

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

VINKO ŠESTAK

PRIMJENA UNESCO/IAEA/IAH POKAZATELJA
ODRŽIVOSTI PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU
VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

PRIMJENA UNESCO/IAEA/IAH POKAZATELJA
ODRŽIVOSTI PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU
VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

KANDIDAT:

Vinko Šestak

MENTOR:

izv. prof. doc. dr. sc. Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2019.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: VINKO ŠESTAK
Matični broj: 171 - 2016./2017.
Smjer: UPRAVLJANJE VODAMA

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

PRIMJENA UNESCO/IAEA/IAH POKAZATELJA ODRŽIVOSTI PODZEMNIH VODA
NA PODRUČJU VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

Rad treba sadržati:

1. Uvod
2. Varaždinski vodonosnik
3. Potreba za očuvanjem kvalitete podzemne vode
4. Pokazatelji održivosti podzemne vode
5. Primjena parametara održivosti podzemnih voda na primjeru
Varaždinskog vodonosnika
6. Zaključak
7. Literatura

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 11.03.2019.

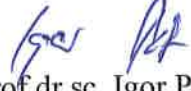
Rok predaje: 05.09.2019.

Mentor:


Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški



Predsjednik Odbora za nastavu:


Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Primjena UNESCO/IAEA/IAH pokazatelja održivosti podzemnih voda na području varaždinskog vodonosnika

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom izv. prof. 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, 3.9.2013.

VINKO ŠESTAK



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Ime i prezime: Vinko Šestak

Naslov rada: Primjena UNESCO/IAEA/IAH parametara održivosti podzemnih voda na području Varaždinskog vodonosnika

Zbog znatnog onečišćenja površinskih voda, a time i nemogućnosti korištenja takve vode za vodoopskrbnu svrhu, veoma je bitno osigurati dovoljne količine i kvalitetu podzemne vode koja bi se mogla koristiti za tu namjenu. Danas podzemna voda osigurava pitku vodu za preko 50 % globalne populacije. Iako se ne nalazi na zemljinoj površini, također je, poput površinske vode podložna onečišćenju. Stoga je bitno uspostaviti monitoring te pratiti ključne parametre održivosti podzemne vode da bi se očuvao taj vrijedan i neophodan strateški resurs. Varaždinski vodonosnik spada u skupinu aluvijalnih vodonosnika, a zbog svoje plitkoće i razvijenosti peradarske industrije postoji opasnost njegova ugrožavanja. Također, najveća količina pitke vode za potrebe varaždinske županije crpi se iz navedenog vodonosnika, stoga je bitno primijeniti UNESCO/IAEA/IAH parametre održivosti podzemne vode da bi se zaštitio i trajno očuvao taj neophodan resurs.

Ključne riječi: održivost vodonosnika, podzemna voda, UNESCO/IAEA/IAH parametri, Varaždinski vodonosnik, primjena parametara

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. VARAŽDINSKI VODONOSNIK	2
2.1 GEOLOŠKE ZNAČAJKE	3
2.2 HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE	4
3. POTREBA ZA OČUVANJEM KVALITETE PODZEMNE VODE.....	5
4. POKAZATELJI ODRŽIVOSTI PODZEMNE VODE	8
4.1 PREDLOŽENI INDIKATORI KVALITETE PODZEMNE VODE	12
4.1.1 Količina obnovljivih resursa podzemne vode po stanovniku	12
4.1.2 Ukupno crpljenje podzemne vode u odnosu na prihranjivanje vodonosnika.....	15
4.1.3 Ukupno crpljenje podzemne vode/ dostupni resursi podzemne.....	16
4.1.4 Podzemne vode kao postotak korištenja vode za piće na nacionalnoj razini	17
4.1.5 Sniženje razine podzemne vode.....	17
4.1.6 Ukupna količina neobnovljivih izvora podzemne vode/godišnje zahvaćanje.....	19
4.1.7 Prirodna ranjivost podzemnih voda	20
4.1.8 Kvaliteta podzemnih voda	22
4.1.9 Obrada podzemne vode	24
4.1.10 Ovisnost poljoprivrede o podzemnoj vodi	25
5. PRIMJENA PARAMETARA ODRŽIVOSTI PODZEMNIH VODA NA PRIMJERU VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA.....	27
5.1 OBNOVLJIVI IZVORI PODZEMNE VODE PO STANOVNIKU NA PODRUČJU VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA (M ³ /GOD).....	27
5.2 PRIRODNA RANJIVOST PODZEMNIH VODA VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA.....	28
5.3 KVALITETA PODZEMNIH VODA VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA.....	30
5.4 OBRADA PODZEMNE VODE NA PODRUČJU VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA	35
5.5 OVISNOST POLJOPRIVREDNIKA O KORIŠTENJU PODZEMNE VODE	36
5.6 UKUPNO CRPLJENJE PODZEMNE VODE/ RESURSI PODZEMNE VODE KOJI SE MOGU EKSPLOATIRATI NA PODRUČJU VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA.....	38
6. ZAKLJUČAK.....	40
7. LITERATURA.....	42
POPIS SLIKA	44
POPIS TABLICA.....	45

1. UVOD

Zbog značajnog povećanja svjetske populacije, a i dugogodišnjeg nesavjesnog onečišćavanja površinske i podzemne vode, došlo je do narušavanja prirodne ravnoteže i smanjenje opsega korištenje takve vode za vodoopskrbu. Danas je većina površinskih voda neupotrebljiva za piće, stoga se za vodoopskrbu u većini slučajeva koriste podzemne vode.

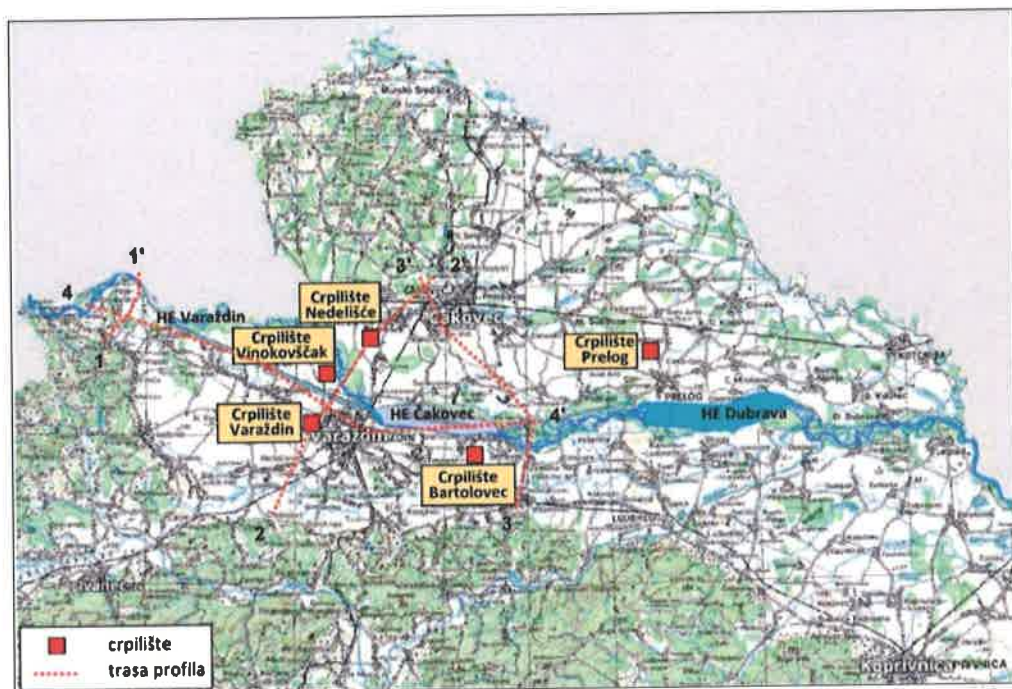
Varaždinski vodonosnik izgrađen je od šljunka i pijeska srednje i gornjopliocenske starosti te holocenske starosti. Vodonosnik je izdužen paralelno toku Drave, a debljina mu se povećava od zapada prema istoku. Zbog geološkog sastava, postoji velika opasnost njegova onečišćenja. Kao što je poznato, na području varaždinskog vodonosnika već je bilo problema zbog povećanje koncentracije nitrata, stoga takva voda nije odgovarala vodi za ljudsku potrošnju. To je dovelo do zatvaranja vodocrpilišta Varaždin. Trenutno su u pogonu vodocrpilište Vinokovščak, vodocrpilište Varaždin i vodocrpilište Bartolovec. Voda s tih crpilišta koristi se na području gotovo cijele Varaždinske županije, stoga je potrebno provesti mjere zaštite i spriječiti njezino onečišćenje.

Već je šezdesetih godina prošlog stoljeća došlo do prvih pokušaja razvitka mjera kojima bi se pratilo i spriječilo daljnje onečišćenje podzemne vode. Tada se shvatilo da se moraju identificirati i razviti indikatori kojima bi se pratilo stanje podzemne vode te koji bi omogućili pravovremenu reakciju u slučaju njena onečišćenja. Razvoj indikatora podzemne vode preuzeo je UNESCO u okviru šeste faze međunarodnog hidrološkog programa (*International Hydrological Programme IHP*), tema 2: Integrirani sljevovi i dinamika vodonosnika (UNESCO, 2007). Zbog složenosti projekta u pomoć im je priskočila i međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) te međunarodno udruženje hidrogeologa (IAH). U razdoblju od 2002. do 2004. godine došlo je do niza sastanaka na kojima je razvijen uravnotežen znanstveni i politički pristup primjenjiv u razvoju indikatora podzemne vode.

U ovome radu bit će detaljno objašnjeni svaki od indikatora koji se koriste u svrhu praćenja stanja podzemne vode, kao i njihova primjena na području varaždinskog vodonosnika.

2. VARAŽDINSKI VODONOSNIK

Varaždinski vodonosnik (Slika 1.) nalazi se u krajnjem zapadnom dijelu Dravske doline. To je pretežito nizinsko područje omeđeno na sjeveru brežuljcima gornjeg Međimurja, na zapadu državnom granicom s Republikom Slovenijom i Viničkim gorjem, na jugu sjevernim obroncima Varaždinsko-topličkog gorja i Kalnika. Predstavlja rubni dio vodonosnog kompleksa u kojem je prirodni režim podzemnih voda snažno narušen izgradnjom protočnih hidroenergetskih objekata i eksploatacijom podzemnih voda za vodoopskrbne potrebe (Hlevnjak et al., 2015).



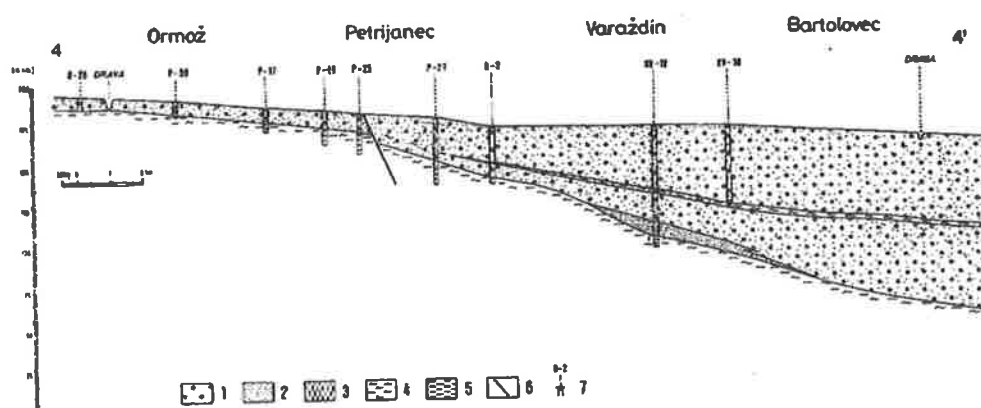
Slika 1. Varaždinski vodonosnik (Kovač et al., 2017)

Poznavanje prirodnih uvjeta nastalih hidrogeoloških odnosa zanimljivo kako kod proučavanja zaliha podzemnih voda ako i kod predviđanja učinaka nizvodnih vodnih stepenica na prirodni režim podzemnih voda. Vrijedni podaci o litološkom sastavu prikupljeni su kroz regionalna hidrogeološka istraživanja (Urumović et al., 1990). Za vodoopskrbu Varaždinske županije najviše se koriste podzemne vode dravske doline (crpilišta Varaždin, Vinokovšćak i Bartolovec). Analizom podataka koji su prikupljeni za potrebe izrade Strategije upravljanja vodama (NN 91/2008) utvrđeno je da trenutne zalihe vode zadovoljavaju sadašnje i buduće potrebe za pitkom vodom na području varaždinskog vodonosnika. Zbog svoje debljine, osobito na zapadu vodonosnika gdje su sedimente naslage u prosjeku manje od 5 m postoji velika mogućnost onečišćenja,

odnosno velika je prirodna ranjivost vodonosnika. U prvome vodonosnom sloju voda je onečišćena nitratima, dok je voda drugog vodonosnika dobre kvalitete.

2.1 GEOLOŠKE ZNAČAJKE

Varaždinski vodonosnik izgrađen je od šljunka i pijeska kvartarne starosti. Najstarije naslage na površini nalaze se u južnom prigorju, oko Vinice i Voće. To su pješčenjaci, šejlovi, lapori, vapnenci, dolomiti i dolomitne breče mezozojsko-trijaske starosti. Izravno na njima taloženi su pretežito konglomerati, pješčenjaci, vapnenci, lapori, laporoviti vapnenci, mjestimice tufovi i vulkanske breče miocenske starosti. Konkordantno se talože naslage pontske starosti - u dubljim intervalima lapori s proslojcima pješčenjaka i pijeska, a u plićim pijesci i pješčenjaci. Tijekom kvartara taloženje se odvija u močvarnoj sredini uz stalno donošenje fluvijalnog materijala (Bačani i Posavec, 2013).



Legenda: 1. Šljunak, 2. Pijesak, 3. Prah, 4. Glina, 5. Lapor, 6. Rasjed, 7. Bušotina

Slika 2. Uzdužni litološki profil varaždinskog vodonosnika

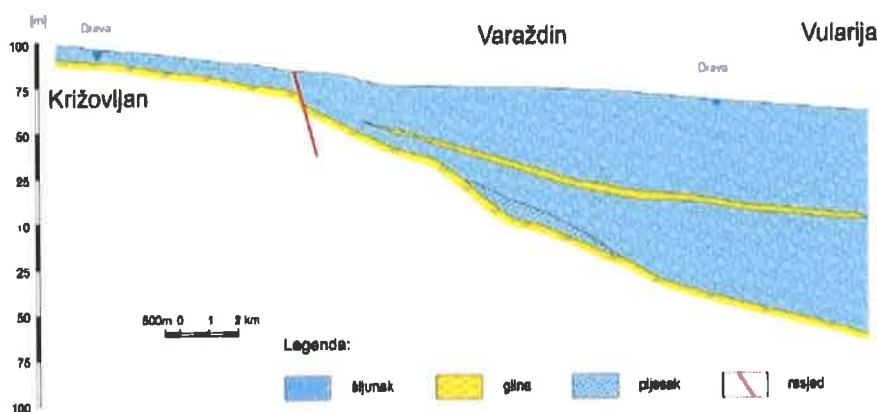
(Urumović et al., 2013)

Varaždinski vodonosnik čine šljunci i pijesci srednje i gornjopleistocenske te holocenske starosti. Njegova debljina je najmanja između Križovljana i Ormoža. Uz sjeverni rubni rasjed (kod Ormoškog mosta) debljina je 5 m, a prema jugu raste do preko 15 m uz južni rub. Prema istoku debljina se postupno povećava te se kod Svibovca (HE Varaždin) kreće oko 30 m, kod Nedelišća oko 40 m, sjeverozapadno od Varaždina iznosi oko 60 m, jugoistočno od HE Čakovec iznosi 112 m, a južno od Preloga 150 m. Zatim se debljina nizvodno od Svete Marije (HE Dubrava) smanjuje na 60 m, kod Legradskog praga iznosi

50 m, a uz sjeverni rub kod današnjeg korita Legrada iznosi 14 m dok je kod Đelekovca 12 m (Slika 2.) (Urumović et al., 1990).

2.2 HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Varaždinski vodonosnik čine dva vodonosna sloja odijeljena slabopropusnim slojem (Slika 3.). Dubina prvog vodonosnog sloja iznosi 27 m na crpilištu *Vinokovščak*, 42 metra na crpilištu *Varaždin* i 52 metra na crpilištu *Bartolovec*. Sloj se sastoji od šljunkovito-pjeskovitih naslaga s hidrauličkom vodljivošću od 300 m/dan. Slabopropusni međusloj je debljine 5 m, a zapadno i jugozapadno od crpilišta *Varaždin* isklinjava.

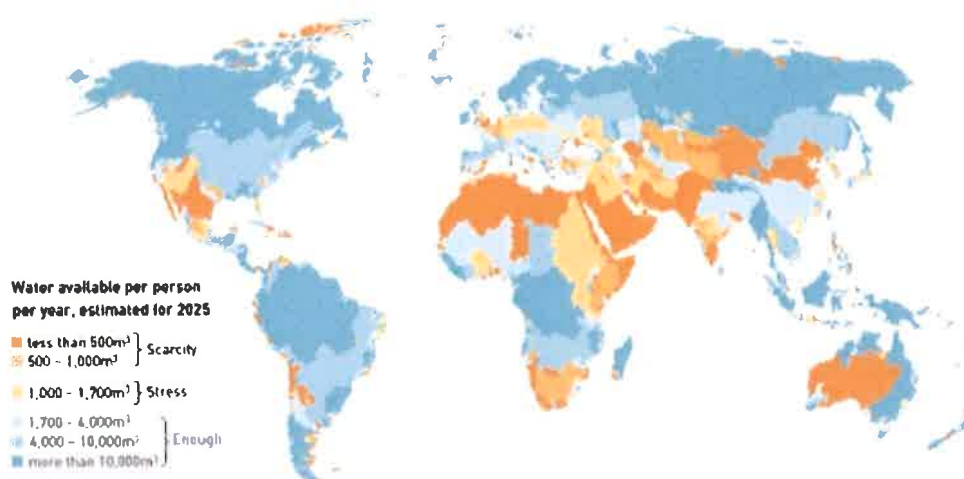


Slika 3. Shematski litološki profil duž varaždinskog vodonosnika (Križovljan-Varaždin-Vularija) (Urumović et al., 2015)

Sastoji se od gline i praha, a hidraulička vodljivost varira iznosi 90 m/dan. Dubina drugog vodonosnog sloja iznosi od 55 do 100 m na području *Bartolovca*, 46 do 64 m na području crpilišta *Varaždin* te 22 do 28 m na crpilištu *Vinokovščak*. Sastoji se od šljunaka i pijeska s više sitnozrnatog materijala. Hidraulička vodljivost na području crpilišta *Varaždin* iznosi 90 m/dan, 55 m/dan na području crpilišta *Vinokovščak* i 140 m/dan na području crpilišta *Bartolovec* (Bačani i Posavec, 2013). Krovina vodonosnika sastoji se od prašinasto-glinovito-pjeskovitih naslaga i humusa. Na području *Varaždina* debljina krovine iznosi od 0,0 do 1,6 m na crpilištu *Bartolovec* 0,3 do 2 m te na crpilištu *Vinokovščak* 0,0 do 2 metra.. Podinu vodonosnika čine glina, prah i lapor (Bačani i Posavec, 2013).

3. POTREBA ZA OČUVANJEM KVALITETE PODZEMNE VODE

Voda je osnovna životna potreba, nezamjenjivi prirodni resurs ograničenih količina i neravnomjerne prostorne i vremenske raspodjele (Slika 4). Gospodarski razvoj i urbanizacija dovele su do povećane potražnje za vodom, a posljedično tome i do ugrožavanja vodnih resursa i vodnog okoliša. Voda na taj način može postati ograničavajući čimbenik ljudskom napretku, potencijalno ugrožavanjem vodonosnika može doći do narušavanja ljudskog zdravlja i narušavanja održivosti ekološkog sustava .

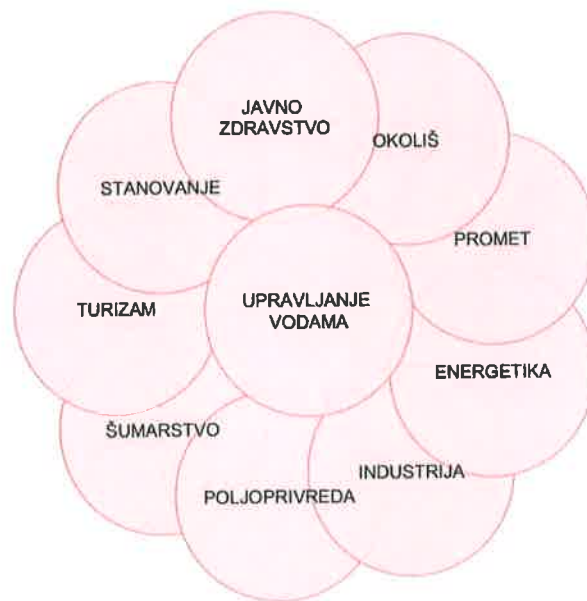


Slika 4. Neravnomjerna globalna raspodjela pitke vode

(<https://freshwaterwatch.thewaterhub.org/content/water-limited-resource>)

Hrvatska se ubraja u skupinu relativno bogatih zemalja u kojoj problemi s vodom i oko vode još nisu zaoštreni i vodni resursi zasad nisu ograničavajući čimbenik razvoja. Prema istraživanjima UNESCO-a iz 2003. godine, Hrvatska je po dostupnosti i bogatstvu vodenih izvora na vrlo visokom 5. mjestu u Europi, a na 42. u svijetu (Strategija upravljanja vodama, 2008). Bilance površinskih i podzemnih voda da Hrvatska raspolaže velikim nejednoliko raspoređenim prostornim i vremenskim raspoređenim količina podzemnih i površinskih voda. Zbog toga je nužno da institucije koje se bave upravljanjem vodama osmisle kvalitetna i usklađena rješenja, održiva za sve dijelove vodnog sustava i sve djelatnosti vezanog uz vodni sustav (Slika 5). Zbog toga se mnoge zemlje, kojima pripada i RH, opredjeljuju za koncept održivog razvoja koji je zasnovan na sljedećim načelima: racionalno upravljanje prirodnim resursima, očuvanje ekoloških sustava na kojima počiva ukupna kakvoća sadašnjih i budućih generacija uz očuvanje

biološke raznolikosti, otklanjanje nejednakosti koje ugrožavaju socijalnu koheziju, pravdu i sigurnost, ostvarenje predviđenog gospodarskog rasta.



Slika 5. Povezanost upravljanja vodama s društveno- gospodarskim okruženjem
(Strategija upravljanja vodama, 2008)

Što se tiče varaždinskog vodonosnika, poznato je da u zapadnom dijelu vodonosnika, gdje je debljina pokrovnih naslaga veoma tanka, pojačana poljoprivredna aktivnosti i postoji nekontrolirano odlaganje pilećeg izmeta s obližnjih peradarskih farmi, te zbog toga postoji povećanje koncentracije nitrata iznad MDK (Strategija upravljanja vodama, 2008). Onečišćenja iz industrijskih postrojenja, zbog nedovoljnih količina informacija nisu poznate.

Još je veoma bitno napomenuti i veliki broj odlagališta koja se nalazi na području cijelog dravskog sliva (Slika 6), a koja mogu znatno utjecati na kvalitetu podzemne vode, tj. mogu dovesti do znatnog narušavanja kvalitete.



Slika 6. Odlagališta otpada na području crnomorskog sliva, stanje 2009.

(Brkić et al., 2009)

Osim toga, treba i spomenuti problem s „Varaždinskim balama“, neuređenim odlagalištem otpada koje bi zbog nestručnog zbrinjavanja moglo utjecati na kvalitetu podzemne vode. Zbog svega navedenog, potrebno je uspostaviti čim bolji monitoring podzemne vode da bi se očuvala njena kvaliteta.

4. POKAZATELJI ODRŽIVOSTI PODZEMNE VODE

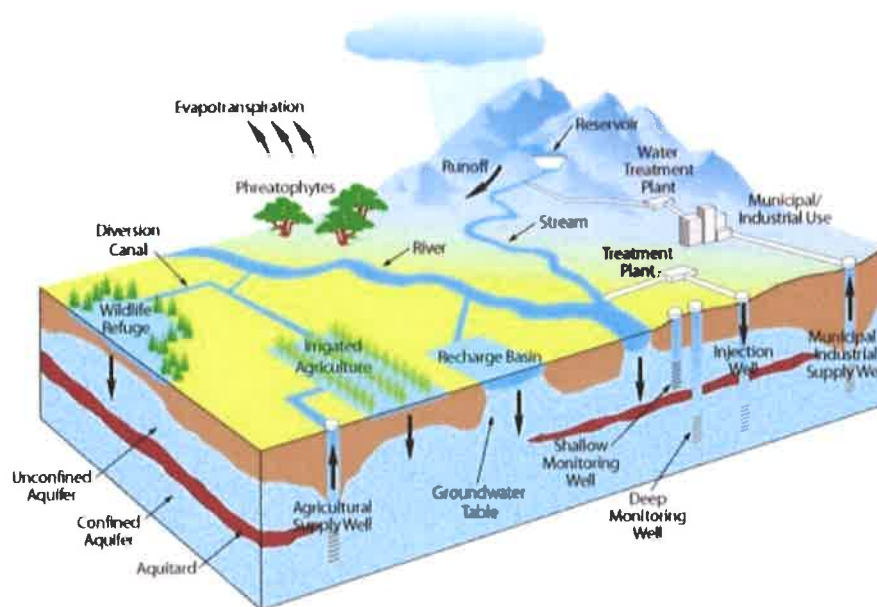
Pokušaji da se razviju pokazatelji održivosti podzemne vode počeli su se već razvijati 60-ih godina prošlog stoljeća. Pokušaji UNESCO-a, Međunarodni hidrološki program (IHP) i svjetski program procjene vode (WWAP) zajedno su prepoznali ulogu podzemne vode u ukupnoj procjeni svjetskih vodnih resursa (Vrba et al., 2007). Razvoj pokazatelja održivosti podzemnih voda preuzeo je UNESCO u sklopu Šeste Faze Međunarodnog hidrološkog programa, u sklopu teme 1: Globalne promjene i vodni resursi. U tome su im pomogli i Međunarodna agencija za atomsku energiju te Međunarodna udruga hidrogeologa. Te organizacije zajedno su oformile skupinu stručnjaka kojima je bio zadatak razviti skupinu pokazatelja kojima bi se očuvala održivost podzemnih voda.

Razvijena je skupina pokazatelja koji su se zasnivali na uravnoteženom znanstveno-političkom pristupu. Skup predloženih pokazatelja je zapravo kratka lista od preko 100 konceptualnih pokazatelja vezanih uz vodu. Glavna funkcija pokazatelja je usporedba vodonosnih područja u različitim regijama radi lakših donošenja politika vezanih uz održivo upravljanje vodama. Primjena ovih pokazatelja ukazuju na trenutno stanje, a i moguće buduće trendove stanja resursa (Vrba et al., 2007).

Tijekom provođenja ovih parametara u obzir je potrebno uzeti dva aspekta:

- podzemne vode moraju se promatrati u širem kontekstu hidrološkog ciklusa i vodonosnici kao značajna hidrološka komponenta slivova.
- podzemne vode trebaju se integrirati u širi aspekt gospodarskih čimbenika, društvene i ekološke dimenzije, posebno one koje se odnose njegovu uporabu i posljedice te uporabe

Podzemne vode su u prirodi ključni element u mnogim geološkim i hidrogeološkim procesima te geotehničkim čimbenicima koji uvjetuju ponašanje tla i stijena. Također, podzemna voda ima i značajnu ekološku ulogu, vodom prihranjuje izvore, riječne tokove te mnoga jezera i močvare. Zbog svoje čistoće, dostupnosti tijekom najvećih suša upotreba podzemnih voda u značajnom je porastu. Godišnje se na svjetskoj razini crpi između 600 i 700 km³, što ju uvrštava u svjetski najviše eksploatirani resurs (Zekster i Everett, 2004). Također, u mnogim dijelovima poljoprivreda, kao i sustavi navodnjavanja uvelike ovise o količinama podzemne vode. Osim toga, podzemne vode igraju i veliku ulogu za industrijske potrebe, gdje je najčešće voda najvažniji resurs (Slika 7).



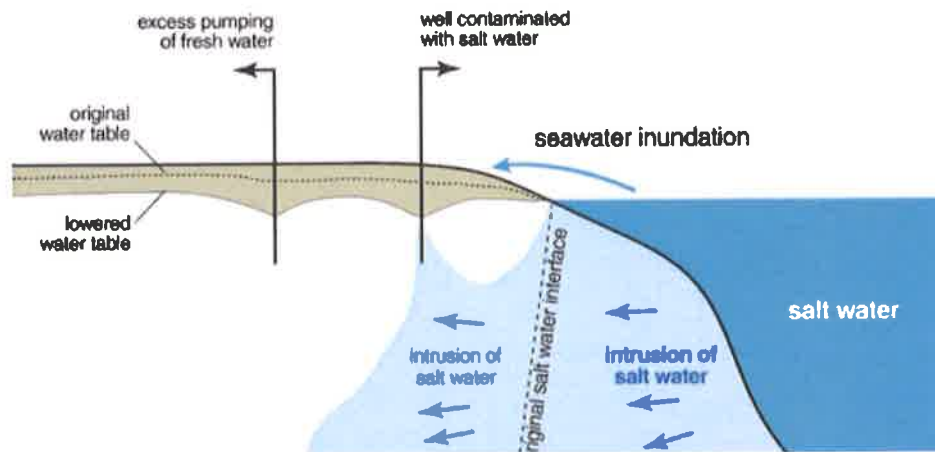
Slika 7. Uloga podzemne vode u održivom sustavu upravljanja vodama
 (http://ponce.sdsu.edu/groundwater_sustainable_yield.html)

Međutim, zbog lošeg upravljanja i zaštite resursa podzemne vode dolazi do prekomjerne eksploatacije i kontaminacije vodonosnika. To može utjecati na izvore, brzinu tečenja podzemne vode, može dovesti do smanjenja razine podzemne vode, nestanka vlažnih staništa (Slika 8.) i dovesti do slijeganja tla.



Slika 8. Nestanak vlažnih staništa
 (<http://www.natura-historica.hr/hr/novost/2.-veljace-svjetski-dan-vlaznih-stanista-130>)

Osim navedenih opasnosti, velike problema stvara i prodor slane vode duboko u vodonosnik (Slika 9). Povećanje koncentracije klorida u podzemnoj vodi može imati negativan utjecaj na poljoprivredno zemljište, ukoliko se zaslanjena voda koristi za navodnjavanje.



Slika 9 Prodor slane vode u vodonosnik

(Greene et al., 2016)

Navodnjavanje poljoprivrednih površina (Slika 10) stvara velike probleme jer se voda koja je korištena za navodnjavanje opet vraća u podzemlje, međutim sada je ona značajno onečišćena mnogim onečišćivalima poput pesticida, nitrata i drugih supstanci koje značajno mogu utjecati na kvalitetu podzemne vode.



Slika 10 Navodnjavanje poljoprivredne površine

(<https://www.123rf.com>)

Još uvijek ima slučajeva gdje se voda koja nije prošla tretman pročišćavanja direktno upušta u plitke vodonosnike čime može doći do značajnog onečišćenja (Slika 11).



Slika 11 Ispuštanje onečišćene vode u vodotok

(<https://sciencing.com/list-water-pollutants-6309497.html>)

Zbog svih tih primjera, zaštita podzemne vode prepoznata je kao značajni ekološki, zdravstveni, društveni i ekonomski problem u svijetu. Održivi razvoj vodnih resursa je integrirani, holistički proces. Uspješno rješenje problema usko je vezano s planiranjem, politikom, upravljanjem vezano za vode i pod utjecajem je ekonomskih i socijalnih ograničenja.

Glavni cilj zaštite podzemne vode je osigurati kvalitetu, kvantitetu, sigurnost i održivost podzemnih voda kao:

- strateški izvor za život (za piće i druge sanitarne svrhe) i gospodarstvo (npr. poljoprivreda, industrija),

Podzemne vode imaju također i nematerijalne vrijednosti povezane s etičkim, vjerskim i kulturnim tradicijama društva. Indikatori kvalitete podzemne vode, temeljeni na programima praćenja i ocjenjivanja, podržavaju održivo gospodarenje podzemnom vodom, daju sažete informacije o sadašnjem stanju i trendovima u sustavima podzemnih voda, pomažu u analizi opsega prirodnih procesa i utjecaja ljudi na sustav podzemnih voda u prostoru i vremenu te olakšavaju komunikaciju i sudjelovanje javnosti u planiranju zaštite podzemne vode i stvaranju politike vezanu za problematiku zaštite podzemne vode.

Uspostava konceptualnog modela ponašanja podzemnih voda ključna je početna faza u razvoju indikatora podzemnih voda (*UNESCO 2007*).

Preliminarna ispitivanja modela trebala bi se provoditi pomoću:

- izračuna s vodenom bilancom i jednostavne analitičke analize veze između komponenti sustava podzemne vode
- identificiranje ljudskih faktora koji utječu na sustav podzemne vode
- određivanje daljnjih zahtjeva za podacima

4.1 PREDLOŽENI INDIKATORI KVALITETE PODZEMNE VODE

U predloženom popisu pokazatelja (UNESCO, 2007) svaki pokazatelj opisuje specifičan aspekt sustava i/ili procesa podzemnih voda i temelji se na agregaciji odabranih varijabli, kako kvalitativnih tako i kvantitativnih.

Indikatori se mogu kombinirati u indeks koji osigurava kompaktnu i ciljanu informaciju za planiranje, politiku i kvalitetno upravljanje podzemnim vodama. Indeks je bezdimenzionalna veličina te se različiti sustavi mogu primijeniti na njegovu konstrukciju. Predloženi pokazatelji podzemne vode temeljeni su na mjerljivim i primjetljivim podacima i pružaju informacije o kvaliteti i kvantiteti podzemne vode (trenutno stanje i buduće trendove) i fokusirani su na društvene (dostupnost, iskoristivost i korištenje podzemne vode), ekonomske (zahvaćanje, zaštita i tretmani pročišćavanja) i ekološke (ranjivost, iscrpljivanje i onečišćavanje) aspekte politike i upravljanje resursima podzemne vode.

Pokazatelji podzemne vode mogu se integrirati u različite pokazatelje vezane za okoliš i ljudske aktivnost povezane s korištenjem voda (industrija, poljoprivreda, rudarstvo) kao što je predloženi pokazatelj koji izražava postotak stanovništva zemlje koja je ovisna o korištenju podzemne vode u svrhu navodnjavanja poljoprivrednih površina. Predloženo je da se primjenjuje 10 pokazatelja na globalnoj, nacionalnoj ili na lokalnoj razini (razina vodonosnika). U nastavku su navedeni i objašnjeni predloženi pokazatelji.

4.1.1 Količina obnovljivih resursa podzemne vode po stanovniku

Ovaj pokazatelj izražava ukupnu godišnju količinu obnovljivih resursa podzemne vode po stanovniku na nacionalnoj ili regionalnoj razini. Cilj ovog pokazatelja je procijeniti količinu pitke vode, vode za poljoprivredu (navodnjavanje), industriju i ekosustav

određenog područja. Količina dostupne podzemne vode u odnosu s brojem ljudi koji ju koristi važan je čimbenik za društveni i gospodarski razvoj zemlje. Ovaj pokazatelj definira se kao ukupna količina podzemne vode, ne uzimajući u obzir njenu kvalitetu i isključujući bočate i slane vode. Njezin izvor su oborine, koje su neravnomjerno raspoređene po regijama svijeta. Ovisno o geološkom sastavu tla i reljefu, različite količine oborina mogu se infiltrirati u tlo kako bi pridonijelo ponovnom punjenju vodonosnika.

Obnovljivi izvori podzemne vode

Da bi se izračunala ukupna količina podzemne vode neke države/regije, potrebno je poznavati sljedećih pet veličina:

- količina padalina unutar zemljopisnih granica vodonosnika/države
- ukupni volumen podzemne vode u vodonosniku koji dolazi iz susjednih zemalja i odlazi u susjedne zemlje,
- infiltracija iz površinskih vodnih tijela u podzemne vode,
- prihranjivanje podzemne vode površinskim vodama,
- umjetno prihranjivanje podzemne vode, ako je ono značajan faktor.

Način na koji se izračuna ukupna količina obnovljivih resursa podzemne vode je da se prvo zbroje ukupna količina padalina na promatranom području i količina površinskih voda koja se infiltrira u podzemlje; od te sume oduzme se količina vode koja se iz podzemlja gubi zbog prihrane površinskih vodnih tijela (npr. močvare), nakon toga dodaju se podaci o dotjecanju u vodonosnik, oduzmu podaci o otjecanju, te na kraju doda umjetno prihranjivanje podzemne vode ako je ono značajan faktor.

$$ORP = (KP \cdot IPV) - PPVP + D - O + UP \text{ (UNESCO, 2007)}$$

- **ORPV**; obnovljivi resursi podzemne vode
- **KP**; količina padalina
- **IPV**; infiltracija podzemnih voda
- **PPVP**; prihrana podzemne vode površinskim vodnim oblicima
- **D**; dotjecanje
- **O**; otjecanje
- **UP**; umjetna prihrana

Također treba voditi računa da se razlika između procjeđivanja i baznog protoka ne duplicira u izračuna resursa površinskih voda. Podaci o dotjecanju i otjecanju iz vodonosnika su rijetko dostupni i teško ih je prikupiti te osim toga moraju se dobro poznavati svojstva vodonosnika.

Zbog toga je veoma važna suradnja više država, jer izmjena podataka može znatno pomoći u procjeni parametra. Recimo, ako uzvodna država ima podatke o otjecanju iz vodonosnika, ona može te podatke proslijediti nizvodnoj državi. Takvi podaci su korisni jer mogu pomoći u procjeni prihrane vodonosnika nizvodne zemlje.

Kako bi se procijenilo prihranjivanje vodonosnika, treba odabrati i primijeniti odgovarajuću metodologiju. Predloženo je nekoliko metoda za određivanje prihranjivanja vodonosnika u suhim/polusuhim regijama: direktna mjerenja (lizimetri), water balance metode, uključujući hidrografske metode, Darcyevu metodu, Soil Water Balance metoda.

Stanovništvo

Povećanje broja stanovnika u kombinaciji s gospodarskim i društvenim razvojem smanjuje količinu vode dostupnu po glavi stanovnika bilo regionalno, bilo globalno. Demografske varijable koje utječu na ekološke sustave uključuju povećanje broja stanovnika i stopu promjene tokom vremena (stope rođenja i smrti), dobnu i spolnu strukturu stanovništva, raspodjelu kućanstava prema veličini i sastavu, prostorna raspodjela (odnos ruralnog i urbanog stanovništva), migracije i razina obrazovanja. Veličina populacije i druge demografske varijable utječu na korištenje hrane, čistu vodu, energiju, transport. Interakcije između stanovništva i njihovog utjecaja na okoliš složena su pitanja, ali se zbog jednostavnosti za definiranje ovog pokazatelja koristi samo ukupan broj stanovnika.

U relativnom smislu, što je veća vrijednost ovog pokazatelja, to je bolja mogućnost korištenja obnovljivih izvora podzemne vode za potrebe razvoja. Ne postoje specifični standardi iz kojih bi se preporučila „dobra“ vrijednost za ovaj pokazatelj. Najveće ograničenje je postojanje pouzdanih podataka raspoloživim resursima podzemnih voda na nacionalnom teritoriju ili drugim prirodnim ili administrativnim jedinicama (UNESCO, 2007). Klimatske promjene i promjene stanovništva mogu imati veoma veliki

utjecaj na ovaj pokazatelj. Zbog toga je ovaj pokazatelj vrlo bitan prilikom donošenja politika vezanih uz zaštitu podzemne vode.

4.1.2 Ukupno crpljenje podzemne vode u odnosu na prihranjivanje vodonosnika

Pritok podzemnim vodama može se u širem smislu definirati kao „dodavanje vode u podzemni rezervoar“. Za određivanje prihranjivanja vodonosnika primijenjena je prirodna i inducirana dopuna protoka kroz nezasićenu zonu. Glavni izvori prihranjivanja vodonosnika su padaline, površinska vodna tijela, gubici prilikom navodnjavanja, gubici iz vodovodnih i kanalizacijskih sustava.

Razvijene su brojne metode procjene i izračuna pomoću kojih dolazimo do podatka o količini vode u vodonosniku koje odgovaraju različitim hidrološkim, hidrogeološkim i klimatskim uvjetima. Prilikom izračuna prihranjivanja vodonosnika uvijek treba uzeti u obzir i nesigurnost izračuna, posebno u odnosu na varijabilnost punjenja u prostoru i vremenu i učinak vrste tla na njegovo prihranjivanje. Međutim, primjenom određenih metoda moguće je dobiti informacije o najpouzdanijem i najsnažnijem izvoru napajanja te primijeniti te informacije na nacionalnoj ili lokalnoj razini. Varijabilnost punjenja u različitim slivovima obrađena je na karti resursa podzemnih voda, koja je rezultat zajedničkog projekta UNESCO i BGR-a te nekoliko drugih organizacija.

U ukupno crpljenje podzemnih voda spada crpljenje pomoću zdenaca, bušotina izvora i drugih načina u svrhu javne vodoopskrbe ili nekih drugih potreba. Podaci o crpljenju podzemnih voda u većini zemalja javno su dostupni jer je zakonom regulirano da ti podaci budu javno dostupni, dok se podaci o crpljenju iz bunara koji se koriste u domaćinstvima temelje na kvalitetnoj procijeni. Gubici podzemne vode iz vodonosnika prirodnim putevima, npr. izvorima, moraju biti procijenjeni ili izračunati, u onim slučajevima gdje su dostupni relevantni podaci. Ukupno crpljenje podzemne vode računa se iz podataka o ukupno procijenjenom zahvaćanju vode. Nedostatak i nedostupnost podataka utječu na definiciju ovog indeksa na globalnoj razini. Stoga su predložena samo tri scenarija za interpretaciju vrijednosti pokazatelja i davanje značaja procijenjenim vrijednostima (UNESCO, 2007)

To su sljedeći scenariji:

- crpljenje manje od prinosa vodonosnika, tj. manje od 90 %
- crpljenje jednako prinosa vodonosnika, tj. jednako 100 %
- crpljenje veće prinosa vodonosnika, tj. veće od 100 %

Veoma je važno odrediti prihranjivanje vodonosnika što točnije. Pozornost treba obratiti na vremensku skalu koja se koristi za izračunavanje napunjenosti vodonosnika, posebno za sušne i polusušne regije, gdje obilne padaline mogu biti puno značajnije od slabijih, ali redovitih padalina. Mogu postojati vodonosnici na regionalnoj i lokalnoj razini koji su pretjerano crpljeni. Preporučeno je dobro razmotriti sve čimbenike koji mogu utjecati na primjenu ovog pokazatelja održivosti podzemne vode.

4.1.3 Ukupno crpljenje podzemne vode/ dostupni resursi podzemne

Resursi podzemne vode koji se mogu eksploatirati je ukupna količina vode koja se može crpiti na godišnjoj razini iz određenog vodonosnika pod trenutnim ekonomskim, tehnološkim i institucionalnim ograničenjima i trenutnim stanjem okoliša.

U mnogim zemljama postoji namjera da se kvantificira količina vode koja se može iskoristiti (crpiti) iz velikih vodonosnika. Izračun tih količina temelji se na hidrauličkim i hidrološkim proračunima, i ekološkim ograničenjima. Međutim, potrebno je pratiti i kvalitativno stanje podzemne vode, zato što promjena kvalitete podzemne vode može utjecati i na njenu iskoristivost.

Iako je ključno unificirati definiciju iskoristivih podzemnih voda koje se mogu crpiti, ta definicija može varirati od zemlje do zemlje. Kriteriji za održivo iskorištavanje podzemne vode moraju se odabrati da bi se sačuvala dobra kvaliteta i kvantiteta podzemne vode.

Na razini zemlje predloženi pokazatelj razlikovao bi tri osnova scenarija :

- Scenarij 1: crpljenje je manje od ukupne dostupne količine podzemne vode (manje od 90 % zaliha se crpi)
- Scenarij 2: crpljenje je jednako ukupnoj dostupnoj količini podzemne vode (100 % zaliha se crpi)
- Scenarij 3: crpljenje je veće od ukupne dostupne količine podzemne vode (više od 100 % zaliha se crpi)

Prvi scenarij opisuje državu s nerazvijenim sustavom za zahvaćanje podzemne vode, tj. sustavom za njeno crpljenje iz vodonosnika. Taj scenarij pokazuje da država još uvijek velikih mogućnosti u smislu unapređenja vodoopskrbnog sustava te povećanja korištenja vode u svrhu navodnjavanja. U drugi scenarij spadale bi države koje imaju visoko razvijen vodoopskrbni sustav, sustave navodnjavanja, ali također imaju i dobro razumijevanje i uvažavanje aspekata održivosti podzemnih voda. Treći scenarij opisuje državu s prekomjerno iskorištenim resursima podzemne vode, a u takvoj državi nužno bi bilo provesti bolje upravljanje tim resursom. (UNESCO, 2007).

4.1.4 Podzemne vode kao postotak korištenja vode za piće na nacionalnoj razini

Podzemne vode su važan izvor pitke vode u mnogim zemljama te su najpouzdaniji i najsigurniji izvor vode za piće u sušnim i polusušnim regijama, kao i na otocima. Gotova polovica svjetskog stanovništva ovisi o količinama podzemne vode (UNESCO, 2007). Bolje razumijevanje sustava podzemnih voda i dinamike podzemnih voda na temelju istraživanja, monitoringa i procijene dovelo je do povećanja korištenja podzemnih voda u mnogim državama svijeta.

U većini država jedino se podzemna voda koristi za vodoopskrbu stanovništva. Podaci za formuliranje pokazatelja koji izražavaju odnos između podzemnih i površinskih voda koji se koriste za opskrbu pitkom vodom dostupni su u mnogim zemljama. Indikator često ukazuje na ovisnost zemalja o korištenju podzemnih voda. Korištenje vode za piće temelji se na dozvolama i kontroli koju provode državne i regionalne vlasti, a provode ju registrirane tvrtke koje se bavi vodoopskrbom. Podaci o korištenju podzemne vode obično se pohranjuju u nacionalnim, regionalnim i općinskim bazama podataka. Podaci o korištenju podzemne vode iz zdenaca koji se koriste u domaćinstvima nisu registrirani, ali se temelje na kvalitetnoj procijeni.

4.1.5 Sniženje razine podzemne vode

Bilo kakvo korištenje podzemne vode posljedično dovodi do snižavanja razine podzemne vode te samim time utječe i na „skladištenje“ podzemne vode u podzemlju. Ključno pitanje je, koliko podzemne vode se može iscrpiti iz vodonosnika, a da se pritom ne

uzrokuju nepovratni utjecaji na količinu i kvalitetu podzemnih voda, ekosustave ili površinsku geotehničku stabilnost.

Snižena razina podzemne vode mogu utjecati na povećanje cijena troškova crpljenja, smanjenja količine vode u zdenacima te čak stvoriti uvjete u kojima je korištenje podzemne vode ekonomski i socijalno neisplativo. Zbog svega toga, potrebno je imati pokazatelj kojim se može izraziti prekomjerno crpljenje podzemne vode. Međutim, opseg smanjenja razine podzemne vode mora biti oprezno procijenjeno jer je razina podzemne vode podložna prirodnim i sezonskim promjenama.

Najveći problem kod vodonosnika iz kojih se eksploatira podzemna voda je razlikovanje trajnih i regionalnih iscrpljenosti vodonosnika od privremenih i lokalnih smetnji uzrokovanih blizinom zdenaca. Zbog svih tih ograničenja, pouzdani pokazatelj smanjenja razine podzemne vode mora uzeti u obzir koliko je opsežan ili koliko je potencijalnih problema identificirano za određeno područje ili vodonosnik.

Mogući problem sa smanjenjem razine podzemne vode može se identificirati kada se regionalni pad razine podzemne vode povezuje s nekim od ovih problema:

- područja s velikom gustoćom zdenaca – veliki pad razine podzemne vezan povezan je s povećanjem troškova crpljenja i smanjenom količinom vode na izvorima
- promjene u tečenju podzemne vode – u mnogim područjima, rijeke i ostali površinski vodni oblici dobivaju veliku količinu podzemne vode iz baznog protoka podzemnih voda; drastično smanjenje brzina tečenja podzemne vode može biti povezano s prevelikim crpljenjem podzemne vode
- Promjena kvalitete podzemne vode – iako fizikalno kemijska svojstva vode tijekom regularne eksploatacije mogu varirati u cijelom vodonosniku, ne treba očekivati značajne kemijske promjene (uključujući stabilan sastav izotopa); promjene u starosti i podrijetlu podzemne vode na određenim mjestima u vodonosniku može biti dobar pokazatelj.
- slijeganje tla – na nekim lokacijama, crpljenje podzemne vode iz debelih sedimentnih naslaga može dovesti do znatnog slijeganja tla koji se može koristiti kao indirektni pokazatelj neodržive eksploatacije podzemne vode.

Indikator potrošnje podzemne vode baziran je na sljedećoj relaciji (UNESCO, 2007) *?????*:

$$\frac{\sum \text{područja s problemom prekomjernog crpljenja}}{\text{promatrano područje}} \times 100$$

4.1.6 Ukupna količina neobnovljivih izvora podzemne vode/godišnje zahvaćanje

Pokazatelj se definira kao razmjer sljedećih varijabli (referenca??):

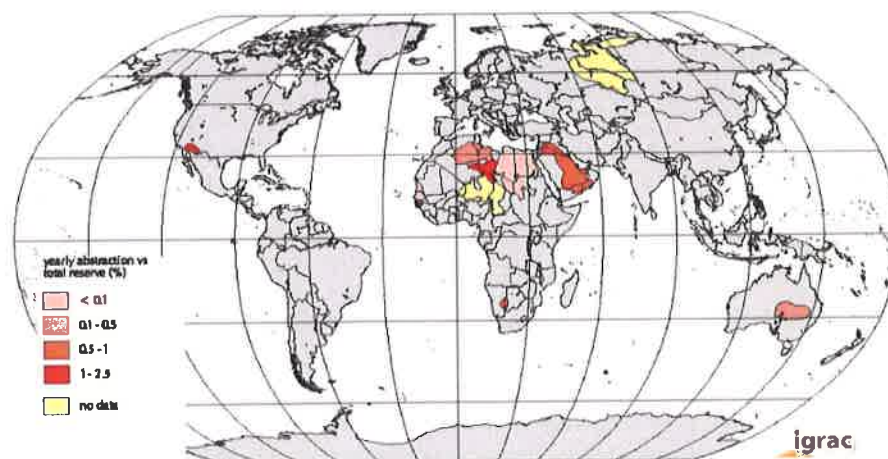
$$\frac{\sum \text{Ukupnih količina neobnovljivih izvora podzemne vode}}{\text{godišnje zahvaćanje neobnovljivih izvora podzemne vode}} \times 100$$

Neobnovljivi resurs podzemne vode jednak je konačnom vodnom resursu koji se ne napaja ili se napaja u neznatnoj količini. Ukupni neobnovljivi resurs podzemne vode koji se može eksploatirati je izračunata količina podzemne vode koja se može izvaditi iz određenog vodonosnika u trenutnim socijalno ekonomskim i ekološkim uvjetima. Ukupni godišnji zahvat podzemne vode predstavlja crpljenje vode iz određenog vodonosnika za potrebe vodoopskrbe, poljoprivrede, industrije ili druge potrebe. Godišnje crpljenje treba izračunati kao srednju vrijednost u značajnom rasponu godina. Statistika se može razlikovati za različite zemlje, ali bi trebala odražavati prosjek nad promatrani ekstremima. Procjena ukupnog vijeka trajanja neobnovljivog izvora podzemne vode može se procijeniti iz trenutačnog stanja, ali treba uzeti u obzir i buduće planove održivog razvoja vodonosnika.

Dva glavna kriterija koji definiraju neobnovljive izvore podzemne vode su:

- srednja godišnja količina napajanje mora biti manja 0,1 % uskladištenog volumena
- eksploatacija vodonosnika ne bi trebala imati utjecaj na susjedne obnovljive sustave.

Najveći svjetski neobnovljivi sustavi podzemnih voda (slika 12) nalaze se u sušnim područjima sjeverne Afrike, Arapskog poluotoka i Australije, kao i pod permafrostom u zapadnom Sibiru (UNESCO, 2007).



Slika 12. Neobnovljivi izvori podzemne vode na globalnoj razini
(UNESCO, 2007)

4.1.7 Prirodna ranjivost podzemnih voda

Ranjivost podzemne vode je relativno, bezdimenzionalno i nemjerljivo svojstvo podzemne vode. Koncept ranjivosti podzemne vode je baziran na pretpostavci da fizička okolina može pružiti određeni stupanj zaštite podzemne vode. Zbog toga je ranjivost podzemne vode prirodno svojstvo podzemnih sustava koje ovisi o prirodnim i ljudskim utjecajima na takve sisteme. U ovom slučaju prirodna ranjivost definira se isključivo kao funkcija hidrogeoloških čimbenika- obilježja vodonosnika, tla i nezasićenog geološkog materijala. Specifična ranjivost sustava podzemnih voda, uglavnom procijenjena s obzirom na rizik od izlaganja sustava onečišćivalima, ne razmatra se u predloženom indeksu pokazatelja. Vrijeme putovanja onečišćivala i njihova svojstva, kao i procesi njihova razrjeđenja u vodonosniku, najvažnije su komponente u procijeni specifične ranjivosti podzemnih voda.

Za procjenu ranjivosti podzemne vode uobičajeno se koriste sljedeće varijable: neto prihranjivanje podzemne voda, svojstva tla, litologija i debljina nezasićenih zona, razina podzemne vode i hidraulička vodljivost vode. Često se primjenjuje i topografija (nagib zemljišta). Metode procijene ranjivosti podzemne vode obično se koriste kako bi se izrazio odnos između varijabli i kako bi se odrazio njihov značaj za procjenu ranjivosti.

Postoji više metoda za procjenu ranjivosti podzemne vode. DRASTIC metoda koja je razvijena od Američke agencije za zaštitu okoliša naširoko se koristi za procjenu ranjivosti podzemne vode (Aller et al., 1985). SINTACS metoda razvijena je u Italiji, a

izvedena je iz DRASTIC sustava (Civita, 2004). Automatizirana je, kako za ulaznu razinu (kvadrat rešetke), tako i za izlaz (kartiranje i numeričke tablice). Ulazni podaci mogu biti kodirani prema stvarnoj situaciji u istraživanom području. Empirijski sustav GOD (Foster, 1987) za brzu procjenu ranjivosti vodonosnika.

Ranjivost je prema GOD metodi klasificirana u pet klasa: od sigurnih vodonosnika (dubokih zatvorenih vodonosnika) do ekstremnih (iznimno plitkih vodonosnika). Međutim, za uspješnu primjenu takvih metoda potrebno je imati određene podatke koji su u mnogim slučajevima nedostupni zbog nepostojanja monitoringa tih parametara. Zbog toga se procjena ranjivosti podzemne vode često temelji jednostavnim podacima koji se temelje na geološkim i hidrogeološkim podacima.

Zbog složenosti DRASTIC i SINTACS metoda, i nedostupnosti podataka, preporučuje se korištenje pojednostavljene metode procijene ranjivosti, koja vodonosnike dijeli u 5 klasa ranjivosti (Vrba et al., 2007).

To su sljedeće klase:

- Visoko ranjivi vodonosnici – tu spadaju vodonosnici čija je nesaturirana zona sastavljena od pijeska, šljunka, pješčenjaka, vapnenca; debljine manje od 10 m, kao i dublji vodonosnici koji su međusobno povezani s ranjivim vodonosnicima, vodonosnici povezani s površinskim vodama, vapnenački vodonosnici te dio priobalnih vodonosnika koji su pod utjecajem morske vode.
- Priobalni vodonosnici- ranjivost im ovisi o količini eksploatirane vode, te dubini eksploatacijskih zdenaca, kao i njihovoj udaljenost od obale
- Umjereni ranjivi vodonosnici – dublji vodonosnici ili poluotvoreni vodonosnici koji su prekriveni manje propusnim tlom (pjeskovitom i muljevitom ilovačom, ilovačom, glinom) čija je debljina nesaturirane zone između 10 i 30 m.
- Slabo ranjivi vodonosnici-duboki zatvoreni vodonosnici koji su prekriveni nepropusnim slojem tla (glinena ilovača, neagregirana glina), čija debljina nesaturirane zone iznosi više od 30 m.
- Zanimarivi vodonosnici- duboki vodonosnici koji trenutno nisu dio hidrološkog ciklusa, dubina nezasićene zone prelazi stotinu metara

Indikator ranjivosti podzemnih voda temelji se na sljedećem odnosu:

$$\frac{\sum \text{područja s različitim klasama ranjivosti podzemne vode}}{\text{ukupno istraživano područje}} \times 100 \%$$

Procjena ranjivosti podzemnih voda i formiranje pokazatelja ranjivosti podzemne vode podupiru politiku zaštite podzemne davanjem smjernica, i tako održivom gospodarenju podzemnim vodama. Pokazatelji ranjivosti podzemnih voda također stvaraju svijest javnosti o zaštiti podzemnih voda jer je izraz „ranjivost“ vrlo eksplicitan i lako razumljiv od nestručnjaka.

4.1.8 Kvaliteta podzemnih voda

Pokazatelji kvalitete podzemne vode mogu dati vrijedne informacije o sadašnjem stanju medija i trendovima u kvaliteti, i mogu pomoći u analizi i vizualizaciji problema u prostoru i vremenu. Pokazatelj se može razviti i primijeniti s obzirom na standard kvalitete vode za piće, preradu hrane, potrebama za navodnjavanjem, industrijskim korištenjem, kao i druge svrhe. Također, može se osmisliti i za posebne okolnosti prirodne kontaminacije, uglavnom povezane s anorganskim vrstama. Ovaj pokazatelj također omogućava identifikaciju i predviđanje ishoda procesa koji dovode do onečišćenja podzemnih voda. Iako je pokazatelj kvalitete podzemne vode veoma bitan alat za analizu podzemnih voda, potrebno je ukazati i na njegove nedostatke na regionalnoj razini. U redovitom monitoringu podzemnih voda, podaci se dobivaju sakupljanjem uzoraka na privatnim i javnim bušotinama, vodospremama, vodotornjima. Međutim, podaci o sirovoj vodi mogu se teško dobiti iz vodovoda zbog prethodne obrade, a još rjeđe iz posebno dizajnirane mreže monitoringa. To dovodi do otežane reprezentacije podataka na regionalnoj, a posljedično tome i državnoj razini.

Neki od problema koji se javljaju prilikom uzimanja uzoraka su (Vrba et al., 2007):

- zdenci koji se koriste za zahvaćanje vode za vodoopskrbu često nisu dobar izbor jer će uzorak biti mješavina vode s različitih dubina, moguće i iz različitog vodonosnika, što dovodi do miješanja fizikalnih i kemijskih svojstava uzorka, a time i nereprezentativnosti uzorka
- nepravilna raspodjela bunara na nekom području otežava utvrđivanje kakvoće podzemne vode i onečišćenje cijelog vodonosnika, daje uvid samo za relativno malo područje

- loša gradnja i neadekvatno održavanje zdenaca može uzrokovati lokalno onečišćenje koje ne mora nužno biti povezano s većom kontaminacijom vodonosnika.

Uzorkovanje podzemne vode trebalo bi provoditi na dijelovima vodonosnika gdje geološki i hidrokemijski pokazatelji sugeriraju da postoji rizik od onečišćenja.

Predloženi pokazatelj za probleme s kvalitetom koji se pojavljuju u prirodi definiran je odnosom:

$$\frac{\sum \text{područja s prirodnim problemom s kvalitetom podzemnih voda}}{\text{ukupno promatrano područje}} \times 100 \%$$

Prema smjernicama WHO (Protecting Groundwater for Health, 2006), spojevi koji su rizični ako se nalaze u povećanim koncentracija u podzemnoj vodi su arsen, željezo, klorid (salinitet) i fluorid, a rjeđe magnezij, sulfat, mangan, selenij i drugi anorganski spojevi. U zemljama gdje je uspostavljena mreža monitoringa podzemne vode, moguće je identificirati antropogeni utjecaj na kvalitetu podzemne vode povezan s poljoprivrednom aktivnošću, urbanim sanitarnim vodama koji mogu utjecati na pogoršanje kvalitete podzemne vode praćenjem nekih pokazatelja poput električne provodljivosti, nitrata i klorida.

Ako financijska i tehnička situacija to dopušta, poželjno je pratiti i skupinu izotopa ^{18}O , ^2H , ^3H , ^{14}C , ^{15}N , jer bi se na taj način lakše pratio prirodni i ljudski utjecaj na kvalitetu podzemne vode. (UNESCO, 2007).

Najvažniji parametri nad koje je potrebno preatiti su koncentracije nitrata i salinitet, zato jer povećavanje koncentracije tih parametara može ukazivati na to su ostali kontaminanti poput hlapljivih organskih spojevi, metali i ostali anorganski spojevi također povišeni. Kemijske analize navedenih pokazatelja trebale bi se provoditi kvartalno ili najmanje dvaput godišnje. Analiza izotopa trebala bi se provesti jedanput godišnje, dok se zbog jednostavnosti električna provodljivost može analizirati svakodnevno. Sve veće koncentracije gore navedenih parametara moraju biti potkrijepljene statističkim dokazima, na temelju podataka iz duljeg vremenskog razdoblja, kako bi se moglo ukazati na problem.

Predloženi indikator za kvalitetu podzemne vode pod ljudskim faktorom onečišćenja opisao bi se relacijom:

$$\frac{\sum \text{područja s povećanom koncentracijom specifičnog parametra}}{\text{ukupno istraživano područje}} \times 100 \%$$

Ukupna površina na kojoj je primijećen porast koncentracije specifične varijable je ukupan zbroj površina gdje su primijećeni porasti nitrata, klorida ili električne provodljivosti tijekom promatranog razdoblja. Kada je samo jedan od navedenih spojeva povišen na određenom području, svoje mišljenje trebao bi dati hidrogeolog koji je zadužen za područje gdje je primijećeno povišenje koncentracije.

4.1.9 Obrada podzemne vode

Ovaj pokazatelj ukazuje na to može li se podzemna voda koristiti za vodoopskrbnu svrhu ili je upotrebljiva za neke druge svrhe. Sljedeći procesi obrade podzemne vode smatraju se jednostavnijima: razrjeđivanje, aeracija, filtracija, dezinfekcija, uklanjanje željeza i mangana. Tehnički zahtjevnije metode obrade podzemne vode uključujuću desalinizaciju, reversnu osmozu ili membransko filtriranje za uklanjanje fluora ili arsena. Kompleksnija obrada povećava troškove proizvodnje i održavanja mreže te postavlja određene tehničke zahtjeve. Informacije o tretmanima koji se koriste za obradu vode mogu se dobiti iz javnih vodovoda, a u idealnom slučaju iz statističkih baza regije ili države.

Klasifikacijom se pokazatelj dijeli na tri kategorije ovisno o opsegu obrade podzemne vode:

- pogodne za specifičnu upotrebu bez tretmana (odgovarajuća kvaliteta)
- potreban jednostavan tretman obrade podzemne vode
- potreban tehnološki zahtjevan tretman

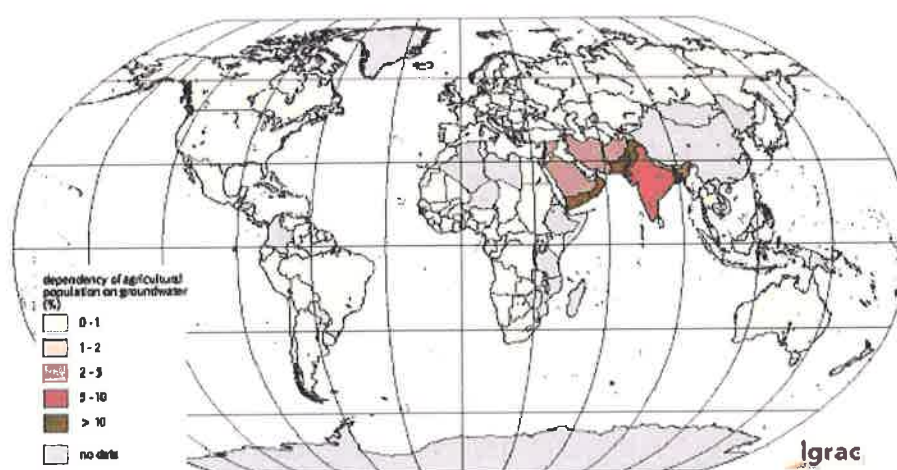
Različite kakvoće i koncentracije određenih parametara koriste sa smjernicama WHO za pitku vodu i drugim standardnima relevantnima za specifičnu upotrebu podzemne vode. Čak i bez informacija o kemijskom sastavu vode, sami tretmani obrade mogu davati naznake o kvaliteti podzemne vode.

4.1.10 Ovisnost poljoprivrede o podzemnoj vodi

Parametar je opisan relacijom:

$$\frac{\sum \text{broj poljoprivrednika koji koristi podzemnu vodu za navodnjavanje}}{\text{ukupan broj stanovnika}}$$

Proteklih 50 godina u svijetu su uložena mnoga javna i donatorska sredstva u izgradnju velike infrastrukturne mreže za navodnjavanje temeljene na površinskim vodama (UNESCO, 2007).



Slika 13. Ovisnost poljoprivrednika o podzemnoj vodi u postocima
(UNESCO, 2007)

Navodnjavanje podzemnom vodom pomaže pravednom socijalnom i ekonomskom ruralnom razvoju u mnogim zemljama, posebno u Aziji, ali i u dijelovima Afrike i Latinske Amerike. U jako naseljenim područjima južne Azije više od polovice populacije ostvaruje izravnu ili neizravnu potporu za život od navodnjavanja podzemnim vodama (Vrba et al., 2007) .

Predloženi pokazatelj osmišljen je tako da označava važnost podzemnih voda u ruralnim područjima u svrhu poboljšanja životnih uvjeta stanovništva toga područja. U njemu se navodi postotak stanovništva koji direktno ovisi o podzemnim vodama.

Sljedeći dodatni indikatori također trebaju biti ustanovljeni:

- broj poljoprivrednika koji koristi podzemne vode za poljoprivredne aktivnosti/
broj ljudi koji se bavi poljoprivredom i stočarstvom;

- broj ljudi koji se bavi poljoprivredom i stočarstvom/ broj stanovnika zemlje.

5. PRIMJENA PARAMETARA ODRŽIVOSTI PODZEMNIH VODA NA PRIMJERU VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

Primjena parametara održivosti podzemne vode veoma je bitna jer pomaže u kreiranju politike vezane uz upravljanje i zaštitu voda, osiguranje potrebne kvalitete pitke vode, kao i potrebnih količina vode za sadašnje i buduće industrijske i poljoprivredne potrebe. Iako su UNESCOVI parametri održivosti prvenstveno namijenjeni za primjenu u sušnim i polusušnim područjima te na nacionalnoj i regionalnoj razini, njihova primjena može biti dobra i na manjim površinskim razinama, poput varaždinskog vodonosnika.

Voda se iz varaždinskog vodonosnika crpi se s tri vodocrpilišta, Varaždin, Vinokovščak i Bartolovec. Trenutno se vodocrpilište Varaždin ne koristi zbog povećane koncentracije nitrata koja prelazi maksimalno dopuštenu koncentraciju od 50 mg/L.

U nastavku je prikazana primjena dostupnih parametara održivosti podzemne vode na primjeru varaždinskog vodonosnika.

5.1 OBNOVLJIVI IZVORI PODZEMNE VODE PO STANOVNIKU NA PODRUČJU VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA (M³/GOD)

Ovaj pokazatelj ukazuje na to koja je obnovljiva količina podzemne vode dostupna po stanovniku na godišnjoj razini. Da bi se izračunala ukupna količina vode neke regije/vodonosnika, potrebno je poznavati sljedeće parametre: prirodno prihranjivanje vodonosnika unutar zemljopisnih gradova (infiltracija), ukupan volumen podzemnih voda u vodonosniku koji dolazi iz susjednih zemalja i odlazi u susjedne zemlje, infiltraciju iz površinskih vodnih tijela u podzemne vode, prihranjivanje podzemnih voda površinskim vodama i putem baznog toka te umjetno prihranjivanje vodonosnika gdje je to značajan faktor., Sve te podatke gotovo je nemoguće prikupiti i veoma teško procijeniti. Ipak, u Ocjeni stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske (Brkić et al., 2009) postoji podatak o količini vode u slivovima Drave i Dunava (Tablica 1). Za tematiku ovog rada bitan je podatak koji se odnosi na varaždinsko područje.

Tablica 1. Prikaz količina obnovljivih zaliha podzemne vode te crpljenje podzemnih voda
(Brkić et al., 2009)

<i>Naziv cjeline podzemne vode</i>	<i>Procijenjene obnovljive zalihe podzemnih voda (Q_{inj}) $\times 10^6$ (m^3/god)</i>	<i>Crpljenje podzemnih voda (prema izdanim koncesijama) $\times 10^6$ (m^3/god)</i>
MEĐIMURJE	113	12
VARAŽDINSKO PODRUČJE	88	20
SLIV BEDNJE	52	17
LEGRAD - SLATINA	362	19
NOVO VIRJE	18	0
ISTOČNA SLAVONIJA - SLIV DRAVE I DUNAVA	421	47
SLIV SUTLE I KRAPINE	82	7
SLIV LONJA - ILOVA - PAKRA	219	37
SLIV ORLJAVE	134	15
ZAGREB	273	198
LEKENIK - LUŽANI	636	11
ISTOČNA SLAVONIJA - SLIV SAVE	379	21
ŽUMBERAK - SAMOBORSKO GORJE	139	4
DONJI TOK KUPE	287	42
DONJI TOK UNE	54	

Iz Tablice 1 može se zaključiti da su količine obnovljivih količina podzemnih voda na području varaždinskog vodonosnika višestruko veće od procijenjenih zaliha te da ne postoji opasnost od nestašice vode.

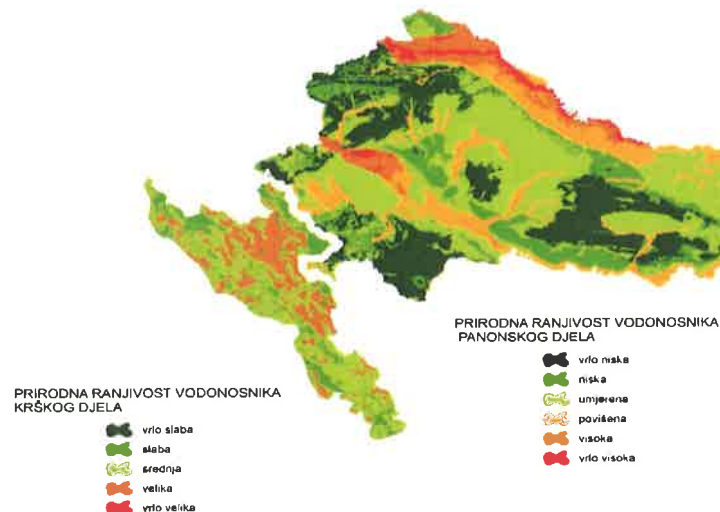
5.2 PRIRODNA RANJIVOST PODZEMNIH VODA VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

Zbog složenosti DRASTIC i SINTACS metoda, i nedostupnosti podataka, preporučuje se korištenje pojednostavljene metode procijene ranjivosti, koja vodonosnike dijeli u 5 klasa ranjivosti (Vrba et al., 2007):

- **Visoko ranjivi vodonosnici;** vodonosnici čija je nesaturirana zona sastavljena od pijeska, šljunka, pješčenjaka, vapnenca; debljine manje od 10 m, kao i dublji vodonosnici koji su međusobno povezani s ranjivim vodonosnicima, vodonosnici povezani s površinskim vodama, vapnenački vodonosnici te dio priobalnih vodonosnika koji su pod utjecajem morske vode.

- **Priobalni vodonosnici**- ranjivost im ovisi o količini eksploatirane vode, te dubini eksploatacijskih zdenaca, kao i njihovoj udaljenost od obale
- **Umjereno ranjivi vodonosnici**; dublji vodonosnici ili poluotvoreni vodonosnici koji su prekriveni manje propusnim tлом (pjeskovitom i muljevitom ilovačom, ilovačom, glinom) čija je debljina nesaturirane zone između 10 i 30 m.
- **Slabije ranjivi vodonosnici**; duboki zatvoreni vodonosnici koji su prekriveni nepropusnim slojem tla (glinena ilovača, neagregirana glina), čija debljina nesaturirane zone iznosi više od 30 m.
- **Zanemarivi vodonosnici**- duboki vodonosnici koji trenutno nisu dio hidrološkog ciklusa, dubina nezasićene zone prelazi stotinu metara

Zbog veoma male dubine krovine koja na varaždinskom području 0 do 1,6 m, na crpilištu Bartolovec od 0,3 do 2 m te na crpilištu Vinokovšćak od 0 do 2 m možemo zaključiti da je varaždinski vodonosnik spada u skupinu visoke prirodne ranjivosti.. Također, u planu upravljanja vodnim područjima od 2016. do 2021. područje varaždinskog vodonosnika okarakterizirano je kao područje visoke i veoma visoke prirodne ranjivosti (Slika 14.)

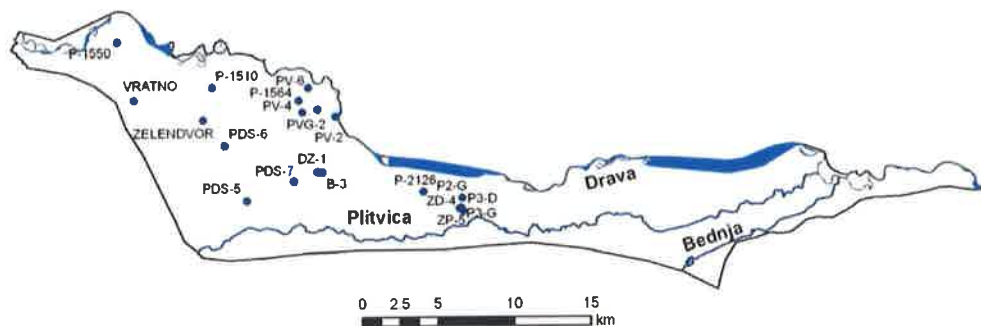


Slika 14. Ranjivost varaždinskog vodonosnika

(Hrvatske vode, 2016)

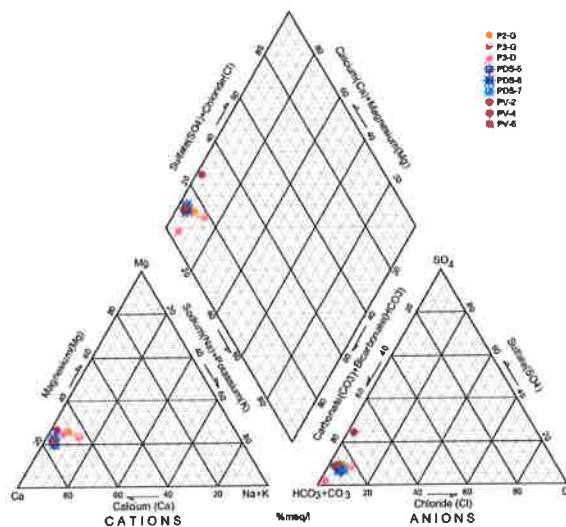
5.3 KVALITETA PODZEMNIH VODA VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

Za ocjenu stanja kvalitete podzemne vode korišteni su podaci iz Hrvatskih Voda (mjerenja u sklopu nacionalnih mjerenja (Slika 15), komunalnog poduzeća VARKOM i fonda Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Hrvatskog geološkog instituta.



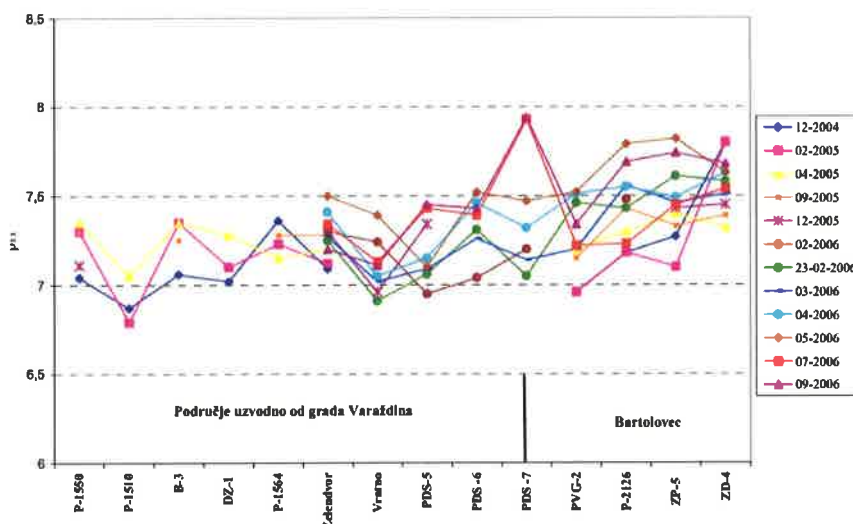
Slika 15. Shematski prikaz mreže opažanja područja na području Varaždinskog vodonosnika (Brkić et al., 2009)

Hidrokemijska obilježja podzemnih voda posljedica su mineraloško-petrografskog sastava materijala koji je taložen. Podzemne vode na području Varaždina pripadaju CaMg-HCO₃ hidrokemijskom facijesu, što je posljedica otapanja karbonatnih minerala (kalcita i dolomita) (Slika 16).



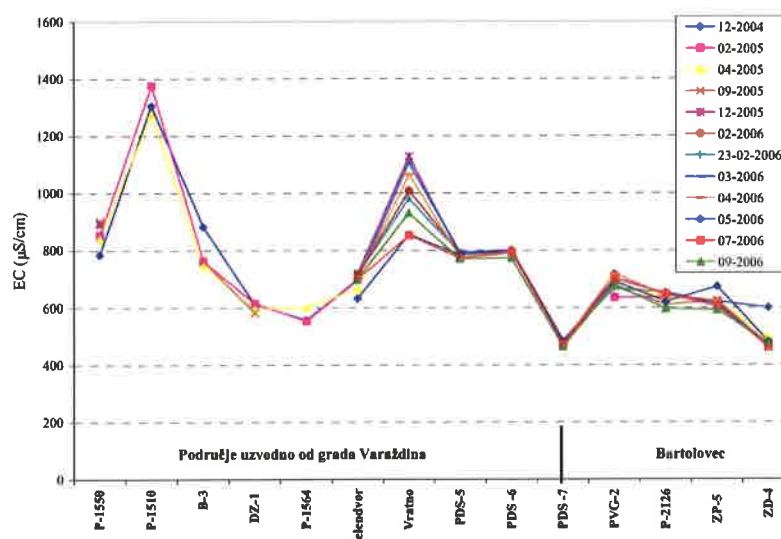
Slika 16. Piperov dijagram podzemnih voda varaždinskog vodonosnika (Brkić et al., 2009)

Izmjerene vrijednosti pH nalaze se u intervalu od 6,79 do 7,94 (Slika 17), stoga se može zaključiti da su podzemne vode slabo alkalne, slabo kisele i neutralne.



Slika 17. pH vrijednosti podzemnih voda na području varaždinskog vodonosnika (Brkić et al., 2009)

Vrijednost elektrolitičke vodljivosti (EC) podzemnih voda varaždinskog vodonosnika nalaze se u intervalu od 400 do 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Slika 18). Primijećene su razlike u izmjerenim vrijednostima uzvodno i nizvodno od grada Varaždina. Više vrijednosti EC-a zamijećene su uzorcima uzvodno od grada. Osim toga, postoji i vertikalna stratifikacija ovoga parametra. Dublji dijelovi vodonosnika imaju manje vrijednost EC-a od plićih dijelova.

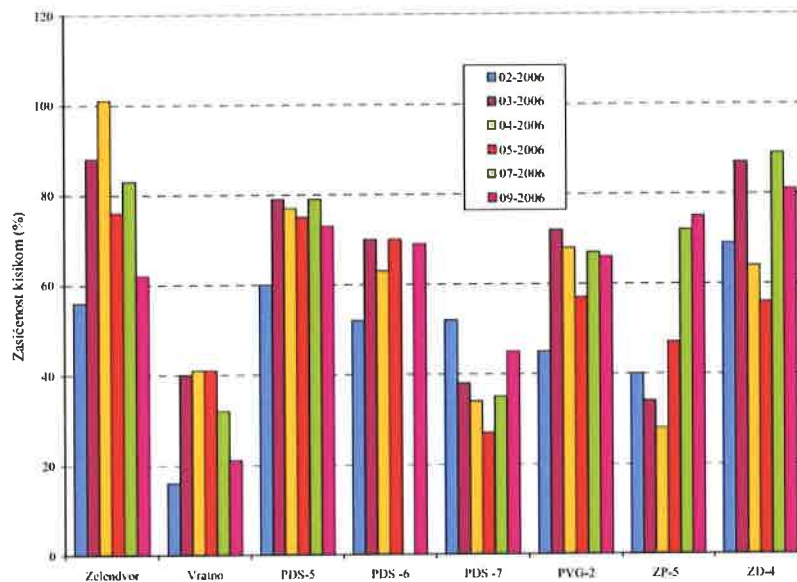


Slika 18. Raspodjela EC na području varaždinskog vodonosnika

(Brkić et al., 2009)

Do ovakve raspodjele dolazi zbog veće koncentracije otopljenih tvari u prvom vodonosnom sloju (nitrata, kalcija, sulfata i klorida). To je posljedica ispiranja nesaturirane zone koja je pod pojačanim antropogenim utjecajem. Zbog postojanja glinovito-siltoznog proslojka između prvog i drugog vodonosnog sloja utjecaj na drugi vodonosni sloj je zanemariv.

Što se tiče zasićenosti podzemnih voda kisikom, podzemne vode su dobro do slabo zasićene kisikom (Slika 19). Posljedica niskog sadržaja kisika je trošenje kisika na oksidaciju organskih tvari i amonija.



Slika 19. Zasićenost kisikom podzemnih voda na području varaždinskog vodonosnika

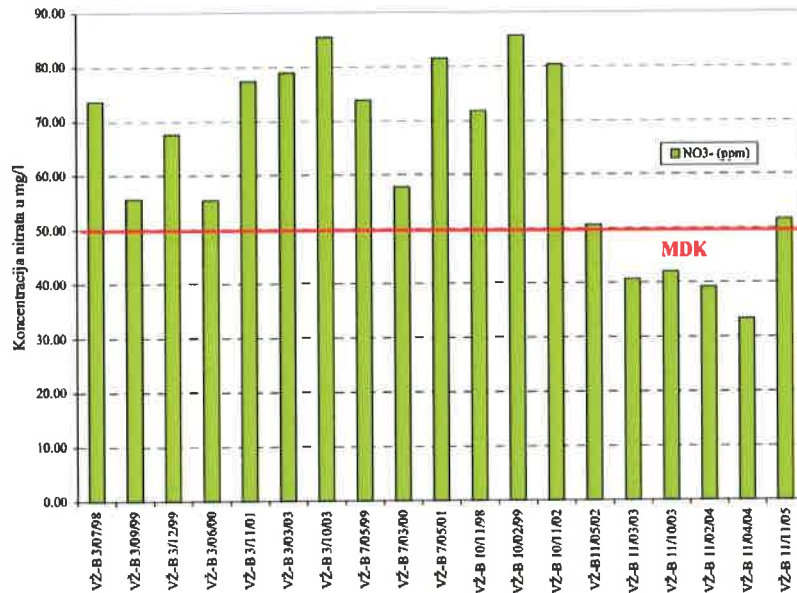
(Brkić et al., 2009)

Koncentracije nitrata u promatranim uzorcima na području varaždinskog vodonosnika ukazuju na povišene, a ponekad i visoke koncentracije nitrata koje premašuju MDK. Prosječne vrijednosti nitrata na vodocrpilištu Varaždin premašuju MDK (Tablica 2), dok su prosječne vrijednosti nitrata na preostala dva crpilišta u dozvoljenim količinama. Zbog razlika u koncentraciji nitrata dolazi zbog toga što je uzvodno od grada Varaždina velik broj peradarskih farmi koje nekontrolirano odlažu pileći izmet. Osim toga, količina akumulirane vode uzvodno od Varaždina je manja pa je i to jedan od razloga što je koncentracija nitrata veća. Uz sve navedeno, uzvodno od grada Varaždina intenzivnije se proizvodi kupus za čiji je uzgoj potrebna pojačana gnojidba dušičnim gnojivima.

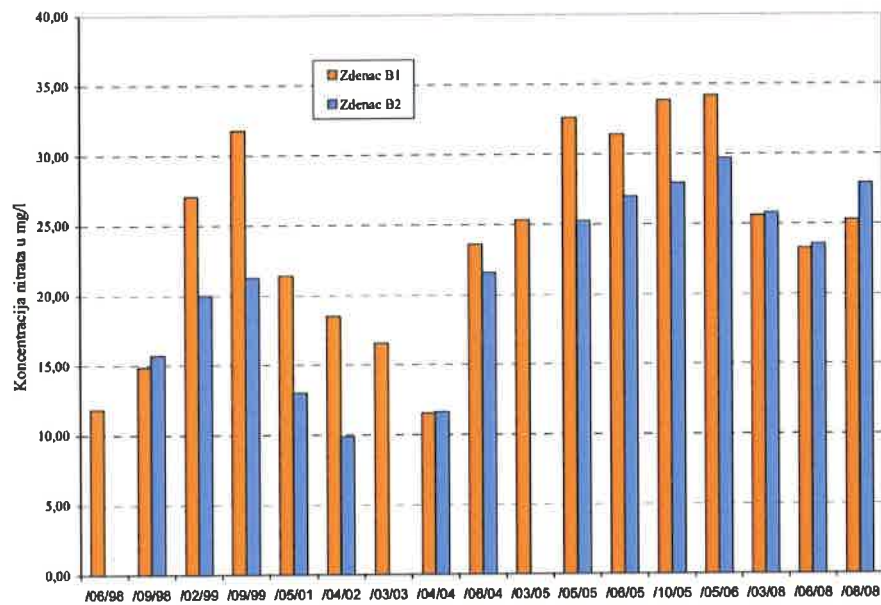
Tablica 2. Srednje vrijednosti za koncentracije pojedinih kemijskih parametara
(Brkić et al., 2009)

	"Threshold value" MDK	2 - Cjelina Varaždin srednje vrijednosti		
		Varaždin	Vlnokočak	Bartolovec
As (µg/l)	10	0	0	0
Cd (µg/l)	5	0,06	0	0,1
Pb (µg/l)	10	5	6,1	5,6
Hg (µg/l)	1	0	0	0
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,5	0,003	0	0
Cl ⁻ (mg/l)	250	16,3	9,3	10,8
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	250	27,7	30,7	35,3
pH-vrijednost	6,5-9,5	7,58	7,57	7,54
trikloretilen i tetrakloretilen	10	0	0	0
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	74,6	19,8	15,2
Fe (µg/l)	200	17,3	20,8	20,9
Mn (µg/l)	50	3,7	1,9	1,8
Zn (µg/l)	3000	44,4	21,4	31,5

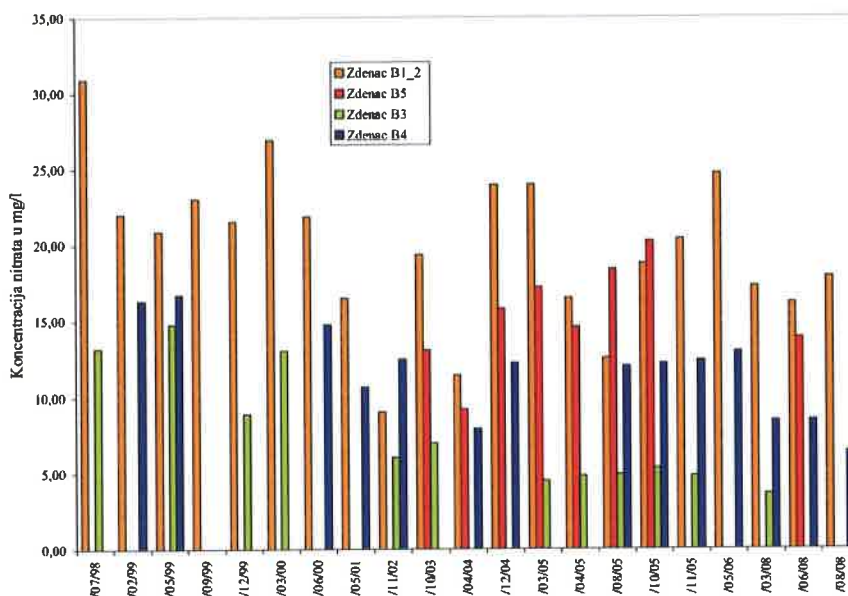
Podzemna voda u varaždinskom vodonosniku je veoma dobre kvalitete. Jedini problemi su uočeni s koncentracijom nitrata koje na vodocrpilištu Varaždin prelaze MDK (Slika 20, Slika 21 i Slika 22). To može biti svojevrsni alarm nadležnim institucijama koje se bave upravljanjem vodama, da se pozabave problemom nekontroliranog odlaganja pilećeg izmeta da ne dođe do onečišćenja preostala dva crpilišta te se time ugrozi vodoopskrba mreža čitave varaždinske županije.



Slika 20. Raspodjele koncentracije nitrata na crpilištu Varaždin
(Brkić et al., 2009)



Slika 21. Raspodjele koncentracije nitrata na crpilištu Vinokovščak
(Brkić et al., 2009)



Slika 22. Raspodjele koncentracije nitrata na crpilištu Bartolovec
(Brkić et al., 2009)

5.4 OBRADA PODZEMNE VODE NA PODRUČJU VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

Ovaj pokazatelj ukazuje na to može li se podzemna voda koristiti za vodoopskrbnu svrhu ili je upotrebljiva za neke druge svrhe. Neke od jednostavnijih metoda obrade podzemne vode su razrjeđivanje, aeracija, filtracija, dezinfekcija, uklanjanje željeza i mangana, dok su složenije metode desalinizacija, reversna osmoza ili membransko filtriranje za uklanjanje fluora ili arsena.

Zahvaljujući veoma dobroj kvaliteti podzemne vode jedina metoda koja se koristi za obradu vode je dezinfekcija vode (Brkić et al., 2009). Dakle, potreban je jednostavan tretman obrade. Na svim crpilištima varaždinskog vodonosnika nalazi se automatizirani sustav kloriranja (Slika 23) koji automatski kontrolira i dozira klor tako da ni u jednom trenutku koncentracija slobodnog rezidualnog klora ne prelazi koncentraciju od 0,5 mg koliko je dopušteno Pravilnikom o o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe („NN“ 125/17).



Slika 23. Primjer automatiziranog sustava kloriranja podzemne vode

(<https://www.hennlich.hr/proizvodi/plinsko-kloriranje-automatski-ventili-12504/automatski-ventil-ov-110.html>)

5.5 OVISNOST POLJOPRIVREDNIKA O KORIŠTENJU PODZEMNE VODE

Današnja moderna poljoprivreda neisplativa je i neodrživa bez kvalitetnog sustava navodnjavanja. Sustav navodnjavanja utječe na smanjenje ekstremnih klimatskih promjena (suše) i znatno povećava prinos poljoprivredne kulture. Iako smo zemlja bogata vodom, trenutno je u Republici Hrvatskoj navodnjavano tek 1,5 % poljoprivrednih površina (Varaždinska županija, 2016). Shodno tome ni u Varaždinskoj županiji nije puno bolja situacija. Zanimljivo je spomenuti da u Varaždinskoj županiji još uvijek ne postoji Plan navodnjavanja, iako postoje mnoge poljoprivredne površine koje su pogodne za navodnjavanje (Slika 24. i Slika 25.).



Slika 24. Poljoprivredne površine pogodne za navodnjavanje bez ikakvih ograničenja
(Varaždinska županija, 2016)



Slika 25. Poljoprivredne površine pogodne za navodnjavanje bez ikakvih ograničenja
(Varaždinska županija, 2016)

Jedan od razloga veoma malom postotku površina koje su navodnjavaju je velika usitnjenost poljoprivrednih parcela. Što se tiče zdenaca, legalizirano je 833 zdenca, dok je predan zahtjev za još njih 935. Time je prekrivena površina od 1200 ha. Cijena vode je 500 kn/ha/godišnje (). Iz svih navedenih podataka vidljivo je da postoji velika

mogućnost unaprjeđenja sustava navodnjavanja na području Varaždinske županije (Varaždinska županija, 2016).

5.6 UKUPNO CRPLJENJE PODZEMNE VODE/ RESURSI PODZEMNE VODE KOJI SE MOGU EKSPLOATIRATI NA PODRUČJU VARAŽDINSKOG VODONOSNIKA

Na razini vodonosnika predloženi pokazatelj razlikovao bi tri osnova scenarija:

- Scenarij 1: crpljenje je manje od ukupne dostupne količine podzemne vode tj manje od 90 % procijenjenih zaliha podzemne vode
- Scenarij 2: crpljenje je jednako ukupnoj dostupnoj količini podzemne vode tj jednako 100 % procijenjenih zaliha podzemne vode
- Scenarij 3: crpljenje je veće od ukupne dostupne količine podzemne vode , tj veće od 100 % procijenjenih zaliha podzemne vode.

Podatke koji su nam potrebne za izračunati u koji scenarij bi spadalo područje varaždinskog vodonosnika možemo očitati iz Tablice 3.

Tablica 3. Prikaz količina obnovljivih zaliha podzemne vode te crpljenje podzemnih voda (Brkić et al., 2009)

<i>Naziv cjeline podzemne vode</i>	<i>Procijenjene obnovljive zalihe podzemnih voda (Q_{in}) $\times 10^6$ (m³/god)</i>	<i>Crpljenje podzemnih voda (prema izdanim koncesijama) $\times 10^6$ (m³/god)</i>
MEĐIMURJE	113	12
VARAŽDINSKO PODRUČJE	88	20
SLIV BEDNJE	52	17
LEGRAD - SLATINA	362	19
NOVO VIRJE	18	0
ISTOČNA SLAVONIJA - SLIV DRAVE I DUNAVA	421	47
SLIV SUTLE I KRAPINE	82	7
SLIV LONJA - ILOVA - PAKRA	219	37
SLIV ORLJAVE	134	15
ZAGREB	273	198
LEKENIK - LUŽANI	636	11
ISTOČNA SLAVONIJA - SLIV SAVE	379	21
ŽUMBERAK - SAMOBORSKO GORJE	139	4
DONJI TOK KUPE	287	42
DONJI TOK UNE	54	

*Ukupno crpljenje podzemnih voda na području varaždinskog vodonosnika
obnovljive zalihe podzemnih voda varaždinskog vodonosnika*

Provedenom analizom dobiven je sljedeći rezultat:

$$\frac{20 \times 10^6 \text{ m}^3}{88 \times 10^6 \text{ m}^3} = 0,22 = 22 \% \rightarrow \text{PRVI SCENARIJ}$$

U skladu s dobivenim rezultatom, može se zaključiti da na području varaždinskog vodonosnika još uvijek ima velikih mogućnosti u smislu unapređenja vodoopskrbnog sustava te povećanja korištenja vode u svrhu navodnjavanja.

6. ZAKLJUČAK

Već 60-ih godina prošlog stoljeća shvatilo se da je nužno razviti parametre kojima bi se opisalo stanje vodonosnika pomoću kojih bi se pomoglo u donošenju politika održivog upravljanja podzemnim vodama. Pošto je većina površinskih voda onečišćena, nužno je očuvati kvalitetu i kvantitetu podzemnih voda.

U ovome radu bio je cilj primijeniti UNESCO-ve parametre održivosti podzemne vode na području varaždinskog vodonosnika. Ukupno je predloženo 10 parametara održivosti podzemne vode. Primjenom parametara moguće je dobiti kvalitetan prikaz trenutnog stanja vodonosnika. Prvo je dan njihov teorijski prikaz, a nakon toga i njihova primjena. Za primjenu parametara potrebno je izrazito puno podataka, te zbog toga nisu bili izračunati svi parametri, nego samo oni za koje su bili dostupni podaci.

Zbog složenosti hidrogeoloških uvjeta, i nedovoljno razvijene mreže monitoringa, mnogi podaci koji su potrebni da bi se izračunali određeni parametri nisu dostupni. Razlog u tome je vjerojatno i u tome što je varaždinski vodonosnik, iako zbog tankih pokrovnih naslaga veoma prirodno ranjiv, još u veoma dobrom ekološkom stanju, s mnogo kvalitetne pitke vode koja se većinom koristi za vodoopskrbnu mrežu. Osim toga, na nacionalnoj razini ne postoji interes za kvalitetnijom mrežom monitoringa, a očito je jedan od razloga veoma dobra kvaliteta i količina dostupne vode. Sigurno i na to utječe i cijena takve mreže koja bi mogla podići cijenu vode, što nije trenutno nikome u interesu.

Procijenjena količina obnovljivih zaliha podzemne vode od $88 \times 10^6 \text{ m}^3$ višestruko premašuje trenutne potrebe za vodoopskrbu, industrijske potrebe i navodnjavanje

Za procjenu ranjivosti varaždinskog vodonosnika korištena je pojednostavljena metoda procjene ranjivosti, jer bi primjena SINTACS ili DRASTIC metode bila nemoguća zbog kompliciranosti i nedostupnosti potrebnih podataka. Pojednostavljena metoda dijeli vodonosnike u 5 klasa. Varaždinski vodonosnik spada u skupinu vodonosnika visoke prirodne ranjivosti, zbog tankih i propusnih pokrovnih naslaga debljina manjih od 10 m.

Zbog čestih kemijskih analiza podzemne vode na području varaždinskog vodonosnika, postoji puno kvalitetnih podataka o kemijskom sastavu vode koji su znatno olakšali primjenu parametara. Podzemne vode varaždinskog vodonosnika pripadaju CaMg-

HCO₃ hidrokemijskom facijesu, zbog otapanja karbonatnih minerala (kalcita i dolomita). Izmjerene vrijednosti pH nalaze se u intervalu od 6,79 do 7,94 te se stoga može zaključiti da su podzemne vode slabo alkalne, slabo kisele i neutralne. Prosječne vrijednosti nitrata na vodocrpilištu Varaždin premašuju MDK , dok su prosječne vrijednosti nitrata na preostala dva crpilišta u dozvoljenim količinama. Ostale vrijednosti kemijskih parametara koje je potrebno analizirati Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće nalaze se ispod MDK.

Zahvaljujući veoma dobroj kvaliteti podzemne vode jedina metoda koja se koristi za obradu vode je dezinfekcija vode. Na svim crpilištima varaždinskog vodonosnika nalazi se automatizirani sustav kloriranja koji automatski kontrolira i dozira klor tako da ni u jednom trenutku koncentracija slobodnog rezidualnog klora ne prelazi koncentraciju od 0,5 mg.

Iz varaždinskog vodonosnika ukupno se crpi 20×10^6 m³ podzemne vode, dok je zaliha podzemne vode procijenjena na 88×10^6 m³. Primjenom parametra ukazano je da je pokazano je da je trenutna iskoristivost vodonosnika 22 %, što ukazuje na to da je vodonosnik slabo iskorišten, tj. da ima još puno potencijala korištenja vodonosnika za potrebe navodnjavanja, te vodoopskrbne i industrijske potrebe.

U RH ukupno se navodnjava tek 1,5 % površina. U Varaždinskoj županiji još uvijek ne postoji Plan navodnjavanja. Zbog usitnjenosti parcela i nepostojanja Plana navodnjavanja postoji još uvijek velika mogućnost unapređenja sustava.

Primjena parametara može dati kvalitetan uvid u trenutno stanje vodonosnika i pomoći u donošenje budućih politika vezanih uz zaštitu podzemnih voda na području varaždinskog vodonosnika. Trenutno stanje vodonosnika je zadovoljavajuće. Kvaliteta vode je veoma dobra, a količine vode višestruko premašuju trenutne potrebe. Jedini problem koji se javlja je povećana koncentracija nitrata u zapadnom dijelu vodonosnika. Boljim nadzorom odlaganja pilećeg izmeta na poljoprivredna zemljišta može se spriječiti daljnje povećanje koncentracije nitrata, a time i sačuvati kvalitetu i kvantitetu podzemne vode na području vodonosnika.

7. LITERATURA

Aller, L. , Bennet, T. , Lehr, J. T. , Petty, R. J. (1985) DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings

Baćani, A. , Posavec, K. (2013) Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta Varaždin, Bartolovec i Vinokovščak, elaborat : (pročišćeni tekst,), Rudarsko geološko-naftni fakultet, Zagreb

Brkić, Ž. , Larva, O. , Marković, T. (2009): Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske , Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Zagreb

Civita, M. , De Maio, M. (2004) Assesing and mapping groundwater vulnerability to contamination: The Italian combined approach, Geofisica International, Vol. 43, str. 513-532

Greene, R. , Timms, W. , Rengasamy, P. , Arshad, M. , Cresswell, R. (2016) Soil and aquifer salinization: toward an integrated approach for salinity management forgroundwater

Hlevnjak, B., Strelec, S. , Jug, J. (2015) Hidrogeološki uvjeti pojave glinenog proslojka unutar varaždinskog vodonosnika, Inženjerstvo okoliša ,Vol.2/No.2, str. 73-80

Hrvatske vode (2016) Plan upravljanja vodnim područjima za razdoblje 2016. – 2021., str. 62-63

https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/PGWsection1.pdf- datum pristupa 20.7.2019.

http://ponce.sdsu.edu/groundwater_sustainable_yield.html -datum pristupa 20.7.2019.

<https://freshwaterwatch.thewaterhub.org/content/water-limited-resource>- datum pristupa:28.8.2019

<https://www.hennlich.hr/proizvodi/plinsko-kloriranje-automatski-ventili-12504/automatski-ventil-ov-110.html>, datum pristupa: 20.7.2019.

<https://www.123rf.com>, datum pristupa: 1.9.2019.

<https://sciencing.com/list-water-pollutants-6309497.html>, datum pristupa: 1.9.2019.

Kovač, I., Kovačev-Marinčić, B. ,Novotni-Horčička, N. ,Mesec, J. , Vugrinec, J. (2017) Komparativna analiza koncentracije nitrata u gornjem i donjem sloju varaždinskog vodonosnika, radovi Zavoda za znanstveni rad HAZU Varaždin, br. 28, str. 41 – 57

Hrvatske vode (2016) Plan upravljanja vodnim područjima za razdoblje 2016. – 2021., str. 62-63

Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe („NN“ 125/17)

Protecting Groundwater for Health,

URL:https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/PGWsection1.pdf, datum pristupa: 21.7.2019.

Podaci iz baze podataka varaždinske županije (2016) Varaždinska županija, http://www.varazdinskazupanija.hr/repository/public/upravnatijela/poljoprivreda/zastita-okolisa/dokumenti/2016/navodnjavanje_19052016.pdf - datum pristupa 20.7.2019.

Strategija upravljanja vodama (NN 91/2008), URL: <http://www.poslovnisavjetnik.com/propisi/strategija-upravljanja-vodama-vazeci-tekst-nn-br-912008>, datum pristupa. 20.7.2019.

UNESCO (2007) Groundwater resources sustainability indicators, IHP-VI series of groundwater, No. 14

Urumović, K. , Hlevnjak, E. Prelogović, D. Maer (1990): „Hidrogeološki uvjeti Varaždinskog vodonosnika.“, *Geol. vjesnik*, 43, 149-158, Zagreb

Vrba, J., Hirata, R., Girman, J., Haie, N., Lipponen, A., Neupane, B., Shah, T., Wallin, B. (2007) Groundwater Resources Sustainability Indicators

Zektser, Igor S., Everett, Lorne G. (2004) Groundwater resources of the world and their use, IHP-VI, series on groundwater No 6

POPIS SLIKA

Slika 1. Varaždinski vodonosnik (Kovač et al., 2017)	2
Slika 2. Uzdužni litološki profil varaždinskog vodonosnika	3
Slika 3. Shematski litološki profil duž varaždinskog vodonosnika (Križovljan-Varaždin-Vularija) ..	4
Slika 4. Neravnomjerna globalna raspodjela pitke vode	5
Slika 5. Povezanost upravljanja vodama s društveno- gospodarskim okruženjem	6
Slika 6. Odlagališta otpada na području crnomorskog sliva, stanje 2009. Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.	
Slika 7. Uloga podzemne vode u održivom sustavu upravljanja vodama	9
(http://ponce.sdsu.edu/groundwater_sustainable_yield.html)	9
Slika 8. Nestanak vlažnih staništa	9
Slika 9. Prodor slane vode u vodonosnik	10
Slika 10. Navodnjavanje poljoprivredne površine	10
Slika 11. Ispuštanje onečišćene vode u vodotok	11
Slika 12. Neobnovljivi izvori podzemne vode na globalnoj razini	20
Slika 13. Ovisnost poljoprivrednika o podzemnoj vodi u postocima	25
Slika 14. Ranjivost varaždinskog vodonosnika	29
Slika 15. Shematski prikaz mreže opažanja područja na području Varaždinskog vodonosnika ..	30
Slika 16. Piperov dijagram podzemnih voda varaždinskog vodonosnika	30
Slika 17. pH vrijednosti podzemnih voda na području varaždinskog vodonosnika	31
Slika 18. Raspodjela EC na području varaždinskog vodonosnika	31
Slika 19. Zasićenost kisikom podzemnih voda na području varaždinskog vodonosnika	32
Slika 20. Raspodjele koncentracije nitrata na crpilištu Varaždin	34
Slika 21. Raspodjele koncentracije nitrata na crpilištu Vinokovščak	34
Slika 22. Raspodjele koncentracije nitrata na crpilištu Bartolovec	35
Slika 23. Primjer automatiziranog sustava kloriranja podzemne vode	36
Slika 24. Poljoprivredne površine pogodne za navodnjavanje bez ikakvih ograničenja	37
Slika 25. Poljoprivredne površine pogodne za navodnjavanje bez ikakvih ograničenja	37

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz količina obnovljivih zaliha podzemne vode te crpljenje podzemnih voda	28
Tablica 2. Srednje vrijednosti za koncentracije pojedinih kemijskih parametara	33
Tablica 3. Prikaz količina obnovljivih zaliha podzemne vode te crpljenje podzemnih voda	38