

Primljen / Received: 16.2.2015.

Ispravljen / Corrected: 2.9.2015.

Prihvaćen / Accepted: 14.11.2015.

Dostupno online / Available online: 10.12.2015.

## Analiza opasnosti od onečišćenja podzemnih voda u kršu na primjeru sliva izvora Jadro i Žrnovnica

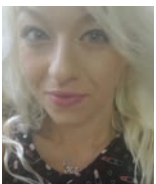
### Autori:



Dr.sc. **Jelena Loborec**, dipl.ing.geot.  
Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet  
[jloborec@gfv.hr](mailto:jloborec@gfv.hr)



Izv.prof.dr.sc. **Sanja Kapelj**, dipl.ing.geol.  
Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet  
[sanja.kapelj@zg.t-com.hr](mailto:sanja.kapelj@zg.t-com.hr)



**Helena Novak**, mag.ing.geoling.  
Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet  
[helena.novak88@gmail.com](mailto:helena.novak88@gmail.com)

Stručni rad

**Jelena Loborec, Sanja Kapelj, Helena Novak**

### Analiza opasnosti od onečišćenja podzemnih voda u kršu na primjeru sliva izvora Jadro i Žrnovnica

U ovom radu obrađen je sliv izvora Jadra i Žrnovnice, tipičan vodonosnik dinarskog krša, čije se izvorske vode koriste za vodoopskrbu grada Splita i šire okolice. Prikazuje se analiza trenda karakterističnih pokazatelja onečišćenja izvorskih voda, ocjenu stanja kakvoće voda, te procjenu antropogenog utjecaja analizom opasnosti koje prijete onečišćenjem voda sliva po postupku iz projekta COST 620.

#### Ključne riječi:

krški vodonosnik, kakvoća vode, izvori onečišćenja, opasnosti, karte opasnosti

Professional paper

**Jelena Loborec, Sanja Kapelj, Helena Novak**

### Analysis of ground water pollution hazard in karst: a case study of Jadro and Žrnovnica catchment area

The catchment area of the Jadro and Žrnovnica springs, which is a typical Dinaric karst aquifer that supplies water to the city of Split and its surroundings, is studied in the paper. The trend of typical spring-water pollution indicators is analysed, water quality is estimated, and anthropogenic impact is assessed based on the COST 620 procedure, through analysis of hazards threatening to pollute water in this drainage area.

#### Key words:

karst aquifer, water quality, sources of pollution, hazards, hazard maps

Fachbericht

**Jelena Loborec, Sanja Kapelj, Helena Novak**

### Analyse des Grundwasserverschmutzungsrisikos im Karst am Beispiel des Einzugsgebietes Jadro und Žrnovnica

In dieser Arbeit wird das Einzugsgebiet der Quellen Jadro und Žrnovnica untersucht, eines für Dinarische Karstgebiete typischen Wasserträgers, dessen Quellwasser für die Versorgung der Stadt Split und Umgebung genutzt wird. Es werden Trendanalysen der für die Verschmutzung von Quellwasser typischen Parameter dargestellt. Ebenso werden die Wasserqualität sowie antropogene Einflüsse aufgrund von Gefahrenanalysen in Bezug auf Verschmutzung der Gewässer des Einzugsgebietes nach dem Verfahren des Projektes COST 620 beurteilt.

#### Schlüsselwörter:

Karstwasserträger, Wasserqualität, Verchnutzungsquellen, Gefahren, Gefahrenkarten

## 1. Uvod

Krška područja u Hrvatskoj bogata su zalihama podzemnih voda visoke kakvoće. Radi očuvanja kvalitete i količine podzemne vode kao bitnog izvora pitke vode krškog kraja, sve se više pažnje posvećuje istraživanju svih dijelova vodonosnog sustava kao i zaštiti zaliha podzemnih voda u kršu. Krš dinarskog područja ima specifična hidrogeološka obilježja: mnoštvo krških geomorfoloških oblika, nepostojanje zaštitnih pokrovnih naslaga, koncentrirano poniranje površinskih vodnih tokova, velike brzine tečenja kroz kanale i pukotine u podzemlju što podrazumijeva kratko vrijeme zadržavanja tijekom njihova poniranja, [1]. Sve to pogoduje preživljavanju mikroorganizama i omogućuje širenje potencijalnog onečišćenja s površine u kratkom vremenu na velike udaljenosti, a otopljene otpadne tvari ne mogu se pročititi na prirodan način (disperzijom, adsorpcijom ili razgradnjom). Sve to čini podzemne vode iznimno osjetljivima na različite prirodne i antropogene utjecaje [2]. Tipičnom krškom vodonosniku pripada i područje obrađeno u ovom radu, sliv izvora Jadra i Žrnovnice, koji se nalazi u širem zaleđu grada Splita, a čije se izvorske vode koriste za vodoopskrbu grada Splita i šire okolice, što obuhvaća oko 300.000 stanovnika [3].

Posljednjih desetljeća na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice izgrađeni su i još se planiraju izgraditi brojni poslovni, uslužni, prometni i gospodarski objekti, od kojih su najznačajnije novoizgrađene poslovne zone u Dugopolju i Muću, te novi poslovni objekti na Dicmanskom polju. Sve je to, u dijelu Hrvatske koji je dosad bio slabije naseljen i razvijen, uzrokovalo pogoršanje kakvoće izvorskih voda Jadra i Žrnovnice, te predstavlja potencijalni problem za budućnost. Zbog toga su još 2000. godine započela kompleksna hidrogeološka istraživanja s ciljem zaštite podzemnih voda tog područja [4-8]. Kao sastavni dio istraživanja provedena su ispitivanja kemijskog sastava vode u dugom vremenskom nizu, te su rezultati tih ispitivanja obrađeni izračunom trenda onečišćenja i korišteni za ocjenu stanja kakvoće voda.

Osim toga, provedena je analiza izvora opasnosti od onečišćenja koji prijete slivu izvora Jadra i Žrnovnice po protokolu koji je predložen u sklopu projekta COST 620 *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers* [9]. Tim projektom istraživači iz različitih zemalja Europe ujedinili su metodologiju procjene ranjivosti, opasnosti i rizika za podzemne vode u jedinstven „europski pristup“. Drugi od tri koraka tog pristupa je upravo analiza opasnosti od onečišćenja podzemnih voda koja se sastoji od nekoliko unaprijed određenih koraka koji omogućuju dobivanje ujednačenih prikaza izvora onečišćenja, tj. karte neklasificiranih i klasificiranih izvora opasnosti. Iako je izrada katastra onečišćivača već duže vrijeme obavezni dio istraživanja za izradu prijedloga zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode propisan Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta [10, 11] i njegovi grafički i opisni prikazi sastavni su dio Elaborata zona sanitarne zaštite, ovakav način procjene opasnosti predstavlja napredak metodologije čime je

olakšana ocjena stvarne opasnosti koja prijete podzemnoj vodi od različitih izvora onečišćenja, te usporedba opasnosti na raznim područjima.

## 2. Kakvoća vode Jadra i Žrnovnice

Izvorske vode Jadra i Žrnovnice uključene su u monitoring kakvoće vode Zavoda za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije jer se koriste za potrebe javne vodoopskrbe. Monitoring se provodi jednom mjesečno i na temelju tih podataka su izdvojene prosječne, minimalne i maksimalne godišnje vrijednosti koncentracija ili sadržaja odabranih pokazatelja kakvoće vode. Nizovi nekih pokazatelja onečišćenja, koje propisuju i upute o implementaciji Okvirne direktive o vodama Europske unije [12], dovoljno su dugi i omogućavaju prilično dobru ocjenu kakvoće podzemne vode u slivu. U sklopu izrade *Studije upravljanja vodama Jadra i Žrnovnice - 1. faza* [4] za ocjenu stanja kakvoće izvorskih voda Jadra i Žrnovnice statistički su obrađeni rezultati kemijskih analiza pokazatelja kakvoće vode u razdoblju od 1975. do 2005. godine (izvor Jadra), odnosno od 1975. do 2004. godine (izvor Žrnovnice) te su uspoređeni s propisanim граниčnim vrijednostima (maksimalno dopuštenim koncentracijama – MDK) prema Uredbi koja je u to vrijeme bila na snazi [13]. Na temelju te usporedbe izvorska voda Jadra i Žrnovnice povremeno je varirala od prve do pete vrste [4], što je upozoravalo na postojanje određenih problema u slivu koji utječu na kvalitetu vode. Kakvoća izvorske i riječne vode Jadra i Žrnovnice detaljno je istraživana i za potrebe određivanja indeksa kakvoće voda Dalmacije [14]. U ovom radu spomenuti nizovi rezultata kemijskih analiza dopunjeni su podacima iz perioda od 2006. do 2014. godine. Na osnovi tih nizova podataka vidljivo je da ju izvorska voda Jadra i Žrnovnice najviše opterećena povremenim bakteriološkim onečišćenjem (izraženo kao broj koliformnih bakterija u 100 mL otopine – oznaka NBK/100mL i broj fekalnih koliforma – oznaka NBFK/100mL), dok maksimalne vrijednosti kemijske potrošnje kisika (oznaka KPK) upućuju na čestu pojavu oksidabilnih tvari u izvorskoj vodi, vjerojatno organskog porijekla. To je vidljivo iz podataka u tablicama 1. i 2. gdje su crvenom bojom fonta (**bold, italic**) označene vrijednosti koje premašuju MDK za pitku vodu. Na pogoršanje kakvoće vode Jadra utječe i povišenje koncentracija hranjivih soli dušika, posebno nitrata te broj koliformnih bakterija.

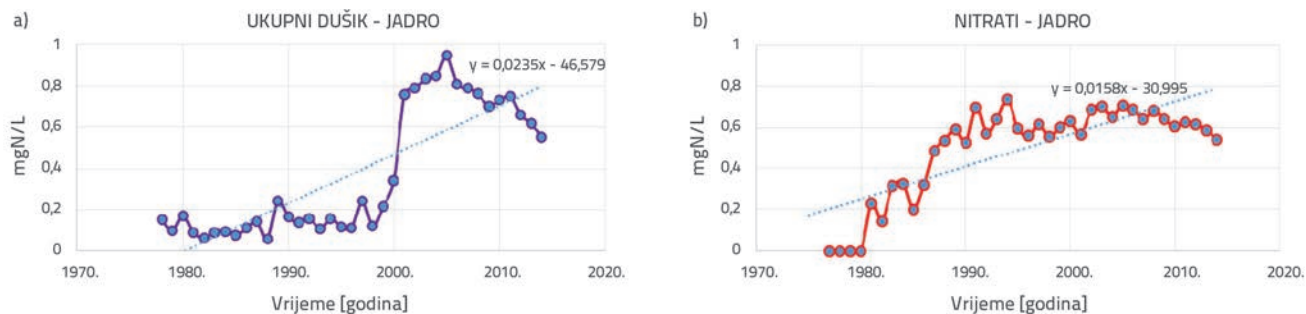
Prema novoj, sadašnjoj važeća Uredbi o standardu kakvoće voda [15], ne razvrstava se voda u pet kategorija kao što je to bilo u dotadašnjoj. U slučaju tijela podzemne vode, promatra se zasebno količinsko stanje i kemijsko stanje podzemne vode, u oba slučaja postoje dvije kategorije: dobro stanje i loše stanje. Standardi kakvoće kemijskog stanja propisani ovom Uredbom su: nitrati, aktivne tvari u pesticidima, arsen, kadmij, olovo, živa, amonij, kloridi, sulfati, ortofosfati, suma trikloretena i tetraokloretena te vodljivost. Pri tome se gledaju prosječne godišnje koncentracije pojedinog pokazatelja. Neki od tih pokazatelja nisu mjereni u periodu za koji se

Tablica 1. Mikrobiološki pokazatelji, izvor Jadra  
(>MDK, MDK = 0)

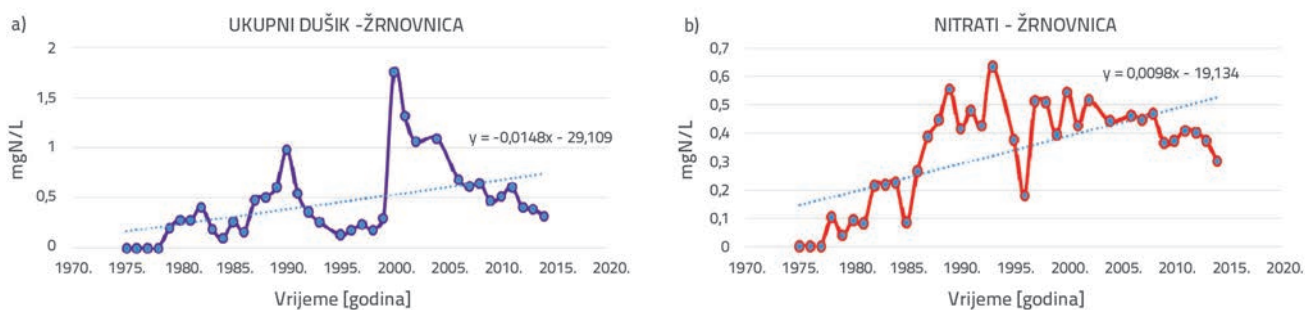
Godina	Broj koliformnih bakterija (NBK/100mL)			Broj fekalnih koliforma (NBK/100mL)		
	min.	prosjeak	max.	min.	prosjeak	max.
1975.	0	442	3100	0	0	0
1976.	5	278	1840	0	0	0
1977.	5	1	1000	0	0	0
1978.	5	179	1000	0	193	1000
1979.	11	251	390	0	30	61
1980.	30	349	1100	0	178	390
1981.	4	727	2400	4	541	2400
1982.	9	121	460	0	69	240
1983.	0	313	2400	0	92	240
1984.	4	39	150	0	10	43
1985.	3	641	2400	0	490	2400
1986.	0	207	2400	0	41	400
1987.	0	100	460	0	33	240
1988.	0	173	460	0	59	240
1989.	0	839	2400	0	309	2400
1990.	0	1122	2400	0	863	2400
1991.	0	431	2400	0	250	2400
1992.	0	594	2400	0	594	2400
1993.	23	1443	2400	23	1443	2400
1994.	0	36	210	0	35	210
1995.	0	424	2400	0	406	2400
1996.	2	1070	3800	0	299	1500
1997.	0	461	1300	0	207	1300
1998.	5	335	1300	0	307	1300
1999.	0	1063	3500	0	1398	3500
2000.	0	1259	3500	0	504	1800
2001.	0	271	1600	0	95	350
2002.	11	628	1800	2	260	1600
2003.	5	622	1800	0	403	1800
2004.	0	41553	430000	0	472	1800
2005.	130	5946	45000	0	63	350
2006.	34	2875	16000	4	800	3500
2007.	8	35703	180000	9	2861	24000
2008.	170	22118	160000	0	115	540
2009.	540	18997	92000	2	5874	35000
2010.	5	257	1600	0	208	1600
2011.	0	54	220	0	22	79
2012.	12	57	110	0	35	85
2013.	5	256	813	1	108	499
2014.	25	121	224	9	47	184

Tablica 2. Mikrobiološki pokazatelji i režim kisika, izvor Žrnovnica  
(>MDK, MDK<sub>KPK</sub> < 5)

Godina	KPK - Mn (mgO <sub>2</sub> /L)			Broj koliformiranih bakterija (NBK/100 mL)		
	min.	prosjeak	max.	min.	prosjeak	max.
1975.	3,2	4,81	6,2	20	675	3100
1976.	4,2	6,69	17,6	5	196	746
1977.	4	5,83	8,7	33	598	1850
1978.	3,1	5,22	8,7	0	339	1200
1979.	6,2	7,28	9	0	420	1050
1980.	4,3	7,26	9,3	0	366	1050
1981.	5,4	6,32	9,3	0	480	2400
1982.	6,5	9,58	16,1	0	289	2400
1983.	5,2	7,52	9,6	7	575	2400
1984.	5,2	8,55	12,2	4	677	2400
1985.	4,4	6,48	8	0	838	2400
1986.	4,9	5,43	6	23	672	2400
1987.	4,5	7,39	10,4	0	841	2400
1988.	5,4	7,03	9	0	376	2400
1989.	6,8	8,12	10,8	15	886	2400
1990.	6,2	8,43	12,4	9	964	2400
1991.	4,4	6,81	9,8	0	1141	2400
1992.	4,4	6,99	9,2	0	639	2400
1993.	2,8	6,99	9	0	102	240
1995.	10,8	5,48	6,8	20	616	2400
1996.	2,6	11,7	12,6	293	2047	3800
1997.	5,6	7,72	11,76	2	398	1300
1998.	7,52	9,37	16,8	0	607	1300
1999.	4,8	11,86	19,1	26	4545	3500
2000.	1,2	9,98	16,8	0	501	3500
2001.	1,2	3,19	7,2	0	381	1800
2002.	1,1	1,7	2,2	14	182	350
2004.	1,1	1,58	2,2	170	988	1800
2006.	<1,5	<MDK	2,1	0	1478	5000
2007.	<1,5	<MDK	2,2	130	20635	92000
2008.	<1,5	<MDK	1,6	79	23263	160000
2009.	<1,5	<MDK	1,9	27	15891	92000
2010.	0,7	1,15	1,6	2	154	540
2011.	<1,5	<1,5	<1,5	13	396	1600
2012.	<0,6	<MDK	0,6	7	29	90
2013.	<0,6	<MDK	0,7	10	148	704
2014.	<0,6	<MDK	0,6	10	62	126



Slika 1. Pokazatelji antropogenog onečišćenja u izvorskoj vodi Jadra (1975. – 2014.): a) trend koncentracija ukupnog dušika, b) trend koncentracija nitrata



Slika 2. Pokazatelji antropogenog onečišćenja u izvorskoj vodi Žrnovnice (1975. – 2014.): a) trend koncentracija ukupnog dušika; b) trend hranjivih soli dušika – nitrata

ocjenjivalo stanje (aktivne tvari u pesticidima, arsen, kloridi, sulfati te sintetičke tvari), no oni koji jesu zadovoljavaju granične vrijednosti dozpuštenih koncentracija, pa se može pretpostaviti da općenito vode Jadra i Žrnovnice imaju dobro kemijsko stanje.

Ono što je malo veći problem jest trend ponašanja pojedinih onečišćivača. Analiza linearnog trenda prosječnih godišnjih vrijednosti odabranih pokazatelja onečišćenja omogućuje stjecanje spoznaja o tendenciji poboljšanja ili pogoršanja kakvoće vode s obzirom na analizirani pokazatelj kakvoće. Zbog velikih mjesečnih varijacija koje ovise o sezonskim biološkim i hidrološkim prilikama u krškom vodonosniku, primjenjene su prosječne vrijednosti koncentracije pojedinih pokazatelja onečišćenja. Na taj način uprosječilo se godišnje opterećenje, odnosno unos npr. onečišćenja u vodonosnik te omogućila usporedba s ostalim godišnjim nizovima. Na temelju rezultata provedenih analiza izdvojeni su specifični pokazatelji onečišćenja za koje je izračunan trend. Trend porasta u izvorskoj vodi Jadra pokazuju koncentracije ukupnog dušika i nitrata, što je jasan pokazatelj porasta antropogenog utjecaja na podzemne vode sliva Jadra (slika 1.). Važno je napomenuti da se, bez obzira na izračunani trend, radi o koncentracijama daleko ispod MDK za pitku vodu.

Spomenuti trend zapažen je i za odabrane pokazatelje onečišćenja i u izvorskoj vodi Žrnovnice (slika 2.). Prema tome, i u dijelu sliva koji se drenira pretežito prema izvoru Žrnovnice posljednjih godina došlo je do dodatnog opterećenja na podzemne vode, vjerojatno zbog istih uzroka kao i na Jadru.

### 3. Princip provedbe analize opasnosti za podzemne vode

Detaljna ocjena antropogenih utjecaja na podzemne vode postiže se izradom karte opasnosti. Prema smjernicama projekta COST 620 [9], opasnost (eng. *hazard*) je definirana kao mogući izvor onečišćenja od ljudskoga djelovanja i pritom se prije svega misli na onečišćenje s površine ili pripovršinske zone terena. Postupak procjene opasnosti na nekom području obuhvaća određivanje stupnja štetnosti koji potencijalna opasnost može imati na podzemne vode, uzimajući pri tome u obzir svojstva same opasnosti, ali i vanjske utjecaje koji mogu smanjiti mogućnost pojave opasnog događaja. U Okvirnoj direktivi o vodama [12] navedeno je da postoji potreba za utvrđivanjem zajedničkih kriterija u istraživanju izvora onečišćenja na nekom području. Postupak procjene opasnosti, ovdje prikazan, može poslužiti upravo u tu svrhu.

Izrada karte opasnosti podijeljena je u nekoliko faza. Najvažnije je prikupiti podatke o potencijalnim onečišćivačima na istraživanom području i oblikovati GIS bazu podataka u kojoj svaki pojedinačni objekt ima zapisanu svoju prostornu referenciju i najvažnije atribute. Postupak prikupljanja podataka nije jednoznačno određen. Moguće je izdvajanje iz topografskih karata, iz avio i satelitskih snimaka, iz raznih izvješća i arhiva, na temelju terenskog zapažanja, izravno prikupljanje informacija od odgovornih osoba u industriji, lokalne uprave itd. Što se više detaljnih podataka o potencijalnom onečišćivaču prikupi, točnija je procjena stupnja štetnosti potencijalnog ili stvarnog utjecaja na podzemnu vodu.

Tablica 3. Težinske vrijednosti za pojedine tipove opasnosti (prema: [9])

	VRSTA OPASNOSTI	H
<b>1.</b>	<b>INFRASTRUKTURNI OBJEKTI</b>	
<b>1.1.</b>	<b>Otpadne vode</b>	<b>25-85</b>
1.1.1.	Naselja s kanalizacijskim sustavima	35
1.1.2.	Naselja bez kanalizacijskih sustava	70
1.1.3.	Izdvojeni pojedinačni objekti bez kanalizacije	45
1.1.4.	Septičke i sabirne jame, nužnici	45
1.1.5.	Navodnjavanje otpadnom vodom	55
1.1.6.	Ispust iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda	35
1.1.7.	Površinsko postupanje s urbanim otpadnim vodama	60
1.1.8.	Otjecanje s asfaltiranih površina	25
1.1.9.	Ispust otpadne vode u površinski vodotok	45
1.1.10.	Upojni zdenac otpadnih voda	85
<b>1.2.</b>	<b>Komunalni otpad</b>	<b>35-50</b>
1.2.1.	Odlagalište otpada, kante za smeće	40
1.2.2.	Prikupna stanica za otpad, reciklažno dvorište	40
1.2.3.	Sanitarni deponij	50
1.2.4.	Spremište i odlagalište građevinskog otpada	35
1.2.5.	Mulj s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda	35
<b>1.3.</b>	<b>Gorivo, benzin, nafta</b>	<b>50-65</b>
1.3.1.	Nadzemni spremnik goriva	50
1.3.2.	Podzemni spremnik goriva	55
1.3.3.	Skladišni spremnici	50
1.3.4.	Dvorišni spremnici	50
1.3.5.	Utovarne stanice goriva	60
1.3.6.	Benzinske postaje	60
1.3.7.	Kaverna za čuvanje goriva	65
<b>1.4.</b>	<b>Promet i prijevoz</b>	<b>30-60</b>
1.4.1.	Cesta, neosigurana	40
1.4.2.	Cestovni tunel, neosiguran	40
1.4.3.	Cestovno vozno skladište	35
1.4.4.	Parkiralište za automobile	35
1.4.5.	Željeznička pruga	30
1.4.6.	Željeznički tunel, neosiguran	30
1.4.7.	Željeznička postaja	35
1.4.8.	Otpremno dvorište	40
1.4.9.	Pista	35
1.4.10.	Cjevovod opasnih tekućina	60
<b>1.5.</b>	<b>Rekreacijski centri</b>	<b>25-30</b>
1.5.1.	Turističko naselje	30
1.5.2.	Mjesto za kampiranje	30
1.5.4.	Golfsko igralište	35
1.5.5.	Skijalište	25
1.6.	Ostale opasnosti	25-35
1.6.1.	Groblje	25
1.6.2.	Životinjsko pokopalište	35
1.6.3.	Kemijska čistionica	35
1.6.4.	Transformatorska stanica	30
1.6.5.	Aktivni i napušteni vojni objekti	35

	VRSTA OPASNOSTI	H
<b>2</b>	<b>INDUSTRIJSKE AKTIVNOSTI</b>	
<b>2.1.</b>	<b>Rudarenje (aktivni i napušteni rudnici)</b>	<b>60-85</b>
2.1.1.	Rudnik, sol	60
2.1.2.	Rudnik, drugi nemetali	70
2.1.3.	Rudnik, ruda	70
2.1.4.	Rudnik, ugljen	70
2.1.5.	Rudnik, uran	80
2.1.6.	Vanjski spremnici opasnog krutog materijala	85
2.1.7.	Postrojenje za obradu rude	70
2.1.8.	Odlagalište rudničkog i zemljanog materijala	70
2.1.9.	Jalovna ruda	70
2.1.10.	Sustav za drenažu rudnika	65
2.1.11.	Jezerce jalovine	65
<b>2.2.</b>	<b>Kamenolomi</b>	<b>10-30.</b>
2.2.1.	Iskopaliste i nasip za gradnju	10
2.2.2.	Šljunčara i pješčara	30
2.2.3.	Kamenolomi	25
<b>2.3.</b>	<b>Eksploatacija nafte i plina</b>	<b>40-70</b>
2.3.1.	Proizvodne bušotine	40
2.3.2.	Bušotine za ponovno ubacivanje	70
2.3.3.	Stanice za utovar	55
2.3.4.	Naftovod	55
<b>2.4.</b>	<b>Industrijska postrojenja</b>	<b>40-85</b>
2.4.1.	Ljevaonica	40
2.4.2.	Željezni i čelični radovi	40
2.4.3.	Industrija za završnu obradu metala	50
2.4.4.	Galvaniziranje	55
2.4.5.	Rafinerija nafte	85
2.4.6.	Tvornica kemikalija	65
2.4.7.	Tvornica gume	40
2.4.8.	Proizvodnja papira i celuloze	40
2.4.9.	Štavionica kože	70
2.4.10.	Prehrambena industrija	45
<b>2.5.</b>	<b>Elektrane</b>	<b>50-65</b>
2.5.1.	Plinara	60
2.5.2.	Termoelektrana na kruta goriva	50
2.5.3.	Nuklearna elektrana	65
<b>2.6.</b>	<b>Industrijska skladišta</b>	<b>45-100</b>
2.6.1.	Skladišta krutih materijala i kemikalija	60
2.6.2.	Spremišnici opasnih tvari	70
2.6.3.	Nagomilani pepeo i šljaka	70
2.6.4.	Odlagališta neopasnih tvari	45
2.6.5.	Odlagališta opasnih tvari	90
2.6.6.	Odlagališta nuklearnog otpada	100
<b>2.7.</b>	<b>Odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda</b>	<b>40-85</b>
2.7.1.	Cjevovod otpadne vode	65
2.7.2.	Laguna za sakupljanje otpadnih voda industrije	65
2.7.3.	Ispust iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda	40
2.7.4.	Upojni zdenac otpadnih voda	85
<b>3</b>	<b>POLJOPRIVREDA I STOČARSTVO</b>	
<b>3.1.</b>	<b>Životinjske farme</b>	<b>45-45</b>
3.1.1.	Životinjska staja (šupa, štagalj, svinjac)	30
3.1.2.	Hranilište	30
3.1.3.	Industrijska farma	30
3.1.4.	Gnojnišnica	45
3.1.5.	Bazen ili spremnik s gnojivom	45
3.1.6.	Područje intenzivne ispaše	25
<b>3.2.</b>	<b>Poljoprivreda</b>	<b>15-60</b>
3.2.1.	Otvorena sileža (polje)	25
3.2.2.	Zatvorena silaža	20
3.2.3.	Skladište umjetnog gnojiva i pesticida	40
3.2.4.	Područje intenzivne poljoprivrede	30
3.2.5.	Bašča (vrt)	15
3.2.6.	Staklenik	20
3.2.7.	Navodnjavanje otpadnom vodom	60

Nakon prikupljanja podataka o potencijalnim onečišćivačima, radi se početna faza karte opasnosti, karta neklasificiranih opasnosti koja prikazuje prostornu raspodjelu mogućih onečišćivača. Mađutim, ona ne pruža nikakve informacije o stvarnoj razini opasnosti koju za podzemne vode predstavlja svaki od izdvojenih onečišćivača, niti je na ovaj način moguće međusobno uspoređivati utjecaj tih opasnosti. Stoga je potrebno provesti i drugu fazu analize opasnosti, a to je klasifikacija onečišćivača prema stupnju štetnosti za podzemne vode. Ona omogućuje i kvalitativnu usporedbu različitih vrsta opasnosti. Zato je u sklopu projekta COST 620 predložen postupak klasifikacije opasnosti za podzemne vode. Za dobivanje realne procjene opasnosti izražene indeksom opasnosti (HI), potrebno je za svaki izdvojeni potencijalni onečišćivač procijeniti tri faktora i kombinirati ih prema formuli [9]

$$HI = H \cdot Q_n \cdot R_f \quad (1)$$

gdje je:

HI - indeks opasnosti (eng. *hazard index*)

H - težinska vrijednost

$Q_n$  - faktor ocjene stvarne opasnosti (eng. *ranking factor*)

$R_f$  - faktor redukcije (eng. *reduction factor*)

Vrijednost H (težinska vrijednost) očitava se iz tablica, ovisno o vrsti mogućeg onečišćivača i ima raspon od 0 do 100, gdje 0 označava područja bez opasnosti za podzemne vode, a 100 označava ekstremnu razinu opasnosti (tablica 3).

Vrijednosti prikazane u tablici 3. rezultat su složene analize provedene u sklopu projekta COST 620. U konačnom prikazu opasnosti su grupirane prema trima osnovnim ljudskim djelatnostima koje predstavljaju prvu kategoriju opasnosti (brojevi 1, 2 i 3): infrastrukturni razvoj, industrijske aktivnosti, te poljoprivreda i stočarstvo. Drugu kategoriju opasnosti (brojevi 1.1., 1.2., ... 2.1., 2.2., ...) čine potpodjele osnovnih djelatnosti grupirane prema zajedničkim svojstvima, svaka sa svojim težinskim rasponom. Treću kategoriju opasnosti čine djelatnosti detaljno raščlanjene do krajnjeg oblika opasnosti koji određuje jednoznačnu vrijednost. Ako se kod istraživanja nekog područja pojavi potreba za definiranjem i rangiranjem novog tipa onečišćivača, u sklopu projekta COST 620 dane su preporuke kako da se to učini, a da novi onečišćivač bude potpuno usklađen i usporediv s ostalima.

No, još uvijek se može dogoditi da dva jednaka tipa onečišćivača ne predstavljaju jednaku opasnost za podzemne vode. Zbog toga se uvodi faktor ocjene stvarne opasnosti  $Q_n$  (faktor rangiranja) koji ima raspon od 0,8 do 1,2, a prikazuje veličinu stvarne opasnosti od onečišćenja podzemnih voda, obično kao izravnu posljedicu ispuštene štetne tvari. Raspon vrijednost od 0,8 do 1,2 ne omogućava neke drastične razlike, ali one nisu ni poželjne, budući da bi velika odstupanja od srednje vrijednosti nerealno izdvojila jednu djelatnost od drugih, njoj srodnih [8].

Treći faktor – faktor redukcije  $R_f$  u rasponu je od 0 do 1 i prikazuje vjerojatnost pojavljivanja onečišćenja iz pojedinoga mogućeg

onečišćivača. U slučaju da je faktor redukcije 0, pretpostavlja se da nema mogućega rizika onečišćenja podzemne vode, dok faktor 1 označava da nema poznatih razloga za smanjenje stvarne opasnosti od mogućeg onečišćenja podzemne vode iz tog onečišćivača. Potrebno je vrlo oprezno upotrebljavati faktor redukcije, u malom rasponu od broja 1 i to samo kad za to postoje opravdani i provjereni razlozi.

Kombinacijom navedenih faktora za svaki se onečišćivač izračunava indeks opasnosti po predloženoj formuli. Nakon toga se vektorski slojevi konvertiraju u rastere (svaki tip zasebno – točkasti, linijski i poligonski). Rasteri se zbrajaju i sumarni raster predstavlja ukupnu opasnost. Nakon provedene analize opasnosti, dobiveni prikaz potrebno je reklasificirati u 5 kategorija koje se prikazuju na karti klasificiranih opasnosti (tablica 4.).

Tablica 4. Kategorije opasnosti od mogućeg onečišćenja i njihov način prikaza na karti (prema: [9])

Indeks opasnosti (HI)	Kategorija opasnosti	Razina opasnosti	Boja na karti
0 - 24	2	nema ili vrlo mala	plava
24 - 48	3	niska	zelena
48 - 72	4	srednja	žuta
72 - 96	5	visoka	narandžasta
96 - 120	6	vrlo visoka	crvena

#### 4. Analiza opasnosti i izrada karata opasnosti na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice

U prošlosti je gotovo cijeli sliv izvora Jadra i Žrnovnice bio slabo naseljeno područje s relativno malom potrošnjom vode, što je značilo i male količine otpadnih voda. Porastom životnog standarda – gradnjom prometnica, razvojem turizma i industrije, izgradnjom komunalne infrastrukture povećala se i količina otpadnih voda, posebno u područjima krških polja. Budući da ondje nema prirodnog površinskog prijamnika otpadne vode, uobičajeno je da se otpadne vode ispuštaju u tlo, odnosno najčešće u morfološke depresije, vrtače, jame i ponore. Specifična obilježja krških područja onemogućavaju otpadnoj tvari pročišćavanje prirodnim načinom (dispersija, sorpcija, razgradnja i sl.), stoga nije neobično da se otpadna tvar pojavi na krškim izvorima. Ako se otpadne tvari ispuštaju u krškom području kroz dulji period, dolazi do pogoršanja kakvoće podzemne, a samim time i izvorske vode čime one postanu nepogodne za vodoopskrbu. To obično onda zahtijeva primjenu skupih metoda kondicioniranja, kojima se voda treba podvrći prije isporuke potrošačima ili dopremanju potrebnih količina vode

iz drugih, udaljenih slivova [4, 6]. Niti jedno niti drugo rješenje nije poželjno i ekonomski je neisplativo, a uz to treba uzeti u obzir i štetne posljedice do kojih može doći usred narušavanja ekološke ravnoteže u prirodnim ekosustavima. Stoga se svim sredstvima treba usmjeriti na rješavanje porasta onečišćenja, dok još posljedice nisu trajne i nepopravljive.

Prema pokazateljima kakvoće vode, izdvojeni su potencijalni onečišćivači koji bi mogli imati značajan utjecaj na kakvoću izvorskih voda te su dalje analizirani u skladu s preporukama projekta COST 620.

#### 4.1. Identifikacija izvora opasnosti za kakvoću podzemne vode u slivu

Podaci o mogućim onečišćivačima na slivu prikupljeni su kombinacijom različitih metoda. Glavni izvor podataka u početnoj fazi istraživanja bio je Prostorni plan Splitsko-dalmatinske županije [17]. Također su korišteni podaci Hrvatskih voda o svim onečišćivačima koji imaju vodopravne dozvole te podaci Agencije za zaštitu okoliša iz Registra onečišćavanja okoliša (ROO) o onečišćivačima s podacima o emisijama u vode. Uz to, onečišćivači su izdvojeni iz topografskih karata (prometnice, naselja) i usklađeni sa satelitskim snimkama novijeg datuma (izdvojeni novoizgrađeni objekti – industrijske zone i sl.). Terenskim rekognosciranjem potvrđeno je postojanje izdvojenih onečišćivača, te su dopunjeni podaci o novim manjim objektima koji nisu vidljivi u dostupnim kartama (lokalna odlagališta otpada i ispusti otpadnih voda). Na temelju prikupljenih podataka izdvojen je velik broj mogućih izvora onečišćenja. O nekima postoji dovoljno podataka i detaljno su istraženi, dok je utjecaj drugih u velikoj mjeri procijenjen [8]. Grupiranje onečišćivača prema gospodarskim djelatnostima u skladu je sa smjernicama projekta COST 620 i osnova je za izradu klasificiranih opasnosti.

**Numeracija i nazivlje opasnosti, kao i dodijeljene težinske vrijednosti opasnosti, ovdje će se navesti prema opisu u tablici 3.**

### 1. Infrastrukturni objekti

#### 1.1. Otpadna voda

##### 1.1.1. Naselja s kanalizacijskim sustavom (H = 35)

Na području sliva zasad samo dva naselja imaju riješen sustav javne odvodnje, a to su Dugopolje i Klis. Ti sustavi tek su onedavno u funkciji, a idejnim rješenjem kanalizacijskog sustava Split-Solin usvojen je koncept priključenja kanalizacije Klis-Dugopolje na sustav Split-Solin s konačnom dispozicijom efluenta podmorskim ispustom. Time se otpadne vode iz druge zone sanitarne zaštite izvora odvođe iz sliva, čime se izvorska voda donekle rasterećuje mikrobiološkog i anorganskog onečišćenja.

##### 1.1.2. Naselja bez kanalizacijskih sustava (H = 70)

Većina naselja na području sliva nema kanalizacijsku infrastrukturu, iako je Prostornim planom Splitsko-dalmatinske

županije [17] predviđena njihova izgradnja. Za sada, ta naselja predstavljaju najveći pritisak na kakvoću podzemnih voda, što je vidljivo iz povremenog bakteriološkog onečišćenja izvorske vode koja se pojavljuje u hidrološki vlažnim razdobljima kojima prethode dugotrajna sušna razdoblja kada se akumulirana onečišćenja u septičkim jamama ispiru u podzemlje. Unutar ove klase opasnosti korišten je faktor rangiranja ( $Q_n = 0,8 - 1,2$ ) prema veličini naselja, tako da veća naselja predstavljaju nešto veću opasnost za podzemne vode od manjih zbog količine ispuštene štetne tvari.

##### 1.1.3. Izdvojeni pojedinačni objekti bez kanalizacije (H = 45)

U ovu kategoriju opasnosti izdvojen je hotel Katarina s četiri zvijezdice, koji se nalazi na području industrijske zone Dugopolje. To je novoizgrađeni objekt kapaciteta 74 smještajne jedinice i s mnoštvom različitih drugih sadržaja, a nalazi se unutar druge zone zaštite izvora Jadro, te kao takav predstavlja određenu opasnost za kakvoću izvorske vode. U istu se skupinu ubraja i specijalizirana prodavaonica namještaja i opreme za kućanstva Lesnina d.o.o. na području Dugopolja te kućice za naplatu cestarine na izlazu Dugopolje.

##### 1.1.8. Otjecanje s asfaltiranih površina (H = 25)

Toj skupini onečišćenja pripadaju i točke upoja za prikupljanje oborinske vode s trase Jadranske autoceste koja ima zatvoreni sustav odvodnje. Točke upoja, tzv. mastolovi i lagune, pretvaraju linijsko opterećenje ceste u točkasti onečišćivač s jednostavnijim sustavom kontrole i nadzora.

### 1.2. Komunalni otpad

#### 1.2.1. Odlagališta otpada (H = 40)

U posljednje vrijeme ulažu se naponi za podizanje svijesti o štetnim posljedicama lošega gospodarenja otpadom, kojim se nastoji smanjivati njegov utjecaj na okoliš. No, kako je negativan utjecaj nagomilan, treba vremena da se saniraju postojeća odlagališta, posebno ona nekontrolirana. Takvih nekontroliranih odlagališta otpada u slivu ima na više mjesta (21 izdvojena lokacija), obično u zaklonjenim prostorima vrtača, makiji i uz slabo prometne makadamske putove. Dva odlagališta izdvojena su [18] zbog značajnog utjecaja na kakvoću podzemne vode (jedno u Gornjem Muću, jedno između Dugopolja i Klisa) i njima je dodijeljen faktor rangiranja 1,2 u odnosu na sva ostala divlja odlagališta.

#### 1.2.3. Sanitarni deponij (H = 50)

Službena sanitarna odlagališta otpada predstavljaju zasebnu kategoriju opasnosti. Odlagalište komunalnog otpada grada Splita "Karepovac" nalazi se nizvodno od sliva Jadra i Žrnovnice na fliškim naslagama te ne može utjecati na kakvoću podzemnih voda spomenutih izvora. Za razliku od toga, unutar sliva nalazi se odlagalište grada Sinja "Mojanka" na području Kukuzovca s desne strane regionalne ceste Split-Sinja. Hidrogeološkim istraživanjima koja su 2007. godine provedena na tom području,

detaljno je ispitan utjecaj odlagališta na podzemne vode u slivu Jadra i Žrnovnice [19]. Tom je prilikom potvrđena inertnost deponiranog otpada i uz dobro održavanje relativno mali utjecaj na podzemne vode.

### 1.3. Gorivo, benzin, nafta

#### 1.3.6. Benzinska postaja (H = 60)

Na području sliva evidentirano je nekoliko benzinskih postaja: INA d.d. – dvije postaje u sklopu autoceste (Kozjak sjever i Kozjak jug) te benzinska postaja Dicmo i Crodux benzinske postaje na području Dugopolja. Benzinske postaje imaju vodopravnu dozvolu Hrvatskih voda, te izvedbom zadovoljavaju sve uvjete o sprječavanju utjecaja na podzemne vode. Stoga im je dodijeljen faktor vjerojatnosti pojave onečišćenja 0,95, a budući da se na postajama uz autocestu i na brzoz cestu od Dugopolja prema Splitu bilježi veći promet, faktor rangiranja im je nešto veći u odnosu na benzinsku postaju na području Dicma.

### 1.4. Promet i prijevoz

#### 1.4.1. Prometnice, neosigurane (H = 40)

Intenzivnu gradnju autocesta i drugih prometnica slijedi i pojačani promet, odnosno povećanje broja prometnih vozila i degradacija područja uz prometnice. Slivom Jadra i Žrnovnice prolazi trasa Jadranske autoceste Rijeka-Zadar-Split-Dubrovnik (JAC), te dvije državne ceste D1 Macelj-Zagreb-Karlovac-Gračac-Knin-Sinj-Split i D62 Dugopolje-Šestanovac-Vrgorac. Spoj JAC-e i brze ceste Split-Sinj ostvaruje se preko čvora Dugopolje. Tu su još dvije ceste D60 Brnaze-Trilj i D220 Trilj-Kamensko, i županijske te razne pristupne ceste manjega značenja. Autocesta je zbog zatvorenog sustava odvodnje promatrana zasebo, dok je ostalim cestama prema važnosti i prometnom opterećenju dodijeljen faktor  $Q_n = 0,8$  za lokalne, 1,0 za županijske i 1,2 za državne ceste.

### 1.6. Ostale opasnosti

#### 1.6.4. Transformatorska stanica (H = 30)

Utjecaj na kakvoću podzemnih voda mogu imati i prijenosni sustavi, tzv. transformatorske stanice, kod kojih tijekom remonta može doći do izlivanja ulja i ostalih sredstava koja se koriste pri održavanju i remontu takvog postrojenja. Ovdje treba izdvojiti trafostanicu "Konjsko" kao najveći objekt prijenosnog sustava državnoga značenja koja se nalazi uz državnu cestu Split-Muč.

#### 1.6.5. Aktivni i napušteni vojni objekti (H = 35)

Na području općine Sičane, na brdu u blizini kamenoloma, nalazi se "Brodomerkur", skladište eksploziva koje se ubraja u aktivni vojni objekt i predstavlja opasnost za podzemnu vodu.

## 2. Industrijske aktivnosti

### 2.2. Kamenolomi

#### 2.2.3. Kamenolom (H = 25)

U slivu Jadra i Žrnovnice nalazi se nekoliko kamenoloma i to na lokacijama: Dugobabe, Križice, Dicmo, Sičane i Klis-Kosa. Na svim područjima vadi se i obrađuje isključivo tehnički kamen. Često se uz kamenolome nalaze i druga industrijska postrojenja vezana uz tu djelatnost (obuhvaćena kategorijom industrijskih postrojenja). Kod Putišića na lokaciji Donji Dolac nalazi se kamenolom ukrasnog kamena i nekoliko postrojenja za piljenje i obradu tog kamena. Prostornim planom Splitsko-dalmatinske županije određeno je zatvaranje kamenoloma Klis-Kosa, tako da je vjerojatnost pojave onečišćenja na tom području smanjena.

### 2.4. Industrijska postrojenja

#### 2.4.4. Galvaniziranje (H = 55)

Na lokaciji Donji Muć nalazi se Metind d.o.o. – industrijsko postrojenje za preradu metala i galvanizaciju. Velika težinska vrijednost opasnosti pokazuje da je to jedna od industrija koja predstavlja značajnu opasnost za kakvoću podzemnih voda. Ipak, uz postrojenje se nalaze lagune za predtretman otpadnih voda, čime se donekle umanjuje mogućnost štetnih posljedica njihovog djelovanja.

#### 2.4.10. Prehrambena industrija (H = 45)

Na području sliva nalazi se i nekoliko prehrambenih industrijskih pogona. Ovdje su izdvojena dva značajnija industrijska objekta: Dalmesso – industrija mesa i mesnih prerađevina na području Klisa i SMS Kurtovići prehrambena industrija, koja se također nalazi na području Klisa.

#### 2.4.11. Industrija – pogoni za proizvodnju građevnog materijala (betonare i asfaltne baze) (H = 40)

Kod ove vrste onečišćivača mogu se očekivati različiti aditivi koji se koriste za postizanje određenih svojstava betona i ostalih proizvoda od betona i asfalta. Njihov sastav je vrlo različit, od sintetskih organskih spojeva do anorganskih komponenata. Na području sliva takvi objekti su: pogon betonare pokraj kamenoloma Križice, pogon betonare pokraj kamenoloma Dugobabe i asfaltna baza u Konjskom. Kako nema izdvojene kategorije takve industrijske aktivnosti, dodijeljena je najniža vrijednost težinskog faktora ove kategorije, što je realno u odnosu na vrijednost ostalih industrija i kamenoloma koje su srodna djelatnost.

### 2.6. Industrijska skladišta

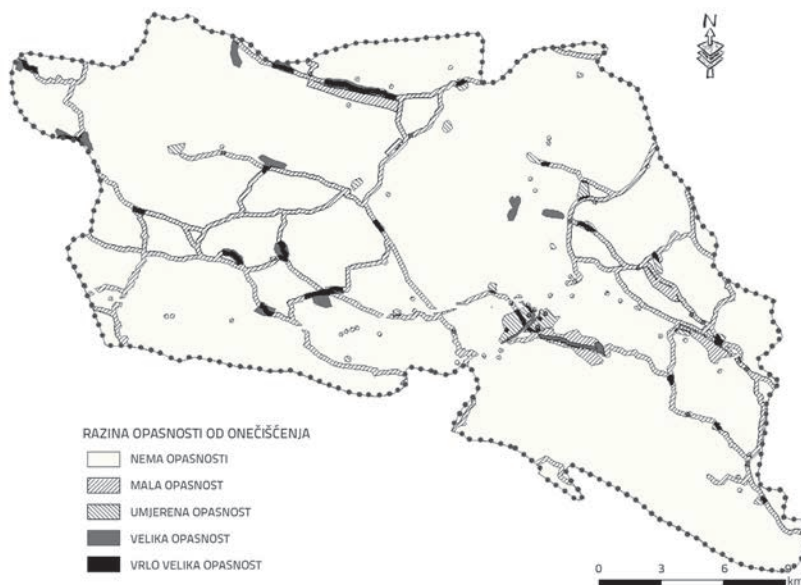
#### 2.6.1. Skladišta raznih sirovina (H = 60) - "Proizvodno-poslovne zone"

Na području sliva Jadra i Žrnovnice posljednjih godina intenziviraju se aktivnosti za izgradnju tzv. proizvodno-poslovnih zona kao





Slika 3. Karta neklasificiranih opasnosti na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice (modificirano prema [8])



Slika 4. Karta klasificiranih izvora opasnosti na području sliva (modificirano prema [8])

Tablica 5. Odnos površina sliva zastupljenih pojedinom klasom opasnosti

Razina opasnosti	Površina sliva [km <sup>2</sup> ]	Udio površine [%]
Nema opasnosti	508,80	89,63
Mala opasnost	44,43	7,83
Umjerena opasnost	4,96	0,87
Velika opasnost	5,40	0,95
Vrlo velika opasnost	4,07	0,72

centara od iznimne važnosti za razvoj gospodarstva na području Splitsko-dalmatinske županije. Takve zone već su izgrađene i u funkciji na području Dugopolja i Dicma, a na području Muća trenutno su u fazi izgradnje Prisike 0 i 1. Općenito, proizvodno-poslovne zone obuhvaćaju različite aktivnosti. Najviše zastupljenih objekata predstavljaju skladišta raznih sirovina, ali ima i prodajnih salona te uslužnih servisa. U planu je da popratni sadržaji takvih zona imaju i turističko-rekreacijske komponente.

### 3. Poljoprivreda i stočarstvo

#### 3.1. Životinjske farme

##### 3.1.3. Industrijska farma (H = 30)

U ovoj kategoriji izdvojena je peradarska farma na području Gizdavca i tri objekta napuštenih peradarskih farmi na području Dugopolja. Iako ti objekti već dugo vremena nisu aktivne farme (čak su u vrijeme rata bila skladišta nepoznatog vojnog materijala), a trenutna im je funkcija nepoznata, smatra se da i dalje predstavljaju potencijalnu opasnost za podzemnu vodu.

#### 3.2. Poljoprivreda

##### 3.2.4. Područje intenzivne poljoprivrede

Na poljoprivrednim površinama problematično je korištenje velike količine zaštitnih sredstava kao i velike količine mineralnih i organskih gnojiva. Ispiranjem tla oborinama ovi sastojci poniru u podzemlje i utječu na kakovću vode. Na području sliva značajnije poljoprivredne površine prisutne su na Dugopolju, Mučkom, Dicmanskom i Biskom polju.

#### 4.2. Izrada karata neklasificirane i klasificirane opasnosti

Svi spomenuti onečišćivači pripremljeni su za kartografski prikaz. U bazi podataka razvrstani su u tri kategorije: točkasti, linijski i poligonski. Njihovim prostornim smještajem na području sliva dobivena je neklasificirana karta opasnosti (slika 3.) Postupak klasificiranja proveden je u skladu s opisom iz poglavlja 3. Konačni rezultat ove analize opasnosti prikazan je kartom klasificiranih opasnosti (slika 4.).

Karta klasificiranih opasnosti izdvojila je dijelove sliva s jednakom razinom opasnosti na temelju već izgrađenih objekata koji mogu biti potencijalni onečišćivači podzemne vode. Iz karte je vidljivo da je najproblematičniji dio spoj naselja bez izgrađenog sustava javne odvodnje, prostora industrijskih zona i prometnica. Osim toga, iz karte je vidljivo da je veliki dio sliva izvan opasnosti od onečišćenja, upravo zato jer nema izgrađenih objekata ili su objekti dobro izvedeni da se spriječi moguće onečišćenje [16]. Ako se analiziraju površine zastupljene pojedinom klasom opasnosti, dobije se situacija prikazana u tablici 5., tj. potvrđeno je da gotovo 90% sliva nema opasnost od onečišćenja, a samo 0,72% površine sliva ima vrlo veliku razinu opasnosti [8].

## 5. Rasprava

Rezultati kemijskih analiza kakvoće voda jasno upućuju na povremeno znatno povećanje bakteriološkog onečišćenja izvora Jadra i Žrnovnice. S obzirom na vrstu bakteriološkog onečišćenja, izvor su pretežito otpadne vode iz kućanstava zbog nepostojanja kanalizacijskog sustava. U velikom dijelu sliva intenzivirala se tijekom promatranog razdoblja izgradnja stambenih i poslovnih objekata. Naselja u slivu većinom su dobila pitku vodu, a time je porasla i količina otpadne vode, čija je posljedica trend porasta onečišćenja u podzemnoj vodi sliva. I druge aktivnosti u slivu uzrokuju porast onečišćenja, od poljodjelske aktivnosti, servisnih postaja za različite namjene, kamenoloma, specifičnih industrijskih pogona itd. Iako je prema kemijskim analizama izvorske vode utvrđen pozitivan trend porasta određenih pokazatelja onečišćenja, važno je naglasiti da se radi o vrijednostima koje su još uvijek niske i ne predstavljaju problem za korištenje ovih voda. Međutim, važno je pravodobno reagirati i krenuti s aktivnostima zaštite podzemnih voda, kako zapažen trend ne bi s vremenom postao veći problem. Poboljšanje stanja kakvoće izvorskih voda može se očekivati jedino prepoznavanjem, izdvajanjem i sanacijom problematičnih izvora onečišćenja zatečenih na području sliva, prije svega na potrebu za izgradnjom sustava kanalizacije u naseljima, tj. prikupljanjem, odvođenjem i pročišćavanjem otpadnih voda.

Upravo iz tog razloga provedena je analiza potencijalnih izvora opasnosti od onečišćenja podzemnih voda prema protokolu propisanom u projektu COST 620. Ukupnom analizom opasnosti pokazano je da stanje na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice nije alarmantno, niti su izdvojeni izrazito opasni izvori onečišćenja. Potvrđen je problem naselja bez izgrađenog sustava za postupanje s otpadnim vodama, na što su upućivale kemijske analize kakvoće vode, posebno bakteriološko onečišćenje, no u skladu s kartom klasificiranih opasnosti riječ je o području koje zauzima mali udio površine sliva. Ipak, kako je trend povećanja onečišćenja u izvorskim vodama posljedica ubrzanog razvoja ovog područja, tj. širenja naselja i poslovnih zona, te povišenja životnog standarda, potrebno je poduzeti mjere u skladu s održivim razvojem kojima bi se utjecaj na okoliš, posebno na vode,

smanjio. Tu se u prvom redu misli na odgovarajuće postupanje s otpadnim vodama naselja izgradnjom sustava javne odvodnje i pročišćavanja otpadne vode, kao i na sanaciju postojećih divljih odlagališta, te modernizaciju postojeće cestovne infrastrukture. Na taj bi se način razina opasnosti mogla svesti na još manju mjeru, bez ograničenja razvoja.

## 6. Zaključak

Sliv izvora Jadra i Žrnovnice je jedan od prostorno većih krških slivova dinarida, s velikim bogatstvom nezamjenjivih zaliha podzemne vode koja se koristi za vodoopskrbu stanovništva, ali i za različite druge namjene. U posljednjih nekoliko godina u slivu Jadra i Žrnovnice u uvjetima gospodarskog razvoja došlo je do narušavanja kakvoće izvorskih voda, kako povremenim onečišćenjima koje su pretežito uzrokovane naglim ispiranjem epikrške zone uvjetovanim hidrološkim prilikama, tako i trendom porasta određenih pokazatelja onečišćenja.

Kakvoća podzemnih voda na izvorima Jadra i Žrnovnice kontrolirana je dugi niz godina. Nizovi nekih pokazatelja onečišćenja dovoljno su dugački i omogućavaju prilično dobru ocjenu postupnog pogoršanja kakvoće podzemne vode u slivu. Najveći problem predstavlja mikrobiološko onečišćenje istraživanih izvora. Pozitivan trend opterećenja izvorske vode Jadra zapažen je za dušične forme, ali još uvijek u koncentracijama nižim od MDK vrijednosti za pitke vode. U izvorskoj vodi Žrnovnice ustanovljeni trendovi slični su kao i na izvoru Jadra.

Da bi se utvrdila točna razina opasnosti koja prijete podzemnim vodama ovoga sliva, napravljena je analiza opasnosti od onečišćenja po protokolu propisanom projektom COST 620. Prema tim smjernicama izdvojeni su i prostorno locirani svi aktivni i potencijalni onečišćivači na području sliva, te je izrađena karta neklasificiranih opasnosti. Sve izdvojene opasnosti rangirane su izračunavanjem indeksa opasnosti koji predstavlja mjeru stvarne opasnosti koja prijete podzemnim vodama. Tako obrađeni izvori onečišćenja prikazani su u karti klasificiranih opasnosti. Lociranjem i klasificiranjem svih aktivnih i potencijalnih izvora opasnosti na području sliva utvrđene su kritične točke koje su mogući uzrok pogoršanja kakvoće izvorskih voda Jadra i Žrnovnice ili pak mogu dovesti do njenog daljnijeg narušavanja. Poboljšanje stanja kakvoće izvorskih voda može se očekivati jedino postupnim smanjenjem ili kontrolom djelovanja svih potencijalnih i aktivnih onečišćivača, što uključuje pročišćavanje otpadnih voda u slivu, sanaciju divljih odlagališta otpada te smanjenje utjecaja drugih izvora onečišćenja.

Postupak procjene opasnosti, ovdje prikazan, može poslužiti kao jedinstveni pristup u istraživanju izvora onečišćenja na nekom području. Karte opasnosti, dobivene ovakvom analizom, mogu poslužiti u planovima korištenja prostora, za donošenje odluka vezanih uz zaštitu podzemnih voda, a mogu biti i osnovna podloga za procjenu rizika od onečišćenja podzemnih voda na nekom području.

## LITERATURA

- [1] Biondić, B., Biondić, R.: Hidrogeologija dinarskog krša u Hrvatskoj. Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet, Varaždin, pp. 341, 2014.
- [2] Ravbar, N., Goldscheider, N.: Comparative application of four methods of groundwater vulnerability mapping in a Slovene karst catchment. *Hydrogeology Journal* 17, pp. 725 – 733, 2009., <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-008-0368-0>
- [3] Državni zavod za statistiku, Popis stanovništva, 2011.
- [4] Kapelj, S., Kapelj, J., Prelogović, E., Marjanac, T., Kovač, I.: Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice – I. faza studijsko istraživačkih radova EVV:1/2005. Hrvatske vode, Split, 2006.
- [5] Kapelj, S., Kapelj, J., Jukić, D., Denić-Jukić, V.: Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice – II. faza studijsko istraživačkih radova EVV:9/2007. Hrvatske vode, Split, 2008.
- [6] Kapelj, S., Kapelj, J., Hip, I., Loborec, J., Dogančić, D.: Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice – III. faza studijsko istraživačkih radova EVV:21/2008. Hrvatske vode, Split, 2009.
- [7] Kapelj, S., Loborec, J., Kapelj J.: Assessment of aquifer intrinsic vulnerability by the SINTACS method. *Geologia Croatica*, Vol. 66, No. 2, (2013), pp. 119–128, <http://dx.doi.org/10.4154/GC.2013.09>
- [8] Loborec, J.: Procjena rizika od onečišćenja podzemnih voda u kršu na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice. Doktorski rad, RGN fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2013.
- [9] Zwahlen, F.: Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. European Commission, Directorate – General for Research, European research area: structural aspects – COST 620, pp. 279, 2004.
- [10] Narodne novine 066/11: Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta
- [11] Narodne novine 047/13: Pravilnik o izmjenama pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta
- [12] Okvirna direktiva o vodama Europske unije (2000/60/EZ)
- [13] Narodne novine 077/98: Uredba o klasifikaciji voda
- [14] Štambuk Giljanović, N.: Vode Dalmacije. Nastavni zavod za javno zdravstvo Splitsko - dalmatinske županije, Split, pp. 588, 2006.
- [15] Narodne novine 73/13, 151/14: Uredba o standardu kakvoće voda
- [16] Novak, H.: Analiza izvora opasnosti u slivu Jadra i Žrnovnice. Diplomski rad, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin, 2013.
- [17] Prostorni plan Splitsko – dalmatinske županije: Službeni glasnik Splitsko-dalmatinske županije, 1/03, 8/04, 5/05, 5/06, 13/07, 2002.
- [18] Biondić, R., Biondić, B., Rubinić, J.: Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj. Završno izvješće. Arhiv Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin, 2009.
- [19] Biondić, B., Biondić, R.: Odlagalište otpada grada Sinja (Mojanka) – Hidrogeološka istraživanja – Izvješće. Geo Info d.o.o. Zagreb, 2007.
- [20] Narodne novine 056/13: Zakon o vodi za ljudsku potrošnju