

# ONEČIŠĆENJE I ZAŠTITA PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE

---

**Bokšić, Davorin**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac  
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:264214>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied  
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu

Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Davorin Bokšić

**ONEČIŠĆENJE I ZAŠTITA PODZEMNIH  
VODA NA PODRUČJU REPUBLIKE  
HRVATSKE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2021.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Davorin Bokšić

**POLLUTION AND PROTECTION OF  
GROUNDWATERS IN REPUBLIC OF  
CROATIA**

FINAL PAPER

Karlovac, 2021.

Veleučilište u Karlovcu

Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Davorin Bokšić

**ONEČIŠĆENJE I ZAŠTITA PODZEMNIH  
VODA NA PODRUČJU REPUBLIKE  
HRVATSKE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Lidija Jakšić, mag. ing. cheming., pred.

Karlovac 2021.



**VELEUČILIŠTE  
U KARLOVCU**  
Karlovac University  
of Applied Sciences

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

~~Stručni~~ / specijalistički studij: Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu, Karlovac, 2021.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Davorin Bokšić

Matični broj: 0422419015

Naslov: Onečišćenje i zaštita podzemnih voda na području Republike Hrvatske

Opis zadatka: Zadatak završnog rada je obraditi temu podzemnih voda na području Republike Hrvatske u kontekstu onečišćenja i zaštite odnosno opisati stanje podzemnih voda te njihova svojstva i kemijski sastav. Na samome početku rada opisano će biti podrijetlo podzemnih voda na planeti Zemlji. Opisana će biti dva primarna područja podzemnih voda prema geološkoj građi i hidrogeološkim značajkama te zalihe podzemnih voda i sama njihova kakvoća. Mjere za zaštitu podzemnih voda će također biti opisane kao i temeljne značajke najčešćih uzročnika zagađenja. Također, opisan će biti zakonski okvir odnosno način i uvjeti upravljanja vodama na području Republike Hrvatske.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

Srpanj 2021.

Rujan 2021.

Rujan 2021.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Lidija Jakšić, mag. ing. cheming., pred.

dr. sc. Snježana Kirin, v. pred.

## PREDGOVOR

Svjesno i odgovorno tvrdim da je ovaj diplomski rad izrađen samostalno uz pomoć navedene stručne literature i dosadašnjeg stečenog znanja u visokoškolskom obrazovanju.

Koristim ovu priliku da se zahvalim svim profesorima na Veleučilištu u Karlovcu s odjela Sigurnosti i zaštite na prenesenom znanju te savjetima i lekcijama u proteklih pet godina studiranja. Također, ovim putem se zahvaljujem mentorici Lidiji Jakšić, mag. ing. cheming., koja mi je izašla u susret u pogledu mentorstva kada mi je to najviše bilo potrebno, kao i na ukazanom povjerenju i pomoći prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se svim kolegama te veliko hvala mojoj obitelji koja me je podupirala i omogućila studiranje na Veleučilištu u Karlovcu.

## SAŽETAK

Zaštita podzemnih voda jedna je od najistaknutijih tema današnjice. Ubrani razvoj industrije, sama urbanizacija i ubrzani porast broj stanovništva predstavljaju veliki izazov u zaštiti i očuvanju vodnih resursa. Onečišćenje i zaštita podzemnih voda danas nije toliko istaknuta tema kao što bi trebala biti, jer vodu kao najrasprostranjeniji medij nije moguće zamijeniti. Posljedice onečišćenja nastaju lošim monitoringom, ne pridržavanjem datih smjernica u projektiranju, zanemarivanje pravila struke, nekvalitetnom izgradnjom ili ljudskim propustom odnosno nemarom. U radu će biti opisani najistaknutiji izvori onečišćenja i koje se mjere poduzimaju radi smanjenja negativnih učinaka na vodne resurse i okoliš.

**Ključne riječi:** voda, podzemne vode, vodni resursi, zaštita, onečišćenje, kiša, vodonosnik, infiltracija, ekosustav

## SUMMARY

Groundwater protection is one of the most prominent topics today. Harvested industrial development, urbanization itself and accelerated population growth are a major challenge in the protection and conservation of water resources. Groundwater pollution and protection is not as prominent a topic today as it should be, because water as the most widespread medium cannot be replaced. The consequences of pollution are caused by poor monitoring, non-compliance with the given design guidelines, neglect of the rules of the profession, poor construction or human failure or negligence. This paper will describe the most prominent sources of pollution and what measures are taken to reduce the negative effects on water resources and the environment.

**Key words:** water, underground waters, water resources, protection, pollution, rain, aquifer, infiltration, eko-system

# SADRŽAJ

|   |     |
|---|-----|
| ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....  | I   |
| PREDGOVOR.....  | II  |
| SAŽETAK.....  | III |
| SADRŽAJ.....  | IV  |
| 1. UVOD.....  | 1   |
| 2. HIDROLOŠKI CIKLUS VODE .....   | 2   |
| 3. PODZEMNE VODE .....  | 5   |
| 3.1 Hidrogeološke značajke sjeverne i istočne Hrvatske.....                                 | 8   |
| 3.2 Hidrogeološke značajke južne i zapadne Hrvatske.....                                    | 12  |
| 3.3 Zalihe i kakvoća podzemnih voda u Republici Hrvatskoj .....                             | 14  |
| 4. KVALITETA PODZEMNIH VODA .....   | 21  |
| 4.1 Fizička svojstva vode.....  | 22  |
| 4.2 Biološka svojstva vode .....  | 23  |
| 4.3 Radiološka svojstva vode.....   | 25  |
| 4.4 Kemijska svojstva vode .....  | 26  |
| 5. PARAMETARSKE ZNAČAJKE PODZEMNIH VODA .....   | 29  |
| 5.1 Tvrdoća .....   | 29  |
| 5.2 Specifična elektroprovodljivost .....   | 30  |
| 5.3 Koncentracija vodikovih iona.....   | 31  |
| 6. ONEČIŠĆENJE PODZEMNIH VODA.....  | 33  |
| 6.1 Tipovi izvora zagađenja i vrste zagađenja podzemnih voda .....                          | 34  |
| 6.2 Odlagališta otpada.....   | 35  |
| 6.3 Industrijske otpadne vode .....   | 37  |
| 6.4 Poljoprivreda.....  | 39  |
| 7. ZAŠTITA PODZEMNIH VODA .....   | 40  |
| 7.1 Direktiva 2006/118/EZ o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja ..... | 43  |
| 7.2 Određivanje zona sanitarne zaštite empirijskim načinom .....                            | 44  |
| 7.3 Određivanje zona sanitarne zaštite proračunskim načinom.....                            | 45  |
| 8. ZAKLJUČAK.....   | 47  |
| 9. LITERATURA .....   | 48  |
| 10. POPIS SLIKA .....   | 51  |
| 11. POPIS TABLICA.....  | 52  |



## 1.UVOD

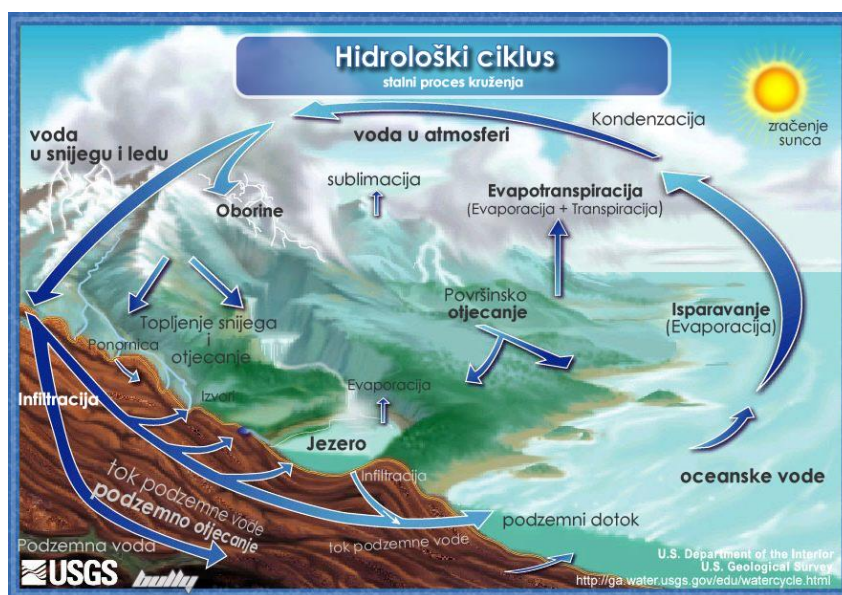
Voda je esencijalni čimbenik života, sačinjava gotovo 70% površine naše planete Zemlje i oko 60% ljudskog tijela te je zbog toga njezinu ravnotežu, kako oko nas, tako i u nama, iznimno bitno održavati. Povezanost čovjeka i vode započinje samim rođenjem odnosno prvim kupanjem novorođenog djeteta, a završava pranjem tijela preminulog. Kako čovjek tako i biljke i životinje koriste vodu za održavanje i odvijanje životnih funkcija u svojim stanicama. [1]

Ubrzani razvoj tehnoloških, industrijskih i proizvodnih središta dovodi do pojave sve većeg broja različitih otpadnih tvari, koje u slučaju nepropisanog načina odlaganja i zbrinjavanja na površini Zemlje, mogu prilikom procesa raspadanja i razlaganja na jednostavnije kemijske sastave završiti u površinskim i podzemnim vodama. Kvarovi i oštećenja na različitim postrojenjima i instalacijama mogu uzrokovati ispuštanje različitih štetnih tvari u okoliš, a samim time posredno ili neposredno ugroziti kvalitetu i kakvoću vode. Posljedice tih onečišćenja nastaju lošim monitoringom, ne pridržavanjem datih smjernica u projektiranju, zanemarivanje pravila struke, nekvalitetnom izgradnjom ili ljudskim propustom odnosno nemarom. Također postoji i niz drugih izvora onečišćenja poput prometa, poljoprivrede, eksploatacije prirodnih resursa, ratnim djelovanjima i sl. Voda je najugroženiji dio ljudskog okoliša upravo zbog svoje sposobnosti otapanja najrazličitijih spojeva i tvari. Kako bi se zaštitili vodni resursi ne samo na području Republike Hrvatske već u cijelom svijetu, potrebno je probuditi svijest ljudske populacije te djelovati zajedno, a ne pojedinačno, jer uništavajući okoliš, u ovom slučaju konkretno vodne resurse, uništavamo sami sebe jer smo mi sami dio tog okoliša. Borba za okoliš predstavlja borbu za čovječanstvo, što velikom dijelu ljudske populacije nije jasno te zbog toga dolazi do onečišćenja i ugrožavanja okoliša, prirode i na samom koncu i ljudskih života. Čovječanstvo, kao najrazvijeniji oblik života na Zemlji, ima dužnost brinuti se za cjelokupni okoliš te razvijati svijest sadašnjih i budućih generacija kako se pravilno odnositi prema našem domu, planeti Zemlji.

## 2. HIDROLOŠKI CIKLUS VODE

Danas je oko 70,8% ukupne površine planete Zemlje prekriveno vodom što nam jasno daje do znanja da je voda vrlo važan čimbenik u našim životima. Voda je jedina anorganska tekućina koja se prirodnim putem pojavljuje na Zemlji i jedini je kemijski spoj koji se prirodno pojavljuje u sva tri agregatna stanja: krutom, tekućem i plinovitom. [1]

Veći postotak vode na Zemlji je neprestano u gibanju, a upravo to nam pojašnjava hidrološki ciklus. Hidrološki ciklus možemo definirati kao rezultat više procesa koji se događaju simultano, odnosno hidrološki ciklus predstavlja prelaženje vode iz atmosfere na Zemlju i vraćanje u atmosferu. Cijeli hidrološki ciklus zbiva se u atmosferi, hidrosferi i litosferi te se nastale oborine vraćaju na površinu Zemlje i prosječno prodiru do 1 km, a u kršnom reljefu od 2 do 3 km u dubinu. Sva voda koja se nalazi na površini Zemlje, a i ispod nje, nebrojeno je puta prošla kroz taj ciklus, jer voda konstantno kruži. Zahvaljujući hidrološkom ciklusu, zalihe slatke vode na Zemlji stalno se obnavljaju. Kruženje vode na Zemlji iznimno je važan proces koji omogućava nastanak i održavanje života. (slika 1)



Slika 1. Prikaz hidrološkog ciklusa vode [2]

U hidrološkom ciklusu vode pojavljuje se pet procesa, a to su: kondenzacija, oborine, infiltracija, otjecanje i evapotranspiracija. Svježa, ne zaslanjena voda, kao vrlo ograničeni resurs, prirodno se obnavlja uglavnom oborinama te manjim dijelom otapanjem ledenjaka i snježnog pokrivača, stoga se unutar hidrološkog ciklusa, tj. utvrđivanje bilance vode za određene ekološke uvjete, oborine mogu smatrati glavnom ulaznom varijablom. Hidrološki ciklus kontrolira vremensku i prostornu raspodjelu obnovljive svježe vode. Klimatske varijable i klimatske promjene dodatno kompliciraju predvidljivost te raspodjele, pogotovo u gusto naseljenim područjima svijeta.

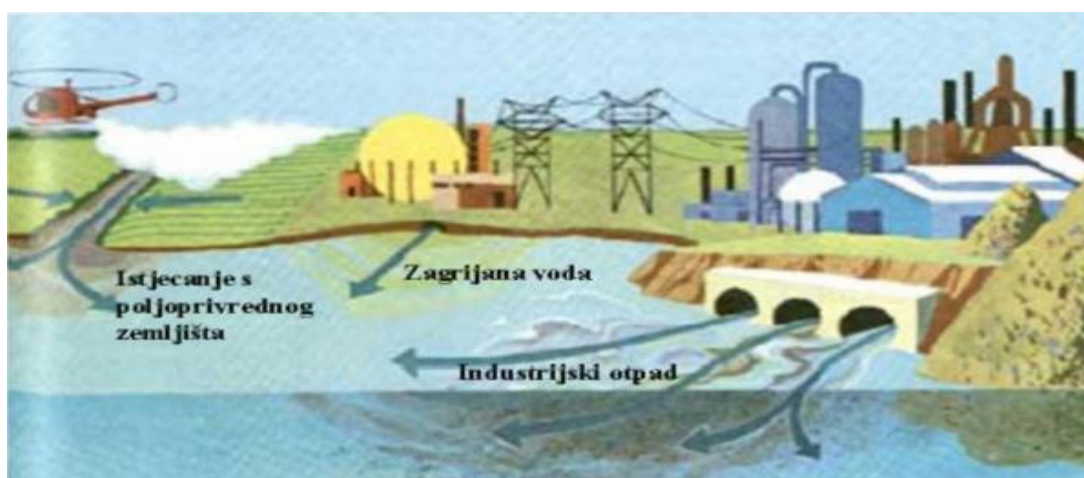
Na globalnoj razini, ukupne količine vode koje procesima evaporacije (oko 89%) i evapotranspiracije (oko 11%) u obliku vodene pare dospiju s površine Zemljine hidro/litosfere u atmosferu tijekom jedne godine, procjenjuje se na oko 577.000 km<sup>3</sup>. Najveći udio vode u hidrološkom ciklusu (87%) potječe od isparavanja oceana i mora te se s njihove ukupne površine od oko 361 mil. km<sup>2</sup> tijekom godine u atmosferu evaporacijom oslobodi oko 502.800 km<sup>3</sup> vode. S kopnenih površina (izuzev rijeka i jezera) koje obuhvaćaju oko 119 mil. km<sup>2</sup>, godišnje se u atmosferu u obliku vodene pare oslobodi oko 65.000 km<sup>3</sup> vode, a s preostalih vodenih površina na kopnu, dodatno evaporira oko 9.000 km<sup>3</sup> od ukupnog volumena vode koji sudjeluje u hidrološkom ciklusu. U povratnom smjeru, u obliku raznih padalina (kiša, snijeg, tuča i sl.) najveći udio ili oko 458.000 km<sup>3</sup> vode dospije ponovno u ekosustav oceana i mora, preostalih 119.000 km<sup>3</sup> na površinu kopna, od čega manji dio ili oko 9.000 km<sup>3</sup> padne na površine jezera i ostale vodene površine, a veći dio, oko 110.000 km<sup>3</sup> dospije na preostali ekosustav Zemljine litosfere. Od ukupnog volumena kopnenih oborina, kao što je navedeno, glavnina procesom evapotranspiracije završava u atmosferu, a preostali dio površinskim ili riječnim otjecanjem, odnosno podzemnim otjecanjem ili tokovima dospije opet u mora i oceane. [1]

Evapotranspiracija je hidrološki proces kojim se voda vraća natrag u atmosferu te predstavlja značajnu komponentu hidrološkog ciklusa. Evapotranspiracija obuhvaća i sam pojam evaporacije, odnosno isparavanje vode s površine tla, vodenih površina i biljaka.

Zbog interakcije između atmosfere, litosfere, hidrosfere i biosfere, te konzistentnosti globalnog hidrološkog ciklusa, svaka promjena ili modifikacija u bilo kojem dijelu ciklusa dovodi do modifikacija u drugom dijelu ciklusa i vodnoj bilanci. Svaka intervencija u hidrološkom ciklusu može se klasificirati u jednu od kategorija, iako je očito da se pojedine intervencije događaju u više područja. Najznačajnije čovjekove intervencije u hidrološkom ciklusu jesu:

- Izgradnja pregrada i akumulacija radi proizvodnje električne energije. Ova intervencija je najizraženija na rijekama i jezerima
- Zahvati podzemnih voda za javnu vodoopskrbu i navodnjavanje tla
- Načini iskorištavanja površina uvjetovani urbanističkim razvojem
- Izgradnja zaštitnih retencija za razne namjene ima glavnu ulogu u hidrološkom ciklusu

Svaka intervencija u hidrološki ciklus može se interpretirati u jedinici volumena vode, ekonomskim aspektima, broju stanovništva i veličini površine koja je zahvaćena intervencijom, te učestalosti pojave intervencije u regiji. Danas smo u mogućnosti prepoznati i analizirati negativne učinke tih intervencija te poduzeti akcije za popravak stanja. Podaci koji karakteriziraju hidrološki ciklus, vodnu bilancu i potrebe za vodom nužni su za kvantifikaciju i ocjenu čovjekovih intervencija u pogledu dosega utjecaja, te za identifikaciju osnovnih pitanja za stanje okoliša. Resursi slatke vode smanjuju se onečišćenjem te je procijenjeno da 1 litra otpadne vode onečisti 8 litara slatke vode. (slika 2.)

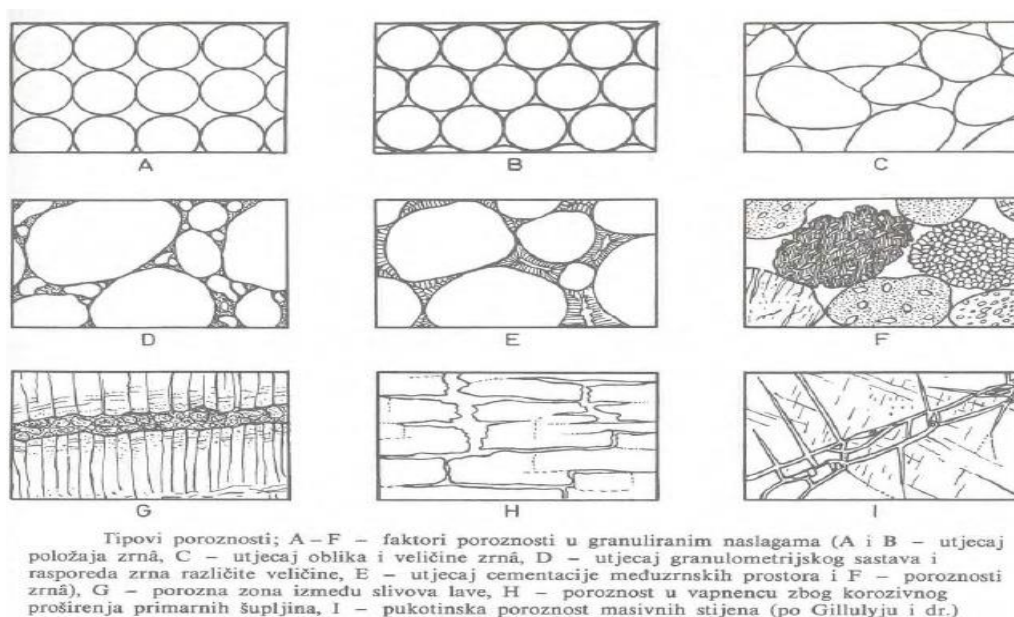


Slika. 2. Utjecaj ljudskog faktora na hidrološki proces [3]

### 3. PODZEMNE VODE

Smještaj podzemnih voda nalazi se ispod zemljine površine, odnosno podzemne vode zauzimaju šupljine unutar geoloških formacija. Nastaju od padalina (kiša, snijeg, led), vode iz vodenih tokova i kondenzacije vodene pare u zemlji. Voda u podzemlju završava procesom infiltracije, odnosno procjeđivanjem kroz pore tla i nezasićene zone vodonosnika. Na sam proces infiltracije, prolaz vode kroz različite slojeve Zemljine površine, utječu oborine (količina, intenzitet i trajanje oborina), karakteristike tla, saturacija tla, nagib terena i sam pokrov na površini Zemlje. [1]

Poroznost stijena znači mogućnost nakupljanja podzemnih voda, no ona ne znači da se akumulirana voda može iz stijene i dobiti, odnosno koristiti. Iz podataka u tablici 1. očito je da najveću poroznost imaju gline, a opće je poznato da je iz gline nemoguće dobiti znatnije količine vode. Razlog je u maloj, mikronskoj dimenziji pora gline, u kojima, zbog blizine stijenci, vladaju vrlo jake sile privlačenja između hidrofilnih mineralnih čestica i molekula vode, koje su mnogo jače od sila gravitacije pa 'istjecanje' vode iz gline praktično nemoguće. Kada se govori o podzemnim vodama, važna je propusnost stijene koja se može definirati kao mogućnost protjecanja vode kroz stijenu pri čemu ne dolazi do narušavanja strukture stijene. Na slici 3. prikazani su osnovni tipovi poroznosti.



Slika 3. Osnovni tipovi poroznosti [1]

S obzirom na propusnost stijene u hidrogeološkoj praksi sve stijene se mogu svrstati u jednu od tri skupine.

Prvu skupinu čine vodopropusne stijene. One omogućuju protjecanje mjerljive količine vode u određenom vremenu. Te stijene primaju i otpuštaju vodu. U ovu skupinu spadaju šljunci, krupnozrnati i srednjozrnati pijesci, raspucane karbonatne stijene te raspucane magmatske i metamorfne stijene. Drugu skupinu čine polupropusne stijene. One primaju vodu, ali je teško i sporo otpuštaju. U ovu skupinu spadaju sitnozrnati pijesci, prašine, te prašnasti i zaglinjeni pijesci, kao i slabo razlomljene magmatske stijene, slabo razlomljeni karbonati i metamorfne stijene. Treću skupinu čine vodonepropusne stijene. One sporije primaju vodu. U ovu skupinu spadaju gline te nerazlomljene i neoštećene čvrste sedimentne stijene, magmatske stijene i metamorfne stijene. U tablici 1. prikazani su tipovi i veličine poroznosti u najčešćim vrstama stijena.

Tablica 1. Tipovi i veličine poroznosti u najčešćim vrstama stijena [1]

| <b>Tlo, poluvezane i nevezane stijene</b> | <b>Tip poroznosti</b> | <b>Iznos n (%)</b> | <b>Čvrste stijene</b>          | <b>Tip povezanosti</b> | <b>Iznos n (%)</b> |
|---|-----------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------|
| treseto tlo                               | primarna              | 60 do 80           | pješčenjak                     | primarna               | 5 do 30            |
| humus                                     | primarna              | 50 do 60           | glineni škriljevac             | primarna               | 0 do 10            |
| glina                                     | primarna              | 35 do 70           | kompaktni vapnenac             | primarna               | 1 do 10            |
| prah                                      | primarna              | 34 do 61           | kompaktne krisalinske stijene  | primarna               | 0 do 5             |
| pijesci (jednolični)                      | primarna              | 26 do 50           | okršeni vapnenac               | Primarna + sekundarna  | 5 do 50            |
| pijesci (miješani)                        | primarna              | 25 do 53           | izlomljeni bazalt              | Primarna + sekundarna  | 0 do 50            |
| šljunak s pijeskom                        | primarna              | 16 do 35           | izlomljene krisalinske stijene | Primarna + sekundarna  | 0 do 10            |
| šljunak                                   | primarna              | 24 do 40           | /                              | /                      | /                  |

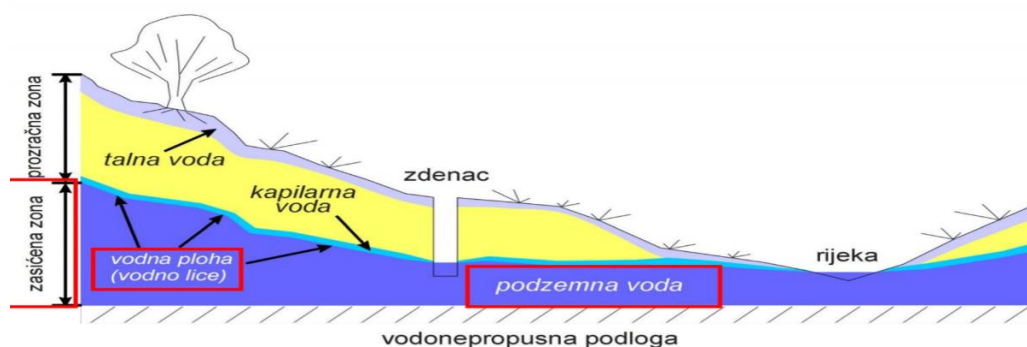
Ako vodopropusne stijene imaju veću debljinu, u njima se akumuliraju i kroz njih protječu znatne količine podzemnih voda, nazivamo ih vodonosnicima. Osim poroznosti, za nakupljanje podzemnih voda, također je bitna voda koja potpuno ili djelomično ispunjava porozni prostor, a ona po podrijetlu može biti juvenilna, konatna ili meteorska.

Juvenilna voda nastaje sintezom vodika i kisika ili kondenzacijom vodene pare koja dolazi iz još žitke Zemljine unutrašnjosti.

Konatna voda nastala je davno u geološkoj prošlosti, a ostala je u porama stijena koje su taložene u vodi, pa su zbog promjene sedimentacijskih uvjeta prekrivene nepropusnim naslagama.

Meteorske vode nakupljaju se u podzemlju infiltracijskim procesima preko oborina ili infiltracijom iz rijeka i jezera. S obzirom na korištenje vode najvažnija je upravo meteorska voda jer ona čini obnovljive zalihe podzemnih voda.

Podzemne vode vrlo su važan segment hrvatskog vodnog bogatstva. One su sigurni temelj javne i privatne vodoopskrbe, a sve više postaju i komercijalno zanimljiva 'roba', pa i izvozni artikl. U nekim dijelovima Republike Hrvatske korištenje podzemnih voda ujedno je i glavna mogućnost navodnjavanja i intenziviranja poljoprivredne proizvodnje, odnosno ublažavanja posljedica suše. Podzemne su vode i medij preko kojeg se koristi geotermalna energija. Količina i raspodjela podzemnih voda na području Republike Hrvatske uvjetovana je geološkim značajkama pojedinih područja. Prema geološkoj građi i hidrogeološkim značajkama, cijelo područje Republike Hrvatske može se podijeliti na dva područja. Ta područja su: područje sjeverne i istočne te područje zapadne i južne Hrvatske. Ova dva područja razlikuju se prema sastavu stijena, granulometrijskom sastavu i stupnju konsolidacije. Ponajprije zbog geološke građi, ali i velikih razlika u reljefu te klimatskih značajki, ta dva dijela Hrvatske bitno se razlikuju po načinu nakupljanja podzemnih voda, njihovoj dinamici, mogućnosti zahvaćanja i ugroženosti antropogenim utjecajima. Zbog toga se i mogućnost korištenja podzemnih voda te mogući utjecaj na kakvoću podzemnih voda u ta dva područja bitno razlikuju. (slika 4.) [1]



Slika 4. Pojednostavljen shematski prikaz pojavljivanja vode u podzemlju [4]

### 3.1 Hidrogeološke značajke sjeverne i istočne Hrvatske

Pod sjevernom i istočnom Hrvatskom podrazumijeva se područje koje obuhvaća dolinu Drave, dolinu Save i doline njihovih pritoka te brdoviti i brežuljkasti prostor u njihovu međuriječju. Za cijelo područje sjeverne Hrvatske karakterističan je postupan porast temperature i saliniteta vode s dubinom. S obzirom na ta dva pokazatelja, područje je u vertikalnom razrezu podijeljeno u dvije hidrogeološke zone. Prvu hidrogeološku zonu čine taložine do približne dubine od 200 m, a podzemna voda u prirodnom stanju po kakvoći odgovara normama propisanim za pitku vodu. Drugu hidrogeološku zonu čine naslage saturirane podzemnom vodom koja ima veću mineralizaciju i višu temperaturu od tzv. pitkih voda. S obzirom na korištenje vode za vodoopskrbu, zanimljiva je samo prva hidrogeološka zona, pa o drugoj u daljnjem tekstu neće biti govora. [5]

Idući od zapada prema istoku, u dolini Drave i njezinih pritoka kao posebne hidrogeološke cjeline mogu se izdvojiti ravničarski dio Međimurja, uzvodna Podravina, središnja Podravina, nizvodna Podravina, Baranja i plato istočne Slavonije i Srijema. [5]

Ravničarski dio Međimurja nalazi se između Drave i Mure. Površinski dio terena izgrađuju sitnozrne taložine koje predstavljaju sitnozrnu krovinu vodonosnog sloja. Debljina krovine je između 0,5 m i 4,5 m. Slijedi vodonosni sloj saturiran podzemnom vodom. Izgrađen je od šljunka i pijeska proslojcima sitnozrnih materijala. Debljina vodonosnog sloja različita je i kreće se između 140 m i ispod 20 m na zapadu, sjeveru i



istoku. Evidentna je intenzivna hidraulička veza vodonosnog sloja s Murom i Dravom, koje predstavljaju glavni izvor napajanja vodonosnog sloja. Izgradnjom hidroenergetskih objekata na Dravi promijenjen je prirodni režim podzemne vode, pa akumulacijska jezera uzrokuju konstantno procjeđivanje vode u vodonosnik, a odvodni kanali dreniraju vodonsone naslage. [5]

Područje uzvodne Podravine zauzima prostor između Drave na sjeveru i obronaka Ivanšćice i Kalnika na jugu. Zapadnu granicu čini državna granica sa Slovenijom, a istočnu Koprivnica i Legrad. U građi terena dominira vodonosni sloj koji se sastoji od dobro granuliranih šljunaka s različitim udjelom pijeska. U rubnim dijelovima te istočno od Ludbrega povećava se broj i količina leća pijeska i prašinih glina. Debljina naslaga raste od zapada (5 – 10 m) prema istoku gdje doseže vrijednost od 150 m. Dalje prema Legradu na naglo se smanjuje na 15 m, a između Legrada i Koprivnice iznosi oko 70 m. Slabopropusni pokrivač vodonosnog sloja izgrađuju prašino-pjeskovite i glinovite naslage debljine između 0 i 4 m. Debljina veća od 4 m registrirana je samo lokalno na rubovima doline. Drava je usjekla korito u vlastiti nanos i u izravnoj je hidrauličkoj vezi s podzemnim vodama, te je glavni izvor napajanja vodonosnog sloja. Prirodni odnos rijeke i podzemne vode danas je bitno izmijenjen radi regulacije njezina toka i izgradnje hidroenergetskih objekata. Staro korito prestalo je biti područjem intenzivnog napajanja te se uglavnom osjeća njegovo drenažno djelovanje, uz sniženje razine podzemnih voda. Glavna i stalna područja napajanja postala su akumulacijska jezera, iz kojih se voda procjeđuje u podzemlje. Prema istoku, opaža se prisutnost i blagi porast željeza u vodi. [5]

Središnja Podravina prostire se od linije Koprivnica – Legrad do linije Podravska Slatina – Sopje. Sjevernu granicu čine državna granica s Republikom Mađarskom, a južnu sjeverne padine Bilogore i Papuka. U tom području ima više vodonosnih slojeva. Najvažniji je kvartarni vodonosni sloj, čija debljina čija debljina u južnom dijelu iznosi i do 70 m. Koeficijenti hidrauličke provodljivosti imaju vrijednost i do 300m/dan. Krovina vodonosnog sloja sastoji se praha, pijeska i gline, uz karakterističnu pojavu živih pijesaka, te uglavnom močvarnih prapora u južnom i istočnom dijelu područja. Zapadno od Virovitice debljina krovine manja je od 10 m, no kod Virovitice krovina se naglo zadebljava i dalje prema istoku redovito iznosi više od 20 m. Na vodnom području ne postoji jednostavan hidrogeološki režim. Utjecaj Drave na vodostaj i smjer toka

podzemne vode jasno je uočljiv od Legrada do Pitomače, gdje se u zoni 2 do 3 km od Drave razine podzemne vode tijekom godine mijenjaju ovisno o vodostaju Drave. Podzemna voda u ovom vodonosniku obnavlja se procesima infiltracije oborinskih voda kroz slabopropusni pokrivač i procjeđivanjem iz korita Drave u uzvodnom dijelu područja. [5]

Nizvodna Podravina zauzima dio Dravske ravnice od Podravske Slatine do Dunava. Južnu granicu čine Papuk i Krndija, odnosno dalje na istok pozitivne strukture istočne Slavonije i Srijema. Za to područje karakteristične su tektonske depresije, u kojima je debljina naslaga prve hidrogeološke zone gotovo redovito veća od 150 m, a mjestimično doseže i do 300m. Najdublje su uleknine kod Crnca i kod Madarinaca. U litološkom sastavu naslaga kvartarnog vodonosnog kompleksa dominiraju slojevi pijeska i šljunka koji su međusobno odvojeni tanjim slojevima praha i gline. Javlja se mnogo propusnih slojeva različite debljine i prostiranja. Komuniciranje podzemnih voda moguće je između svih susjednih vodonosnih slojeva 'pretakanjem' kroz polupropusne slojeve. Veza s vodom na površini odvija se preko najplićeg markantnog vodonosnog sloja i njegova prašinsto-pjeskovitog pokrivača, čija debljina može dosegnuti i više od 30 m. [5]

Područje Baranje zauzima prostor omeđen Dravom na jugu i jugozapadu, Dunavom na istoku i državnom granicom s Mađarskom na sjeveru i sjeverozapadu. U Baranji se razlikuju dva tipa vodonosnih naslaga. Tako se u području Baranje grede značajne vodonosne taložine litotamnijski vapnenci – stijene s pukotinskom poroznošću. S obzirom na ograničenu mogućnost napajanja, rezerve podzemnih voda u njima nemaju veće značenje osim za lokalnu vodoopskrbu. Obnavljanje zaliha podzemne vode u litotamnijskim vapnencima odvija se procjeđivanjem oborina kroz praporni pokrivač na području Baranjske grede. U inundacijskom području, aluvijalnoj ravnici i riječnoj akumulacijskoj terasi formiran je jedinstveni prvi vodonosni sloj izgrađen od klasičnih sedimenata. Karakteristike mu se mijenjaju ovisno o granulometrijskom sastavu naslaga. Prosječne debljine vodonosnika u području akumulacijske terase iznosi 10 – 20 m, u području aluvijalne ravnice 30 – 40 m, a u inundacijskom području 40 – 60 m. U podini prvog vodonosnika nalaze se gline, prah i pijesak, koji se vertikalno i lateralno izmjenjuju. Prvi vodonosni sloj ravničarskoj dijelu područja napaja se infiltracijom oborina kroz slabo propusni površinski pokrivač, a u blizini Drave i Dunava procjeđivanjem iz riječkih

korita. U dubljim slojevima s vodom pod tlakom obnavljanje zaliha podzemnih voda izuzetno je slab. [5]

Plato istočne Slavonije i Srijema proteže se preko tzv. pozitivnih struktura istočne Slavonije i Srijema, pod kojima se podrazumijeva krajnji sjeverni dio Đakovačko-vinkovačkog prapornog ravnjaka te Vukovarski i Daljski praporski ravnjak. Za cijelo područje karakterističan je praporni površinski pokrivač debljine do 20 m. Slijedi prvi vodonosni sloj izgrađen od srednjozrnog do sitnozrnog pijeska. Debljina mu ne prelazi 10 m. Kontinuitet lateralnog pružanja nije dokazan. Slijedi izmjena slabopropusnih do nepropusnih prašiniastih i glinastih naslaga sa slojevima sitnozrnog prašiniastog pijeska skromne propusnosti. Podzemne vode obnavljaju se procesima infiltracije oborina u prvi vodonosni sloj i njihovim sporim procjeđivanjem kroz relativno debeli površinski pokrivač. (slika 5.) [5]



Slika 5. Shematski prikaz hidrogeološke karte Hrvatske [5]

### 3.2 Hidrogeološke značajke južne i zapadne Hrvatske

Riječ je o području Hrvatske koje se proteže zapadno od crte Kladuša – Jastrebarsko – Samobor i zauzima Žumberak, Istru, Gorski Kotar, najveći dio Like, Hrvatsko primorje te unutrašnji i primorski dio Dalmacije, koje se prostire na oko 52% površine Hrvatske i tipični je krški teren. Hidrogeološke značajke pojedinog dijela tih područja uvjetovane su geološkom građom i posljedicama tektonskih pokreta. [5]

Gornji dio sliva Kupe i njezinih pritoka karakterizira debeli razvoj karbonatnih stijena, što je uvjetovalo razvitak dubokog krša i podzemlja bogatog vodom koja se prazni na granici s tzv. plitkim kršem u središnjem dijelu slivova. Rijeke Kupa i Čabranka duž cijelog su toka baza istjecanja s pojavama vrlo jakih krških izvora do Broda na Kupi, jer se tamo drenira najrasprostranjeniji dio sliva s brojnim većim i manjim krškim poljima. [5]

U Istri se mogu na bazi hidrogeoloških karakteristika stijena razlikovati tri područja. To su područje visokog karbonatnog masiva izgrađeno od karbonatnih naslaga i naslaga fliša, zatim središnje područje izgrađeno od fliša i niska karbonatna platforma južne i jugozapadne Istre. U prvom području karbonatne naslage predstavljaju područje infiltracije oborinskih voda u krško podzemlje. Tako formirane podzemne vode teku u dva smjera – dreniraju se uzdužno po osnovnoj strukturi i pridružuju naslagama prema Kvarnerskom zaljevu, gdje izlaze na površinu kao priobalni izvor i vrulje ili se dreniraju okomito na taj smjer, odnosno teku ispod središnje strukture fliških naslaga kroz koje se probijaju i izvire na izvorima Sv. Ivan i Mlin u Hrvatskoj, odnosno izvoru Rižana u Sloveniji. U drugom području prevladava površinsko otjecanje prema zapadnoj ili istočnoj strani poluotoka, ali i poniranje u karbonatno područje s južne strane fliškog bazena. Površinsko otjecanje odvija se kroz bujične jarke do ulaženja u nanose kvartarnih materijala u najniže položenim jarcima i dolinama velikih vodenih tokova. Fliške naslage uvjetuju nastajanje stalnih i bujičnih vodotoka Istre – Mirnu, Dragonju i Rašu. Tamo gdje površinski dio laporovitih i pješčenjačkih naslaga trošan, podzemne se vode pojavljuju u zoni površinskog rastrošenog supstrata i prati morfologiju terena kao diskontinuirani vodonosni horizont. Dubina do podzemne vode ovisi o stupnju površinske rastrošenosti

naslaga i kreće se od 0,0 do 10 m. Brojni ulošci pješčenjaka, konglomerata, breča i laporovitih vapnenaca u laporovitoj sredini prazne se kroz male izvore i cjedine, no te su pojave lokalnog karaktera. U trećem području najviši dio terena predstavljala zonu najintenzivnijeg napajanja vodonosnika, odnosno obnavljanja zaliha podzemne vode. Ovdje se pojavljuju brojni ponori u koje koncentrirano poniru vode koje se slijevaju s fliškog pojasa, ali i lokalne bujične vode. Napajanje podzemlja rašireno je i na ostalom dijelu područja unatoč prekrivenosti terena crvenicom. Koncentrirano otjecanje podzemnih voda odvija se ponajprije duž doline Mirne i Raše. Uglavnom je riječ o snažnim izvorima, ulaznog karaktera. [5]

Hrvatsko primorje karakteriziraju značajne zone prikupljanja vode u planinskom području prema Gorskom kotaru, zatim zone retencija i zona izviranja. U dosadašnjim hidrogeološkim interpretacijama Vinodolska dolina tretirana je kao barijera kretanju podzemne vode iz područja Gorskog kotara prema moru, osim na području Pašca, gdje se pretpostavlja mogućnost prodora vode prema izvorima u priobalju, što je potvrđeno brojnim trasiranjima. Najnovija istraživanja međutim pokazuju da se u karbonatnoj podlozi fliša odvija glavna dinamika vode prema uzlaznim izvorima u priobalju. [5]

Lika i Podvelebit područja su za koja je karakterističan razvoj dubokog krša i dinamika vode vezana za razvoj tih fenomena. Treba istaknuti razvodnicu između Jadranskog i Crnomorskog sliva, čije je prostiranje utvrđeno ili pretpostavljeno kroz područje Like. Jadranskom slivu pripadaju slivovi rijeke Gacke i Like i priobalni izvori Novljanske Žrnovnice na sjeverozapadu do Karlobaga na jugoistoku, zatim izdvojeni mali sliv na jugozapadnoj padini Velebita između Karlobaga i Selina. U dijelu Like u kojem vode otječu u Crnomorski sliv izdvajaju se slivovi Kupe, odnosno Korane s Plitvičkim jezerima i sliv rijeke Une, kojemu pripadaju Krbavsko, Koreničko i Lapačko polje. S obzirom na vodopropusnost, izdvojene su četiri skupine stijena. Prvu skupinu čine dobro vodopropusne stijene – vapnenci, vapnenci u izmjeni s dolomitima i vapnenačke breče, drugu djelomično nepropusne stijene poznate kao Jelar naslage i djelomično propusni dolomiti, u treću skupinu su svrstane nepropusne stijene – šejlovi i pješčenjaci tetufovi, tufiti i bazalti, a u četvrtu kvartarne naslage koje imaju promjenjiva hidrogeološka svojstva ovisno o prevladajućem litološkom članu. Područje Dalmacije gotovo je 90% izgrađeno od sekundarno poroznih, raspucalih i okršenih vrlo propusnih karbonatnih stijena. Na njihovoj površini i u njihovoj dubini razvijeni su svi krški oblici i specifičnost

kretanja vode u kršu. Gotovo svi vodni objekti i rezerve podzemne vode pogodne za vodoopskrbu naselja nalaze se unutar karbonatnih stijena, dok ih u terenima s intergranularnom poroznošću i unutar flišolikih stijena praktički nema. Područjem teku od izvora do ušća rijeke Zrmanja, Krka i Cetina. Međutim, slivovi izvora tih rijeka i dijelovi slivova izvora na lijevoj obali Butišnice i izvora uz sjeveroistočni dio Sinjskog i Imotskog polja, te na lijevoj obali Neretve, pa sve do Boke kotorske, većim se dijelom nalaze u susjedno Bosni i Hercegovini. Na području Hrvatske nalaze se slivovi izvora u Ravnim kotarima i Bukovici, izvora u dolini Krke i izvora na rubovima Kosova i Petrova polja i na desno obali Cetine te izvora u priobalju u kojih je većina pod utjecajem mora. Izvor koji se nalaze uz obalu, a nisu pod utjecajem mora, preljevni su ili čak uzlazni i javljaju se uz granicu propusnih i nepropusnih klasičnih stijena ili se nalaze u dolinama rijeka gdje se one, zbog hipsometrijske pozicije, nalaze u zoni vodnog lica podzemne vode. Pretežni dio podzemne vode gravitira prema moru gdje se zaslanjuje i nije pogodna za piće. Neujednačen raspored oborina tijekom godine i ograničene retencijske sposobnosti krških vodonosnika znatno smanjuju eksploatacijske količine vode u sušnom razdoblju. Podzemne vode ima i na otocima. Najvažnije zalihe nalaze se na Krku, Cresu i Lošinju te Rabu i Pagu. [5]

### 3.3 Zalihe i kakvoća podzemnih voda u Republici Hrvatskoj

Zalihe podzemnih voda u Republici Hrvatskoj određuju se na osnovu procjena, jer zbog složenosti hidrogeoloških odnosa i nedovoljne istraženosti vodonosnika, nije moguće odrediti točne odnosno približne vrijednosti zaliha podzemnih voda. Za komercijalnu uporabu odnosno zbog vodnogospodarske važnosti, najbitnije su obnovljive zalihe podzemnih voda. Te zalihe podzemnih voda akumuliraju se procesima infiltracije u pornom prostoru vodonosnika nakon oborinskih dešavanja. Upravo te zalihe podzemnih voda mogu se eksploatirati i koristiti za vodoopskrbu ili navodnjavanje poljoprivrednih kultura.

Najveće obnovljive zalihe podzemne vode crnomorskog sliva vezane su za kvartarne naslage u dolinama Drave i Save, u kojima su formirani vodonosnici međuzrnske

poroznosti, te za vodonosnike pukotinsko-kavernozne poroznosti u južnim dijelovima slivova Kupe i Une. Također, znatnije količine vode akumuliraju se i u karbonatnim vodonosnicima pukotinske poroznosti u gorskim područjima sjeverne Hrvatske. Osnovni izvor prihranjivanja podzemnih voda područja Drave jest infiltracija oborina kroz polupropusni pokrovni sloj, dok na obnovljive zalihe podzemne vode u savskom vodonosniku, osim infiltracija oborina, znatno utječe i napajanje iz rijeke Save. Obnovljive zalihe podzemne vode u plitkim aluvijalnim vodonosnicima određene su kao umnožak površine prostiranja vodonosnih slojeva, amplituda kolebanja piezometarske razine i efektivne poroznosti. Za duboke vodonosnike, umjesto efektivne poroznosti, iskorištene su vrijednosti koeficijenta uskladištenja. Zbog osobitosti krških vodonosnika, složenih strukturno-tektonskih odnosa, te višestrukog izviranja i poniranja vode na različitim horizontima unutar istoga sliva u velikome broju slučajeva nepouzdana je odvajanje površinskih i podzemnih voda, a osobito utvrđivanje zaliha podzemne vode. Zbog toga su obnovljive zalihe podzemnih voda određene na temelju minimalnih izdašnosti izvora, kapaciteta vodozahvatnih objekata, procijenjenih efektivnih poroznosti i retencijskih sposobnosti vodonosnika. U tablici 2. prikazane su obnovljive zalihe podzemnih voda u  $10^6 \text{ m}^3/\text{god}$ . [5]

Tablica 2. Obnovljive zalihe podzemnih voda u  $10^6 \text{ m}^3/\text{god}$ . [5]

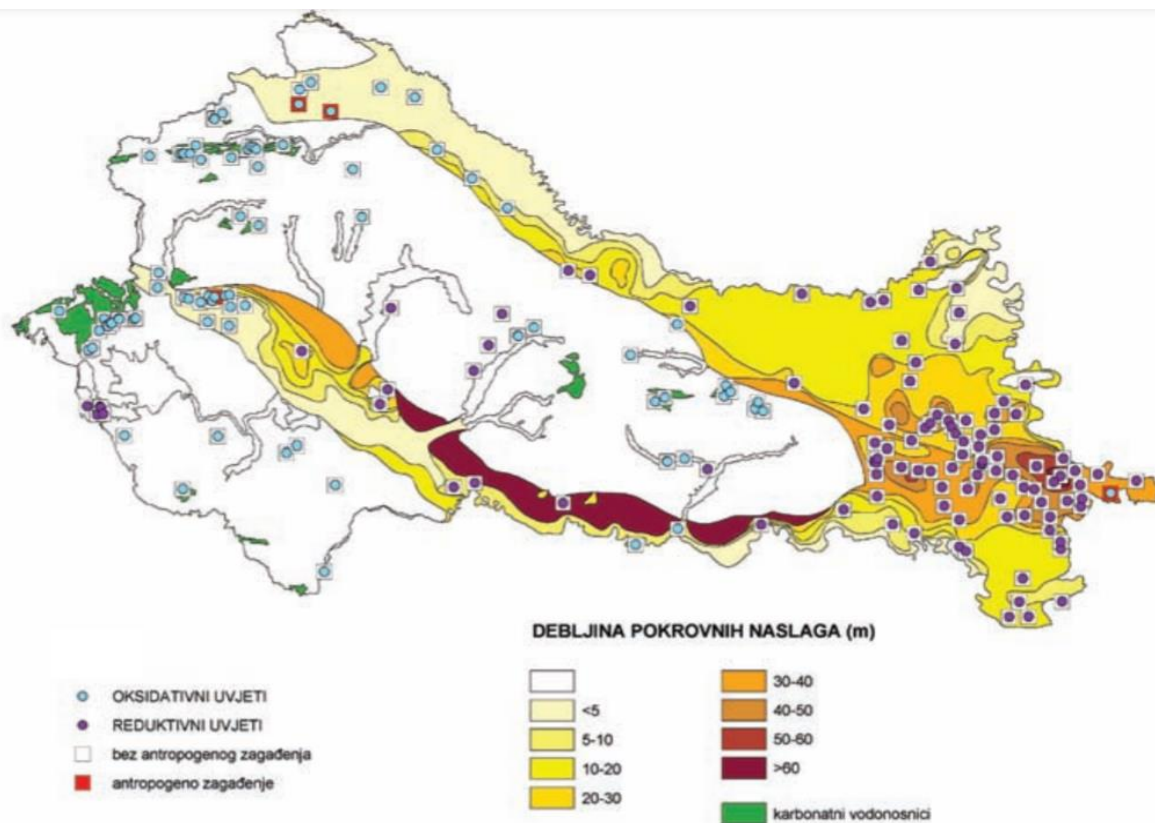
| <b>Morski sliv</b> | <b>Područje</b>            | <b>Aluvijalni vodonosnici</b> | <b>Karbonatni vodonosnici</b> | <b>Ukupno</b> |
|--------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|
| Crnomorski         | Sliv Save                  | 1,198,3                       | 653,8                         | 1852,1        |
|                    | Sliv Drave i Dunava        | 802,6                         | 7,8                           | 810,4         |
| Jadranski          | Primorsko-istarski slivovi | -                             | 2639,5                        | 2639,5        |
|                    | Dalmatinski slivovi        | -                             | 3831,3                        | 3831,3        |
|                    | Ukupno Hrvatska            | 2006,9                        | 7132,4                        | 9133,3        |

Podzemne se vode ponajprije iskorištavaju za javnu vodoopskrbu te se njihova kakvoća uglavnom ocjenjuje prema pokazateljima definiranim Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće. Monitoring kakvoće podzemnih voda na području krša, te na širem području grada Zagreba prati se i ocjenjuje i prema Uredbi o klasifikaciji voda.

Opće stanje kakvoće podzemne vode u dravskom vodonosniku uvjetovano je načinom sedimentacije naslaga, te debljinom slabo propusnih pokrovnih naslaga iznad vodonosnika. Na krajnjem zapadu vodonosnik je pokriven razmjerno tankim prašinasto-glinovitim naslagama, zbog čega je u prvome vodonosnom sloju, na pojedinim područjima, povećana koncentracija nitrata, kao posljedica antropogenog utjecaja. Podzemna voda iz drugog vodonosnika relativno je dobre kakvoće. U središnjem i istočnom dijelu dravskog bazena, zbog znatne debljine pokrovnih naslaga, ranjivost od onečišćenja vodonosnika znatno je manja, ali, u pravilu, prevladavaju reduktivni uvjeti, pa podzemna voda prirodno sadrži visoke koncentracije željeza i pratećih sastojaka (mangana, amonijaka). U slivu Dunava po svojem osnovnom kemijskom sastavu podzemne su vode uglavnom kalcijско-hidrokarbonatnog tipa. Zbog znatne debljine slabo propusnih pokrovnih naslaga ranjivost je vodonosnika mala, ali prevladavaju reduktivni uvjeti u vodi s prirodno povećanom koncentracijom željeza, te mangana, arsena i fosilnog amonijaka. Najveće koncentracije željeza registrirane su u podzemnim vodama plićih vodonosnih slojeva. Podzemne vode iz gorskih karbonatnih vodonosnika odlikuju se iznimno visokom kakvoćom. Budući da su im područja prihranjivanja nenastanjena i šumom prekrivena gorja, ugroženost vodonosnika od onečišćenja praktički ne postoji. Ovisno o ishodišnoj stijeni, prema kemijskom sastavu to su dominantno kalcijske ili kalcijско-magnezijske hidrokarbonatne vode. [5]

U neposrednom slivu rijeke Save od slovenske granice do Siska visoka koncentracija pokazatelja antropogenog onečišćenja u podzemnoj vodi posljedica je velike prirodne ranjivosti vodonosnika, te velikoga broja onečišćivača. Do sada je na području zagrebačkih crpilišta zbog onečišćenja organskim otapalima i nitratima isključeno iz javne vodoopskrbe više gradskih zdenaca. Posljednjih se godina uočava zamjetno poboljšanje kakvoće podzemne vode na priljevnim područjima zagrebačkih crpilišta. (slika 6.)

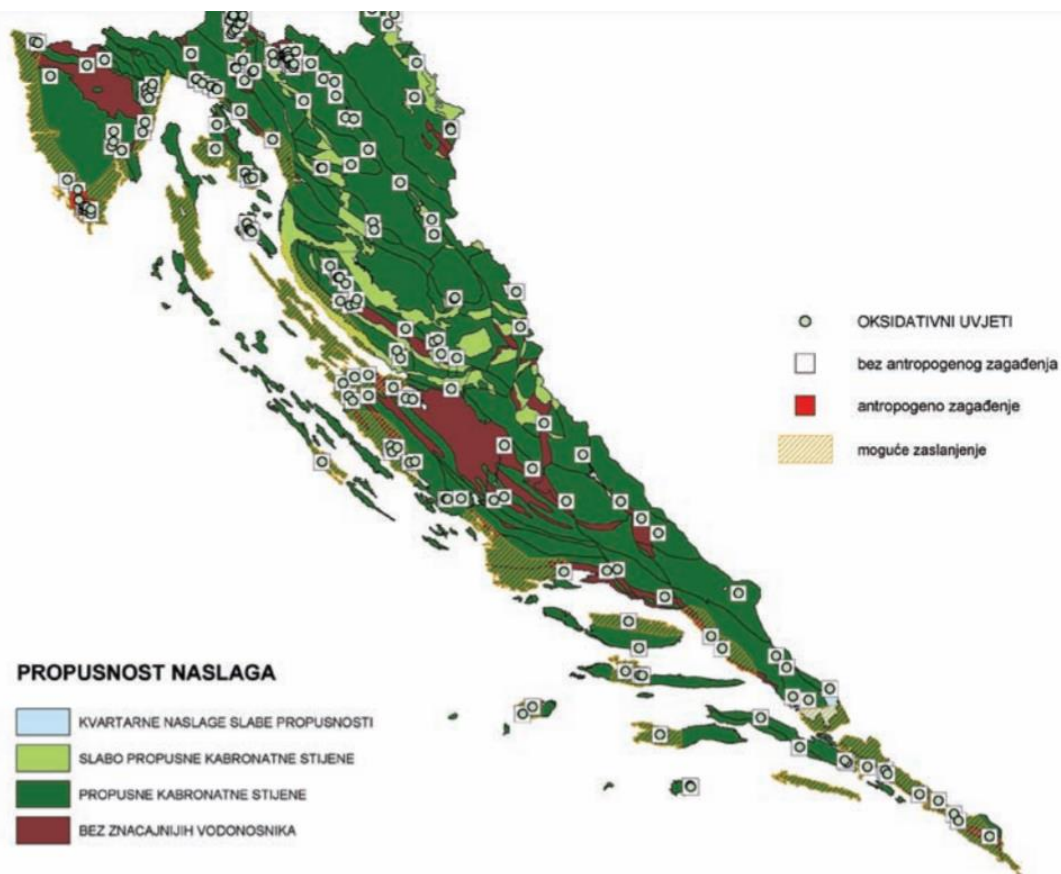




Slika 6. Zasićenost vodonosnika i kakvoća podzemne vode na području sjeverne i istočne Hrvatske [5]

Podzemne vode s krškog područja sliva Save pripadaju kalcijsko-hidrogenkarbonatnom, kalcijsko-magnezijskom do magnezijско-kalcijском geokemijskom tipu voda. U kemijskom pogledu vode su dobre kakvoće, ali na pojedinim izvorima prisutno je konstantno mikrobiološko onečišćenje fekalnog porijekla. Izvori u čijem se slivu nalaze klastiti paleozoika i gornjeg trijasa odlikuju se prirodno nešto povišenim koncentracijama nekih teških metala. Niske koncentracije nitrata, ortofosfata i vrijednosti kemijske potrošnje kisika karakteristične su za čiste vodonosnike dinarskoga krša. [5]

Sve podzemne vode na području Istre, u ustaljenim hidrološkim uvjetima, dobre su kakvoće. Prema hidrochemijskom facijesu vode su pretežito kalcijско-hidrokarbonatnog tipa, a prema tvrdoći su srednje tvrde do vrlo tvrde. (slika 7.)



Slika 7. Zasićenost i kakvoća podzemnih voda na krškom području [5]

Povećane koncentracije dušikovih i fosfornih spojeva u podzemnim vodama upućuju na posljedicu unosa otpadnih voda naselja, a dijelom i ispiranja poljodjelskih površina. Najviši sadržaj nitrata zabilježen je u vodama pulskih zdenaca, od kojih su neki isključeni iz javne vodoopskrbe zbog antropogenih onečišćenja. Svi istarski izvori, osim izvora Kožljak i Plomin, stalno su mikrobiološki onečišćeni. Vode svih većih i izdašnjih izvora na području Kvarnerskog zaljeva jesu kalcijsko-hidrogenkarbonatnog tipa, umjerene tvrdoće i s niskim sadržajem klorida i sulfata, izuzevši neke priobalne izvora pod utjecajem mora. Kakvoća vode izvora Rječine i izvora u Bakarskom zaljevu vrlo je dobra, osim za vrijeme i nakon jačih kiša, a posebice nakon sušnih razdoblja, kada se u vodi pojavljuje mikrobiološko onečišćenje. Koncentracije nitrata u vodi svih izvorišta znatno su niže od maksimalno dopuštene za vodu za piće, a podzemne vode nisu onečišćene teškim metalima. [5]

Podzemne vode sliva rijeke Zrmanje jesu kalcijско-hidrokarbonatnog tipa, osim priobalnih izvora, gdje je evidentan utjecaj mora. Podzemne su vode za sada visoke kakvoće. Zajednička značajka podzemnih voda Ravnih kotara jest da su tvrdoća i alkalitet približno dvaput veći nego u tipičnim krškim vodama. Najveći dio podzemnih voda sliva rijeke Krke pripada kalcijско-karbonatnom tipu. Izuzetak su podzemne vode u najnižvodnijem dijelu sliva, gdje je Krka u razini i pod utjecajem mora pa pripadaju natrijsko-kloridnom tipu. Vode izvora Jaruga i Pećina karakterizira povećani sadržaj sulfata prirodnog porijekla. Najveći dio podzemnih voda u slivu Vranskog jezera pripada kalcijско-hidrokarbonatnom tipu, osim u priobalnoj zoni i dijelu Vranskog polja, gdje su podzemne vode pod utjecajem mora. Izvorišne vode u slivu Pantana većim su dijelom godine zaslanjene morskom vodom. Podzemne vode u slivu rijeke Cetine relativno su dobre kakvoće, ali se primjećuje utjecaj antropogenog onečišćenja. Pripadaju kalcijско-hidrokarbonatnom tipu. Sadrže malo otopljenog ugljičnog dioksida, dobro su zasićene kisikom i umjerene su tvrdoće. Vode se, u pravilu, ne zamućuju, osim na izvoru Jadro, gdje je zamućenje relativno često i intenzivno. Na izvoru Jadro također se pojavljuje i povremeno povećana koncentracija mineralnih ulja i fenola, te dušikovih i fosfornih spojeva. [5]

Osnovni kemijski sastav podzemnih voda u slivu desne i lijeve obale Neretve bitno se razlikuje. Podzemne vode sliva desne obale Neretve jesu kalcijско-hidrogenkarbonatno-sulfatne vode. Te vode sadrže relativno malo klorida, osim na izvoru Prud, koji je povremeno kao i rijeka Neretva pod utjecajem mora. Podzemna se voda malokad zamućuje. Podzemne vode u slivu lijeve obale Neretve uglavnom su kalcijско-hidrogenkarbonatnog tipa i dobro su zasićene kisikom. U vodi izvora povremeno se pojavljuju povećane koncentracije klorida. Za vrijeme obilnih oborina voda se na pojedinim izvorima zamuti. Uočava se opća tendencija pogoršanja kakvoće vode i u mikrobiološkom i u kemijskom smislu. (slika 8.)

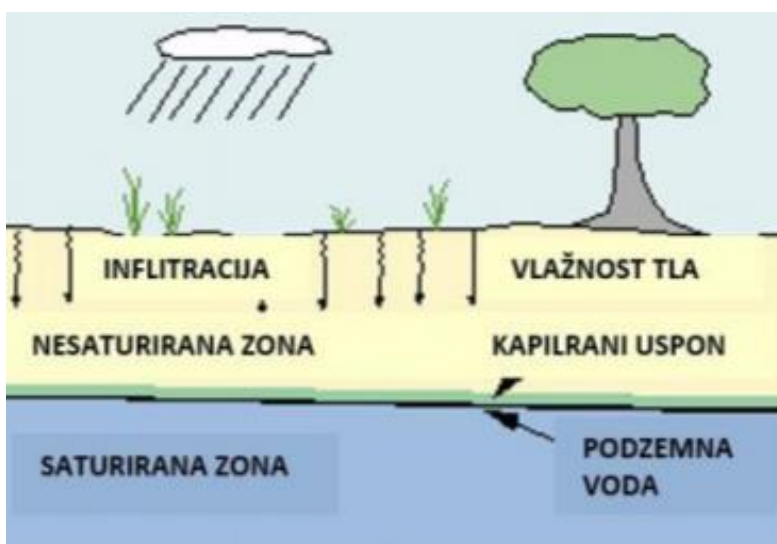


Slika 8. Prostorni raspored zahvata podzemnih i površinskih voda [5]

#### 4. KVALITETA PODZEMNIH VODA

Voda je tekućina bez mirisa, okusa i boje, te se pri normalnim atmosferskom tlaku ledi na temperaturi od 0°C, ključa na 100°C, te je najgušća pri + 4°C. Vodu navedenih optimalnih svojstava u prirodi je jako teško pronaći, jer pri samom prolazu kišnice kroz atmosferu kapi na sebe prikupljaju čestice dima i prašine. Prilikom pada kišnice na zemlju ona procesom infiltracije dospjeva u vodonosnike, te putujući na sebe nakuplja različite čestice organskih i anorganskih tvari te različite mikroorganizme. Svi ovi procesi i parametri mijenjaju svojstva vode i tako utječu na njenu kvalitetu. Kvaliteta podzemnih voda određuje se na osnovu fizičkih, kemijskih, bioloških i radioloških svojstava.

*Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08.)* propisuje se zdravstvena ispravnost vode koja služi za ljudsku uporabu, granične vrijednosti pokazatelja zdravstvene ispravnosti, vrste i obim analiza uzoraka vode za piće te analitičke metode i učestalost uzimanja uzoraka vode za piće. Na slici 9. prikazan je proces infiltracije vode kroz različite slojeve Zemljine kore.



Slika 9. Infiltracija vode kroz različite slojeve Zemljine površine [6]

## 4.1 Fizička svojstva vode

Temperatura, boja, miris, okus i zamućenost definiraju se kao fizička svojstva vode. Klimatske prilike, geološka građa terena, veza s površinskim vodama i dinamika podzemnih voda utječu na temperaturu podzemnih voda.

Neutralni temperaturni sloj nalazi se na otprilike 20 m dubine, gdje je temperatura podzemnih voda konstantna i jednaka je prosječnoj temperaturi zraka na površini terena. Porast temperature podzemnih voda ovisi o samoj građi zemljanih struktura, toplinskoj vodljivosti stijena i blizini magmatskih tijela. Temperatura podzemnih voda raste u prosjeku za 1 °C svakih 30 do 35 m dubine. Najpogodnija temperatura pitke vode iznosi između 8 i 12 °C. [7]

Zamućenost vode nastaje od suspendiranih organskih i anorganskih tvari u vodi. Pijesak, prah, glina najčešće su suspendirane čestice u vodi, no također se mogu pronaći čestice željeza i mangana. Turbidimetar je uređaj kojim se mjeri intenzitet mutnoće. Voda koja se koristi za piće ne smije imati veću mutnoću od 10 stupnjeva prema usvojenim standardima.

Na boju vode utječu različite otopljene i koloidne, anorganske i organske tvari. Najčešći slučaj je da na boju vode utječu otopljene željezne i manganske soli, bjelančevine ugljikohidrati te različite kiseline. Nijansa i sama boja vode mjeri se kolorimetrom, a njime se izražava stupanj platinsko-kobaltne skale. Prema uputama Svjetske zdravstvene organizacije voda ne smije imati intenzivniju boju od 50 stupnjeva, dok prema hrvatskom zakonodavstvu ta vrijednosti iznosi maksimalno 20 stupnjeva. Voda koja sadrži veće koncentracije određenih otopljenih anorganskih i organskih tvari poprima određenu boju, te je vrlo lako opažanjem odrediti koja je voda ispravna za konzumaciju, a koja ne. [7]

Okus vode za konzumaciju trebao bi imati neutralan okus, odnosno nakon i prilikom konzumacije ne bi se smjela osjetiti prisutnost određenih otopljenih i suspendiranih tvari. Veće količine natrijevog klorida, suspendiranog u vodi za konzumaciju, vodi daju slankast okus. Okus gorke vode ukazuje na prisutnost viša magnezijskih sulfata. Voda koja se koristi uza konzumaciju ne bi smjela imati intenzivan okus.

Na miris vode utječe prisutnost plinova u vodi pa tako vode koje sadrže metan imaju miris po nafti, a vode koje sadrže sumporovodik imaju miris po pokvareni jajima. (slika 10.)



Slika 10. Laboratorijsko ispitivanje fizičkih svojstava vode [8]

## 4.2 Biološka svojstva vode

Bakterije, virusi, protozoe i rikecije najčešći su mikroorganizmi prisutni u vodama, te stoga biološka svojstva vode ovise o prisutnosti mikroorganizama.

Jednostanične organizme koji su oku neprimjetni bez određenih pomagala, a prisutni su u vodama, nazivamo bakterijama. Prisutnost bakterija u vodama može biti od nekoliko jedinki do velikih kolonija, a to sve ovisi o njihovim biološko-životnim procesima kao što su disanje, hranjenje, te na koncu razmnožavanja. Bakterije prisutne u vodama razlikuju se prema veličinama, obliku i vanjskom izgledu.

Virusi su najjednostavnija i najsitnija živa bića. Njihova prisutnost može se odrediti jedino uz korištenje elektronskog mikroskopa. Njihovo razmnožavanje vrši se samo na živim tkivima, a razlikujemo ih prema veličini, obliku, kemijskoj građi i drugim karakteristikama.

Protozoe također nazivamo praživotinjama. Protozoe su u pravilu veće od bakterija i imaju složeniju strukturu. Također se razlikuju prema veličini, obliku, tipovima i načinu razmnožavanja.

Rikecije su mikroorganizmi koji se prema svojim svojstvima nalaze na pola puta između bakterija i virus. Veličinom, oblikom i načinom razmnožavanja slične bakterijama, no u drugu ruku kako se nalaze i razmnožavaju na površinama živih bića slične i virusima. Rikecije zbog gore navedenih osobina svrstavamo u intercelularne parazite.

Voda koju koristimo za konzumaciju često sadrži i patogene bakterije koje u većini slučajeva potječu od ljudske i životinjske crijevne flore. Podzemne vode nisu pogodno stanište za boravak većeg dijela mikroorganizama pa tako i patogenih bakterija. Nakon perioda od 60 dana veći dio mikroorganizama i patogenih bakterija umire. Također procesom infiltracije, odnosno prilikom puta oborinskih voda koje sadrže različite mikroorganizme, veći dio tih mikroorganizama se ukloni putem filtracije dok stignu do vodonosnika. (slika 11.) [7]



Slika 11. Prisutnost različitih mikroorganizama u vodi [9]



### 4.3 Radiološka svojstva vode

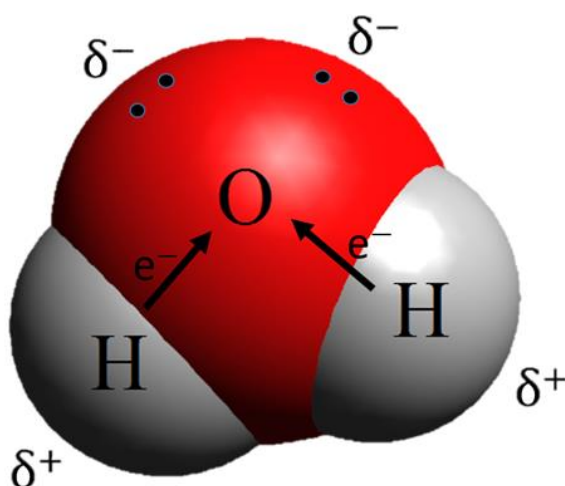
Da bi se za vodu moglo reći da ima određeni stupanj radioaktivnosti mora se odrediti prisutnost radioaktivnih izotopa lakih elemenata kao što su vodik, kisik, ugljik, jod, natrij, kalij i sl. To su i pravilu alfa i beta emiteri kratkog vremena poluraspada, koje se mjeri u sekundama, minutama, satima ili eventualno danima. Prisutnost radioaktivnih izotopa vodi daje ljekovito djelovanje, tako da sam termin 'radioaktivnosti' u ovom slučaju ne znači ništa loše. Radioaktivna zagađenja koja nastaju prilikom testiranja nuklearnog oružja ispod površine Zemlje mogu utjecati na kakvoću podzemnih voda, te je samo korištenje takve kontaminirane vode zabranjeno jer sadrži opasne i teške radioizotope. 'Svjetska zdravstvena organizacija u suradnji s Međunarodnom komisijom za zaštitu od radioaktivnosti odredila je maksimalno dopuštene koncentracije pojedinih vrsta radioaktivnih elemenata u vodi namijenjenoj vodoopskrbi. U koliko postoji mogućnost izlaganja radioaktivnom djelovanju 'ukupne populacije' dozvoljene vrijednosti su 100 puta manje. (slika 12.) [7]



Slika 12. Upozorenje na radioaktivne tvari i elemente u vodi [10]

#### 4.4 Kemijska svojstva vode

Vrsta i količina otopljenih mineralnih tvari u vodi definiramo kao kemijske značajke vode. Kemijska svojstva utječu na kvalitetu i uporabljivost podzemnih voda jer se koncentracija otopljenih mineralnih tvari povećava vremenom boravka vode u prizemlju. Sposobnost vode da otpada gotovo sve elemente i spojeve koje nalazimo u prirodi i našem okruženju jedna je od najznačajnijih karakteristika vode. Samu moć otapanja velikog broja elemenata i spojeva vodi daje dipolni karakter molekule vode. (slika 13.)



Slika 13. Dipolni karakter molekule vode [11]

Svaki mineral sastoji se od pozitivno i negativno nabijenih iona, koji se zbog suprotnih naboja međusobno privlače i zbog toga čine čvrstu mineralnu strukturu. Ioni se iz mineralne strukture mogu izdvojiti samo ako neki novi elektrokemijski naboj nadvlada sile privlačenja koje djeluju u molekulama minerala. Voda je zbog svojeg dipolnog karaktera sredstvo koje raspolaže takvim elektrokemijskim nabojem. Kada dakle voda dođe u doticaj u s nekim mineralom, molekule vode orijentiraju se stranom koja ima suprotan naboj prema ionu koji je izložen na površini mineralnog zrna i na taj način dijelom ili potpuno neutraliziraju sile privlačenja među ionima minerala.

Potpuna neutralizacija privlačnih sila u mineralu rezultira odvajanjem pojedinih iona od površine minerala. Ovaj proces poznat je kao hidratacija. Hidratacija traje sve dotle dok u vodi ima slobodnih odnosno nezasićenih molekula koje dolaze u kontakt s površinom minerala. Nakon nekog vremena uspostavlja se ravnoteža između vode i minerala, tj. električni nabijene molekule vodu u blizini minerala postaju pokrivena suprotno nabijenim ionima izdvojenima iz strukture minerala, pa proces hidratacije prestaje. Ta ravnoteža će se prije uspostaviti ukoliko je tečenje podzemne vode sporije, a minerali s kojima voda dolazi u dodir više topljivi. [7]

Upravo iz gore navedenih razloga podzemne vode u prirodi nikada ne mogu biti jedino spojevi kisika i vodika, nego uvijek sadrže dodatne otopljene mineralne tvari.

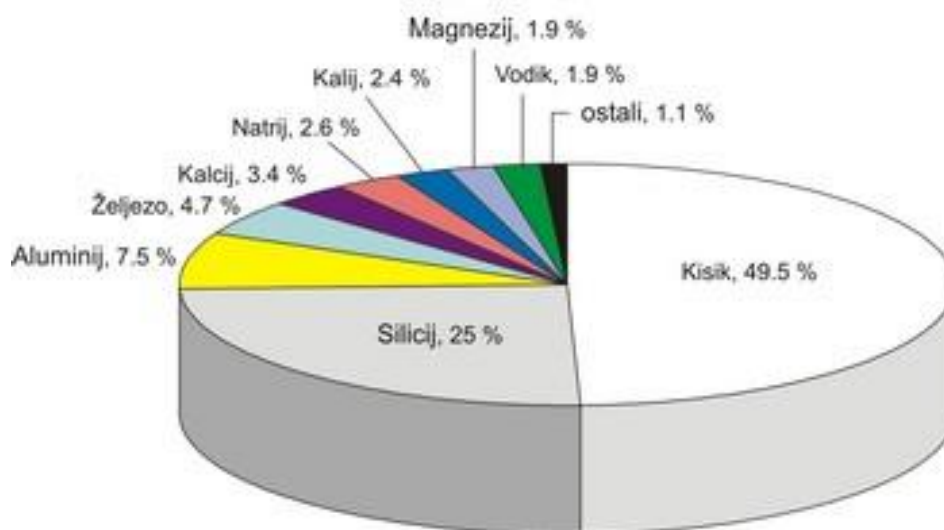
Podzemne vode sadrže najviše kemijskih elemenata kojih ima upravo u litosferi jer procesima infiltracije i filtracije voda putuje kroz građu i slojeve Zemljine kore i završava u vodonosniku. U tablici 3. prikazan je udio najzastupljenijih kemijskih elemenata u građi Zemljine kore.

Tablica 3. Udio najzastupljenijih kemijskih elemenata u građi Zemljine kore [3]

| <b>Kemijski element</b> | <b>Oksid</b>                   | <b>Prosječan sadržaj u litosferi (% težine)</b> |
|-------------------------|--------------------------------|---|
| Silicij                 | SiO <sub>2</sub>               | 63,5  |
| Aluminij                | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,9  |
| Kalcij                  | CaO                            | 4,9   |
| Natrij                  | Na <sub>2</sub> O              | 3,3   |
| Kalij                   | K <sub>2</sub> O               | 3,3   |
| Željezo (2+)            | FeO                            | 3,3   |
| Željezo (3+)            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,9   |
| Magnezij                | MgO                            | 2,9   |

Više od 90% volumena zemljine kore čine silikati, a osnovnu strukturu silikata čini fleksibilni kompleksni silikatni ion SiO<sub>4</sub>. Iako su oksidi silicija, aluminija i željeza glavni sastojci Zemljine kore, zbog relativno slabije topivosti nisu najzastupljeniji i u sastavu

podzemne vode. Zbog toga u prosječnim podzemnim vodama prevladavaju ioni koji grade relativno lako topive minerale. (slika 14.) [3]



Slika 14. Težinski udjel kemijskih elemenata u građi Zemljine kore [12]

Podzemne vode i vode koje se koriste za konzumaciju moraju sadržavati manje od 500 mg/l otopljenih tvari kako bi zadovoljavale kriterij za korištenje u domaćinstvu, navodnjavanju i u poljoprivredi. Vode koje sadrže više od 1000 mg/l otopljenih tvari u većini slučajeva imaju gorak ili slan okus, te zbog toga nisu za konzumaciju. Upravo zbog visokog udjela otopljenih tvari, takve vode se ne koriste u prehrambenoj industriji niti u navodnjavanju zemljišta jer sadrže visoko udio soli. Upravo iz tih razloga je potrebno sustavno voditi brigu o zalihama podzemnih voda, te provoditi laboratorijska testiranja. [7]

## 5. PARAMETARSKE ZNAČAJKE PODZEMNIH VODA

Glavni parametri za određivanje kvalitete podzemnih voda su:

- Tvrdoća
- Specifična elektroprovodljivost
- Koncentracija vodikovih iona

### 5.1 Tvrdoća

Tvrdoća vode ovisi o količini prisutnih iona kalcija i magnezija u vodenoj otopini. Glavnina iona kalcija i magnezija u podzemnim vodama potječe iz njihovih bikarbonata, karbonata i u manjoj mjeri sulfata. Tako razlikujemo karbonatnu i nekarbonatnu tvrdoću. Karbonatnu tvrdoću čini dakle dio kalcijevih i magnezijevih iona koji tvore karbonate i bikarbonate. Ta tvrdoća poznata je kao privremena tvrdoća jer se prokuhavanjem vode gubi u potpunosti. Naime pri zagrijavanju vodene otopine kalcijevog i magnezijevog bikarbonata iz nje izlazi CO<sub>2</sub> pa dolazi do taloženja kalcijevog i magnezijevog karbonata. Nekarbonatna tvrdoća predstavlja razliku između ukupne i karbonatne tvrdoće. Uzrokuje je dio iona kalcija i magnezija koji tvore sulfate, kloride, nitrata, te u puno manjoj mjeri, borate, jodide i neke druge spojeve.

Tvrdoća se najčešće izražava kao koncentracija kalcijevog karbonata u mg/l. Voda sa tvrdoćom između 50 i 150 mg/l kalcijevog karbonata također se mogu koristiti u sve svrhe, no zbog veće potrošnje sapuna ili deterdženta nisu pogodne za praonice rublja. Pri zagrijavanju vode s većom tvrdoćom od 100mg/l kalcijevog karbonata dolazi do taloženja kotlovskeg kamenca, te na taj način dolazi do taloženja karbonata na mjestima korištenja vode. Ako voda ima veću tvrdoću od 200 mg/l kalcijevog karbonata, tada se vrši omekšavanje vode različitim tehnološkim procesima. Na taj se način tvrdoća smanjuje na 85 mg/l kalcijevog karbonata. [7]

## 5.2 Specifična elektroprovodljivost

Električna vodljivost je sposobnost tekućine da provodi struju i ona ovisi o koncentraciji otopljenih tvari, temperaturi i vrsti otopljenih minerala. Vode visoke specifične elektroprovodljivosti korozivno djeluju na željezo i običan čelik. Mjerna jedinica za električnu provodljivost jest siemens. Do prolaza električne struje kroz vodenu otopinu dolazi zbog toga što su ioni električni nabijeni, pa se kreću prema polu izvora električne struje sa suprotnim nabojem gdje se neutraliziraju. Kemijski čista voda ima vrlo nisku elektroprovodljivost, ali dodavanjem sitne količine otopljenih mineralnih tvari ta se elektroprovodljivost povećava.

U tablici 4. prikazana je ovisnost specifične elektroprovodljivosti o koncentraciji i vrsti otopljenih tvari.

Tablica 4. Ovisnost specifične elektroprovodljivosti o koncentraciji i vrsti otopljenih tvari [7]

| Koncentracija otopine<br>(mg/l) | Specifična elektroprovodljivost pri temperaturi od<br>25°C |                                    |
|---------------------------------|--|------------------------------------|
|                                 | NaCl   | Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> |
| 50                              | 93   | 62                                 |
| 100                             | 187  | 125                                |
| 200                             | 370  | 250                                |
| 400                             | 750  | 500                                |

Kod različitih otopina, u koje spadaju i podzemne vode, specifična elektroprovodljivost direktno je proporcionalna količini otopljenih tvari. Specifična elektroprovodljivost, međutim ovisi i o vrsti minerala koji je otopljen u vodi. Tako recimo vodena otopina 100 mg/l natrijevog klorida ima veću specifičnu elektroprovodljivost nego vodena otopina sa 100 mg/l kalcijevog bikarbonata. Specifične elektroprovodljivosti različitih otopina mogu se uspoređivati samo ako su određene pri istoj temperaturi. [7]

### 5.3 Koncentracija vodikovih iona

Kiselost vode dolazi od veće koncentracije slobodnih vodikovih iona, a lužnatost dolazi od manje koncentracije slobodnih vodikovih iona. Voda svoj karakter prilagođava odnosno mijenja u ovisnosti s kakvom tvari dolazi u kontakt. Voda u kontaktu s kiselinom rezultira smanjenjem broja slobodnih vodikovih iona, a to znači da voda jednim dijelom neutralizira kiselinu. Tako dolazimo do pojma alkalitet. Alkalitet definiramo kao sposobnost vode da neutralizira kiselinu do određene pH vrijednosti. Koncentracija slobodnih vodikovih iona u vodi izražava se pomoću pH vrijednosti. Ako je pH vrijednost otopine manji od 7, otopina ima kisel karakter, no ako je pH vrijednost otopine veća od 7 tada je otopina lužnata. Temperatura također igra veliku ulogu u odnosu između pH vrijednosti i karaktera otopine. (slika 15.)



Slika 15. Indikator papir u roli [13]

Vode s povećanom koncentracijom slobodnih vodikovih iona, odnosno vode koje su kisele, djeluju korozivno na metale pa su tako dijelovi vodoopskrbnih sustava izloženi prekomjernom trošenju ako dođu u kontakt s vodama povišene kiselosti.

Ugljični monoksid glavni je regulator pH vrijednosti podzemnih voda. Ugljični monoksid u vodu dospijeva iz atmosfere, različitim biološkim procesima ili otapanjem karbonatnih stijena. Može se reći da je glavnina podzemnih voda po svojem kemijskom sastavu pogodna za piće. Ako podzemne vode sadrže neuobičajeno visoke koncentracije nekih iona, sigurno je da je ta podzemna vodo bila u kontaktu s nekim lakotopivim mineralima koji se nalaze u podzemlju u povišenim koncentracijama. Danas se situacija uvelike promijenila, te sve češće nalazimo neuporabljive podzemne vode koje sadrže prekomjerne količine toksičnih tvari. Ljudska djelatnost i nemar najveći su izvori onečišćenja vodnih resursa. (slika 16.)

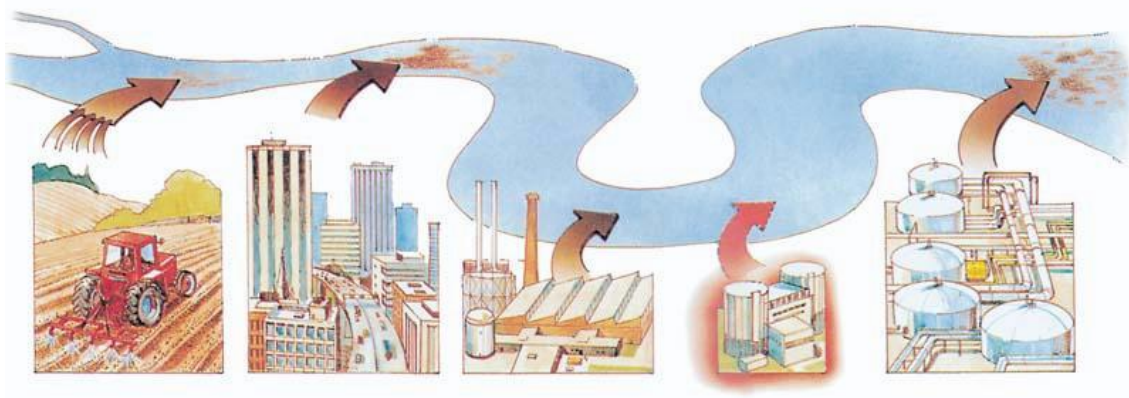


Slika 16. Utjecaj čovjeka na ekosustav [14]



## 6. ONEČIŠĆENJE PODZEMNIH VODA

Različite promjene u okolišu uzrokovane ljudskom djelatnošću ili prirodnim pojavama utječu na ukupne količine zaliha voda, te na taj način ugrožavaju njenu kakvoću i kvalitetu. Voda kao prirodni resurs temeljni je čimbeniku u održavanju svih ekosustava na Zemlji i iznimno je važno da se prema vodi ophodimo racionalno i da gledamo unaprijed jer zagađenje podzemnih voda nema odmah uočljiv učinak, već se nakon izvjesnog vremena mogu uočiti negativni učinci. Primarni izvori onečišćenja voda pa tako i podzemnih voda su različita industrijska postrojenja, pesticidi koji se koriste u poljoprivredi, sustav kanalizacije, te urbana i divlja odlagališta različitih vrsta otpada. Na slici 17. prikazani su neki od izvora onečišćenja voda.



Slika 17. Izvori onečišćenja voda [15]

Opće je poznato da su stanovništvo, nagla urbanizacija i industrijalizacija jedni od glavnih izvora onečišćenja površinskih pa tako i podzemnih voda. Izvore onečišćenja možemo ugrubo podijeliti na dvije vrste, a to su točkasti i raspršeni izvori onečišćenja. U točkaste izvore onečišćenja ubrajamo javni sustav odvodnje (kanalizacija), naselja, uređaje za pročišćavanje otpadnih voda, industrijski pogoni i sl. Točkaste izvore onečišćenja moguće je svesti na jednu točku upuštanja onečišćene vode u prijamnik. Raspršene izvore onečišćenja čine različiti radovi koji se odvijaju na tlu ili u tlu, te se putem oborinskih otjecanja akumuliraju u podzemnim vodama.

Općenito možemo reći da je jedan od glavnih razloga porasta onečišćenja površinskih i podzemnih voda javni sustav odvodnje zbog niska razina izgrađenosti sustava javne odvodnje, pa tako većina onečišćenja nekontrolirano odlazi u okoliš.

## 6.1 Tipovi izvora zagađenja i vrste zagađenja podzemnih voda

Podjela načina zagađenja površinskih i podzemnih voda prema izvoru onečišćenja:

- Fizičko zagađenje
- Biološko zagađenje
- Kemijsko zagađenje
- Radiološko zagađenje

Fizičko zagađenje definiramo kao onečišćenje uzrokovano povećanjem temperature, pojava zamućenosti vode, pojava boje vode, pojava mirisa i okusa vode.

Biološko zagađenje definiramo kao zagađenje gdje su prisutne patogene bakterije, virusi i drugi mikroorganizmi koji mogu ugroziti život i zdravlje ljudi.

Kemijsko zagađenje definiramo kao onečišćenje do kojeg dolazi zbog kontakta vode s organskim i anorganskim tvarima, te se na taj način mijenja uobičajeni sastav vode.

Radiološko zagađenje definiramo kao onečišćenje uzrokovano doticajem vode s različitim prirodnim radioaktivnim elementima. (slika 18.)



Slika 18. Opasnost od bioloških i radioaktivnih tvari [16]

## 6.2 Odlagališta otpada

Veliki problem u cijelom procesu zbrinjavanja otpada jest njegov utjecaj na površinske i podzemne vode. Prikupljanje otpada u Republici Hrvatskoj regulirano je Zakonom o gospodarenju otpadom, no problemi nastaju tek kada se taj otpad zbrinjava odnosno kako se otpad zbrinjava. Zbrinjavanje otpada pokušava se riješiti spaljivanjem, reciklažom ili odlaganjem u tlo. Prilikom reciklaže i spaljivanja ostaju nesagorivi i nepreradivi materijali koje također treba zbrinuti, te se taj materijal odlaganjem u tlo zbrinjava. Prilikom oborina, konkretno pljuskova i kiše, kišnica u kontaktu s otpadom koji je odlaganjem našao u tlu, prolazi kroz različite slojeve Zemljine kore i na taj način onečišćuje zalihe vode.

Sam otpad možemo podijeliti u četiri kategorije, a to su: komunalni otpad, industrijski otpad, bolnički otpad i poljoprivredni otpad.

Komunalni otpad definiramo kao otpatke iz domaćinstva, otpad prikupljen čišćenjem gradova, naselja i drugih javnih površina.

Industrijski otpad definiramo kao ostatke različitih sirovina, ambalaže, organska i anorganska otapala, maziva, ulja, nafte i naftnih derivata.

Bolnički otpad definiramo kao ostatke lijekova, ambalaža, te sanitetske opreme i materijala.

Poljoprivredni otpad definiramo kao ostatke različitih pripravaka organskog ili anorgansko podrijetla, ambalaža i različiti pesticida i rodenticida.

Istraživanja pokazuju da se u području odlagališta otpada mijenja kemijski sastav podzemne vode, a to se manifestira u promjeni ionskog sastava otopljenih tvari u podzemnoj vodi. Promjene u kemijskom sastavu podzemnih voda u blizini odlagališta otpada ovise o količini i vrsti otpada, no najčešći je slučaj da su vrijednosti željeza, mangana i arsena iznad maksimalno dopuštenih koncentracija. Sve to nam ukazuje da je potrebno osmisliti noviji i inovativniji način zbrinjavanja i recikliranja nastalog otpada. U tablici 5. prikazan je prosječni sastav zagrebačkog komunalnog otpada.

Tablica 5. Prosječni sastav zagrebačkog komunalnog otpada [3]

| <b>Tvar</b>           | <b>Udio (u %)</b> |
|-----------------------|-------------------|
| Građevinski materijal | 28,2              |
| Organski otpaci       | 23,3              |
| Papir                 | 20,5              |
| Staklo                | 7,3               |
| Tvrda plastika        | 4,2               |
| Željezo               | 2,4               |
| Drvo                  | 1,1               |
| Guma                  | 0,4               |

Prilikom infiltracije padalina i otpuštanja primarne vlage iz otpadaka, u odloženim otpadcima nakuplja se voda koja postepeno otapa topive komponente, pa tako nastaje iscjedak ili filtrat. To je otopina vrlo složenog kemijskog sastava, koja može biti vrlo toksična. Ako se u komunalnom otpadu odlaže i nešto industrijskog otpada, iscjedak iz odlagališta može sadržavati i arsena, cijanida, PCB-a i druge toksične tvari. Upravo zbog toga komunalna odlagališta otpada predstavljaju jedan od najznačajnijih izvora onečišćenja podzemnih voda. (slika 19.) [7]



Slika 19. Odlagalište otpada [17]

### 6.3 Industrijske otpadne vode

Ogromne količine štetnih tvari i plinova dižu se iz dimnjaka industrijskih objekata u atmosferu i putem oborina se vraćaju na zemlju i u vodonosne slojeve. Industrijske otpadne vode su nastale upotrebom vode u procesima rada i proizvodnji, u industrijskim i drugim proizvodnim pogonima te u proizvodnim i uslužnim pogonima i obrtima. U tu skupinu se ubrajaju vode koje su ispuštene nakon upotrebe ili ako su proizvedene u industrijskom procesu te više za taj proces nisu upotrebljive.

Različito tehnoloških procesa u industrijama uvjetuje i različite sastave otpadnih voda, odnosno različite stupnjeve zagađenosti s obzirom da se radi o velikim količinama otpada i visokom koncentracijom opasnih i štetnih tvari. Kada je riječ o industrijskim otpadnim vodama, samopročišćavanje kao dio prirodnog procesa nije u potpunosti učinkovit na ove vrste zagađenja jer se radi o velikim količinama opasnih i štetnih tvari što za posljedice ostavlja dugoročna zagađenja prirode s nepopravljivim štetnim posljedicama. Industrijske otpadne vode često sadrže sastojke koji su otrovni i teško razgradivi i kada dođu u doticaj s okolišem ostavljaju štetne posljedice. Kako bi se spriječio štetni utjecaj, takve otpadne vode prethodno je potrebno pročistiti kako bi se uklonile otrovne, eksplozivne i korozivne tvari koje oštećuju kanalizacijske cijevi. (slika 20.) [18]



Slika 20. Industrijske otpadne vode [19]

Razlikujemo dva osnovna tipa industrijskih otpadnih voda, a to su:

- Kompatibilne vode – vode koje se mogu miješati s gradskim otpadnim vodama
- Inkompatibilne vode – vode koje se moraju prije miješanja s gradskim otpadnim vodama pročistiti [7]

Za procjenu unosa onečišćenja iz točkastih izvora u vode uspostavljen je sustav praćenja otpadnih voda, za komunalne otpadne vode na oko 200 i industrijske na oko 1.530 lokacija. Komunalne otpadne vode, kao i otpadne vode iz prehrambene industrije, pretežno su onečišćene organskim tvarima. Otpadne vode iz kemijskih i petrokemijskih, metaloprerađivačkih; drvnih i tekstilnih industrija mogu sadržavati opasne tvari koje djeluju toksično, sporo su razgradive ili potpuno nerazgradive, te bioakumulativne. Polazeći od činjenice da je godišnja potrošnja vode u gospodarstvu oko 200 milijuna m<sup>3</sup> i uz prosječni gubitak vode u tehnološkom procesu od 30 do 35%, dobiva se orijentacijska veličina ukupnog tereta onečišćenja od gospodarstva veličine od oko 1.500.000 ES. U tablici 6. prikazan je ukupni pritisak onečišćenja za karakteristične pokazatelje i skupine industrije.

Tablica 6. Ukupni pritisak onečišćenja za karakteristične pokazatelje i skupine industrije

[7]

| Područje                   | Industrija    |               |                    |              |                          |              |
|----------------------------|---------------|---------------|--------------------|--------------|--------------------------|--------------|
|                            | Prehrambena   | Drvena        | Metaloprerađivačka | Tekstilna    | Kemijska i petrokemijska | Ostale       |
|                            | t BPKs/god.   | t KPK/god.    | t KPK/god.         | t KPK/god.   | t KPK/god.               | t KPK/god.   |
| sliv Save                  | 7.226         | 5.619         | 1.923              | 733          | 8.970                    | 1.024        |
| slivovi Drave i Dunava     | 8.259         | 26.774        | 0                  | 898          | 118                      | 68           |
| primorsko-istarski slivovi | 1.204         | 661           | 694                | 0            | 2.714                    | 359          |
| dalmatinski slivovi        | 516           | 0             | 536                | 202          | 0                        | 256          |
| <b>Hrvatska</b>            | <b>17.205</b> | <b>33.054</b> | <b>3.153</b>       | <b>1.833</b> | <b>11.802</b>            | <b>1.707</b> |

## 6.4 Poljoprivreda

Porast broja ukupnog svjetskog stanovništva i sve veća potreba za većim količinama hrane znači korištenje suvremenih agrotehničkih mjera, koje podrazumijevaju korištenje različitih kemijskih sredstava kojima se pospješuje zaštita i rast biljaka. Veliki dio tih sredstava djeluje na biljku, ali također postoji opasnost od prodora tih kemijskih sredstava u tlo, a u konačnici u površinske i podzemne vode. Upravo zbog toga poljoprivredne površine predstavljaju rizik za podzemne vode. Za rast i razvoj biljke zahtijevaju određenu količinu dušika, jedan dio dušika biljke dobivaju od procesa mineralizacije organskih tvari u tlu, a drugi dio umjetnim putem odnosno postupkom gnojenja tla. Biljke jedan dio dušika koriste za rast i razvoj, a preostali dio se vraća u atmosferu procesom denitrifikacije. Ostatak dušika se procesom infiltracije spušta u podzemne vode i tako na direktan način utječe na kvalitetu i kakvoću podzemnih voda. (slika 21.) [20]



Slika 21. Dodavanje kemijskih sredstava u poljoprivredi [21]

Također, u poljoprivredi se koriste i drugi kemijski preparata koji sprečavaju štetno djelovanje različitih izvora agenasa u određenoj fazi poljoprivredne proizvodnje. Tako se u poljoprivredi također, osim dušičnih gnojiva, koriste: insekticidi, fungicidi i herbicidi.

## 7. ZAŠTITA PODZEMNIH VODA

Izvorišta (podzemne i površinske vode) koja se koriste ili su rezervirana za javnu vodoopskrbu moraju se, prema Zakonu o vodama zaštititi od onečišćenja i namjernog ili slučajnog onečišćenja, te od drugih utjecaja koji mogu nepovoljno djelovati na zdravstvenu ispravnost voda ili njihovu izdašnost. Osnovni preduvjet provođenja zaštite izvorišta jest uspostavljanje i održavanje vodozaštitnih područja (zona sanitarne zaštite) izvorišta pitke vode za javnu vodoopskrbu. Vodozaštitna područja određuju se na temelju Pravilnika o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta, a sama zaštita ostvaruje se u skladu s Odlukom o zaštiti izvorišta. Odlukom se, na temelju prethodnih vodoistražnih radova, određuju veličina i granice vodozaštitnih područja, te provedba mjera zaštite i monitoringa voda.

Važna mjera zaštite vodonosnika vode za piće jest donošenje i provođenje odluka o zonama sanitarne zaštite, kojima je obuhvaćeno oko 52% od ukupno oko 426 vodozahvata, na kojima se zahvaća 80% voda. Međutim, većina postojećih odluka o zonama sanitarne zaštite donesene su prema Pravilniku o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta vode za piće (iz 1986. godine). Godine 2002. donesen je novi Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta koji utvrđuje granice zaštitnih zone po drugačijim kriterijima. [22]

Vodozaštitna područja (proglašena i predložena) sada pokrivaju oko 10.552 km<sup>2</sup>, odnosno oko 19% površine Hrvatske. Znatan dio predloženih zona sanitarne zaštite na dalmatinskim slivovima nije proglašen, zbog problema zaštite dijelova slivnih područja koja se nalaze izvan državne granice (u Bosni i Hercegovini). [22]

Zaštita voda, kao i zaštita vodnih ekosustava i kopnenih ekosustava ovisnih o vodi, provoditi će se temeljem nacionalnog zakonodavstva usklađenog s odrednicama pravne stečevine Europske unije, a čiji su najvažniji ciljevi:

- zaštita zaštićenih područja
- postizanje dobrog stanja svih voda.

Mjere zaštite voda biti će usklađene sa svim ostalim sektorima, a planirati će se prema načelima integralnog upravljanja vodama na vodnim područjima. Sustavno će se pratiti



stanje voda, promjene stanja voda, te s tim u vezi će se provoditi mjere zaštite uz socio-gospodarsku valorizaciju njihovih učinaka. Prioritetni zadatak vodnoga gospodarstva jest dosljedno uključivanje načela:

- kombiniranog pristupa zaštiti voda
- predostrožnosti
- onečišćenje plaža
- uključivanja zaštite voda u sve sektore
- sudjelovanja javnosti, u hrvatsko zakonodavstvo, te sustavno praćenje provedbe planiranih mjera.

Strateške odrednice upućuju na nužnost upravljanja izvorima onečišćenja, a to podrazumijeva da je svaki onečišćivač dužan skrbiti se o svojim otpadnim vodama, odnosno da zanemarivanje obveze zaštite voda ne smije biti izvor dodatne dobiti. Zaštita voda će se provoditi:

- smanjenjem i kontrolom točkastih izvora onečišćenja,
- smanjenjem i kontrolom raspršenih izvora onečišćenja,
- provedbom aktivnih mjera u okviru korištenja prostorom uključujući i aktivnosti koje se predviđaju svekolikim mjerama zaštite okoliša.

Upravljanje izvorima onečišćenja će se provoditi smanjenjem i uklanjanjem opasnih tvari zavisno o njihovoj toksičnosti, razgradljivosti i bioakumulativnosti, čime će se ostvariti dobro stanje voda. [22]

Zaštitu podzemnih voda možemo vršiti na tri način:

- Zaštita strateški zaliha podzemnih voda
- Zaštita pojedinih crpilišta
- Zaštita zdenaca

Zaštita strateških zaliha podzemnih voda podrazumijeva se zaštita ukupne količine podzemnih voda na određenom geološkom prostoru. Bitno je razlikovati količinu i zalihe podzemnih voda. Pod količinom podzemne vode podrazumijeva se ukupan volumen podzemne vode koji se nalazi na određenom prostoru. Pod zalihama podzemne vode podrazumijeva se volumen vode koji se može iz nekog vodonosnika eksploatirati na ekonomski isplativ način. Također, razlikujemo lokalne i strateške zalihe podzemnih voda. Lokalne zalihe podzemnih voda omogućuju individualnu vodoopskrbu domaćinstva ili manjih naselja, dok strateške zalihe mogu zadovoljiti potrebe vodoopskrbe većih regija i gradova.

Sljedeće mjere bi praktički zaštitile vodu u prirodi:

- rekonstrukcija i izgradnja sustava javne odvodnje
- rekonstrukcija i izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda iz sustava javne odvodnje
- smanjenje opterećenja otpadnim vodama iz tehnoloških procesa
- zamjena postojeće tehnologije čišćom tehnologijom
- smanjenje onečišćenja voda od agro-tehničkih sredstava
- gradnja novih sanitarnih i saniranje postojećih deponija za otpad,
- uklanjanje kopnenih izvora onečišćenja mora
- kontrola pri izgradnji vodocrpilišta
- zaštita eksploatacijskih zdenaca
- dezinfekcija zdenaca [23]

Za zaštitu izvorišta vode u svrhu održavanje njezine kvalitete i izdašnosti, određuju se, uzimajući u obzir geološke i hidrološke karakteristike štitni pojasevi. U tom slučaju razlikujemo tri pojasa :

- Najuži pojas – namijenjen je isključivo objektima koji služe za opskrbu pitkom vodom. To je područje koje mora biti ograđeno, čime se postiže zabrana ulaska neovlaštenim osobama te divljim i domaćim životinjama. U ovom je pojasu zabranjeno graditi proizvodne pogone, ceste, skladišta, odlagališta te je

zabranjeno intenzivno bavljenje poljoprivredom i industrijskim djelatnostima. Kanalizacijska mreža, ukoliko postoji, mora biti nepropusna.

- Uži pojas – odnosi se na strogi režim korištenja za neposrednu zaštitu crpilišta od onečišćenja
- Širi pojas – odnosi se na područje sa blažim tehničkim režimom, uzimajući u obzir tokove podzemnih voda na tom području i mogućnost njihovog utjecaja na vodocrpilište. U ovom pojasu se vodi briga o zdravstvenoj i epidemiološkoj situaciji. Na ovom području nije dozvoljeno obavljati djelatnosti koje bi mogle ugroziti kakvoću vodnog izvora [24]

## 7.1 Direktiva 2006/118/EZ o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja

Cilj direktive 2006/118/EZ o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja jest spriječiti i boriti se protiv onečišćenja podzemnih voda u Europskoj uniji. Unutar direktive sadržani su postupci za ocjenjivanje kemijskog stanja podzemnih voda i mjere za smanjenje razina onečišćujućih tvari.

Ključne točke direktive su:

- Mjerila za ocjenjivanje kemijskog stanja podzemnih voda
- Mjerila za utvrđivanje i promjenu znatnih i trajno rastućih trendova te za određivanje polaznih točaka za promjene tih trendova
- Sprečavanje i ograničavanje neizravnih ispusta koji prodiru kroz tlo ili podzemlje

Smatra se da su podzemne vode dobrog kemijskog stanja kad:

- izmjerene ili predviđene razine nitrata ne prelaze 50 mg/l te dok razine aktivnih pesticidnih sastojaka, njihovih metabolita i proizvoda reakcije ne prelaze 0,1 µg/l
- su sve razine određenih visoko rizičnih tvari ispod graničnih vrijednosti koje su utvrdile zemlje EU-a; najmanje moraju uključivati arsen, kadmij, olovo, živu, amonijak, klor, sulfate, nitrite, fosfor

- je koncentracija svih ostalih onečišćujućih tvari u skladu s definicijom dobrog kemijskog stanja utvrđenom u Prilogu V. Okvirne direktive o vodama
- ako je premašena vrijednost utvrđena kao standard kvalitete ili granična vrijednost, istraga, među ostalim, potvrđuje da to ne predstavlja znatan rizik za okoliš [25]

## 7.2 Određivanje zona sanitarne zaštite empirijskim načinom

Kako je već spomenuto, na području crpilišta određuju se tri zone zaštite, a to su:

- 1. zona – zona crpilišta
- 2. zona – uža zona zaštite
- 3. zona – šira zona zaštite [7]

Zona crpilišta definirana je krugom oko objekata crpilišta čiji se polumjer kreće između 10 i 50 m. Ta je zona ograđena, čuvana i opremljena alarmnim sustavima. Pristup u tu zonu dozvoljen je samo zaposlenim osobama, a oni se podvrgavaju obveznim periodičkim liječničkim pregledima. Zabranjen je javni promet vozila i pješaka, izvođenje bilo kakvih radova i izgradnja objekata koji nisu u funkciji crpilišnog objekta, kao i svaka poljoprivredna djelatnost.

Uža zona zaštite određena je linijom od koje je potrebno podzemnoj vodi najmanje 50 dana da dospije do granice 1. zone. Ta zona mora biti jasno označena i pod nadzorom inspeksijskih službi. Unutar te zone zabranjena je cesta, željezničkih pruga, industrijskih objekata i sl. Zabranjena je izgradnja kanalizacijske mreže koja nije u funkciji crpilišta. Unutar zone zabranjeno je skladištenje i korištenje kemikalija i drugih zagađivala. Bilo kakav oblik poljoprivrede je također zabranjen, kao i ispaša i okupljanje stoke.

Šira zona zaštite ne dopušta izgradnju industrijskih objekata koji ispuštaju radioaktivne ili druge za vodu štetne tvari. Također zabranjuje se postavljanje cjevovoda za transport opasnih tekućina koje mogu na bilo koji način ugroziti kemijski sastav podzemnih voda prilikom kontakta. [7]

Određivanje zona zaštite na jednostavan način, koji ne iziskuje različita istraživanja, određuje koje se aktivnosti u poslovnom smislu smiju i ne smiju odvijati. U drugu ruku, mane ovog načina određivanja zona zaštite su puno brojnije. U praksi ova metoda zauzima veću površinu nego je to zaista potrebno. Ova metoda često dovodi do sukoba interesa, jer kao što je rečeno ova metoda zauzima velike površine visokovrijednog građevinskog i poljoprivrednog zemljišta. Upravo zato ova metoda koja prati odredbe 'Pravilnika o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite' ne drži vodu, jer na području grada Zagreba niti jedno crpilište nema zone zaštite propisane ovim Pravilnikom. [7]

### 7.3 Određivanje zona sanitarne zaštite proračunskim načinom

Kod ove metode također se uspostavljaju tri zone sanitarne zaštite. Područje neposredne zaštite svodi se na prostor nužan za fizičku zaštitu pojedinog eksploatacijskog objekta i obično je kao i kod prijašnje metode, definirano krugom polumjera od 10 do 50 m. Druga i treća zona svode se na određivanje zona ugroženosti na osnovu konkretne i izravne ugroze. One se definiraju prostorom koji je dovoljan da se obave svi procesi kojima se koncentracija konkretnog zagađivala svesti na maksimalno dozvoljenu prije ulaza vode u zonu neposredne zaštite. Za proračun potrebnog prostora potrebno je prikupiti cijeli niz vrlo detaljnih podataka o hidrološkim odnosima, hidrološkim parametrima, fizičko-kemijskim svojstvima konkretno zagađivala, parametrima disperzije, rezidualnom zasićenju i dr. Na temelju prikupljenih podataka kreira se model transporta, pa se matematičkim simulacijama dolazi do varijantnih rješenja, od koji se odabire ono najpogodnije, imajući u vodu potrebnu sigurnost. Dobre strane ove metode su u tome što se zabrane i ograničenja ne preporučuju paušalno, već se odnose na točno određene objekte i aktivnosti, a to omogućuje racionalno korištenje prostora u okolini crpilišta. Nedostatak ove metode je u tome što za prikupljanje podataka potrebno provesti široka, skupa terenska i laboratorijska istraživanja, te što njihovu interpretaciju moraju provesti stručnjaci-specijalisti, koji su danas još relativno rijetki. Zbog toga se zakonskim propisima, koji reguliraju određivanje zaštitnih zona proračunskim načinom, obično propisuje koje se institucije mogu baviti projektiranjem zona zaštite crpilišta javne

vodoopskrbe, sadržaj projekta, te minimalni broj i kvalitetu nužnih podataka odnosno potrebnih istraživanja. [7]

## 8. ZAKLJUČAK

Republika Hrvatska s obzirom na geografski položaj i hidrogeološku građu ima kvalitetne zalihe podzemnih voda. Kako bi se takvo stanje zaliha održalo, potrebno je probuditi svijest svakog pojedinca i jasno dati do znanja da je zaštita voda osobni zadatak svakoga stanovnika. Nagla urbanizacija i razvoj industrije dakako otežava situaciju, ali potrebno je težiti obnovljivim izvorima energije i na taj način utjecati na brojne prirodne procese koji se odvijaju u našoj okolini. Zaštita okoliša treba biti bolje regulirana jer to je jedini način, uz podizanje svijesti stanovništva, kojim se može djelovati na događaje i ponašanja koja uzrokuju onečišćenja bilo koje vrste i na taj način ugrožavaju zdravlje, živote i egzistenciju sadašnjih i budućih generacija.

Uz brigu o okolišu, važna je i briga o vodnim resursima. Neodgovornim ponašanjem djeluje se na cijeli sustav voda, a negativni učinci se akumuliraju i nisu odmah vidljivi jer za njihovu manifestaciju treba proći određeno vrijeme. Kako se radi o resursu koji s vremenom gubi kvalitetu, u konačnici se sustav voda neće moći vratiti na prijašnje stanje, a isto tako niti kompletan ekosustav. Potrebno je ponajprije probuditi svijest vladajućih jer država mora financirati i razvijati projekte kojima će se vršiti vodoistražni radovi u cilju boljeg shvaćanja podzemnih voda i građe vodonosnika, no također je cilj probuditi svijest svakog stanovnika na važnost ovog resursa. Ponajprije je potrebno obratiti pozornost na industrijska postrojenja, odlagališta otpada i poljoprivredne djelatnosti jer upravo te djelatnosti najviše utječu na onečišćenje, kvalitetu i uporabljivost vode te u konačnici na zdravlje i sigurnost krajnjeg korisnika. Posljedice tih onečišćenja nastaju lošim monitoringom, ne pridržavanjem datih smjernica u projektiranju, zanemarivanje pravila struke, nekvalitetnom izgradnjom ili ljudskim propustom odnosno nemarom

Zaštita podzemnih voda od onečišćenja postiže se kvalitetnim upravljanjem i nadzorom nad stanjem kakvoće voda i izvorima onečišćenja, sprečavanjem, ograničavanjem, zabranjivanjem radnji i ponašanja koja mogu utjecati na onečišćenje voda i stanja okoliša u cijelosti. Jedan od prvih koraka ka ažurnost u područja zaštite voda jest izrada, praćenje i nadopunjavanje zakona, pravilnika i drugih podzakonskih akata. Zaštita voda mora biti jedan od temeljnih ciljeva svakog društva.

## 9. LITERATURA

- [1] Mayer D. : Voda od nastanaka do upotrebe, Prosvjeta d.o.o., Zagreb, (2004.), ISBN 953-7130-09-6
- [2] Hidrološki ciklus, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrolo%C5%A1ki\\_ciklus](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrolo%C5%A1ki_ciklus), pristupljeno: 17.07.2021.
- [3] Brcković L. : Kontrola kvalitete vode, zraka i tla, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, (2020./21)
- [4] Aljinović D., Tomljenović B. : Petrologija s geologijom, [www.rgn.hr](http://www.rgn.hr), pristupljeno: 17.07.2021.
- [5] Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti: Hrvatska prirodna bogatstva, Zagreb, (2016.), ISBN 978-953-347-089-4
- [6] Aljinović D., Tomljenović B. : Površinska i podzemna voda II. dio, <https://www.rgn.unizg.hr/hr/>, pristupljeno: 17.07.2021.
- [7] Mayer D. : Kvaliteta i zaštita podzemnih voda, Hrvatsko društvo za zaštitu voda i mora, (1993.), ISBN 953-96071-0-8
- [8] Voda – temelj života, <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/4874fe79-8302-4ea2-b516-4657ea249026/kemija-7/m02/j04/7478-2/index.html>, pristupljeno: 17.07.2021.
- [9] Koliformne bakterije u vodi, <https://hr.sodiummedia.com/>, pristupljeno: 17.07.2021.
- [10] Goić G. : Uzbuna zbog urana u vodi, <https://www.dw.com/hr/uzbuna-zbog-urana-u-vodi-za-pi%C4%87e/a-3541533>, pristupljeno: 20.07.2021
- [11] Polarnost, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Polarnost>, prikupljeno: 20.07.2021.
- [12] Generalić E. : Zemljina kora, <https://glossary.periodni.com/rjecnik.php?hr=Zemljina+kora>, pristupljeno: 30.07.2021.



- [13] Aljinović D., Tomljenović B. : Površinska i podzemna voda I. dio,  
<https://www.rgn.unizg.hr/hr/>, pristupljeno: 30.07.2021.
- [14] Volarić M. : Hrvatska do 2018. u otpadne vode mora uložiti 3 milijarde eura,  
<https://lider.media/aktualno/biznis-i-politika/hrvatska/hrvatska-do-2018-u-otpadne-vode-mora-uloziti-3-milijarde-eura-86439>, pristupljeno: 30.07.2021.
- [15] Onečišćenje i zaštita mora i kopnenih voda, <https://www.alfaportal.hr/>, pristupljeno: 05.08.2021.
- [16] Opasnost od radioaktivnih tvari, <https://bop.ba/>, pristupljeno: 05.08.2021.
- [17] Grad Velika Gorica: Nastavak sanacije odlagališta otpada Mraclinska Dubrava,  
<http://www.gorica.hr/2016/07/nastavak-sanacije-odlagalista-neopasnog-otpada-mraclinska-dubrava/>, pristupljeno: 05.08.2021.
- [18] Biondić D. :Strategija upravljanja vodama, Hrvatske vode,  
[https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/strategija\\_upravljanja\\_vodama.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/strategija_upravljanja_vodama.pdf),  
prikupljeno: 10.08.2021.
- [19] Otpadne vode i njihova klasifikacija, <https://hrv.mentorbizlist.com/3897326-wastewater-and-its-classification>, prikupljeno: 10.08.2021.
- [20] Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet: Utjecaj poljoprivrede na onečišćenje površinskih i podzemnih voda u Republici Hrvatskoj,  
[https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/utjecaj\\_poljoprivrede\\_na\\_oneciscenje\\_povrsinskih\\_i\\_podzemnih\\_voda\\_u\\_republici\\_hrvatskoj.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/utjecaj_poljoprivrede_na_oneciscenje_povrsinskih_i_podzemnih_voda_u_republici_hrvatskoj.pdf) , prikupljeno: 10.08.2021.
- [21] Prednosti huminske kiseline u poljoprivredi, <https://ekoagro.club/prednosti-huminske-kiseline-u-poljoprivredi/>, prikupljeno:10.08.2021.
- [22] Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti: Šume, tla i vode – Neprocjenjiva prirodna bogatstva Hrvatske, Zagreb, (2012.), ISBN 978-953-154-136-7
- [23] Državni plan za zaštitu voda NN 8/1999,  
[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1999\\_01\\_8\\_98.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1999_01_8_98.html),  
prikupljeno:10.08.2021.

[24] Zakon o vodama NN 66/2019,

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_07\\_66\\_1285.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_07_66_1285.html),

prikupljeno: 10.08.2021.

[25] Direktiva 2006/118/EZ o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja stanja,

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:128139>,

prikupljeno: 10.08.2021.

## 10. POPIS SLIKA

Stranica

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Prikaz hidrološkog ciklus vode.....   | 2  |
| Slika 2. Utjecaj ljudskog faktora na hidrološki ciklus.....  | 4  |
| Slika 3. Osnovni tipovi poroznosti. ....   | 5  |
| Slika 4. Pojednostavljen shematski prikaz pojavljivanja vode u podzemlju.....                        | 7  |
| Slika 5. Shematski prikaz hidrogeološke karte Hrvatske.....  | 11 |
| Slika 6. Zasićenost vodonosnika i kakvoća podzemne vode na području sjeverne i istočne Hrvatske..... | 17 |
| Slika 7. Zasićenost i kakvoća podzemnih voda u krškom području.....                                  | 18 |
| Slika 8. Prostorni raspored zahvata podzemnih i površinskih voda.....                                | 20 |
| Slika 9. Infiltracija vode kroz različite slojeve Zemljine površine.....                             | 21 |
| Slika 10. Laboratorijsko ispitivanje fizičkih svojstava vode.....                                    | 23 |
| Slika 11. Prisutnost različitih mikroorganizama u vodi.....  | 24 |
| Slika 12. Upozorenje na radioaktivne tvari i elemente u vodi. ....                                   | 25 |
| Slika 13. Dipolni karakter molekule vode.....  | 26 |
| Slika 14. Težinski udjel kemijskih elemenata u građi Zemljine kore.....                              | 28 |
| Slika 15. Indikator papir u roli.....  | 31 |
| Slika 16. Utjecaj čovjeka na ekosustav.....  | 32 |
| Slika 17. Izvori onečišćenja voda.....   | 33 |
| Slika 18. Opasnost od bioloških i radioaktivnih tvari.....   | 34 |
| Slika 19. Odlagalište otpada.....  | 36 |
| Slika 20. Industrijske otpadne vode.....   | 37 |
| Slika 21. Dodavanje kemijskih sredstava u poljoprivredi.....   | 39 |

## 11. POPIS TABLICA

|  | Stranica |
|--|----------|
| Tablica 1. Tipovi i veličine poroznosti u najčešćim vrstama stijena.....                               | 6        |
| Tablica 2. Obnovljive zalihe podzemnih voda u $10^6 \text{ m}^3 / \text{god}$ .....                    | 16       |
| Tablica 3. Udio najzastupljenijih kemijskih elemenata u građi Zemljine kore .....                      | 27       |
| Tablica 4. Ovisnost specifične elektroprovodljivosti o koncentraciji i vrsti otopljenih tvari<br>..... | 30       |
| Tablica 5. Prosječni sastav zagrebačkog komunalnog otpada .....  | 36       |
| Tablica 6. Ukupni pritisak onečišćenja za karakteristične pokazatelje i skupine industrije<br>.....    | 39       |