Problemi i izazovi u zaštiti podzemnih voda u međuzrnskim vodonosnicima

Miloš, Igor

Master's thesis / Diplomski rad

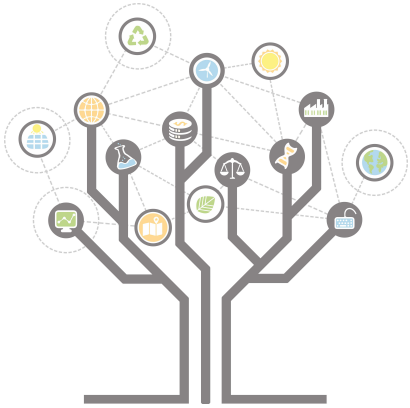
2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:090517

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Problemi i izazovi u zaštiti podzemnih voda u međuzrnskim vodonosnicima

Miloš, Igor

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:090517

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-10-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

IGOR MILOŠ

PROBLEMI I IZAZOVI U ZAŠTITI PODZEMNIH VODA U MEĐUZRNSKIM VODONOSNICIMA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

PROBLEMI I IZAZOVI U ZAŠTITI PODZEMNIH VODA U MEĐUZRNSKIM VODONOSNICIMA

DIPLOMSKI RAD

KANDIDAT:
Igor Miloš

MENTOR:
Doc.dr.sc. Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2018.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

Problemi i izazovi u zaštiti podzemnih voda u međuzrnskim vodonosnicima

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc.dr.sc. Hrvoja Meaškog.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 10. rujna 2018.

IGOR MILOŠ

(Ime i prezime)

Igor Miloš

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Ime i prezime: Igor Miloš

Naslov rada: Problemi i izazovi u zaštiti podzemnih voda u međuzrnskim vodonosnicima

Sažetak rada:

U Republici Hrvatskoj prepoznat je potencijal vodnog bogatstva velikih međuzrnskih vodonosnika Savskog i Dravskog bazena smještenih u panonskom dijelu Hrvatske. Oni predstavljaju strateške rezerve podzemnih voda međuzrnskih vodonosnika što znači da se njihovim određivanjem i zaštitom dugoročno osiguravaju potrebe javne vodoopskrbe cijelih regija. Osnovne mjere zaštite podzemnih voda u Republici Hrvatskoj određene su regulatornim okvirom i uključuju obveze koje su preuzete pristupanjem Europskoj uniji. Od izuzetne je važnosti pronaći sustav zaštite koji je provediv i temeljen na istraživanjima. Tako se u većini zemalja, pa i u Republici Hrvatskoj podzemni vodonosnici štite definiranjem zaštitnih zona oko izvorišta. Unutar definiranih granica svake pojedine zaštitne zone razlikuju se pasivne i aktivne mjere zaštite. Aktivnim mjerama zaštite smatraju se sve aktivnosti koje se provode kako bi se poboljšalo stanje voda, dok se pasivnim mjerama preventivno definiraju mjere zaštite podzemnih voda, a uključuju mjere zabrane građenja i smještaja pojedinih građevina i obavljanja određenih djelatnosti. Unatoč regulatornim okvirom propisanih mjera zaštite, svakodnevno se susreće sa problemima i izazovima u zaštiti podzemnih voda međuzrnskih vodonosnika opisanih u nastavku ovog rada, a prvenstveno se tiču nedostatka provedenih istraživanja, klasifikacije izvorišta, rezervacije prostora zona sanitarne zaštite te osmišljavanju alternativnih strategija zaštite.

Ključne riječi:

Međuzrnski vodonosnici, zaštita međuzrnskih vodonosnika, zone sanitarne zaštite, problemi u definiranju zaštite, izazovi u definiranju zaštite

SADRŽAJ:

1. UVOD 1

2. OSNOVNE ZNAČAJKE MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA 2

2.1. OSNOVNE ZNAČAJKE MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA U HRVATSKOJ 5

3. ZAŠTITA MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA 7

3.1. PRIMJERI ZAŠTITE MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA U SVIJETU 9

3.1.1. Ujedinjeno Kraljevstvo 9

3.1.2. Irska 13

3.1.3. Sjedinjene Američke Države (SAD) 16

3.2. ZAŠTITA ALUVIJALNIH VODONOSNIKA U HRVATSKOJ 20

4. MOGUĆI PROBLEMI U DEFINIRANJU ZAŠTITE MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA 27

4.1. VODOISTRAŽNI RADOVI 28

4.1.1. Dodatni vodoistražni radovi 30

4.2. KLASIFKACIJA IZVORIŠTA I REZERVACIJA PROSTORA ZONA SANITARNE ZAŠTITE 32

4.3. ZABRANE U ZONAMA SANITARNE ZAŠTITE IZVORIŠTA SA ZAHVAĆANJEM PODZEMNIH VODA IZ VODONOSNIKA S MEĐUZRNSKOM POROZNOSTI 33

4.4. DONOŠENJE ODLUKE O ZAŠTITI IZVORIŠTA 34

5. IZAZOVI U ZAŠTITI MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA 37

5.1. PRIMJER INOVATIVNOG PRISTUPA ODRŽIVOSTI RESURSA PODZEMNIH VODA U SVIJETU 39

6. ZAKLJUČAK 41

7. LITERATURA 43

POPIS SLIKA I TABLICA 46

1. UVOD

Voda, kao sve teže dostupan prirodni resurs, naravno u onom čistom, neonečišćenom obliku postala je ograničavajući faktor razvoja svakog društva. Situaciju otežava činjenica da je voda prirodni resurs ograničenih količina te neravnomjerne prostorne i vremenske raspodjele. Razvoj civilizacije i društva dovodi do dvojakog problema. S jedne strane gospodarskim razvojem i urbanizacijom dolazi do sve većih potreba za čistom, pitkom vodom. S druge strane, sve veće i veće količine vode bivaju onečišćene te samim time neiskoristive za svakodnevne ljudske aktivnosti. Republika Hrvatska, prema istraživanju UNESCO-a iz 2003. godine spada u vodom bogatije države svijeta (NN 91/08). Naime, UNESCO svrstava Hrvatsku na visoko, peto mjesto u Europi s obzirom na dostupnost vode i vodno bogatstvo te 42. mjesto na svijetu. Ta nas činjenica nikako ne smije dovesti do toga da zanemarimo zaštitu vode koju imamo, već bi nas trebala potaknuti da i dalje u skladu s održivim razvojem te očuvamo to vrijedno prirodno bogatstvo. Teritorij Republike Hrvatske općenito se dijeli na dva sliva, Jadranski (područje koje hidrološki gravitira Jadranskome moru) te Crnomorski sliv (područje koje hidrološki gravitira Crnome moru). Hidrogeološki gledano, u Republici Hrvatskoj se razlikuju dva tipa vodonosnika:

- međuzrnski vodonosnici, koji u cjelini pripadaju Crnomorskome slivu,
- krški vodonosnici, koji najvećim dijelom pripadaju Jadranskome slivu, a manjim dijelom i Crnomorskom slivu.

Diplomski rad je vezan za probleme i izazove u zaštiti međuzrnskih vodonosnika.

Kako je eksploatacija podzemnih voda još uvijek primarni način dobivanja pitke vode, u međuzrnskim vodonosnicima izvode se najčešće bušeni zdenci koji zadiru u prvi ili drugi vodonosnik (ovisno o kvaliteti vode) te se iz njih eksploatiraju. Najznačajnije međuzrnske vodonosnike u Republici Hrvatskoj predstavljaju Savski i Dravski vodonosnik koji gravitiraju prema Crnom moru. Na različitim pozicijama, različitog su tipa s obzirom na debljine pokrovnih naslaga. Idući od sjevernog dijela prema istočnom, vodonosnici se iz otvorenih svode na poluzatvorene i zatvorene vodonosnike.

2. OSNOVNE ZNAČAJKE MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA

Panonski prostor, odnosno panonska zavala, nastala je tektonskim uleknućem u tercijaru, koje je ispunjavalo Panonsko more nestalo u diluviju (PUVP 2016).

Panonsko područje sačinjeno je od aluvijalnih i diluvijalnih ravnica nadmorske visine od 80 do 135 m n. m. i osamljenih gorskih masiva građenih od starijih silicijskih stijena kristaličnih škriljevaca i eruptivnih stijena paleozojske i mezozojske starosti (Požeška gora, Dilj, Papuk, Psunj, Krndija, Moslavačka gora, Bilogora, Medvednica i Kalnik) (PUVP 2016). Međuzrnski vodonosnici su vezani za recentni hidrološki ciklus, odnosno prihranjivanje se u najvećoj mjeri odvija putem oborina koje se nakon infiltracije u podzemlje procjeđuju kroz nesaturiranu sve do saturirane zone vodonosnika.

Tijekom infiltracije u podzemlje voda se kreće prema dubljim dijelovima vodonosnika, a s obzirom na sile koje to kretanje uzrokuju razlikujemo (Biondić 2015):

- pelikularni tok – uzrokovan je molekularnim silama privlačenja između čestica tla i vode (vlažni omotač širi se oko suhih čestica tla)
- kapilarni tok – uzrokovan je molekularnim silama privlačenja između čestica tla i vode te površinskom napetosti fluida
- gravitacijski tok – odvija se uslijed hidrauličkog gradijenta

U praktičnoj hidrogeologiji najčešće se razmatra gravitacijski tok koji se dijeli na turbulentan (uvjetovan velikim brzinama; karakterističan za pukotinsku poroznost) i laminaran (uvjetovan malim brzinama; karakterističan za primarnu poroznost te međuzrnske vodonosnike). Tu valja spomenuti osnovni fizikalni zakon koji opisuje laminaran gravitacijski tok međuzrnskih vodonosnika, a predstavlja ga Darcyev zakon (Darcy 1856):

$$v = k \times i$$

gdje je:

k – koeficijent propusnosti koji se određuje eksperimentalno. Njegova vrijednost ovisi o osobinama tla (porozitetu, vezi i rasporedu pora) i karakteru tekućine (viskoznost, temperatura),

i – hidraulički gradijent definiran kao:

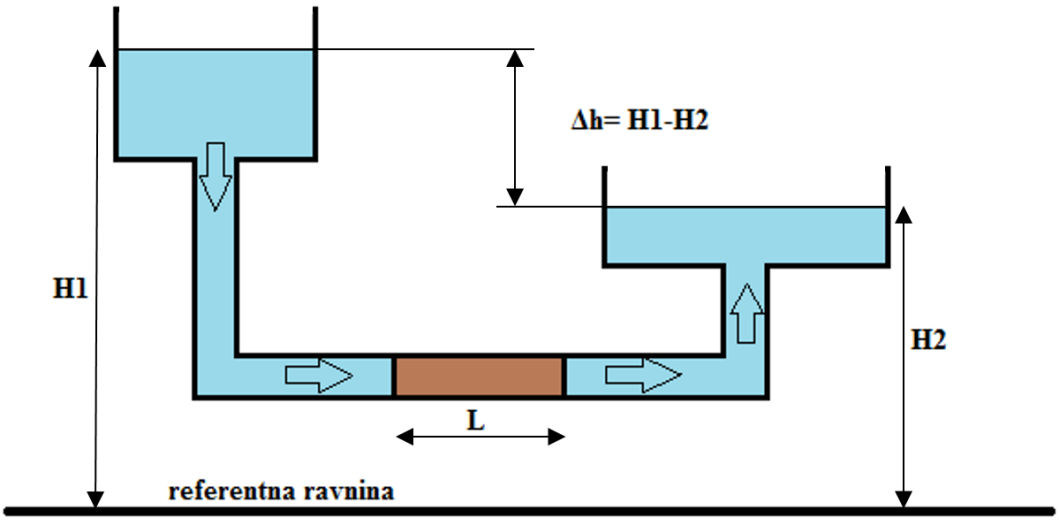
$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

gdje je:

Δh - razlika potencijala

L – duljina puta vode kroz tlo

Osnove zakonitosti Darcy je dobio temeljem eksperimenta (slika 1).



Slika 1. Shematski prikaz Darcyevog eksperimenta (Darcy 1856)

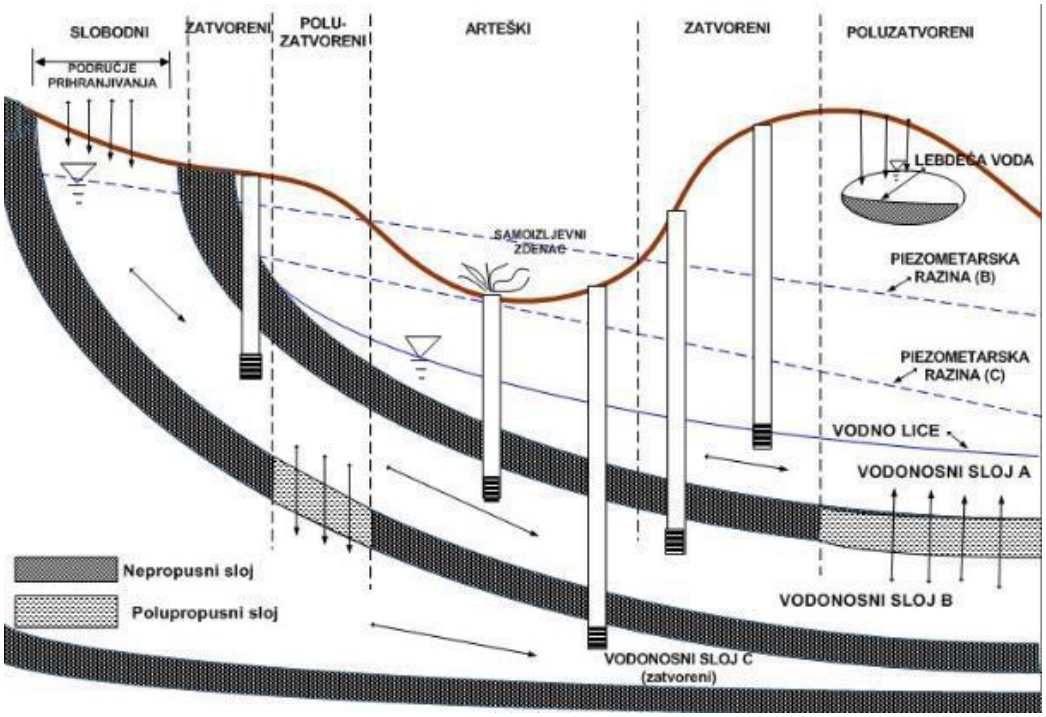
Budući da Darcyev zakon tumači tok vode kroz cijeli poprečni presjek, brzina toka vode njegovim eksperimentom naziva se fiktivnom brzinom. Stvarna brzina je zapravo višestruko veća iz tog razloga što je tok vode omogućen samo kroz pore tla. Da bi dobili stvarnu brzinu v_s, Darcyeva ili fiktivna brzina v podijeli se s relativnom poroznošću n:

$$v_s = \frac{v}{n}$$

Tako je osnovni zaključak Darcya da je veličina toka vode kroz filter uvjetovana tipom materijala kroz koji voda teče te razlici visina vode na mjernim točkama.

Opće karakteristike aluvijalnih vodonosnika su i te da imaju višestruko veću sposobnost samopročišćavanja nego li krški vodonosnici. To potkrepljuje činjenica što voda pri infiltraciji u podzemlje prolazi kroz različite slojeve tla, različitih stupnjeva propusnosti i debljina. Također tokovi u međuzrnskim vodonosnicima su daleko sporiji što je pozitivno jer onečišćenje s površine terena puno sporije dolazi u sam vodonosnik, no loša strana tog je i ta što se upravo iz tog razloga onečišćenje puno duže zadržava u vodonosniku.

Sljedeća bitna stvar kod međuzrnskih vodonosnika je radi li se o otvorenom, poluzatvorenom ili zatvorenom vodonosniku (slika 2.):



Slika 2. Tipovi vodonosnika (modificirano prema Bear 1972)

a) **Otvoreni vodonosnik** je onaj kod otvorenih vodonosnika vrijedi da je nivo podzemne vode ujedno i gornja granica saturacije dok razina podzemne vode varira i nagnuta je ovisno o položaju područja prihranjivanja i istjecanja, crpljenja i propusnosti.
b) **Poluzatvoreni vodonosnik** je u pravilu zatvoreni vodonosnik s polupropusnom podinom, krovinom ili oboje
c) **Zatvoreni vodonosnik** je onaj kod kojeg je voda zarobljena pod tlakom većim od atmosferskog. Do te pojave dolazi iz razloga što su mu i podina i krovina vodonepropusne. Piezometarsku površinu predstavlja zamišljena ploha koja je iznad razine podzemne vode, a ovisi o hidrostatskom tlaku. Kod takvih vodonosnika javljaju se arteške (izlijevaju se na površinu) i subarteške (dižu se iznad razine podzemne vode, no ne izlijevaju se na površinu) pojave vode (Biondić 2015).

U aktivnostima vezanim za primjenu Okvirne direktive o vodama Europske unije na području crnomorskog sliva izdvojena su tri osnovna tipa vodonosnika na temelju kojih

je provedeno grupiranje cjelina podzemnih voda koje tvore osnovni, sekundarni i neproduktivni vodonosnici (u sklopu teme ovog rada, opisane samo grupe međuzrnskih vodonosnika) (Brkić, Ž et al., 2005):

a) **Osnovni vodonosnici** – međuzrnski vodonosnici kvartarne starosti koji se nalaze u dolinama rijeke Drave i Save te imaju visoka hidraulička svojstva; glavnina javne vodoopskrbe sjeverne Hrvatske temelji se na njima.
b) **Sekundarni vodonosnici** – međuzrnski vodonosnici dolina rijeke Drave i Save, nešto slabijih hidrauličkih svojstava od onih osnovnih, no i dalje se koriste u vodoopskrbi; u pravilu, izdašnost im je manja od 20 l/s.
c) **Neproduktivni vodonosnici** – uglavnom su vezani uz neogenske naslage (izmjena lapora, praha, glina, pijesaka, mjestimice karbonata), kvartarne naslage niskih hidrauličkih svojstava i malih debljina te metamorfne stijene koje su propusne samo ispod površine terena a koje općenito ne mogu dati količine veće od 5 l/s.

2.1. OSNOVNE ZNAČAJKE MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA U HRVATSKOJ

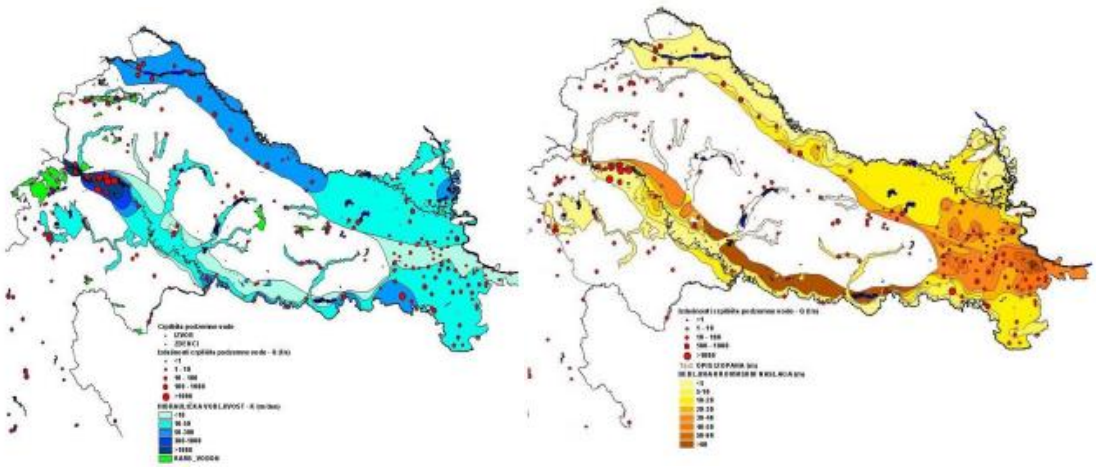
Međuzrnski vodonosnici dominiraju u panonskom dijelu Republike Hrvatske. Dva su velika sedimentacijska bazena koji ih izgrađuju, rijeke Drave i rijeke Save. Između njih se prostiru brdski i brežuljkasti predjeli, također uglavnom izgrađeni od naslaga međuzrnske poroznosti, a samo najviši dijelovi gorskih područja pripadaju karbonatnim vodonosnim stijenama pukotinske poroznosti (gorska područja Ivanščice, Kalnika, Bilogore te Papuka). Aluvijalni vodonosnici dravskog i savskog aluvijalnog bazena bogati su vodom te su glavni vodoopskrbni resurs sjevernog dijela Republike Hrvatske.

Osnovne značajke koje ih karakteriziraju (PUVP 2016):

- generalno produbljenje vodonosnika idući sa zapada prema istoku
- postupna promjena litološkog sastava također idući sa zapada prema istoku u smislu povećanja udjela sitnozrnate frakcije te sukladno tome smanjenje hidrauličke vodljivosti i izdašnosti vodonosnika
- česte pojave subarteških i arteških voda u istočnim dijelovima savske i dravske ravnice
- povećanje debljine krovinskih naslaga od zapada prema istoku što mijenja načine prihranjivanja vodonosnika

- povišen sadržaj željeza, mangana, arsena i drugih pratećih elemenata kod dubljih vodonosnika u istočnim dijelovima savske i dravske ravnice
- postupno sporiji podzemni tokovi i sporija izmjena vode prema istoku zbog čega i onečišćenja mogu imati dugotrajnije posljedice.

Hidraulička vodljivost i debljina krovinskih naslaga jasno se mijenja s obzirom na smjer zapad-istok (slike 3.a i 3.b). Na zapadnim dijelovima gdje su krovinske naslage tanje te hidrauličke vodljivosti veće, vodonosnici se napajaju neposredno infiltracijom oborina u vodonosnik. Na istočnim dijelovima gdje su krovinske naslage deblje, ispravno je i logično za zaključiti da će tamo infiltracija biti višestruko manja. Ovisno o vodostajima rijeka Drave i Save, one ili napajaju vodonosnik ili ga dreniraju. U uvjetima tankih krovinskih naslaga one su blago usječene u najplići vodonosnik pa su praktički u izravnom kontaktu što dovodi do toga da je razina podzemne vode vrlo ovisna o vodostaju rijeka. Na istočnim dijelovima sedimentacijskih bazena te izmjene su sporije pa se i razine podzemnih voda ne mijenjaju tom brzinom.



Slika 3. a) Prosječna hidraulička vodljivost b) Debljina krovinskih naslaga

Više puta rađene su procjene količina obnovljivih zaliha podzemne vode, i svaki puta dobiveni su različiti rezultati. No procjena prema analizi za potrebe izrade Plana upravljanja vodnim područjima 2016.-2020. za panonsko područje Republike Hrvatske iznosi $3.257 \cdot 10^6 m^3/god$ (PUVP 2016).

3. ZAŠTITA MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA

Voda kao javno dobro i neophodan faktor za razvoj i opstanak ljudskog društva spada u prioritete zaštite i očuvanja. Također, vodeći se i načelom održivog razvoja kojim se zadovoljavaju potrebe sadašnjih generacija i ne ugrožavaju prava i mogućnosti drugih generacija, vode su dobro od interesa za Republiku Hrvatsku i imaju njezinu osobitu zaštitu. Osim racionalnim korištenjem i savjesnošću u svakodnevnim postupcima vodu je svakako potrebno i zakonski zaštititi.

U teoriji, osnovne pretpostavke učinkovite zaštite podzemnih voda predstavljaju (Meaški, 2017):

- karakterizaciju resursa podzemne vode;
- zaštitu izvorišta i vodnih resursa te
- prostorno planiranje.

Karakterizacija resursa podzemnih voda predstavlja temelj za bolje razumijevanje postojećeg stanja, tj. identifikaciju postojećih i potencijalnih problema, uspostavu prioriteta te razvoj održivih vodnih politika i strategija. Općenito, karakterizacija resursa podzemnih voda obuhvaća monitoring podzemnih voda te provođenje istraživanja kojima se prikupljaju podaci o vodonosnicima na temelju kojih se stvaraju dosljedne baze podataka o podzemnim vodama. Kvalitetnim podacima može se provesti niz simulacija na temelju kojih se mogu donijeti ispravne odluke vezane uz zaštitu i održivost podzemnih voda.

Zaštitom izvorišta i vodnih resursa identificiraju se potencijalni izvori onečišćenja, otklanjaju se prijetnje te primjenjuju najbolje prakse u upravljanju podzemnim vodama. Budući da su troškovi remedijacije daleko veći od troškova zaštite preporučljivo je izvršiti delineaciju zaštitnih zona izvorišta/vodonosnika za sva izvorišta javne vodoopskrbe, popis svih mogućih potencijalnih izvora onečišćenja te odrediti osjetljivost svakog vodoopskrbnog izvora na pojedine izvore onečišćenja. Većina država zaštitu podzemnih voda provodi kroz više razina. Uobičajeno se provode tri razine zaštite:

- zaštita strateških rezervi podzemnih voda (njihovom određivanjem i zaštitom dugoročno se osiguravaju potrebe javne vodoopskrbe cijelih regija)

- zaštita izvorišta (provodi se neposrednom zaštitom samog eksploatacijskog objekta od izravnog onečišćenja te uspostavom zona sanitarne zaštite kojima se štite priljevna područja crpilišta tj. izvorišta)
- zaštita vodonosnika (provodi se procjenama prirodne ranjivosti korištenjem multiparametarskih GIS metoda, proučavanjem ponašanja svakog onečišćivača zasebno te empirijskim dimenzioniranjem zaštitnih zona).

Prostorno planiranje, kao treći element zaštite podzemnih voda brine o upotrebi i promjeni upotrebe nekog zemljišta što može utjecati izravno ili neizravno na količinu i kvalitetu podzemnih i površinskih voda. Potrebno je redovito obavljati revizije razvojnih planova te provoditi razvojno planiranje, tj. na temelju podataka o lokaciji, kvaliteti, izdašnosti, ranjivosti kao i mogućnosti prihranjivanja pojedinih vodonosnika donositi odluke o tome gdje i na koji način omogućiti razvoj pojedinih investicija.

Kada se govori o osnovnim načelima zaštite podzemnih voda, ona se svode na štedljivo i racionalno korištenje te sprečavanje njihovog onečišćenja. Racionalno i štedljivo korištenje je najčešće pitanje socioekonomskih prilika dok je sprečavanje onečišćenja podzemnih voda u funkciji cjelokupne zakonske regulative. Bitno je spomenuti da se zakonska regulativa vodi načelima održivog razvoja te jedinstva vodnog sustava u cilju osiguranja odgovarajućih količina i kakvoće voda.

U svezi zaštite podzemnih voda, kako bi se ona mogla provoditi ciljano i funkcionalno, vrlo je važno znati odrediti zone sanitarne zaštite, no ne u smislu okvirnog nagađanja i postavljanja istih već temeljeno na činjenicama, tj. istraživanjima. Kako bi to bilo ostvarivo važno je imati detaljan uvid u prostorni obujam vodonosnog sustava te smjerove i brzine kretanja podzemnih voda.

Da bi taj proces bio što lakši razvili su se matematički modeli simulacije toka podzemnih voda. Pod pojmom matematičkog modela podrazumijeva se jednadžba toka te početni i rubni uvjeti izraženi matematičkim simbolima. Početni uvjeti predstavljaju raspored potencijala podzemnih voda, odnosno razina podzemnih voda u početno vrijeme, a rubni uvjeti opisuju značajke granice pod čijim utjecajem se odvija tok u sloju. Najčešće se javljaju tri tipa rubnih uvjeta: 1. Dirichletov uvjet (poznat raspored potencijala); 2. Neumanov uvjet (poznat protok na granici); 3. Cauchyev uvjet (poznavanje rasporeda

potencijala i njegove derivacije, npr. izvor). Trodimenzionalno gibanje podzemne vode konstantne gustoće kroz porozni medij može se opisati parcijalnom diferencijalnom jednadžbom (Bačani i Posavec 2014):

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-W=S_s\frac{\partial h}{\partial t}$$

gdje su:

K_{xx}, K_{yy} i K_{zz} vrijednosti hidrauličke vodljivosti u smjeru x, y i z koordinatnih osi za koje se pretpostavlja da su paralelne s glavnim osima hidrauličke vodljivosti [LT^{-1}];

h je piezometarska razina [L];

W je volumetrijski fluks po jediničnom volumenu i predstavlja izvor/ponor vode [T^{-1}];

S_s je specifično uskladištenje vodonosnika [L^{-1}]; i

t je vrijeme [T]

Za nepravilnu geometriju prostora kao i za definirane početne i rubne uvijete probleme tečenja nije moguće riješiti izravno, već se u matematičkom smislu određuju približna rješenja. Od približnih metoda koristi se: metoda konačnih diferencija (MKD), metoda konačnih elemenata (MKE) te metoda rubnih elemenata (MRE). Naposljetku, kako bi se potvrdila valjanost matematičkog modela, potrebno je izvesti kalibraciju modela. Kalibracija se provodi usporedbom simuliranih i izmjerenih razina podzemne vode za određena razdoblja. Pritom je kod kalibracije modela prilagođavanje određenih parametara dozvoljeno samo u rasponu vjerojatnosti pojave njihovih vrijednosti na istraživanom području.

3.1. PRIMJERI ZAŠTITE MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA U SVIJETU

3.1.1. Ujedinjeno Kraljevstvo

Ujedinjeno Kraljevstvo (UK) okruženo je Sjevernim morem, Engleskim kanalom i Atlantskim oceanom, a obuhvaća Englesku, Wales i Škotsku na Britanskom otoku te Sjevernu Irsku na Irskom otoku. U Engleskoj, oko jedne trećine vode za potrebe javne vodoopskrbe dolazi iz eksploatacije podzemnih voda, dok se u Wales-u te količine kreću do oko 10 %. Uz bilježene količine eksploatacije podzemnih voda za potrebe javne vodoopskrbe, brojna privatna kućanstva imaju vlastite bunare što također zadovoljava brojne privatne potrebe za pitkom vodom koje se ne bilježe pa su količine eksploatacije

podzemnih voda zapravo višestruko veće. Izvori podzemnih voda u Engleskoj i Walesu pod pritiskom su onečišćenja od strane urbane poljoprivredne proizvodnje i sve veće potražnje za vodom od sve većeg broja stanovništva. Škotska i Sjeverna Irska u sličnoj su situaciji kao Engleska i Wales. Obje države suočene su s problemom povećanih koncentracija nitrata u podzemnim vodama kao posljedica nekontroliranog ispuštanja septičkih jama te urbane poljoprivredne proizvodnje. Dodatna prijetnja podzemnim vodama Škotske su procjedne vode napuštenih rudnika koje dospijevaju u vodonosnike, dok u Sjevernoj Irskoj taj utjecaj nije procijenjen kao značajan. U pozadini svega, u cijelom UK i šire, uključuju se i prijetnje klimatskih promjena te njihovih vjerojatnih učinaka (uključujući sušu).

Dvije su ključne organizacije u UK zadužene za upravljanje vodama: DEFRA (Department for Food and Rural Affairs) i EA (Environment Agency). Glavna zadaća im je razvoj politika i zakonodavstva vezanih za zaštitu voda te izvještavanje države o stanju okoliša, a sve u skladu s konceptom održivog razvoja. Zaštita podzemnih voda u UK vrši se također određivanjem zaštitnih zona propisanih Okvirnom direktivom o vodama.

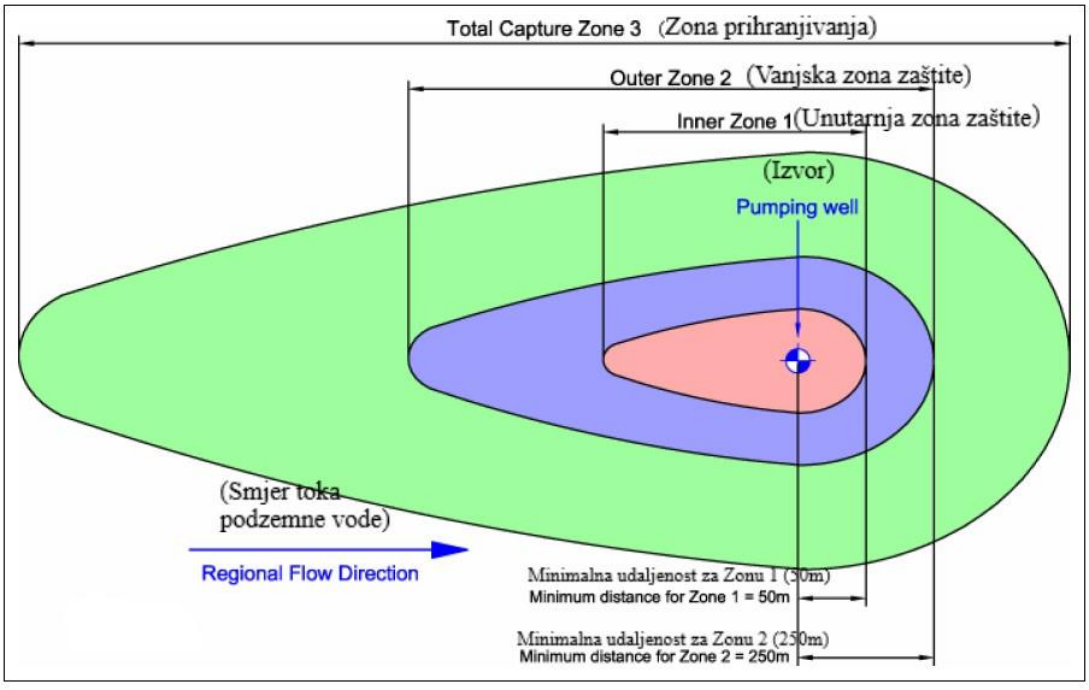
Neki od glavnih europskih zakonskih akata koji se aktivno primjenjuju u cilju zaštite podzemnih voda u UK su: „*Groundwater Directive (80/68/EEC)“; „Water Framework Directive (2000/60/EC)“; „Groundwater Daughter Directive (2006/118/EC)“; „Nitrates Directive (91/676/EEC)“; „Plant Protection Products Directive and Regulation“; „Habitats Directive (92/43/EEC)“; „Sustainable Use of Pesticides Directive (2009/128/EC)“; „Environmental Liability Directive (2004/35/EC)“*. Domaće razvijeni zakonski akti vezani uz zaštitu podzemnih voda su: „*Water Resources Act 1991“; „REACH Regulation (EC 1907/2006)“; „Environmental Permitting Regulations (EPR)“; „Town and Country Planning Acts and Regulations (various dates)“; „Conservation of Habitats and Species Regulations 2010“; „Control of Major Accident Hazards Regulations 1999 (COMAH)“; „Landfill Directive (1999/31/EC)“; „Waste Framework Directive“; „Environmental Damage (Prevention and Remediation) Regulations 2009“; „Nitrate Pollution Prevention Regulations 2008“; „Mining Waste Directive“; „Flood and Water Management Act 2010“* (EA UK 2013).

U UK se razlikuju tri vodozaštitne zone (EA UK 2013):

- zone zaštite voda koje su identificirane kao visoko rizične u slučaju kada ostali mehanizmi zaštite ne uspiju ili se ne uspiju provesti,
- zaštitne zone identificirane oko izvora koji su već zahvaćeni onečišćenjem
- zaštitne zone izvorišta podzemnih voda za piće kao generalnu razinu zaštite.

Zaštitne zone izvorišta dodatno se dijele u tri pod zone (slika 4):

- unutarnja zona zaštite (SPZ1) – definirana kao 50-dnevno vrijeme putovanja podzemne vode od neke točke do točke crpljenja. Ova zona ima minimalni radijus od 50m
- vanjska zona zaštite (SPZ2) – definirana vremenom putovanja podzemne vode od neke točke do točke crpljenja od 400 dana. Ova zona ima minimalni radijus od 250 ili 500 m, ovisno o veličini izvora
- zona zaštite slivnog područja – zona definirana kao područje cijelog slivnog područja pojedinog izvora.



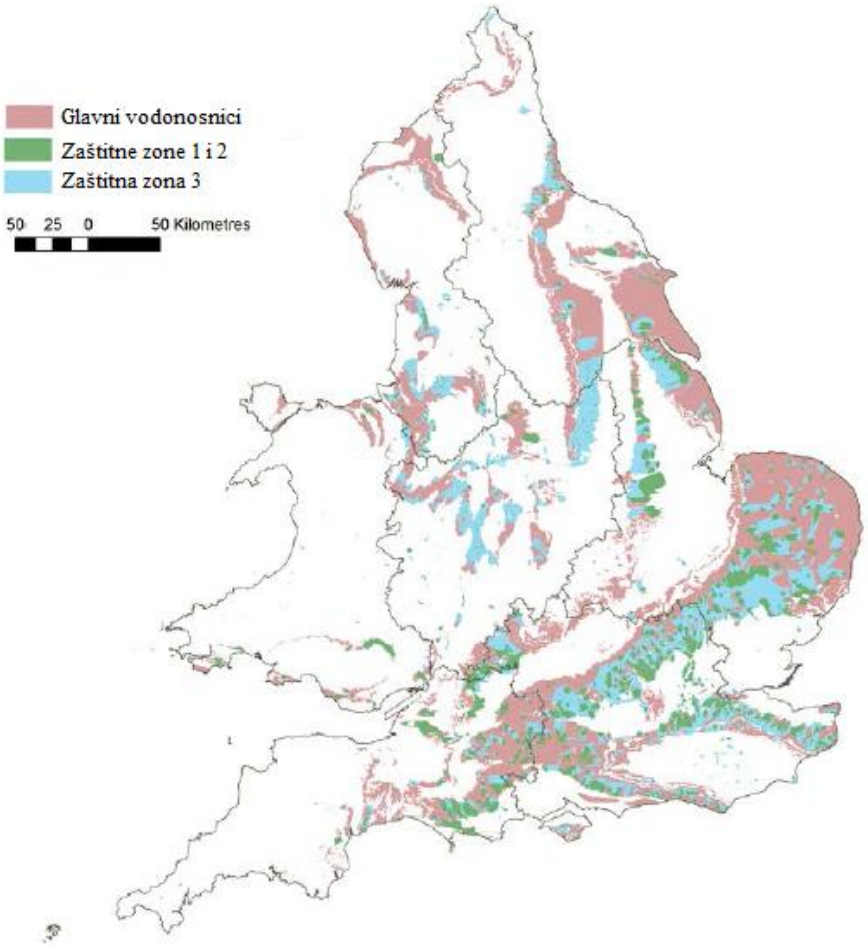
Slika 4. Zaštitne zone izvorišta (EA UK 2013)

Agencija za zaštitu okoliša raspolaže podacima kako se trenutno koristi više od 2 000 javnih zdenaca za vodoopskrbu za koje su većinom određene zone zaštite. Također, pretpostavka je da se koristi dodatno još oko 70 000 manjih zdenaca za vodoopskrbu za

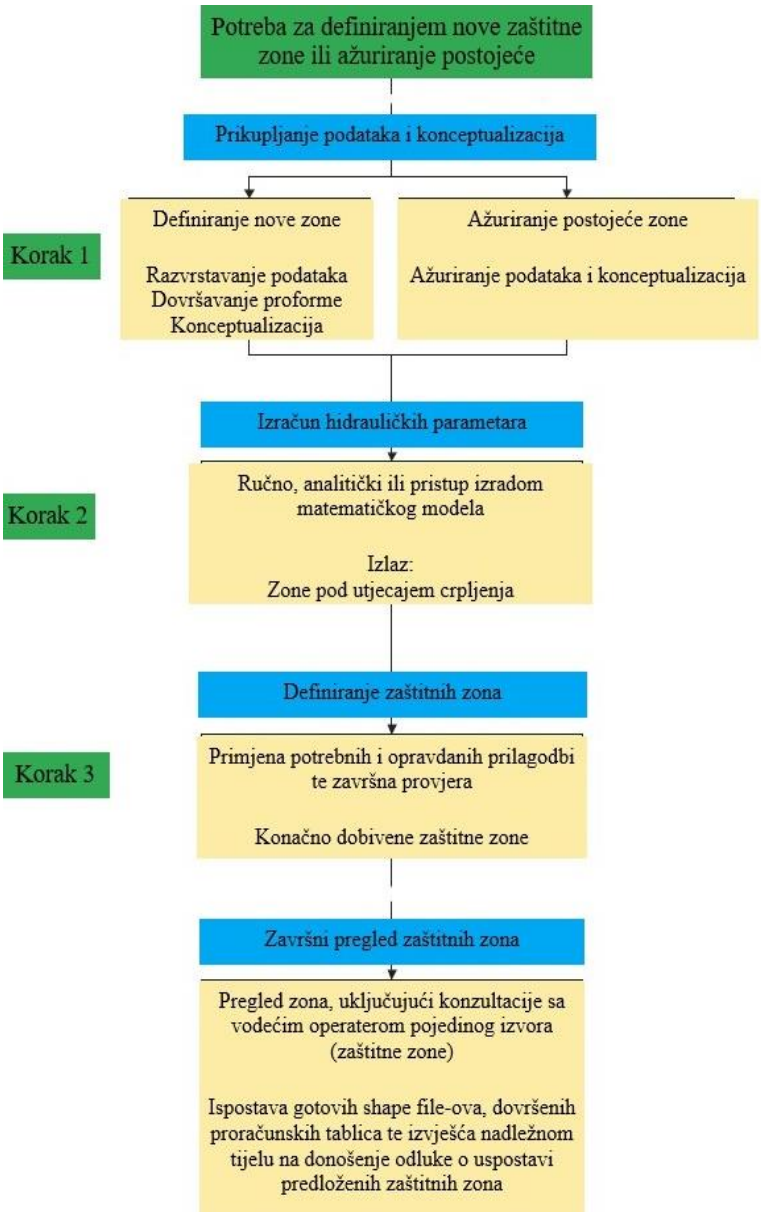
koje nema dovoljno podataka o utvrđenosti zona zaštite. Agencija za zaštitu okoliša ima zakonsku obvezu praćenja i zaštite kvalitete podzemne vode u Engleskoj i Walesu i očuvati ju za njezinu uporabu kao vodnih resursa. Zakonske ovlasti Agencije za zaštitu također su kontrola aktivnosti koje bi mogle dovesti do zagađenja u zaštitnim zonama. Karte zaštitnih zona (slika 5.) koje je izradila agencija za zaštitu okoliša ključni su resursi za (EA UK 2009):

- pomoć pri određivanju prioriteta regulatornih mjera na postojeće prijetnje podzemnim vodama
- filtriranje novih (predloženih) aktivnosti u primjeni politike za novi razvoj.

Agencija za zaštitu okoliša redovito ažurira zaštitne zone kao odgovor na određene potrebe ili programe. Takva ažuriranja mogu biti kao odgovor na dostupnost novih podataka ili promjenu uvjeta određivanja istih. Shematski prikaz donošenja zaštitnih zona dan je na Slici 6. (EA UK 2009).



Slika 5. Prikaz zaštitnih zona UK-a (EA UK 2013)



Slika 6. Shematski prikaz donošenja zaštitnih zona (EA UK 2009)

3.1.2. Irska

Podzemne vode u Irskoj predstavljaju važan prirodan resurs koji pokriva 20-25 % tamošnjih potreba za pitkom vodom. Taj postotak je u pojedinim sredinama i mnogo veći stoga su podzemne vode Irske strogo zaštićene u okviru nacionalne legislative te lokalnih vlasti i agencije za zaštitu okoliša. Ruralna područja često imaju posebne zdence koji se ne koriste za javnu vodoopskrbu, a broj im se procjenjuje na najmanje 100 000, plus razne industrije koje većinom također imaju vlastiti izvor podzemnih voda. Naime uz sve to, postoje ogromni resursi podzemnih voda koji se još neiskorišteni za vodoopskrbu.

Prevencija onečišćenja te zaštita podzemnih voda u Irskoj od ključne je važnosti iz sljedećih razloga:

- općenito, posljedice kontaminacije podzemnih voda osjećaju se daleko duže nego kod onečišćenja površinskih voda, a uz to sanacije su često skupe i nepraktične, stoga je važno osigurati bolju zaštitu kako ne bi došlo do onečišćenja nego se baviti rješavanjem posljedica
- podzemne vode Irske važan su izvor vode za potrebe javne vodoopskrbe, industriju i poljoprivredu te trebaju biti zaštićene kako bi se očuvale za sadašnje i buduće generacije
- podzemne vode osiguravaju bazni tok rijeka Irske. Podzemne vode za vrijeme niskog vodostaja prihranjuju riječna korita, što znači da u vrijeme niskog vodostaja podzemne vode čine ponekad i do 90
- oka
- onečišćena podzemna voda opasna je po zdravlje
- prema Zakonima lokalne uprave (onečišćenje voda) iz 1977. i 1990. godine, onečišćenje podzemnih voda definirano je kao prekršaj.

Glavne metode zadovoljenja potreba razvoja u Irskoj uz odgovarajuću zaštitu okoliša predstavljaju: planiranje korištenja zemljišta, izdavanje dozvola za zbrinjavanje otpada, upravljanje kakvoćom vode, zakonima o otpadnim vodama itd. Vladina politika zaštite okoliša vodi se načelima održivog razvoja, predostrožnosti te onečišćivač plaća (EPA IR 1999).

Geološki institut Irske (engl. Geological Survey of Ireland, GSI), Odjel za okoliš i lokalnu upravu (engl. Department of Environment and Local Goverment, DoELG), i Agencija za zaštitu okoliša (engl. Environment Protection Agency, EPA), zajednički su razvili metodologiju za pripremu Planova zaštite podzemnih voda, tj. shemu zaštite podzemnih voda (slika 7.). Shema zaštite podzemnih voda ima za cilj zadržati propisanu količinu i kakvoću podzemnih voda, a u nekim slučajevima i poboljšati je primjenom pristupa utemeljenom na procjeni rizika za zaštitu podzemnih voda i održivog razvoja. Integrirane su dvije glavne komponente za izradu sustava zaštite podzemnih voda: (a) zoniranje površine zemljišta; i (b) uvjeti zaštite podzemnih voda za potencijalno onečišćujuće djelatnosti.



Slika 7. Shema zaštite podzemnih voda

Kako bi mogli napraviti opću shemu važnosti i prioriteta zaštite podzemnih voda, u Irskoj su stvorili određene klasifikacije s obzirom na stupanj važnosti vodonosnika/izvorišta te stupnja rizika (EPA IR 1999):

- rizik od onečišćenja je s obzirom na debljinu pokrovnih naslaga i hidrogeoloških karakteristika slojeva podijeljen na 4 stupnja: ekstremno visok (E), visok (H), umjeren (M), nizak (L)
- podjela s obzirom na prostiranje zaštitnih zona oko izvorišta napravljena je na način da se razlikuju unutrašnje zone zaštite (SI) i vanjske zone zaštite izvorišta (SO): unutrašnje zone zaštite definirane su sto-dnevnim vremenom putovanja vode od neke točke pa do izvorišta, a prvenstveno su definirane kako bi bile zaštićene od utjecaja ljudskih aktivnosti na izvor te u cilju zaštite od onečišćenja mikroorganizmima, dok su vanjske zone zaštite predstavljene kao cijelo priljevno područje koje je zahvaćeno izvorištem
- sami vodonosnici su kao resursi podzemne vode podijeljeni na: regionalno važne (R) vodonosnike (krški (Rk), pukotinski stijenski (Rf), prostrani pješčano šljunkoviti (Rg)), na lokalno važne (L) vodonosnike (pješčano šljunkoviti (Lg), temeljne stijene umjerene produktivnosti (Lm), temeljne stijene umjereno produktivne samo u lokalnim zonama (LI))
- vodonosnici su dodatno podijeljeni i na one slabe izdašnosti (temeljne stijene generalno neproduktivne osim u nekim lokalnim zonama; oznaka PI) te temeljne stijene generalno neproduktivne; oznaka Pu).

U svrhu učinkovite zaštite, na temelju reakcije lokacije na potencijalno onečišćenje izrađena je tablica (Tablica 1.) iz koje se jednostavno može iščitati koja zona je zaštićena

pod kojim uvjetima. Indeksi a, b, c, d, m, n i o predstavljaju opisane mjere zaštite u posebnim bilješkama.

Tablica 1. Razine zaštite uz program mjera zaštite za pojedinu zonu s obzirom na ranjivost (EPA IR 1999)

Razina ranjivosti	Zaštita izvorišta		Zaštita vodonosnika					
			Regionalno važni		Lokalno važni		Neproduktivni	
	Unutrašnja zona	Vanjska zona	Rk	Rf/Rg	Lm/Lg	Ll	Pl	Pu
Ekstremna (E)	R4	R4	R4	R4	$R3^{m}$	$R2^{d}$	$R2^{c}$	$R2^{b}$
Visoka (H)	R4	R4	R4	$R3^{m}$	$R3^{n}$	$R2^{c}$	$R2^{b}$	$R2^{a}$
Umjerena (M)	R4	R3	$R3^{m}$	$R2^{d}$	$R2^{c}$	$R2^{b}$	$R2^{a}$	R1
Niska(L)	$R3^{m}$	$R3^{o}$	$R2^{d}$	$R2^{c}$	$R2^{b}$	$R2^{a}$	R1	R1

U konačnici se definiraju četiri razine zaštite zona podzemnih voda (R), s obzirom na stupanj ranjivosti, zaštićenost vodonosnika te zaštitne zone oko izvorišta:

a) R1- prihvatljivi subjekti podložni primjeni dobre prakse
b) $R2^{a,b,c,\cdots}$- prihvatljivi u principu, ovisno o uvjetima propisanim u bilješkama a,b,c,…
c) $R3^{m,n,o,\cdots}$- ne prihvatljivi u principu, osim nekih iznimaka dozvoljenih u bilješkama m,n,o,…
d) R4- ne prihvatljivi.

Kao primjer se može uzeti oznaka $R2^{c}$ koja označava zonu u kojoj su određeni zahvati prihvatljivi u principu, no u skladu s detaljima propisanim u bilješci c.

3.1.3. Sjedinjene Američke Države (SAD)

U Sjedinjenim Američkim Državama podzemne vode predstavljaju izvor vode za piće za oko pola stanovništva – što znači za oko 150 milijuna ljudi. Američki geološki zavod (engl. United States Geological Survey, USGS) proveo je istraživanje količina dnevne eksploatacije podzemnih voda koje je dovelo do zaključka da su se potrebe za količinama podzemne vode u pola stoljeća skoro pa utrostručile; 2000. godine to je bilo 84 milijarde galona dnevno (Hutson i sur., 2004), dok je 1950. godine potrošnja iznosila oko 30 milijardi galona dnevno (Solley et al. 1998).

Na mnogim mjestima diljem SAD-a vodni proračuni su u deficitu. Sniženje razina podzemnih voda dešava se na različitim veličinama, od pojedinačnih bunara lokalnih vodonosnika pa sve do vodonosnika koji se prostiru preko nekoliko država. Primjer jednog tako velikog vodonosnika je Ogallala vodonosnik koji se prostire od Južne Dakote pa sve do Texasa. Prekomjerno se crpi još od drugog svjetskog rata, većinom za potrebe navodnjavanja. Kao rezultat toga desilo se sniženje razine podzemne vode na nekim područjima za čak 100 stopa (cca 30,5 metara). Doduše reakcijama Vlade i donašanjem strategija upravljanja i zaštite podzemnih voda što je od izuzetne važnosti, razine su se na pojedinim područjima manjim dijelom oporavile (Baker, M. et al., 2007).

Što se tiče zakonskih propisa vezanih za namjenu i korištenje voda, složeni su i često nejasni. Razvojni trendovi i prakse zakona o vodama ovise od države do države. Većinom su doneseni u kasnim godinama XIX. ili ranim godinama XX. stoljeća te najčešće doprinose rasipnom i neučinkovitom korištenju podzemnih voda. Olakotna okolnost je ta da su Zakoni o podzemnim vodama zbog shvaćanja važnosti podzemnih voda u procesu revizije pri čemu se vodi računa o porastu broja stanovništva, mijenjanja demografije, promjeni korištenja zemljišta, klimatskim promjenama, troškovima eksploatacije vode te potencijalnim negativnim učincima novih vrsta otpada.

Kako svaka država SAD-a ima različit pristup zaštiti vodonosnika i eksploatacijskih zdenaca, nemoguće je prikazati neki zajednički zakon koji primjenjuju sve države, no generalno zaštita izvorišta sastoji se od:

- određivanja površina koje su pod određenim stupnjem zaštite – izrađuju se karte koje prikazuju smjer i brzinu toka podzemnih voda te geološke i geografske karakteristike područja koje s podacima o količini crpljenja i radijusu crpljenja definiraju granice određenih stupnjeva zaštite
- provođenje detekcije potencijalnih izvora onečišćenja – prikupljanje podataka o potencijalnim onečišćivačima iz različitih baza podataka te detekcijom na terenu
- upravljanja detektiranim potencijalnim izvorima onečišćenja – inspekcijski nadzori; definiranje uvjeta uz koje se određena djelatnost može nastaviti s radom na određenoj lokaciji; lokalna zajednica ima niz mogućnosti: donošenje i provođenje različitih uredbi, zoniranje zemljišta, poticanje najbolje prakse upravljanja i sl.

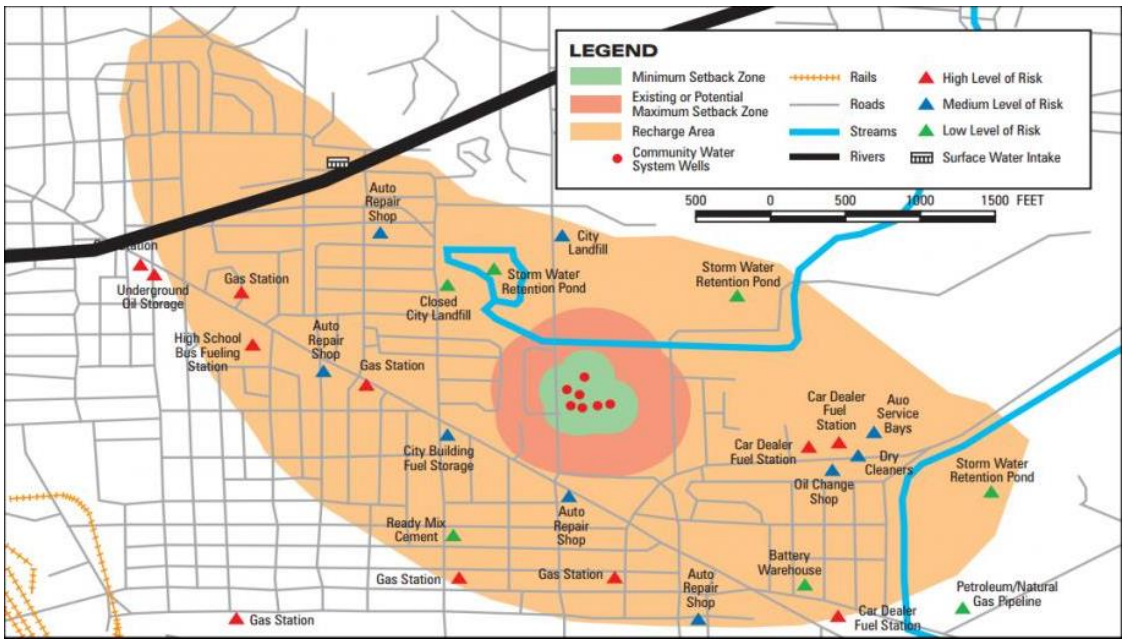
- planiranja incidentnih situacija – razrađena alternativna rješenja u slučaju incidentnih situacija kao što su iznenadna kontaminacija pitke vode, prirodne katastrofe, mehanički ili drugi problemi u obliku rezervnog izvora pitke vode ili izrade nove bušotine
- edukacije stanovništva – bitno je informirati i educirati javnost o važnosti i načinima zaštite voda uključivanjem javnosti u procese donošenja odluka i zakona, održavanjem javnih tribina; zajedničkim provođenjem zaštite mogu se postići i oni najviši ciljevi.

Najmanje je 16 federalnih zakona koji se izravno ili neizravno odnose na upravljanje podzemnim vodama (Baker, M. et al., 2007). Mnogi od njih usredotočeni su isključivo na podzemne vode kao izvor vode za potrebe javne vodoopskrbe tj. vode za piće. Trenutačno ne postoji zajednička nacionalna strategija za sveobuhvatnu zaštitu i upravljanje podzemnim vodama zemalja. U odnosu na 2007. godinu, još prije 15-ak godina nacionalno udruženje za podzemne vode (engl. National Ground Water Association, NGWA) istaknulo je kako je kartiranje vodonosnika te prikupljanje podataka o količinama i kvaliteti podzemnih voda ključna akcija koju bi savezna vlada trebala poduzeti kako bi pomogla u promicanju zaštite podzemnih voda. Jedan od programa razvijenih u tu svrhu je Nacionalni program geološkog kartiranja (engl. National Cooperative Geological Mapping Program, NCGMP).

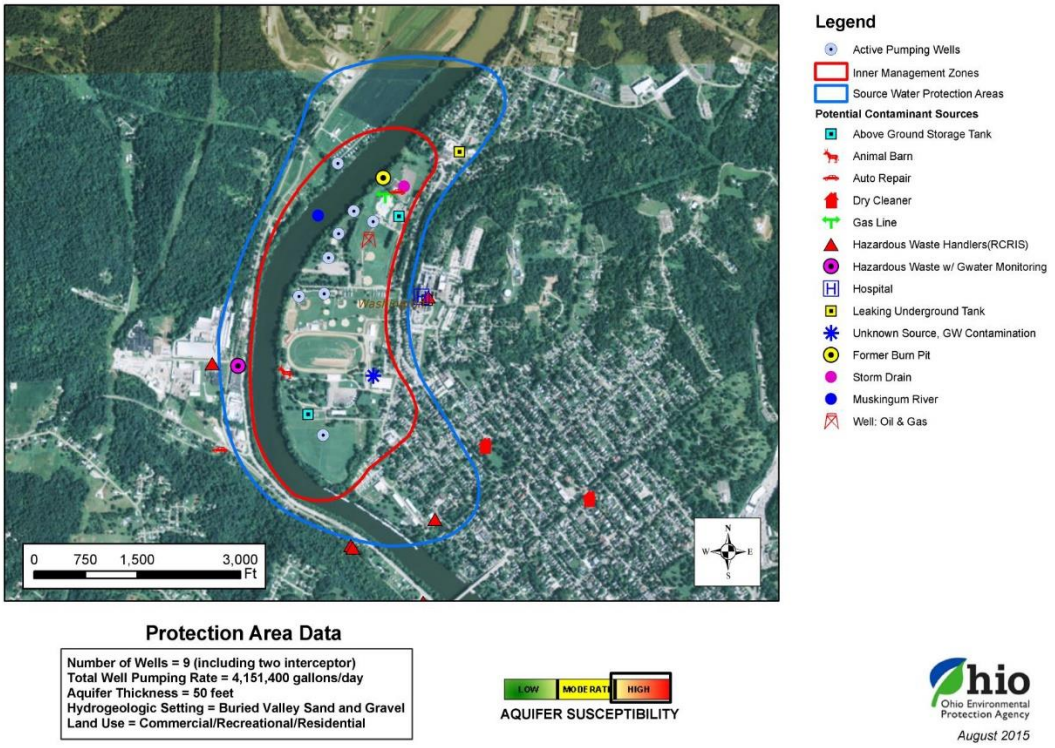
Jedan od načina na koji pojedine države mogu utjecati na zaštitu i očuvanje vodnih resursa je uspostava programa kojim se definiraju minimalni protoci za potoke i rijeke te minimalne razine za jezera, močvare, izvore, a naposljetku i same vodonosnike (MFLs). Iako su još 80-ih godina prošlog stoljeća mnoge države imale izrađene programe zaštite vodnih tijela i eksploatacijskih objekata podzemnih voda, od sredine 90-ih godina prošloga stoljeća na nacionalnoj razini se od svih država zahtijeva i izrada Plana procjene vodnih dobara (engl. Source Water Assessment Plan, SWAP). SWAP zahtijeva provedbu sljedećih aktivnosti:

- određivanje zaštitnih područja za sve izvore vode javne vodoopskrbe te vodnih područja za površinske izvore vode – 160 000 na nacionalnoj razini
- izrada popisa potencijalnih onečišćivača u svakom određenom zaštitnom području

- procjena osjetljivosti na onečišćenje svakog determiniranog potencijalnog onečišćivača
- prikazati rezultate programa javnosti.



Slika 8. Općeniti prikaz određenih zona zaštite s označenim potencijalnim onečišćivačima (US EPA, 2018)



Slika 9. Primjer zaštitnih zona određenih na eksploatacijskom polju Marietta u Ohiu (OHIO EPA, 2015)

3.2. ZAŠTITA ALUVIJALNIH VODONOSNIKA U HRVATSKOJ

Osnovne mjere zaštite podzemnih voda u Republici Hrvatskoj određene su regulatornim okvirom i uključuju obveze koje su preuzete pristupanjem Europskoj uniji. Zakon o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) predstavlja glavni dokument za upravljanje stanjem voda u Republici Hrvatskoj, a prilagođen je, izmijenjen i nadopunjen direktivama Europske unije: Direktiva 2000/60/EZ, o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (Okvirna direktiva o vodama) (SL L 327, 22. 12. 2000.); Direktiva 2006/118/EZ, o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće (SL L 372, 27. 12. 2006.) te mnogih drugih koje su implementirane u pravni oblik ulaskom u Europsku uniju.

U Republici Hrvatskoj se osnovnim planskim dokumentom za upravljanje vodama na državnoj razini smatra Strategija upravljanja vodama. Usvaja ju Sabor, a njezino donošenje propisano je Zakonom o vodama. Zadnja je usvojena 2008. godine kao dugoročni planski dokument (NN 91/08). Nadalje, u svezi detaljnih planskih dokumenata, za svako vodno područje propisana je obveza donošenja planova upravljanja vodnim područjem svakih 6 godina, koji moraju biti usuglašeni sa Strategijom upravljanja vodama, a donosi ih Vlada Republike Hrvatske (NN 91/08). Trenutačno je važeći Plan upravljanja vodnim područjima 2016. - 2021. (NN 66/16) izrađen je na temelju Zakona o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13 i 14/14).

Zaštita vode za ljudsku potrošnju temelji se na odredbama Zakona o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) i Zakona o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/13, 64/15, 104/17). Na taj način Zakonom o vodama definirano je identificiranje voda namijenjenih ljudskoj potrošnji te zaštita tih voda putem određivanja zona sanitarne zaštite.

Osnovne mjere zaštite podzemnih voda definirane su Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11) i Pravilnikom o izmjenama pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 47/13). Unutar definiranih granica zona izvorišta razlikuju se pasivne i aktivne mjere zaštite. Pasivnim mjerama zaštite definiraju se mjere zabrane građenja i smještaja pojedinih građevina i obavljanja određenih djelatnosti unutar pojedine zone. U aktivne mjere zaštite spadaju sve aktivnosti koje se provode kako bi se poboljšalo stanje voda a to su: monitoring

kakvoće voda, gradnja vodnih građevina za javnu vodoopskrbu i odvodnju uvođenje čistih proizvodnji, poticanje ekološke poljoprivredne proizvodnje, izgradnja spremnika opasnih i onečišćujućih tvari s dodatnom višestrukom zaštitom i sličnim aktivnostima usmjerenim ka poboljšanju stanja voda.

Instrument za provedbu zaštite je Odluka o zaštiti izvorišta, kojom se određuje prostorni obuhvat granica sanitarne zaštite, sanitarni i drugi uvjeti održavanja, mjere zaštite te načini i izvori financiranja tih mjera. Načini utvrđivanja zona sanitarne zaštite, obvezne mjere i ograničenja koja se u njima provode, rokovi za donošenje odluka o zaštiti i postupak donošenja tih odluka uređeni su Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite (NN 66/11, 47/13). Tako utvrđene zone sanitarne zaštite unose se u prostorno plansku dokumentaciju (prostorne planove područja na kojem se prostiru). Krajnji zadatak je propisivanje mjera pasivne i aktivne zaštite. Zone sanitarne zaštite označene su kao zaštićena područja - područja posebne zaštite voda i podaci o njima se vode u Registru zaštićenih područja (PUVP 2013).

Osim striktno vodno-gospodarskih akata zaštite voda, donose se i drugi razvojni akti izvan vodnog gospodarstva a tiču se problematike voda: Strategija prostornog uređenja države, Nacionalna strategija zaštite okoliša, Strategija i akcijski plan očuvanja biološke i krajobrazne raznolikosti, Nacionalna šumarska politika i strategija, Strategija prometnog razvitka, Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske te planske osnove drugih gospodarskih sektora koji znatno ovise o vodama ili utječu na vode. Za navedene dokumente propisano je usklađivanje sa Strategijom upravljanja vodama.

Prostorni raspored kako površinskih tako i podzemnih voda te njihovih veza određen je prvenstveno morfološkim te hidrogeološkim značajkama RH. Takvom klasifikacijom se sve vode u Republici Hrvatskoj dijeli na dva velika područja koja su odvojena razvodnicom kroz gorsko-planinsko područje:

- vodno područje rijeke Dunav (VPD) i
- jadransko vodno područje (JVP).

Površina vodnog područja rijeke Dunav iznosi 35.117 km^2, što predstavlja 62 % kopnenog teritorija Republike Hrvatske. Dominantni su aluvijalni vodonosnici međuzrnske poroznosti rijeka Save i Drave koje dijele brdski i brežuljkasti predjeli

također uglavnom izgrađeni od naslaga međuzrnske poroznosti, a samo u najvišim dijelovima gorskih područja nalaze se karbonatne vodonosne stijene pukotinske poroznosti. Karakteristika jadranskog vodnog područja je krš, tj. vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti. Pojave vodonosnika međuzrnske poroznosti su zanemarive (PUVP 2016).

U vodnom području rijeke Dunav utvrđeno je 15 tijela podzemnih voda (TPV) prosječne veličine 1.942 km^2. Od 15 utvrđenih TPV, osmero njih sadrži vodonosnike međuzrnske poroznosti, kod njih šestero dominantno su zastupljeni vodonosnici međuzrnske poroznosti sa znatno manjim dijelom pukotinske poroznosti, a samo jedno tijelo podzemne vode sadrži vodonosnik isključivo pukotinske do pukotinsko-kavernozne poroznosti. Većina TPV ima prekogranični karakter, tj. prostiru se u susjedne države (Tablica 2.): Sloveniju, Mađarsku, Srbiju i Bosnu i Hercegovinu, što često predstavlja problem kod uspostave i provedbe učinkovite zaštite podzemnih voda (PUVP 2016).

Radi zaštite područja izvorišta ili drugog ležišta vode koja se koristi ili je rezervirana za javnu vodoopskrbu Zakonom o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) propisano je identificiranje voda namijenjenih ljudskoj potrošnju i zaštita tih voda putem definiranja zona sanitarne zaštite . Obveza zaštite odnosi se na svako izvorište ili drugo ležište podzemne vode koje se koristi ili je rezervirano za javnu vodoopskrbu kao i svaki zahvat vode za iste potrebe iz rijeka, jezera, akumulacija i sl. (zajednički naziv: izvorište), a instrument za provedbu zaštite je Odluka o zaštiti izvorišta. Njome su definirane veličine i granice zona zaštite, sanitarni i drugi uvjeti održavanja, mjere zaštite te način i izvori financiranja. Način na koji utvrđujemo zone zaštite, obvezne mjere i ograničenja koja se u njima provode, rokovi za donošenje Odluka o zaštiti i postupak donošenja tih odluka uređeni su Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11, 47/13).

Zona sanitarne zaštite se nakon prihvaćanja, unose u prostorne planove područja na kojem se prostiru. Razlikuju se mjere pasivne i aktivne zaštite. Za svaku zonu se određuju aktivnosti koje su u njoj zabranjene, ograničene nekim dijelom ili dozvoljene uz određene uvjete. Tada se govori o mjerama pasivne zaštite. Mjere aktivne zaštite provode se na lokacijama koje su već pod manjim ili većim utjecaje od onečišćenja, a uključuju: monitoring kakvoće voda na priljevnom području izvorišta i poduzimanje aktivnosti za

poboljšanje stanja voda, a osobito: gradnja vodnih građevina za javnu vodoopskrbu i odvodnju otpadnih voda, uvođenje čistih proizvodnji, izgradnju spremišnih kapaciteta za stajsko gnojivo, organiziranje ekološke poljoprivredne proizvodnje, ugradnja spremnika opasnih i onečišćujućih tvari s dodatnom višestrukom zaštitom i druge mjere koje poboljšavaju stanje voda. Podaci o zonama sanitarne zaštite vode se u Registru zaštićenih područja u kojem su označene kao zaštićena područja (područja posebne zaštite voda) (PUVP 2016).

Tablica 2. Osnovni podaci o tijelima podzemnih voda na vodnom području rijeke Dunav (prekogranični karakter TPV) (PUVP 2016)

Kod	Ime tijela podzemnih voda	Poroznost	Površina (km^2)	Obnovljive zalihe podzemne vode ($*10^6$ m^3/god)	Prirodna ranjivost	Državna pripadnost tijela podzemnih voda
CDGI_18	MEĐIMURJE	međuzrnska	747	113	62% područja visoke i vrlo visoke ranjivosti	HR/SL,HU
CDGI_19	VARAŽDINSKO PODRUČJE	međuzrnska	402	88	Gotovo u cjelosti visoke i vrlo visoke ranjivosti	HR/SL
CDGI_20	SLIV BEDNJE	dominantno međuzrnska	724	52	74% podrčja niske i vrlo niske ranjivosti	HR/SL
CDGI_21	LEGRAD - SLATINA	međuzrnska	2.370	362	23% područja visoke i vrlo visoke ranjivosti	HR/HU
CDGI_22	NOVO VIRJE	međuzrnska	97	18	51% područja visoke i vrlo visoke ranjivosti	HR/HU
CDGI_23	ISTOČNA SLAVONIJA - SLIV DRAVE I DUNAVA	međuzrnska	5.009	421	84% područja umjerene do povišene ranjivosti	HR/HU,SRB
CSGI_24	SLIV SUTLE I KRAPINE	dominantno međuzrnska	1.405	82	70% područja niske do vrlo niske ranjivosti	HR/SL
CSGN_25	SLIV LONJA - ILOVA - PAKRA	dominantno međuzrnska	5.186	219	73% umjerene do povišene ranjivosti	HR
CSGN_26	SLIV ORLJAVE	dominantno međuzrnska	1.575	134	57% vrlo niske do niske ranjivosti	HR
CSGI_27	ZAGREB	međuzrnska	988	273	40% područja visoke i vrlo visoke, te 44% umjerene do povišene ranjivosti	HR/SL
CSGI_28	LEKENIK - LUŽANI	međuzrnska	3.444	366	53% područja umjerene do povišene ranjivosti	HR/BIH
CSGI_29	ISTOČNA SLAVONIJA – SLIV SAVE	međuzrnska	3.328	379	76% umjerene do povišene ranjivosti	HR/BIH, SRB
CSGI_30	ŽUMBERAK - SAMOBORSKO GORJE	pukotinska do pukotinsko-kavernozna	443	139	60% vrlo niske do niske ranjivosti	HR/SL
CSGI_31	KUPA	dominantno međuzrnska	2.870	287	58% umjerene do povišene ranjivosti	HR
CSGI_32	UNA	dominantno međuzrnska	541	54	90% vrlo niske do niske ranjivosti	HR/BIH
CSGI-14	KUPA	pukotinsko-kavernozna	1.027	1.429	srednja 26,8%, visoka 28,4%, vrlo visoka 16,7%	HR/SL
CSGN-15	DOBRA	pukotinska do pukotinsko-kavernozna	755	758	srednja 19,7%, visoka 27,7%, vrlo visoka 32,8%	HR
CSGN-16	MREŽNICA	pukotinsko-kavernozna	1.372	1.324	srednja 28,4%, visoka 33,4%, vrlo visoka 25,9%	HR
CSGI-17	KORANA	pukotinsko-kavernozna	1.227	870	srednja 20,5%, visoka 27,4%, vrlo visoka 21,1%	HR/BIH
CSGI-18	UNA	pukotinsko-kavernozna	1.561	1.585	srednja 41,4%, visoka 23,8%, vrlo visoka 11,6%	HR/BIH
UKUPNO VODNO PODRUČJE RIJEKE DUNAV			35.071	9223		
	panonski dio		29.129	3257		
	krški dio		5.942	5966		
	nacionalna vodna tijela		11.758	2722		
	prekogranična vodna tijela		23.313	6501		

Zone sanitarne zaštite mogu se utvrditi ako su (NN 66/11, 47/13):

- provedeni vodoistražni radovi iz članka 3. Pravilnika o zonama sanitarne zaštite i
- izrađen elaborat zona sanitarne zaštite iz članka 4. Pravilnika o zonama sanitarne zaštite u konačnom tekstu prema odredbama Pravilnika.

Zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem vode iz vodonosnika s međuzrnskom poroznosti te kriteriji njihove zaštite (NN 66/11, 47/13) sumarno su prikazani u tablici 3.

Tablica 3. Kriteriji zaštite aluvijalnih vodonosnika (NN 66/11, 47/13)

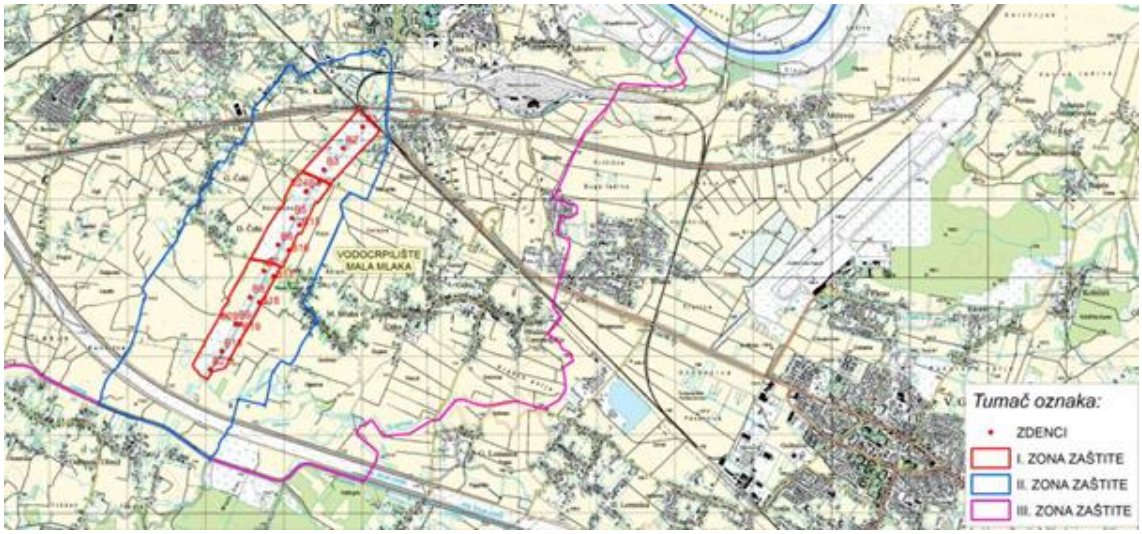
Zona sanitarne zaštite	**Opis zone**	**Kriteriji za određivanje veličine zone**	
I	Zona strogog režima zaštite i nadzora	SVRHA:	Utvrđuje se radi zaštite izvorišta, vodozahvatnih građevina i njihove neposredne okolice od bilo kakvog oštećenja, onečišćenja vode te drugih slučajnih ili namjernih štetnih utjecaja
		GRANICA PROSTIRANJA:	Najmanje 10m oko objekta
II	Zona strogog ograničenja i nadzora	SVRHA:	Utvrđuje se radi smanjenja rizika od onečišćenja podzemnih voda patogenim mikroorganizmima i drugih štetnih utjecaja koji se mogu pojaviti tijekom zadržavanja vode u podzemlju
		GRANICA PROSTIRANJA:	Od granice I. zone do vremena toka od 50 dana Za vertikalni tok vode veći od 50 dana zona se ne određuje
III	Zona ograničenja i nadzora	SVRHA:	Utvrđuje se osobito radi smanjenja rizika onečišćenja podzemne vode od teško razgradivih opasnih i onečišćujućih tvari
		GRANICA PROSTIRANJA:	Za izvorišta maksimalnog kapaciteta < 20 l/s -od granice II. Zone do izračunate granice područja napajanja za minimalno vrijeme zadržavanja vode u podzemlju u trajanju od 5 godina horizontalnog toka, prije ulaza u vodozahvatnu građevinu
			Za izvorišta maksimalnog kapaciteta 20-100 l/s -od granice II. zone do izračunate granice područja napajanja za minimalno vrijeme zadržavanja vode u podzemlju u trajanju od 15 godina horizontalnog toka, prije ulaza u vodozahvatnu građevinu
			Za izvorišta maksimalnog kapaciteta >100l/s -od granice II. zone do izračunate granice područja napajanja za minimalno vrijeme zadržavanja vode u podzemlju u trajanju od 25 godina horizontalnog toka, prije ulaza u vodozahvatnu građevinu

Za postojeća izvorišta za javnu vodoopskrbu naručitelj vodoistražnih radova su jedinice lokalne odnosno regionalne samouprave na koje se odluka o zaštiti izvorišta odnosu, dok za nova izvorišta javne vodoopskrbe naručitelj vodoistražnih radova su Hrvatske vode. Na temelju provedenih vodoistražnih radova naručitelj izrađuje nacrt elaborata zona sanitarne zaštite te je obvezan zatražiti obvezujuće mišljenje Hrvatskih voda o njemu.

Ocijene li Hrvatske vode da su provedeni vodoistražni radovi dostatni za izradu elaborata zona sanitarne zaštite iskazat će to u obvezujućem mišljenju, na temelju kojeg naručitelj može izraditi konačni tekst elaborata zona sanitarne zaštite. U suprotnom, ako Hrvatske vode smatraju da vodoistražni radovi nisu dostatni iskazat će to u obvezujućem mišljenju, a naručitelj je u obvezi iste i provesti i na temelju njih izraditi prijedlog elaborata zona sanitarne zaštite i ponovno zatražiti obvezujuće mišljenje Hrvatskih voda. Naručitelj je u

obvezi dostaviti Hrvatskim vodama elaborat zona sanitarne zaštite u digitalnom obliku pogodnom za daljnju obradu u GIS aplikacijama te aplikacijama za tablične kalkulacije i aplikacijama za obradu teksta, usklađenih s Informacijskim sustavom voda (NN 66/11, 47/13).

Primjeri određenih zona sanitarne zaštite prikazani su na slikama 10 i 11.



Slika 10. Zone sanitarne zaštite izvorišta Mala Mlaka (Zagreb) (Bačani i Posavec 2014)



Slika 11. Zone sanitarne zaštite izvorišta Bartolovec (Varaždin) (Bačani i Posavec 2016)

U svakoj od zona provode se pasivne i aktivne mjere zaštite pri čemu se iznimno mogu dopustiti određeni zahvati u prostoru odnosno određene djelatnosti u zonama sanitarne zaštite podzemnih vodonosnika zabranjene odredbama Pravilnika (NN 66/11, 47/13):

- ako se provedu detaljni vodoistražni radovi kojima se ispituje utjecaj užega prostora zone sanitarne zaštite u kojem se namjerava izvesti zahvat u prostoru odnosno obavljati određena djelatnost (mikrozona) na vodonosnik (postupak mikrozoniranja),
- ako se na temelju detaljnih vodoistražnih radova izradi poseban elaborat koji ima za svrhu dokazati okolnosti iz stavka 2. odnosno 3. članka 36. Pravilnika o zonama sanitarne zaštite (dalje u tekstu: elaborat mikrozoniranja),
- ako se elaboratom mikrozoniranja predvide odgovarajuće mjere zaštite vodonosnika u mikrozoni.

4. MOGUĆI PROBLEMI U DEFINIRANJU ZAŠTITE MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA

Kako bi se učinkovito zaštitila podzemna voda važno je provesti detaljnu karakterizaciju resursa podzemnih voda, izvršiti zaštitu samih izvorišta od direktnog onečišćenja, a uz to dodatno osigurati zaštitu prostornim planiranjem obavljanja ljudskih djelatnosti što preventivno djeluje na očuvanje količina i kakvoće podzemnih voda. Tičući se karakterizacije resursa podzemne vode osnovni problem je nedostatak sredstava potrebnih za prikupljanje podataka o količini i kvaliteti podzemnih voda tj. provođenje istraživanja. Također, često se zanemaruje činjenica kako su površinske i podzemne vode hidraulički povezane, ponekad čak i izravno što također utječe na način prihranjivanja te moguć izvor onečišćenja za podzemne vode. Nadalje, nakon onečišćenja postupak remedijacije je skup i dugotrajan proces. Kao preventivnu mjeru onečišćenja potrebno je provoditi praksu prostornog planiranja. Promjena upotrebe zemljišta svaki puta može potencijalno izravno ili neizravno utjecati na količinu i kakvoću podzemnih voda što je potrebno predvidjeti kod ishođenja dozvola za određene djelatnosti u pojedinim zonama prihranjivanja vodonosnika.

Kao specifični problemi zaštite međuzrnskih vodonosnika u Republici Hrvatskoj mogu se razmatrati njihove osnovne značajke koje ih karakteriziraju. Primjer tome je generalno produbljenje vodonosnika idući sa zapada prema istoku. Takvo produbljenje sa sobom nosi dodatan niz specifičnosti koje treba uzeti u obzir kod detaljnog istraživanja i određivanja zaštitnih zona. Razlog tome je taj što se uz dubinu vodonosnika mijenja i njegov litološki sastav (povećanje udjela sitnozrnate frakcije) što dovodi do varijacija u hidrauličkoj vodljivosti te naposljetku samoj izdašnosti vodonosnika. Vezujući se na prethodne karakteristike dolazi do činjenice da ni debljine krovinskih naslaga vodonosnika nisu svugdje jednake te se također mijenjaju sa smjerom produbljenja vodonosnika. Uzimajući u obzir to da krovinske naslage uvelike utječu na način prihranjivanja vodonosnika te zaštitu vodonosnika od nepovoljnih utjecaja s površine vrlo ih je važno pomno istražiti i proučiti. Jedan od značajnijih problema kojeg također valja posebno napomenuti je razlikovanje prirodno i antropogeno povišenih nepovoljnih supstanci u podzemnoj vodi (željeza, arsena…) i sl. Naime, važno je uz hidrauličke i prostorne parametre vodonosnika poznavati i geologiju, kako samog vodonosnika, tako i podinskih naslaga koje utječu na prirodne koncentracije pojedinih nepovoljnih supstanci

u podzemnoj vodi. Kako bi se propisala i provela učinkovita zaštita podzemnih voda važno je provoditi istraživanja koja ukazuju na specifičnosti pojedinih područja vodonosnika. Tako npr. valja uzeti u obzir vrijednosti prirodno povišenih koncentracija željeza, mangana, arsena i drugih pratećih elemenata kod dubljih vodonosnika u istočnim dijelovima savske i dravske ravnice kako bi se one razlikovale od vrijednosti dodatno povišenih uzrokovanih ljudskom djelatnosti.

S obzirom da za značajan dio zemlje geološki i hidrogeološki parametri nisu istraženi u detalje, nemoguće je napraviti kvalitetnu sveobuhvatnu shemu zaštite podzemnih voda pojedinog lokalnog/regionalnog područja. U slučaju nedostatka podataka, a primoranošću hitne uspostave zaštite pojedinog sustava, pristupa se definiranju privremenih mjera zaštite. Budući da privremene mjere zaštite sadrže nedostatke u pojedinim elementima, posebice u kartama ranjivosti, one će biti manje učinkovite u procjeni predloženog razvoja i aktivnosti. Shodno tome, istraživanja na terenu morati će biti opsežnija, donošenje odluka biti će sporije, a planiranja daljnjeg razvoja ograničavajuća. Čimbenici koje valja uzeti u obzir kod privremenih mjera zaštite podzemnih voda:

- iskoristiti informacije koje su lako dostupne (karte vodonosnika)
- zaštititi podzemnu vodu većih vrijednosti, tj. regionalno važne vodonosnike te značajne izvore opskrbe podzemnih voda
- zaštititi najranjiviju podzemnu vodu
- uzeti u obzir europsku direktivu o vodama.

4.1. VODOISTRAŽNI RADOVI

Vodoistražni radovi i drugi hidrogeološki radovi spadaju u posebne djelatnosti za potrebe upravljanja vodama. Također, uključuju: hidrogeološka istraživanja; geofizička istraživanja; bušenje istražnih bušotina i zdenaca (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14). Da bi se mogle utvrditi zone sanitarne zaštite potrebno je izraditi elaborat zona sanitarne zaštite, a da bi se izradio elaborat potrebno je provesti vodoistražne radove na kojima se on zasniva. Dakle prvi i najvažniji korak ka zaštiti podzemnih voda predstavljaju vodoistražni radovi. Provode se kroz jednu ili dvije faze (NN 66/11, 47/13). Prva faza predstavlja prikupljanje, reinterpretaciju i analizu rezultata već provedenih

detaljnih vodoistražnih radova. U drugoj fazi provode se detaljni vodoistražni radovi-dodatni vodoistražni radovi (ako se utvrdi da je to potrebno).

Vodoistražni radovi međuzrnskih vodonosnika mogu se podijeliti u tri skupine istraživanja (Meaški, 2017):

- I. skupina istraživanja - obuhvaća bazna istraživanja uključujući: prirodni opis vodonosnika, određivanje hidrogeoloških odnosa vodonosnog sustava, izradu matematičkog modela i sl. U tu svrhu određuje se: litološki sastav vodonosnika, prostorni raspored vodonosnih slojeva te njihov odnos prema krovinskim i podinskim naslagama, određivanje rubnih uvjeta vodonosnika te osnovnih hidrogeoloških parametara (hidraulička vodljivost, transmisivnost, koeficijent uskladištenja, efektivna poroznost, hidraulički otpor, koeficijent procjeđivanja, koeficijent dreniranja, specifično otpuštanje, smjer i brzina tečenja podzemne vode i sl.)
- II. skupina istraživanja - bazirana na ispitivanjima kvalitete podzemne vode te koncentracije onečišćenja u vodi. Vrlo je važno poznavati zatečeno stanje, tj. kvalitetu podzemnih voda prije uspostave zona sanitarne zaštite kako bi se mogli pratiti trendovi koncentracija različitih tvari koje definiraju kvalitetu podzemnih voda nakon uspostave zaštitnih zona
- III. skupina istraživanja - ispituju se purifikacijska svojstva vodonosnika, kvantificiranje koeficijenata disperzije, koeficijenata distribucije i dr. provode se uglavnom kod vodonosnika u kojima je već došlo do onečišćenja pa je u svrhu remedijacijskih mjera potrebno istražiti kretanje onečišćenja kroz vodonosnik te njegovu sposobnost samopročišćavanja (autopurifikacije).

Za postojeća izvorišta javne vodoopskrbe, naručitelj vodoistražnih radova su jedinice lokalne odnosno regionalne samouprave na koje se odluka o zaštiti odnosi. Za nova izvorišta javne vodoopskrbe naručitelj vodoistražnih radova su Hrvatske vode. Vodoistražne radove prve faze i izradu elaborata za postojeća izvorišta financiraju naručitelji tih radova. Dodatni vodoistražni radovi za postojeća izvorišta financiraju se iz sredstava naknade za korištenje voda. Prema Pravilniku o zonama sanitarne zaštite, izvođač vodoistražnih radova, odnosno izrađivač elaborata o zonama sanitarne zaštite, elaborata mikrozoniranja i posebnog elaborata sanacijskih zahvata i mjera za građevine smještene u određenim zaštitnim zonama, može biti isključivo osoba registrirana za obavljanje geoloških i hidrogeoloških istraživanja koja je imatelj certifikacijskog rješenja

o ispunjenju uvjeta za obavljanje djelatnosti vodoistražnih i drugih hidrogeoloških radova izdanog od ministarstva nadležnog za vodno gospodarstvo.

Na primjeru izrade elaborata o zonama zaštite izvorišta Grada Zagreba (Bačani i Posavec 2014) više je nego vidljiva važnost kvalitetne provedbe vodoistražnih radova. Naime, pri izradi elaborata nailazilo se na mnoge prepreke kako bi se on mogao kvalitetno i pouzdano izraditi. S prvom preprekom susretalo se kod utvrđivanja granice vodonosnika (posebice južne), zbog malog broja piezometara te njihovog neadekvatnog rasporeda što je onemogućilo pouzdanu procjenu iznosa dotjecanja. Također, podataka o uskladištenju i poroznosti ima vrlo malo pa su ti podaci većinom uzimani iz literature, a prema litološkim podacima iz strukturnih bušotina za pojedino područje. Mogućnost da podaci s većom točnošću prezentiraju zagrebački vodonosni sustav može se povećati s vremenom, uloženim sredstvima u nova istraživanja te primijenjenim metodama i tehnikama istraživanja.

4.1.1. Dodatni vodoistražni radovi

Ponekad vodoistražni radovi provedeni u cilju određivanja zona sanitarne zaštite izvorišta nisu dovoljni kako bi se provela efikasna sanacija onečišćivača podzemnih voda. U svezi s tim problemom, hrvatsko zakonodavstvo donijelo je provedbeni dokument koji se donosi na temelju Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11, 47/13). Program mjera sanacije unutar zona sanitarne zaštite izvorišta za postojeće građevine i postojeće djelatnosti.

Za primjer može se razmotriti Program mjera sanacije II. i III. zone sanitarne zaštite izvorišta Grada Zagreba: Stara Loza, Sašnjak, Žitnjak, Petruševec, Zapruđe i Mala mlaka (ECOINA, 2015). Program je izrađen na temelju posebnih istraživanja provedenim u cilju određivanja zona sanitarne zaštite izvorišta sadržanih u Elaboratu o zonama zaštite izvorišta Grada Zagreba. Na području zona sanitarne zaštite podjela onečišćivača podzemnih voda svrstana je u 4 grupe, i to: lokacije onečišćene otpadom (divlja odlagališta), divlje šljunčare, jezera Savica, onečišćenje gudronom i drugim opasnim tvarima te potencijalni onečišćivači. Terenskim obilaskom utvrđen je broj i lokacije takvih grupa onečišćivača. Lokacije potencijalnih onečišćivača također su dio Elaborata, kao i Programa mjera za zaštitu i sanaciju u zonama zaštite izvorišta te su prikazani u

prilogu GIS projekta. U sklopu Programa, definirani su prioritetni sanacijski zahvati i mjere. Prema stupnju prioriteta prvo će se pristupiti sanaciji divljih šljunčara. Prije sanacije definirana je prethodna provedba dodatnih istražnih radova, i to geofizičkih istraživanja i geodetskih mjerenja kako bi se dobio uvid u veličinu svake divlje šljunčare te nakon dobivenih podataka o veličini šljunčara potrebno je odrediti broj i lokacije bušotina na temelju kojih bi se dobio uvid o vrsti materijala kojim su divlje šljunčare zatrpane.

Tijekom višegodišnjeg praćenja stanja podzemnih voda priljevnog područja izvorišta Sašnjak i Žitnjak, uočena je prisutnost lako hlapivih halogeniranih ugljikovodika iznad maksimalno dopuštene koncentracije (ECOINA, 2015). Zbog toga je predviđeno proširenje mreže monitoringa lako hlapljivih halogeniranih ugljikovodika u odnosu na postojeći izvedbom osam novih piezometara dubine do 30 m iz kojih bi se uzorkovala i ispitivala podzemna voda jednom mjesečno. Što se tiče izvorišta Mala mlaka i Petruševec, njihove zaštitne zone su velikim dijelom pokrivene poljoprivrednim površinama. S ciljem praćenja kakvoće procjednih voda s tog područja planiraju se ugraditi dva lizimetra za praćenje kakvoće podzemnih voda te uz njih ugradnja dvije automatske meteorološke postaje. Na taj način Programom je jasno definiran obim i način mjera sanacije zaštitnih zona izvorišta propisanih Elaboratom koje nisu mogle biti donijete na temelju vodoistražnih radova provedenih za potrebe izrade Elaborata.

U skladu s navedenim primjerom, vidljivo je da se uspješnu sanaciju na lokaciji onečišćenoj otpadom može provesti samo ako su poznate količine otpada, njegova svojstva i fizikalno kemijske karakteristike. To je moguće ako se provedu dodatni istražnih radova koji uključuju izradu manjeg broja plitkih bušotina, uzimanje uzoraka iz bušotina s ciljem određivanja pogodnosti otpada za odlaganje, odnosno termičku obradu. Također je potrebno kvalitetno obraditi i dati sažet prikaz postojećih geoloških, hidrogeoloških i tektonskih odnosa na širem istraživanom području. Ako predviđeni istražni radovi ne daju odgovor na ključna pitanja, kao što su sastav, porijeklo, količina, prostorna rasprostranjenost i dubina odloženog otpada te onečišćenost površinske vode u jezerima, onečišćenost dna jezera te moguće onečišćenje podzemnih voda, tada je potrebno proširiti opseg istraživanja na temelju kojih bi se geotehničkim istražnim radovima na terenu te laboratorijskim ispitivanjima uzoraka iz bušotina dobili odgovori na gore navedena ključna pitanja.

4.2. KLASIFKACIJA IZVORIŠTA I REZERVACIJA PROSTORA ZONA SANITARNE ZAŠTITE

U svrhu određivanja vodoistražnih radova i utvrđivanja zona zaštite izvorišta, izvorišta se u smislu dinamike crpljenja klasificiraju na (NN 66/11, 47/13):

- izvorišta maksimalnog kapaciteta do 20 l/s
- izvorišta maksimalnog kapaciteta od 20 l/s do 100 l/s
- izvorišta maksimalnog kapaciteta većeg od 100 l/s.

Na temelju elaborata zona sanitarne zaštite izvorišta može se provesti rezervacija prostora za zone sanitarne zaštite u dokumentu prostornog uređenja. Sve planirane aktivnosti u području zaštitnih zona prije provedbe podliježu posebnim razmatranjima i ishođenju raznih dozvola. Elaborat zona sanitarne zaštite obvezno se dostavlja Hrvatskim vodama u digitalnom obliku pogodnom za daljnju obradu u GIS aplikacijama te aplikacijama za tablične kalkulacije i aplikacijama za obradu teksta usklađenih s informacijskim sustavom voda. Važno je napomenuti kako se rezervacija prostora provodi prema propisima o prostornom uređenju i gradnji (NN 66/11, 47/13).

Potencijalni problemi javljaju se vezano uz djelatnosti i građevine koje su već prije samog donošenja obuhvata zona zaštite smještene na pojedine lokacije, a zabranjene su kao takve nakon definiranja granica zona zaštite. Kada to situacija dozvoljava može se napraviti iznimka te dozvoliti daljnji rad određene djelatnosti ili smještaj određene građevine, ali uz propisivanje dodatnih sigurnosnih uvjeta koji moraju biti ispunjeni.

Primjer ovakvog slučaja je privremeno odlagalište komunalnog otpada Brezje. Elaboratom o zaštitnim zonama vodocrpilišta Grada Varaždina (Bačani i Posavec 2008) ono se nalazi u III. zaštitnoj zoni što je strogo zabranjeno Pravilnikom o zonama sanitarne zaštite. Ono predstavlja ozbiljnu prijetnju u slučaju incidentnih situacija, kako površinskim vodama (bliskoj rijeci Plitvici), tako i podzemnim vodama. Tako je Programom mjera zaštite u zonama vodocrpilišta Grada Varaždina lokacija odlagališta otpada Brezje proglašena kao hitnom za sanaciju u skladu s projektom sanacije. Definirani su rokovi provođenja sanacije te nositelji provedbe i financiranja sanacije. Zatečenom situacijom vidljivo je kako se sanaciji nije pristupilo, da problem nije riješen te se ne zna tko će i hoće li itko odgovarati za to.

4.3. ZABRANE U ZONAMA SANITARNE ZAŠTITE IZVORIŠTA SA ZAHVAĆANJEM PODZEMNIH VODA IZ VODONOSNIKA S MEĐUZRNSKOM POROZNOSTI

Trenutačno se u Republici Hrvatskoj razlikuju slijedeće zone sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem podzemnih voda iz vodonosnika međuzrnskih poroznosti (NN 66/11, 47/13):

- zona ograničenja i nadzora – III. zona
- zona strogog ograničenja i nadzora – II. zona
- zona strogog režima zaštite i nadzora – I. zona.

Zoniranje zemljišta pruža opći okvir sheme zaštite podzemnih voda. Ishod zoniranja je karta koja dijeli razmatrano područje na različite zone zaštite prema potrebnom stupnju zaštite. Kvaliteta i razina sofisticiranosti karte zaštitnih zona ovisi o dostupnim podacima i resursima te korištenim hidrogeološkim analizama. Zoniranje zemljišta s kvalitetnim podacima te hidrogeološkim informacijama i analizama preporučuje se kao osnova za odluke o planiranju i razvoju. Tri su glavna hidrogeološka elementa koja se uzimaju u obzir kod zoniranja. Prvi element predstavlja izrada karte ranjivosti koja razmatrano područje dijeli u četiri kategorije ranjivosti s obzirom na debljinu pokrova do vodnog lica i granulometrijski sastav tla. Drugi element predstavlja identifikacija izvorišta podzemne vode koja su sama po sebi zaštićena te treći element predstavlja identifikacija područja prema vrijednosti izvorišta podzemnih voda ili vodonosnika; ta područja se nazivaju područja zaštite resursa. Ta tri elementa zajedno daju karte koje prikazuju zone zaštite podzemnih voda te resursa kao i samih izvorišta. U svakoj zoni zaštite definiranoj na taj način reguliran je položaj i upravljanje potencijalno onečišćujućim djelatnostima tako da podliježu ocjeni stupnja prihvatljivosti, definiranju uvjeta koje moraju ispuniti te istraživanjima koja su potrebna prije donošenja odluka (mikrozoniranje).

Ponekad same zabrane koje su propisane Pravilnikom ne znače mnogo jer se ne pristupi rješavanju postojećih problema definiranim zabranama. Kako bi se zabrane propisane zakonom uspjele provesti u učinkovitu zaštitu, najčešće se Odlukom o zaštiti izvorišta propisuje izrada Programa za provođenje mjera zaštite i sanacije u zonama izvorišta kojem je cilj: prikazati naznačene lokacije građevina i sadržaja koji mogu nepovoljno utjecati na kakvoću voda i/ili izdašnost izvorišta s ucrtanim granicama zona zaštite

izvorišta u prihvatljivom mjerilu; prikazati plan izgradnje i rekonstrukcije vodoopskrbnog sustava te sustava javne odvodnje i priključenja na iste; iznijeti plan izgradnje i rekonstrukcije oborinske odvodnje u sklopu prometnica u zonama sanitarne zaštite; izrada akcijskog plana zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla; izraditi popis pojedinih građevina, pogona i područja koje je potrebno ukloniti, odnosno sanirati. Najznačajnija karakteristika Programa je ta da on mora sadržavati načine i rokove za provođenje definiranih mjera učinkovite zaštite, nositelje provedbe, načine osiguranja sredstava i nositelje financiranja što definirane nositelje provedbe obvezuje provedbu definiranih mjera u zadanom roku.

Na primjeru izrađenog Programa mjera zaštite u zonama vodocrpilišta Bartolovec, Vinokovščak i Varaždin (Bačani i Posavec 2016) posebna pozornost stavljena je na već evidentirana onečišćenja vodocrpilišta. U tom smislu posebno su obrađene mjere u građevinama i pogonima koji koriste klorirana otapala u svojoj djelatnosti, kao i mjere koje bi s vremenom trebale smanjiti koncentraciju nitrata u podzemnoj vodi. Pritom je uložen veliki trud kako bi se definirao uzrok povišenih koncentracija kloriranih otapala u podzemnoj vodi. U nedostatku opažačkih bušotina nemoguće je točno odrediti izvor kloriranih otapala no sa svim donesenim zaključcima sigurno je da se izvor kloriranih otapala od crpilišta Bartolovec nalazi u uzvodnom dijelu strujanja podzemne vode udaljen 4-6 km od vodocrpilišta te da njihov pronos traje već desetak godina. Mjere sanacije koje se u ovom slučaju uglavnom svode na provođenje češćih i oštrijih inspekcijskih poslova propisane su Programom, kao što su definirani i nositelji provedbe, financiranja te ono najbitnije, rok provođenja. Također, vezano uz problem povišenih nitrata propisane su različite obveze nositelja provedbe koje su najvećim dijelom obvezni financirati vlasnici farmi. U poljoprivrednoj proizvodnji poljoprivredna gospodarstva dužna su provoditi mjere propisane odgovarajućim programom zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla i pridržavati se načela dobre poljoprivredne prakse.

4.4. DONOŠENJE ODLUKE O ZAŠTITI IZVORIŠTA

Zaštita izvorišta i površinskih vodozahvata po zonama sanitarne zaštite provodi se sukladno Odluci o zaštiti izvorišta. Odluka o zaštiti izvorišta obvezno se donosi na temelju Zakona o vodama u kojem je definirano sve što Odlukom mora biti propisano te

tko donosi Odluku o zaštiti izvorišta (predstavničko tijelo lokalne/regionalne samouprave.

Odlukom o zaštiti izvorišta propisuje se, na temelju provedenih vodoistražnih radova:

- veličina i granice zona sanitarne zaštite
- sanitarni i drugi uvjeti održavanja
- mjere zaštite
- izvori i načini financiranja provedbe mjera zaštite
- ograničenja ili zabrane obavljanja poljoprivredne i drugih djelatnosti
- ograničenja ili zabrane građenja ili obavljanja drugih radnji kojima se može utjecati na kakvoću ili količinu voda izvorišta i površinskih vodozahvata
- prekršajne odredbe.

Nakon utvrđenja zona sanitarne zaštite (provedenih vodoistražnih radova, izrađenog elaborata zona sanitarne zaštite), župan, gradonačelnik odnosno općinski načelnik osniva povjerenstvo za pripremu nacrta odluke o zaštiti izvorišta (osim u slučaju kada su Hrvatske vode naručitelj vodoistražnih radova, tada one osnivaju povjerenstvo). U povjerenstvo imenuju se, pored predstavnika donositelja odluke, i članovi iz ministarstva nadležnog za vodno gospodarstvo, županijskog upravnog tijela nadležnog za prostorno planiranje i zaštitu okoliša, županijskog upravnog tijela nadležnog za gospodarstvo, županijskog upravnog tijela nadležnog za poljoprivredu, Hrvatskih voda i isporučitelja vodnih usluga. Nadalje, postupak donošenja Odluke o zaštiti izvorišta provodi se prema propisima o donošenju općih akata jedinica lokalne samouprave odnosno jedinica regionalne (područne) samouprave. Prema Pravilniku o zonama sanitarne zaštite predstavničko tijelo lokalne/regionalne samouprave obvezno je u roku od 12 mjeseci od dana donošenja odluke o zaštiti izvorišta donijeti Program mjera sanacije unutar zona sanitarne zaštite za postojeće građevine i postojeće djelatnosti koji postaje sastavni dio odluke o zaštiti izvorišta.

Prema članku 91. stavka 2. Zakona o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) , Odlukom o zaštiti izvorišta na temelju provedenih vodoistražnih radova, propisuje se:

- veličina i granice zona sanitarne zaštite
- sanitarni i drugi uvjeti održavanja

- mjere zaštite
- izvori i načini financiranja provedbe mjere zaštite
- ograničenja ili zabrane obavljanja poljoprivredne i drugih djelatnosti
- ograničenja ili zabrane građenja ili obavljanja drugih radnji kojima se može utjecati na kakvoću ili količinu voda izvorišta i površinskih vodozahvata
- prekršajne odredbe.

Odluka o zaštiti izvorišta sadrži definiranu veličinu i granice zona sanitarne zaštite. Upravo veličine zaštitnih zona ponekad predstavljaju problem u procesu provedbe učinkovite zaštite podzemnih voda. Kao primjer može se predstaviti crpilište Gornji Hrašćan koje se nalazi u Međimurju u sklopu općine Nedelišće. Crpilište Gornji Hrašćan pitkom vodom opskrbljuje oko 80 % Međimurja. Zaštitne zone izvorišta zbog blizine Republike Slovenije protežu se jednim dijelom i njenim područjem. U tom slučaju bez prekogranične suradnje, praktički je nemoguće zaštititi izvorište na način koji je propisan elaboratom o zaštitnim zonama. Slovenija i Hrvatska su u odnosu na druge države u svijetu veoma bogate prirodnom pitkom vodom, ali se ona iz godine u godinu, kako kod nas, tako i u svijetu, sve više smanjuje.

Zbog toga je razvijen projekt kojim se izradila strategija za zaštitu voda na području općina Središće ob Dravi i Nedelišće (Strategija za zaštitu vodnih resursa s konceptom održivog razvoja prekograničnog projektnog područja 2015). Na obrađenom području općina Središče ob Dravi i Nedelišće smješten je velik podzemni spremnik pitke vode, koji se nalazi s obje strane granice i posljedica je aluvijalnih nanosa u porječju rijeka Drave i Mure, koja na hrvatskoj strani seže do varaždinskih gorica sve do prekomurskih u Mađarskoj. Razvojni prioriteti obje spomenute strane su uređenje kanalizacije, razvoj rekreacijsko-turističkih zona, uređenje prometne infrastrukture i sl.

5. IZAZOVI U ZAŠTITI MEĐUZRNSKIH VODONOSNIKA

Republika Hrvatska je jedna od rijetkih zemalja svijeta koja raspolaže s dostatnom količinom vode dobre kakvoće. Kako je voda ograničavajući faktor ljudskog napretka i opstanka, važno ju je štititi svim mogućim načinima i sredstvima. U tom cilju susreće se s mnogim problemima i izazovima. Prvenstveno, ljudske aktivnosti krivac su za loša stanja podzemnih voda svuda u svijetu. Neodrživ gospodarski razvoj kakav se vodi u pojedinim dijelovima svijeta, doveo je do toga da mnogi ljudi, a i životinjski svijet nema pristup količinama i kakvoći pitke vode koja je zdravstveno ispravna. Razvijaju se bolesti koje se ni uz najnovije pristupe i tehnologije ne mogu spriječiti i izliječiti. Na taj teži način, probudila se svijest ljudi o važnosti zaštite voda. Teško je i problematično donijeti adekvatno i široko primjenjivo rješenje koje bi vratilo sustav površinskih i podzemnih voda koje su u interakciji u stanje koje je čisto, prirodno i održivo za buduće naraštaje. Ovdje se prvenstveno govori o zaštiti podzemnih voda, a održivost prirodnog stanja podzemnih voda funkcija je mnogih čimbenika: smanjenje prihrane podzemnih voda u dijelovima visokog stupnja urbanizacije, smanjenje razina površinskih voda, gubitak močvarnih i riječnih ekosustava, promjene u kvaliteti podzemnih voda i sl.

Vezano na probleme u zaštiti međuzrnskih vodonosnika, izazove u zaštiti predstavljaju rješenja koja se provode ili bi se trebala provoditi. Zaštita podzemnih voda tako bi trebala biti dio integralnog upravljanja pripadajućim slivom te pritom uzeti u obzir sva obilježja pojedinog sliva u obzir (demografska, geološka, hidrogeološka, geografska…). Pritom treba paziti na hidrauličku povezanost površinskih i podzemnih voda te ju uzeti u obzir kod provođenja hidrogeološkog kartiranja. Važan proces također je kvalitetno određivanje osjetljivosti svakog pojedinog vodonosnika na pojedina onečišćenja te izrada i ažuriranje popisa potencijalnih izvora onečišćenja u definiranim zaštitnim zonama. Gledajući dugoročno potrebno je prepoznati, a ujedno i zaštititi, strateške rezerve podzemnih voda za potrebe budućih generacija koje imaju potencijal snabdijevanja pitkom vodom cijelih regija. Međutim glavni izazov u zaštiti podzemnih voda predstavlja sistem razvojnog planiranja što je trenutno najmoderniji pristup zaštiti.

Zadaća razvojnog planiranja je uspostava okvira za prostorno planiranje koji omogućuje da se donese odluka o tome gdje i kako omogućiti razvoj nekih investicija. Razvojni planovi trebaju biti regulatorni okvir za provođenje smislenih i učinkovitih ciljeva te

strategije zaštite podzemnih voda. Pritom je potrebno redovito ažurirati/revidirati postavljene razvojne planove.

Uz sve navedeno postoje još mnogi načini kako poboljšati zaštitu podzemnih voda od kojih su neki: inspekcijskim nadzorima, poticanjem najboljih praksi upravljanja, planiranjem mogućih incidentnih situacija i razrada alternativnih rješenja te uključivanje javnosti u procese donošenja odluka održavanjem javnih tribina i sl.

Svaki sustav podzemnih voda i sustav razvoja područja na kojem se nalazi sustav podzemnih voda jedinstveni su i zahtijevaju analizu prilagođenu prirodi vodnih problema s kojima se suočavaju, uključujući socijalna, ekonomska i pravna ograničenja koja se moraju uzeti u obzir. Ključni izazov za postizanje održivosti podzemnih voda je osmišljavanje različitih alternativnih strategija upravljanja. S vremenom je postalo jasno da su kemijski, biološki i fizički aspekti sustava podzemnih voda međusobno povezani i zahtijevaju integriranu analizu te da su mnoga pitanja koja uključuju količinu, kvalitetu i ekološke aspekte površinske vode međusobno povezana s podzemnim vodama. Na taj način, hidrolozi podzemnih voda kontinuirano se dovode u sve veće izazove da osiguraju veće profinjenosti njihovih analiza i prijedlozi rješenja novih problema kako se pojavljuju.

Glavne prijetnje onečišćenju podzemnih voda predstavljaju:

- točkasti izvori onečišćenja (ispuštanja septičkih jama, ponorne zone, razna izlijevanja, pesticidi korišteni u nepoljoprivredne svrhe, procjedne vode odlagališta)
- difuzni izvori onečišćenja (širenje organskih i anorganskih gnojiva, pesticida, i sl.).

Europska Direktiva o podzemnim vodama (80/68/EEC) usvojena je još 1980. godine, a u velikoj je mjeri usmjerena na kontrolu ispuštanja određenih tvari u podzemne vode. Navedena direktiva je s godinama bila podložna izmjenama i dopunama, pa je tako trenutno važeća Groundwater Directive (GWD) 2006/118/EC.

Rješenje zaštite podzemnih voda koje bi bilo široko primjenjivo praktički je nemoguće osmisliti. Svaki vodni sustav cjelina je za sebe i kao takva ima svoje specifičnosti, što fizičke, što kemijske, što biološke. Zakonskim propisima na nacionalnoj razini moguće je eventualno definirati obveze raspona istraživanja vodnih sustava, u ovisnosti o tome

radi li se o krškom ili međuzrnskom tipu vodonosnika. Temelj učinkovite zaštite podzemnih voda su istraživanja koja upućuju na sve bitne činjenice koje su nam prijeko potrebne kako bi mogli adekvatno zaštititi vodne sustave. Stoga je povećanje opsega istraživanja i jasan uvid u problematiku onečišćenja pojedinog sustava ključan element i prvi korak učinkovite zaštite.

U Republici Hrvatskoj, a i u većini drugih razvijenih zemalja izvorišta se štite uspostavom zaštitnih zona (na temelju obrađenih istražnih radova u prethodnom poglavlju) koje bi svakako trebale riješiti mnoge probleme ili barem omogućiti pravovremenu reakciju u slučaju incidentnih situacija. Donekle to i je tako, no još jedan vrlo bitan faktor je i kontinuirano terensko obilaženje i praćenje područja na kojem su spomenute zone uspostavljene. Potrebno je provoditi inspekcijske poslove za gospodarske aktivnosti za koje su propisana pravila kojih bi se trebale pridržavati. Također moderan pristup praćenja stanja okoliša predstavlja uspostava monitoringa koji daje odgovore na pitanja stanja okoliša kontinuirano, na dnevnoj bazi što također uvelike može pomoći u detekciji i shvaćanju problematike zaštite podzemnih voda.

5.1. PRIMJER INOVATIVNOG PRISTUPA ODRŽIVOSTI RESURSA PODZEMNIH VODA U SVIJETU

U svijetu su poduzeti različiti inovativni pristupi kako bi se poboljšala održivost resursa podzemnih voda. Ti pristupi obično uključuju neku kombinaciju korištenja vodonosnika kao rezervoara za skladištenje, upotrebu površinskih i podzemnih voda zajedno, umjetno nadopunjavanje vode kroz bunare ili površinsko širenje i korištenje pročišćene vode. Ti pristupi obično dovode do znanstvenih pitanja o opsegu i prirodi međudjelovanja podzemnih i površinskih voda, geokemijskim učincima miješanja vode iz različitih izvora s vodom vodonosnika i sl. U nastavku je naveden primjer inovativnog pristupa provedenog u gradu Dayton, Ohio, SAD (Alley, M. et al., 1999).

Dayton, Ohio, izrazito je ovisan o podzemnim vodama kako bi se zadovoljile sve potrebe za vodoopskrbu i industriju. Gotovo jedna četvrtina svih podzemnih voda korištenih u Ohiu crpi se iz bušotina izvedenih u pjeskovito-šljunkovitom vodonosniku koji se nalazi u zaleđu Daytonskog gradskog područja. Velik dio vode se pumpa s 30 do 75 metara dubine plitkog vodonosnika koji se nalazi ispod doline rijeke Mad. Kako bi se osiguralo

da se razina podzemnih voda održava dovoljno visoka da bi se omogućila velika eksploatacija bušotina s velikim kapacitetom, od 1930-ih je uspostavljen umjetni sustav nadopunjavanja vodonosnika. Izvor punjenja je tok strujanja preusmjeren iz rijeke Mad u niz međusobno povezanih kanala za infiltraciju i lagune koji zauzimaju oko 20 hektara na otoku Rohrers (slika 11). Da bi se zadovoljila sve veća potražnja za vodom, u 1960-im se razvila nova bušotina u dijelu vodonosnika sjeverno od Daytona. Kako bi se nadomjestile još veće potrebe za podzemnom vodom izvedbom nove eksploatacijske bušotine pristupilo se uspostavi još jednog umjetnog sustava nadopunjavanja vodonosnika. Na ovom se području površinska voda iz rijeke Great Miami također crpila u niz ribnjaka i laguna kao infiltracijskih sustava. Na oba polja lagune se povremeno isušuju, a akumulirani mulj se iskopa kako bi se zadržala visoka stopa infiltracije u podzemni vodonosnik.



Slika 11. Turbinska pumpa velike snage instalirana na gradskoj bušotini na otoku Rohrers. (laguna prihranjivanja u pozadini) (Alley, M. et al., 1999)

6. ZAKLJUČAK

Podzemne vode Republike Hrvatske štite se na način uspostave zaštitnih zona oko izvorišta. Isti princip primjenjuje se u većini država svijeta. U teoriji, princip je zamišljen da se na temelju vodoistražnih radova definira radijus utjecaja crpljenja, glavni smjerovi dotoka podzemnih voda, načini dreniranja, purifikacijska svojstva vodonosnika i sl. te na temelju tog odrede zaštitne zone podijeljene u kategorije od kojih svaka ima definirane svoje zabrane i ograničenja u svezi gospodarskih i ostalih ljudskih djelatnosti. Takva uspostava zaštite podzemnih voda široko je primjenjiva te se pokazala efikasnom metodom. Naravno, nije sve tako jednostavno i lako za provedbu.

Prvi i osnovni korak, dakle provedba vodoistražnih radova izuzetno je skup i opsežan posao pa se uvijek gleda kako bi se tu napravile uštede. Iz tog razloga rade se štura istraživanja te dolazi do pomanjkanja informacija i samim time nerazumijevanja podzemnih tokova i geologije pojedinog područja. Pritom se javlja sindrom „GIGO“ (Garbage in, garbage out), što znači da će loši ulazni podaci dati i loše izlazne podatke, tj. rezultate na temelju kojih se određuju zaštitne zone. Tako ponekad zaštitne zone nisu najkvalitetnije određene pa se na nekim izvorištima i dalje može primijetiti utjecaj ponekog onečišćivača koji je prisutan i nakon provedbe zaštite u istim koncentracijama što znači da provedba zaštite vodonosnika nije uspješna.

Strateški međuzrnski vodonosnici smješteni su u panonskom dijelu Republike Hrvatske, a čine ih Savski i Dravski bazen koji su sličnih hidrauličkih i geoloških karakteristika. Od izuzetne je važnosti trenutno definirane zaštitne zone tih vodonosnika očuvati i ispoštovati zabrane i ograničenja koja su u njima propisana. Također treba prionuti na sanacije pojedinih lokacija divljih deponija i sl. te provoditi strože inspekcijske nadzore gospodarskih djelatnosti koje se obavljaju u pojedinim zonama pri ispuštanju njihovih efluenata.

Smatram da veliku ulogu u cijelom procesu zaštite predstavlja svijest ljudi. Naime, radi se o stjecanju zajedničkog znanja, stvaranju zajedničkog razumijevanja i poduzimanju zajedničkih radnji u što su uključeni svi, od političara, poduzetnika, raznih organizacija te na kraju običnih ljudi, a u cilju postizanja zajedničkog cilja za boljitak svih. U svakom

slučaju bitno je zaključiti da smo svjesni važnosti očuvanja i zaštite vodnih bogatstava te da se kroz razne mjere i aktivnosti opisane u ovom radu vrši zaštita podzemnih voda, konkretno međuzrnskih vodonosnika. Naposljetku, kao i u svemu, važno je pratiti trendove i inovacije u zaštiti međuzrnskih vodonosnika iz cijeloga svijeta, što uz industrijski rast i razvoj te sve veće količine onečišćujućih tvari u okolišu predstavlja maksimalno veliki izazov za sadašnje a i buduće generacije.

7. LITERATURA

Alley, M. et al. U.S. Geological Survey (1999). Sustainability of Ground-Water Resources. United States of America. Denver,Colorado

Bačani, A., Posavec, K. (2008). Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta Varaždin, Bartolovec i Vinokovščak. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Bačani, A., Posavec, K. (2014). Elaborat o zonama zaštite izvorišta Grada Zagreba. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Bačani, A., Posavec, K. (2016). Program za provođenje mjera zaštite u zonama vodocrpilišta Bartolovec, Vinokovščak i Varaždin. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Baker, M. et al. (2007). Ground Water Report to the Nation: A Call to Action. Groundwater Protection Council. United States of America

Bear, J. (1972). Dynamics of Fluids in Porous Media. American Elsevier Publishing Company, New York.

Biondić, R. (2015): Materijali s predavanja iz kolegija Hidrogeologija u ak. godini 2015./2016. Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin

Brkić, Ž et al. (2005). Karakterizacija vodnih cjelina na Crnomorskom slivu u okviru implementacije Okvirne direktive o vodama EU. Zagreb, 2005.

Darcy, H., Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon, Dalmont, Pariz, 1856.

ECOINA za zaštitu okoliša d.o.o. (2015). Program mjera za zaštitu i sanaciju u zonama zaštite izvorišta Grada Zagreba. Zagreb, prosinac 2015.

Environment Agency UK (2009). Groundwater Source Protection Zones- Review of Methods. United Kingdom

Environment Agency UK (2013). Groundwater Protection: Principles and practice (GP3). Version 1.1. United Kingdom

Environment Protection Agency IR (1999). Groundwater Protection Schemes. Ireland

Hutson, S., N. Barber, J. Kenny, K. Linsey, D. Lumia, and M.Maupin. 2004. Estimated Use of Water in the United States in 2000. USGS Circular 1268. [Online]. Dostupno na: http://pubs.er.usgs.gov/usgspubs/cir/cir1268 [10.06.2018]

Meaški, H. (2017): Materijali s predavanja iz kolegija Zaštita podzemnih voda u ak. godini 2017./2018. Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin

Ohio Environment Protection Agency (OHIO EPA). (2015). Drinking Water Source Protection Report for the City of Marietta. [Online]. Dostupno na: http://wwwapp.epa.ohio.gov/gis/swpa/OH8400412.pdf [15.06.2018]

Plan upravljanja vodnim područjima (PUVP) za razdoblje 2013.-2015. (2013), Hrvatske vode. Odluka o donošenju plana upravljanja vodnim područjima. Narodne novine. Broj 82 [26.06.2013.]

Plan upravljanja vodnim područjima (PUVP) za razdoblje 2016.-2021. (2016), Hrvatske vode. Odluka o donošenju plana upravljanja vodnim područjima. Narodne novine. Broj 66 [06.07.2016.]

Pravilnik o izmjenama Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (2013). Narodne novine. Broj 47 [11.04.2013.]

Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (2011). Narodne novine. Broj 66 [27.5.2011.]

Solley,W. B., R. R. Pierce, H. A. Perlman. 1998. Estimated Use of Water in the United States in 1995. USGS Circular 1200.

Strategija upravljanja vodama (2008). Hrvatske vode. Narodne novine. Broj 91 [15.07.2008.]

Strategija za zaštitu vodnih resursa s konceptom održivog razvoja prekograničnog projektnog područja (2015). Strategiju pripremili: ERTC, Međimurske vode, Univerza v Mariboru – Ekoremediacijski center, Center za zdravje in razvoj, Međimurska priroda, Hrvatske vode te općine: Križevci Razkrižje, Ljutomer, Središče ob Dravi. Celje, ožujak 2015.

United States Environmental Protection Agency (US EPA). Source Water Protection Basics. [Online]. Dostupno na: https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/source-water-protection-basics [10.06.2018]

Zakon o vodama. Narodne novine. Broj 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14. [Online]. Dostupno na: https://www.zakon.hr/z/124/Zakon-o-vodama [18.06.2018]

POPIS SLIKA I TABLICA

SLIKE

Slika 1. Shematski prikaz Darcyevog eksperimenta (Darcy 1856) 3
Slika 2. Tipovi vodonosnika (modificirano prema Bear 1972) 4
Slika 3. a) Prosječna hidraulička vodljivost; b) Debljina krovinskih naslaga 6
Slika 4. Zaštitne zone izvorišta (EA UK 2013) 11
Slika 5. Prikaz zaštitnih zona UK-a (EA UK 2013) 12
Slika 6. Shematski prikaz donošenja zaštitnih zona (EA UK 2009) 13
Slika 7. Shema zaštite podzemnih voda..... 15
Slika 8. Općeniti prikaz određenih zona zaštite s označenim potencijalnim onečišćivačima (US EPA, 2018) 19
Slika 9. Primjer zaštitnih zona određenih na eksploatacijskom polju Marietta u Ohiu (OHIO EPA, 2015)..... 19
Slika 10. Zone sanitarne zaštite izvorišta Mala Mlaka (Zagreb) (Bačani i Posavec 2014) 25
Slika 11. Zone sanitarne zaštite izvorišta Bartolovec (Varaždin) (Bačani i Posavec 2016) 25
Slika 11. Turbinska pumpa velike snage instalirana na gradskoj bušotini na otoku Rohrers. (laguna prihranjivanja u pozadini) (Alley, M. et al., 1999) 40

TABLICE

Tablica 1. Razine zaštite uz program mjera zaštite za pojedinu zonu s obzirom na ranjivost (EPA IR 1999)..... 16
Tablica 2. Osnovni podaci o tijelima podzemnih voda na vodnom području rijeke Dunav (prekogranični karakter TPV) (PUVP 2016) 23
Tablica 3. Kriteriji zaštite aluvijalnih vodonosnika (NN 66/11, 47/13) 24