

OCENA ZAŠTITNE FUNKCIJE POVLATNIH SLOJEVA IZVORIŠTA JASIK (OPŠTINA BATOČINA) PRIMENOM GLA METODE

Rastko PETROVIĆ, Igor JEMCOV, Dušan POLOMČIĆ
Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

REZIME

U cilju utvrđivanja rezervi podzemnih voda i analize uslova zaštite u periodu 2012. i 2013. godine, sprovedena su detaljna hidrogeološka istraživanja na području izvorišta Jasik (opština Batočina). Uspostavljen je sistem monitoringa, čiji je rezultat predstavljao prikupljanje detaljnih hidrogeoloških podataka. Za potrebe analize, izrađen je hidrodinamički model, na osnovu koga je simulirano kretanje podzemnih voda, odnosno, utvrđene zone sanitarne zaštite. Pored navedenog, za potrebe utvrđivanja uslova zaštite podzemnih voda, bilo je neophodno utvrditi podložnost aluvijalne izdani izvorišta Jasik zagađenju. Polazeći od činjenice da je na širem području izvorišta razvijena izdan međuzrnske poroznosti, za ocenu podložnosti podzemnih voda zagađenju izabrana je nemačka metoda – **GLA**, kojom je predviđeno da bude izvršena ocena zaštitne funkcije povlatnih slojeva. Uzimajući u obzir nivo podloga, kojima se raspolagalo, kao i svrshodnost analize, konstatovano je da je primenjena metoda (GLA) u potpunosti adekvatna i primenljiva prilikom rešavanja sličnih primera u praksi.

Ključne reči: Izvorište Jasik, GLA metoda, zaštita podzemnih voda

UVOD

Stanovništvo centralnog Pomoravlja je suočeno sa izazovima iz oblasti očuvanja životne sredine, što se, u značajnoj meri, odnosi na izvorišta podzemnih voda. Problem je složen i višestruk [1], jer se podjednako odnosi na problem nedovoljnih količina i kvaliteta [2], odnosno, degradacije i zagađenja prirodnih resursa, što se, posledično, odražava na zdravlje ljudi, ali i na socio-ekonomski razvoj. Vode, bilo podzemne, bilo površinske, zajedno sa zemljištem, predstavljaju prirodne resurse, koje je moguće „iscrpeti“ i koji su podložni raznim negativnim uticajima. Iz tog razloga je

neophodno ovu problematiku sagledati šire, u cilju očuvanja i održivog korišćenja ovih neprocenjivih resursa [3] [4] [5].

U Srbiji je uvedena praksa obaveznog utvrđivanja zona sanitarne zaštite izvorišta za vodosnabdevanje [6], što predstavlja pozitivnu okolnost, prilikom sagledavanja ove problematike [7]. Međutim, značajno ograničenje takvog pristupa predstavlja činjenica da se rasprostranjenje zona, naročito kod izvorišta u izdanima sa međuzrnskom poroznošću, utvrđuje samo na osnovu brzine i pravca filtracije podzemnih voda, a ne razmatra se koliko su te utvrđene zone zapravo podložne prodoru zagađujuće materije sa površine terena.

U svetu je ova problematika sagledana malo drugačije. Naime, sa ciljem da se dobije osnova za prostorno planiranje i za zaštitu podzemnih voda, Geološka služba Nemačke (GLA) je u saradnji sa Saveznim institutom za geonauku i prirodne resurse, (BGR), kao ad-hok radna grupa za hidrogeologiju, razvila metodu za ocenu zaštitne funkcije slojeva koji se nalaze iznad nivoa podzemnih voda, koju su publikovali 1995. godine. Hoelting i drugi, autori ove metode, nisu dali nekakav poseban naziv ili skraćenicu razvijene metode, pa je tako metoda ostala poznata kao „Nemački pristup“ ili GLA metoda [8]. Kasnije je metoda unapređena, uvođenjem u proračun uslova efektivne infiltracije [9] [10]. Pored navedenog, lokalno je metoda modifikovana, prema specifičnim potrebama i zahtevima na terenu [11] [12].

U Srbiji se, problematikom sagledavanja uslova zaštite podzemnih voda, primenom savremenog pristupa, između ostalih [13], najviše istakao Živanović, u svojim naučnim radovima [14] [15].

Ovaj rad predstavlja primenu GLA metode na primeru izvorišta Jasik, gde su osnovu sagledavanja problema predstavljali rezultati izrađenog hidrodinamičkog

modela, odnosno, simulacije filtracije podzemnih voda. To znači da je na prostoru, gde su utvrđene zone uže i šire zaštite izvorišta, izvršena analiza zaštitne funkcije povlatnih slojeva izdani u aluvijalnim naslagama Velike Morave. Primena ove metode, na konkretnom primeru, predstavlja nadogradnju uslova zaštite, odnosno, utvrđenih zona sanitarne zaštite, koji su simulirani izrađenim modelom.

PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Geografski položaj. Područje istraživanja se nalazi u centralnoj Srbiji, tj. šumadijskom okrugu, na teritoriji opštine Batočina, u ataru sela Jasik u aluvijalnoj zaravni srednjeg toka Velike Morave (Slika 1).

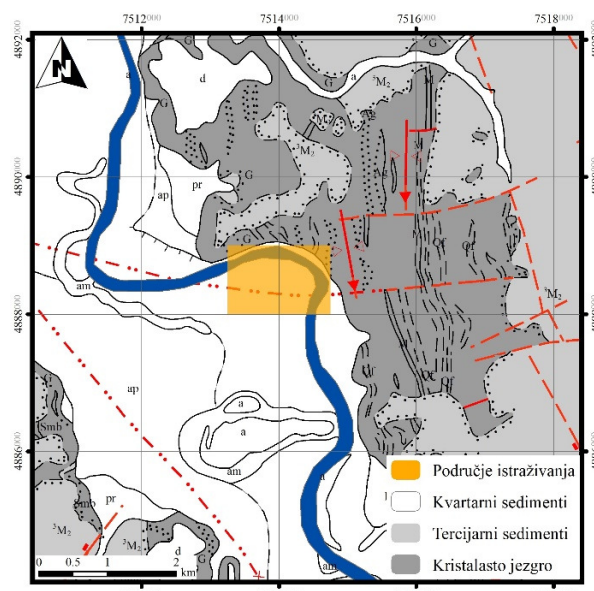


Slika 1. Geografski položaj

Geološke karakteristike. Istražno područje je, generalno, predstavljeno sa tri geološke celine (Slika 2), koje se odlikuju veoma raznovrsnim litostratigrafskim sastavom i strukturnim osobinama, odnosno, koje su predstavljene stenama različite starosti, sastava i geneze [16].

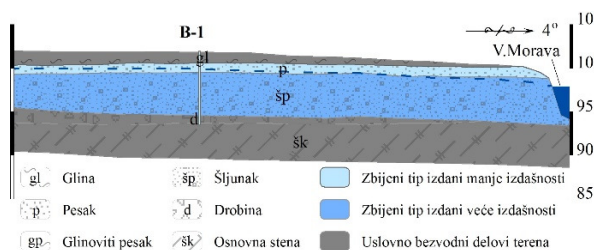
Metamorfne stene kristalastog jezgra predstavljaju najstarije tvorevine istražnog područja i zastupljene su, u najvećoj meri, duž desne obale Velike Morave. Tercijarne tvorevine su široko rasprostranjene po istražnom području i predstavljene su glinovito laporovitim slabovodopropusnim sedimentima srednjeg (3M_2 i 2M_2) i gornjeg (M_3^1) Miocena [17] [18]. Kvarterne tvorevine imaju najveći značaj na području

istraživanja. Predstavljene su aluvijalnim naslagama Velike Morave (al), sa pratećim facijama mrtvaja (am) i povodnja (ap) i rečnim terasama (t). Pored njih zastupljene su i proluvijalne (pr) i deluvijalne (d) naslage [19].



Slika 2. Geološka karta

Hidrogeološke karakteristike. Izdan je formirana u okviru aluvijalnih naslaga Velike Morave, odnosno, nevezanih sedimenata međuzrnske poroznosti. Prema hidrodinamičkim karakteristikama, izdan je sa slobodnim nivoom (Slika 3).



Slika 3. Karakteristični hidrogeološki profil

Na osnovu ranijih istraživanja, u vertikalnom profilu, u litoškom pogledu izdvojena su tri sloja:

→ *Povlatni slabijevodopropusni sloj.* izgrađen je od peskovitih gлина, debljine do 0.5 m, sa koeficijentom filtracije u rasponu od 1.9 do $7.7 \cdot 10^{-8}$ m/s.

→ *Vodonosni horizont* izgrađuju peskovi i šljunkovi, debljine oko 6 m. U okviru vodonosnog sloja izdvajaju

se dve zone različitog granulometrijskog i litološkog sastava i filtracionih karakteristika. Prva zona gradi gornji deo vodonosnog horizonta i izgrađena je od peska i glinovitog peska, heterogenog granulometrijskog sastava. Debljina peskovitog sloja je do 2 m. Koeficijent filtracije ovog dela vodonosnog horizonta se kreću u rasponu vrednosti od $1.01 \cdot 10^{-6}$ do $4.7 \cdot 10^{-8}$ m/s. Drugi, dublji deo vodonosnog horizonta je debljine oko 4 m i izgrađuju ga peskoviti šljunak i šljunak. Ovaj deo vodonosnog horizonta odlikuje se najpovoljnijim uslovima filtracije, sa vrednostima koeficijenta filtracije od oko 10^{-3} m/s.

→ Podinski vodonepropusni sloj je predstavljen gnajsevima, liskunovitim škriljicama i peščarima, sa fragmentima dijabaza i kvarca. U zoni izvorišta ovaj sloj se javlja na dubini od oko 8 m od površine terena.

Prihranjivanje izdani se, u najvećoj meri, odvija infiltracijom površinskih voda Velike Morave, a značajno manje infiltracijom atmosferskih padavina. Pored prirodnog isticanja u tok Velike Morave, dreniranje se odvija i veštačkim putem, preko eksploatacionih bunara izvorišta Jasik, kao i bunarima sa horizontalnim drenovima, izvorišta Brzan-Morava.

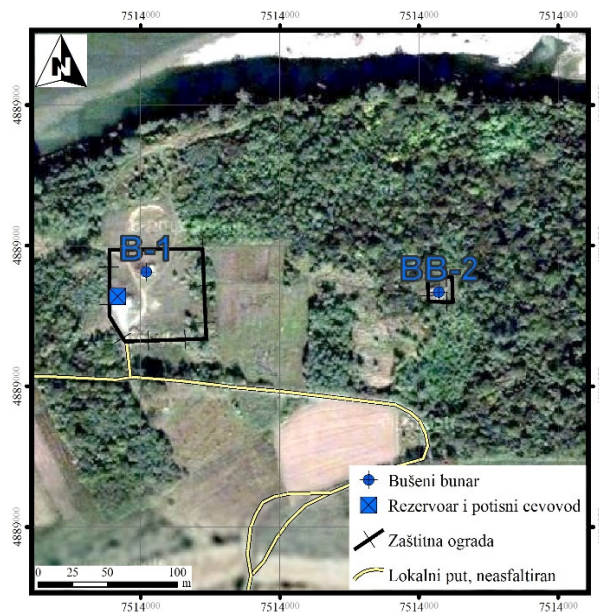
Glavni uticaj na oscilacije nivoa podzemnih voda na širem prostoru izvorišta ima vodostaj Velike Morave, što ovakav režim podzemnih voda svrstava u priobalni tip.

Opis izvorišta. Trenutno, izvorište Jasik raspolaže sa 2 eksploataciona bunara, kao i sabirnim rezervoarom, sa potisnim cevovodom (Slika 4).

Izvorište je, u periodu istraživanja, koji je opisan u ovom radu, bilo u fazi probne eksploatacije, što znači da je napravljen pokušaj da budu simulirani uslovi eksploatacije, koji odgovaraju realnim potrebama, odnosno, realnom režimu rada izvorišta, na osnovu čega su utvrđene opšte karakteristike eksploatacionih bunara izvorišta Jasik (Tabela 1).

Tabela 1. Opšte karakteristike izvorišta Jasik

Bunar	Q [l/s]		T [°C]		K [m/s]
	min	max	min	max	
B-1	0.8	10.0	11.38	12.87	$6.15 \cdot 10^{-3}$
BB-2	0.2	10.9	11.59	12.93	$5.27 \cdot 10^{-3}$
Σ	0.8	20.5	/	/	$5.71 \cdot 10^{-3}$



Slika 4. Situaciona karta izvorišta Jasik

Hidrodinamičke karakteristike izvorišta. Za analizirani period, izrađen je hidrodinamički model, koji je koncipiran kao višeslojeviti model, sa ukupno tri sloja, posmatrano u vertikalnom profilu. Svaki od ovih slojeva odgovara određenom realnom sloju, šematizovanom i izdvojenom na osnovu poznavanja hidrogeoloških karakteristika i sprovedenih analiza rezultata terenskih istražnih radova. Filtracione karakteristike šematizovanih modelskih slojeva su analizirane preko vrednosti koeficijenta filtracije i specifične izdašnosti izdani. Navedeni parametri porodne sredine su zadavani kao reprezentativne vrednosti u svakoj ćeliji diskretizacije. Rezultati ranije izvedenih testova crpenja na bunarima izvorišta Jasik i Morava-Brzan, kao i rezultati granulometrijskih analiza poslužili su za uspostavljanje inicijalnih vrednosti koeficijenta filtracije za prisutne litološke članove. Isti princip je primenjen i za vrednosti specifične izdašnosti izdani, koje su zadavane na osnovu iskustvenih vrednosti, za svaki od litoloških članova koji se nalaze na području obuhvaćenom modelom.

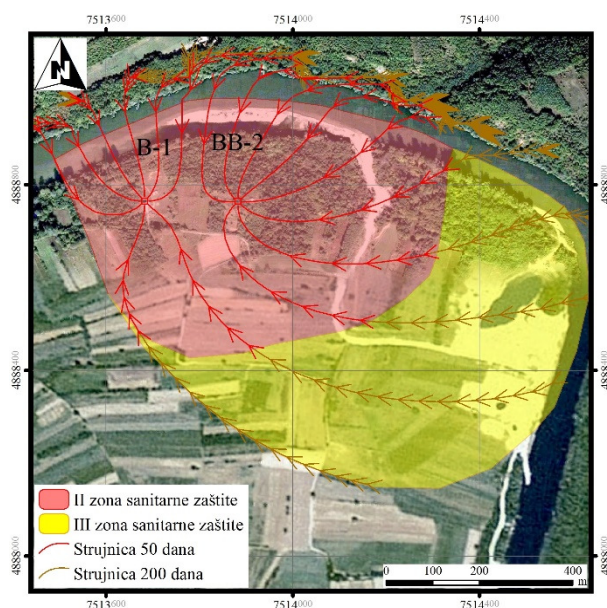
Etaloniranje (kalibracija) modela je sprovedena u nestacionarnim uslovima strujanja, sa vremenskim korakom od jednog dana za ceo analizirani vremenski period. Primenjena je manuelna i automatska kalibracija modela. Automatska kalibracija modela rađena je pomoću programa PEST, uz opciju regularizacije uz pomoć pilot tačaka. Etaloniranje modela je završeno kada je dobijena zadovoljavajuća saglasnost između

registrovanih nivoa podzemnih voda i nivoa dobijenih proračunom. Na kraju etaloniranja je izvršena analiza bilansa podzemnih voda (Tabela 2).

Tabela 2. Bilans podzemnih voda izvorišta Jasik

Elementi bilansa	Doticaj [l/s]	Oticaj [l/s]
Velika Morava	92.19	
Lepenica	5.24	
Zaleđe	12.91	
Izvorište Jasik		20.5
Izvorište Morava-Brzan		89.9
Σ	110.34	110.40

Simuliranim sumarnim kapacitetom izvorišta Jasik od 205.5 l/s, utvrđen je radijus uticaja bunara odnosno izvorišta. Simulacija radijusa dejstva bunara je sprovedena u dva vremenska koraka 50, odnosno, 200 dana, na osnovu čega je su utvrđene uža (II) i šira (III) zona zaštite izvorišta (Slika 5).



Slika 5. Zone sanitarne zaštite izvorišta Jasik

GLA METODA

Uzimajući u obzir količinu i kvalitet prikupljenih podataka, koji su razmatrani za analizu zaštitne funkcije nadizdanskog pokrivača, na konkretnom primeru izvorišta Jasik, primena GLA metode se nameće kao prikladna, jer njenom primenom je moguće na optimalan način sagledati ovu problematiku. Prema ovoj

metodi, prilikom određivanja ukupne zaštitne efikasnosti, u razmatranje ulaze sledeći parametri [20]:

- S - efektivni kapacitet zemljišta za zadržavanje vode/vlage
- W - veličina infiltracije
- R - tip stene
- T - debljina sedimenata i stenskog pokrivača iznad izdani
- Q - dodatni poeni za lažne (lebedeće) izdani
- HP - dodatni poeni, u uslovima izdani pod pritiskom

Da bi se odredila ukupna zaštitna uloga nadizdanske zone, neophodno je posebno proračunati veličinu zaštitne uloge tla (P_1) i zaštitne uloge stenskog pokrivača (P_2). Zaštitna uloga tla se dobija kao proizvod faktora S i faktora W:

$$P_1 = S \cdot W \quad (1)$$

Zaštitna uloga sedimenata i stenskog pokrivača se računa tako što se za svaki poseban sloj računa njegova zaštitna uloga. Zaštitna uloga svakog sloja predstavlja proizvod faktora R, koji opisuje tip stene, i faktora T, koji definiše debljinu iste. Ukupna zaštitna uloga predstavlja sumu ovih proizvoda, koja se zatim množi sa veličinom infiltracije (faktor W). Na ovu vrednost se naknadno dodaju poeni u slučaju pojave lebedećih izdani (parametar Q) ili u slučaju da je izdan pod pritiskom (parametar HP):

$$P_2 = W \cdot (R_1 \cdot T_1 + R_2 \cdot T_2 + \dots + R_n \cdot T_n) + Q + HP \quad (2)$$

Ukupna zaštitna uloga P_t predstavlja sumu veličina P_1 , koja se odnosi na zaštitnu ulogu tla i P_2 , koja se odnosi na zaštitnu ulogu nadizdanske zone:

$$P_t = P_1 + P_2 \quad (3)$$

Kada se odredi ukupna zaštitna uloga, tj. kada se proračuna ukupan broj poena, vrši se kategorizacija terena, pri čemu se izdvaja 5 klasa. Svaka klasa predstavlja različit stepen zaštite, koji pruža nadizdanska zona, i kao takvoj odgovaraju joj posebni uslovi infiltracije koji su opisani u pomenutoj tabeli.

Proizvod ove analize je karta podložnosti zagađenju Izvorišta Jasik, na kojoj su izdvojena područja sa različitim stepenom zaštite. Ovaj prostor se poklapa sa područjem, koje je šematizovano i za koje je izvršena diskretizacija strujnog polja, prilikom izrade

hidrodinamičkog modela, odnosno, utvrđivanje zona sanitarne zaštite.

Analiza je izvršena korišćenjem *Spatial Analyst* alata, u ArcGIS okruženju (softverski paket 10.1). Da bi ista bila izvršena na odgovarajući način, svi ulazni podaci su pripremljeni u rasterskom formatu, sa veličinom ćelije od 4x4 m, što je procenjeno kao optimalno, imajući u vidu dimenzije istražnog područja.

REZULTATI

Pre analize svakog faktora, pojedinačno, neophodno je ukazati na zonu, u istočnom delu navedenog područja, uz meandar Velike Morave, gde se vrši ekstrakcija šljunka i peska, iz aluvijalnih nanosa i rečnog korita. Naime, na tom delu, zaštitni sloj je potpuno uklonjen, čime je drastično narušena mogućnost prirodne zaštite od zagađenja, a značajno povećan rizik od zagađenja. U toj zoni je, *a priori* i bez proračuna, dodeljen ukupan broj P_1 poena 0, jer ne postoji zaštitna uloga površinskog sloja.

Prilikom analize ostatka područja istraživanja, sagledani su sledeći faktori:

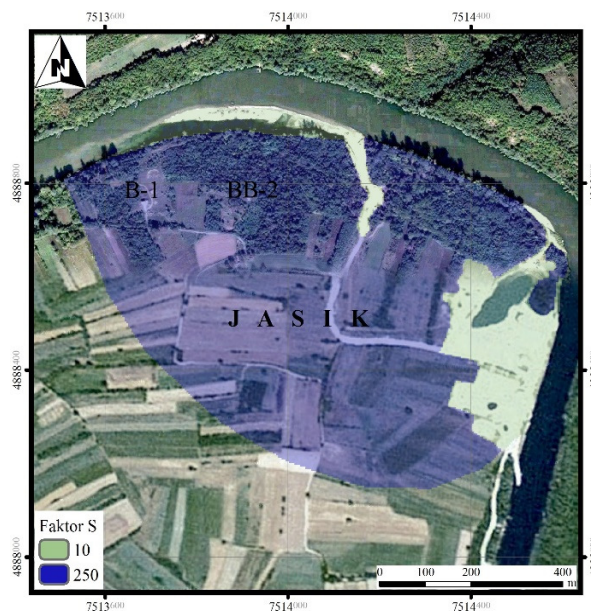
Faktor S. Sposobnost zemljišta da zadržava vodu predstavlja jedan od faktora koji utiče na veličinu infiltracije vode u podzemlje. Jedan od termina koji se koristi za definisanje sposobnosti zemljišta da zadržava vodu je poljski kapacitet.

Poljski kapacitet predstavlja količinu vode, koju sadrži zemljište, u uslovima kada vlada ravnoteža između kapilarnih sila i sila gravitacije: svaki višak vode predstavlja slobodnu vodu, koja prihranjuje izdan [21].

Prilikom određivanja vrednosti faktora S, korišćene su standardne veličine poljskog kapaciteta za različite tipove zemljišta, preuzete od američkog udruženja građevinskih inženjera [22]. Ukupni efektivni kapacitet zemljišta ΣeFC dobija se proračunom, kao suma proizvoda efektivnog kapaciteta zemljišta za svaki sloj (do dubine od 1 m) i debljine istih. U zavisnosti od dobijene vrednosti određuje se faktor S.

Analizom pedoloških karata, na razmatranom prostoru, izdvojen je samo jedan tip zemljišta: nekarbonatni aluvijalni nanosi. Kao rezultat navedenog, izdvojene su dve klase za faktor S: prva, koju u profilu karakteriše 0.3 m humusa i 0.7 m prašinate gline i ilovače, čija vrednost poljskog vodnog kapaciteta iznosi 160-170 mm (16-17%), a faktora S 250; i druga, gde je zaštitni

sloj uklonjen, tako da i ne može da se „izračuna“ vrednost poljskog vodnog kapaciteta, već je zadata minimalna vrednost faktora S od 10 (Slika 6).

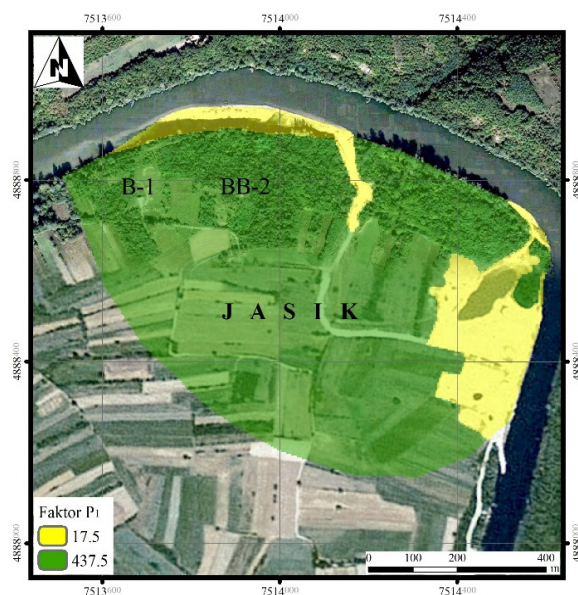
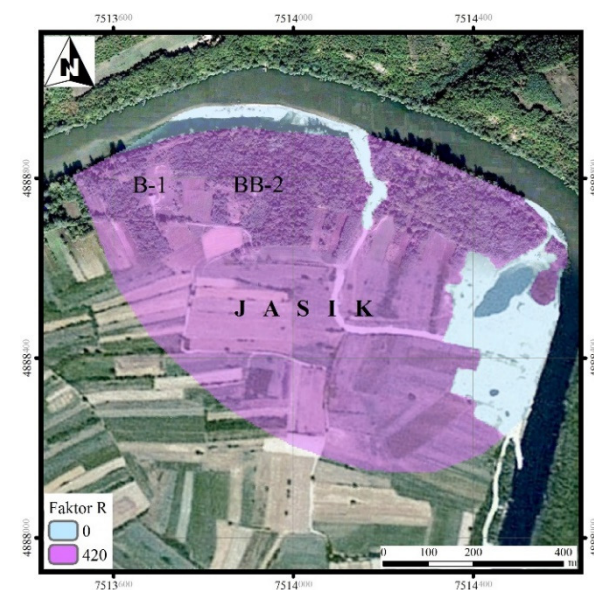


Slika 6. Faktor S u zoni izvorišta Jasik

Faktor W. Izračunava se na osnovu veličine godišnje infiltracije. U uslovima kada vrednost infiltracije nije poznata, onda se ona računa kao razlika između sume godišnjih padavina (rr) i potencijalne evapotranspiracije (P) [23] [24] [25]. Prosečna vrednost suma godišnjih padavina, za period 1961-2012, na meteorološkoj stanici Čuprija, prema podacima RHMZ-a, iznosi 660.88 mm. Za ispitivano područje razlika ($rr - P$) je manja od 100, na osnovu čega je određena vrednost faktora W od 1.75 [26].

Faktor P_1 . Ukupna zaštitna uloga zemljišta P_1 , do dubine od 1 m, za područje izvorišta, je izračunata kao proizvod faktora S i W (1). Na osnovu proračuna, izdvojene su dve klase, istog rasprostranjenja kao i za faktor S (Slika 7).

Faktor R. Predstavlja zaštitnu ulogu stenske mase, koja se nalazi u povlati izdani i računa se za svaki sloj posebno. Povlata vodonosnog horizonta izvorišta Jasik izgrađena je od nekoliko slojeva nekonsolidovanih stena: humus, ilovačaste gline, peskovi heterogenog granulometrijskog sastava. Vrednosti, koje su zadavane, u zavisnosti od karakteristika sloja, iznosile su od 25 do 180, po metru debljine sloja [24], a ukupna vrednost 420 (Slika 8).

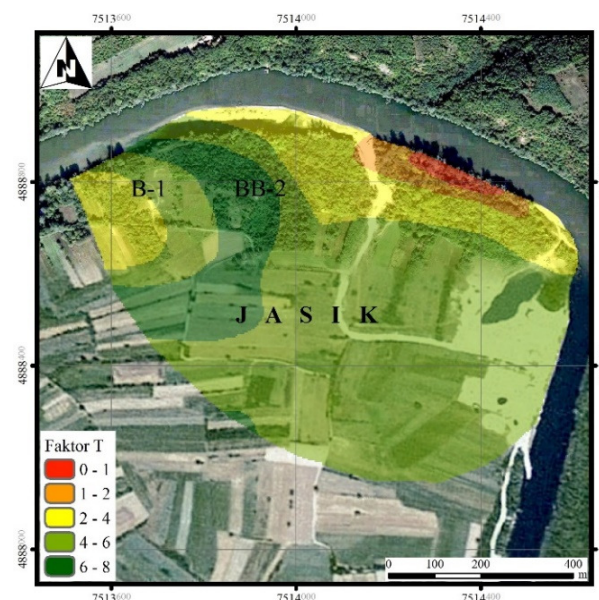
Slika 7. Faktor P_1 u zoni izvorišta Jasik

Slika 8. Faktor R u zoni izvorišta Jasik

Faktor T. Vrednost ovog faktora zavisi od debljine nadizdanske zone. U uslovima koji vladaju u široj zoni izvorišta, za nadizdansku zonu je usvojen interval od nivoa podzemne vode do površine terena. Za procenu veličine nadizdanske zone korišćen je digitalni model terena (DTM), koji zajedno sa vrednostima nivoa podzemnih voda, dobijenim pomoću hidrodinamičkog modela, omogućava izračunavanje vrednosti dubine do nivoa podzemnih voda, tj. u ovom slučaju debljinu nadizdanske zone.

Vrednosti faktora T za analizirano područje se kreću u rasponu od 0 do nešto više od 7 m. Imajući u vidu da je teren praktično zaravnjen, najviše vrednosti faktora T su dobijene proračunom u zoni vodozahvatnih objekata (slika 9).

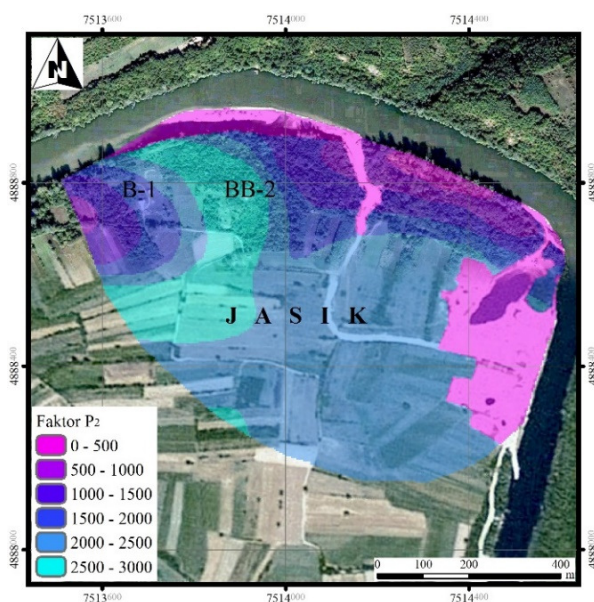
Najniže vrednosti faktora T su dobijene proračunom za severoistočni deo, uz rečni tok Velike Morave (Slika 9). Takođe, neophodno je istaći da postoji određena greška u zonama, gde je vršena ekstrakcija šljunka i peska, jer su nivoi terena delimično niži u odnosu na one generisane izradom DTM-a. To znači da je, u tim zonama, nerealno izračunata/prikazana debljina nadizdanske zone. Ipak, to nije uticalo na konačni proračun, jer su navedene zone *a priori* okarakterisane najnižom ocenom, u pogledu zaštite, jer je zaštitni sloj *de facto* uklonjen.



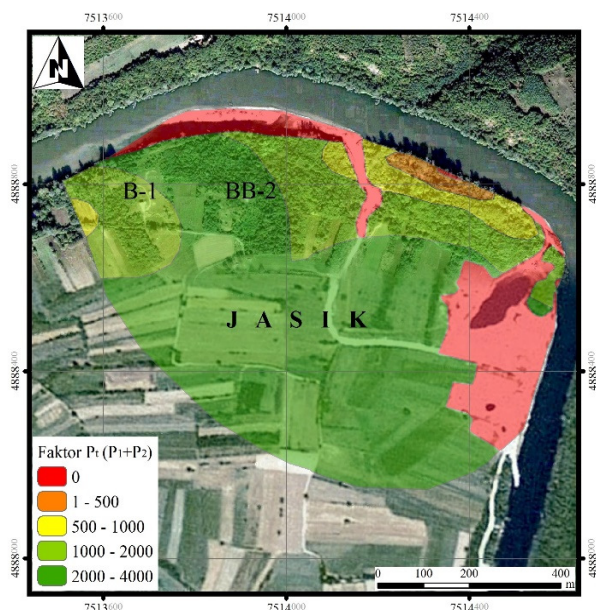
Slika 9. Faktor T u zoni izvorišta Jasik

Faktor P_2 . Na osnovu proračuna (2), jasno su izdvojene klase zaštitne uloge stenskog pokrivača (slika 10).

Faktor P_3 . Konačnim proračunom (3), izdvojeno je 5 klasa, na području izvorišta Jasik (Slika 11, Tabela 3). Prvu klasu predstavlja zona, gde se vrši eksploatacija šljunka i peska, odnosno, gde je u potpunosti uklonjen površinski zaštitni sloj. Posledično, u toj zoni, ne postoji prirodna zaštita od površinskog zagađenja, a ukupna vrednost P_t poena je 0. Ono što je dodatno problematično u vezi ove činjenice je to da ova izdvojena zona, odnosno, klasa ukupne zaštitne uloge površinskog pokrivača, zahvata gotovo šestinu razmatranog područja (16% zastupljenosti).



Slika 10. Faktor P_2 u zoni izvorišta Jasik
Figure 10. Source Jasik – Factor P_2



Slika 11. Ukupna zaštitna uloga stenskog pokrivača (Faktor P_1), za područje izvorišta Jasik

Tabela 3. Ukupna zaštitna uloga stenskog pokrivača (Faktor P_1), za područje izvorišta Jasik

Ukupna zaštitna uloga	Ukupan broj poena P_1	Zastupljenost		
		[m ²]	[km ²]	[%]
Ne postoji	0	99956.10	0.09996	16.00
Veoma mala	1 - 500	7975.08	0.00798	1.28
Mala	500 - 1000	27510.58	0.02751	4.40
Srednja	1000 - 2000	113303.00	0.11330	18.13
Velika	2000 - 4000	376155.92	0.37616	60.19
	Σ	624900.67	0.62490	100

U preostalim zonama, gde su prirodne karakteristike površinskog sloja narušene, odnosno, gde isti nije uklonjen zbog eksploatacije šljunka i peska, ili bilo kog drugog razloga, uočljivo je, nakon analize rezultata proračuna, da je njegov značaj veliki, jer je najznačajnija izdvojena klasa (60.19% zastupljenosti) okarakterisana kao područje sa Velikom ukupnom zaštitnom ulogom površinskog pokrivača, sa ukupnim brojem P_1 poena preko 2000 (Slika 11, Tabela 3).

Takođe kao značajna (18.13% zastupljenosti), izdvojena je klasa Srednje ukupne zaštitne uloge, sa ukupnim brojem P_1 poena između 1000 i 2000. Preostale dve klase, Veoma male (1.28% zastupljenosti) i Male ukupne zaštitne uloge (4.4% zastupljenosti), imaju znatno manje rasprostranjenje na razmatranom području.

DISKUSIJA

Bez obzira na proračun, po kome najveći deo razmatranog područja na izgled nije podložan zagađenju podzemnih voda, potrebno je uzeti u obzir da ova metoda razmatra zonu radijusa uticaja izvorišta u celini, pa tako i zonu, gde ne postoji zaštitna uloga površinskog pokrivača, što, sa aspekta zaštite celog izvorišta, predstavlja nepovoljnu situaciju. Zato je, uzimajući u obzir buduću namenu podzemnih voda, potrebno strogo sprovesti sve mere o uspostavljanju i održavanju zona sanitarne zaštite. Na kraju, čak i nakon uspostavljanja zona sanitarne zaštite, usled hidrogeoloških karakteristika plitke aluvijalne izdani, tj. izražene hidrauličke veze sa rečnim tokom Velike Morave, postoji mogućnost pogoršanja kvaliteta podzemnih voda određenim zagađujućim materijama, sa visokim sposobnostima migracije kroz poroznu sredinu.

ZAKLJUČAK

Korišćenje GLA metode na primeru izvorišta Jasik se pokazalo kao kvalitetna nadogradnja na rezultate dobijene hidrodinamičkim modeliranjem, kada je u pitanju utvrđivanja uslova zaštite podzemnih voda, odnosno, zone sanitarne zaštite. Pored navedenog, neophodno je istaći i određena ograničenja korišćenja prostornih analiza, u ArcGIS okruženju, za tretiranu

problematiku, koje je neprimenljivo bez primene znanja i iskustva istraživača.

Prikazana problematika takođe ističe značajan antropogeni uticaj na uslove zaštite životne sredine, a naročito na izvorišta podzemnih voda uopšte. Tako, na analiziranom primeru zaštitna uloga povlatnih slojeva bi, u prirodnim uslovima, u najvećoj meri bila srednja i velika, da isti nije uklonjen na gotovo jednoj šestini teritorije. Stoga, u cilju očuvanja i unapređivanja kvaliteta izdanskih voda na postojećim izvorištima, neophodno je primeni multidisciplinarni pristup rešavanju ove problematike, sa jasnim definisanjem prioriteta korisnika, a to su u ovom slučaju svakako korisnici podzemnih voda za vodosnabdevanje.

LITERATURA

- [1] Babac, D. (2000): Zaštita izvorišta podzemnih voda sa aspekta očuvanja njihovih kapaciteta, Ministarstvo zaštitne životne sredine Republike Srbije, Beograd.
- [2] Polomčić, D. i drugi (2012): Vodosnabdevanje i održivo upravljanje podzemnim vodnim resursima u Srbiji, Vodoprivreda, vol. 44, 4-6, pp 225-231.
- [3] Bajčetić, M. (2007): Problemi strukturnog prilagođavanja vodoprivrede u kontekstu tranzicije i Evropske integracije Srbije, Vodoprivreda, Vol. 39, 4-6, 228, pp. 225-228.
- [4] Bajčetić, M. (2007): Ekonomske karakteristike vodoprivrede i vodoprivredne usluge, Vodoprivreda, Vol. 39, 4-6, 228, pp 163-171.
- [5] Bajčetić, M. & Stojanović, N. (2011): Opšti principi i osnovni elementi strategije strukturnog razvoja upravljanja vodama i vodoprivrede, Vodoprivreda, Vol. 43, 1-3, 249-251, pp 69-77.
- [6] Pravilnik o načinu određivanja i održavanja zona sanitarne zaštite objekata za snabdevanje vodom za piće, Službeni glasnik RS 92/08.
- [7] Dimkić, M. i dr. (2013): Analiza transporta zagađenja kod određivanja zona sanitarne zaštite izvorišta podzemnih voda u aluvijalnim sredinama, Vodoprivreda, Vol. 45, 4-6, 264-266, pp. 203-218.
- [8] Živanović, V. (2011): Ocena ranjivosti podzemnih voda od zagađenja na primerima karsta Srbije, magistarski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- [9] Goldscheider, N. et al. (2000): The PI method - A GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Zeitschrift fur Angewandte Geologie, Vol. 46, 13, pp. 157-166.
- [10] Goldscheider, N. (2002): Hydrogeology and Vulnerability of Karst Systems - Examples from the Northern Alps and Swabian Alp, PhD Thesis, Univeristy of Karlsruhe.
- [11] Neukum, C. et al (2008): Validation of vulnerability mapping methods by field investigations and numerical modelling, Hydrogeology Journal, Vol. 16, 4, pp. 641-658.
- [12] Ravbar, N. & Goldscheider, N. (2009): Comparative application of four methods of groundwater vulnerability mapping in a Slovene karst catchment, Hydrogeology Journal, Vol. 17, 3, pp. 725-733.
- [13] Krešić, N. i drugi (2006): Remedijacija podzemnih voda i geosredine, Rudarsko-geološki fakultet, univerzitet u Beogradu.
- [14] Živanović, V. & Dragišić, V. (2011): Primena EPIK metode za ocenu ranjivosti podzemnih voda južnog dela Stare Planine, VII simpozijum o zaštiti karsta, ASAK, Bela Palanka.
- [15] Živanović V. i dr. (2012): Primena DRASTIC metode pri oceni ranjivosti podzemnih voda na primerima nacionalnih parkova i parkova prirode Srbije, Vodoprivreda, Vol. 44, 4-6, 258-260, pp. 277-284.
- [16] Grupa autora (1976): Geologija Srbije, VII-1, Hidrogeologija, Zavod za regionalnu geologiju i paleontologiju rudarsko-geološkog fakulteta, Univerzitet u Beogradu.
- [17] Dokmanović P. (1999): Hidrogeologija tercijarnih basena Srbije, Zadužbina Andrejević, Beograd.
- [18] Dokmanović P. & Jemcov I. (2008): Neogene izdani u dolini Velike Morave i mogućnosti vodosnabdevanja, Voda i sanitarna tehnika, br. 2/2008, pp 27-36.
- [19] Grupa autora (1977): Tumač za OGK 1:100000, list Lapovo L 34-134, Savezni geološki zavod, Beograd.
- [20] Hoelting, B. et al (1995): Concept for the Determination of the Protective Effectiveness of

- the Cover Above the Groundwater Against Pollution. Hannover : German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Ad-hoc Working Group on Hydrogeology, 1995.
- [21] Prohaska, S. (2003): Hidrologija: Hidrometeorologija, hidrometrija i vodni režim, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, ISBN: 8682565102.
- [22] Jemcov, I. (2009): Bilans karstnih izdanskih voda i optimizacija rešenja njihovog zahvata na primerima iz Srbije, Doktorska teza, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- [23] Thornthwaite, C.W. (1948): An Approach Toward a Rational Classification of Climate, Geographical Review, Vol. 38, pp 55-94.
- [24] Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. (1955): The Water Balance, Publications in Climatology, Drexel Institute of Technology, Centerton, New Jersey, Vol. 7, No. 1.
- [25] Turc, L. (1961): Evaluation de besoins en eau d'irrigation, ET potentielle, Annales des Sciences Agronomiques, Vol. 12, pp 13-49.
- [26] Margane, A. (2003): Guideline for Groundwater Vulnerability Mapping and Risk Assessment for the Susceptibility of Groundwater Resources to Contamination, ACSAD Damascus & BGR Hannover, Vol. 4. ISBN: 1996.2189.7.

ASSESSMENT OF THE PROTECTIVE EFFECTIVENESS OF SOIL COVER AND UNSATURATED ZONE USING GLA METHOD FOR SOURCE JASIK (MUNICIPALITY OF BATOČINA)

by

Rastko PETROVIĆ, Igor JEMCOV, Dušan POLOMČIĆ
Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade

Summary

During 2012 and 2013 detailed hydrogeological exploration programme was conducted on the territory of groundwater source Jasik (municipality of Batočina) in order to define groundwater reserves and analyze conditions of groundwater protection. Monitoring system was set up and significant quantity of detailed data was gathered during the period. For the purpose of analysis, hydrodynamic model was developed and used further to simulate groundwater filtration, as well as to define zones of sanitary protection. Besides, in order to define conditions of groundwater protection, it was necessary to define vulnerability of Jasik alluvial

aquifer. Due to the fact that the aquifer is formed in intergranular environment, the method selected for groundwater vulnerability assessment was German GLA, which was to be used for the assessment of soil cover and unsaturated zone protective effectiveness. Considering quality of input data and expediency of the analysis, the estimation is that the use of GLA method was adequate and applicable.

Key words: groundwater source Jasik, GLA method, groundwater protection

Redigovano 18.11.2014.