични хидрограм) и показао да су оба модела подједнако ефикасни у симулацији површинског отицаја, са препоруком да се Snyder-ов j. x. користи у практичној примени.

Циљ овог рада јесте да се оцени могућност Clark-овог и Snyder-овог јединичног хидрограма за симулацију директног отицаја на сливу реке Обнице. Помоћу софтверског пакета HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System) формирана су два хомогена хидролошка модела. Ови модели слива реке Обнице се разликују само по примењеним методама за моделирање директног отицаја, а губици су код оба модела симулирани методом SCS (Soil Conservation Service). На основу девет епизодних догађаја извршена је калибрација и валидација модела. Као параметри ефикасности за оба модела усвојени су: Nash-Sutcliff коефицијент (NS), грешка у пиксу хидрограма (ϵ_p), грешка у запремини отицаја (ϵ_v), грешка у времену појаве пика хидрограма (ϵ_t), коефицијент детерминације (R^2) и коефицијент корелације (r). Поређењем добијених хидрограма и показатеља ефикасности, указано је која од метода, Clark-ов или Snyder-ов јединични хидрограм, је ефикаснија за трансформацију ефективне кише у директни отицај.

Методологија и материјал

Опис слива, хидролошке и метеоролошке подлоге

Река Обница припада сливу реке Колубаре, где честе поплаве и велике штете од поплава у сливу реке захтевају унапређење система за заштиту од вода. Из тих разлога слив реке Обнице, до водомерне станице Бело поље, је одабран као подручје истраживања у оквиру овог рада (слика 1). Површина слива износи 185 km², надморске висине на сливу се крећу од 200-300 mm у алувијалним долинама реке, а до 1100-1300 mm у вишим деловима слива (Ђukić, 2006). Дужина реке Обнице износи око 25 km, а просечан нагиб главног тока је 2.61 % (Пић *et al.*, 2018). Већи део површине слива прекривен је пропусним површинама (ливаде, шуме, воћњаци, и сл.), а мањи део разматраног слива заузимају голети и урбанизоване површине (Ђukić, 2006).



Слика 1. Слив реке Обнице (Plavšić *et al.*, 2019)
 Figure 1. The Obnica River basin (Plavšić *et al.*, 2019)

Од хидролошких података доступно је девет осматрених таласа великих вода реке Обнице који су преузети из литературе (Petrović, 1996). На осматреним таласима претходно је издвојен директни од базног отицаја. Од метеоролошких података, кишне епизоде су одређене као просечне падавине на сливу на основу плувиографских записа са станица Ваљево и Лозница, такође преузете из литературе (Petrović, 1996). Временски корак улазних података износи 30 минута. Графички приказ осматрених таласа и одговарајућих киша приказан је кроз резултате калибрације и валидације модела. У табели 1 су приказане основне карактеристике епизоде (P - висина падавина, P_{ef} – ефективна киша, Q_{max} – максимални проток, V_{oteklo} – запремина ефективне кише, $PP5$ – висина падавина претходних пет дана).

Табела 1. Основне карактеристике осмотрених таласа и кишних епизода
Table 1. The basic characteristics of the observed flood events and the rain episodes

Датум	Шифра таласа	Шифра кише	P (mm)	P_{ef} (mm)	T_k (h)	Q_{max} (m ³ /s)	V_{oteklo} (m ³)	PP5 (mm)	Коеф. отицаја (%)
21.06.1978.	Q059	K06	22.5	4.2	10.5	21.8	772.8	15.2	18.6
20.05.1980.	Q0692	K152	20.3	4.1	10.0	14.9	766.0	29.5	20.4
05.06.1980.	Q070	K16	21.4	4.9	6.5	27.1	903.6	16.4	22.8
17.06.1981.	Q075	K18	32.7	5.8	31.0	17.1	1078.0	7.7	17.8
15.04.1985.	Q086	K27	74.8	56.8	59.5	105.2	10504.0	15.3	75.9
27.08.1985.	Q087	K28	94.6	24.4	34.0	112.0	4519.1	54.0	25.8
11.06.1986.	Q090	K29	29.4	10.9	6.0	77.3	2022.0	24.3	37.1
05.05.1987.	Q093	K32	72.3	32.9	31.5	80.2	6093.7	30.7	45.6
20.05.1987.	Q094	K33	46.0	29.0	29.5	59.9	5373.4	36.5	63.2

HEC-HMS хидролошки модел

Софтверски пакет HEC-HMS намењен је моделирању отицаја са слива и веома је заступљен у хидролошком моделирању великих вода. У зависности од сложености модела и количине параметара добијају се поуздане и мање поуздане анализе великих вода. HEC-HMS омогућава израду модела епизода и континуалне хидролошке симулације. Ово својство HEC-HMS-а пружа велику флексибилност и омогућава да се структура модела прилагоди расположивим подацима и потребама (Todorović, Plavšić, 2013). Поред тога, омогућен је и развој хомогених, семи-дистрибутивних и дистрибутивних хидролошких модела. HEC-HMS модел генерално представља моделирање компоненти као што су: интерцепција, површинско задржавање воде, модел губитака (тј. раздвајање на отицај и инфилтрацију), трансформација ефективних падавина у површински отицај, базни отицај и пропација таласа у водотоцима (Feldman, 2000).

С обзиром на то да слив реке Обнице према величини припада мањим сливовима, са мањим варијацијама у намени и типовима земљишта (Ђukić, 2006), у овом раду усвојен је хомоген тип модела. Модел је развијен за моделирање отицаја од изолованих поплавних догађаја (модел епизода) и укључује моделирање процеса инфилтрације (губитака) и модел трансформације ефективне кише у директни отицај. У питању је модел епизода, па су интерцепција, површинско задржавање воде, топљење снега и евапотранспирација занемарени. Због великих надморских висина постоји могућност да пролећни поплавни таласи буду узроковани комбинацијом падавина и топљењем снега. Међутим, компонента снега је обично део континуалних модела и занемарује се код модела епизода. Претпоставља се да ће се присуство снега у сливу одразити на параметре модела губитака (почетни губитак I_a и број CN криве), тако да се у овом моделу епизода индиректно обрачунава и топљење снега.

Запремина отицаја (модел губитака) јес имулирана SCS методом. Ова метода је прилично једноставна и често се користи у пракси. Трансформација ефективне кише у директни отицај је симулирана Clark-овим и Snyder-овим јединичним хидрограмом. Обе методе пружају велику флексибилности једноставност примене (Feldman, 2000).

SCS методу за прорачун функције губитака је развила Америчка агенција Soil Conservation Service (SCS), која се ослања на претпоставку да је однос стварне висине ефективне кише P_e (тј. отицај) и потенцијалне ефективне кише $(P-I_a)$ једнак односу стварне количине воде упијене у земљиште након почетка отицаја F_a и максималног капацитета тла d (Chow *et al.*, 1988):

$$\frac{P_e}{P - I_a} = \frac{F_a}{d} \quad (1)$$

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (2)$$

$$I_a = \lambda \cdot d \quad (3)$$

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + d} = \frac{(P - I_a)^2}{P - (1 - \lambda) \cdot d} \quad (4)$$

$$d = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (5)$$

Вредност броја CN криве зависи од намене земљишта, типа земљишта и претходне влажности земљишта (Chow *et al.*, 1988). Почетни губитак (I_a) обично укључује интерцепцију, површинско задржавање воде и инфилтрацију кише пре формирања отицаја. Процењује се као део максималног капацитета тла (3). CN вредности за просечне претходне услове, које се обично наводе у литератури, односе се на λ вредности од 0.2 (Woodward *et al.*, 2003). Међутим, треба напоменути да литература предлаже да се вредност параметра λ треба проценити из осматрених падавина и отицаја, ако су доступни (Walega, Rutkowska *et al.*, 2015, Petroselli *et al.*, 2013). SCS метода у НЕС-НМС-у укључује следеће параметре: почетни губитак I_a (mm), број CN криве (-) и удео непропусних површина на сливу (*Impervious* (%)). Ако није специфицирано, почетни губитак (у милиметрима) се аутоматски рачуна из вредности CN броја, са вредношћу λ од 0.2 (Feldman, 2000).

Метода Clark-овог јединичног хидрограма симулира транслацију отицаја до излазног профила слива помоћу криве време-површина, а ублажење отицаја се симулира методом линеарног резервоара, која укључује једначину континуитета (6) и једначину линеарног резервоара (7) (Feldman, 2000).

$$\frac{dV(t)}{dt} = U(t) - I(t) \quad (6)$$

$$V(t) = R \cdot U(t) \quad (7)$$

где је: $U(t)$ доток у резервоар у тренутку t , $I(t)$ излаз из резервоара у тренутку t , $V(t)$ запремина у резервоару у тренутку t и R константа линеарног резервоара, која је и параметар модела. Clark-ова метода у НЕС-НМС-у захтева два параметра: време концентрације, t_c (h), и константу линеарног резервоара, R (h) (Feldman, 2000). Почетне вредности t_c и R , које су коришћене као оријентационе вредности на почетку калибрације, одређене су помоћу емпиријских израза Kirpich-a (1940) и Clark-a:

$$t_c = 0.0663 \cdot \frac{L^{0.7}}{S^{0.385}} \quad (8)$$

$$R = \frac{\alpha L}{\sqrt{S}} \quad (9)$$

где је L дужина тока у km, S нагиб слива и α коефицијент (вредности варирају од 0.4 до 1.4 (Kanak *et al.*, 2015).

Snyder је 1938. године први развио методу јединичног хидрограма и успоставио везу између параметара јединичног хидрограма и карактеристика слива. На основу његовог истраживања, основне карактеристике јединичног хидрограма су: време кашњења t_p , вршни проток (пик хидрограма) Q_p и база хидрограма (укупно време) T_b . На основу података на изученом сливу, Snyder је одредио параметре јединичног хидрограма и њихову релацију са карактеристикама слива које је могуће измерити (Feldman, 2000). Време кашњења представља растојање између тежишта хијетограма ефективне кише и максималне ординате јединичног хидрограма и према Snyder-у t_p се одређује:

$$t_p = 0.75 \cdot C_t \cdot (L \cdot L_c)^{0.3} \quad (10)$$

где је C_t коефицијент одређен регионалном анализом јединичног хидрограма и углавном узима вредности од 1.8 до 2.2, L је дужина главног тока водотока (у km), мери се од излазног профила слива по главном току до извора, L_c дужина главног тока до тежишта слива (у km), мери се од излазног профила слива до тачке на главном току која је најближа тежишту слива (Feldman, 2000).

Максимална вредност јединичног хидрограма (пик хидрограма) Q_p се рачуна на следећи начин:

$$Q_p = \frac{2.75 \cdot C_p \cdot A}{t_p} \quad (11)$$

где је C_p коефицијент пика отицаја (веће вредности C_p подразумевају ниже вредности C_t), A је површина слива у km² (Feldman, 2000). У НЕС-HMS-у метода Snyder-овог јединичног хидрограма захтева два параметра: време кашњења t_p (h) и коефицијент пика хидрограма C_p (-) (Feldman, 2000).

Калибрација и валидација модела

За димензионисање бројних објеката, односно за дефинисање њихове пропусне моћи, као меродавне вредности узимају се врх поплавног таласа (максимални протицај), трајање и време појаве максималног протока, као запремина таласа. У складу са тим формирана је група од четири таласа за калибрацију, а преостали таласи су коришћени за валидацију модела (табела 2).

Табела 2. Групе таласа за калибрацију и верификацију
Table 2. Calibration and validation groups of flood events

Калибрација Шифра таласа/киша	Валидација Шифра таласа/киша
Q086 / K27 Q087 / K28 Q093 / K32 Q094 / K33	Q059 / K06 Q0692 / K152 Q070 / K16 Q075 / K18 Q090 / K29

Поступак калибрације обухвата подешавање вредности параметара за сваку епизоду посебно, како би се постигла највећа могућа ефикасност у складу са одабраним мерама перформанси које су наведене у наставку. Параметри су подешавани ручно („trial-and-error“), а да су при томе приближно подједнако задовољени услови физичке оправданости вредности параметара и ефикасности модела у репродуковању осмотрених хидрограма. Оптимална група параметара је одређена осредњавањем вредности параметара модела за епизоде које припадају групи таласа за калибрацију.

Калибрацијом се добијају јединствени скупови параметара за оба типа модела. За модел са Clark-овим јединичним хидрограмом скуп параметара чине: хидролошки број CN (/), време концентрације t_c (h) и константа линеарног резервоара R (h). Скуп параметара за модел са Snyder-овим јединичним хидрограмом чине: хидролошки број CN (/), време кашњења t_c (h) и коефицијент пика хидрограма C_p (-). Почетни губитак I_a (mm) се мења од епизоде до епизоде због различитих претходних услова на сливу и не спада у коначан скуп параметара. Овај параметар се посебно одређује за сваку од епизода. Удео непропусних површина је занемарљив, јер је у питању руралан слив.

Ефикасност модела представљена је помоћу Nash-Sutcliffe коефицијента NS (12), грешке у пик хидрограма ε_p (13), грешке у запремини отицаја ε_v (14), грешке у времену појаве пика хидрограма ε_t (15), коефицијента детерминације R^2 (16) и коефицијента корелације r (17). Коефицијент детерминације показује колики је проценат варијабилитета моделираних протока објашњено варијабилитетом осмотрених протока. Коефицијентом корелације r одређује се јачина везе између осмотрених и моделираних вредности протока. Ови показатељи квалитета модела су одабрани да би се квантификовали различити аспекти квалитета модела, као што су динамика и запремина отицаја. На основу њих се процењује који од модела је прикладнији за симулације великих вода на сливу реке Обнице. Вредности NS , ε_p , ε_v , ε_t , R^2 и r се рачунају према следећим изразима:

$$NS = 1 - \frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (Q_{sim,i} - Q_{osm,i})^2}{\sigma_{osm}^2} \quad (-) \quad (12)$$

$$\varepsilon_p = \frac{Q_{sim} - Q_{osm}}{Q_{osm}} \cdot 100\% \quad (13)$$

$$\varepsilon_v = \frac{V_{sim} - V_{osm}}{V_{osm}} \cdot 100\% \quad (14)$$

$$\varepsilon_t = t_{sim} - t_{osm} (h) \quad (15)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{osm,i} - \bar{Q}_{osm}) (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_{osm,i} - \bar{Q}_{osm})^2 \sum_{i=1}^N (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})^2}} \right]^2 \quad (16)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{osm,i} - \bar{Q}_{osm}) (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_{osm,i} - \bar{Q}_{osm})^2 \sum_{i=1}^N (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})^2}} \quad (17)$$

где је: N – број података у низу, Q_{sim} (m^3/s) – симулирани протицај, Q_{osm} (m^3/s) – осмотрени проток, σ_{osm} – стандардна девијација осмотрених протока, t_{sim} – време јављања максималног симулираног протока, t_{osm} – време јављања максималног осмотреног протока, V_{sim} – запремина симулираног хидрограма и V_{osm} – запремина осмотреног хидрограма. Вредности које узима Nash-Sutcliffe су од 1 до $-\infty$: 1 подразумева идеално слагање, док вредности мање од 0 указују да је модел неприхватљиво лош. Вредности коефицијента корелације r се крећу од -1 до 1 и што је његова вредност ближа граничним вредностима (-1 или 1), јача је веза између симулираних и осмотрених протока.

Валидација модела обухвата симулације модела са оптималним скупом параметара на групи таласа за валидацију. С обзиром да се ради о великим водама, вредност почетног губитка је 0 mm, тј. Узимају се влажнији услови који обезбеђују већу количину отицаја. Квалитет модела, као и при калибрацији, одређује се на основу поменутих показатеља.

Резултати и дискусија

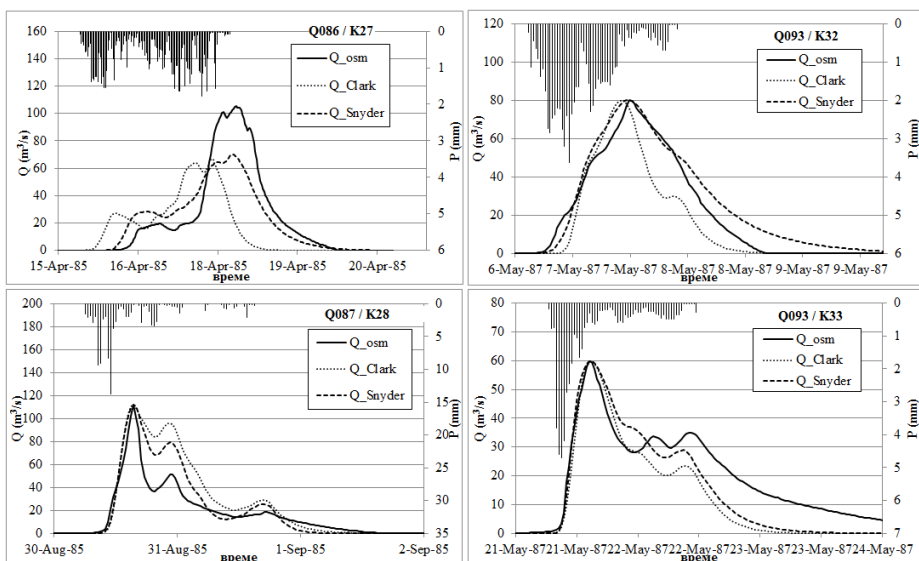
У наставку су представљени резултати рада. Прво су приказани резултати калибрације оба модела, а затим и резултати валидације истих модела с циљем да се увиди који модел за симулацију директног отицаја има боље перформансе.

Калибрација модела

У оквиру табеле 3. приказане су вредности параметара модела, за сваки од таласа посебно и њихове просечне (коначне) вредности. Резултати показују да су вредности оптимизованих параметара (табела 3) физички оправдане, тј. одговарају природним условима на сливу. CN вредности за оба модела су веће него што је уобичајено за руралне сливове, а то се оправдава већ наведеном претпоставком о утицају снега који је присутан на сливу током пролетњих таласа (таласи из групе за калибрацију су из пролећног периода). Разлика између усвојених параметара за модел губитака је мала, што је и очекивано с обзиром да се ради о истом сливном подручју. Према томе, намена и тип земљишта су исти, а вредности CN броја указују да су и услови влажности приближно једнаки. Вредности CN -а од 78.45 и 80.7 одговарају условима између просечне и велике влажности (Петровић, 1996). С обзиром на то да су вредности параметара за модел губитака приближно једнаке, лакше је идентификовати који од модела директног отицаја обезбеђује боље перформансе модела. То ће се најлакше увидети на основу показатеља

квалитета модела (табела 4) и визуелном инспекцијом на приказаним графицима (слике 2 и 3).

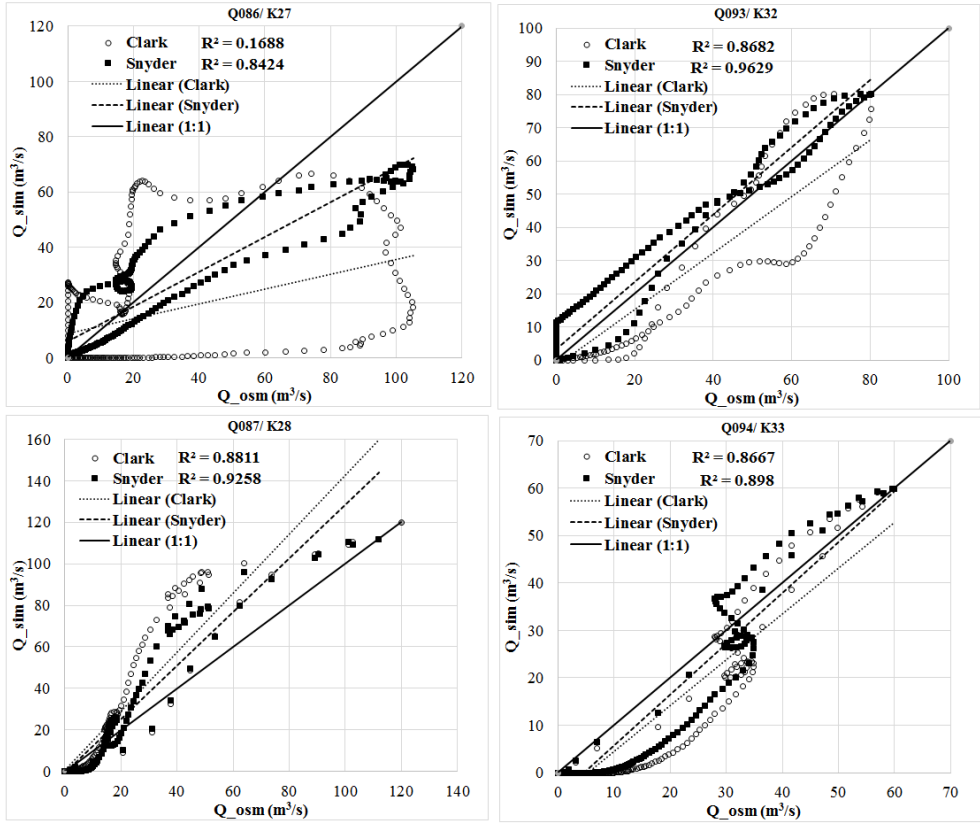
Као што се може и приметити (слика 2), модели реагују различито од епизоде до епизоде. Види се да оба модела имају најбоље оцене за талас Q093 / K32 (слика 2 и табела 4). Од свих параметара обе верзије модела најлошије симулирају запремину отицаја, а са друге стране може се приметити да су код три од четири таласа максималне вредности хидрограма тачно симулиране. Вредности коефицијента корелације већином су изнад 0.90, што показује да постоји јака веза између моделираних и осмотрених протока.



Слика 2. Моделирани и осмотрени хидрограми – калибрација
Figure 2. Modeled vs. observed hydrographs – calibration

Табела 3. Оптимизоване вредности параметара модела – калибрација
Table 3. Optimised model parameters – calibration

Полавни талас	Модел губитака – SCS метода		Модел директног отицаја – Clark-ов j.x		Модел губитака – SCS метода		Модел директног отицаја – Snyder-ов j.x	
	I_a (mm)	CN (-)	t_c (h)	R (h)	I_a (mm)	CN (-)	t_p (h)	C_p (-)
Q086 / K27	0	78.45	4.8	4	0	87	5.1	0.4
Q087 / K28	22.9	78.45	4.8	4	20.55	70	4.5	0.8
Q093 / K32	16.7	78.45	4.8	4	0	81.05	6	0.4
Q094 / K33	0	78.45	4.8	4	1.7	84.7	3.2	0.4
PROSEK	9.9	78.45	4.8	4	5.56	80.70	4.7	0.5



Слика 3. Поређење осмотрених и моделираних протока – калибрација
Figure 3. Comparison of the modeled and observed hydrographs – calibration

На слици 3 приказани су осмотрени наспрам моделираних протока, као и њихови коефицијенти детерминације. Коефицијенти детерминације за оба модела већином износе од 0.84 – 0.96. То значи да је промена моделираних протока у просеку 90 % одређена променама осмотрених протока и представља позитивну оцену за оба модела. Вредности NS-а су позитивне и различите од нуле и према овом показатељу модели су прихватљиви. Међутим, свака вредност NS-а испод 0.5 за модел епизода је незадовољавајућа. Када упоредимо моделе према њиховим перформансама током калибрације, оба модела су пружила задовољавајуће резултате. Међутим, просечне вредности оцена ипак указују да модел са Snyder-овим j.x. има мало боље перформансе, него модел са Clark-овим j.x..

Табела 4. Показатељи квалитета модела током калибрације
Table 4. Model performance over the calibration

Поплавни талас	Модел директног отицаја	NS (-)	ε_p (%)	ε_V (%)	ε_t (h)	r (-)
Q086 / K27	Clark-ов j.x.	0.616	-36.7	-37.8	-2	0.41
	Snyder-ов j.x.	0.80	-33.46	-12.58	-1.5	0.92
Q087 / K28	Clark-ов j.x.	0.481	0	48.71	0	0.94
	Snyder-ов j.x.	0.767	0	22.68	0	0.96
Q093 / K32	Clark-ов j.x.	0.837	0	-25.2	-1.5	0.93
	Snyder-ов j.x.	0.941	0	20.07	0	0.98
Q094 / K33	Clark-ов j.x.	0.716	0	-36.6	0	0.93
	Snyder-ов j.x.	0.801	0	-25.16	+0.5	0.95
PROSEK	Clark-ов j.x.	0.663	-9.18	-12.72	-0.875	0.80
	Snyder-ов j.x.	0.827	-8.37	1.25	-0.25	0.95

Валидација модела

На сликама 4 и 5, као и у табели 5 приказани су резултати валидације формираних модела. Примећује се да су код већине таласа пик и запремина хидрограма прецењени у односу на осмотрене податке. С обзиром да је у питању модел великих вода, ово се може посматрати као позитивна оцена модела. Према NS-у талас Q075 / K18 се издваја и указује да је модел неприхватљив. Међутим, у овом случају види се да су узлазна грана, пик и део рецесионе гране хидрограма доста добро симулирани, а да је други део хидрограма нешто лошије симулиран (слика 4). Према томе, при доношењу коначне оцене квалитета модела треба узети у обзир и остале показатеље квалитета модела, као што је визуелна инспекција. Резултати симулација преостала четири таласа показују да је модел прихватљив. Што се тиче осталих показатеља ефикасности модела, вредности су нешто неповољније него у процесу калибрације, што је и очекивано. Међутим, коефицијент корелације (табела 5) и коефицијент детерминације (слика 5) и даље показују да постоји јака корелација између осмотрених и симулираних протока, као и да је велики део варијансе моделираних протока одређен помоћу осмотрених протока. Најзад, када упоредимо просечне вредности оцена за сваки од модела примећује се да у овом случају Clark-ов модел даје за нијансу боље перформансе модела.

Табела 5. Показатељи квалитета модела током валидације
Table 5. Model performance over the validation

Поплавни талас	Модел директног отицаја	NS (-)	ε_p (%)	ε_V (%)	ε_t (h)	r (-)
Q090 / K29	Clark-ов j.x.	0.882	-19.8	-20.1	+1	0.95
	Snyder-ов j.x.	0.758	-54	-12.17	+1.5	0.88
Q059 / K06	Clark-ов j.x.	0.672	50.1	23.9	+0.5	0.97
	Snyder-ов j.x.	0.805	27.52	45.7	+1	0.99
Q070 / K16	Clark-ов j.x.	0.761	18.1	2.65	+1	0.94
	Snyder-ов j.x.	0.78	1.85	13.88	+2	0.92
Q075 / K18	Clark-ов j.x.	-0.618	51.5	78.6	+16	0.84
	Snyder-ов j.x.	-0.892	46.78	95.71	+16.5	0.80
Q0692 / K152	Clark-ов j.x.	0.529	65.1	10.9	0	0.94
	Snyder-ов j.x.	0.745	45.64	22.95	0.5	0.98
PROSEK	Clark-ов j.x.	0.445	33.0	19.19	+3.7	0.93
	Snyder-ов j.x.	0.439	13.6	33.21	+4.3	0.92

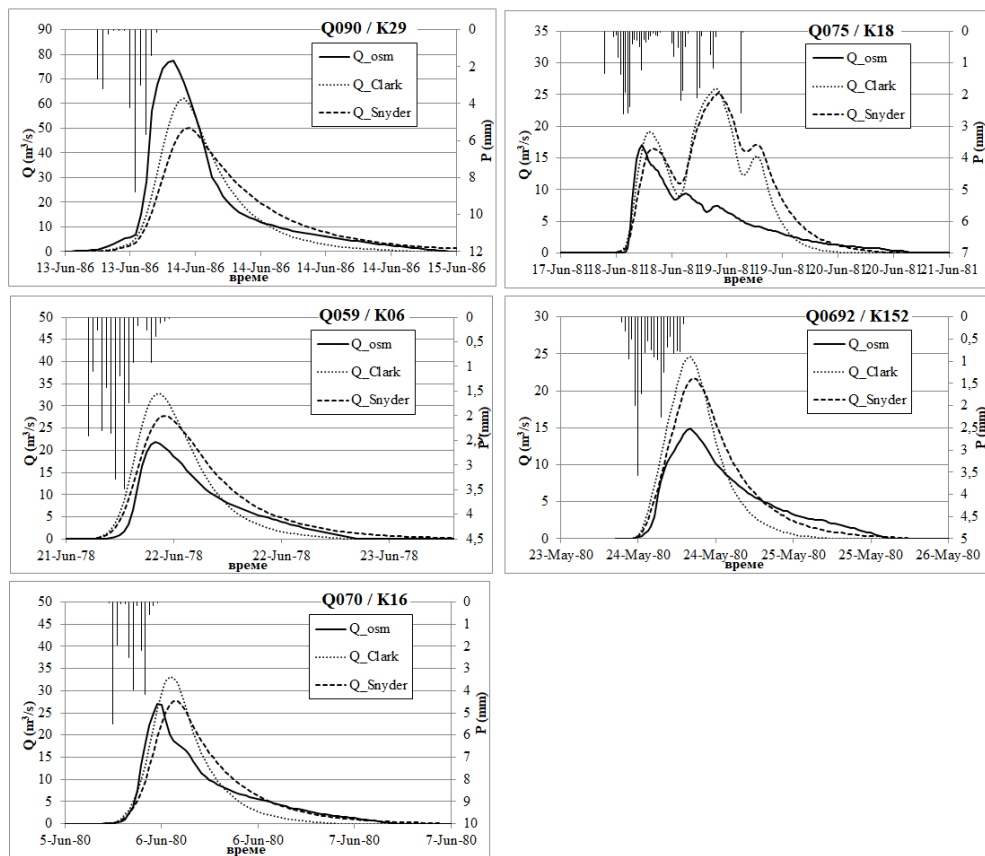
Закључак

У раду су формирана два модела за анализу великих вода на сливу реке Обнице, помоћу програмског пакета HEC-HMS. Анализирани модели се разликују по методама за трансформацију ефективне кише у површински отицај. На основу опажених података о великим водама на сливу, урађена је калибрација и валидација модела. Усвојени су хомогени модели са малим бројем параметара.

Лоше оцене модела при неким симулацијама се огледају у томе да су мерења падавина преузета са кишомерних станица које се не налазе на сливу (Petrović, 1996) и да се при формирању модела користе многе претпоставке. Неке од станица су чак и знатно удаљене од слива, па се на резултатима калибрације и валидације види утицај просторне распоређености падавина, која је овде занемарена. Претпоставља се да велики утицај на перформансе модела имају различити хидролошки одзиви током валидационих калибрационих симулација. То значи да један скуп параметара не може да обезбеди високу ефикасност модела током различитих услова на сливу. У анализи великих вода веома је важан начин бирања таласа за калибрацију и валидацију. Начин на који су овде формиране групе за калибрацију и валидацију модела се није показао као најповољнији.

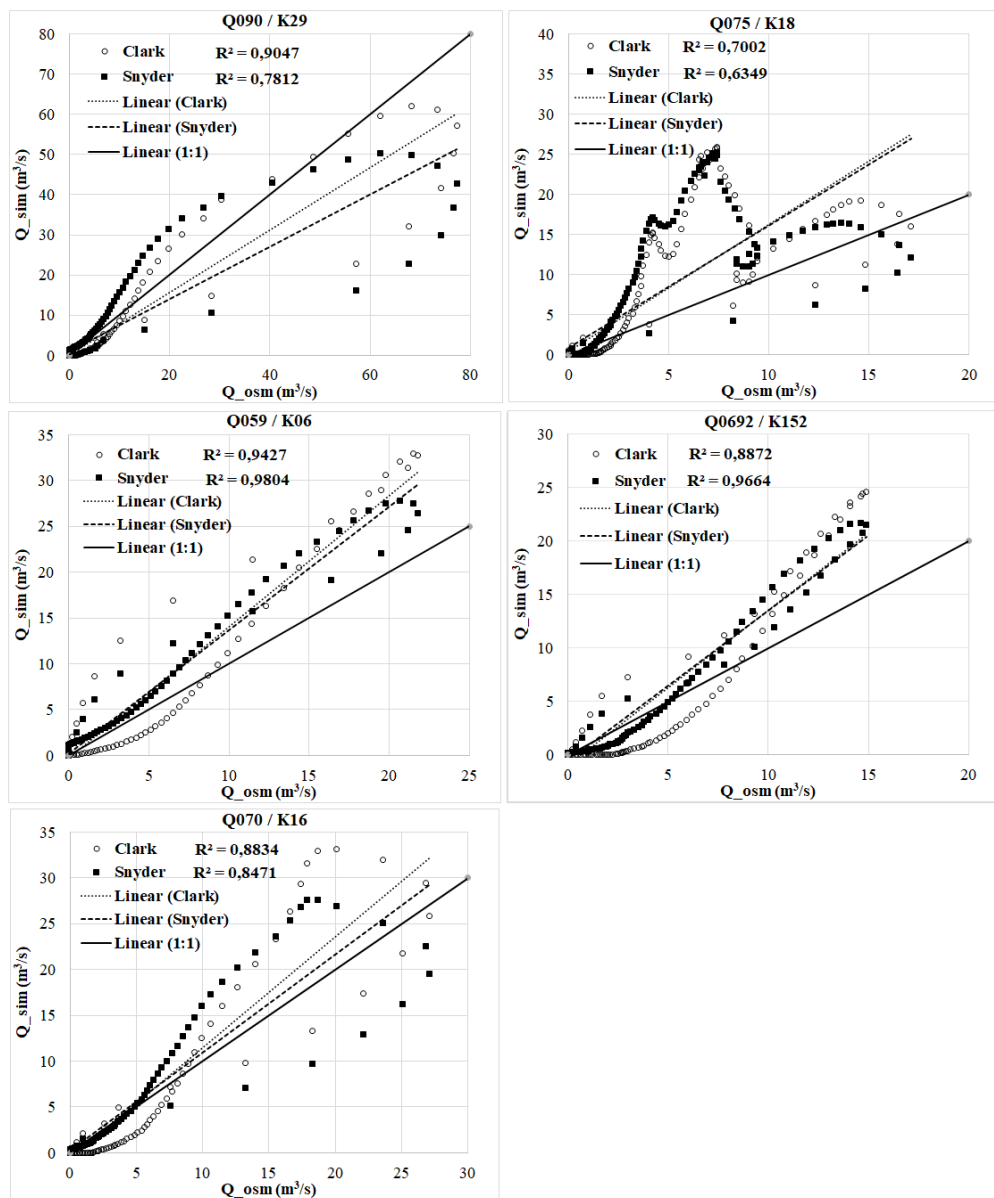
Неизвесност у хидролошким и метеоролошким подацима, као и недовољно дуг низ података за калибрацију хидролошког модела имају велики утицај првенствено на структуру модела, а онда и на резултате и примену модела. У поређењу са резултатима у литератури (Plić *et al.*, 2018) примећује се да се за исти слив и исту методу јединичног хидрограма, али са другим таласима великих вода, добијају различите вредности параметара модела слива. Поред тога, ефикасност модела овде и у литератури (Plić *et al.*, 2018) је приближно једнака. Ово указује на велики проблем модела епизода, где је за различите вредности параметара могуће добити једнаку ефикасност модела (Beven, 2003).

Током поставке модела тешко је одабрати и утврдити који показатељи квалитета модела су најпоузданији и најрелевантнији. Показало се више пута да су поред нумеричких показатеља квалитета модела, визуелна инспекција и претходно искуство веома корисни и неопходни при формирању коначне оцене модела. Према резултатима, показатељи ефикасности модела су мешовити, од добрих до неприхватљиво лоших. Snyder-ов j.x се показао ефективнији у току калибрације, а Clark-ов j.x. током валидације. У току калибрације су коришћени таласи са већим пиком и запремином хидрограма, а за валидацију су коришћени таласи са мањим пиком и запремином отицаја. На основу тога Snyder-ов j.x. показује боља слагања када су у питању већи протоци и запремине, док Clark-ов j.x. је прикладнији за таласе са мањом запремином и протоцима.



Слика 4. Моделирани и осмотрени хидрограми – валидација
Figure 4. Modeled vs. observed hydrographs – validation

За будућа истраживања важно је унапредити и развити мрежу мерних станица падавина и отицаја на сливу, као и других метеоролошких величина. На тај начин би се обезбедио већи број таласа, са сличним карактеристикама, а са тим поузданије и боље процене ефикасности модела јединичног хидрограма. Препоручује се испитивање других приступа при одабиру таласа за калибрацију и валидацију, а поред тога корисно би било испитати и како други начини калибрације, као што је на пример аутоматска калибрација, утичу на ефикасност модела.



Слика 5. Поређење осмотрених и моделираних протока – валидација
Figure 5. Comparison of the modeled and observed hydrographs – validation

Литература

(2016): Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ AD, Studija unapređenja zaštite od voda u slivu reke Kolubare, Beograd

(2017): Institut za šumarstvo, Studija ugroženosti puteva I i II reda od pojave poplava i bujičnih tokova u slivu Kolubare, Beograd

Adib A., Salarijazi M., Shooshtari M. M., Akhondali A. M. (2011): Comparison between characteristics of Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph be produced by GcIUH based Clark model and Clark UIH model, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 19, No. 2, pp. (201-209)

Beven, K. J. (2003): Rainfall - Runoff Modelling The Primer. Chichester, England: John Wiley & Sons.

Chow V. Te, Maidment D. R., Mays L. W. (1988): Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Company

Đukić V. (2006): Matematičko modeliranje oticaja podzemnih voda sliva reke Kolubare, Vodoprivreda, 38 pp. (265-280)

Feldman, A. D. (2000): Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center

Ilić A., Plavšić J., Radivojević D. (2018): Rainfall-Runoff simulations dor design flood estimation in small river catchements, Facta Universitatis, pp. (29-43)

Jovanović S., Radić Z. (1990): Parametarska hidrologija, Građevinski fakultet u Beogradu

Kanak K. K., Sung-Kee Y., Jun-Ho Lee. (2015): Assessing Unit Hydrograph Parameters and Peak Runoff Responses from Storm Rainfall Events, A Case Study in Hancheon Basin of Jeju Island, Journal of Environmental Science International, pp. (437-447)

King K. W., Arnold J. G., Bingner R. L. (1999): Comparison of Green-Ampt and Curve Number methods on Goodwin Creek Watershed using SWAT, Vol. 42, pp. (919-925)

Petroselli A., Grimaldi S., Romano N. (2013): Curve-Number/Green-Ampt mixed procedure for net rainfall estimation: A case study of the Mignone watershed, IT., Procedia Environmental Sciences 19, pp. (113-121)

Petrović, J. (1996): Uperedna analiza maksimalnih proticaja na malim rekama metodama parametarske i statističke hidrologije, magistaski rad, Beograd

Plavšić J., Zlatanović N. and Todorović A. (2019): Design storm duration for estimation of floods in ungauged basins, 7th Int. Conf. Contemporary achievements in civil engineering 23-24. April 2019. Subotica

Todorović, A., Plavšić, J. (2013): Analiza mogućnosti primene modela HEC-HMS za kontinualne hidrološke simulacije, seminarski rad iz predmeta Deterministički hidrološki modeli, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Walega A., Grzebinoga M., Paluszkiewicz B. (2011): On using the Snyder and Clark Unit

Hydrograph for calculations of flood waves in a highland catchment (The Grabinka River example), *Acta Scientiarum Polonorum, Formation Circumiectus* 10 (2), pp. (47-56)

Walega A., Rutkowska A. (2015): Usefulness of the Modified NRCS-CN method for the Assessment of Direct Runoff in a Mountain Catchment, *Acta Geophysica* vol. 63, pp. (1423-1446)

Woodward D. E., Hawkins R. H., Hjelmfelt A. T. J., Quan, Q. D. (2003): Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction Ratio, *World Water & Environmental Resources Congress 2003*, P. Bizier, and P. DeBarry, eds., ASCE, Philadelphia, Pennsylvania, pp. (1-10)

Ratknić Mihailo, Braunović Sonja, Miletić Zoran, Ratknić Tatjana, Hadrović Sabahudin¹

HUMAN IMPACT IN THE CATCHMENT AREA OF THE ŽUKOVSKA RIVER

АНТРОПОГЕНИ УТИЦАЈ У СЛИВУ ЖУКОВСКЕ РЕКЕ

Institute of Forestry, Belgrade, Serbia

Abstract: The results of a comparative study of the changes in land use, population, number of households and population density, erosion control works and the intensity of erosion processes in the period from 1955 to 2016 confirm that besides the natural resources of the catchment area, the human factor is the main cause of the change in the intensity of erosion processes.

Keywords: human impact, intensity of erosion, erosion potential model (EPM), erosion control works, The Žukovska River catchment area, eastern Serbia

Анстракт: Резултати компаративне анализе промена начина коришћења земљишта, броја становника, домаћинстава и густине насељености, изведених противерозионих радова и интензитета ерозионих процеса у периоду 1955. - 2016. године потврђују да је антропогени фактор, уз природне предиспозиције слива, основни узрок настанка и промене интензитета ерозионих процеса.

Кључне речи: антропогени утицај, интензитет ерозије, Метод Потенцијала Ерозије, противерозиони радови, слив Жуковске реке, источна Србија

Introduction

The interaction of climate, heterogeneous geological composition, topography, aspect, different quality of forest ecosystems, as well as the adverse effects of human activity have caused the development of intensive erosion processes and frequent torrential floods in the catchment area of the Žukovska River. Inadequate land use has further contributed to the development of erosion processes (Braunović, Ratknić, 2012). Human activity in agriculture and forestry has had harmful effects on the vegetation cover, soil structure and stability and thus intensified the erosion. Because of the strong human impact, the rapid erosion is rightly said to be of anthropogenic origin.

Human migration in the catchment area of the Žukovska River has been caused by historical and economic factors: old people stay in the villages and they are engaged in agriculture, while young people leave their homes in search for existence in the industry and other economic activities. The villages have been sparsely populated, with the average population age around 70 years.

Material and methods

The map of land use and the map of erosion for the period before the erosion control works were performed (in 1955) were created on the basis of the existing technical documentation and the map of erosion from that period (Bilibajkić, 2012). The erosion coefficients were calculated after prof. Gavrilović's methodology for both periods (Gavrilović, 1972). The field maps of

¹ Кнеза Вишеслава 3, 11030 Београд; mihailoratknic@yahoo.com

the processes of excessive and severe erosion, satellite images and thematic (topographic, geological, soil, land use, erosion, etc.) maps, as well as the climate characteristics and the distribution of vegetation were used to determine the erosion coefficient (Z) for each of the determined homogeneous plots.

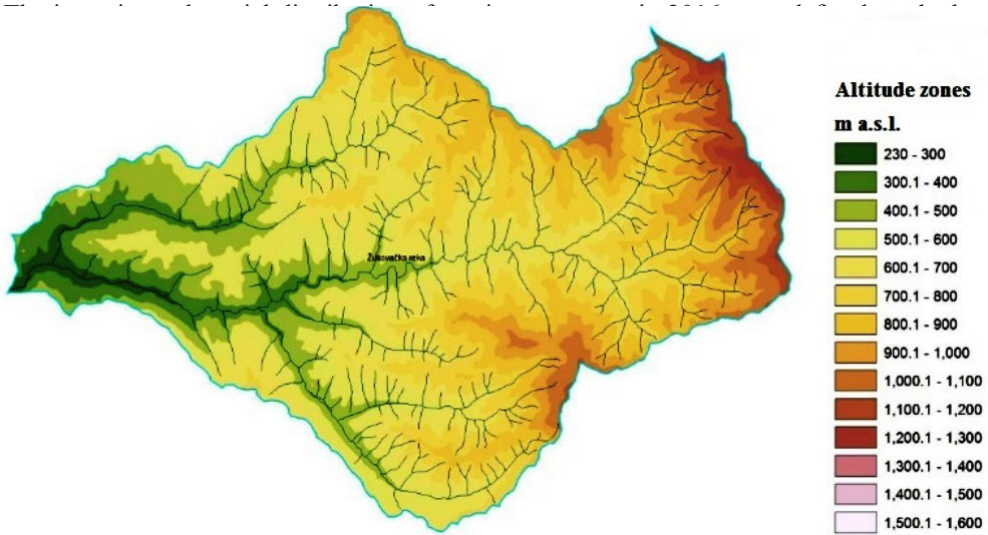


Figure 1. Altitude zones in the catchment area of the Žukovska River
Слика 1. Висинске зоне у сливу Жуковске реке

Table 1. Overview of the area by the altitude zones of the catchment area
Tabela 1. Преглед површина према висинским зонама у сливу

Area	Altitude zones (m a.s.l)				
	Hilly terrain		Low-mountainous terrain		Medium to high mountainous terrain
	below 300	300-500	500-700	700-1000	above 1000
k ^m 2	1.42	18.73	37.10	39.50	7.71
%	1.4	17.9	35.5	37.8	7.4

The share of soil types and their spatial distribution are shown in Table 2. The most frequently occurring soil type is brown soil: on shallow gabar (53.97%), on phyllite and shale (12.13%) and on mica shist and gneiss (11.39%), etc.

Table 2. Distribution of the soil types in the catchment area of the Žukovska River
Табела 2. Заступљеност типова земљишта у сливу Жуковске реке

Soil type	Share (%)
Brown soil on shallow gabar	53.97
Brown acid soil on phyllite and shale	12.13
Brown acid soil on mica schist and gneiss	11.39
Brownised rendzina on hard skeletal limestone	11.05
Brown acid soil on the Miocene sands and clays	3.13
Rocky limestone	2.86
Ranker on gneiss	2.36
Brown acid soil on sandstone	1.24
Brown soil on gabar and flysch; Brown acid soil on granite; Brown forest soil; Alluvial sandy non-calcareous sediment	<1.00

The bedrock of the catchment area is composed of limestone, sandstone, green rocks and green schist, gabar and granite. The spatial distribution of the bedrock and the shares of different geological formations are shown in Table 3.

Table 3. Geology of the catchment area of the Žukovska River
Табела 3. Геолошки састав слива Жуковске реке

Bedrock	Share (%)
Pyroxene medium-grained gabar (a); pyroxene gabar (b)	46.21
Microgabar	11.78
Layered and thick-bedded limestone and dolomite (Valanginian and Hauterivian)	11.08
Limestone, argillaceous limestone, shale (Lower Urgonian facies)	7.64
Conglomerates, sandstones, sands; limestone (a)	4.29
Sandstones, shale, limestone (Upper Urgonian facies)	4.27
Biotite-amphibole and amphibole-biotite gneisses	3.31
Granodiorite-porphyrite of Aldinac	1.22
The lower river terrace	1.18
Green rocks and green schists	1.08
Amphibolites and amphibole schist; gabro-porphyrites; sandstones, marls, chert, shale; migmatites <i>etc.</i>	< 1.0

The vegetation cover is mainly composed of oak forests, beech and hornbeam forests, introduced Austrian pine and locust forests, meadows, pastures and agricultural fields.

Table 4. Land use in the catchment area in 1955 and 2016
Табела 4. Начин коришћења земљишта у сливу 1955. и 2016. године

Land use	in 1955		in 2016	
	Area			
	(km ²)	Share in %	(km ²)	Share in %
Bare land	34.74	33.26	1.82	1.74
Forests	30.55	29.25	51.41	49.22
Scrubs	6.58	6.30	0.41	0.40
Arable fields	19.12	18.30	0.79	0.75
Meadows and pastures	12.64	12.10	47.34	45.32
Vineyards	0.31	0.30	0.31	0.30
Orchards	0.52	0.50	0.13	0.12
Human settlements	-	-	2.24	2.15
	104.46	100.00	104.46	100.00

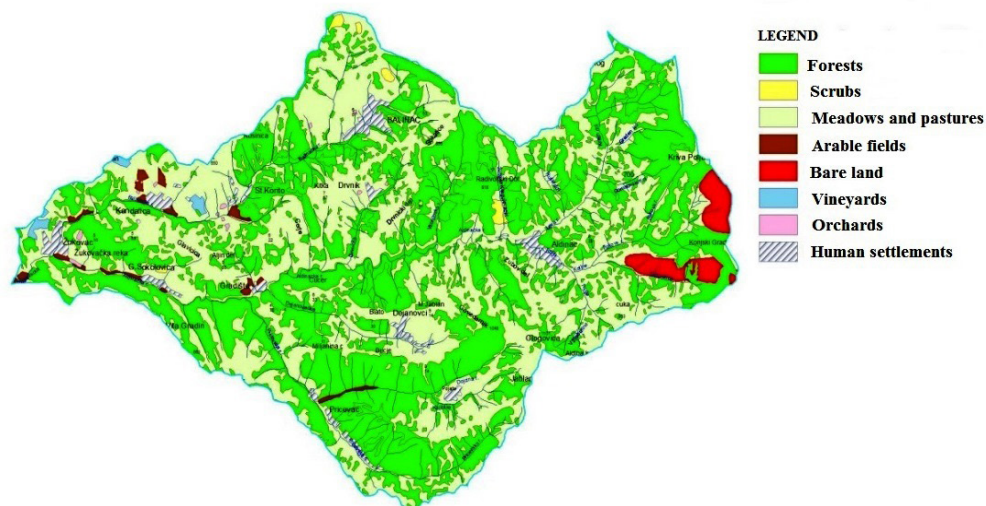


Figure 2. Map of land use in the catchment area in 2016

Слика 2. Карта начина коришћења земљишта у сливу 2016. године

According to data from 1955, barren land occupied 33.26%, forests 29.25%, arable fields 18.30% and meadows and pastures 12.10% of the catchment area. In 2016, forests covered 49.22%, meadows and pastures 45.32%, arable fields 0.75%, vineyards 0.30%, orchards 0.12%, bare land 1.74% and human settlements 2.15% of the total area (Table 4; Figure 2).

Compared to the land use in 1955, the share of forests increased from 29.25% to 49.22%, and the share of barrens decreased from 33.26% to 1.74% of the total catchment area.

According to CORINE methodology (Table 5), the share of forested area increased to 70.54% (by 41.29% compared to 1955).

Table 5. Land use in the catchment area of the Žukovska River – CORINE

Табела 5. Начин коришћења земљишта у сливу Жуковске реке

CORINE category	Area (km ²)	Share in %
2.4.2. The complex of cultivated plots	2.82	2.70
2.4.3. Predominantly agricultural land with larger areas of natural vegetation	14.79	14.16
3.1.1. Deciduous forests	50.55	48.39
3.1.2. Coniferous forests	13.10	12.54
3.1.3. Mixed forests	1.18	9.61
3.2.1. Grassland	11.99	1.13
3.2.4. Transitional area between forests and underbrush	10.04	11.47
Total	104.46	100.00

The catchment area of the Žukovska River stretches in 10 cadastral municipalities (Figures 3), at the altitude of 302 (CM Žukovac) to 694 m (CM Balinac and CM Drvnik). The population of the catchment area decreased almost 17 times in the period from 1948 to 2011 (see Table 6, Figure 4).



Figure 3. Cadastral municipalities in the catchment area
Слика 3. Катастарске општине у сливу

Table 6. Population by census years
Табела 6. Број становника према пописним годинама

Cadastral municipality	Altitude m a.s.l.	Population by census years								Reduction 1953-2011 (%)
		1948	1953	1961	1971	1981	1991	2002	2011	
Štrbac	246	741	719	622	582	453	379	246	153	78.7
Žukovac	302	427	419	349	280	216	169	114	63	85.0
Kandalica	394	256	251	223	174	129	88	52	25	90.0
Gradište	501	189	184	162	128	73	37	31	22	88.0
Vidovac	502	228	230	207	150	116	73	45	23	90.0
Staro Korito	587	287	280	250	173	128	78	51	23	91.8
Pričevac	605	418	426	374	282	163	96	54	25	94.1
Aldinac	693	847	744	611	391	151	75	26	16	97.8
Dejanovac	693	492	466	392	262	106	51	27	15	96.8
Balinac	694	556	493	400	287	126	61	39	19	96.1
Drvnik	694	259	199	180	149	76	37	15	7	96.5
Total		4700	4411	3770	2858	1737	1144	700	391	91.1

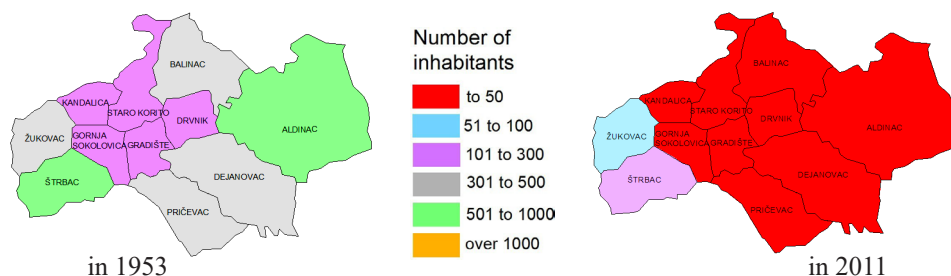


Figure 4. The change in the population of the catchment according to census years
Слика 4. Промена броја становника у сливу према пописним годинама

The largest population reduction in the study period was in the cadastral municipalities above 500 m a.s.l. All the cadastral municipalities in the catchment area had a marked reduction in the number of households and the average number of household members (2014). Population density decreased from 44.9 inhabitants/km² in 1948 to 3.74 inhabitants/km² in 2011.

The analyzed demographic and socio-economic changes in the researched area have affected indirectly to the regeneration of natural ecosystems (Braunović, Ratknić, 2011).

Excessive erosion processes were the most dominant in the catchment area in 1955 (77.28% of the total area). The processes of severe erosion accounted for 18.34%, moderate for 3.98% and very weak for 0.4% of the catchment area (Table 7, Figure 5). The erosion coefficient was $Z = 1.14$ (Bilibajkić, 2012).

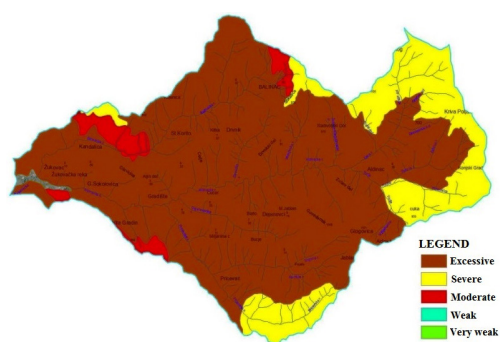


Figure 5. Map of the erosion in 1955
Слика 5. Карта ерозије 1955. године

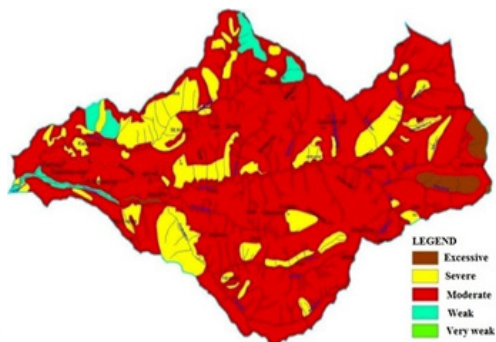


Figure 6. Map of the erosion in 2016
Слика 6. Карта ерозије 2016. године

Source: Bilibajkić, 2012

The intensity of erosion was reduced by 2016. Moderate erosion affected the big part of the catchment area (79.67%), followed by excessive erosion processes which affected 1.97%, while severe erosion accounted for 15.74% and weak for 2.62% of the catchment area.

The areas affected by excessive erosion decreased by 35.31%, and the areas under moderate erosion increased by 75.69%. The coefficient of erosion was $Z = 0.61$, which means that the catchment area was dominated by the erosion processes of destructiveness category III, *i.e.* the erosion processes of moderate intensity (Table 7, Figure 6).

Table 7. Mean erosion coefficients (Z_{mean}) in 1955 and 2016
Табела 7. Средња вредност коефицијента ерозије (Z_{cp}) 1955. и 2016. године

Erosion category	in 1955			in 2016		
	Z_{mean}	Area (km ²)	Share in %	Z_{mean}	Area (km ²)	Share in %
Excessive	1.25	80.73	77.28	1.25	2.06	1.97
Severe	0.85	19.15	18.34	0.85	16.44	15.74
Moderate	0.55	4.16	3.98	0.55	83.23	79.67
Weak	0.30	0.42	0.40	0.30	2.74	2.62
Very weak	0.10	-	-	0.10	-	-
Total	1.14	104.46	100.00	0.61	104.46	100.00

The works conducted in the period from 1956 to 1980 mostly included biotechnical and biological structures as well as the construction of several dams in the riverbed. The catchment area had 457,747.0 m² of retention structures built (bench terraces, terraces, wattling, horizontal walls, *etc.*).

Table 8. The planned and performed works of afforestation of the Žukovska River catchment
Табела 8. Изведени и предвиђени радови на пошумљавању слива Жуковске реке

Watercourse	Performed	Planned	Species	Afforestation technique
	(ha)			
Aldinačka reka	150,00	150,00	Austrian pine	Bench terraces
Balinačka reka	1.610,00	1.610,00	Austrian pine	Terraces
Pričevska reka	600,00	819,00	Scots pine, locust	Terraces; Pit planting
Dejanovačka reka	300,00	400,00	Aus. pine, locust	Dry stone dams; wattwork in gullies
Drvnička reka	1.000,00	1.000,00	Aus. pine, locust	Bench terraces; dry stone walls and wattwork
Vitonjska reka	2.000,00	2.000,00	Austrian pine	Terraces (on steeper slopes with wattwork)
Kragujevački potok	1.650,00	1.650,00	Austrian pine;	Ditches, Terraces, dry stone walls, wattwork
Leva reka	500,00	1.000,00	Aus. pine, locust	Bench terraces
Kosmatica	47,91	147,91	Austrian pine	Terraces
Šipkova reka	105,00	1.105,00	Austrian pine	Terraces

Source: (2009a, 2009b)

Biological works were carried out on the slopes of the basin in order to check erosion or to reduce its intensity, to achieve a certain volume of plant production and finally to preserve and improve the environment. In other words, technical works carried out in the hydrographic network of watercourses can solve acute problems, while biological works permanently solve the problem of erosion on the slopes of a basin. The establishment of a vegetation cover creates unfavourable conditions for the development of erosion processes (Kostadinov *et al.*, 2018).

Conclusions

The study of the anthropogenic effects in the observed period can explain both the favorable and the unfavorable human activity in the catchment area. The high density of population and livestock, inadequate land use on the slopes, conversion of forest into agricultural land, disruption of the protective function of vegetation and soil structure in the fifties of the twentieth century maximized the development of erosion processes. The works conducted in the period from 1956 to 1980 mostly included biotechnical and biological structures as well as the construction of several dams in the riverbed. Around 75% of the bare land was afforested which halted further development of erosion.

The basic demographic processes in the rural area of the Žukovska River catchment are characterized by a steady population reduction and a decline in the number of households and household members. All the villages have been affected by the population aging. Consequently, the farmland at higher altitudes has been abandoned, the livestock reduced and large areas of the catchment have had the vegetation spontaneously regenerated. Together with previously performed erosion control works, these processes have reduced the erosion and lessened its impact.

However, a considerable part of the catchment plantations was threatened by ice-breaks in 2014. Inadequate rehabilitation of these areas (removal of damaged trees without new afforestation) will create conditions suitable for the occurrence of erosion processes, which often characterized this area in the past.



Figure 7: Austrian pine plantations damaged by ice-breaks in 2014

Слика 7: Културе црног бора оштећене ледоломима 2014. године

Photo: Braunović S. (2016)



Figure 8: Erosion processes in Austrian pine plantations in 2016

Слика 8: Процеси ерозије у културама црног бора 2016. године

Photo: Ratknić M. (2016)

Acknowledgement

This paper was realized as a part of the project “The development of technological procedures in forestry with a view to an optimum forest cover realization” (31070), financed by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia for the period 2011-2019.

Раткњић Михаило, Брауновић Соња, Милетић Зоран, Раткњић Татјана,
Хадровић Сабахудин

АНТРОПОГЕНИ УТИЦАЈИ У СЛИВУ ЖУКОВСКЕ РЕКЕ

Институт за шумарство, Београд

Резиме: Природне карактеристике анализираниог слива повољне су за развој ерозионих процеса. Терен је претежно ниско планински, са падинама просечног нагиба 30% и распонем надморске висине од 246 до 1000 m. Геолошку подлогу изграђују условно еродибилне и веома еродибилне стене, а највећу површину слива покрива смеђе земљиште плитко (53,97 %). Према подацима из 1955. године голети су заузиле 33.25%, шуме 29,25%, а пољопривредне површине 21,90 %. У сливу је 2016. године проценат површина под шумом повећан за 19,97% (у односу на 1955 годину), а учешће голети је смањено са 33,25 % на 1,74 % површине слива. Услед демографског пражњења делова подручја присутно је напуштање обраде ораничних површина, њихово закоровљавање или претварање у пашњаке. Број становника се од 1948. до 2011. године смањило приближно 17 пута. Највеће смањење броја становника је у катастарским општинама изнад 500 метара надморске висине. Густина насељености је у анализираним периоду опала са 44,9 становника/km² на 3,74 становника/km². У сливу су 1955. године доминирали процеси експесивне ерозије (77,28 % површине слива), а средњи коефицијент ерозије износио је $Z_{ср}=1,14$. Према резултатима из 2016. године доминирају процеси осредње ерозије (78,50%). Површине под експесивном ерозијом драстично су смањене (за 97,14%), а средња вредност коефицијента ерозије износила је $Z_{ср} = 0,61$. У периоду од 1956. до 1980. године пошумљено је око 75 % површина голети у сливу. Управо подизањем култура човек је санирао изразито јаку ерозију и успорио даљи развој ерозионих процеса. Последице штета изазваних ледоломима 2014. године у културама за заштиту од ерозије и њихово неадекватно санирање омогућавају развој жаришта ерозије и враћање на стање карактеристично за прошлост овог подручја. Анализа антропогеног утицаја у сливу Жуковске реке објашњава директну зависност промена интензитета ерозионих процеса и активности човека, значај и неопходност спровођења адекватних противерозионих радова и њиховог одржавања.

References

Bilibajkić S. (2012): The effects of the technical and biological works performed in the Trgoviški Timok catchment area on the erosion intensity. Doctoral dissertation, Faculty of Forestry, Belgrade.

Braunović S., Ratknić M. (2011): The impact of the migration from the mountainous areas of Surdulica on the regeneration of natural ecosystems. *Ecologica* 18 (64), Scientific Professional Society for Environmental Protection of Serbia - *Ecologica*, Belgrade (681-686)

Braunović S., Ratknić M. (2012): The Change of Land Use - Impact on the Distribution and Intensity of Water Erosion in the Drainage Catchment area, BALWOIS 2012 Ohrid, Paper No. 495

(2014): Comparative review of the population in 1948, 1953, 1961, 1971, 1981, 1991, 2002 and 2011, Data by settlements, The Republic Institute for Statistics, Belgrade

Gavrilović S. (1972): Engineering of Torrents Flows and Erosion. Journal "Izgradnja", Spec. Edition, Belgrade (in Serbian)

Kostadinov S., Braunović S., Dragičević S., Zlatić M., Dragović N., Rakonjac N. (2018): Effects of Erosion Control Works: Case Study - Grdelica Gorge, Južna Morava River (Serbia). WATER 10(8): #1094 (19)

(2009a): Performed and designed works on the regulation of torrents and erosion control in the catchment of the Trgoviški Timok in the period from 1955 to 1995. DVP "EROZIJA" Knjaževac (in Serbian).

(2009b): Performed and designed works on the regulation of torrents and erosion control in the catchment of the Trgoviški Timok in the period from 1996 to 2010. DVP "EROZIJA" Knjaževac (in Serbian)

Ratknić M., Braunović S. (2016): Status and characteristics of regional water erosion of forest and agricultural land - causes, consequences and erosion control measures, a study, Institute of Forestry, Belgrade, 2016 <http://www.forest.org.rs/files/studija.pdf> (in Serbian)

RIZIK NA PRISTUPAČNOST Pb, Zn I Cd U DISTRIČNIM SMEĐIM ZEMLJIŠTIMA SLIVA REKE RASINE

Stefanović Luka, Belanović Simić Snežan, Miljković Predrag, Beloica Jelena
 Univerzitet u Beogradu - Šumarski Fakultet
 Luka.Stefanovic90@gmail.com

Apstrakt: U ovom radu su prikazani ukupni i pristupačni sadržaji olova, cinka i kadmijuma u distričnim smeđim zemljištima u slivu reke Rasine, kao i uticaj svojstava zemljišta na njihovu mobilnost i pristupačnost. Hemijski oblik vezivanja Pb, Zn i Cd u proučavanim zemljištima ukazuje na njihovu pristupačnost biljkama. Proučavana zemljišta su uzorkovana po fiksnim dubinama 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm i 20-40 cm. Oblici pristupačnosti štetnih mikroelemenata određeni su prema Tessier metodi u modifikaciji Petrović et al (2009), a mereni su AAS. Ukupni sadržaji olova, cinka i kadmijuma su određeni su iz zbira svih frakcija, i poređeni su sa graničnim dozvoljenem vrednostima propisanim zakonskom regulativom Republike Srbije. Sekvencijalnom analizom je utvrđeno da je najveća koncentracija cinka izmerena u rezidualnoj frakciji, a zatim vezan za Mn i Fe okside, dok se najveće koncentracije Pb nalaze u frakciji vezane za Mn i Fe okside a potom u rezidijumu, za razliku od sadržaja kadmijuma koji je ispod granice detekcije u rezidualnoj frakciji. Utvrđena je zavisnost sadržaja između hemijskih formi vezivanja svih mikroelemenata, kao i zavisnost između njihovog sadržaja i nekih svojstava zemljišta. Takođe, izračunati su pojedinačan indeks zagađenja (PI) i geoakumulacioni indeks (I_{geo}). Prema oba izračunata indeksa sadržaji Zn u zemljištima su u klasi nezagađenih dok se za sadržaje Pb i Cd nalaze u klasi od nezagađenih do srednje zagađenih.

Ključne reči: distrično smeđe zemljište, štetni mikroelementi, pristupačnost, sekvencijalna ekstrakcija, indeks zagađenja

Abstract: In this paper are shown contents of lead, zinc and cadmium in dystric cambisols of Rasina river watershed, as effects of soil properties on their mobility and accessibility. Type of chemical bonds Pb, Zn and Cd in studied soils show their accessibility to plants. Samples were taken from fixed depths. 0-5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm and 20 – 40 cm. Accessible compounds of hazardous trace elements are detected by Tessier method modified by Petrović (2009) and measured by AAS. Total concentration of lead, zinc and cadmium are determined by summation of all the fractions and compared with limit values stipulated by Republic of Serbia. Sequential analysis showed that the highest concentration of zinc is residual fraction, then in fraction bound to Mn, Fe oxides, highest concentration of Pb is in fraction bound to Mn and Fe oxides, then in residuum unlike Cd which concentration is under detection value in residual fraction. Dependents between chemical forms of bound trace elements has been determined, as well as their dependence of some soil properties. Also, Pollution index (PI) and geoaccumulation index (I_{geo}) have been calculated. According to both indices soils are in the class of unpolluted towards Zn, while towards Pb and Cd they are in class of unpolluted to moderate polluted.

Key words: dystric cambisol, hazardous trace elements, accessibility, sequential extraction, pollution index

1. UVOD

Teški metali (metali i metaloidi sa atomskim brojem većim od 20, Kabata Pendias i Pendias, 1979) se smatraju jednim od najvećih i najčešćih polutanata životne sredine (Sastre i sar., 2002), a hemijska degradacija zemljišta se često javlja kao posledica njihovog povećanog sadržaja u zemljištu (Adriano, 2001). Teški metali u zemljištu mogu biti geohemijskog i antropogenog porekla, i mogu biti esencijalni, poput cinka ili toksični, poput olova i kadmijuma (Adriano, 2001). Zemljište ima ograničen kapacitet retencije zagađujućih materija, što pre svega zavisi od prirodnih funkcija zemljišta, kruženja materija, filterske, puferske i transformatorske funkcije. Kada se jednom nađu u zemljištu zagađivači utiču na fizičke, hemijske i biološke procese i utiču na smanjenje kvaliteta zemljišta. Zemljište ima važnu ulogu u održavanju ekološke ravnoteže, pre svega u kruženju elemenata, što je uslovljeno adsorpcionim – desorpcionim procesima između čvrste i tečne faze zemljišta. Na retenciju mobilnost i pristupačnost teških metala utiče kako sadržaji pristupačnih metala i njihovi mehanizmi vezivanja u zemljištu, tako i fizička i hemijska svojstva zemljišta (Alloway 2010, Belanović i sar., 2004). Ekotoksičnost i pokretljivost teških metala u zemljištu zavisi od brojnih unutrašnjih i spoljašnjih zemljišnih faktora, u prvom redu od tipa hemijskih veza koje ostvaruju sa čvrstom i tečnom fazom zemljišta (Escerre, 2010).

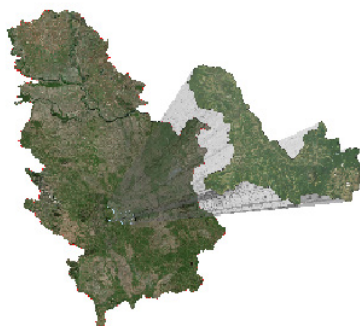
Biološka dostupnost materije u širem smislu se definiše kao jedinjenja i molekuli koji su dostupni biološkom delovanju, poput usvajanja od strane organizama (Adriano, 2001). Biljke usvajaju elemente u specifičnim biološki dostupnim oblicima, a njihova bioraspoloživost zavisi od od oblika u kojem se nalaze u zemljištu. Teški metali se u zemljištu nalaze u različitim formama (razmenljivo-adsorbovani na zemljišnim koloidima, specifično-adsorbovani, vezani u raznim hemijskim jedinjenjima oksidi, karbonati, fosfati, sulfidi i strukturno vezani u silikatima) a u kom obliku će se metali nalaziti u zemljištu zavisi od brojnih faktora uključujući njihovo ponašanje u odnosu na čvrstu fazu zemljišta u određenim uslovima reakcije zemljišnog rastvora, redoks potencijala, povezivanja sa komponentama zemljišta i dr. (Adriano, 2001). Za procenu uticaja sadržaja teških metala u zemljištu na životnu sredinu koriste se različiti indeksi zagađenja.

Cilj ovog rada je da se utvrde oblici pristupačnosti Pb, Cd i Zn u nekim distričnim smeđim zemljištima i proceni potencijalni rizik za ekosisteme u slivu reke Rasine.

2. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA

2.1 Područje Proučavanja

Proučavanja su vršena na području sliva reke Rasine, površine 981 km². U slivu su prema načinu korišćenja zemljišta najzastupljenije šume i zauzimaju 51% ukupne površine sliva, zatim pašnjaci i livade zauzimaju 22,5%, dok su obrađiva zemljišta zastupljena na 11,95%. Prosečna količina padavina u slivu iznosi 745 mm. Distrična smeđa zemljišta su u glavnom formirana na škriljcima koji u svojoj kristalnoj rešetki sadrže Pb, Zn i Cd, zauzimaju 12,5% od ukupne površine sliva i najzastupljeniji su tip zemljišta u ovom slivu (Ljiljana S Stričević, 2015.).



Slika 1. Geografski položaj sliva reke Rasine

2.2 Metode proučavanja zemljišta

U slivu Rasine, uzvodno od brane "Ćelije", otvoreno je sedam pedoloških profila a uzorci zemljišta su uzeti po fiksnim dubinama 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm i 20 – 40 cm.

Granulometrijski sastav zemljišta određen je internacionalnom pirofosfatnom B metodom (JDPZ, 1977), a teksturne klase iz trougla (SRPS ISO 11259:2005). Reakcija zemljišnog rastvora (pH u H_2O i pH u $0,01M CaCl_2$) je određena elektrometrijski pomoću aparata pH-metra (SRPS ISO 10390:2007 u skladu sa ISO 3696:1994, SRPS ISO 10390:2007). Hidrolitička kiselost i adsorptivni kompleks su određeni po metodu Kappen-a, a lakopristupačni fosfor i kalijum su određeni prema Egner – Riehm metodi (JDPZ, 1966). Pristupačni oblici Zn, Cd i Pb (I-V faza) određeni su su ekstrakcionom procedurom za separaciju teških metala po Tessier metodi u modifikaciji Petrović et al 2009 (tabela 1). Sadržaji proučavanih elemenata u svakoj frakciji mereni su metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS) (ISO 11466:1005 Soil quality, 1995). Ukupni sadržaji proučavanih mikroelemenata određeni su iz zbira svih frakcija.

Tabela 1. Faze sekvencijalne ekstrakcije

Faza	Naziv faze	Ekstrakciona sredstva
Prva faza	Izmenjiva faza	Ekstrakcija amonijum-acetatnim rastvorom 1) $M CH_3COONH_4$
Druga faza	Karbonatna faza	1) $0,2 M NH_2OH \cdot HCl$ u $0,02 M HCl$ 2) $0,6 M HCl$ (za podešavanje pH vrednosti)
Treća faza	Faza vezana za gvoždje- i mangan-okside	1) $0,2 M (NH_4)_2C_2O_4$ u $0,2M H_2C_2O_4$
Četvrta faza	Organsko-sulfidna faza	1) $30 \% H_2O_2$ 2) $67 \% HNO_3$ 3) $1M CH_3COONH_4$
Peta faza	Rezidualna faza	1) $6 M HCl$

2.3 Statistička i matematička obrada podataka

U radu je primenjen SPSS softver radi utvrđivanja (Pearson-ov koeficijent korelacije) između nekih osobina zemljišta, i ukupnih sadržaja proučavanih elemenata kao i njihovih sadržaja u pojedinim oblicima vezivanja.

Indeksi zagađenja predstavljaju značajan alat u proceni stepena kontaminacije određenog područja različitim zagađujućim materijama (Belanović Simić, 2017).

Pojedinačani indeks zagađenja (Pollution Index - PI) – koristi se za izdvajanje pojedinačnih štetnih mikroelemenata koji predstavljaju najveću pretnju po ekosistem. Računa se prema formuli (Håkanson, 1980):

$$PI = \frac{Cn}{GB}$$

gde je *Cn* – koncentracija elementa u zemljištu, *GB* – „background“ vrednost koncentracija. Håkanson (1980) predlaže sledeću klasifikaciju za pojedinačne indekse zagađenja: $PI < 1$ - nezagađeno; $1 < PI < 2$ – slab stepen zagađenosti; $2,0 < PI < 3,0$ – umeren stepen zagađenja; $3 < PI < 5$ – veliki stepen zagađenja i $PI > 5$ – vrlo veliki stepen zagađenja

Geoakumulacioni indeks (Geoaccumulation index - I_{geo}) koristi se da ukaže na intenzitet zagađenja metalima, a izračunava se prema jednačini:

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{Cn}{1,5 * GB} \right] \left[\frac{Cn}{1,5 * GB} \right]$$

gde je, *Cn* – merena koncentracija metala ‘n’ u uzorku
GB – „background“ vrednost za metal/metaloid ‘n’.

Faktor 1,5 je „background“ matriks korekcionni faktor.

Vrednosti geoakumulacionog indeksa, takođe su izražene u sedam klasa: $I_{geo} < 0$ – nezagađeno; $0 - 1$ – nezagađeno do srednje; $1 - 2$ – srednje; $2 - 3$ – srednje do jako; $3 - 4$ – jako; $4 - 5$ – jako do vrlo jako i > 5 – veoma jako zagađenje.

3. REZULTATI

U tabeli 2 su prikazana osnovna fizička i hemijska svojstva proučavanih distričnih smeđih zemljišta sliva reke Rasine.

Tabela 2. Prosečne vrednosti osnovnih svojstava proučavanih zemljišta

Sloj		0 – 5 cm	5 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 40 cm
Parametari		n=7	n=7	n=7	n=7
pH u H ₂ O	srednja vrednost	5,79	5,53	5,37	5,61
	opseg	5,26 – 6,08	5,08 – 5,84	4,97 – 5,72	5,16 – 6,10
pH CaCl ₂	Srednja vrednost	4,93	4,57	4,36	4,51
	opseg	4,32 – 5,36	4,13 – 5,13	4,13 – 4,67	4,2 – 4,76
Humus %	srednja vrednost	5,47	3,31	1,87	1,26
	opseg	2,99 – 9,06	1,31 – 5,12	0,75 – 2,61	0,41 – 2,17
CEC cmolkg ⁻¹	srednja vrednost	12,94	16,17	20,11	21,65
	opseg	9,93 – 20,03	10,01 – 22,75	13,81 – 39,48	12,08 – 43,30
P ₂ O ₅ cmolkg ⁻¹	srednja vrednost	2,52	1,28	0,63	0,99
	opseg	1,30 – 4,30	0,65 – 3,1	0,4 – 1	0,25 – 3,1
K ₂ O cmolkg ⁻¹	srednja vrednost	25,16	18,93	11,06	10,89
	opseg	19 – 36	10,5 – 37,3	7 – 16,5	6,1 – 19
Pesak %	srednja vrednost	43,44	42,87	42,51	42,14
	opseg	18,30 – 58,6	21,30 – 58,3	22,30 – 56,10	18,10 – 64,80
Prah %	srednja vrednost	42,2	40,34	38,55	35,86
	opseg	28,60 – 61,10	26,70 – 55,00	26,60 – 54,80	23,60 – 49,70
Glina %	srednja vrednost	14,36	16,79	19,62	22,00
	Opseg	9,00 – 23,90	8,10 – 29,10	10,90 – 38,70	10,90 – 48,30

Sadržaj peska je ujednačen sa dubinom i blago opada od 43,4 % u površinskom sloju

do 42,14% u sloju 20 – 40 cm, frakcija praha takođe opada sa dubinom od 42,2% do 35,86%, a sadržaji gline se povećavaju od 14,4 – 22%. Prema teksturnom sastavu ova zemljišta pripadaju glinovitim ilovačama.

Prema reakciji zemljišnog rastvora proučavana zemljišta pripadaju klasi jako kiselih do slabo kiselih. Sadržaj humusa se smanjuje sa dubinom, a zemljišta su slabo do jako humusna. Prema sadržaju lakopristupačnog fosfora proučavana zemljišta pripadaju klasi vrlo niske pristupačnosti dok je prema sadržaju lakopristupačnog kalijuma u klasi dobro snabdevenih.

U tabeli 3 su prikazane prosečne koncentracije i rang ukupnih sadržaja Pb, Zn i Cd, kao i njihove koncentracije u pojedinim oblicima pristupačnosti prema Tiesser-ovoj metodi u modifikaciji Petrovića.

Tabela 3. Posebne koncentracije pristupačnih oblika Pb, Zn i Cd, opseg i procentualno učešće prema Tessieru u modifikaciji Petrović po dubini i fazama

Sloj	Frakcije	0 – 5 cm			5 – 10 cm			10 – 20 cm			20 – 40 cm			0 – 40 cm	
		n=7						n=7						n=7	
Parametar		prosečna koncentracija	opseg	% učešće po frakciji	prosečna koncentracija	opseg	% učešće po frakciji	prosečna koncentracija	opseg	% učešće po frakciji	prosečna koncentracija	opseg	% učešće po frakciji	prosečna koncentracija	% učešće po frakciji
Jedinice		mgkg ⁻¹	mgkg ⁻¹	%	mgkg ⁻¹	mgkg ⁻¹	%	mgkg ⁻¹	mgkg ⁻¹	%	mgkg ⁻¹	mgkg ⁻¹	%	mgkg ⁻¹	%
Pb	F1	1,05	0,00 – 2,24	2,85 %	0,71	0,14 – 1,44	2,06%	0,71	0,00 – 0,83	2,41%	0,28	0,13 – 0,52	1,23 %	0,54	2,23 %
	F2	0,2	0,00 – 1,18	0,54 %	3,05	0,00 – 11,78	8,86%	0,87	0,00 – 3,78	2,94%	0,71	0,00 – 2,86	3,13 %	0,98	3,91 %
	F3	25,74	0,00 – 48,56	69,87 %	18,01	5,08 – 26,71	52,34%	16,71	13,13 – 22,07	56,49%	13,87	2,54 – 23,73	61,13 %	16,58	60,18 %
	F4	0,19	0,00 – 0,67	0,52 %	0,00	0,00 – 0,00	0,00%	0,12	0,00 – 0,52	0,41%	0,08	0,00 – 0,34	0,35 %	0,09	0,32 %
	F5	9,66	5,55 – 12,25	26,22 %	12,64	9,52 – 21,46	36,73%	11,17	7,33 – 18,28	37,76%	7,75	0,00 – 14,30	34,16 %	9,45	33,37 %
	ukupne	36,84	0,00 – 48,56		34,41	0,00 – 26,71		29,58	0,00 – 22,07		22,69	0,00 – 23,73		27,65	
Zn	F1	1,39	0,00 – 3,24	1,75 %	0,76	0,00 – 2,55	0,98%	0,13	0,00 – 0,94	0,18%	0,28	0,00 – 1,86	0,45 %	0,44	0,86 %
	F2	5,19	2,83 – 11,29	6,54 %	3,48	1,68 – 4,96	4,46%	2,12	0,93 – 3,55	2,77%	5,78	0,00 – 18,67	9,15 %	4,5	5,58 %
	F3	17,13	3,41 – 33,79	21,59 %	17,71	10,17 – 40,41	22,71%	18,25	10,07 – 31,19	23,86%	22,51	11,49 – 56,65	35,61 %	20,17	25,45 %
	F4	4,83	2,37 – 10,39	6,09 %	4,11	1,29 – 8,64	5,27%	3,27	0,92 – 4,96	4,27%	4,08	0,41 – 9,23	6,45 %	3,98	5,49 %
	F5	50,8	34,34 – 81,60	64,03 %	51,94	35,61 – 90,95	66,59%	52,73	37,74 – 73,00	68,93%	30,56	0,00 – 48,42	48,34 %	41,3	62,62 %
	ukupne	79,34	0,00 – 33,79		78	0,00 – 90,95		76,5	0,00 – 73,00		63,22	0,00 – 56,65		70,4	
Cd	F1	0,06	0,00 – 0,14	15,26 %	0,06	0,03 – 0,10	18,89%	0,04	0,00 – 0,07	9,87%	0,03	0,01 – 0,08	3,16 %	0,03	9,00 %
	F2	0,1	0,03 – 0,22	25,00 %	0,08	0,04 – 0,11	24,13%	0,06	0,01 – 0,10	17,40%	0,07	0,00 – 0,14	6,79 %	0,06	14,73 %
	F3	0,23	0,00 – 1,60	54,02 %	0,16	0,00 – 1,10	49,35%	0,24	0,00 – 1,69	66,77%	0,92	0,00 – 3,77	87,87 %	0,51	71,95 %
	F4	0,02	0,00 – 0,07	5,72 %	0,02	0,01 – 0,04	7,63%	0,02	0,00 – 0,05	5,95%	0,02	0,00 – 0,04	2,19 %	0,02	4,32 %
	F5	0,00	0,00 – 0,00	0,00 %	0,00	0,00 – 0,00	0,00%	0,00	0,00 – 0,00	0,00%	0,00	0,00 – 0,00	0,00 %	0,00	0,00 %
	ukupne	0,42	0,00 – 1,60		0,32	0,00 – 1,10		0,36	0,00 – 1,69		1,04	0,00 – 3,77		0,61	

Ukupne koncentracije Pb u proučavanim zemljištima kreću se od 22,69 do 36 mgkg⁻¹. Olovo u ovim zemljištima je uglavnom vezano za gvoždenvite i manganove okside (60,18%) i u rezidualnoj frakciji (33,37%) (tabela 3). Značajno niža koncentracija olova se nalazi vezano u izmenljivim oblicima i vezano za karbonate (6,14%).

Ukupne koncentracije Zn u proučavanim zemljištima kreću se od 63,22 do 79,34 i sa dubinom u profilima sadržaj cinka je ujednačen. Cink se u proučavanim zemljištima u najvećoj koncentraciji nalazi u rezidualnoj frakciji (62,62%) i kao vezan za gvoždenvite i manganove okside (25,42%). U mobilnim frakcijama (izmenljivoj i karbonatnoj frakciji) učešće cinka je niže (6,44%).

Ukupne koncentracije Cd u proučavanim zemljištima kreću se od 0,32 do 1,04. Kadmijum u proučavanim zemljištima se najviše nalazi kao vezan za gvožđevite i manganove okside (71,95%) i u izmenljivim frakcijama (23,73%), dok je u rezidualnoj frakciji ispod granice detekcije.

Za proučavana zemljišta korelacionom analizom utvrđeni su međusobni uticaji između mikroelemenata u pojedinim fazama vezanosti, zatim međusobni uticaji između ukupnih sadržaja proučavanih elemenata kao i njihove veze sa svojstvima zemljišta (tabela 4).

Tabela 4. Korelacije između hemijskih frakcija Zn, Pb i Cd, njihovih ukupnih sadržaja i ispitivanih fizičkih i hemijskih osobina zemljišta

para meriti	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28	n=28			
frakcije	Pb _I	Pb _{II}	Pb _{III}	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I	Pb _I		
	Pb _{II}	Pb _{III}	Zn _I	Zn _{II}	Zn _{III}	Zn _I	Zn _{II}	Zn _{III}	Zn _I	Zn _{II}	Zn _{III}	Zn _I	Zn _{II}	Zn _{III}	Zn _I	Zn _{II}	Zn _{III}	Zn _I	Zn _{II}	Zn _{III}	Zn _I	Zn _{II}	Zn _{III}	
	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}	Cd _I	Cd _{II}
	CFC	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}	pH _{H₂O}
	K ₂ O	P ₂ O ₅	Humus	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC
	$\frac{pH_{CaCl_2}}{CaCl_2}$	K ₂ O	P ₂ O ₅	Humus	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC	CFC
	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina	Glina

* Statistički značajna korelacija (p<0,05)
 ** Statistička značajna korelacija (p<0,01)

Utvrđena je značajna i veoma značajna korelativna veza u prosečnim uzorcima po svim dubinama između pristupačnih i ukupnih sadržaja Pb, Zn i Cd. Takođe, značajna korelacija je utvrđena između sadržaja Pb, Zn i Cd u izmenljivoj frakciji, kao i između sadržaja proučavanih elemenata u izmenljivim oblicima i sadržaja humusa u zemljištima i između sadržaja proučavanih elemenata u izmenljivim oblicima i sadržaja lakopristupačnog fosfora.

U tabeli 5 prikazane su vrednosti geoakumulacionog indeksa i pojedinačnog indeksa zagađenja.

Tabela 5. Igeo i PI

Parametri	Igeo			PI		
	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4
Naziv profila	Zn	Pb	Cd	Zn	Pb	Cd
1/011	-2,03	-1,52		0,367	0,523	0,000
2/011	-1,17	-1,53	-3,95	0,668	0,520	0,097
4/011	-2,20	1,09	-0,92	0,327	3,199	0,790
5/011	-2,92	0,01		0,198	1,509	0,000
8/011	-1,43	0,79	1,23	0,558	2,597	3,528
9/011	-2,30	-0,62	-5,01	0,304	0,979	0,046
11/011	-0,74	-0,03	0,26	0,896	1,466	1,791

Vrednosti geoakumulacionog indeksa opadaju sledećim redosledom od Cd>Pb>Zn. I_{geo} vrednosti se kreću u opsegu od -2,92 do -0,74 za Zn, u opsegu od -1,53 do 1,09 za Pb, od -5,01 do 1,23 za Cd.

Za proučavana zemljišta, vrednosti PI se smanjuju istim redosledom Cd>Pb>Zn.

PI vrednosti se kreću u opsegu od 0,19 do 0,89 za Zn, u opsegu od 0,52 do 3,20 za Pb, i od 0,05 do 3,53 za Cd.

Prema oba izračunata indeksa sadržaji Zn u zemljištima su u klasi nezagađenih dok se za sadržaje Pb i Cd u distričnim kambisolima nalaze u klasi od nezagađenih do srednje zagađenih (Igeo) i nezagađenih do zemljišta sa velikim stepenom zagađenja.

4. DISKUSIJA

Pristupačnost pojedinih metala zavisi od oblika u kojem se javljaju, a u zavisnosti od svojstava zemljišta i porekla (antropogeno i geološko) mikroelementi se vezuju za zemljišne komponente u različitim hemijskim formama (Adriano, 2001). Antropogeni polutanti u zemljištu su uglavnom vezani izmenljivim hemijskim formama i kao takvi pristupačni (Prohaska, 2004). Pristupačnu labilnu frakciju mikroelemenata u zemljištu predstavljaju rastvorljivi, izmenljivi i elementi kompleksirani u helatnim jedinjenjima (Belanovic i sar, 2012, Takač, 2009, Galfati et al., 2011). Pristupačnost štetnih mikroelemenata biljakama kao i ispoljavanje simptoma posrednog uticaja depozicije polutanata u zavisnosti je od pufernog kapaciteta zemljišta. Koloidi organske materije i oksida Fe mogu biti značajni za transport polutanata putem nanosa u vodne ekosisteme. Ovim putem se transportuju hidrofobne organske materije i joni metala (Alloway, 2013). Štetni mikroelementi imaju negativan uticaj na dostupnost makroelemenata nekim biljkama i samim tim ograničavaju njihovu pristupačnost (Siedlecka A., 1995). Bolan i sar (2003) navode da je dodavanje fosfora zemljištima zagađenim olovom praktična i ekonomski isplativa mera remedijacije kod zagađenja teškim metalima.

Pristupačnost i mobilnost mikroelemenata u zemljištu zavisi kako od koncentracije mikroelemenata i njihovih međusobnih odnosa, tako i od svojstava zemljišta i načina korišćenja. Ukupne prosečne koncentracije olova i cinka u proučavanim zemljištima su niže u odnosu na granične vrednosti prema uredbi RS ("Sl. Glasnik RS", br,30/2018). Ukupne prosečne koncentracije Cd u proučavanim zemljištima su niže u odnosu na granične vrednosti prema Uredbi RS ("Sl. Glasnik RS", br,30/2018), sem za izmerene vrednosti Cd u profilima 1/011 i 4/011 gde su veće u odnosu na granične vrednosti prema Uredbi.

Od ukupnih koncentracija proučavanih elemenata u određenom udelu su pristupačni (I i II faze sekvencijalne ekstrakcije). U proučavanim zemljištima mobilnost i biodostupnost elemenata je u sledećem redosledu $Cd > Zn > Pb$, a što u svojim istraživanjima potvrđuju i Uduma i Jimoh (2013). Najveći sadržaji Pb nalaze se vezani za Fe i Mn okside. U zagađenim kiselim zemljištima kako navodi Adriano (2001) olovo se vezuje za Fe i Mn okside, zatim za organsku materiju i karbonate. Na pristupačne oblike Pb najjači uticaj imaju Mn joni, potom joni H. Olovo se u zemljištu najviše vezuje za Mn okside, što je u proučavanom zemljištu i slučaj, zatim Fe i Al hidrokkside i organsku materiju (Belanović Simić i sar, 2012, Mrvić, 2009). Najmanje procentualno učešće u izmenljivim frakcijama (I i II) pokazuje Pb sa 6,14% od ukupnog sadržaja (tabela 3).

Najveća koncentracija cinka izmerena je u rezidualnoj frakciji, a zatim vezan za Mn i Fe okside, a znatno niže koncentracije cinka su izmerene u frakciji vezan za karbonate, i vezan za organsku materiju, i u izmenljivoj frakciji (tabela 3). Sadržaj cinka u prvoj i drugoj fazi iznosi 6.44% od ukupne koncentracije cinka i samim tim lako dostupna biljkama (Adriano, 2001). Iako je Zn prisutan u svim formama vezivanja najzastupljeniji je u rezidualnoj frakciji što ukazuje da je njegovo poreklo pretežno geohemijsko (Kabala, et al., 2001). Belanović i sar. (2012) navode da na pristupačne oblike mikroelemenata najveći uticaj imaju njihovi ukupni sadržaji u zemljištu, a značajna pozitivna korelacija utvrđena je između druge frakcije Zn i njegovog ukupnog sadržaja ($r=0.449^*$). Poznato je da postoji antagonizam između Zn i Cd u adsorptivnom kompleksu zemljišta, pa na osnovu tih antagonizama Cd kao najslabije vezan se istiskuje iz adsorptivnog kompleksa (Siedlecka A., 1995). Kapacitet katjonske izmene i pH vrednost pokazuju negativnu korelaciju sa izmenljivim elementima (Kashem, et al., 2007, Belanović-Simić i sar., 2013), ali za proučavana zemljišta nije signifikantna jer je mali statistički uzorak (tabela 4).

Kadmijum je u najvećoj meri prisutan u jedinjenjima sa Fe i Mn oksidima, zatim u karbonatnoj frakciji i u izmenljivoj frakciji. Adriano (2001) navodi da se u jako zagađenim zemljištima Cd nalazi kako u frakciji vezan za Fe i Mn okside tako i u rezidualnoj i delom i u frakciji vezanoj za karbonate. Uduma i Jimoh (2013) zaključuju da kada je Cd vezan za karbonate može se objasniti njegova velika mobilnost i pristupačnost. Smanjenjem pH vrednosti adsorptivnog kompleksa, povećaće se sadržaj izmenljivo vezanog Cd sa kojim je Cd u pozitivnoj korelaciji ($r=0.375^*$), dok sa povećanjem kapaciteta za adsorpciju katjona, njegov sadržaj će opasti (-0.411^*), što i potvrđuje Alloway (2013) koji kaže da je retencija teških metala manja u kiselijim zemljištima. pH vrednost supstrata pokazuje slabu, ali značajnu korelaciju sa sadržajem Cd ($r=0.406^*$) vezanim za karbonate. Smanjenje pH vrednosti povećava mobilnost Cd u zemljištima (Houben i sar., 2013; XiuLan Zhao i sar., 2013). Cd IV pokazuje korelacije sa frakcijama sva tri ispitivana elementa, ali ne i sa fizičkim i hemijskim osobinama zemljišta. Neki autori kadmijum opisuju kao najmobilnijeg i najdostupnijeg od sva tri ispitivana elementa (Uduma i Jimoh 2013, Rog-Young Kim 2015), a takav rezultat potvrđuje i njegova koncentracije u izmenljivim frakcijama (23,73%). Njegova koncentracija u petoj frakciji sekvencijalne analize je ispod granice detekcije što ukazuje na njegovo pre svega antropogeno poreklo (tabela 3).

Izmenljivi oblici sva tri proučavana elementa pokazuju međusobnu zavisnost i korelaciju sa humusom. Vezivanje Zn sa organskom materijom se povećava sa stepenom humifikacije organske materije (Adriano, 2001).

Takođe, sa izmenljivim oblicima Pb, Zn i Cd utvrđena je značajna korelacija sa lakopristupačnim fosforom (tabela 4) koja može da ukaže na njihovo zajedničko antropogeno poreklo.

I_{geo} indeks je indeks potencijalne kontaminacije individualnog teškog metala i koristi se da bi se odredilo prisustvo i intenzitet antropogeno istaloženih kontaminanata na površinskom sloju zemljišta (Barbieri, 2016), a PI indeks se koristi da bi se odredio stepen kontaminacije od individualnog teškog metala u površinskom sloju zemljišta (Kowalski, 2018). Geoakumulacioni indeks i pojedinačni indeks zagađenja opadaju u istom redosledu Cd>Pb>Zn, odnosno potencijalno najveći rizik za ekosisteme je od sadržaja Cd u ovim zemljištima. Rog-Young Kim (2015) navodi Cd i Zn kao relativno veoma mobilne metale u zemljištu, a Pb kao manje mobilni metal u zemljištu. Prema oba izračunata indeksa, distrična smeđa zemljišta sliva reke Rasine su u klasi nezagađenih prema Zn, dok prema Cd i Pb pokazuju izvestan stepen ugroženosti. Prema pojedinačni indeks zagađenja za olovo proučavana zemljišta su nezagađena do slabo zagađenosti, sem u profilu 4/011 gde je izračunat visok stepen zagađenja. Takođe, pojedinačni indeks zagađenja za kadmijum je bez zagađenja do slabo, sem u profilu 8/011 gde je izračunat visok stepen zagađenja. Prema geoakumulacionom indeksu za sadržaje Pb i Cd u proučavana zemljišta su u klasi nezagađenih do srednje zagađenih (profil 8).

5. ZAKLJUČAK

U slivu reke Rasine proučavan su ukupni i pristupačni sadržaji olova, cinka i kadmijuma u distričnim smeđim zemljištima. Takođe, analiziran je uticaj svojstava zemljišta na mobilnost i pristupačnost proučavanih elemenata. Pored utvrđivanja oblika pristupačnosti Pb, Cd i Zn u distričnim smeđim zemljištima cilj rada je bio da se proceni potencijalni rizik za ekosisteme u slivu reke Rasine. U proučavanim zemljištima mobilnost i biodostupnost elemenata je u sledćem redosledu Cd > Zn > Pb. Ukupne prosečne koncentracije olova i cinka u proučavanim zemljištima su niže u odnosu na granične vrednosti prema Uredbi RS, dok su koncentracije Cd u proučavanim zemljištima su niže u odnosu na granične vrednosti sem za izmerene vrednosti Cd u profilima 1/011 i 4/011. Najveća koncentracija cinka izmerena je u rezidualnoj frakciji, a zatim vezan za Mn i Fe okside, a znatno niže koncentracije cinka su izmerene u frakciji vezan za karbonate, i vezan za organsku materiju. Kadmijum je u najvećoj meri prisutan u jedinjenjima sa Fe i Mn oksidima, zatim u karbonatnoj frakciji i u izmenljivoj frakciji. Najveći sadržaji Pb nalaze se vezani za Fe i Mn okside. Geoakumulacioni indeks i pojedinačni indeks zagađenja opadaju u istom redosledu Cd>Pb>Zn. Ni jedan od proučavanih elemenata ne pretstavlja trenutnu pretnju funkcionisanju ekosistema sliva reke Rasine. Proučavanja je potrebno nastaviti na većem broju uzoraka na celoj površini sliva, a postojeće analize dopuniti i za druge tipove zemljišta, sve u cilju vršenja geoprostornih analiza i tako donošenja odluka o upravljanju ekosistemima u slivu.

6. LITERATURA

- (1966): Hemijske metode ispitivanja zemljišta, Knjiga 1, JDPZ
 (1994): ISO 3696 voda za analitičku laboratorijsku upotrebu – zahtevi i metode ispitivanja, “Sl. Glasnik Rs”, br,54/94
 (1995): ISO 11466:1005 Soil quality – extraction of trace elements soiluble in aqua regia
 (1997): Metode istraživanja i određivanja fizičkih i hemijskih svojstava zemljišta, JDPZ
 (2005): SRPS ISO 11259 kvalitet zemljišta – uprošćen opis zemljišta, “Sl. Glasnik Rs”, br,6/05
 (2007): SRPS ISO 10390 Kvalitet zemljišta – određivanje pH vrednosti, “Sl. Glasnik Rs”, br,39/07
 (2018): Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu, “Sl. Glasnik Rs”, br,30/2018
 Adriano D.C. (2001): Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry,

- Bioavailability, and Risks of Metals. Springer, New York, p. 866
- Alloway, B.J. (2013): *Heavy Metals in Soils*, second edition, Blackie Academic & Professional, London-Glasgow
- Barbieri M. (2016): The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination, *Journal of Geology & Geophysics*
- Belanović Simić S., Knežević M., Miličić Bogić M., Đorović M. (2004): Contents of heavy metals and micro-flora in some soils of Mt. Stara Planina, *Glasnik šumarskog fakulteta, Beograd* (53 – 61)
- Belanović-Simić S., Čakmak D., Kadović R., Beloica J. (2012): Availability of some trace elements (Pb, Cd, Cu and Zn) in relation to the properties of pasture soils in Stara Planina mountain, *Glasnik šumarskog fakulteta, Beograd* (41 – 56)
- Belanović-Simić S., Beloica J., Čakmak D., Bjedov I., Obratov-Petković D., Kadović R. (2013) Influence of Zn on the availability of Cd and Cu to *Vaccinium* species in unpolluted areas – a case study of Stara planina MT (Serbia), *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* (5 – 14)
- Bolan N., Adriano D.C., Curtin D. (2003): Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability, *Advances in Agronomy* (215 – 272)
- Escarre J., Lefèbvre C., Raboyeau S., Dossantos A., Gruber W., Cleyet Marel J.C., Frérot H., Noret N., Mahieu S., Collin C., van Oort F. (2010): Heavy Metal Concentration Survey in Soils and Plants of the Les Malines Mining District (Southern France): Implications for Soil Restoration, *Water, Air, and Soil Pollution* (485 – 504)
- Galfati I., Bilal E., Beji Sassi A., Abdullah H., Zaier A. (2011): Accumulation of heavy metals in native plants growing near the phosphate treatment industry, Tunisia, *Carpathian journal of earth and environmental sciences* (85 – 100)
- Houben D., Evrard L., Sonnet P. (2013): Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar, *Chemosphere*
- Kabala C. and Szerszen L. (2001): Profile distributions of lead, zinc and copper in dystric cambisols developed from granite and gneiss of the Sudetes Mountains, Poland, *Water Air and Soil Pollution* (307 – 317)
- Kabata-Pendias A., Pendias H. (1979): *The trace elements in the biological systems*. Geological Publishers, Warsaw. P. 61.
- Kashem M.A., Singh, B.R., Kondo, T., Imamul Huq, S.M., Kawai, S. (2007): Comparison of extractability of Cd, Cu, Pb and Zn with sequential extraction in contaminated and non-contaminated soils, *Int. J. Environ. Sci. Tech* (169-176)
- Kowalska J.B., Mazurek R., Gałsiorek M., Zaleski T. (2018): Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination—A review, *Environmental Geochemistry and Health* (2395 – 2420)
- Mrvić, V., Antonović G. & Martinović Lj, (2009): Fertility and content of hazardous and harmful substances in the soils of Central Serbi (Plodnost i sadržaj opasnih i štetnih materija u zemljištima centralne Srbije, in Serbian). Institut za zemljište, Beograd
- Prohaska T, Wenzel W.W, Stingeder G, (2004): ICP-MS-based tracing of metal sources and mobility in a soil depth profile via the isotopic variation of Sr and Pb, *International Journal of Mass Spectrometry* (243 – 250)
- Rog-Young K., Jeong-Ki Y., Tae-Seung K., Jae E. Y., Owens G., Kwon-Rae K., (2015): Bioavailability of heavy metals in soils: definitions and practical implementation—a critical review, *Environ Geochem Health* (1041 – 1061)
- Siedlecka, A. (1995): Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients, *Acta Societatis Botanicorum poloniae*, Vol. 64, No.3, (265 – 272)
- Stričević Lj. S. (2015) *Vodni resursi Rasinskog okruga i njihov uticaj na regionalni razvoj*, doktorska disertacija

Takač, P., Szabová, T., Kozáková, L. & Benková, M. (2009): Heavy metals and their bioavailability from soils in the long-term polluted central Spiš region of SR. *Plant Soil Environ.*, 55, 4, (167 – 172)

Uduma A.U., Jimoh, W.L.O. (2013): Sequential extraction procedure for partitioning of lead, copper, cadmium, chromium and zinc in contaminated arable soils of Nigeria. *American Journal of Environment, Energy and Power Research* Vol. 1, No. 9, (186 – 208)

XiuLan Zhao, Tao Jiang, Bin Du (2013): Effect of organic matter and calcium carbonate on behaviors of cadmium adsorption–desorption on/from purple paddy soils, *Chemosphere* (41 – 48)

ЕКОСИСТЕМ И УСЛУГЕ ЕКОСИСТЕМА У ОТВОРЕНИМ ГРАДСКИМ ПРОСТОРИМА

Снежана Кеџман, докторанд

Универзитет у Београду, Шумарски факултет

snez.ke@gmail.com

ИЗВОД: Убрзан развој градова, висок степен урбанизације и генерално све промене изазване антропопресијом доводе до значајних промена абиотичких и биотичких компоненти предела које воде губитку екосистема. Чињеница да градови у потпуности зависе од екосистема који се налазе изван њихових граница, а у симбиотском су односу са екосистемима који се налазе унутар њих посебно је алармантна, посебно ако се узму у обзир све користи које од екосистема остварују. Користи које екосистеми пружају човеку збирно су назване - услуге екосистема. Опстанак човечанства одувек, а и дан данас зависи од природе. Услуге које екосистеми пружају човеку, превасходно у урбаним срединама, не могу се поредити ни са једном другом социјалном, еколошком или економском користи. Отворени градски простори осим што представљају места сусрета, окупљања и проточности становника једног града, у великој мери су и мале, али важне тачке биодиверзитета и често заборављених екосистема. Као такви, они у великој мери доприносе широком спектру погодности које екосистеми пружају човеку у урбаним срединама и чији се значај огледа у побољшању квалитета живота и животне средине у градовима, и генерално адаптацији на климатске промене.

Кључне речи: екосистем, услуге екосистема, отворени градски простори, урбана средина, град

ECOSYSTEM AND ECOSYSTEM SERVICES IN URBAN OPEN SPACE

ABSTRACT: The rapid development of cities, high degree of urbanization and generally all changes caused by anthropogenic pressure lead to significant changes in the abiotic and biotic components of the landscape that lead to the loss of ecosystems. The fact that cities are completely dependent on ecosystems that are beyond their borders, and in a symbiotic relationship with ecosystems within them is particularly alarming, especially if all benefits which ecosystems are provide have been consider. The benefits that ecosystems provide to man are collectively called ecosystem services. The survival of humanity has always been, and still today depends on nature. Services provided by ecosystems to humans, particularly in urban areas, can't be compared to any other social, environmental or economic benefits. Urban open spaces, except that representing places of meeting, gathering and movement of the inhabitants of a city, are also small but important points of biodiversity and often forgotten ecosystems. As such, they largely contribute to a wide range of benefits that ecosystems provide to human beings in urban areas, and whose importance is reflected in improving the quality of life and the environment in cities, and in general adaptation to climate change.

Key words: ecosystem, ecosystem services, urban open space, urban area, city

УВОД

Ескалација друштвеног и технолошког напретка узрокована индустријском револуцијом, значајно је и заувек изменила предео. Способност природе да се прилагоди и одговори на промене које настају, смењују се и шире великом брзином је знатно смањена.

Висок степен урбанизације и константна антропопресија резултовали су низом негативних ефеката на абиотичке и биотичке компоненте предела и довели до фрагментације станишта и губитка екосистема.

Промене у структури предела и брзина којом се одвијају директно су утицале на то да степен прилагођавања модификованим условима за живот буде све нижи. Неке врсте су успеле да се прилагоде новонасталим променама, док су друге подлегле притиску и заувек нестале (Кецман, 2016). Резултат тога је губитак и изумирање великог броја врста флоре и фауне на тлу Србије, али и широм света.

Смањење биодиверзитета може резултовати губитком многобројних екосистема, а улога коју превасходно биљке имају, посебно у урбаним срединама је од веома великог значаја за живот и развој човека и генерално његов опстанак на планети Земљи.

Биљке током раста и смене годишњих доба пролазе кроз различите промене и тиме утичу на простор у коме се налазе (Cullen, 2007; Petrović i Polić, 2008). И то не само у естетском, већ и еколошком смислу. У граду, отворени градски простори су главни носиоци биљног материјала и сваки од њих може бити екосистем за себе. Као такви они имају посебан и важан значај у пружању услуга екосистема у урбаним срединама.

Услуге екосистема које пружају отворени простори града, попут деловања на локалну климу и квалитет ваздуха, смањење природних непогода, само су неке од многих које побољшавају стање животне средине, док културне услуге првенствено утичу на психичко и физичко здравље људи.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

На почетку истраживања приступило се претраживању публикованих радова и осталих библиографских јединица према кључним терминима који су у вези са проблематиком која се истражује, али и према терминима који су са њима повезани.

Метод се заснива на анализи, систематизици и класификацији радова објављених у водећим међународним часописима и других библиографских јединица.

У првој фази, претраживали су се радови према кључним терминима који се односе на главну проблематику истраживања. Првенствено су прикупљени радови који су у наслову, апстракт или као кључну реч садржали следеће термине: „екосистем“ (енг. *ecosystem*), „услуге екосистема“ (енг. *ecosystem services*) и отворени градски простори (енг. *urban open space*). Затим је истраживање допуњено прикупљањем радова у комбинацији са терминима: „предео“ (енг. *landscape*), „урбани предео“ (енг. *urban landscape*), „урбанасредина“ (енг. *urban area*), „град“ (енг. *city*), „отворени простори“ (енг. *open space*), „јавни простори“ (енг. *public space*), „биодиверзитет“ (енг. *biodiversity*), „климатске промене“ (енг. *climate change*).

У другој фази, радови су класификовани у две категорије: 1) екосистем и услуге екосистема и 2) отворени градски простори.

Даље истраживање се потом фокусирао на оне објављене радове и библиографске јединице које су у највећој корелацији са темом проблематике која је предмет истраживања, али и њиховој међусобној корелацији.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Екосистем и услуге екосистема

Концепт екосистема је у великој мери продукт XX века, иако се његови корени могу пронаћи и у ранијим вековима. Данас заузима важну позицију у науци о животној средини и модерној екологији. Много је различитих аутора дало дефиницију екосистема, међутим, све дефиниције имају три заједничке карактеристике и укључују биотичке и абиотичке компоненте и њихове међусобне интеракције (Christian, 2009).

Међу првима који су дали дефиницију екосистема је Tansley (1935), који је екосистем сматрао јединицом вегетације која не укључује само биљке од којих је сачињена, већ и животиње које су са биљкама повезане, али и све хемијске и физичке компоненте непосредног окружења или станишта, а сви заједно чине препознатљив, самостални ентитет (Pirolet *et al.*, 2000).

Услуге екосистемасу користи које људска популација директно или индиректно остварује од функција екосистема (Constanza *et al.*, 1997; Bolund and Hunhammar, 1999). Оне се могу поделити у четири категорије: услуге подршке, услуге снабдевања, услуге регулисања и културне услуге (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; TEEB, 2011).

Директан утицај на људе имају услуге снабдевања, услуге регулисања и културне услуге, док за разлику од њих индиректан утицај, који се интерпретира у дугом временском периоду имају услуге подршке (TEEB, 2011).

Ослонац базиран на услугама подршке неопходан је како би екосистеми могли да пруже било коју врсту услуге. Услуге подршке се јављају у виду станишта која биљкама и животињама омогућавају све што им је неопходно за преживљавање: воду, храну и склониште. Сваки екосистем пружа различита станишта која за животни циклус врсте могу бити веома битна. Миграторне врсте, као што су: птице, рибе, инсекти и сисари у току свог кретања зависе од различитих екосистема. Губитак стаништанастаје као резултат климатских промена, ширења туризма, шумских пожара и претварање различитих природних подручја у пољопривредне површине. Највећу претњу представља лептирима и може довести до њиховог изумирања. Познато је да нека станишта имају изузетно велики број врста, што их чини генетски разноврснијим од других, па су позната и као „врће тачке“ (енг. *hotspots*) биодиверзитета (TEEB, 2011).

Када су основни услови испуњени, постојање биотопа и биоценозе, односно екосистема, могуће је добити и извесне производе од њега.

Услуге снабдевања пружају производе у виду хране, која је претежно из управљаних (аграрних) површина, али и водних система (слатке, слане воде; текуће, стајаће), а такође и из шума, али и урбаних башти. У Хавани (Куба) је 1996. године значајан део хране за становништво произведен управо унутар урбаних башти и приватних вртова. Према неким подацима, реч је о 7.5 милиона јаја, 4 милиона букета цвећа, 8.500 тона

пољопривредних производа и 3.650 тона меса (Altieri *et al.*, 1999; ТЕЕВ, 2011). Сировине попут дрвета, биогорива и биљних уља директно се добијају од дивљих и култивисаних биљних врста. Шумски производи као што су гума, латекс и биљна уља су веома важни у трговини и годишња зарада на овим производима се процењује на 11 милијарди US\$ на глобалном нивоу (Roe *et al.*, 2002; ТЕЕВ, 2011). У глобалном хидролошком циклусу чиста вода коју екосистеми обезбеђују је од веома великог значаја јер игра виталну улогу у обезбеђивању градова водом за пиће. Осим тога, екосистеми су извор многих лековитих ресурса. Многе биљке се користе у традиционалној медицини, а многи биљни производи у фармацеутској индустрији. Чак 80% људи на свету и даље зависи од традиционалне медицине, док се вредност продајелекова од природних материјала процењује на 57 милијарди US\$ на годишњем нивоу (ТЕЕВ, 2011). Наведене услуге могуће је транспортовати са места на место, и то најчешће антропогеним утицајем.

Услуге регулисања делују локално, регионално и глобално и поспешују локалну климу и квалитет ваздуха. Дрвеће и зелене површине у урбаним срединама смањују температуру ваздуха, а истовремено и побољшавају квалитет ваздуха у граду уклањањем загађивача из атмосфере и складиштењем угљеника у органима биљке. У Фиренци (Италија) градска парк-шума (енг. *Cascine Park*) на годишњем нивоу уклони око 72.4 kg/харазличитих загађивача (O_3 , CO , SO_2 , NO_2 и др.), док на пример, градска стабла у Сједињеним Америчким Државама (САД) складиште и до 22.8 милиона тона угљеника годишње. Поред тога, екосистеми и живи организми утичу и на смањење природних непогода укључујући поплаве, лавине, олује, клизишта и самим тим утичу и на превенцију ерозионих процеса, а тиме и процеса деградације земљишта. Екосистеми као што су мочваре служе као филтери отпадних вода, што је од посебног значаја за урбане средине. Једна од важних услуга регулисања за сам опстанак биљних врста, а уједно и екосистема је опрашивање, које углавном врше инсекти, али и неке птице и слепи мишеви, што је од суштинског значаја за развој поврћа, воћа и семена биљака. Око 87 од 115 водећих светских прехранбених култура, укључујући какао и кафу, зависи од опрашивања. Поред осталих функција, екосистеми врше и биолошку контролу кроз активности предатора и паразита различитих штеточина и болести, које нападају биљке, животиње и људе (ТЕЕВ, 2011). За урбане средине, услуге регулисања су од круцијалног значаја за живот и здравље становништва. Међутим, екосистеми на овај начин пре свега штите себе и омогућавају сопствени опстанак, док су људи секундарни корисници ових услуга.

Екосистеми пружају и културне услуге у виду користи које нису материјалне природе, већ представљају духовно и здравствено обогаћивање људи у отвореним просторима. Уједно обезбеђују места за окупљање људи, разне уметничке и културне манифестације и јачање активности локалне заједнице. Примарни корисници ових услуга, за разлику од претходно наведених су људи.

Културне услуге у одржавању психичког и физичког здравља људи се све више препознају и признају, а остварују се кроз рекреацију у природи (трчање, шетање и друго). Такође се манифестује и у сферама туризма кроз истраживање и спознају различитих историјских, природних и културних вредности (нпр. културни и еко-туризам). Од таквог туризма могу се остварити и значајни приходи. Приход од путовања и посете коралних гребена на Хавајима износи око 97 милиона US\$ на годишњем нивоу. Биолошка разноврсност је генерацијама извор естетске инспирације за културу, уметност и дизајн, помоћу које се естетски, али и еколошки може унапредити урбани, али и рурални предео. Осим тога, омогућава стицање духовног искуства и ствара осећај за место кроз природне карактеристике попут шума, одређене врсте биљака, планина и пећина, које су се кроз људску историју сматрале светим и имале верско значење. (ТЕЕВ, 2011).

Екосистеми пружају услуге које пре свега настају у сврху развоја и опстанка живих организама, односно самих екосистема. Примарно свим живим организмима је преживљавање и репродукција, све остало се манифестује као додатна корист, како за екосистема, тако, и пре свега, за човека.

Дарвинова теорија еволуције поткрепљује наведено јер живи организми да би преживели морају да се прилагоде, а потом то пренесу и на своје потомство. Најразвијенији примерак овог механизма је човек (Јаћи, 2002).

Услуге екосистема које су од директне користи за екосистем, обично су индиректне користи за човека и обратно. Оне могу бити доступне на локалном, регионалном и глобалном нивоу. Осим тога, могу се преносити од места до места. Односно, од места настанка тј. места где се производе, па до места или града у коме се дистрибуирају, тј. места на којима људи имају корист од њих. Овакав трансфер услуга могуће је обавити природним (нпр. ваздушни саобраћај) или антропогеним путем (Bolund and Hunhammar, 1999).

Укупна вредност услуга екосистема на глобалном нивоу, према извештају Светске уније за заштиту природе (*International Union for Conservation of Nature – IUCN*) процењује се на 33 трилиона US\$ на годишњем нивоу (Constanza *et al.*, 1997).

Услуге екосистема се могу квантификовати, и иако укупна вредност има значаја за економију, оне најважније услуге за човека су бесплатне и не могу се сагледати са економске тачке гледишта.

Током протеклих педесет година људи су променили екосистеме брже и екстензивнијег у било ком другом периоду у људској историји, како би задовољили своје потребе за храном, водом, влакнима, дрветом и горивом. То је резултирало значајним и углавном неповратним губитком разноликости живота на Земљи (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Биодиверзитет на планети Земљи глобално опада, а дистрибуција врста постаје све хомогенија. Другим речима, скупови врста у било ком делу света постају све сличнији један другом, првенствено због увођења интродукованих врста (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Изумирање врста и интродуковање неких нових доводи до измене читавих екосистема и њихових функција, али и прети нестанку истих.

Истраживања показују да преко 50% светске популације и 80% популације Европе данас живи у градовима (Goddard *et al.*, 2009; Свејић *et al.*, 2011). Иако урбана подручја заузимају релативно мали део копнене површине (4% на глобалном нивоу), брза експанзија градова снажно утиче на еколошке процесе, остављајући еколошки отисак много изван граница града, чиме доводи до промене животне средине од локалних до глобалних размера (Goddard *et al.*, 2009). Овакве промене највише су изражене у климатском погледу и могу се осетити у свим аспектима живота човека.

Отворени градски простори

Урбану средину чини распоред улица, зграда, градских блокова, јавних простора и осталих елемената градског пејзажа. Сви наведени елементи и међусобни односи унутар и између њих чине место, односно простор, а све укупно сматра се – урбаном структуром. Урбана структура се односи на градове (велике и мале), али и на села, на ценатар и предграђе, и све оно што се налази између тога, а у нашем окружењу (Базик, 1995; Petrović i Polić, 2008).

Постоје различите дефиниције отворених градских простора, међутим, у свакој од њих постоје извесни недостаци. Јасна, тачна и прецизна дефиниција не постоји, али се захваљујући емпиријским сазнањима и досадашњим покушајима давања дефиниције под *отвореним градским простором* може сматрати: сваки простор који је отворен на горе – према небу (бар једном својом страном) и који се користи јавно, без обзира на тип власништва – било јавно или приватно (Ђукановић, 2015).

Према томе, једна од типологија дели отворене градске просторе на: зелене коридоре; водене коридоре/водену површину; ливаду; шуму/природни резерват; терен за игру; црквену порту, гробља; уступљено обрадиво земљиште; парк; зеленило; сквер; трг; народну башту; приватни врт; игралиште; двориште и атријум (Petrović i Polić, 2008). У наведеној типологији изостављена је улица, која представља први и најјавнији вид отвореног простора, чија развијена мрежа омогућава долазак до свих осталих простора. Поред тога, школска дворишта су такође тип који би употпунио наведену поделу, болнички комплекси, пасажии, па чак и фасаде, као део отворених простора који је доступан свима, претежно у визуелном смислу, а који уз озелењавање може имати и вишеструки еколошки значај (Woolley, 2004; Кеџман, 2014; Ђукановић, 2015).

Отворени градски простори су одувек били кључна места културног, економског и политичког живота, од раних цивилизација па до данас (Stanley *et al.*, 2012).

Град је могуће дефинисати и сагледати као јединствен екосистем или сагледати екосистеме који се налазе унутар њега (нпр. реке, језера, шуме и др.) сваки појединачно (Rebele, 1994; Bolund and Hunhammar, 1999). Наведени типови отворених простора могу се посматрати као појединачни екосистеми, али и као подручја сачињена од више екосистема. На пример, парк-шума у урбаној средини може бити посматрана као јединствен екосистем, а уколико садржи реку или језеро, онда се они могу сагледавати и као засебни екосистеми.

Термин урбани екосистеми може се користити за сва природна зелена и плава подручја у граду. У ову дефиницију укључена су и стабла и рибањаци, иако се сматрају као сувише мала да би се могла сматрати екосистемима у пуном смислу, већ их треба посматрати као елементе неких већих система, нпр. шуме, парка итд. (Bolund and Hunhammar, 1999).

Услуге екосистема у урбаним срединама зависе од отворених градских простора и њихових зелених површина. Повећање броја и унапређење отворених градских простора поспешује и повећати услуге које урбани екосистеми пружају човеку. Адекватним планирањем града, могуће је предвидети унапређење и изградњу оних отворених простора од којих човек може има највише користи на одређеној локацији.

Развојем и унапређењем отворених градских простора могуће је утицати на побољшање услова животне средине и генерално квалитета живота у градовима. Међутим, градови се разликују и сваки град на свету је ентитет за себе, и сваки од њих поседује јединствен карактер.

Из тог разлога није могуће генерализовати значај и важност услуга екосистема на нивоу града. Услуге екосистема су специфичне за локацију, па се широм света могу значајно разликовати (Bolund and Hunhammar, 1999). Градови у више погледа и на више начина варирају. Пре свега, грађени су на различитим хемисферама планете Земље, на различитим континентима, у различитим климатским зонама, на различитим надморским висинама и окружени су различитим типом вегетације.

Варирају и у величини, од мегалополиса до малих градова, као и од екстремно богатог, до екстремно сиромашног становништва. Стокхолм се, на пример, налази на више острва и поседује много више зелених и водених површина од већине осталих градова (Bolund and Hunhammar, 1999). За Њујорк је од највећег и централног значаја Централ парк (енг. *Central Park*) који се у њему налази и чини засебан екосистем. Док је Београд град на ушћу река (Саве и Дунава), што у великој мери опредељује климатске услове и услуге екосистема једног града.

Процесом урбанизације угрожени су сви екосистеми унутар града. Биодиверзитет у урбаним срединама зависи од веза између екосистема изван и екосистема унутар града. Мале зелене површине у граду (паркови, парк-шуме и др.) често су недовољне величине да одрже разноврсност флоре и фауне унутар њих. Међутим, нека истраживања су показала да, на пример, градови у Италију садрже скоро 50% свих врста укупне италијанске авифауне (Dinetti *et al.*, 1996; Bolund and Hunhammar, 1999).

Губитак биолошке разноврсности најприметнији је у градовима чији отворени простори често бивају замењени инфраструктурним објектима, а у онима који се одупру пренамени, разноврсност живог света (флоре и фауне) је изузетно смањена, и често сведена на исте врсте које су реплициране у сваком од постојећих типова отворених простора. Врсте у градовима постају униформне, што води ка томе да градови са аспекта флоре губе свој идентитет, чиме је и способност екосистема да пружи одређене услуге смањена.

Екосистеми обилују вегетацијом која се јавља у различитим животним формама. У урбаним срединама биљке су присутне у знатно мањем обиму и у највећој мери заслужне су за пречишћавање ваздуха. Таксони са већом површином листова способни су да у већој мери филтрирају загађујуће честице из ваздуха. Због укупне површине иглица, а и присуства иглица и током зимског периода, четинари имају већи капацитет пречишћавања од листопадног дрвећа. Међутим, они су често осетљиви на загађен ваздух, па је најбоље решење у отвореним градским просторима комбиновати четинаре и лишћаре. Сви природни екосистеми у граду смањиве и ефекат топлотног острва и уједно побољшати локалне микроклиматске услове. Позитивно утичу и на регулацију буке од саобраћаја и других извора (фабрике и сл.), што језа човека који живи и креће се градом од посебног значаја. Пермеабилне зелене површине поспешују лакше одводњавање у урбаним срединама, а мочваре се сматрају наважнијим екосистемом на Земљи који доприноси свим наведеним услугама (Constanza *et al.*, 1997; Bolund and Hunhammar, 1999).

Рекреативни аспекти свих урбаних екосистема, који омогућавају игру и одмор у отвореним просторима, можда су и највреднија услуга екосистема у градовима. Студије показују да се зелени простори веома важни и за људску психу. Ниво стреса код људи се знатно смањује уколико се они налазе у природном окружењу, док се тај ниво у урбаним срединама налази константно на високом нивоу или се чак повећава. Такође, опоравак људи је за 10% бржи код људи чије су собе окренуте према парку, у односу на оне људе чије собе гледају на суседне зграде (Bolund and Hunhammar, 1999).

Урбани екосистеми могу функционисати и као показатељи стања урбане средине. Тако, на пример, лишћајеви су добар показатељ квалитета ваздуха јер не могу расти у подручјима загађеног ваздуха. Значај зелених површина показују становници Стокхолма (Шведска) који су спремни да за живот у близини парка, градских шума или водених површина издвоје и већу своту новца. Осим тога, чак 90% становништва барем једном током године посећује паркове и друге зелене површине, 45% њих то чини сваке недеље, а 17% више од три пута недељно (Bolund and Hunhammar, 1999).

Све наведене услуге екосистема за човека у урбаним срединама имају велики значај. Снабдевају становништво храном и водом, регулишу микроклиму и загађење ваздуха, утичу на смањење природних непогода и омогућавају широк спектар културних активности делујући притом и локално и глобално на негативне ефекте климатских промена.

ЗАКЉУЧАК

Евидентно је да је степен урбанизације од почетка индустријске па до данас у непрестаном порасту, а изазови које пред човечанство ставља XXI век сваким даном све већи.

Веома битан и значајан природан капитал за човека представљају услуге екосистема. У то су укључени и екосистеми у непосредној близини, али и они позиционирани на другом крају града, државе, континента или глобално планете Земље. Иако се на неки начин могу квантификовати, користи које услуге екосистема пружају човеку су немерљиве. Без екосистема и функција екосистема, живот човека на Земљи не би био могућ. Стога, површан приступ и опхођење према природи око себе, неопходно је што пре променити, како последице, које су ионако већ велике, не би биле и погубне по човечанство.

Осим у животу човека, екосистеми данас заузимају важну позицију и у науци. Обзиром да велики број светске популације живи у градовима, услуге екосистема које у отвореним просторима града умногоме унапређују квалитет животне средине. Поред тога, најважније су природно средство у борби против климатских промене чије су последице свакодневно све више израженије.

Недостатак екосистема, мери се са недостатком отворених градских простора у урбаним срединама, што је од посебног значаја када је локално деловање у питању. Имплементација нових отворених градских простора, уједно је и имплементација нових екосистема, јер отворени градски простори суштински и јесу екосистеми, а самим тимомогућено је и директно остваривање услуга које екосистеми пружају. Услуге екосистема неоспорно утичу на побољшање услова живота у граду.

Иако се о услугама екосистема говорило појединачно, јасно је да сваки екосистем има способност да производи неколико различитих услуга истовремено. У отвореним градским просторима као најважније су се показале услуге регулисања и културне услуге. За опстанак човека, свакако су најважније услуге снабдевања, које му омогућавају чисту воду и храну. Вредност сваке услуге појединачно знатно је мања у односу на њихову вредност збирно. Збирна вредност свих услуга екосистема може да ублажи и надокнади многобројне недостатке урбаног предела.

Значај екосистема у урбаним срединама је немерљив. Услуге које емитују отворени градски простори и њихове зелене површине немају цену. Од индивидуалног дрвећа, од којег неке врсте имају и фитонцидно дејство, од посебног значаја за град, преко паркова, који емитују и пружају различите услуге, до шума и природних резервата, која градовима обезбеђују енормну корист. Осим што су од еколошког и естетског значаја, услуге екосистема у урбаним срединама редукују и смањују многе трошкове, па стога имају и економски значај.

Иако су сиромашнији од руралних у богатству флоре и фауне, и генерално површине коју заузимају, урбани екосистеми и њихове услуге у великој мери доприносе квалитету живота и као такве их треба неговати, без обзира што укупно човечанство зависи од услуга глобалног екосистема, квалитет живота у градовима се побољшава на локалном нивоу. Градови све више расту и развијају се, број становника у градовима се свакодневно повећава, па важност екосистема треба озбиљно схватити и на повећању броја екосистема и отворених градских простора непрекидно радити.

ЛИТЕРАТУРА

- Altieri, M.A., Companioni, N., Cañizares, K., Murphy, C., Rosset, P., Bourque, M., Nicholls, C.I. (1999): The greening of the “barrios”: Urban agriculture for food security in Cuba. *Agriculture and Human Values* 16, 131-140;
- Базик, Д. (1995): Сценарио живота у граду: процес настајања градске сценографије. Архитектонски факултет Универзитета у Београду, Београд;
- Bolund, P., Hunhammar, S. (1999): Analysis: Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics* 29, 293-301;
- Goddard, M.A., Dougill, A.J., Benton, T.G. (2009): Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology and Evolution*, Tree 1175, 1-9;
- Dinetti, M., Cignini, B., Fraissinet, M., Zapparoli, M. (1996): Urban ornithological atlases in Italy. *Acta Ornithologica*, Vol. 31, 15-23;
- Ђукановић, З. (2015): Употреба партиципативне јавне уметности у урбаном дизајну (Докторска дисертација). Београд: Универзитет у Београду, Архитектонски факултет;
- Jahi, H. (2002): *Obmanaevolucije. Naučni kolaps darvinizma i njegova ideološka pozadina*. Centar za prirodnjačke studije, Београд;
- Кецман, С. (2014): Студија приобаља Дунава, општина Палилула. Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Београд;
- Кецман, С. (2016): Зелена инфраструктура као стратегија планирања Градске општине Чукарица (Мастеррад). Београд: Универзитет у Београду, Шумарски факултет;
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): *Ecosystems and Human Well-being*. Synthesis. Island Press, Washington, DC;
- Petrović, G., Polić, D. (2008): *Priručnik za urbanidizajn*. Orion Art iPrograf, Београд;
- Pirot, J.-Y., Meynell, P.-J., Elder, D. (2000): *Ecosystem Management: Lessons from around the World. A Guide for Development and Conservation Practitioners*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK;
- Rebele, F. (1994): Urban ecology and special features of urban ecosystems. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 4, 173-187;
- Roe, D., Mulliken, T., Milledge, S., Mremi, J., Mosha, S., Grieg-Gran, M. (2002): Making a killing or making a living? Wildlife trade, trade controls and rural livelihoods. *IIED and TRAFFIC, Biodiversity and Livelihoods Issues* No. 6, 1-14;
- Stanley, B.W., Stark, B.L., Johnston, K.L., Smith, M.E. (2012): Urban Open Spaces in Historical Perspective: A Transdisciplinary Typology and Analysis. *Urban Geography*, 33, 8, pp. 1089-1117;
- TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2011): *TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*. (http://doc.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Additional%20Reports/Manual%20for%20Cities/TEEB%20Manual%20for%20Cities_English.pdf) приступљено: 16. јануара 2019;
- Christian, R.R. (2009): Concepts of ecosystem, level and scale. *Encyclopedia of life support systems (EOLSS)*. Vol. 1, 34-51;

-
- Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Faber, S., Grasso, M. (2017): Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem services* 28, 1-16;
 - Cullen, G. (2007): *Gradski pejzaž*. Građevinska knjiga, Beograd;
 - Cvejić, J., Tutundžić, A., Bobić, A., Radulović, S. (2011): *Zelenainfrastruktura: prilogistraži vanjuadaptacijegradovanaklimatskepromene*. DruštvourbanistaBeograda, Beograd;
 - Woolley, H. (2004): *Urban Open Spaces*. Spon Press, London and New York.

ПРИЛОГ МЕТОДАМА И ТЕХНИКАМА НАУЧНО-ИСТРАЖИВАЧКОГ РАДА: МЕТОД И МЕТОДОЛОГИЈА НАУЧНИХ ИСТРАЖИВАЊА

Ненад Ранковић

Извод: У овом прилогу методама и техникама научно-истраживачког рада изнети су основни појмови, изрази и схватања везани за методолошку теорију, као и пратеће структуре и поделе на врсте или типове. Одабрани основни појмови су дефинисани почевши од корена речи, па све до значења која имају у овој области. Пратеће структуре и поделе су изабране и приказане у складу са потребама истраживача да се на њих позову када пројектују своја истраживања и тако јасно назначе какав ће бити пут од њихове истраживачке идеје до нових знања која очекују. Такође, осећала се потреба и да се разјасне неке дилеме које су постојале у методолошкој сфери, а које истраживачи морају да схвате да би исправно пројектовали своја истраживања. Све то је веома важно, јер се од њих приликом сваког истраживања захтева да објасне и теоријски јасно омеђе свој истраживачки задатак, односно морају те детаље да напишу у својим извештајима о обављеним истраживањима.

Кључне речи: метод, методологија, научна техника, протокол

CONTRIBUTION TO METHODS AND TECHNIQUES OF SCIENTIFIC RESEARCH: METHOD AND METHODOLOGY OF SCIENTIFIC RESEARCH

Abstract: This contribution to methods and techniques of research work outlines the concepts, expressions and understandings related to methodological theory, as well as the accompanying structures and divisions into categories or types. The selected basic terms are defined starting from the word roots to the meaning they have in this field. The accompanying structures and divisions are selected and presented according to the needs of the researcher to refer to them when designing their research. In this way, they can clearly indicate the path from the research idea to the new knowledge they are expecting. There was also a need to clarify some of the dilemmas in methodology that researchers need to understand in order to properly design their research. All of this is very important, because they are required to explain and theoretically clearly limit their research task, i.e., they must write these details in their research reports.

Keywords: method, methodology, scientific technique, protocol

1. УВОД

Образовање младих истраживача започиње управо упознавањем са методама и методологијом научних истраживања. То су универзална знања, која будући истраживачи морају да усвоје, да би могли квалитетно да осмисле пут од своје истраживачке идеје до новог знања у вези са проблемом истраживања. Иако постоји бројна методолошка литература, она је доста стручно оријентисана и обилује исто таквим појмовима и изразима, што код студената виших нивоа студија не тако ретко изазива тешкоће у прихватању, односно разумевању, текста. Ако се томе дода и недовољна образованост студената из претходног школовања из сфере друштвених наука, онда тај проблем постаје тежи за решавање.

У том смислу, осећа се потреба да се на једном месту обједине неке полазне дефиниције и структуре, што би могло да им помогне да боље разумеју ову врсту текстова. То се посебно односи на основне појмове и изразе, којима се ова област служи, као и на структуре и поделе на врсте или типове везане за њих. Као основни критеријум за избор онога што ће да се прикаже, било је искуство у раду са студентима виших нивоа образовања и оно што је то учено као проблем у разумевању ове материје. То је определило и да се из приказаних структура већа пажња посвети одређеним елементима (детаљније објашњење) у односу на друге (можда само поменуто да постоји и где је структурно позиционирано).

Оно што треба нагласити јесте да овај текст није писан са тежњом да замени већи број књига и уџбеника из ове области, већ само да пружи кратак преглед ове материје, односно лако налажење дефиниција основних појмова и увид у структуре и поделе, као и да укаже на алтернативне литературне изворе, где се та знања могу потврдити и проширити.

2. ПОЈАМ НАУЧНЕ МЕТОДЕ И МЕТОДОЛОГИЈЕ, НАУЧНЕ ТЕХНИКЕ И ПРОТОКОЛА

Метод (грч. *μεθόδος*, *methodos*) дословно значи трагање за знањем, истраживање, односно начин спровођења таквог истраживачког поступка, али најчешће се подразумева унепред дефинисани процес за извршење неког задатка (2019/ђ). Другим речима, то је систем техника, процедура и начина испитивања, уређених према неком логичком распореду или редоследу (унапред предвиђени, систематски уређен, редослед активности), коришћених са сврхом да се постигне одређени циљ или изврши неки задатак. Такође, може се рећи и да је то унапред предвиђени систематски уређен редослед активности да се оствари неки циљ, односно, да се нешто уради.

Појам „методологија“ је изведен из појма „метод“, јер у свом корену садржи реч „метод“ уз наставак „логија“ (грч. *λόγος*, *logos* - мисао, идеја, реч, значење, принцип), па би смисао овог појма могао да се схвати као „...тражење рационалног објашњења, насупрот митолошком¹ објашњењу“ (2019/в). С обзиром на то, методологија представља систематску, теоријску анализу метода, који се примењују у некој области (2019/е), односно науку о методама.

Предмет и објективан начин сагледавања света разликује научно знање од резултата других начина спознаје, као што су уметнички, верски, митолошки, езотерични или филозофски. Научно знање је скуп теорија, изграђених, изведених и проверених помоћу научног метода (R e s k e r , 2013). Заснива се на пажљивом посматрању и примени ригорозног скептицизма² о ономе што се посматра, пошто се спознајне претпоставке разликују, у зависности од тога како неко тумачи предмет посматрања. У том смислу, научни метод чини скуп основних поступака за решавање задатака, са циљем стицања нових знања, генерализације и продубљивања разумевања свеукупности чињеница и теорија у било којој области науке. Обухвата начине за проучавање феномена, њихову класификацију, затим прилагођавање нових и претходно стечених знања, а са циљем да се објасне посматране чињенице, изнесу хипотезе и изграде теорије, на основу којих се могу извести закључци и претпоставке (2019/е). Другим речима, метод представља „...начин истраживања (начин, пут, поступак који употребљавамо да бисмо дошли до сазнања, да бисмо открили или изложили научну истину) који се примењује у некој науци“ (М и љ е в и ћ , 2007).

Из свега наведеног јасно се запажа да примена научних метода у истраживању има велики значај, јер је веома важно да се разуме и процени сврсисходност коришћених начина стицања сазнања. То објашњава и обавезу њиховог навођења при писању мастер радова, докторских теза и других врстанаучноистраживачких радова.

Различите науке служе најчешће користе различите методе за стицање сазнања, али исто тако није ретко да се неке науке служе методама развијеним у другим научним областима. Због тога постоји потреба за развијањем научних метода, од настанка (открића), преко усавршавања и унапређивања, па све до прилагођавања примени у другим научним областима. Тако нешто могуће је само ако се све методе систематски прате и изучавају у свим наведеним фазама. За те сврхе установљена је посебна

¹ др Ненад Ранковић, редовни професор у пензији, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

наука која се бави научним истраживањем метода којима се стичу нова знања, а која се назива методологија (М и л о с а в љ е в и ћ С., Р а д о с а в љ е в и ћ И., 2013). Методологија критички оцењује методе и разматра да ли примена неког метода може да обезбеди валидан одговор на постављена питања. Са друге стране, „... без адекватне методологије, резултати истраживања постају неорганизовани, непоновљиви и непоуздани“ (2019/б). „Методологија, као наука о методама, као део логике који се бави проучавањем сазнајних метода, има за циљ, не само да описује научну праксу, него и да прописује логичка, техничка, организацијска и стратегијска (хеуристичка) правила или норме о томе како треба да се ради у науци да би њени резултати били ваљани“ (М и л е в и ћ , 2007). С обзиром на то, пратећи развој научне методологије, формира се и научни начин размишљања.

Поред научних метода, на нижем нивоу, постоје и научне технике. У основи, то су систематски начини за добијања информација о научној природи предмета истраживања или за добијање жељеног материјала или производа (2019/и). Практично, научне технике представљају специфичне алате којима се служе методе (Б а ј о р и ћ , 2011), при чему једна научна метода може да има више научних техника, који одговарају својствима испитиване појаве, предмету и циљевима истраживања и изворима података.

Током развоја науке и научних метода, није рекост да се у научној пракси доказане и проверене методе, које не подлежу даљој провери, еволуирају из метода у технике (нпр. инструменталне технике које захтевају одређене врсте уређаја), при чему је такво померање једносмерно (методе могу да се трансферују у технике, али обратан процес није могућ).

У рангу испод научних техника налазе се научни протоколи. Протокол је унапред дефинисана процедура у дизајнирању и имплементацији експеримента. Пишу се кад год је пожељно стандардизовати спровођење неког метода, да би се осигурала успешно понављање резултата од стране других, на истом или неком другом месту. Они, такође, „... олакшавају процену резултата кроз рецензију. Поред детаљних процедура и листа потребне опреме и инструмената, протоколи често укључују информације о сигурносним мерама, израчунавању резултата и стандарда извештавања, укључујући статистичке анализе и правила за предефинисање и документовање искључених података, како би се избегла пристрасност. Протоколи се користе у широком спектру експерименталних поља, од друштвених наука до квантне механике. У производњи се користе и писани протоколи како би се осигурао конзистентан квалитет“ (2019/з).

Постоје и тзв. „слепи“ протоколи, којих има три врсте (2019/з):

- једноструки „слепи протокол“ захтева да експериментатор не зна идентитет узорака током тестирања и прорачуна;
- дупли „слепи“ протокол важи када се испитује људски субјекат и захтева да ни експериментатор ни експериментални субјекти не знају за идентитет третмана или резултате до завршетка експеримента;
- троструки „слепи“ протокол се користи када се захтева да експериментатор, експериментални субјект или статистичари не знају идентитет третмана или резултате до завршетка експеримента.

Поред протокола, у нижем рангу, постоје још и процедуре, списак опреме (инструмената, уређаја, апарата, алата, итд.), калкулације и извештаји.

2. СТРУКТУРА НАУЧНИХ МЕТОДА И ТЕХНИКА ИСТРАЖИВАЊА

Постоји више критеријума класификације метода, који варирају од аутора до аутора, а најчешћи су општост метода (његова употребљивост) и предмет који се датом методом истражује. Једна од таквих класификација је следећа (М и л е в и ћ , 2007):

- основне методе су у основи свих других метода (анализа и синтеза, апстраховање

и конкретизација, специјализација и генерализација, дедукција и индукција, компарација);

- општенаучне методе су оне које се примењују или се могу примењивати у свим наукама (статистичке методе, метода моделовања, аксиоматска, аналитичко-дедуктивна, хипотетичко-дедуктивна и историјско-компаративна);
- посебне методе су методе појединих група наука (нпр. друштвених), али има случајева да се неке методе, изворно конципиране за одређене науке, примењују и у истраживањима у другим научним областима (нпр. дијалектички метод је применљив у скоро свим наукама);
- методе прикупљања података се користе у прикупљању података (испитивање, посматрање и експеримент, док анализе докумената и студија случаја имају неке специфичности, па се називају и оперативним методама).

Кад су **основне методе** у питању, треба се посебно задржати на карактеру неке методе, јер се, у зависности од тога, методолошки поступак спроводи на различити начин.

Аналитичке методе се заснивају на растављању предмета истраживања на његове саставне делове (структурне елементе), функције, везе и односе, при чему то растављање може да буде физичко, духовно (мисаоно) или комбиновано (М и љ е в и ћ , 2007). Због овакве суштине, предмет истраживања применом аналитичких метода нужно мора да буде сложена целина. Ако би се, као критеријум, узео предмет истраживања, аналитичке методе би имале следећу структуру (М и љ е в и ћ , 2007):

- анализа садржаја;
- структурална анализа;
- функционална анализа;
- компаративна анализа;
- генетичка анализа;
- каузална анализа;
- структурално-функционална анализа;
- факторска анализа.

Методе синтетичког карактера су оне „...које се заснивају на синтези, те чији су методски поступци разни облици примене синтезе, односно поступака спајања, припајања, повезивања, обједињавања, итд.“ (М и љ е в и ћ , 2007). Имајући то у виду, јасно је да је синтезаусмерена на разумевање сложених целина преко њених саставних делова.

Овако дате карактеристике метода, указују на то да су анализа (растављање) и синтеза (састављање) супротне по кретању мишљења и поступцима, као и према садржају сазнања (синтеза открива јединство целине, а анализа разноврсност веза, односа и делова), а могу се користити у научним истраживањима било као одвојени, било као комплементарни приступи у стицању сазнања.

Када се ради о **општенаучним методама**, оне се могу поделити на (М и љ е в и ћ , 2007):

- хипотетичко-дедуктивну;
- статистичку;
- методу моделовања;
- аксиоматску методу;
- аналитичко-дедуктивна;
- компаративну.

Метода моделовања је посебно значајна, јер примењује комбинацију бројних других метода. Заснива се на формирању и анализи одговарајућих модела[□] предмета, структура или идеја. Процес формирања (изградње, стварања) модела назива се

моделирање (моделовање[□]). Процес моделирања може да се подели на четири фазе (2019/г): а) формулисање и изградња модела, б) проучавање (анализа) модела, в) пренос знања са модела на оригинал и г) провера адекватности стеченог знања.

За методе из ове групе битно је истаћи да се више њих може користити у неком истраживању, свака у некој од фаза истраживања, док се неке од њих користе заједно и тешко их је раздвојити (нпр.статистичка метода и метода моделовања се, по правилу, јављају истовремено и повезано у готово свим истраживањима у којима се користе[□]). Када је у питању примена ових метода при изучавању сложених социо-економских система и система управљања, подразумева се истовремено коришћење комбинације различитих аналитичких и симулацијских метода (2019/г). У сваком случају, врло је тешко навести неко научно подручје, где се не примењује неки облик моделирања.

Овде још треба објаснити и појам „симулација“[□], који је у тесној вези са моделирањем. Наиме, симулација је нека врста квазиексперимента, односно „...*облик модалног експеримента и изванредан реконструктивни и прогностички инструмент. За друштвену стварност, симулација је од изванредног значаја зато што је у тим областима неопходно планирање - дакле, прогноза и праћење, и вредновање - дакле, реконструкција*“ (М и љ е в и ћ , 2007).

Статистичке методе се користе у скоро свим сферама стицања знања и често се комбинује са другим методама, посебно методом моделовања. Употребљавају се за истраживање масовних појава помоћу бројчаног изражавања, јер се на темељу обележја одређеног броја елемената неког скупа или серије појава, изводи општи закључак о просечној вредности обележја и девијацији од средње вредности, односно о узрочно-последичним везама између тих појава. Важност статистичких метода је у томе што се једино помоћу њих могу на егзактан начин сазнати правилности и законитости масовних појава. Састоји се од три главне фазе:

- прикупљање примарних статистичких информација;
- систематизација и обрада примарних информација;
- синтеза и интерпретација резултата статистичке обраде.

Избор одговарајуће статистичке методе зависи од предмета и сврхе истраживања. У примени статистичке методе, као илустративан допунски приказ статистичких информација, користе се табличне и графичке технике, а посебно је актуелно коришћење мултимедијалних средстава за визуелизацију кретања посматраних појава.

За истраживања у сфери друштвено-економских научних дисциплина, веома је важна компаративна метода. Овом методом утврђује се идентичност, сличност или различитост исте појаве у разним временима, на разним просторима, односно истоврсних или разноврсних појава у дефинисаном простору и времену. Другим речима, то је систематски поступак којим се проучавају односи, сличности и разлике између два предмета или појаве са циљем да се изведу одређени закључци. При томе, такво поређење се врши према унапред утврђеним елементима који ће се поредити, као и мерним скалама које ће послужити да се исказе интензитет разлика у поређењу. Као продукт примене ове методе су различите врсте класификација и типологија.

Компаративна метода се најчешће примењује „...*код истраживања макро и глобалних појава, где би било скупо, ирационално или нехумано вјештачки изазивати одређене појаве...*“ (2019/д), само ради стицања сазнања. Као пример примене компаративне методе у друштвено-економским истраживањима, могао би да се наведе случај када се испитују различите друштвене групе (нпр. нижа, средња и виша класа), где се подаци о њиховим карактеристикама упоређују како би се идентификовало оно што је евидентно присутно у једној групи, али не и у другој (разлика), или оно што је блиско код обе групе (идентичност или сличност) (2019/н). Иначе, „...*компаративни метод је важно средство историјског истраживања у економским наукама и посебно индуктивног*

закључивања. *Користи се често у комбинацији са историјским методом (компаративно-историјски метод)*“ (П е ј а н о в и ћ , 2009).

У **посебненаучне методе** убрајају се методе појединих група наука, односно посебне су за сваку научну дисциплину (економију, право, филозофију, социологију, физику, математику, хемију), при чему се поистовећују поједини методолошки правци са посебним методама (М и љ е в и ћ , 2007). Неке посебне методе су: аксиолошка, догматска, нормативистичка, лингвистичка, кибернетска, дивизије, класификације, дефиниције и генерализације (К у з м а н о в и ћ , 2019). Сврха овог приручника дикутира одређење у приказу неких метода из ове групе на оне које се, пре свега, користе у друштвено-економским наукама, а за потребе истраживања у сектору шумарства.

Дијалектички метод се заснива на дијалектици као филозофском правцу у посматрању света, при чему се дијалектика сматра за науку „...о најопштим законима развртка природе, људског друштва и мишљења“ (Р о з е н т а л , 1948). У том смислу, „...суштина овог методолошког приступа је схватање друштва као тоталитета³, целине која је структурирана и функционише на супротностима, противречностима и антагонизмима, који се манифестују кроз мноштво процеса“ (П е ј а н о в и ћ , 2009). Основни дијалектички принцип се заснива на томе „...да је кретање основа свега што постоји у природи и у друштву. Кретање је апсолутно, док је мировање релативно. Природа и друштво, природне и друштвене појаве, подложни су трајним променама“ (П е ј а н о в и ћ , 2009). Основни циљ, при истраживању неке појаве, је да се утврди зачетак, настанак, промена садржаја, структура и функције делова и чинилаца, односно њен развој. На тај начин могу се разумети тенденције и законитости у променама током времена, а, на основу тога, и могућност даљег развоја у будућности (З е л е н и к а , 2000). Практично, свет се посматра динамички, у кретању, а све појаве имају одређене фазе кроз које пролазе у свом развоју, што тренутно запажање чини тек једним мањим делом сазнања о посматраној појави.

Основни принципи дијалектичке методе су следећи (М и л о с а в љ е в и ћ , Р а д о с а в љ е в и ћ , 2013, З е л е н и к а , 2000):

- принцип дијалектичке анализе (сваки предмет, појаву, својство или процес треба раставити на саставне чиниоце, делове и утврдити њихове везе и односе, без обзира како тај предмет или његова дефиниција изгледали прости);
- принцип дијалектичке супротности (све појаве треба схватити као јединство супротних и дијалектички противуречних чинилаца процеса или тенденција развоја);
- принцип кретања, промене и развоја (битно је истражити шта се у некој појави мења - садржај или форма);
- принцип дијалектичког прелаза (појаве су не само јединство супротности, већ и прелази сваке одређене особине, црте, својства у другу (њену супротност), прелаз квантитета у квалитет и обрнуто, као и прелаз једног квалитета у други);
- принцип даљег и дубљег сазнања (које се креће од познате стране појаве, од њеног појавног аспекта ка суштини од једне врсте веза ка другим врстама веза).

Теорија система⁴ је релативно новија научна дисциплина, која је настала у оквиру кибернетике, као науке о управљању и информацијама. Она утврђује законитости које се јављају у функционисању неког система и/или подсистема. „Односи и везе међу

2 Митолошки (грч. *mythologikos*) - који спада у област прича и бајки о боговима, херојима, вилама и чудима (В у ј а к л и ј а , 1980).

3 Скептицизам (грч. *skepsis* - посматрање, мишљење) филозофско схватање које сумња у могућност сазнања, а долажење до истина сматра искљученим и немогућим; сумњичавост (В у ј а к л и ј а , 1980).

подсистемима могу бити различити, па се променама у њима неизбежно мењају квантитативна и квалитативна својства и подсистема и система“ (Зеленика, 2000). Предмет изучавања може да буде један организам, било каква организација или друштво, електромеханички или информациони артефакт⁵. Теорија система је настала у биологији током 20-их година 20. века, из потребе да се објасни међуповезаност организама у екосистемима⁶ (2019/ј). Према основама теорије система, сваки проблем, свака појава, сваки део реалног света посматра се као један комплексан систем.

При томе, посебно се издваја општа теорија система, која се, као наука, бави изучавањем општих законитости система и методологијом (наука о системима). Такође, јављају се и неки додатни појмови, као што су: системска анализа, системско моделовање, системска спрега, пројектовање система, теорија великих система, системски приступ, друштвени систем, организациони систем, пословни систем, итд.

Поред наведених метода, у научним истраживањима често се користи иметода процене. „Методe процене и предикције представљају облик индуктивне методе, која припада посебним научним методама и њена употреба је рационална и целисходна. Заснована је на процесу сазнања, којим се антиципирају будућа искуства у неком домену“ (Зачарановић, 1987). Ова метода се обично користи у завршним фазама истраживања када су обављени експерименти и резултати анализирани, да би се употпунила слика о одређеним појавама које су истраживане, па је треба разумети као помоћну методу у истраживању. Примењује се у случајевима кад не постоји могућност тачног и прецизног обрачуна, који би у потпуности уважавао све оно што се дешава у стварности. Због тога се решавање таквих проблема редовно своди на неку врсту процене (мање или више прецизне).

У истраживањима се спроводи кроз неколико сукцесивних фаза. Основни кораци у примени методе процене су следећи (Милековић, 2004):

- ▶ припрема за процену;
 - дефинисање ангажовања (циљ, предмет и сврха процене);
 - прикупљање података;
 - анализа података;
- ▶ избор и примена методе процене;
- ▶ сачињавање извештаја о процени;
 - приказ закључака;
 - изношење тумачења добијених закључака.

При томе, треба имати на уму да резултат процене никада није прецизно дата/ израчуната вредност, већ служи за оријентацију при тумачењу резултата истраживања добијених у виду доказаних ставова. Без обзира на то у које сврхе се процена користи, треба је обавити доследно и у складу са општеприхваћеним правилима, на што је могуће тачнијем нивоу. Односно, без обзира како се генеришу потребни подаци, они морају

4 „Моделовање је рационалан, системски, сложен поступак адекватног представљања битних одређби процеса, појаве (реалитета) или њихових замисли као одређене целине“ (Милевић, 2007).

5 Модели, по својој форми, могу бити (2019/м): природни (механички, макете, прототипови, хемијски), усмени (филозофски, дескриптивни, идејни), аналитички (математички, статистички), дигитални, комбиновани, итд. Полазећи од тога, статистичка метода може да се позиционира као подметода методе моделовања, односно подметода аналитичке методе, пошто се аналитички модели деле на: математичко-статистичке (формуле, матрице, итд.), графичке (скице, графикони, дијаграми, шеме, итд.) и табеларне (различите врсте табела). Тако би можда могла да се прихвати следећа хијерархијски повезана методолошка веза: А. метод моделовања → А.1. аналитички метод, А.1.1. математичко-статистичке методе → А.1.1.1. економетријске методе.

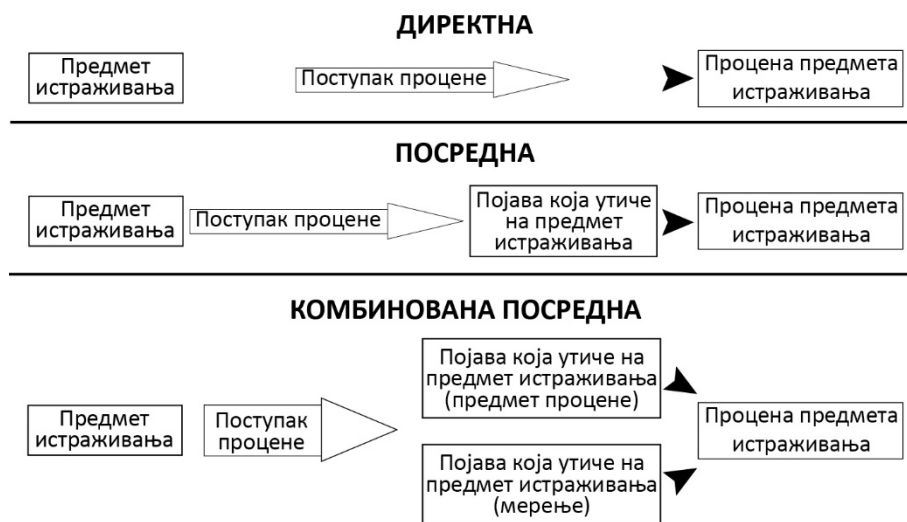
бити логични и да одговарају основној намени процене, при чему то мора бити детаљно објашњено и образложено.

Процена представља доношење суда о предмету истраживања у одређеном временском тренутку и заснива се на:

- разумевању прошлих, тренутних и будућих односа предмета истраживања у односу на анализирани факторе;
- анализи окружења у коме предмет истраживања егзистира;
- анализи положаја предмета истраживања у односу на друге предмете сличних функција;
- анализи информација о квантитативним особинама предмета истраживања из ранијих истраживања;
- примени одговарајућих метода процене, како би се дошло до резултата који су логични и оптерећени са намањом могућом грешком (овде основну улогу има сврха процене).

У основи, могу се дефинисати три нивоа (дијаграм 1) процене (М и х а и л о - в и ћ , 1999):

- директна;
- посредна;
- комбинована посредна.



Дијаграм 1. Нивои процене (М и х а и л о в и ћ , 1999)

Када је предмет процене ствар, појава или процес који су циљ истраживања, онда се ради о директној процени. Индиректном проценом се сматра када се проценом неке узрочне величине (она је директно предмет процене) долази до процене о стању циљне величине (индиректно процењено, преко узрочне, која је добијена методом процене). Комбинована процена се ради у сложеним ситуацијама, када се испитује утицај више величина на циљну, од којих неке имају чињенично утврђена стања (другим методама или мерењима), а неке се морају проценити (директно или индиректно). Што се више нивоа процене нађе у дефинисању неког резултата, то је он мање поуздан. Међутим, како је увекприликом процене резултат оптерећен извесном грешком, битно је дефинисати ниво прихватљиве грешке и у складу с тим улазити у тумачење тако добијених резултата.

У области шумарства, због специфичности предмета истраживања (жив материјал и велики простор на коме се простире), није увек могуће егзактно мерење, па се често примењује метода процене. Тако, на пример, процењује се старост дрвећа, број стабала, дубећа дрвна запремина, количина урода семена, запреминска структура дубеће дрвне запремине, вредност дубеће дрвне запремине, итд. Све ове процене имају јасно трасиран начин како се врше, да би се ниво грешке одржао на прихватљивом нивоу.

Методe прикупљања података, као што и сам назив говори, дефинишу први оперативни корак у спровођењу истраживања. Основне су научно посматрање, испитивање и експеримент, као и анализа докумената и студија случаја.

Научно посматрање је системско опажање у циљу открића нових чињеница или проверавања научних хипотеза, а прикупљање података врши се путем непосредног чулног опажања, што значи да су предмет посматрања само актуелне појаве за време њиховог трајања. Повезано је са егзактношћу, јер егзактност означава потпуну прецизност при посматрању, односно када се постигне највиши степен тачности посматрања (А д а м о в и ћ *et al.*, 2017).

Посматрање може бити: објективно, потпуно, прецизно (тачно) и системско. Предмети научног посматрања могу бити: спољне појаве (екстроекспекција), које се могу чулно опажати, и унутрашње појаве (интроспекција).

Спровођење посматрања може да се обави кроз неколико корака (А д а м о в и ћ *et al.*, 2017):

- 1 - селекцију и обуку посматрача;
- 2 - начин успостављања контакта са средином и ситуацијом у којој ће бити изведено;
- 3 - системско бележење и класификовање података.

Као најповољнији предмети истраживања путем посматрања сматрају се (М и л о с а в љ е в и ћ , Р а д о с а в љ е в и ћ , 2013):

- мале друштвене, институционализоване или експерименталне групе;
- процеси одлучивања у институцијама и органима;
- процес рада, организација, подела рада и садржај појединих занимања у подели рада, итд.

Научно испитивање је „...*поступак прикупљања података посредством вербалне комуникације, која се успоставља између истраживача и лица за које се претпоставља да те податке може пружити*“ (М и х а и л о в и ћ , 2004). Приликом примене овог метода, подаци се прикупљају преко исказа других субјеката (испитаника), односно путем вербалне комуникације, која се успоставља између истраживача и лица за које се претпоставља да те податке може да пружи. Испитивање може бити писмено или усмено, али у оба случаја се разликују две фазе или два смера комуникације (М и х а и л о в и ћ , 2004):

- 1 - вербална провокација, која представља питање које истраживач поставља испитанику у писменој или усменој форми;
- 2 - вербална реакција, коју чине одговори испитаника на постављено питање.

Експеримент (опит) је начин прикупљања података непосредним чулним опажањем, уз коришћење помоћних техничких средстава или без њих, при чему се услови и ток процеса, по правилу, вештачки изазивају и непосредно контролишу (М и л о с а в љ е в и ћ , Р а д о с а в љ е в и ћ , 2013). То подразумева смишљен и организован поступак којим се предмет истраживања излаже више пута различитим условима у погледу температуре, притиска и других физичких, хемијских и осталих утицаја, уз брижљиво бележење промена, које се при томе дешавају (А д а м о в и ћ *et al.*, 2017). Важно је нагласити да су мерења саставни део сваког експеримента.

Експерименти могу бити (А д а м о в и ћ *et al.*, 2017):

- природни;
- вештачки;
- симулациони;
- лабораторијски.

Посебна врста експеримента је оглед⁶, који представља организовање посматрања у природним условима, без могућности контроле детерминишућих величина, па није могуће његово понављање у идентичним условима. У шумарству је то уобичајени начин прикупљања података. Обично се одреди одређени простор, на коме се организује мерење жељених параметара (можда у дужем временском периоду⁷) у природним условима. Пошто се природни услови временом мењају, отежано је поређење резултата мерења, спроведених у различитим временским одсечцима. Када се узме у обзир и да се услови разликују на различитим (дислоцираним) просторима, онда је и поређење мерења спроведених у исто време, али на другом месту, исто тако под знаком питања. Из тих разлога може се говорити о сличности или блискости, а никако о једнакости резултата мерења.

Анализа докумената се бави прикупљањем, систематизацијом и тумачењем различитих врста докумената, а обухвата текстуалне исказе у папирној или електронској (дигиталној) форми. Документи садрже различите врсте информација о творцу документа, о збивањима која је забележио и темама које је обрадио, а што је ушло у круг његовог сазнања посредним или непосредним чулним путем. Ту се јављају три основне ситуације (М и л о с а в љ е в и ћ , Р а д о с а в љ е в и ћ , 2013):

- аутор говори о себи;
- аутор говори о догађајима чији је активни учесник или само присутни очевидац;
- аутор говори о догађајима о којима је сазнао преко других.

Под документима се подразумевају књижевни, текстуални или визуелни прикази, креирани за одређену сврху, а који омогућавају размену информација и представљање „прича“, односно разумевање начина на који су документи писани, произведени, коришћени и конзумирани (2014). При томе, документи не могу да се третирају, колико год били званични или не, као апсолутно чврсти докази о ономе о чему извештавају. Зато се мора извршити анализа суштине садржаја докумената према ономе шта су и за коју су сврху написана.

Студија случаја укључује пажљиво и потпуно посматрање одређене друштвене јединице, било да је та јединица особа, породица, институција, културна група или чак цела заједница (К о т х а р и , 2004). При тако детаљном и дубоком проучавању дате јединице, важно је третирали укупну популацију која је предмет истраживања као један ентитет, користећи квантитативне и/или квалитативне методе (К у м а г , 2011). Обично се изучава неко посебно занимљиво и карактеристично обележје или особина одређеног случаја (З е л е н и к а , 2000). Приликом избора случаја, постоје најчешће две могућности: а) случај је репрезентативан⁸ (представља већи број случајева истог или сличног типа) или б) случај је уникатан (нема сличних случајева).

Приликом планирања истраживања, где ће бити примењена студија случаја, постоје четири типа ситуација (Р е с к е р , 2013):

- тип 1 ▶ појединачни (холистички) - кад истраживач жели да идентификује нове и раније неистражене појаве;
- тип 2 ▶ једноструки (уграђени) - претпоставља се да постоји више од једне јединице анализе⁷ једног случаја;

6 У страниој литератури овај појам се изједначава или са експериментом (енг. experiment) или са искуством (енг. experience), па се можда може говорити о „искуственом експерименту“ (нешто што се може осмислити и организовати, али се не може поновити под идентичним условима).

- тип 3 ▶ вишеструки (холистички) - кад је намера истраживача да изгради или тестира теорију;
- тип 4 ▶ вишеструки (уграђени) - претпоставља се да постоји више од једне јединице анализе већег броја случајева.

Посебно место у овој класификацији заузимају методе операционих истраживања (линеарно, нелинеарно, целобројно, параметарско и мрежно програмирање, транспортни проблеми, оптимизација на мрежама, вишекритеријумска оптимизација, теорија игара, „Монте Карло“ метода, итд.). Назив су добиле по истраживању операција у организационим системима са сврхом њихове оптимизације. Најпре су се развијала у војне сврхе, да би касније била уочена њихова употребљивост у управљању пословним системима (2019/ж). Операциона истраживања представљају „...научни приступ и употребу формалних математичких модела у истраживању сложених проблема који се јављају у управљању и руковођењу великим системима, које сачињавају људи, машине, материјали и новчана средства, у индустрији, трговини, разним облицима власти и у одбрани“ (Андрејић, Љубојевић, 2009). Другим речима, „...операциона истраживања представљају научни приступ доношењу одлука, јер се на научној основи баве одлучивањем о начинима најбољег пројектовања и употребе система, обично у условима који захтевају расподелу недовољних ресурса“ (Андрејић, Љубојевић, 2009). С обзиром на то, операциона истраживања се користе за научну припрему при доношењу одлука.

Имајући у виду наведене карактеристике операционих истраживања, може се запазити да су у тесној вези са квантитативним методама истраживања, методом моделовања, математичко-статистичким методама и теоријом система. Са друге стране, повезује се и са неким другим методама и техникама, као што су: операциона анализа⁸, операциони ризик, операционе стратегије, операционо тестирање, операциони план⁹, итд. То одсликава сложено структуру метода операционих истраживања, из чега проистиче и потреба за широким спектром стручних знања научних радника који их примењују.

Основна карактеристика операционих истраживања је развијање математичког модела система или процеса који је предмет посматрања, а на основу чега ће бити омогућено предвиђање и поређење последица различитих варијанти у процесу одлучивања. Имајући у виду сложеност математичког апарата, велики број обрачуна и примењену технологију, примена ових метода је била у почетку ограничена на најнужније потребе. Међутим, са развојем рачунара и припадајућих технологија, нагло су се повећали обим и поља примене, тако да данас када говоримо о методама операционих истраживања редовно их повезујемо са најсавременијим рачунарским и интернет технологијама. Практично, кад год се ради о некој врсти оптимизације (тражење оптималног решења на основу више критеријума), методе операционих истраживања су погодне за примену. Поред примене у војне сврхе, пословна примена ових метода (организација, економика и логистика) је последњих година посебно актуелна.

Када се говори о научним техникама истраживања мисли се на скупове инструмената⁹ и поступака¹⁰ помоћу којих се реализују поједине научне методе, као

8 Када се ради о временским периодима у шумарству, обично се дефинишу кратки периоди (до 5 год.), средњи (6-50 год.), дуги (51-100 год.) и врло дуги, који могу да обухвате и читав животни век састојине/стабала (често и преко 100 год.). Имајући ово у виду, у шумарству се, сем у неким посебним случајевима, практично не могу организовати и спроводити класични експерименти.

9 Овај се приступ заснива на претпоставци да је изучавани случај типичан за извесан тип друштвене групе или активности, па анализа таквог типичног случаја омогућава генерализацију знања, односно ова знања могу да се примењују за разумевање свих случајева исте врсте (Л а з и ћ, 2019).

10 Под јединицама анализе подразумевају се делови случаја који су издвојени за анализу (нпр. ако

и одговарајући задаци и активности. Једна научна метода може да се спроведе преко више различитих техника, којима је заједничко да морају да дају исте (или приближно исте) резултате. Технике могу да прате одговарајући протоколи, упутства или водичи за примену, којима се детаљно објашњавају све активности на спровођењу датих техника истраживања.

Неке од основних научних техника су (К у з м а н о в и ћ , 2019): анкета, интервју, тест, мерење, бројање и савремене технологије научно-истраживачког рада. У примени метода научног испитивања разликују се три основне технике (Ш у в а к о в и ћ , 2000): научна анкета, научни интервју и тест.

Анкета јенаучно-истраживачка техника у оквиру методе испитивања, где „...не долази до крестивности, осамостаљеног рада испитивача и испитаника, већ је њихова активност строго посредована инструментом, тј. упутством, садржајем и формом анкетног упитника“ (М и љ е в и ћ , 2007). У том смислу, основни инструмент анкете је анкетни упитник.

Анкетирање се примењује у следећим случајевима:

- научним истраживањима (истраживање ставова или понашања људи у истраживањима друштвених појава);
- пословним истраживањима (истраживање ставова или понашања за потребе доношења одлука у предузећима);
- општим друштвеним истраживањима (истраживање ставова или понашања чланова друштва, нпр. употреба дроге, политички ставови, ставови према екологији, навике у исхрани, коришћење слободног времена, итд.).

Постоји више врста анкета, у зависности од критеријума поделе. У случају даје критеријум рад анкетара, могу да буду писмене и усмене. Ако је критеријум особина анкетног упитника, „...можемо утврдити постојање формализованих (стандардизованих) и, насупрот њима, неформализованих (нестандардизованих) анкета“ (М и љ е в и ћ , 2007). При томе, у пракси могу да се јаве и неки комбиновани облици, који имају особине више различитих типова анкета.

Интервју(научни разговор) је, такође, техника у оквиру методе испитивања, којом се прикупљају подаци „...испитивањем путем непосредног усменог и личног општења истраживача и испитаника“ (М и љ е в и ћ , 2007). Другим речима, то је „...свако прикупљање података путем говорног општења с циљем да се добијена обавештења употребе у научне сврхе“ (М и л и ћ , 1996). Ослања се на основу за разговор (подсетник за разговор, концепт, протокол), а захтева непосредну комуникацију испитивача и испитаника и њихову обострану активност у интеракцији. При томе, улоге учесника су јасно дефинисане - испитивач контролише разговор са аспекта избора теме и форме питања, а испитаник настоји да сарађује и одговара на постављена питања.

У зависности од критеријума класификације, постоји више врста интервјуа. Тако, према научном циљу, разликујемо два основна типа интервјуа: неусмерени и усмерени. Усмерени интервју се даље дели на оријентациони, дириговани и ригорозни. Тежиште код овог типа интервјуа је више на одговорима, који су прецизнији, квалитетнији и сажетији. Код неусмереног интервјуа нема јасно дефинисане основе за разговор (одвија на основу слободног разговора) и примењује се у почетним фазама истраживања (М и х а и л о в и ћ , 2004).

Тест је „...техника[□] утврђивања и мерења почетног стања предмета истраживања и ситуације настале после деловања одређених чинилаца, при чему

је одређена шумска састојина случај, онда се могу издвојити следеће јединице анализе: врсте дрвећа, величина круна стабала, висина стабала, пречници стабала, распоред стабала на датом површини, густина стабала на датом површини, итд.).

се полази од строго утврђених модела“ (М и љ е в и ћ , 2007), односно представља постављање неког система у различите ситуације и праћење уочљивих промена у њему. Такође, може да представљаи процеспроцене знања или других способности испитаника (2019/к), а користи се у ситуацији када је потребно сазнати колико је од онога што је дефинисано као тачно решење (став, знање, вредност, итд.) присутно у свести испитаника и колике су његове способности да то разуме, искаже, интерпретира и употреби.

Тестова, такође, има више врста, у зависности од критеријума. На пример, према сложености постоји једноставан (садржи само један задатак) и сложен тест (садржи више задатака). При томе, сложеност теста није исто што и тежина теста. Иако су сложенији тестови обично тежи, у највећој мери тежина теста зависи од садржине задатка и начина решавања. Затим, према предмету могу да буду (М и љ е в и ћ , 2007): тестови информисаности, тестови знања, тестови вредносне одређености и тестови акционе способности (оспособљености). Све врсте тестова могу да се у научно-истраживачкој пракси према потреби комбинују, у складу са захтевима самог истраживања.

Мерење представља одређивање величине неке појаве или објекта, а исказује се нумерички (бројем) и јединицом мере¹¹ одређене величине. Овако гледано, може се претпоставити да су предмет мерења само физичке величине. Међутим, на различите начине могу се мерити и апстрактне величине, као што су емоције, естетски ниво, психолошки параметри, духовност, итд. То је могуће када се на бази унапред дефинисаних критеријума, скала и елемената мерења, индиректно додељују бројеви сваком елементу, који је предмет мерења. На пример, ако се мери степен лепоте и изузетности неког шумског комплекса, може се узети петостепена Ликертова скала (1-ружно, 2-мање лепо, 3-средње лепо, 4-врло лепо и 5-изузетно лепо), да би се онда, путем анкете и одговора у анкетним упитницима, пребројале ознаке у сваком степену скале. После тога, могуће је неком од статистичких метода утврдити који степен доминира у мишљењима испитаника, пасе тако формира нумерички израз лепоте датог предела.

Бројање се сматра најстаријом техником, а заснива се на симболима - бројевима. Бројеви могу да буду арапски (1,2,3, итд.) и римски (I, II, III, IV, V, VI, итд.). Њима може да се искаже како квантитет, за шта се примарно користе (у суштини основна техника свих квантитативних метода), али, уз одговарајући приступ, и квалитативна својства неког предмета, система или особе.

Савремене технологије научно-истраживачког рада базирају се, пре свега, на (К у з м а н о в и ћ , 2019):

- 1) информатичкој писмености;
- 2) европским стандардима информатичке обуке;
- 3) развоју рачунарске технологије;
- 4) рачунарским мрежама;
- 5) интернету;
- 6) комуникацијама;
- 7) мултимедијима,
- 8) техникама брзог читања;
- 9) учењу на даљину и образовању за 21. век.

Како у литератури нема неке потпуније класификације научних техника, остаје да се приликом писања извештаја о истраживањима, уз методе, наведу и припадајуће научне технике које су коришћене, а у складу са схватањем напред наведене дефиниције. У сваком случају, ниједна класификација наука, научних метода и научних техника не може да се сматра као коначна или свеобухватна, већ представља тренутно и пролазно стање, које води до виших нивоа спознаје, односно до нових, потпунијих класификација.

¹¹ То је процедура која се користи за одређивање ефикасности различитих аспеката пословних операција.

Отежавајућа околност у том послу је и то што се методе међу собом (хоризонтално посматрање), а то се односи и на методе и технике (вертикално посматрање), преплићу и допуњују, па је јако тешко да се раздвоје неком крутом класификацијом. Међутим, свака таква класификација доприноси бољем разумевању механизма стицања научних знања, што омогућава лакше унапређење таквих класификација и генерисање нових. То, у крајњем исходу, обогаћује методолошка знања, што утиче на повећање обима квалитетних научних информација.

ЛИТЕРАТУРА

- А да м о в и ћ Т., И в и ћ М., В у к о в и ћ В. (2017): *Методологија и технологија израде научних радова*, Универзитет за пословни инжењеринг и менаџмент, Бања Лука
- А н д р е ј и ћ М., Љ у б о ј е в и ћ С. (2009): *Операциона истраживања у функцији подршке одлучивању у систему одбране*, Војнотехнички гласник 3, Министарство одбране Републике Србије, Београд
- (2019/а): *Артефакт*, Википедија, <https://ru.wikipedia.org/wiki/Артефакт> (посећено: 11.02.2019. год.)
- Б а ј г о р и ћ Н. (2011): *Методологија НИР-а - први дио: Увод*, Економски факултет - Универзитет у Сарајеву, Сарајево (презентација)
- В у ј а к л и ј а М. (1980): *Лексикон страних речи и израза*, Просвета, Београд
- З а ј е ч а р а н о в и ћ Г. (1987): *Основи методологије науке*, Научна књига, Београд (239)
- З е л е н и к а Р. (2000): *Методологија и технологија израде знанственог и стручног дјела*, Свеучилиште у Риједи - Економски факултет, Економски факултет Универзитета у Љубљани, Ријека - Љубљана
- (2019/б): *Introduction to methodology for scientific research*, Dr. М, <http://dr-monsrs.net/2015/09/29/introduction-to-methodology-for-scientific-research/> (посећено: 05.02.2019. год.)
- Kothari C.R. (2004): *Research Methodology - Methods & Techniques*, 2nd Revised Edition, New Age International Publishers, New Delhi - Bangalore - Chennai - Cochin - Guwahati - Hyderabad - Jalandhar - Kolkata - Lucknow - Mumbai - Ranchi
- К у з м а н о в и ћ Р. (2019): *Методологија научно-истраживачког рада (Скица-слајдови)*, Паневропски универзитет „Апеирон“, https://docviewer.yandex.com/view/0/?*=1M%2FRyIJ%2FvXS5QdmzTQOhEKhowN7InVybCI6InlhLWJyb3dzZXI16Ly80RFQxdVhFUFJySIJYbFVGb2V3cnVQM19hYjFhUkEybTZQTklSRS1OQ01ucFdmdDVzYUpEVktCRXhSM21fUX-dJY0ZfbC1xSVY0RTBJZWdyWkJDRVFPZzR4b1VknV8xODQwbX-pZcGdBaVJ0WnpCQjRVenkyUII3OVBIrHpDcGVFUUR6UXh5O-DR1XzdOQTdmNHc5cGtnZEE9PT9zaWduPWNFaDNJeFNtay1qU-TduSEpqsVNoekFFV2VqZmgyQkxKWGRGSDlnaVZ2Wnc9IiwidG10b-GUioiJNZWRvdG9sb2dpamFfbmF1Y25vLWlzdHJheml2YWNrb2dfcmFkYV9GSU5BTC5wcHR4IiwidWlkIjoIjCI1IjoiMjQ5NjEzNzgx-MTU0NzU1Mjg4MyIsIm5vaWZyYW11IjpmYWxzZSwidHMiojE1N-Dk3MzQ5NTU4Njh9&page=1 (посећено: 09.02.2019. год.)
- К у м а р Р. (2011): *Research Methodology - A step-by-step guide for beginners*, 3rd Edition, SAGE Publications Ltd., Los Angeles - London - New Delhi - Singapore - Washington
- Л а з и ћ Ј. (2019): *Научно истраживање у анализи ФИ - природа, врсте, функције и структура*, презентација, <http://www.vps.ns.ac.rs/Materijal/mat5573.ppt> (посећено: 29.01.2019. год.)

- (2019/в): *Logos*, New World Encyclopedia, <http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Logos> (посећено: 05.02.2019. год.)
- (2019/г): *Метод моделирования*, Студопедия, <https://studopedia.org/10-108209.html> (посећено: 07.02.2019. год.)
- (2019/д): *Metodologija*, Wikipedia, <https://bs.wikipedia.org/wiki/Metodologija> (посећено: 06.02.2019. год.)
- (2019/ђ): *Method*, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Method> (посећено: 04.02.2019. год.)
- (2019/е): *Methodology*, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Methodology> (посећено: 05.02.2019. год.)
- М и л е н к о в и ћ Н. (2004): *Процена вредности капитала*, <http://www.rs.cest.gov.ba/index.php/cest-usaid-file/procjenitelj-1/trening-1/lok-3/289-procjena-vrijednosti-kapitala-ii/file> (посећено: 07.02.2019. год.)
- М и л и ћ В. (1996): *Социолошки метод*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд
- М и л о с а в љ е в и ћ С., Р а д о с а в љ е в и ћ И. (2013): *Основи методологије политичких наука*, V издање, Службени гласник, Београд
- М и љ е в и ћ М. (2007): *Скрипта из методологије научног рада*, Универзитет у Источном Сарајеву - Филозофски факултет, Сарајево
- М и х а и л о в и ћ Д. (2004): *Методологија научних истраживања*, Универзитет у Београду - Факултет организационих наука, Београд
- (2019/ж): *Операциона истраживања*, Википедија, https://sh.wikipedia.org/wiki/Operaciona_istraživanja (посећено: 11.02.2019. год.)
- П е ј а н о в и ћ Р. (2009): *Методик квалитативних истраживања у друштвено економској (и агро економској) науци*, Летопис научних радова I, Универзитет у Новом Саду - Пољопривредни факултет, Нови Сад (5-18)
- (2006/а): *Practical Guide to the International System of Units (SI)*, https://www.us-metric.org/wp-content/uploads/2015/06/Practical_Guide_to_the_SI.pdf (посећено: 11.02.2019. год.)
- (2019/з): *Protocol (science)*, Wikipedia, [http://wikipedia.moesalih.com/Protocol_\(natural_sciences\)](http://wikipedia.moesalih.com/Protocol_(natural_sciences)) (посећено: 05.02.2019. год.)
- Р а н к о в и ћ Н. (1996): *Економика шумарства*, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд (106)
- Р е с к е р Ј. (2013): *Scientific Research in Information Systems - A Beginner's Guide*, Springer, Heidelberg - New York - Dordrecht - London (45)
- Р о з е н т а л М.М. (1948): *Марксистички дијалектички метод*, Култура, Загреб
- (2019/и): *Scientific method*, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_method (посећено: 05.02.2019. год.)
- (2019/ј): *Scientific technique*, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_technique (посећено: 05.02.2019. год.)
- (2019/к): *Теорија система*, Википедија, https://sr.wikipedia.org/wiki/Теорија_система (посећено: 10.02.2019. год.)
- (2019/л): *Test*, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Test> (посећено: 11.02.2019. год.)
- (2006/б): *The International System of Units (SI)*, 8th edition, Bureau International des Poids et Mesures, STEDI MEDIA, Paris
- (2014): *The SAGE Handbook of Qualitative Data Analysis*, Edited by Flick U., SAGE Publications Ltd., London - Thousand Oaks - New Delhi - Singapore
- (2019/м): *Типови модела*, Info-4all, <http://info-4all.ru/sr/другое/види-моделей-натуралние-информационние-по-информатики-спрасхиваиут-помогите-плиз/> (посећено: 06.02.2019. год.)

-
- (2019/II): *The comparative method*, Sociologytwynham, <https://sociologytwynham.com/2015/01/05/the-comparative-method/> (посећено: 06.02.2019. год.)
- F o r d E.D. (2004): *Scientific Method for Ecological Research*, Cambridge University Press, Cambridge
- Ш у в а к о в и ћ У. (2000): *Испитивање политичких ставова*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд

УПУТСТВО ЗА АУТОРЕ

Часопис Ерозија објевљује прегледне, оригиналне научне и стручне радове из области заштите од ерозије и уређења бујица, еколошког инжењеринга у заштити земљишних и водних ресурса. Часопис објављује два броја годишње, при чему је јадан тематски одређен. Радови се штампају на српском и енглеском језику. Радови штампани на енглеском језику имају резиме на српском језику, а прилози двојезичне легенде.

Наслов - Наслов треба да буде кратак, јасан и да изрази суштину рада не користећи скраћенице и курзиве.

Име аутора - Наводи се пуно презиме и име (свих) аутора испод наслова рада. Наводи се пун (званични) назив и седиште установе (афилијација) у којој је аутор запослен. Ако је аутора више, а неки потичу из исте установе, мора се, посебним ознакама или на други начин, назначити из које од наведених установа потиче сваки од наведених аутора.

Адреса или е-адреса аутора даје се у напомени при дну прве странице чланка. Ако је аутора више, даје се само е-адреса једног, обично првог аутора

Извод/Апстракт - Кратак садржај рада (до 150 речи). Треба да садржи област, предмет и остварене резултате истраживања. Извод дати обавезно на српском и енглеском језику.

Кључне речи – Обавезно навести кључне речи (3-7) на српском и енглеском језику.

Текст - Основна поглавље рада су УВОД, МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА, РЕЗУЛТАТИ, ДИСКУСИЈА, ЗАКЉУЧЦИ И РЕЗИМЕ. У уводу се дају основне смернице рада. Материјал и методе су део у коме се описују примењене методе и технике. У поглављу резултати износе се подаци добијени испитивањима на које се рад односи, а у дискусији аутор своја истраживања доводи у везу са већ постигнутим резултатима у датој области односно са предметом рада, могућностима за даља истраживања, открива теоретске и практичне импликације својих открића и указује на недовољно испитане аспекте и тврдње које захтевају додатна испитивања. У закључку се таксативно износе резултати истраживања, тврдње засноване на добијеним резултатима, ставови, препоруке и слично. Резиме, уз наслов рада, имена аутора и институције у којима раде, треба да прикаже резултате рада и закључке у најкраћим цртама.

Прегледни радови - треба да садрже свеобухватни преглед неког проблема, а заснивају се на исцрпним подацима из литературе и сопствених истраживања. Прегледни рад треба да садржи најмање 10 аутоцитата.

Табеле и графикони - Табеле и графикони треба битно да допринесу бољем разумевању и интерпретацији резултата рада. Исте податке не приказивати на оба начина. Графиконе радити у Excel-у. Означити у рукопису место за табелу и графикон. У наслову обавезно дати прво српски па онда енглески текст, ако се рад штампа на српском језику, односно прво енглески па српски, ако се рад штампа на енглеском језику.

Фотографије и цртежи - Треба да представљају карактеристичан детаљ, појаву и слично. Фотографије и цртежи морају да буду контрастни и оштри. Нејасне и мутне фотографије неће бити штампане. Фотографије се прилажу у облику посебне датотеке,

морају да буду у неком од стандардних формата (BMP, TIF, JPG, GIF или PSD), у резолуцији најмање 300X300 dpi (пожељно 600X600 dpi), а у размери 1:1. Пошто ови захтеви обично резултирају великим фајловима, пожељно је оригиналне фотографије приложити заједно са радом као посебне датотеке, што би обезбедило постизање већег квалитета код припреме за штампу. Цртежи се могу доставити у форматима DXF, DWG, CDR, WMF, EPS или AI. Наслови и легенде фотографија и цртежа морају бити урађени двојезично - на српском и енглеском језику.

Литература - Само референце наведене у тексту наводе се у литератури. Цитирање необјављених радова могуће је само у тексту као лична комуникација или необјављени подаци. Сви извори, како у тексту тако и у списку референци, наводе се латиницом, по абecedном реду, на начин приказан у примерима.

Примери:

Чланак у часопису: Petrović P., Brzić B., Šijaković D. (1991): Efekti pošumljavanja brzorastućim vrstama lišćara u Vojvodini, Šumarstvo 44 (8), SIT šumarstva i prerade drveta Srbije, Beograd (15-28)

У тексту: (Petrović *et al.*, 1991)

Монографска публикација: Dumanović J., Marinković D., Denić M. (1985): *Genetički rečnik*, Naučna knjiga, Beograd

У тексту: (Dumanović *et al.*, 1985)

Поглавље у књизи или у зборнику радова са конференције: Krstić M., Stojanović LJ. (2007): *Gajenje šuma hrasta kitnjaka*, „Hrast kitnjak u Srbiji“, ured. Stojanović LJ., Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, Beograd, (29-292)

У тексту: (Krstić, Stojanović, 2007)

Изворе без аутора сортирати према првом слову наслова рада, тако да је испред наслова само година издања

Примери:

(1992): Kodni priručnik za informacioni sistem o šumama Srbije, JP „Srbijašume“, Beograd

У тексту: (1992)

Веб станица: *Chicago/Turabian Style*. The Writing Center at the University of North Carolina at Chapel Hill, from: <http://www.unc.edu/depts/wcweb/handouts/chicago.html>. (accessed / приступљено 15. 05 2008. год.).

У тексту: (2008)

Математичке формуле – Раде се у едитору формула у Word-у или MathType-у.

ОСТАЛЕ НАПОМЕНЕ

Радови се рецензирају, рецензенти одређују категорију рада, а рецензенте одређује Редакција.

Редакцији доставити радове у електронском облику (е-mail, CD/DVD диск, флеш-диск, итд.) урађено у формату MS Word 6.0/2007/XP (Office 97/2003/XP), тип слова Times New Roman, величина 12 pt. Мерне јединице изражавати у Интернационалном систему јединица (SI).

