

# ЗАПИСНИЦИ СРПСКОГ ГЕОЛОШКОГ ДРУШТВА

(за 2015. годину)

COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ SERBE DE GÉOLOGIE

(pour les années 2015)

REPORTS OF THE SERBIAN GEOLOGICAL SOCIETY

(for the year 2015)

Beograd, 2015.

---

Владимир Живановић<sup>1</sup>, Веселин Драгишић<sup>1</sup>, Небојша Атанацковић<sup>1</sup>,  
Сунчица Нинковић<sup>1</sup>, Сава Магазиновић<sup>1</sup>

Vladimir Živanović<sup>1</sup>, Veselin Dragišić<sup>1</sup>, Nebojša Atanacković<sup>1</sup>, Sunčica  
Ninković<sup>1</sup>, Sava Magazinović<sup>1</sup>

## ИЗРАДА КАРТЕ РИЗИКА ОД ЗАГАЂИВАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА НА ПРИМЕРУ НАЦИОНАЛНОГ ПАРКА ЂЕРДАП

## GROUNDWATER CONTAMINATION RISK MAPPING USING THE EXAMPLE OF THE “DJERDAP” NATIONAL PARK

ПРЕГЛЕДНИ И СТРУЧНИ РАДОВИ, ПРЕТХОДНА САОПШТЕЊА - REPORTS

(Рад примљен: 08.06.2015) (Рад прихваћен: 25.11.2015)

**Апстракт.** Битан аспект у заштити подземних вода је издвајање подручја где су оне најугроженија услед постојања потенцијалних извора загађивања који реално могу да деградирају квалитет вода. Ово је посебно значајно када треба заштитити подземне воде на већим подручјима као што су територије националних паркова и паркова природе. У раду је приказана методологија израде карте ризика од загађивања подземних вода за подручје Националног парка Ђердап. Израда поменуте карте обухватила је израду карте рањивости и карте хазарда. Оцена рањивости вршена је применом *DRASTIC* методе. За израду карте хазарда направљен је катастар хазарда тј. потенцијалних извора загађивања. Хазарди су на карти представљени у виду тачака, линија или полигона при чему је сваки просторни објекат категорисан у зависности од штетности загађујућих супстанци које извор загађивања може да испусти. Спајањем карте рањивости са картом хазарда добијена је карта ризика од загађивања Националног парка Ђердап. Добијена карта показала је да је ризик од загађивања подземних вода највећи у зони насеља и то пре свега код оних без уређеног канализационог система. Хазарди који су везани за индустријске и пољопривредне активности на

---

<sup>1</sup> Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет, Департман за хидрогеологију,  
Ђушина 7, 11000 Београд, Србија;  
University of Belgrade - Faculty of Mining and Geology, Department of Hydrogeology, Đušina  
7, 11000 Belgrade, Serbia  
контакт e-mail: vladimir.zivanovic@rgf.bg.ac.rs

разматраном подручју су минимални, па је самим тим и ризик од загађивања подземних вода као резултат ових активности веома мали. Приказана методологија показала се применљива у изради карата ризика које представљају значајну подлогу у планирању одрживог развоја Националног парка.

**Кључне речи:** карте ризика од загађивања подземних вода, рањивост подземних вода, заштита подземних вода, ГИС, Ђердап

**Abstract.** An important aspect in the groundwater protection is allocation of areas where groundwater is most vulnerable due to the existence of potential sources of pollution that can degrade water quality. This is especially important when larger areas such as the territory of National Parks and Nature Parks needs to be protected. The paper presents a methodology for groundwater contamination risk mapping on the example of Djerdap National park. Methodology of creation of groundwater contamination risk map involves mapping of groundwater vulnerability and mapping of hazards. DRASTIC method has been applied for creation of groundwater vulnerability map. The cadaster of potential contaminants was made in order to create hazard map. Hazards are represented on the map as points, lines or polygons where each spatial object is categorized according to the pollutant harmfulness. The groundwater risk map was obtained by combining maps of vulnerability and hazard map. The resulting map showed that the main risks for groundwater contamination is located in the area of the settlement, particularly those without a regulated sewage system. Analyzed hazards related to industrial and agricultural activities are minimal and therefore the risk of groundwater contamination as a result of these activities is very low. Presented methodology has been proved very applicable in groundwater contamination risk mapping, which represents a significant background in sustainable development of Natural Park Djerdap.

**Key words:** risk map, groundwater vulnerability, groundwater protection, GIS, Djerdap

## УВОД

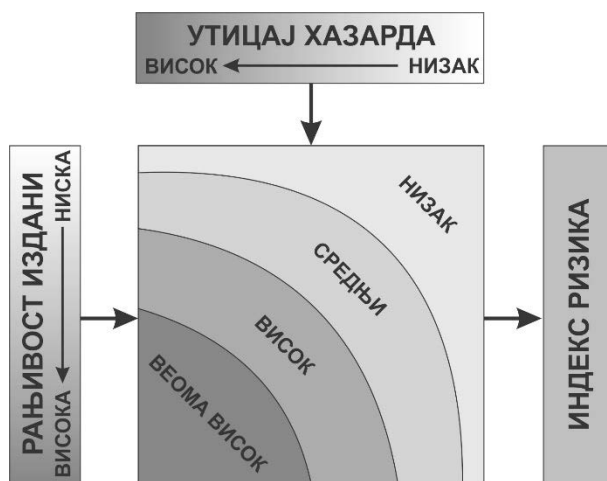
Национални паркови (НП) и Паркови природе (ПП) представљају највише облике заштите животне средине па се самим тим у овим подручјима посебну пажњу треба посветити и заштити подземних вода. Превентивне мере су обично први и основни вид њихове заштите. Њима се уводи рестриктивна политика која ограничава или комплетно забрањује активности које би могле да угрозе квалитет вода. Превентивне мере треба да буду најстрожије тамо где су подземне воде најподложније загађивању тј. утицају са површине терена. Због тога се у заштити подземних вода на одређеним територијама све више користе карте рањивости којима се дефинише заштитна улога надизданске зоне у свакој тачки подручја које се штити (ŽIVANOVIĆ, 2011; ŽIVANOVIĆ *et al.*, 2012).

Карте рањивости издвајају подручја са различитим степеном рањивости подземних вода и као такве нису довољне да би се утврдила њихова угроженост у одређеним деловима терена. Да би се проценио

степен угрожености подземних вода од загађивања, неопходно је евидентирати присуство потенцијалних извора загађивања и извршити евалуацију степена штетности ових загађивача (KETELAERE *et al.*, 2004). Спајањем карте рањивости и карте потенцијалних извора загађивања добија се карта ризика од загађивања која показује подручја где су подземне воде најугроженије. То су подручја где постоји највећа претња квалитету подземних вода, па самим тим представљају и подручја где највише пажње треба посветити планирању мониторинг програма у циљу њихове заштите. У раду је приказана методологија израде карте хазарда и ризика од загађивања на примеру Националног парка Ђердап (НП Ђердап).

## ОПИС МЕТОДОЛОГИЈЕ

Методологија израде карте ризика од загађивања подземних вода обухвата три корака (Слика 1): 1. израду карте рањивости; 2. израду карте хазарда; 3. спајање карте рањивости и карте хазарда и добијање карте ризика од загађивања.



Сл. 1. Шема одређивања ризика од загађивања подземних вода на бази процене рањивости и постојање хазарда на истраживаном подручју (HÖTZL, 2004)  
 Fig 1. Risk assessment scheme showing risk evaluation based on groundwater vulnerability and hazard existence (HÖTZL, 2004)

**Израда карте рањивости.** За израду карте рањивости полазну тачку представља адекватан избор методе за оцену рањивости подземних вода. За израду карте рањивости подземних вода Националног парка Ђердап коришћена је *DRASTIC* метода (ALLER *et al.*, 1985). За разлику од других метода, као што је *EPIK* метода (DOERFLIGER & ZWANLEN, 1997), а

које су развијене искључиво за поједине типове издани, *DRASTIC* метода је применљива за сва хидрогеолошка окружења и стога је погодна за примену на простору НП Ђердап који заузима велико пространство са заступљеношћу свих типова издани.

Да би се *DRASTIC* методом добила карта рањивости, претходно је потребно дефинисати седам параметара: дубину до нивоа подземних вода (фактор *D*), прихрањивање (фактор *R*), карактер средина у којој је формирана издан (фактор *A*), тип земљишта (фактор *S*), топографију терена (фактор *T*), утицај зоне аерације (фактор *I*) и трансмисивност издани (фактор *C*).

Фактор *D* – дубина до нивоа подземних вода, дефинише колико дуго је потребно загађујућој супстанци у течној фази да допре до издани путујући кроз зону аерације. За оцену овог фактора користе се хидрогеолошка карта, локације постојећих извора и водотока, карта која показује близину водних појава, дубина до нивоа подземне воде у бунарима и сл.

Фактор *R* – прихрањивање, дефинише се као количина воде која се по јединичној површини земље инфилтрира кроз земљину површину и долази до издани. Што је веће прихрањивање то је већа и рањивост осим у условима када је интензитет инфилтриране воде толико велики да се концентрација загађујуће супстанце разблажи до дозвољеног лимита. На основу података о нагибу терена, саставу тла и количини падавина добија се карта која показује величину прихрањивања.

Фактор *A* - карактер средина у којој је формирана издан; Овај фактор се односи на карактер стенске масе кроз које вода циркулише у издани. Средина у којој је формирана издан утиче на ток подземне воде, а тиме и дефинише путању и дужину кретања загађујуће супстанце. У *DRASTIC* методи фактор *A* се одређује описним путем јер су унапред дефинисане средине у којима су издвојени различити типови издани.

Фактор *S* – тип земљишта; Састав земљишта игра одлучујућу улогу за количину воде које се инфилтрира у издан. Слично као и код фактора *A*, заштитна улога тла се процењује преко унапред задатих вредности. За оцену овог фактора обично се користи педолошка карта истражног подручја.

Фактор *T* - топографија терена се односи на нагиб терена и промене у нагибу на рељефним површинама. Овај фактор контролише да ли ће загађивач бити покренут површинским спирањем терена или ће остати довољно дуго на површини терена да се инфилтрира. Просторном анализом терена на основу ДЕМ модела добија се карта *T* фактора на којој је терен класификован према величини нагиба.

Фактор *I* - утицај зоне аерације; Зона аерације представља незасићену зону од нивоа подземне воде до површине терена. Способност заштите од загађивања са површине зависи од структуре, минералног и органског састава ове зоне. Према ауторима *DRASTIC* методе, параметар *I*

се одређује описним путем јер су унапред дефинисане средине које могу да формирају надизданску зону.

Фактор *C* – хидрауличка проводљивост издани; Односи се на могућност издани да транспортује воду тј. брзину којом се подземна вода креће при одређеном хидрауличком градијенту. На основу постојећих дијаграма коефицијената филтрације врши се класификација стена које се јављају на подручју истраживања и тиме се добија карта фактора *C*.

Анализирани параметри се прво коригују са различитим тежинским коефицијентима који дефинишу значај параметара у укупној природној заштити, а затим спајају у циљу добијања укупног индекса заштите на бази кога се израђује карта рањивости подземних вода. Тако је величина рањивости тј. *DRASTIC* индекс добијен формулом:

$$DRASTIC\ Indeks = 5 \cdot D + 4 \cdot R + 3 \cdot A + 2 \cdot S + T + 5 \cdot I + 3 \cdot C \quad (1)$$

**Израда карте хазарда.** За израду карте хазарда неопходно је израдити катастар потенцијалних загађивача, тако што се у ГИС окружењу унесе све локације (тачкасте, линијске и полигоналне) на којима постоји могућност испуштања загађујућих супстанци. Катастар загађивача омогућује добијање прегледа свих хазарда, за које се сматра да су од битног значаја за подземне воде. Приликом анализе постојећих хазарда у обзир се узима степен штете који исти може да нанесе подземним водама (Табела 1). Препоруком Cost 620 (KETELAERE *et al.*, 2004) за процену степена штетности утврђена је тежинска вредност која се додељује сваком хазарду (Табела 1).

Табела 1: Тежинска вредност хазарда (KETELAERE *et al.*, 2004)

Број	Хазард	Тежинска вредност
<b>1</b>	<b>Инфраструктурни развој</b>	
1.1	Отпадне воде	<b>25-85</b>
1.2	Градски отпад	<b>35-40</b>
1.3	Горива	<b>50-65</b>
1.4	Транспорт и саобраћај	<b>35-60</b>
1.5	Установе за рекреацију	<b>25-5</b>
1.6	Други извори загађивања (гробље, војна инфраструктура, графо станице)	<b>25-35</b>
<b>2</b>	<b>Индустријска активност</b>	
2.1	Рударство (активно и напуштено)	<b>65-85</b>
2.2	Откопи	<b>10-03</b>
2.3	Експлоатација нафте и гаса	<b>55-70</b>
2.4	Индустријске фабрике (нерударске)	<b>40-85</b>
2.5	Електране	<b>50-65</b>

2.6	Индустријски магацини	<b>45-100</b>
2.7	Третман отпадних вода	<b>40-85</b>
<b>3</b>	<b>Сточарство и пољопривреда</b>	
3.1	Сточарство	<b>25-45</b>
3.2	Пољопривреда	<b>15-60</b>

Након категоризације, за сваки хазард срачунат је Хазард индекс ( $HI$ ) који одређује степен штетности. При том је коришћена следећа формула (KETELAERE *et al.*, 2004):

$$HI = H \cdot Q_n \cdot R_f \quad (2)$$

где су:

$HI$  - хазард индекс,

$H$  - тежинска вредност за сваки хазард која се дефинише преко унапред задатих табела,

$Q_n$  - компаративни фактор, служи да се нагласе разлике у штетности различитих хазарда који припадају заједничкој групи која има исту тежинску вредност (креће се у интервалу 0,8-1,2),

$R_f$  - фактор редукације који показује вероватноћу да се сценарио загађивања деси (креће се у интервалу 0-1).

Након прорачуна Хазард индекса приступило се графичкој интерпретацији тј. изради карте хазарда. Као тематска карта, карта хазарда пружа информацију о распореду, локацији, величини и облику потенцијалног загађивача. Хазарди су на карти приказани помоћу симбола, линија и шрафура различите боје зависно од потенцијалног степена штетности који произилази из вредности хазард индекса.

**Израда карте ризика од загађивања подземних вода.** Ризик од загађења добија се комбинацијом карте рањивости и карте хазарда. За добијање карте ризика од загађивања подземних вода прво израчуната је вредност индекса ризика преко формуле (HÖTZL, 2004):

$$R = \pi \cdot 1/HI \quad (3)$$

где су:

$R$  - индекс ризика,

$HI$  - хазард индекс,

$\pi$  - степен заштите подземних вода.

Степен заштите подземних вода  $\pi$  добијен је прерасподелом вредности *DRASTIC* индекса рањивости и свођењем на интервал од 0 до 5.

Након прорачуна индекса ризика, у ГИС окружењу извршено је издавање 5 различитих класа ризика које показују различиту вероватноћу

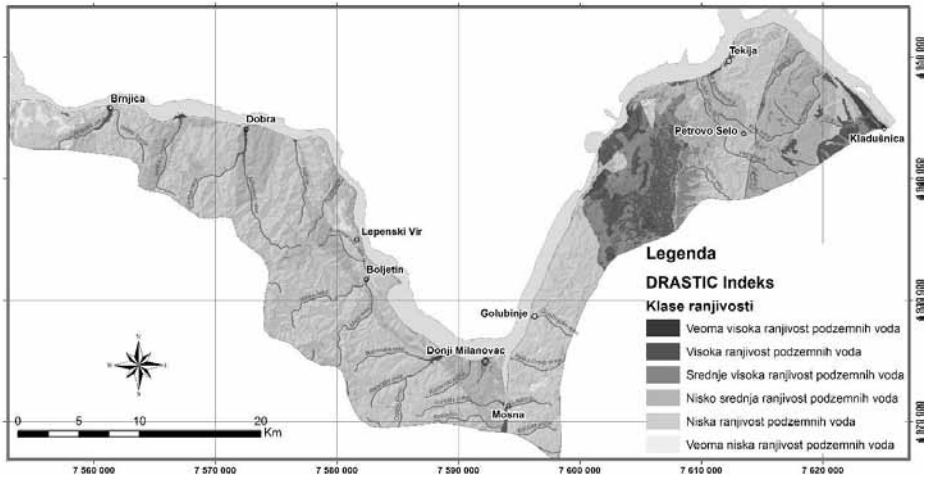
да се загађивање подземних вода догоди (Табела 2). Након извршене класификације урађена је финална карта ризика од загађивања подземних вода.

Табела 2: Интервали за класификацију ризика од загађивања подземних вода

$\pi$	Хазард индекс	$1/NI$	$\pi \cdot 1/NI$	Класа ризика	Степен ризика	Боја
4 – 5	0-24	$>0,042$	$>0,167$	1	никакав или веома мали	плава
3 – 4	$>24-48$	0,042-0,021	0,167-0,063	2	мали	зелена
2 – 3	$>48-72$	0,021-0,014	0,063-0,028	3	средњи	жута
1 – 2	$>72-96$	0,014-0,010	0,028-0,010	4	високи	наранџаста
0 - 1	$>96-120$	$<0,010$	$<0,010$	5	веома високи	црвена

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

За потребе израде карте рањивости подземних вода НП Ђердап прво су припремљене посебне олеате, тј. карте за сваки анализирани параметар. На овим картама издвојена су подручја са различитим утицајем анализираних фактора на рањивост подземних вода. При анализи појединих параметара коришћене су различите подлоге као што су; геолошка карта, хидрогеолошка карта, педолошка карта, елевациони модел, карта водних објеката, сателитски снимци терена и сл. Поједини параметри ( $D$  и  $R$ ) су одређени посредно преклапањем неколико параметара (ŽIVANOVIĆ *et al.*, 2012). Спајањем ових олеата и прорачуном DRASTIC индекса омогућено је издвајање зона (класа) са различитим степеном рањивости подземних вода на загађење (Слика 2).



Сл. 2. Карта рањивости подземних вода НП Ђердап добијена применом DRASTIC методе

Fig. 2. Groundwater vulnerability map of NP Djerdap based on application of DRASTIC method

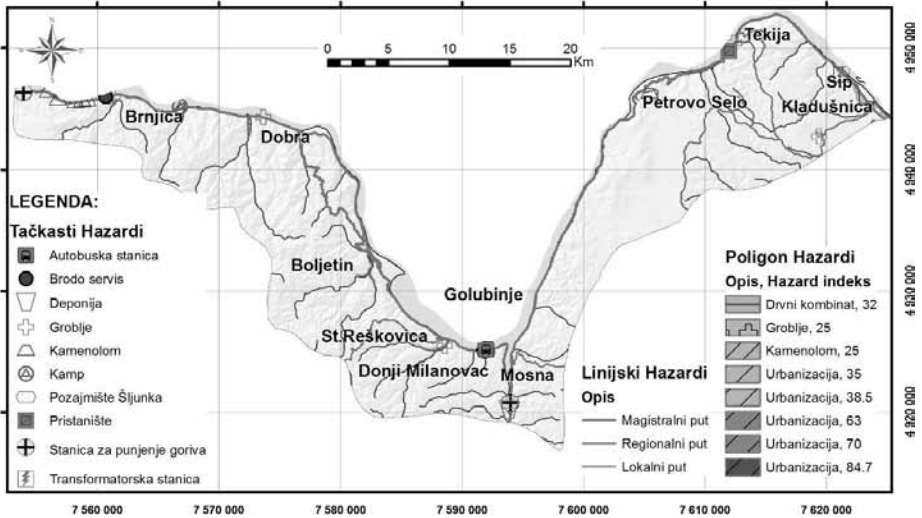
Применом *DRASTIC* методе добијена је карта рањивости подземних вода која је показала да се највећи део парка карактерише ниском или веома ниском рањивошћу подземних вода. Ово је и очекивано обзиром да је највећи део терена изграђен од стена са пукотинским типом порозности, код кога се ниво подземних вода не налази близу површине, и где је кретање воде веома успорено. Услед интензивног распадања стена у површинском делу, тло је добро развијено, а услед великих нагиба терена инфилтрација је веома ограничена. Подручја у којима је рањивост подземних вода окарактерисана као висока и веома висока, обухватају карстне терене Мироча и терене у Кладовском кључу прекривене квартарним седиментима.

У циљу добијања карте хазарда, прво је извршена анализа расположивих подлога, након чега су изведена теренска истраживања са издвајањем потенцијалних загађивача који су разврстани у две групе (Табела 3): потенцијални загађивачи који су последица инфраструктурног развоја (отпадне воде, горива, транспорт и саобраћај) и потенцијални загађивачи везани за индустријску активност (рударски радови и индустријска постројења). Добијена карта хазарда показала је да потенцијални загађивачи који се јављају на простору НП Ђердап претежно спадају у мање опасну групу, са хазард индексом који се креће у вредностима око 30. Поред ових, на територији парка се налази и неколико сеоских насеља без канализационог система који спадају у групу са високим степеном штетности за подземне воде (Слика 3).



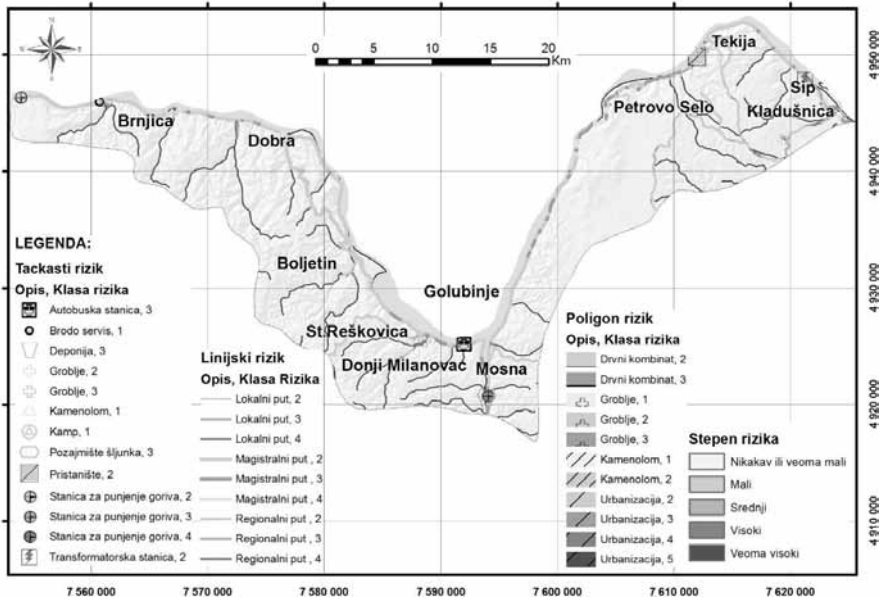
Табела 3. Регистровани потенцијални загађивачи на простору НП Ђердап (ŽIVANOVIĆ *et al.*, 2014)

Хазард	Теж. вредност (Н)	Хазард индекс (НИ)	Локација
<b>Инфраструктурни развој</b>			
Отпадне воде			
Урбанизација (канализационе цеви и системи који имају губитке)	35	35-39	Давидовац, Добра, Доњи Милановац, Кладушница, Караташ, Сип, Текија
Урбанизација без канализационог система	70	63-85	Бољетин, Брњица, Голубиње, Манастирица, Мосна, Ридан, Стара Решковица
Градски отпад			
Сметлиште	40	40	Мосна
Горива			
Бензинска пумпа	60	60-66	Голубац (стари град), Доњи Милановац, Мосна
<b>Транспорт и саобраћај</b>			
Магистрални пут	40	40	Ђердап
Регионални пут	40	26-36	Доњи Милановац – Мајданпек, Петрово Село, Манастирица, Мироч, Бољетин, Доњи Милановац, Добра
Локални пут	40	26-32	Голо Брдо, Текија, Кладушница – Караташ, Мосна
Аутобуска станица	35	39	Доњи Милановац
Пристаниште	40	29	Текија
<b>Установе за рекреацију</b>			
Камп	30	12	Брњица
<b>Другачији извор загађивања</b>			
Гробље	25	25-28	Брњица, Бољетин, Давидовац, Добра, Кладушница, Стара Решковица, Текија, Манастирица
Трансформаторска станица	30	30	ХЕ Ђердап I
<b>Индустријска активност</b>			
<b>Откопи</b>			
Каменолом	25	18-25	Голо Брдо, Ливадица, Јеленска Стена, Голубачка Клисура, Ридан, Голубачка Клисура
Позајмиште шљунка	30	30	Мосна
<b>Индустријске фабрике</b>			
Дрвни комбинат	40	32	Мосна

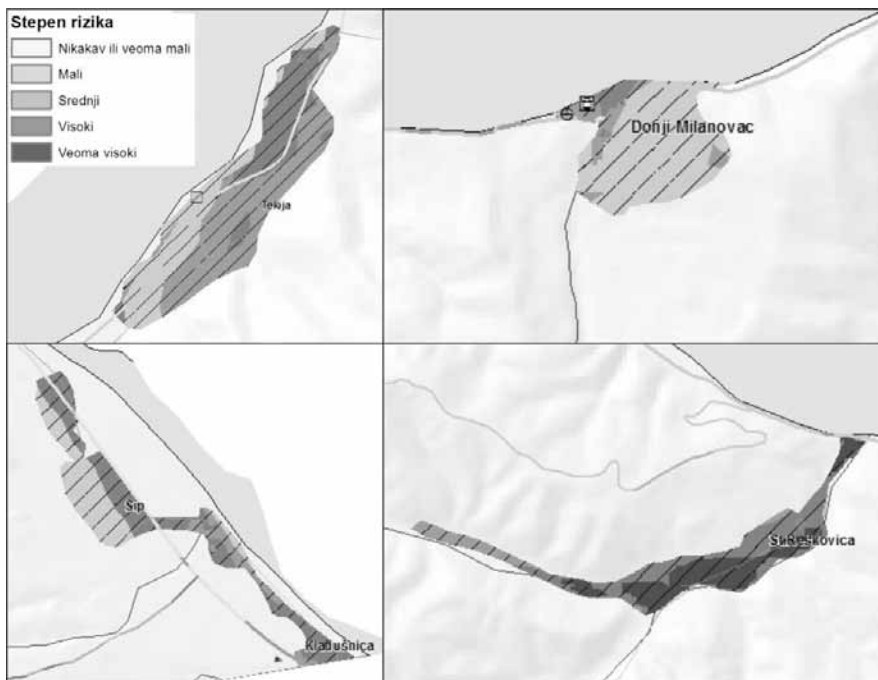


Сл. 3. Карта хазарда Националног парка Ђердап  
 Fig. 3. Hazard map of National park Djerdap

Карта ризика од загађивања подземних вода Националног парка добијена је спајањем карте рањивости и карте потенцијалних загађивача (Слика 4). Добијена карта показала је да је ризик од загађивања подземних вода највећи у зони насеља, и то у деловима са високом рањивошћу подземних вода. Пример за то су насеља Брњица, Стара Решковица, Добра (Слика 5). Средњи до високи степен ризика постоји и на подручју планине Мироч, на местима где је саобраћајна инфраструктура лоцирана преко карстификованих карбонатних стена. Подручја хидроелектране „Ђердап I” са насељима Караташ, Сип, Давидовац и Кладушница такође представљају зоне у којима су подземне воде са високим степеном ризика од загађивања. Терасни и пролувијални седименти на подручју Текије такође представљају зону са високим степеном ризика. Међутим, посматрајући Национални парк у целини, издвојене зоне са средњим, високим или веома високим степеном ризика, представљају релативно мали део укупне површине парка, што је веома охрабрујуће за његов даљи развој. У издвојеним зонама ризика, вероватноћа да ће се подземне воде загадити је повећана и зато на та подручја треба усмерити даља истраживања и применити неопходне мере које ће спречити нарушавање квалитета подземних вода.



Сл. 4. Карта ризика од загађивања подземних вода Националног парка Ђердап  
 Fig. 4. Final groundwater risk contamination map of National park Djerdap



Сл. 5. Примери ризика од загађивања подземних вода у урбаним деловима Националног парка Ђердап  
 Fig. 5. Examples of groundwater risk in urban areas of National park Djerdap

## ЗАКЉУЧАК

Добијени резултати показују да је приказану методологију за израду карте ризика од загађивања могуће применити и за већа подручја као што су национални паркови и паркови природе. Један од најбитнијих сегмената у читавом поступку израде карте ризика јесте избор методе за оцену рањивости подземних вода. Изабрана *DRASTIC* метода се показала као адекватна због сложене геолошке ситуације на терену и због потребе за израду карата у ситнијој размери. Евалуацијом постојећих хазарда омогућена је израда карте ризика од загађивања која представља добру основу за планирање даљих истраживања у циљу заштите подземних вода на територији Националног парка.

Битно је напоменути да добијени резултати представљају први приступ (*screening*) у одређивању зона где су подземне воде најугроженије. У циљу добијања прецизнијих карата у крупнијој размери неопходно је извођење детаљнијих истраживања која би била усмерена управо на овим издвојеним зонама.

### *Захвалница*

*Ово истраживања су подржана од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја (као део пројеката бр. III 43004) и Министарства рударства и енергетике.*

## **GROUNDWATER CONTAMINATION RISK MAPPING USING THE EXAMPLE OF THE “DJERDAP” NATIONAL PARK**

### **INTRODUCTION**

National parks (NP) and nature parks (PP) are natural areas of great importance, requiring the highest level of environmental protection. Therefore, special attention should also be paid to groundwater protection. Preventive measures are usually the first and elementary measure of groundwater protection. Restrictive policies of these measures limit or completely prohibit activities that could jeopardise the quality of groundwater. Preventive measures should be the strictest where groundwater is most vulnerable to pollution. Vulnerability maps help evaluate the protective function of unsaturated zones and are thus being increasingly used for the protection of groundwater in designated areas (ŽIVANOVIĆ, 2011; ŽIVANOVIĆ *et al.*, 2012).

Groundwater vulnerability maps define areas with different levels of groundwater vulnerability; however, in and of themselves they are not sufficient to objectively evaluate the risk to groundwater contamination. In order to assess the degree of risk of groundwater contamination, it is necessary to identify the presence of potential sources of pollution and evaluate the level

of hazard of these pollutants (KETELAERE *et al.*, 2004). Groundwater contamination risk maps are obtained by combining the groundwater vulnerability maps and hazard maps (Fig. 1). These maps distinguish the areas where groundwater is in greatest danger. This paper describes the methodology for making maps of hazards and risks from pollution using the Djerdap National Park as an example.

## METHODOLOGY

Methodology used to create a groundwater contamination risk map involves three steps: 1) mapping of groundwater vulnerability, 2) mapping of hazards; and 3) overlaying the vulnerability and hazard maps, thus obtaining the groundwater contamination risk map.

**Mapping of groundwater vulnerability.** The choice of method of groundwater vulnerability assessment is an important task because the quality and accuracy of vulnerability maps will depend on the selected method. The DRASTIC method (ALLER *et al.*, 1985) has been applied in the creation of the groundwater vulnerability map of the Djerdap National Park (ŽIVANOVIĆ *et al.*, 2012). Unlike other methods, such as the EPIK method developed specifically for certain types of aquifers, the DRASTIC method can be applied to all hydrogeological environments and is therefore very suitable for groundwater vulnerability assessment of large areas such as the Djerdap National Park, where different types of aquifers can be found.

To create a groundwater vulnerability map using the DRASTIC method, it is necessary to define seven parameters: the water table depth (factor D), the net recharge (factor R), the aquifer media (factor A), the soil media (factor S), topography of the terrain (factor T), the impact of vadose zone (factor I), and the hydraulic conductivity of the aquifer (factor C).

Factor D – depth of groundwater influences the amount of time needed for a contaminant to reach the saturated zone. A hydrogeological map, locations of springs and streams, groundwater levels measured at present wells, etc. are used for assessing this parameter.

Factor R – recharge, defines the amount of water that infiltrates from the surface. Groundwater is generally more vulnerable where recharge is higher, except when infiltration intensity is so high that contaminant concentration after dilution falls below permitted level. Groundwater recharge can be estimated based on the amount of precipitation, the slope of the terrain and the soil composition.

Factor A – aquifer media. This factor refers to consolidated and unconsolidated rocks through which water circulates in the aquifer. These rocks influence the groundwater flow and the fate of the contaminant. Factor A is assessed using descriptive names, with the previously defined vulnerability of different types of rocks.

Factor S – soil media. Soil composition plays an important role in the amount of recharge of the aquifer. Similar like factor A, the protective function of the soil is evaluated by descriptive names. Pedological maps are commonly used to assess this parameter.

Factor T – topography refers to terrain slope. This factor controls the surface water runoff and the degree of recharge. The spatial analysis of the terrain, using DEM, represents a base for assessing the T factor and for defining different classes according to the slope of the terrain.

Factor I – impact of vadose zone. Aeration zone represents the layers from the surface to the groundwater table. The protective function of this zone depends on the composition of rocks and sediments. Factor I is assessed using descriptive names of rocks and sediment types, with the previously defined vulnerability of these types of media.

Factor C – hydraulic conductivity of aquifer refers to the ability of the aquifer to transfer water through a saturated zone. A map of factor C is created using conductivity values for all the rocks and sediments wherever there is any groundwater.

The analysed parameters are first modified with different weights coefficients, and then combined in order to calculate the total protection index. A groundwater vulnerability map is created based on this index.

Thus, the level of groundwater vulnerability i.e. DRASTIC index is calculated using the following formula:

$$DRASTIC\ Index = 5 \cdot D + 4 \cdot R + 3 \cdot A + 2 \cdot S + T + 5 \cdot I + 3 \cdot C \quad (1)$$

**Mapping of hazards.** To create a hazard map it is necessary to create a Register of potential contaminants. GIS environment is used to process all the locations (point, line and polygon) at which there is a possibility of release of pollutants. The Register of pollutants allows us to get an overview of all the hazards considered to be of significance as regards groundwater. The level of harm to groundwater was also assessed in the analysis of existing hazards. The degree of harmfulness was estimated for each hazard (table 1) using the recommendation defined in Cost 620 (KETELAERE *et al.*, 2004).

Table 1. Hazard Weighing Values (KETELAERE *et al.*, 2004)

No.	Hazard	Weighing value
<b>1</b>	<b>Infrastructural development</b>	
1.1	Waste water	<b>25-85</b>
1.2	Municipal waste	<b>35-40</b>
1.3	Fuels	<b>50-65</b>
1.4	Transport and traffic	<b>35-60</b>
1.5	Recreational facilities	<b>25-5</b>
1.6	Diverse hazards (graveyard, military	<b>25-35</b>

	installations, transformer station)	
<b>2</b>	<b>Industrial activities</b>	
2.1	Mining (in operation and abandoned)	<b>65-85</b>
2.2	Excavation sites	<b>10-03</b>
2.3	Oil and gas exploration	<b>55-70</b>
2.4	Industrial plants (non-mining)	<b>40-85</b>
2.5	Power plants	<b>50-65</b>
2.6	Industrial storage	<b>45-100</b>
2.7	Diverting and treatment of waste water	<b>40-85</b>
<b>3</b>	<b>Livestock and agriculture</b>	
3.1	Livestock	<b>25-45</b>
3.2	Agriculture	<b>15-60</b>

After the categorization, the Hazard Index (*HI*) which determines the degree of harmfulness was calculated for each hazard. The assessment was performed using the following formula (KETELAERE *et al.*, 2004):

$$HI = H \cdot Q_n \cdot R_f \quad (2)$$

where:

*HI* - hazard index,

*H* - weighed value for each hazard,

*Q<sub>n</sub>* - comparative factor, serves to highlight the differences in the identification of various hazards that belong to the same group which has the same weight (ranging from 0.8 to 1.2),

*R<sub>f</sub>* - reduction factor which indicates the probability of occurrence of contamination (ranging from 0 to 1).

The graphic interpretation was developed and the hazard map created after the calculation of the Hazard index. As a thematic map, a hazard map provides information concerning the spatial distribution, location, as well as the size and shape of potential polluters. Hazards are shown on the map using symbols, lines and shadings in different colours, depending on the degree of potential hazard resulting from the hazard index value.

**Mapping the groundwater contamination risk.** The groundwater risk map was obtained by combining the vulnerability map and the hazard map. To obtain the groundwater contamination risk map, the value of Risk index (*R*) was calculated first, using the following equation (HÖTZL, 2004):

$$R = \pi \cdot 1/HI \quad (3)$$

where:

*R* - risk index,

*HI* - hazard index,

$\pi$  - level of groundwater protection.

The level of groundwater protection  $\pi$  was calculated by way of redistribution of the values of DRASTIC index of vulnerability, reducing the interval from 0 to 5.

After the calculation of the risk index, five different classes of risk showing different likelihood of groundwater contamination were distinguished in the GIS environment (Table 2). Then, the groundwater risk map was created.

Table 2. Hazard and Risk Index and Risk Index Classes

$\pi$	Hazard index	1/HI	$\pi \cdot 1/HI$	Class index	Degree of risk	Common Colour
4 – 5	0-24	>0.042	>0.167	1	None or very low	Blue
3 – 4	>24-48	0.042-0.021	0.167-0.063	2	Low	Green
2 – 3	>48-72	0.021-0.014	0.063-0.028	3	Moderate	Yellow
1 – 2	>72-96	0.014-0.010	0.028-0.010	4	High	Orange
0 - 1	>96-120	<0.010	<0.010	5	Very high	Red

## RESULTS AND DISCUSSION

For the purpose of creating a groundwater vulnerability map of the Djerdap National Park, special layers were prepared for each analysed parameter. These maps show the different impact of analysed parameters on the overall vulnerability of groundwater. Various input data were used in the analysis of each parameter: a geological map, a hydrogeological map, an elevation model, a pedological map, satellite images of the terrain, etc. Parameters D and R were determined indirectly, by overlapping several parameters (ŽIVANOVIĆ *et al.*, 2012). Overlying these layers with the DRASTIC equation, the final vulnerability index was calculated and the zones (classes) with different degrees of vulnerability of groundwater to contamination were distinguished (Fig. 2).

Applying the DRASTIC method, the groundwater vulnerability map was created, showing that most of the NP is characterized by low or very low groundwater vulnerability. This was to be expected as most of the terrain is composed of rocks with fracture porosity, where water table is not near the surface, the water movement is very slow, the soil is well developed due to enhanced decay of rocks, and the infiltration is very limited due to steep terrain. The areas in which groundwater vulnerability was characterized as high and very high are the karst terrains of Miroč and the Quaternary sediments of the area of Kladovski Ključ.



The creation of a hazard map required an analysis of available data and field studies. Potential polluters were identified and divided into two groups (Table 3): the potential polluters resulting from infrastructural development (waste water, fuel, transport and traffic) and potential polluters associated with industrial activity (mining operations and industrial plants). The resulting hazard map showed that assessed potential polluters in the area of the National Park Djerdap predominantly belong to the less dangerous group, with hazard indexes of about 30. In addition to these, there are also several settlements without sewage systems that have been categorised as those that can cause significant harm to groundwater (Fig.3).

Table 3. Registered hazards (potential pollutants) in the area of NP Djerdap

Hazard	Weighing value (H)	Hazard index (HI)	Location
<b>Infrastructural development</b>			
Waste water			
Urbanisation (leaking sewage pipes and systems)	35	35-39	Davidovac, Dobra, Donji Milanovac, Kaladušnica, Karataš, Sip, Tekija
Urbanisation without a sewage system	70	63-85	Boljetin, Brnjica, Golubinja, Manastirica, Mosna, Ridanj, Stara Reškovića
Municipal waste			
Garbage dump	40	40	Mosna
Fuels			
Gas station	60	60-66	Golubac (old town), Donji Milanovac, Mosna
<b>Transport and traffic</b>			
Highway	40	40	Djerdap
Regional road	40	26-36	Donji Milanovac – Majdanpek, Petrovo Selo, Manastirica, Miroč, Boljetin, Donji Milanovac, Dobra
Local road	40	26-32	Golo Brdo, Tekija, Kladušnica – Karataš, Mosna
Bus station	35	39	Donji Milanovac
Dock	40	29	Tekija
<b>Recreational facilities</b>			
Camp	30	12	Brnjica
<b>Diverse hazards</b>			
Cemetery	25	25-28	Brnjica, Boljetin, Davidovac, Dobra, Kladušnica, Stara Reškovića, Tekija, Manastirica
Transformer station	30	30	HPP Djerdap I
<b>Industrial activities</b>			
<b>Excavation sites</b>			
Stone pit	25	18-25	Golo Brdo, Livadica, Jelenska Stena, Golubačka Klisura, Ridanj, Golubačka Klisura
Gravel and sand pit	30	30	Mosna
<b>Industrial plants</b>			
Wood processing factory	40	32	Mosna

The groundwater contamination risk map of the National Park was obtained by combining the vulnerability and hazard maps (Fig. 4). The resulting map showed that the risk to groundwater contamination exists only in the area of the settlements, (villages Brnjica, Stara Reškovica, Dobra – Fig. 5). Medium to high level risk exists in the area of Miroč Mountain, where transportation infrastructure is built on karstified carbonate rocks. The area of the power plant “Djerdap I” with settlements Karataš, Sip, and Davidovac is also under a high risk of groundwater contamination. Terrace and proluvial sediments in the area of Tekija are also zones with a high degree of risk of pollution. However, looking at the entire National Park, the identified zones with medium, high or very high risk to pollution cover only a small portion of the total area of the park, which is very encouraging for its further development. The likelihood of groundwater contamination is higher in the defined risk areas; further research should thus focus on these areas, and necessary measures to prevent groundwater deterioration should be applied.

## CONCLUSIONS

The results show that the presented methodology for mapping the risks of groundwater contamination can be applied to larger areas such as the National Park (NP) and the Nature Park (PP). One of the most important tasks is the choice of method for the assessment of groundwater vulnerability. The selected DRASTIC method is very suitable for assessing the vulnerability of groundwater in large areas, especially those characterised by complex geological and hydro-geological composition, also because it suits the need for maps created in smaller scale. Evaluation of the existing hazards enabled the mapping of groundwater vulnerability risk, which presents a good basis for planning further research in order to protect groundwater in the territory of the National Park.

It should be noted that these results present only the first approach (screening) to determining the areas where groundwater is most vulnerable. To obtain more precise maps, it is necessary to conduct more detailed research, focused on the identified danger zones.

### ***Acknowledgement***

*This research was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development (as part of project No. 43004) and the Ministry of Mining and Energy of the Republic of Serbia*

## LITERATURA – REFERENCES:

- ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J., PETTY, R., HACKETT, G. (1985): *DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*, U.S. EPA, Chicago, IL.
- DOERFLIGER, N., ZWAHLEN, F. (1997): *EPIK: A new method for outlining of protection areas in karstic environment*, Karst Waters and Environmental Impacts, Gunay and Johnson (eds), Balkema, Rotterdam.
- HÖTZL, H. (2004): Risk assessment concept. In: Zwahlen, F. (ed) *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*, COST Action 620, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp 108-112.
- KETELAERE, D.D., HÖTZL, H., NEUKUM, C., CIVITA, M., SAPPÀ, G. (2004): *Hazard analysis and mapping*. In: Zwahlen, F. (ed) *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*, COST Action 620, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp 86-105.
- ŽIVANOVIĆ, V., DRAGIŠIĆ, V., ATANACKOVIĆ, N., NINKOVIĆ, S., NEŠKOVIĆ, D. (2014): *Primena geografskog informacionog sistema u izradi karte rizika od zagađivanja podzemnih voda na primeru nacionalnog parka Đerdap*, Zbornik radova XVI Kongresa geologa Srbije, 22-25 Septembar 2014, Donji Milanovac, Srbija, p. 320-325.
- ŽIVANOVIĆ, V. (2011): *Ocena ranjivosti podzemnih voda od zagađenja na primerima karsta Srbije*, Magistarski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- ŽIVANOVIĆ, V., DRAGIŠIĆ, V., ATANACKOVIĆ, N. (2012): *Primena DRASTIC metode pri oceni ranjivosti podzemnih voda na primerima nacionalnih parkova i parkova prirode Srbije*, Vodoprivreda, Beograd, 44, 277-284.