

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Kristina Ojdanić

METODE HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA U ZAŠTITI PODZEMNIH VODA

Završni rad

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

METODE HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA U ZAŠTITI PODZEMNIH VODA

Završni rad

KANDIDAT:

Kristina Ojdanić

MENTORICA:

Doc.dr.sc. Jelena Loborec

VARAŽDIN, 2019.



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: KRISTINA OJDANIĆ

Matični broj: 2628 - 2015./2016.

### NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

METODE HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA U ZAŠTITI PODZEMNIH VODA

Rad treba sadržati: 1. Uvod  
2. Opći dio  
3. Rasprava  
4. Zaključak  
5. Literatura  
6. Popis slika

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 11.03.2019.

Rok predaje: 05.07.2019.

Mentor:

*Jelena Loborec*  
Doc.dr.sc. Jelena Loborec

Predsjednik Odbora za nastavu:



*Igor Petrović*  
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom  
METODE HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA U ZAŠTITI PODZEMNIH  
VODA

(naslov završnog rada)

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

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

U Varaždinu, 03.07.2019.

Kristina Ojdanić

---

(Ime i prezime)

47116189028

---

(OIB)

*Kristina Ojdanić*

---

(Vlastoručni potpis)

**Ime i prezime:** Kristina Ojdanić

**Naziv rada:** Metode hidrogeoloških istraživanja u zaštiti podzemnih voda

### **SAŽETAK:**

Hidrogeologija kao znanstvena disciplina koja proučava porijeklo, pojavu i ponašanje podzemnih voda ima vrlo važnu ulogu u održivom upravljanju ovim za život neophodnim resursom. U ovom radu opisana je važnost istraživanja i zaštite podzemnih voda te hidrogeološke metode istraživanja koje služe u te svrhe. U uvodnom poglavlju opisana je hidrogeologija kao znanstvena disciplina, njezina namjena i primjena te pregled povijesnog razvoja. U drugom poglavlju opisani su pojmovi projekt, projektiranje i koraci kod stvaranja projekta, sve sa svrhom kako bi se prikazala sljedivost u pristupu istraživanja podzemnih voda. Treće poglavlje opisuje hidrogeološke metode istraživanja, njihove glavne podjele i osnovna obilježja svake pojedine metode. U četvrtom poglavlju je istaknuta važnost podzemne vode, problematika zaštite podzemne vode, kako se provodi zaštita i koje mjere zaštite obuhvaća propisana zaštita. Podzemna voda nije komercijalan proizvod nego opće dobro i ograničen resurs koji je potrebno zaštititi i upotrebljavati na održiv način i po pitanju kvalitete i količine.

**Ključne riječi:** hidrogeologija, podzemna voda, hidrogeološke metode istraživanja, zaštita podzemne vode

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. HIDROGEOLOGIJA</b> .....	2
2.1. Definicija hidrogeologije .....	2
2.2. Povijest hidrogeologije.....	2
<b>3. PROJEKTI I PROJEKTIRANJE</b> .....	8
<b>4. HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA</b> .....	11
4.1. Površinska hidrogeološka istraživanja .....	11
4.1.1. Geološka karta .....	12
4.1.2. Hidrogeološka karta.....	14
4.1.3. Hidrološka analiza .....	16
4.1.4. Površinska geofizička istraživanja.....	21
4.2. Podzemna hidrogeološka istraživanja .....	22
4.2.1. Istražno bušenje .....	22
4.2.2. Probna crpljenja i mjerenja u bušotinama.....	23
4.2.3. Podzemna geofizička istraživanja.....	25
4.2.4. Hidrokemijske metode .....	26
4.2.5. Trasiranje podzemnih tokova.....	27
4.2.6. GIS metode .....	28
<b>5. ZAŠTITA PODZEMNIH VODA</b> .....	29
5.1. Važnost podzemne vode .....	29
5.2. Potreba zaštite .....	29
5.3. Postupci zaštite propisani zakonom .....	30
5.4. Zone sanitarne zaštite i odgovarajuće mjere zaštite.....	31
<b>6. RASPRAVA</b> .....	34
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	36
<b>8. LITERATURA</b> .....	37
<b>9. POPIS SLIKA</b> .....	37

## 1. UVOD

Voda je izvor živa, ona stvara i razara, ona znači život i smrt. „Tko ne brine o vodi ne brine za bolje sutra.“ savjetuje stara irska poslovice.

Riječ voda jedna je od prvih riječi koje dijete nauči izgovarati i zbog toga je na gotovo svim jezicima vrlo kratka. Ta jednostavna riječ označava vrlo kompleksan i širok pojam. Voda prati čovjeka od rođenja do smrti i ta veza traje od prvog kupanja novorođenog djeteta sve do pranja preminulog prije pogreba, što je običaj mnogih naroda. Uz to što je voda najzastupljenija tvar u građi svih živih bića, može se reći da je voda život, i transportni medij, sredstvo za proizvodnju energije, uzgajalište hrane, prostor za rekreaciju i sportsko borilište. Voda je roba, lijek, česta granica društva, kultura i religija, voda je opasnost, štetočina.

Procjenjuje se da ukupna količina vode na Zemlji iznosi  $1,386 \times 10^9 \text{ km}^3$ . Od te količine 97,5 % čine mora i oceani, a 2,5 % slatke vode. Od raspoloživih zaliha slatkih voda 1,74 % je zaleđeno. Sve druge tekućice i stajaćice čine samo 0,76 % ukupne mase vode na Zemlji, od čega je tek manji dio ekonomski i ekološki prihvatljiv za uporabu [1].

Od ukupne količine slatke vode na Zemlji, 30 % nalazi se u podzemlju. Podzemna voda, kako i sam naziv kaže, nalazi se ispod površine Zemlje unutar šupljina i pora u tlu i u stijinama. Često je glavni ekonomski resurs, osobito u sušnim područjima gdje u pravilu nedostaje voda. U mnogim naseljima i gradovima velike količine vode dobivaju se iz bušenih bunara i zdenaca, dok se kod drugih voda zahvaća na mjestima prirodnog istjecanja iz podzemlja na površinu. Nevezano za način dobivanja vode, ona predstavlja neizostavan resurs i nezamjenjivu tvar potrebnu za život pa se zato mora njome upravljati na odgovarajući način, kako bi se osigurale dovoljne količine odgovarajuće kvalitete za ljudsku potrošnju. Upravo to je jedna od osnovnih zadaća hidrogeologije.

U ovom rada opisana je hidrogeologija kao znanstvena disciplina, njezine značajke, te njezina povijest. Istaknute su definicije projekta i projektiranja, koraci kod projektiranja i stvaranja projekta. Detaljno su opisane hidrogeološke metode istraživanja koje se dijele na površinske hidrogeološke metode i podzemne hidrogeološke metode. Važnost podzemne vode, mjere i zaštita podzemnih voda definirane su u radu pomoću Zakona o vodama i Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta.

## 2. HIDROGEOLOGIJA

### 2.1. Definicija hidrogeologije

Hidrogeologija je znanost, koja proučava porijeklo podzemnih voda, režim podzemnih voda, vodnu bilancu, dinamiku ponašanja i kretanja te biološko i kemijsko djelovanje podzemnih voda. Riječ hidrogeologija dolazi od grčkih pojmova, *grč. hidros* što znači voda, *geos* što znači zemlja a i *logos* što znači znanost. Osnovna podjela hidrogeologije je hidrogeologija nizinskih područja i hidrogeologija krša. Hidrogeologija nizinskih područja obuhvaća područja u kojima prevladava primarna ili međuzrnska poroznost u stijenama, a hidrogeologija krša gdje prevladava sekundarna ili pukotinska poroznost u stijenama [2].

Podzemna voda je zajednički naziv za vode koje zauzimaju šupljine unutar geoloških formacija. Podzemnim vodama bave se i druge znanstvene discipline kao što su hidrologija, geokemija, pedologija i druge. Hidrologija i hidrogeologija se naročito prožimaju i njihov korijen je zajednički. Njihov odvojeni razvoj uslijedio je nakon razvoja geoloških disciplina, kada se u razmatranja o podzemnim vodama uvodi element prirodnog oblika i geneze vodonosnika. Hidrogeologija kao znanstvena disciplina direktno je povezana s geologijom i svim disciplinama koje se bave podzemnom vodom [2].

Hidrogeologija se može tretirati kao specijalizirana znanost, u kojoj se kombiniraju elementi geologije, hidrologije i mehanike fluida. Hidrologija izučava prihranjivanje podzemlja, geologija prostorni raspored vodonosnika i moguću distribuciju podzemne vode, a mehanika fluida kretanje vode u podzemlju [2].

### 2.2. Povijest hidrogeologije

Izraz hidrogeologija prvi puta je rabljen 1802. godine, po francuskom prirodnjaku Lamarcku, uz nešto drugačije tumačenje. Lamarck je tu granu znanosti definirao kao „izučavanje fenomena erozije i sedimentacije pod vodenim agensima“. Mainzer je 1932. godine koristio termin geohidrologija umjesto naziva hidrogeologija. Kasnije je objašnjenje znanstvene discipline hidrogeologije proširen na „proučavanje pojava,



kretanja i kemijskog sastava podzemnih voda u geološkom okolišu“. Zabilješke i razmišljanja o podzemnoj vodi sežu još iz mnogo ranijih vremena. Tolman je naprimjer, još 1937. godine opisao velike podzemne tunele i kanate u Perziji i Egiptu, koji potječu iz 800 g. pr.n.e. [2].

Stari Zavjet ima brojne bilješke o podzemnoj vodi, izvorima i zdencima. Izvedeni su zdenci takvog promjera da je unutar njih bio izgrađen put za magarce, koji su iznosili na površinu iskopani materijal, odnosno podzemnu vodu. Ti zdenci su duboki najčešće do 50 metara. Podaci o izvedbama bušnih zdenaca su veoma oskudni, usprkos činjenici da su bušenja uz vađenje jezgre bila primjenjivana u kamenolomima Egipta i prije 5000 godina. Korištenje podzemnih voda više se puta spominjalo u Bibliji [2].

Knjiga Postanka 26: 16-22

„Tako Izak ode odande, postavi svoj šator u gerarskoj dolini i nastani se ondje. Izak opet iskopa bunare za vodu što su bili iskopani u vrijeme njegova oca Abrahama, a Filistejci ih bili zasuli poslije Abrahamove smrti. On ih je nazvao istim imenima kojima ih je zvao i njegov otac. Ali kad su Izakove slugе, dok su u dolini kopale, ondje našle bunar sa živom vodom. Pastiri iz Gerara posvade se s Izakovim pastirima govoreći: "Naša je voda!" Bunaru je dao ime Esek, jer su se oni s njim svađali. A kad su iskopali drugi bunar te se i zbog njega svađali, nazva ga imenom Sitna. Odatle se preseli pa iskopa drugi bunar. Zbog njega se nisu svađali, pa ga nazove imenom Rehobot i protumači: "Jer nam je Jahve dao prostor da se na zemlji umnožimo." „

Bušenja zdenaca su prisutna i u drevnoj Kini, koja su bila identična današnjima s time da su strojevi bili izrađeni od drveta, pogon je bio ljudski. Dubine tih zdenaca bile su zapanjujuće. Bowman navodi dubinu zahvaćanja podzemne vode od 1200 metara, a Toloman čak 1500 metara. Iste metode nakon 1500 godine, koriste se još i danas u seoskim područjima Laosa, Kambode, Tajlanda, Burme i Kine. U korištenju podzemne vode najveće ostvarenje su postigli drevni narodi izvedbom infiltracijskih zdenaca, odnosno kanata. Te građevine, nekada dulje i od 60 kilometara, izvode se u aluvijalnim poluvezanim sedimentima. Prvi kanati izgrađeni su u Iranu prije 4500 godina, a zatim se ta tehnika zahvaćanja podzemne vode proširila na zapad sve do Egipta. Mnogi kanati još su i danas u upotrebi u Afganistanu i Iranu.

U zapadnoj Europi bušenje zdenaca se razvijalo samostalno. Prvi zamah u izvedbi bušenih zdenaca nastao je nakon otkrića prvog zdenca na koje se podzemna voda izlivala na površinu. Blizu Bethune u Gennehemu oko 1110. godine izbušena su četiri zdenca, iz kojih se podzemna voda prelijevala gotovo četiri metra iznad kote tla, što je bilo dovoljno za pokretanje mlina. Zdenci su bili duboki stotinjak metara i zahvaćali su podzemnu vodu pod tlakom u vodonosniku, kojeg su sačuvali razlomljeni sedimenti krede, čiji su izdanci bili na višem platou Provincije Artois. Ti zdenci, poznati po svom samoizlijevanju u navedenoj provinciji, postaju poznati kao arteški zdenci. Potaknuta su mnoga istraživanja za artešku podzemnu vodu. Interes je bio toliko velik da je Kraljevsko i Centralno društvo za Agrikulturu Francuske dodjeljivalo nagrade autorima novih tehnika i bušačima koji su izvodili takve zdenca na novim područjima. Na kraju 18. stoljeća metode bušenja su se brže razvijale u Europi nego u Kini, ali dubina zdenaca rijetko je prelazila dubinu od 300 metara. Tek pri kraju 19. stoljeća dubine zdenaca su bile veće od zdenaca izbušenih primitivnim načinom u drevnoj Kini [3].

Zapise o teorijama postanka podzemnih voda pronalaze se i u staroj Grčkoj, sredina 6. st. pr.n.e., gdje se voda smatrala jednim od četiri osnovna elementa od kojih je sastavljena zemlja. Platon i njegovi sljedbenici smatrali su da se filozofija i nauka više-manje ne mogu praktično primjenjivati. Grci su bili impresionirani i čudili su se pojavama spilja, ponora i jakih oborina koji su karakteristični za vapnenačke terene Balkana [3].

Rani grčki filozofi kao što su Platon, Homer i Thales postavljaju hipotezu da su izvori rezultat prodora morske vode kroz podzemne kanale, ispod planina, tada očišćene i izdignute do površine. Aristotel je imao malo drugačija razmišljanja. On je sugerirao da zrak ulazi u hladne mračne kaverne po planinama, gdje se kondenzira u vodu i otječe prema izvorima.

„Zemlja je velike dubine tla i skuplja vodu u sebi i pohranjuje je u tlo... kao da je prirodni ćup, izvlači dolje u prirodne šupljine vode koje su prikupljene iz planinskih područja i pruža ih svim dijelovima zemlje kroz prirodne izvore i rijeke”(Platon, 400 g.pr.n.e) [2].

„Kao što iznad zemlje, male kapi se oblikuju i pridružuju ostalima, dok konačno voda nepadne u obliku kiše, isto tako moramo pretpostaviti da u zemlji voda na početku

curi malo po malo, da izvori rijeka u početku kapaju, a zatim se ujedine. “ (Aristotel, 350 g.pr.n.e.) [2].

Grčki filozofi pogrešno su stekli dojam da se ne može izračunati količina oborine pale na tlo, a s time je povezana nevjerojatna hipoteza podzemnih kondenzacija. Druga nevjerojatna hipoteza je pretpostavila da se te podzemne komore prihranjuju morskom vodom koja se na neki način pročišćava od soli. U Rimu, filozof i pisac Lucije Anej Seneka ( 4 g-pr.n.e. – 65 g.) pisao je o porijeklu rijeka. On nije vjerovao da se rijeke mogu prihranjivati iz oborine jer u vinogradima tijekom velikih kiša se namoči samo desetak centimetara tla. Objašnjavao je porijeklo podzemnih voda s mišljenjima da zemlja sama po sebi sadrži veliku vlagu koja se kontinuirano izbacuje, da zrak unutar zemlje se neprestano pretvara u vodu zbog sila mraka i hladnoće, te je vjerovao da se zemlja pretvara u vodu [2].

Zapisi grčkih i rimskih filozofa u cilju objašnjenja porijekla podzemne vode i izvora puni su različitih teorija, od fantazije do gotovo konkretnih obračuna. Rimski arhitekt Vitruvijus je učinio značajniji korak naprijed. On je objasnio danas prihvaćenu teoriju infiltracije, po kojoj planine primaju veliku količinu padalina, koje prodiru kroz stijene do baze, gdje se formiraju tokovi [2].

Razmišljanja iz doba stare Grčke i Rima su ostala sve do petnaestog stoljeća. Literalnih zapisa o podzemnim vodama nema preko 1500 godina. Leonardo da Vinci je govorio o putu vode kroz podzemlje, ali je imao isto mišljenje kao Platon i Aristotel, da pročišćavanje od soli dolazi tijekom puta. Francuski filozof Bernard Palissy (1510. – 1589.) isto je govorio o teoriji infiltracije, ali je njegovo učenje bilo ignorirano. Njemački astronom Johann Kepler (1571. – 1630.) bio je čovjek velike imaginacije. Usporedio je zemlju velikom životinjom, koja uzima vodu oceana, probavi je i asimilira, te ispušta krajnji produkt tih fizioloških procesa kao podzemnu vodu i izvore. Rene Descartes (1596. – 1650.), francuski filozof koji je ponovno uveo grčku teoriju morske vode, oplemenjene isparavanjem i kondenzacijom u zemlji [2].

Krajem sedamnaestog stoljeća postignuto je jasno razumijevanje hidrološkog ciklusa. Teorije su temeljene na opažanjima i kvantitativnim podacima. Tri Europljana su učinila najviše za taj napredak. Pierre Perrault (1608.- 1680.) je mjerio padaline u trajanju od tri godine i procijenio otjecanje drenažnog bazena gornje Seine. Godine 1674. objavio je da su padaline u bazenu oko šest puta veće od riječnog otjecanja,

demonstrirajući pri tome kao pogrešnu pretpostavku o neadekvatnim padalinama. Perraultov rad je potvrdio francuski fizičar Edme Kariotte (1620. – 1684.) koji je mjerio Seine u Parizu. Iza njegove smrti, godine 1686. pojavila se njegova publikacija, a sadržavala je egzaktno podatke, koji su čvrsto potvrđivali teoriju infiltracije. Za Kariotta se kaže da je začetnik hidrogeologije podzemnih voda. Engleski astronom Edmund Hall (1656. – 1742.) je dao treći rad. Godine 1693. objavio je mjerenja evaporacije, tvrdeći da evaporacija mora prelazi količine, koje se registriraju na izvorima i rijekama [2].

Tijekom osamnaestog stoljeća postavljeni su temelji geologije, koji su omogućili razumijevanje kretanja i pojave podzemne vode. Na području Francuske, u prvoj polovici devetnaestog stoljeća, izbušeni su brojni arteški bunari, što je potaknulo veliki interes za podzemnu vodu. Henry Darcy (1803. – 1858.), francuski inženjer hidraulike, studirao je kretanje vode kroz pijesak. Njegova ekspertiza iz 1856. definirala je odnos, danas poznat kao Darcy-ev zakon, koji vrijedi za podzemna tečenja u najvećem dijelu aluvijalnih nanosa i sedimentnih formacija. Kasniji europski prilozi u devetnaestom stoljeću vezani su za razvoj hidraulike podzemnih voda. U tom razdoblju isticali su se Joseph Valentin Boussinesq, Gabriel Auguste Daubrée, Jules Dupuit i Philipp Forchheimer. Dolazi do naglog porasta aktivnosti u svim fazama hidraulike podzemnih voda. Američki prilozi datiraju iz kraja devetnaestog stoljeća, a istaknuti istraživači su Allen Hazen, Charles Pence Slichte i Oscar Edward Meinzer [2].

Nešto kasnije, svoj razvoj započela je i hidrogeologija krških terena, iako je voda u krškom podzemlju privukla čovjeka, koji je u nedostatku vode ulazio u spiljsko podzemlje, gdje se opskrbljivao potrebnom vodom. Prvi pisani dokumenti sežu u sedamnaestom stoljeću, kada je Janez Vajkard Valvasor pokušavao odvojiti nerealne elemente usmene predaje i mističnog od onog što se stvarno susreće u prirodi. Do kraja devetnaestog stoljeća nema pisanih dokumenta i organiziranih istraživanja koji opisuju kretanje vode u krškim karbonatnim terenima. Zahvaljujući interesu naših i austrijskih geologa, Dinaridi postaju „locus typicus“ za istraživanje krških terena. Geolozi D. Pilar (1874.) i A. Grund (1903.) postavljaju teoriju o dva sloja podzemne vode, gdje donji stagnira, a gornji teče zbog vodnog lica. Friedrich Katzer (1909.) smatra da u kršu nema jedinstvenog sloja podzemne vode, već da može postojati veći broj odvojenih sustava podzemnih tokova. Jovan Cvijić (1918.), srpski znanstvenik,

govori o tri hidrografske zone, suha, prijelazna i duboka zona, i svim efektima takvog stanja, povremeni izvori i plavljenja. Novija istraživanja Heraka i drugih upućuju da se po građi i postanku može razlikovati više tipova krša i predlaže se tektogenetska klasifikacija. Izuzetnog značaja je unošenje u razmišljanje najnovije koncepcije o tektonskoj građi Dinarida i definiranje slivova kao prirodnih cjelina hidrosistema [2].

Zanimljivo je kako na području Hrvatske, točnije Splita, već u 3 st.pr.n.e., u vrijeme Dioklecijana izgrađen je vodovod od izvora rijeke Jadro do Dioklecijanove plače, dug devet kilometara, s četiri akvadukta i tunelom, što predstavlja remek djelo graditeljstva. Sustavom kanala, unutar palače, riješena je odvodnja vode u more, a otpadne vode izvan zidina otjecale su prirodnim potocima [4].

### 3. PROJEKTI I PROJEKTIRANJE

Riječ projekt potječe od latinske riječi *proiectum* što izvorno znači unaprijed bačeno, zasnovano. Suvremeni pojam projekt mnogo je širi i može se na više načina opisati:

- razrade način izrade čega ( ceste, zgrade, stroja, uređaja, istraživanja);
- pripremni tekst, nacrt kakvog dokumenta (zakon, pravilnik, statut);
- ono što se izrađuje po planu s vlastitim rokom, opsegom, opisom, sadržajem i organizacijom rada (znanstveni, kazališni) [5].
- svaki zaokružen, cjelovit i složen pothvat čija se obilježja i cilj mogu definirati, a mora se ostvariti u određenom vremenu te zahtjeva koordinirane napore nekoliko ili većeg broja ljudi, službi, poduzeća i slično [6].
  
- nešto o čemu se razmišlja, što se izmišlja ili planira, plan, shema;
- veliki pothvat (koji angažira mnogo novaca i ljudi);
- posebni zadatak istraživanja u znanosti;
- posebni zadatak za studente;
- opis pojedinog studija;
- veći znanstveni rad [7].
  
- svaka djelovna zamisao, odluka (u širem smislu);
- nacrt, skica, prijedlog za rad, postupak, znanstveno, književno ili umjetničko djelo, zakonski tekst i slično [8].

Projektiranje je pojam izveden iz riječi projekt, a njegovo značenje glasi:

- djelatnost na izrađivanju projekta;
- stručni nastavni predmet na nekim visokim školama i fakultetima [5] .

Projektirati znači izmišljati i razmišljati. Za taj radni proces potrebno je imati prikladne informacije i znanje, te maksimalno koristiti razum i logiku. Za dobro projektiranje potrebno je koristiti optimalno cijelo stečeno iskustvo i znanje za postizanje bilo kojeg cilja u životu, u struci i društvu. To je kontinuirani proces koji je sastavni dio života svakog pojedinca. Projektiranje u filozofskom smislu opisuje način razmišljanja, pristupa

problemima i način rješavanja problema. Zapravo se može reći, da je projektiranje specifičan način urednog i sređenog razmišljanja [9].

Svaki projekt treba odgovoriti na pet ključnih pitanja: Što?, Zašto?, Kako?, Koliko?, Kada?

Pri tome, za projektiranje je bitno početi od jasno definiranog cilja te definirati što se želi postići, u kojim okolnostima se to želi postići, što treba znati da bi se postigao zadani cilj, što treba učiniti da bi se to saznalo, kako to učiniti, s kojim stručnim kadrom, u kojem vremenu i uz koja financijska sredstva [9].

Projekte je moguće razlikovati prema pristupu i području. Prema pristupu projekte djelima na znanstvene, stručne, tehničke, umjetničke, sportske i druge. Prema stručno-znanstvenom ili umjetničkom području, projekti mogu biti vrlo različiti, pa se razlikuju primjerice građevinski, strojarski, rudarski, geološki, šumarski, medicinski, zakonski, politički, vojni, književni, kazališni, filmski i drugi. Posebnu skupinu čine znanstveni i kvalifikacijski projekti. Hidrogeološka kao i ostala geološka istraživanja mogu se smatrati velikim dijelom znanstvenim istraživanjima, a njihova realizacija znanstvenim projektima [9].

Znanstveni projekt je zaokružena znanstvena cjelina, s jedinstvenim ciljem istraživanja, zajedničkim idejama i metodološkim pristupom. Takav projekt, kad dobije novčanu potporu i počne njegova realizacija, pridonosi organiziranom znanstvenom radu u znanstvenim institucijama, stimulira istraživačke napore i razvija nove ideje, potiče učinkovitije korištenje kadrova i opreme. Izrada takvog projekta zahtjeva potpuno poznavanje plana i programa istraživanja s kojima mora biti prethodno upoznat naručitelj istraživanja. Inicijativu za izradu nekog znanstvenog projekta u pravilu pokreće znanstvena institucija, skupina znanstvenika ili znanstvenik pojedinac, potencijalni izvođači projekta moraju potencijalom naručitelju dati odgovarajući prijedlog [5].

Izrada prijedloga znanstvenog projekta uglavnom je standardizirana, bez obzira da li se on podnosi Ministarstvu, nekom domaćem ili inozemnom znanstvenom fondu ili nekom gospodarskom subjektu. Svaki prijedlog znanstvenog projekta u pravilu mora sadržavati:

1. Naslov projekta
2. Ime i prezime glavnog i odgovornog istraživača
3. Naziv i adresu institucije (u kojoj se realizira projekt)

4. Sažetak projekta
5. Opis projekta
6. Pregled dokumentacije o prethodnim projektima
7. Biografiju glavnog istraživača
8. Popis drugih članova istraživačkog tima
9. Financiranje

Svaki prijedlog znanstvenog projekta se podliježe ocjenu, i svaki financijer ima vlastitu metodologiju ocjenjivanja predloženog projekta, ali se kod svih ocjenjuje cilj i primjenjivost rezultata istraživanja i kvalificiranost vodećeg istraživača.

Realizacija svakog projekta može se podijeliti u nekoliko faza. U tehničkim znanostima uobičajena je podjela na:

1. Projektni zadatak
2. Studija mogućnosti / izvedivosti
3. Idejno rješenje
4. Idejni projekt
5. Glavni projekt
6. Izvedbeni projekt [9].



## 4. HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Hidrogeološka istraživanja generalno se dijele na površinska i podzemna odnosno potpovršinska (tablica 1.) Kada je na nekom području potrebno odrediti hidrogeološke karakteristike nekog prostora, sliva, odrađuju se skupine istraživanja koja sama po sebi imaju drugačije nazive. Svaka metoda naziva se prema dominantnom načinu istraživanja, odnosno metodi i radu koji obavlja. Vrlo je važan redoslijed tih istraživanja. Niz metoda služi da bi se dobili podaci koji obuhvaćaju hidrogeološke karakteristike prostora koji se istražuje [2].

Tablica 1. Metode hidrogeoloških istraživanja [2]

<b>POVRŠINSKA</b>	<b>PODZEMNA (POTPOVRŠINSKA)</b>
Izrada geološke karte	Istražno bušenje
Izrada hidrogeološke karte	Probna crpljenja
Hidrološka analiza	Ispitivanja u bušotinama
Strukturno-tektonska analiza	Trasiranja podzemnih tokova
Geofizička istraživanja	Hidrogeokemijske metode

### 4.1. Površinska hidrogeološka istraživanja

Hidrogeološka istraživanja započinju radom na površini terena. Tim radom moguće je predvidjeti kretanja i mjesta pojave podzemne vode, a u određenim slučajevima dobiti i neke informacije o kvaliteti podzemne vode. Istraživanja s površine u velikoj mjeri ovise o iskustvu istraživača i nisu lagana, pa ovisno o tome daju i rezultate različitih vrijednosti. Ti rezultati vrlo često nisu sasvim pouzdani, međutim i cijene tih istraživanja su daleko niže od cijene radova za direktni ulazak u podzemlje, što dobra priprema može bitno smanjiti količinu skupih radova.

Površinska istraživanja se izvode određenim nizom metoda. Prvi i osnovni korak od kojeg se uvijek počinje je geološka karta. Iz geološke karte reinterpetacijom dobiva se

hidrogeološka karta. Zatim, kada su poznate veličine pojedinih elemenata hidrološkog ciklusa i dostupan dosta veliki niz mjerenih podataka radi se hidrološka analiza, odnosno izračun bilance voda. Nakon nje ide strukturno-tektonska analiza, koja se isto tako bazira na geološkoj karti, međutim obuhvaća mnogo detaljniju raščlambu tektonskih struktura i slično. Na kraju se rade površinska geofizička istraživanja [2].

#### 4.1.1. Geološka karta

Istraživanja obavezno započinju geološkim snimanjem površine terena. Na taj način se određuje geološki sastav i strukturna građa, a to je jedini način za definiranje položaja i potencijalnih dimenzija vodonosnika prije ulaska u viši stupanj istraživanja. Mogućnost vodonosnika i dimenzije sugerira nam litološki sastav stijene. Identifikacija geoloških i stratigrafskih zbivanja u nekom području u nekom području može biti odlučujuća za ocjenu vrijednosti vodonosnika, i na taj način usmjeriti na ostala istraživanja, koja zahtijevaju više sredstava. Dakle, početna faza je izrada i/ili korištenje geoloških karata. Bilo kakav zahvat u okolišu obuhvaća u određenoj mjeri karakterizaciju geoloških i hidrogeoloških svojstava nekog prostora [2].

Geološka karta je grafički prikazana sinteza geoloških zapažanja na terenu, laboratorijskih i kabinetskih radova i pruža sliku sastava i strukturnih osnova područja koje obuhvaća. U tehničkom smislu, geološka karta je ortogonalna projekcija presjeka geološke strukture, reljefa, projicirana na horizontalnu površinu [10].

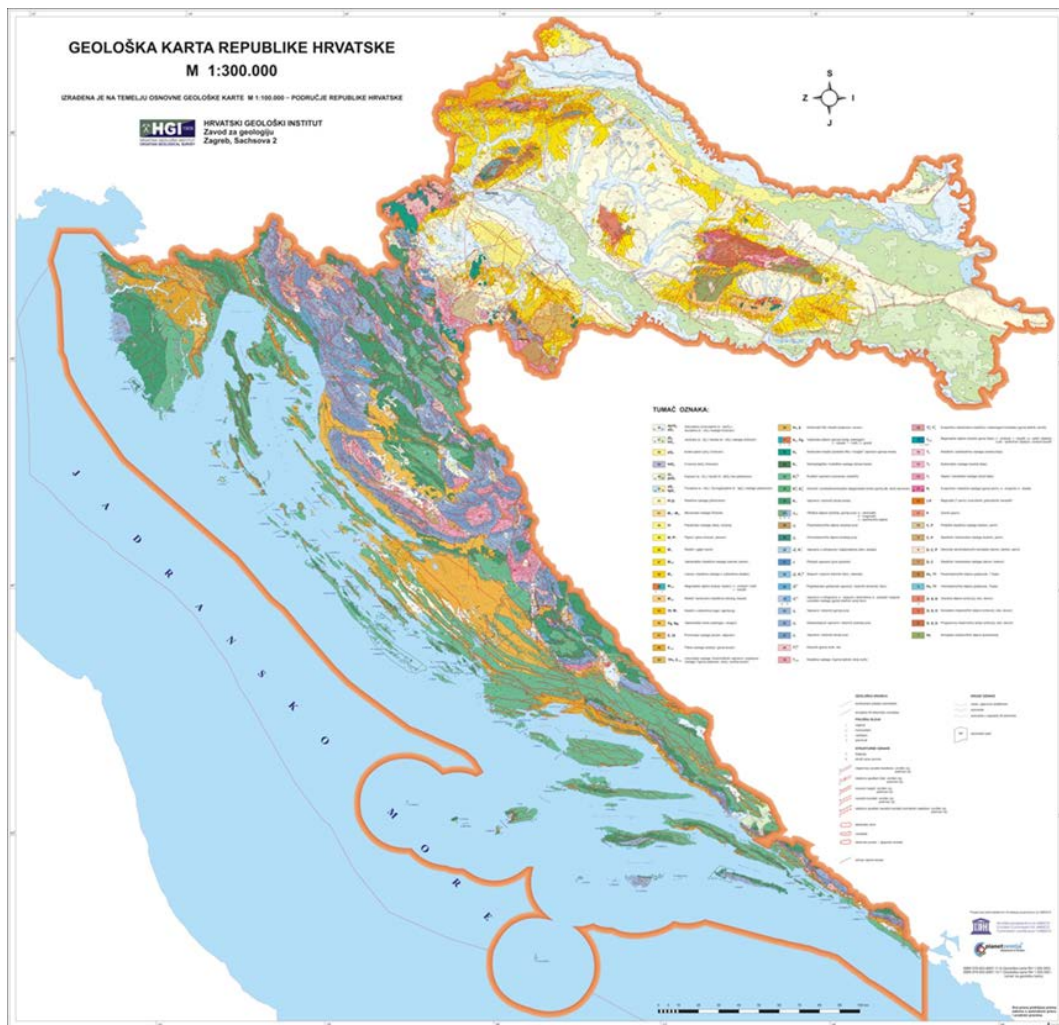
Geološka karta sadrži:

- legendu kartiranih jedinica i oznaka koje su na njoj ucrtane,
- geološki stup gdje su geološke tvorevine prikazane prema redosljedu nastanka, debljina naslaga, opisane stratigrafske i litološke karakteristike i pripadnosti,
- geološke profile koji predstavljaju grafički prikaz vertikalnog presjeka utvrđenih geoloških elemenata i njihovih odnosa po dubini,
- tumač ili izvještaj koji je zapravo tekstualni opis karte.

Za pojedina geološka razdoblja na kartama se koriste slovno-brojčane oznake u kombinaciji s bojama i oznake strukturnih elemenata [10].

Geološku kartu izrađuje Hrvatski geološki institut. Osnovna geološka karta M 1 : 100.000 dijeli Republiku Hrvatsku na određene listove. Na temelju te podloge, ide se u detaljna istraživanja koju su u M 1 : 25.000, M 1 : 5000 i M 1 : 1000 ovisno o tome što je krajnji zadatak. Detaljna istraživanja pokrivaju geolozi. Njihov cilj je da naprave detaljni pregled terena, raščlanjivanje nekih manjih lokalnih strukturnih jedinica, kako bi se mogla napraviti detaljna karta. Geološka karta prikazuje litostratigrafske jedinice, a boja na geološkoj karti ovisi sastavu i starosti stijena [2].

Pregledne karte mogu se koristiti kao podloge, jer nemaju detaljnu razradu nekog prostora. Karta u M 1 : 100.000 je najčešće korištena podloga za bilo kakva daljnja istraživanja jer detaljno prikazuje geološke strukture, sadrži dosta linijskih podataka. Linijski podaci su tektonika i geološke granice. Crnim linijama su prikazane granice između različitih litostratigrafskih jedinica, a crvenim linijama su prikazana tektonski poremećaji, odnosno rasjedi, reversni rasjedi, bore, rasjedne zone. Na listu osnovne geološke karte prikazana je legenda, gdje se točno za svaku boju, odnosno za svaku jedinicu prikazuje njezin litostratigrafski simbol. Uz to, prikazan je i geološki stup koji ukazuje na odnos starosti stijena i geološki profil na točno određenim linijski postavljenim trasama. Trase pokazuju odnos struktura u podzemlju. Geološki profil se odnosi na dubinski prikaz litostratigrafskih jedinica [2].



Slika 1. Geološka karta Republike Hrvatske M 1 : 300.000 [2]

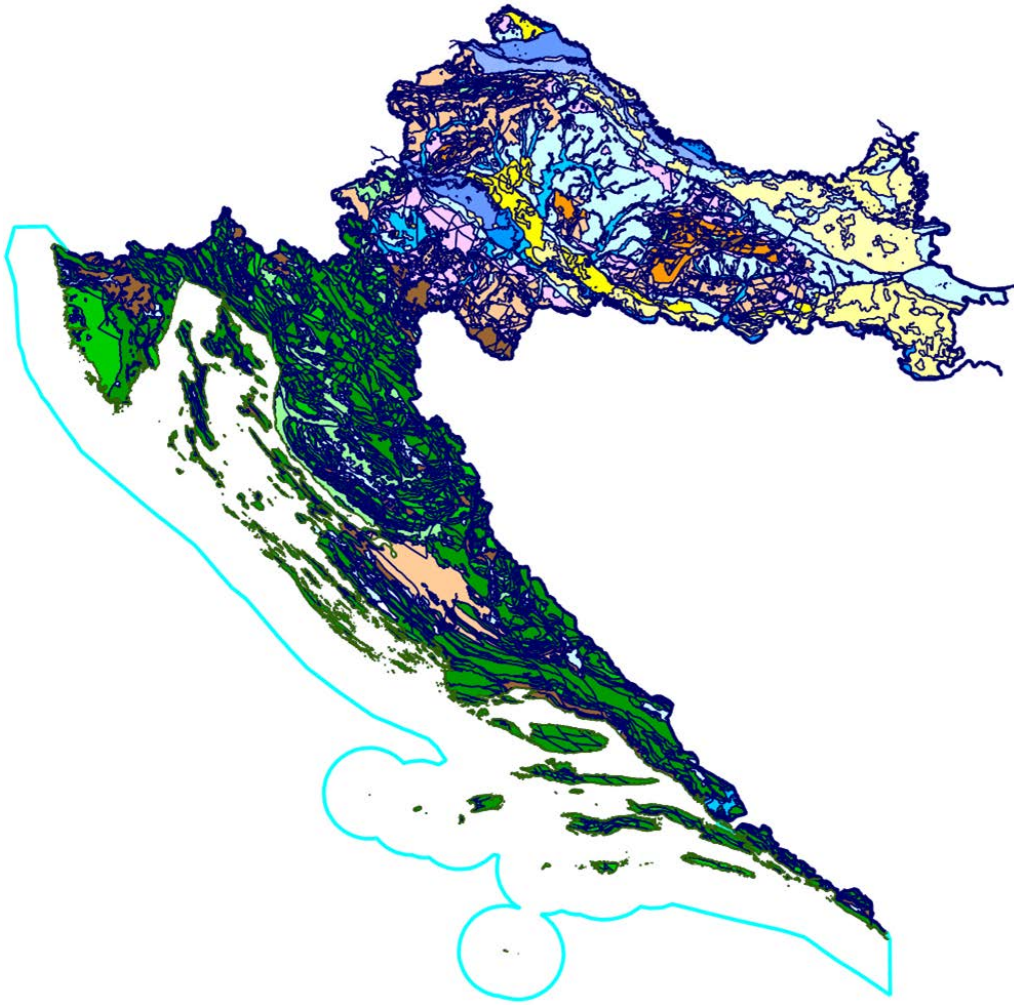
#### 4.1.2. Hidrogeološka karta

Geološka karta je podloga za izradu hidrogeološke karte. Hidrogeološka karta mora biti u određenim mjerilima, slično kao i geološka karta. Međutim, za razliku od geološke, za koju su izrađeni svi listovi Republike Hrvatske, hidrogeološka se još u određenoj mjeri radi i nije dostupna kao geološka karta. Zbog toga, istraživači je vrlo često moraju sami interpretirati. Hidrogeološke karte izrađuju se na topografskim podlogama različitih mjerila. Postoje:

1. Pregledne hidrogeološke karte M 1 : 100.000 i manje
2. Hidrogeološke karte srednjih mjerila M 1 : 25.000 do 1 : 100.000
3. Detaljne hidrogeološke karte M 1 : 10.000 i veće

Namjenske karte predstavljaju detaljne hidrogeološke karte koje se rade s određenim ciljem. Snimaju se prilikom istraživanja podzemnih voda, zaštite podzemnih voda, velikih melioracijskih projekata, obrana od poplava, izgradnje hidroenergetskih objekata i drugo [2].

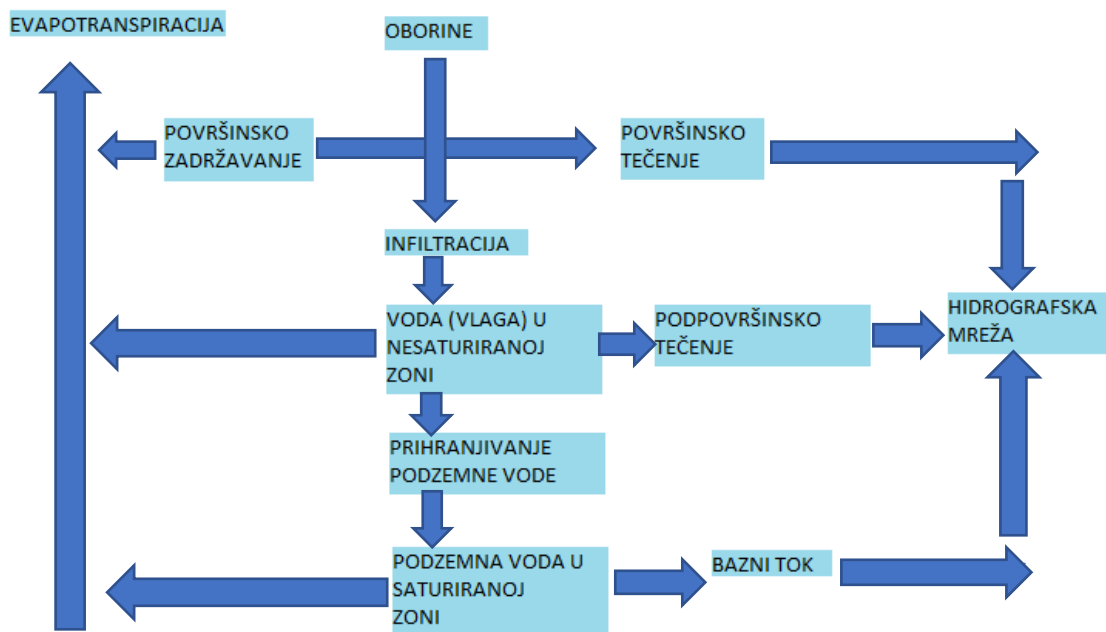
Boja na hidrogeološkoj karti, za razliku od geološke, ovisi o propusnosti stijena (slika 2.), odnosno svaka vrsta stijene imaju svoju boju, ali različite nijanse boje ukazuju na različitu propusnost. Primjer, karbonati imaju drugačiju boju od aluvijalnih naslaga i njihova boja ovisi o njihovoj propusnosti. Sve karbonatne stijene kredne starosti prikazane su zelenom bojom, a različite nijanse zelene boje predstavljaju različiti stupanj propusnosti. Ukoliko je boja tamnija, stijena ima veću propusnost i obratno. Aluvij je prikazan plavom bojom, što je boja tamnija to su stijene krupno zrnatije i imaju veću propusnost. Žutim i smeđim bojama prikazane su slabopropusne naslage, a to su lapori, fliš, gline i drugi. Svaka hidrogeološka karta ima svoju legendu. Uobičajene boje koje se koriste za označavanje određenih vrsta stijena moraju se poštivati. Na hidrogeološkoj karti, osim poligonskih podataka, moraju se prikazivati sve hidrogeološke pojave kao točkasti podaci, to jest izvori, vrulje, bušotine, estavele, jezera i kaptažni zahvati. Svaki izvedeni zdenac mora biti ucrtan na karti i njegov simbol ovisi o izdašnosti, odnosno o količini crpljenja vode iz zdenca. Kao linijski podaci, prikazuju se površinski tokovi, stalni potoci, rijeke, manje rječice, veliki vodotoci. Dio hidrogeološke karte su i hidrogeološki profili, linije trasiranja podzemnih tokova, sustavi za navodnjavanje, granice slivova, hidrotehničke građevine, odnosno akumulacije, kanali, tuneli, morfološke pojave i rasjedi koji definiraju smjerove podzemnog toka. Hidrogeološki profili na određenim linijskim potezima, to jest trasama, prikazuju odnos u podzemlju. Sadrže litostratigrafske jedinice, njihove granice, stratigrafske simbole i litološki sastav, tektonske elemente, te hidrogeološka svojstva izdvojenih litostratigrafskih jedinica [2].



Slika 2. Hidrogeološka karta Republike Hrvatske M 1 : 300.000 [2]

#### 4.1.3. Hidrološka analiza

Hidrološki ciklus ili kružni tok vode u prirodi je slijed prelaženja vode iz atmosfere na Zemlju kroz oborine, te njeno ponovno vraćanje u atmosferu isparavanjem. Zbiva se u Zemljinom sustavu: u atmosferi, hidrosferi i litosferi. Ukupna količina vode, koja na svom kružnom putu ulazi u to područje, jednaka je ukupnoj količini vode koja iz tog područja na bilo koji način izlazi. Hidrološki ciklus i njegove komponente (Slika 3.) prati se na primjeru sliva neke rijeke ili potoka u određenom vremenskom periodu [11].



Slika 3. Hidrološki ciklus sliva, odnosno sliv i njegove komponente bilance [11].

Izrada hidroloških analiza je zapravo izrada bilance voda slivova na temelju podataka o oborinama, temperaturi, otjecanju i infiltraciji. Bilanca voda je kvantitativni prikaz odnosa ukupnog prihranjivanja i gubitka vode u slivu u periodu vremena. Obuhvaća sve akumulirane podzemne, površinske i pripovršinske vode u slivu. Osnovni elementi bilance su oborine, otjecanje i evapotranspiracija, međutim za kompleksne slivove potrebno je uzeti u obzir i druge načine prihranjivanja i gubitka iz sliva, a to je infiltracija ili dreniranje površinskih tokova, vlaga tla i drugo. „Hidrogeološke varijable sistema“ je zajednički naziv za elemente bilance. Za bilo koje odabrano područje ili hidrogeološke parametre moguće je izračunati prosječno istjecanje ili gubitke i izraziti ih u cm/dan. Kvantifikacija tih komponenti zahtijeva formiranje jednadžbe bilance hidrološkog ciklusa, koji izražava hidrološki režim u slivu [1]. Ulazne količine vode u hidrološki/geološki zatvoren sliv su oborine, a izlazne količine su evapotranspiracija i površinsko otjecanje rijekom iz promatranog bazena [11].

Ukoliko se ograniči na sliv, u kojem površinska i podzemna razvodnica poklapaju, gdje nema dotoka sa strane ili istjecanja podzemljem, za vodnu bilancu jednogodišnjeg perioda vrijedi jednadžba:  $P = Q + E + \Delta S_s + \Delta S_g$ .

Oznaka P predstavlja prosječne padaline, Q otjecanje, E evapotranspiraciju,  $\Delta S_s$  promjenu količine vode u potpovršinskoj akumulaciji, a  $\Delta S_G$  promjenu uskladištene količine vode u podzemnoj akumulaciji tijekom godišnjeg perioda vremena. Ukoliko se obrađuju višegodišnji prosjeci, može se reći da su promjena uskladištene količine vode u podzemnoj akumulaciji i promjena količine vode u potpovršinskoj akumulaciji jednake nuli, jednadžba poprima jednostavan oblik :  $P = Q + E$ . Oznaka P predstavlja prosječne godišnje padaline, Q prosječno godišnje otjecanje, a E prosječnu godišnju evapotranspiraciju [2].

Poznavanje oborina, njihove količine, vrijeme pojave i raspored primarnog su značenja u bilo kojem inženjerskom radu s površinskom i podzemnom vodom. Njihov osnovni izvor je voda koja isparava iz oceana, rijeka i drugih površinskih vodnih pojava, kao i iz tla i biljnog svijeta. Isparavanje i oborine su dva događaja u hidrološkom ciklusu, koji teku kontinuirano i koji će trajati sve dok bude Sunca. Oborine se mogu generalno podijeliti na konvektivne, orografske i ciklonske. Konvektivne su ograničene na ekvatorijalna područja, uglavnom bez vjetera, s pretežitom vertikalnim kretanjem zračnih masa. Orografske padaline se događaju u brdskim područjima i vezane su za horizontalna zračna kretanja, koja sprječavaju brdski lanci. Na taj način se stvaraju lokalni uvjeti za kondenzaciju vlage. Ciklonske padaline su najznačajnije, koje obuhvaćaju cijele kontinente. Oborine se javljaju u obliku kiše, snijega, tuče, rose i inja. Sve zemlje svijeta su pokrivene osnovnom mrežom mjernih stanica za koje se izdaju izvještaji o godišnjim padalinama, pa tako i naša zemlja. Hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske iz Zagreba vodi brigu o mreži u našoj zemlji. Oborine je moguće mjeriti ombrografima, ombrometrima i totalizatorima. Na visinu oborina utječu različiti faktori, a to su šume, reljef, blizina mora, geografska širina, veliki gradovi i drugo. Intenzitet oborina koji označava količinu oborina u jedinici vremena je vrlo važan parametar. Raspored, intenzitet i količina direktno utječu na mogućnost korištenja podzemnih i površinskih voda, ali i na predviđanja nailaska poplavnih valova. Kartom izohijeta, linija koje spajaju točke u prostoru s istom visinom oborina, prikazuje se prostorni raspored oborina. Pri izradi bilance nekog sliva neophodno je određivanje prosječnih oborina za mjesečni, godišnji i višegodišnji period. Za izračunavanje prosječnih oborina najčešće se koriste tri metode, a to je metoda aritmetičke sredine, metoda Thiessena i metoda određivanja prosječnih padalina iz karata izohijeta [2].



Gubitku vode s površine tla, vodenih površina, biljnog svijeta i podzemlja obično u bilancama voda daje se skupno ime evapotranspiracija, iako se radi o složenom procesu evaporacije, transpiracije i evapotranspiracije. Isparavanje s biljaka je transpiracija, a odnosi se na vodu, koju biljke apsorbiraju iz tla ili atmosfere i onda je transpiriraju u atmosferu. Evaporacije je uglavnom vezana za slobodne vodene površine i mjeri se posudama, tavama ili Wildovim ispariteljem ako se želi uspostaviti kontinuirano mjerenje. Uz to, evaporacije je u direktnoj ovisnosti o klimatskim svojstvima pojedinih područja, prije svega temperaturi, deficitu vlažnosti zraka, kemijskim svojstvima vode, reljefu, vjetru i drugo. Osim izravnim mjerenjem, evaporacija se može izračunati preko empirijskih formula raznih autora, a najčešće korištene su formula Thorntwaitea i Turcova formula [2].

Dio oborina, koje odlaze na infiltraciju i evapotranspiraciju u podzemlje, formira se površinsko otjecanje. Površinsko i podzemno otjecanje je nemoguće odvojiti, jer je to međusobno povezani ciklus. Povezanost između površinskog i podzemnog otjecanja dolazi do izražaja naročito u velikim slivovima, gdje se izmjenjuju područja u kojima površinski tokovi prihranjuju podzemlje s područjima, gdje imaju funkciju drena. Promjene su u funkciji s promjenama hidroloških uvjeta, gdje vodotok u uvjetima visokih voda može imati funkciju drena, a u sušnom periodu prihranjivati podzemlje i obratno. Površinsko otjecanje je karakteristično za područja građena od vodonepropusnih i slabopropusnih stijena. Veliki slivovi obično su kompleksne geološke građe, pa dijelovi imaju sliva imaju i podzemno i površinsko otjecanje. Posebno je to karakteristično u krškim terenima gdje je pretežito podzemno otjecanje, međutim dinamičke rezerve podzemne vode istječu na izvorima na površinu i tako formiraju površinske tokove. Važan element bilance je mjerenje vode koja otječe površinskim tokovima. Mjerenja se rade na različite načine, ovisno o potrebi točnosti mjerenja i veličini vodotoka. U slučaju manjih vodotoka mjerenja se rade preljevima, a najčešće se koriste pravokutni preljev, Tompsonov preljev i Cipolettijev preljev. Nemoguća upotreba preljeva je kod većih protoka i u tom slučaju protoke određujemo mjerenjem brzina toka koja se mjeri hidrometrijskim krilom i mjernog profila [2].

Infiltracija je glavni izvor vode za prihranjivanje podzemlja, odnosno najveći dio slobodne gravitacijske vode u podzemlju porijeklom je infiltrirana površinska voda. Određivanje količine infiltracije moguće je postići na tri načina:

- metoda vodne bilance
- metoda temeljena na analizi prirodnog režima podzemnih voda
- metoda direktnog mjerenja

Kod metode vodnog bilanca, efektivnu infiltraciju rješavamo kao nepoznanicu u odnosu na druge parametre jednadžbe bilance :  $I_e = P - (E + Q + I_d)$ .

Oznaka  $I_e$  predstavlja efektivnu infiltraciju,  $P$  oborine,  $E$  evapotranspiraciju,  $Q$  površinsko otjecanje i  $I_d$  podmirenje deficita vlažnosti. Infiltrometri se postavljaju za direktno mjerenje infiltracije, koji se utisnu u tlo na odabranim karakterističnim mjestima i simuliraju prirodne prosječne uvjete [2].

Postoje gotove podloge koje se mogu koristiti, a ukoliko su potrebni detaljniji podaci, onda se analiziraju podaci s meteoroloških postaja, kišomjernih stanica, mjerenih temperatura, radi se izračun srednjih vrijednosti u nekom periodu. Ako je potrebno napraviti preglednu lokalnu kartu s hidrološkim karakteristikama i detaljnije je razraditi, napraviti detaljnu raspodjelu, onda se koristi niz mjerenih podataka. Meteorološke postaje Državnog hidrometeorološkog zavoda imaju dugogodišnje nizove mjerenih podataka i ustupaju ih na zahtjev. Kada se dobiju tablice s podacima, slijedi detaljna obrada, interpolacija, određivanje minimalnih i maksimalnih vrijednosti, da bi se na kraju dobila prostorna raspodjela u određenom malom prostoru. Detaljna obrada, to jest raspodjela se radi jer u preglednim kartama čitav niz podataka dospije u jednu klasu. Dodatne interpolacije se rade za svaki podatak posebno, odnosno posebno za oborine, temperaturu, otjecanje i infiltraciju. Na taj način može se odrediti bilanca za određeni sliv [2].

Dosadašnje spomenute metode, analize vezane su za podatke već postojećih mjerenih vrijednosti. Kada se počinje izvoditi neki projekt, odnosno zadatak istraživanja, rokovi su vrlo ograničeni i vrijeme koje dogovoreno najčešće nije dovoljno za postavljanje uređaja za mjerenja isparavanja, oborine, infiltraciju i slično. Cilj je pokupiti postojeće podatke u što većoj mjeri, napraviti podloge, kako bi se uštedjelo vrijeme i baziralo se na daljnja istraživanja. [1]

#### 4.1.4. Površinska geofizička istraživanja

Sljedeći korak projekta su geofizička istraživanja. Geofizička istraživanja se planiraju na temelju rezultata površinskih istraživanja, nakon što se dobro prouči geološka i hidrogeološka karta, hidrološke karakteristike i strukturno-tektonski sklop. Odabiru se lokalno ograničena područja zanimljivih karakteristika koja bi se mogla detaljnije istraživati pomoću geofizičkih istraživanja. Cilj je geofizičkim istraživanjima otkriti što se događa u podzemlju i da li u tom prostoru koji se istražuje postoje uvjeti da se nađe voda. Ovisno o tome što se izabere kao mjerodavna metoda, geofizička istraživanja mogu pokriti relativno veliki prostorni raspored (ovisno o metodi) i vremenski su prikladna. Različite geofizičke metode koriste se u istraživanju podzemnih voda, od kojih su najčešće geoelektrične i seizmičke metode. Razvoj tih metoda vezan je za razvoj elektronike i vrlo osjetljivih instrumenata tek nakon Drugog svjetskog rata [2].

Od geoelektričnih metoda najčešće se koristi sondiranje i profiliranje, a u posljednje vrijeme metoda vlastitog potencijala. Zasnivaju se na različitosti električnih svojstava stijena. Kod naslaga međuzrnske poroznosti otpori se mijenjaju ovisno o granulometrijskom sastavu, sadržaju vode u sedimentu i koncentraciji glinovite komponente u sastavu. Otpor je također primjenjiva vrijednost i kod čvrstih stijena ovisna o litološkom sastavu, stupnju razlomljenosti stijene, sadržaju vode i koncentraciji glinovite komponente [2].

Od seizmičkih metoda koriste se refleksija i refrakcija. Zajedničko seizmičkim metodama je da se mehaničkim udarom velikog čekića ili eksplozijom male količine dinamita na površini zemlje bilježi prelazak potresnog vala na poznatoj udaljenosti u određenom vremenu. Seizmički valovi ponašaju se po istim zakonima kao i svjetlosne zrake pa se može pratiti njihova refleksija ili refrakcija na bilo kojoj plohi, gdje se mijenja brzina širenja. Ta metoda nam daje informacije o geološkoj strukturi podzemlja i do nekoliko tisuća metara, ali za proučavanje podzemne vode do otprilike tristo metara dubine. Brzina valova ovisi o gustoći stijene, odnosno o mediju kroz koji prolazi. Vrijednosti brzina se mijenjaju od nekoliko stotina do nekoliko tisuća metara u sekundi. Veće brzine posljedica su kompaktnije stijene, koje se razlomljenošću i vodom smanjuju.

Geofizičkim istraživanjima na površini završava se površinski dio istraživanja [2].

## 4.2. Podzemna hidrogeološka istraživanja

Na temelju rezultat primjene površinskih geofizičkih metoda, dobije se prilično točan prostorni raspored gdje bi se voda u podzemlju mogla nalaziti. Na tim detektiranim zonama, prelazi se na podzemna istraživanja. Podzemna istraživanja, kao i površinska, izvode se određenim nizom metoda.

Prvi dio podzemnih istraživanja je istražno bušenje. Nakon izrade bušotine slijede daljnja istraživanja u bušotini, a to su podzemna geofizička istraživanja, karotaže koje mogu odrediti dubinsku raspodjelu nekakvog svojstva koji se traži, na primjer sastav stijena, položaj vode, granična struktura, raspodjelu propusnog i nepropusnog materijala i slično. Ukoliko se dođe do vode u podzemlju, sljedeće je pokusno crpljenje kojim se dobiju vrlo detaljni podaci o vodonosniku. Određuje se transmisivnost, hidraulička vodljivost sustava, uzimaju se uzorci za definiranje pokazatelja kvalitete vode i provode se hidrogeokemijska istraživanja. Na kraju, bušotinu je moguće koristiti za trasiranja podzemnih tokova uz pomoć traseru, kako bi se pokazala moguća povezanost bušotine s nekim drugim prostorom [2].

### 4.2.1. Istražno bušenje

Istražno bušenje je zapravo direktan ulazak u podzemlje i uvid u stanje u podzemlju. Uz to, jedna je od najvažnijih metoda hidrogeoloških istraživanja, jer se ulaskom u podzemlje dobivaju sigurni i točni podaci o vodonosnicima i prisustvu podzemne vode. Za razliku od geofizičkih istraživanja koja pokrivaju veliki prostor, istražno bušenje je točkasti podatak. Odredi se točka za koju se smatra da je perspektivna po pitanju pronalaska podzemne vode i korisna za istraživanje te se na tom mjestu izrađuje bušotina. Metoda istražnog bušenja zahtijeva najviše sredstava i zato treba biti vrlo pažljiv pri planiranju lokacija, količine i istraživačkih postupaka prilikom bušenja. Potrebno je razlikovati prospektorsko istražno bušenje bušotina manjih promjera, koje je inače rotacijsko, od bušenja istražno-eksploatacijskih bunara, koji su većih promjera, služe za izvođenje probnih crpljenja i kontrolu podzemne vode. Prospektorsko istražno bušenje obuhvaća izradu bušotina malih profila u koji ne ide crpka, odnosno radi se o piezometru [2].

Piezometar je bušotina koja služi za opažanje potencijala, odnosno piezometarske visine u onom vodonosnom sloju u kojem piezometar ima ugrađen filtar. Broj piezometara ovisi o količini i točnosti informacija koje želimo dobiti u i raspoloživosti financijskim sredstvima. Preporučljivo je imati tri piezometra smještenih na različitim udaljenostima od crpljenog zdenca [11].

U piezometru postoji mogućnost vađenja uzoraka i nakon što se bušotina ispusni vodom, upuštaju se sonde za mjerenja za potrebne podatke, ali nema kontinuiranog praćenja vode. Za razliku od prospektorskog istražnog bušenja, istražno-eksploatacijsko bušenje ima veće profile bušotina i ugrađuje se crpka koja kontinuirano crpi, odnosno postoji mogućnost ugrađivanja uređaja za kontinuirano mjerenje nekakvih podataka i slično. Cijena bušotine ovisi o njezinoj veličini profila, što je profil bušotine veći, to je bušotina skuplja. Kod bušenja, poželjna i jako dobra metoda je bušenje dvostrukom jezgrenom cijevi koja vadi neporemećene uzorke, odnosno prodiranjem u podzemlje dobijemo određeni profil materijala kroz koji bušotina prolazi. Za inženjerski geološki pristup gleda se stijenska masa da bi se mogli temeljiti objekti, dok u hidrogeološkom smislu cilj je detektirati rasjede i diskontinuitete, odnosno prostore gdje bi mogla voda teći. Neporemećeni uzorak koji je izvađen s bušenjem dvostruke jezgrene cijevi hidrogeolozima otkriva da li je to područje pogodno za istraživanje. Ukoliko je taj uzorak kompaktan, to jest u jednom cijelom komadu, na tom prostoru vode vjerojatno nema ili ima u malim količinama. Ako nađemo prostore gdje nema kontinuirane jezgre, gdje ima dosta razlomljenog materijala, to su tako zvane trošne ili pukotinske zone u kojima se može pronaći voda. Još jedna prednost je da se može odrediti na kojem dubinskom prostoru se nalaze pukotinske zone, to jest podzemni tok [2].

Za bušotine većih dimenzije profila, kod istražno-eksploatacijskog bušenja, koriste se udarna bušenja koja ne vade jezgru, ili se prvo radi jezgrovanje manjih profila, pa se naknadno ta bušotina proširuje. Još jedan način je da se odmah buši udarno, što znači da se stijena lomi u samoj bušotini i vadi van [2].

#### 4.2.2. Probna crpljenja i mjerenja u bušotinama

Za vrijeme pokusnog mjerenja mjeri se sniženje u vremenu i crpljena količina. Prije samog početka probnog crpljenja potrebno je utvrditi sve postojeće promjene razine

podzemne vode, uključujući dugotrajne regionalne trendove i kratkotrajne promjene. Stoga se nekoliko dana prije početka probnog crpljenja treba barem dva puta dnevno mjeriti razina vode u svim piezometrima koje smo postavili. Za svaki piezometar izrađuje se nivogram iz kojeg se može očitati trend i veličina promjene piezometričke visine. Crpljenje može početi onda kada se objektivno ne očekuju veće promjene potencijala za vrijeme crpljenja. Mjerenja se nastavljaju još jedan, dva dana po završetku crpljenja [11].

U prvih sat, dva crpljenja, piezometrička visina naglo otpada pa mjerenja moraju u tom periodu biti vrlo gusta. S trajanjem crpljenja razmak između potrebnih očitavanja se povećava. Razina vode mjeri se u piezometrima i u zdencu. Za mjerenje sniženja u vremenu najčešće se koriste mjerači, tako zvani „fučkaljka“ i „štoperica“. Ručnim mjeracima može se postići vrlo dobra točnost. Nakon prekida crpljenja razina vode u zdencu i piezometru raste. Taj povratak razine vode također se mjeri. Intervali između pojedinih očitavanja isti su kao i za vrijeme crpljenja, i u početku su gusta, a kasnije sve rjeđa. Nastoji se mjeriti povratak razine na početnu, onu prije početka crpljenja, no kako se zadnji centimetri vraćaju vrlo sporo, smatra se zadovoljavajućim povrat razine za 85-90% ukupnog sniženja [11].

Veće crpne količine mjere se vodomjerom. Ako se iscrpljena voda odvodi plitkim jarkom, količina se može mjeriti „Parshalovim žlijebom“. Manje crpne količine mogu se mjeriti i „metodom posude“, odnosno mjeri se vrijeme potrebno da se napuni posuda poznatog volumena. Ako se radi o velikim crpnim količinama, potrebno je raditi preljev [11].

Poželjno je da probno crpljenje traje dok se konus depresije ne stabilizira, dok se ne uspostave stacionarni uvjeti. U nekim slučajevima stacionarni tok se uspostavi već nakon nekoliko sati, negdje je za to potrebno nekoliko dana ili nekoliko tjedana, a u nekim slučajevima je stacionarno stanje nemoguće uspostaviti, kao na primjer u zatvorenom vodonosnom sloju [11].

U bušotinama koje su izbušene udarnim metodama ne zna se prostorni raspored materijala i zbog toga vrlo je važna izrada geofizičkih karotažnih mjerenja. Istražno-eksploatacijska bušenja omogućuju probna crpljenja, što znači da se radi STEP test. Iz STEP testa mogu se dobiti podaci o transmisivnosti vodonosnika i hidrauličkoj vodljivosti [2].

Transmisivnost je hidrogeološki parametar koji može definirati kao količina vode koja protječe kroz poprečni presjek vodonosnog sloja, jedinične širine i debljine, uz jedinični

hidraulički gradijent. Predstavlja umnožak hidrauličke vodljivosti ( $K$ ) i debljine sloja ( $m$ ) [11].

Hidraulička vodljivost može se definirati kao količina vode koja protječe kroz poprečni presjek vodonosne stijene jedinične površine uz jedinični hidraulički gradijent, odnosno pad potencijala za jedan metar na udaljenosti od jedan metar u smjeru tečenja podzemne vode. Ovisi o svojstvima stijene kroz koju se fluid filtrira i o svojstvima fluida koji je filtrira [11].

Kada se detektira neka zanimljiva zona i planira eksploatiranje vode koja je nađena, radi se više zdenaca, jedan za drugim. Osim crpljenja, ugradnjom automatskih mjerača omogućeno je kontinuirano mjerenje, ali na stalnoj dubini. Podaci pokazuju o kolikoj količini vode se radi, o dubinskom rasporedu vode, koje su karakteristike te vode, odnosno ovisno što se želi konkretno mjeriti. Postoje različite sonde za mjerenja, kao na primjer mjerač razine vode, provodljivosti, temperature i druge. Sonde se slože na sajlu, postavljaju na određenim dubinama i zaštititi se područje mjerenja od životinja i znatiželjnih ljudi. Svi podaci, mjerenja se spremaju u njihove memorije, ovisno kako ih se programira [2].

Ukoliko nema sustava za kontinuirano mjerenje neke određene karakteristike, moguće je i jednokratno mjerenje sondama u piezometrima. Nakon mjerenja rade se dijagrami koje obuhvaćaju mjerene podatke na različitim dubinama [2].

#### 4.2.3. Podzemna geofizička istraživanja

Geofizičke metode zasnivaju se na istim teoretskim temeljima kao i površinske geofizičke metode, ali moguće ih je provoditi i prije crpljenja. Nakon što je bušotina u izradi, iza toga se rade geofizičke metode u bušotinama, dok se mjerenja sondama kontinuirano rade kad je već izrađena bušotina. Kada se radi o bušenju koje ne jezgruje, odnosno ne vade se neporemećeni uzorci, geozičkim mjerenjima, što je jeftinija i brža metoda, može se dobiti uvid u što se in-situ nalazi u podzemlju, na toj lokaciji i dalju veliku količinu podataka o stijenskoj masi u neposrednoj okolini bušotine. Mjerenja se provode duž kanala bušotine i izvode se pomoću sonde u kojoj se nalazi odgovarajući prijamnici i odašiljači, ovisno o namjeni sonde u bušotini. Podaci se šalju kabelom u instrumente na površini terena, primaju se, odrađuju i spremaju [2].

Karotažna mjerenja su izvode pomoću sonde spuštene u bušotinu i mjerenje se najčešće izvodi tijekom izvlačenja sonde. Mjerenja se mogu izvoditi u nezacijevljenim i zacijevljenim bušotinama, i tijekom bušenja. Nakon toga, fizikalna veličina se registrira duž cijele dubine bušotine i prikazuje pomoću dijagrama [2].

Postoje različite vrste karotažnih mjerenja to su:

- karotaža otpornosti
- karotaža spontanog potencijala (SP karotaža)
- radioaktivne karotažne metode (gama, gama-gama, neutronska)
- karotaža gustoće
- akustična snimanja
- snimanja TV kamerama [2].

#### 4.2.4. Hidrokemijske metode

Ostale metode koje se podrazumijevaju pod podzemnim istraživanjima su hidrokemijske metode, što znači uzimanje uzoraka i kemizam vode, pokazatelje kakvoće i trasiranja podzemnih tokova, bilo na nekim prirodnim točkama, postojeća jama, ponori ili bušotina koja se izradi. Suvremena hidrogeološka ispitivanja su nezamisliva bez detaljne obrade slivova, hidroloških i hidrokemijskih ispitivanja. Hidrokemijska ispitivanja uključuju obradu kompletnog kemijskog sadržaja u podzemnoj vodi s posebnim težištem na neke sastojke u tragovima, koji mogu poslužiti kao prirodni traser za definiranje slivova [2].

Supstance u podzemnoj vodi se određuju kemijskim analizama. Mineralizacija predstavlja ukupnu količinu otopljenih mineralnih tvari u vodi, a izražava se suhim ostatkom, koji se dobije isparavanjem vode pri 110°C. Varira od nekoliko mg/L do 200 g/L. U podzemnim vodama registrirano je preko šezdeset različitih elemenata, međutim klasične skraćene kemijske analize koje se koriste pri klasičnim hidrogeološkim istraživanjima sadrže: Na, K, Ca, Mg, Fe, NH<sub>4</sub>, Cl, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, J, Br, H<sub>2</sub>S, pH, suhi ostatak, tvrdoću i agresivni CO<sub>2</sub> [2].

Za određeni tip detaljnih hidrogeoloških istraživanja, rade se potpune kemijske analize. Rezultati analiza voda izražavaju se u ionskoj formi u mg/L, u ekvivalentnim količinama mg-ekv/L i u postocima ekvivalenata % ekv. Teoretski suma svih kationa izražena u



milimolekvivalentima po litri trebala bi biti jednaka sumi svih aniona, i iz toga može se vidjeti da li je analiza točno načinjena. Brojne su klasifikacije podzemnih voda prema kemijskom sastavu, ali uglavnom su temeljene na općoj mineralizaciji ili na glavnim komponentama sastava. Velika pažnja posvećuje se i ispitivanju izotopa, jer na taj način je moguće odrediti brojne karakteristike vodonosnika i podzemne vode. Pomoću  $^{14}\text{C}$  određuje se relativna starost vode, što je vrlo značajno u ocjeni dinamičkog modela nekog sliva [2].

#### 4.2.5. Trasiranje podzemnih tokova

Trasiranje podzemnih tokova je vrlo kompleksna metoda istraživanja koja se nezaobilazno koristi kod definiranja slivova i za zaštitu podzemnih voda u pukotinskim i okršenim vodonosnicima jer daje egzaktno podatke o smjerovima i brzinama podzemnog toka. Metode koje koriste boje i soli provode se već godinama. Međutim, analize tehnika trasiranja dovode do nekih ograničenja. Prvenstveno je to disperzija trasera zbog različitih brzina u svakoj pori porozne sredine. Rezultat je različita koncentracija trasera u smjeru toka, koja je veća što je duži tok. Drugi problem koji se javlja je pravilan odabir samog trasera. Idealni traser se mora determinirati u vrlo malim koncentracijama, koji su blizu dozvoljenim koncentracijama u prirodnim vodama. Ne smiju reagirati s prirodnim vodama i taložiti se, ne smiju se apsorbirati u poroznoj sredini i moraju biti relativno jeftini. Nema trasera koji sadrži sve te povoljne karakteristike, ali se može odabrati onaj koji približno zadovoljava u određenim uvjetima. Klasificiraju se prema metodi određivanja, a to su kolorimetrijski, kemijski, elektroprovodljivi, radioaktivni i fluorescentni [1].

Širok je raspon trasera, koji se koristi u određivanju smjerova podzemnih tokova. Najčešće kod nas se koristi natrijev fluorescein, koji se može detektirati u vrlo malim koncentracijama, danas posebno precizno spektrofotometrima. Za manje slivove i manje udaljenosti dosta je korištena kuhinjska sol, koja daje vrlo dobre rezultate. U širokoj upotrebi su radioaktivne supstance i to najviše tricij, koji se može koristiti bez opasnosti zagađenja podzemlja, međutim kod drugih radioaktivnih trasera potrebno je paziti da se ne prijede opasni nivo radijacije [2].

Trasiranja podzemnih tokova najviše se koriste u raspucalim stijinama sekundarne poroznosti, jer su za te stijene daleko manja ograničenja korištenja te metode zbog većih brzina podzemnih tokova i daleko manje disperzije trasera u podzemlju. Obzirom da je Hrvatska poznata po rasprostranjenim krškim terenima, trasiranja se izuzetno puno koriste [2].

Opažanje pojave boje na mjestima izviranja vode najvažniji je dio pokusa. Nekada je to rađeno vizualno uz stalno prisustvo opažača na izvorima. Rezultati su bili sigurni samo na mjestima pojave visoke koncentracije boje i ukoliko se to dogodilo danju. Analize i uzrokovanje u laboratoriju osiguravaju visoku vrijednost rezultata. Pravilno je uzimanje uzoraka svakih šest sati, ali prema potrebi može biti i češće i rjeđe. Ponekad se u sklopu jednog trasiranja napravi i do tisuću analiza. Ti rezultati se prikazuju krivuljama pojave i koncentracije boje za svako opažačko mjesto ili tabelarno [2].

Na hidrogeološkim kartama pravocrtno se povezuju mjesta ubacivanja trasera i mjesta pojave boje s naznakom prividne brzine podzemnog toka u cm/s. Prividna brzina računa se prema razlici vremena od ubacivanja do pojave u odnosu na zračnu udaljenost.

Trasiranja su najegzaktniji način određivanja brzine cirkulacije podzemne vode u kršu. Prema dosadašnjim iskustvima pokazano je da se uglavnom kreću u rasponu od 0 – 10 cm/s, a tek manji dio prelazi te vrijednosti [2].

#### 4.2.6. GIS metode

Specifična istraživanja su GIS metode. GIS metode su završni dio bilo kakvih hidrogeoloških istraživanja, jer pomoću GIS-a prikazuju se svi postojeći podatci, odnosno geološka i hidrogeološka podloga, detektirani vodni objekti, granice slivova, kao i novi podatci koji se dobiju tijekom istraživanja. Ne koristi se samo za prikazivanje podataka, već se pomoću GIS-a mogu raditi i prostorne analize, simulacije i modeliranja [2].

## **5. ZAŠTITA PODZEMNIH VODA**

### **5.1. Važnost podzemne vode**

Podzemne vode u globalnoj hidrološkoj bilanci, čine najveći dio slatke vode u tekućem stanju. Kako su one skrivene, o njima ljudi znaju malo ili imaju potpuno pogrešnu sliku o tom dijelu našeg okoliša. Podzemna voda je glavni ekonomski resurs, pogotovo u sušnim područjima. Zanimljivo je kako u velikim gradovima smještenim na rijekama, voda se najčešće crpi iz podzemlja, jer je uglavnom manje onečišćena, pa je i isplativija od one iz riječnih tokova [1].

Veliki dio vodoopskrbe, točnije 90 % ostvaruje preko zaliha podzemnih voda, što znači da 10 % vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj ostvaruje površinskim zahvatima. Najčešće su to jezera (pretežito u Dalmaciji) i dijelovi vodotokova. U velikom broju slučajeva, podzemna voda eksploatira se iz relativno plitkih vodonosnih naslaga. Takva eksploatacija je tehnički jednostavna i relativno jeftina. No plitki vodonosnici su u pravilu više izloženi onečišćenju s površine [12]. Posljedice onečišćenja podzemnih voda uglavnom su skrivene od pogleda, i kako je za širenje zagađenja podzemljem potrebno relativno dugo vrijeme, veliki dio javnosti misli da su podzemne vode dobro zaštićene [1]. Osnovi zadatak zaštite podzemnih voda je sprječavanje budućeg onečišćenja i pokušaj smanjenja postojećeg onečišćenja. Ako je već prisutno nekakvo onečišćenje na nekom području, mjerama zaštite se nastoji to onečišćenje smanjiti na što nižu razinu [2].

### **5.2. Potreba zaštite**

Zaštita vodnih resursa jedna je od najvažnijih znanstvenih i stručnih aktivnosti u svijetu. Svaka država provodi zaštitu voda sukladno svojoj legislativi. U Hrvatskoj, zaštita voda se provodi već tridesetak godina. U zadnje vrijeme, sve više je naglašen problemom onečišćenja okoliša, pa tako i podzemne vode. Uzroci onečišćenja su mnogobrojni, a među najčešće i najveće se ubrajaju otpadne vode, komunalni i industrijski otpad, poljoprivredna djelatnost, promet, naftovodi, plinovodi, industrija i drugi. Utjecaj čovjeka negativno djeluje na okoliš i onečišćenje je nemoguće u potpunosti spriječiti, ali se može svesti na prihvatljive vrijednosti [2].

Problematika u zaštiti podzemnih voda je u tome što su onečišćenja podzemnih voda u pravilu slabo vidljiva, a ponekad se uočavaju tek na objektima gdje voda izlazi na površinu nakon dugo vremena. Ta onečišćenja se godinama akumuliraju u podzemlju i „danas“ praktički dolaze do izražaja onečišćenje koje je već dugo prisutno. Vrijeme potrebno da onečišćenje dođe s površine do vodnog lica, da se horizontalno proširi kroz saturiranu zonu je različito, odnosno nekada traje danima, mjesecima, a nekad godinama. Danas gotovo da i nema zemlje gdje podzemne vode nisu zagađene raznim teškim metalima, nitratima, različitim pesticidima, otpadom te raznim naftnim derivatima. Pročišćavanje je izuzetno veliki i skup problem ako dođe do zagađenja podzemlja, jer bilo kakav zahvat zahtjeva izrazito puno ulaganja i nepredvidljiv je rezultat. Stoga je zaštita podzemnih voda izuzetno važna. Površinske vode su povezane s podzemnim, te tako zaslužuju sličan tretman zaštite [2].

### **5.3. Postupci zaštite propisani zakonom**

Prema Zakonu o vodama, zaštita voda ima cilj da spriječi daljnje pogoršanje, zaštititi i poboljša stanje vodnih ekosustava te, s obzirom na potrebe za vodom, kopnenih ekosustava i močvarnih područja izravno ovisnih o vodnim ekosustavima. Važno je promicati održivo korištenje voda na osnovi dugoročne zaštite raspoloživih vodnih resursa. Potrebno je bolje zaštititi i poboljšati stanje vodnog okoliša, među ostalima i putem specifičnih mjera za postupno smanjenje ispuštanja, emisija i rasipanja opasnih tvari s prioritetne liste, te prekid ili postupno ukidanje ispušnih, emisija ili rasipanja opasnih tvari s prioritetne liste. Uz to, potrebno je osigurati postupno smanjenje onečišćenja podzemnih voda i sprječavati njihovo daljnje onečišćenje, te pridonijeti ublažavanju posljedica poplava i suša [13].

Ostvarenjem tih ciljeva pridonosi se očuvanju života i zdravlja ljudi, te osiguranju dostatnih količina površinskih i podzemnih voda dobre kakvoće potrebnih za održivo, uravnoteženo i pravično korištenje voda. Pridonosi se znatnom smanjenju onečišćenja podzemnih voda i zaštiti kopnenih površinskih i morskih voda, te sprječavanju daljnjeg pogoršanja, zaštititi i poboljšanje vodnih ekosustava [13].

#### **5.4. Zone sanitarne zaštite i odgovarajuće mjere zaštite**

Područje na kojem se nalazi izvorište ili drugo ležište vode koje se koristi ili je rezervirano za javnu vodoopskrbu, kao područje na koje se za iste potrebe zahvaća voda iz rijeka, jezera, akumulacija i sl., mora biti zaštićeno od namjernog ili slučajnog onečišćenja i od drugih utjecaja koji mogu nepovoljno djelovati na zdravstvenu ispravnost voda ili na njezinu izdašnost (zone sanitarne zaštite) [13].

Zaštita izvorišta i površinskih vodozahvata po zonama sanitarne zaštite provodi se sukladno odluci o zaštiti izvorišta izrađenoj na temelju Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta. Odlukom o zaštiti izvorišta propisuje se, na temelju provedenih vodoistražnih radova:

1. veličina i granice zona sanitarne zaštite,
2. sanitarni i drugi uvjeti održavanja,
3. mjere zaštite,
4. izvori i načini financiranja provedbe mjera zaštite,
5. ograničenja ili zabrane obavljanja poljoprivredne i drugih djelatnosti,
6. ograničenja ili zabrane građenja ili obavljanja drugih radnji kojima se može utjecati na kakvoći uli količinu voda izvorišta i površinskih zahvata, i
7. prekršajne odredbe [13].

Temeljni dokument zaštite voda u Hrvatskoj je “Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta” [14] kojim su propisane zone sanitarne zaštite i mjere zaštite u svakoj pojedinoj zoni. Pravilnikom se propisuju uvjeti za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta koja se koriste za javnu vodoopskrbu, mjere i ograničenja koja se u njima provode, rokovi i postupak donošenja odluka o zaštiti izvorišta. Zaštita se ostvaruje propisivanjem zona zaštita, a unutar pojedine zone zaštite propisuju se mjere koje ograničavaju određene aktivnosti [2].

Zone sanitarne zaštite mogu se utvrditi ako su provedeni određeni vodoistražni radovi i ako je izrađen elaborat zona sanitarne zaštite.

Zone zaštite imaju određene uvjete definiranja, ovisno o okolišu u kojem se određuju (Tablica 2.). Zahvati podzemne vode dijele se na zaštitu vodonosnika s međuzrnskom poroznosti i zaštitu krških vodonosnika. Zbog dinamike i funkcioniranja ta dva vrlo različita tipa vodonosnika zaštita je različita. Površinska izvorišta dijele se na vodozahvate iz akumulacija i jezera, odnosno stajačica i vodozahvate iz otvorenih vodotoka, odnosno tekućica. U tablici 2. su prikazane podjele zona sanitarne zaštite prema okolišu u kojem se određuju i koje se određene mjere provode unutar njih [2].

Tablica 2. Podjela zona sanitarne zaštite i uvjeti njihovog definiranja [14]

ZONA	ALUVIJALNI VODONOSNICI	KRŠKI VODONOSNICI	AKUMULACIJE I JEZERA	VODOTOCI
IA. zona	Najmanje 10 metara oko objekta	Neposredno naplavno područje	Zona od 10 metara oko jezera tijekom najvišeg vodostaja	Područja neposrednog zahvata vode u koritu vodotoka, obalu vodotoka uz zahvat, crpnu stanicu, uređaj za pročišćavanje i građevine za pogon, održavanje i čuvanje, te suprotnu obalu ako je korito vodotoka kod niskih voda uže od 20 m.
IB. Zona		Izdvaja se ukoliko je I. zona velika i na strmim i nepristupačnim odsječcima		
II. zona	Od granice I. zone do vremena toka od 50 dana	Do 24 sata; > 3 cm/s	Najmanje 100 metara sa svake strane od vanjske granice prve zone, a prostire se uz dotok, te pojas od 100 metara uz akumulaciju mjereno od vanjske granice I. zone	
III. zona	Od granice II. zone do granice priljevnog područja	1 – 10 dana; 1-3 cm/s	Od granice II. zone do granice sliva	
IV. zona		10 – 50 dana; < 1 cm/s		
		Planinska područja, mjere zaštite kao II. zona		

Metode istraživanja koje se propisuju u “Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta” provode se kako bi se definirale zone sanitarne zaštite i dijele se u tri skupine istraživanja.

Prva skupina istraživanja je vezana za određivanje geološka i hidrogeološka svojstava, odnosno određivanje litološkog sastava vodonosnika, prostorni raspored vodonosnih slojeva i tip vodonosnika, rubnih uvjeta vodonosnog sustava, osnovnih hidrogeoloških parametara (koeficijent hidrauličke provodljivosti, koeficijent transmisivnosti, koeficijent uskladištenja, efektivna poroznost, koeficijent dreniranja i specifično otpuštanje) te smjerova i brzina tečenja podzemne vode. Da bi se odredile sve te karakteristike vodonosne sredine koriste se hidrogeološka istraživanja opisana u poglavlju četiri ovoga rada, konkretno, određuju se interpretacijom geološke karte izradom hidrogeološke karte, geofizičkim istraživanjima, istražnim bušenjima i različitim laboratorijskim ispitivanjima (granulometrijske analize, edometarski pokus...). Kao posebno važnu metodu istraživanja u ovoj prvoj skupini potrebno je istaknuti trasiranje podzemnih tokova za krške vodonosnike budući da to istraživanje daje informacije o prividnim brzinama podzemnih tokova što je osnovni uvjet definiranja zona zaštite. Što se tiče aluvijalnih vodonosnika, u ovoj prvoj skupini ne smije se izostaviti izrada matematičkog modela vodonosnika.

U drugu skupinu istraživanja spadaju postupci obrade kvalitete podzemne vode, kako bi se utvrdilo moguće postojeće onečišćenje, odnosno koncentracije onečišćenja u podzemnoj vodi i njegove promjene u vremenu i prostoru. Glavna metoda istraživanja u ovoj skupini su hidrogeokemijske i laboratorijske metode analize kvalitete vode i otkrivanje prisutnosti onečišćenja.

Treća skupina metoda istraživanja bavi se proučavanjem dužine zadržavanja vode u podzemlju, rezidualnim zasićenjem, hidrogeološkim parametrima, odnosno koeficijenti disperzije i distribucije. Glavna metoda istraživanja u ovoj skupini su također hidrogeokemijske metode s naglaskom na izotopnim analizama i analizama interakcije voda – vodonosnik.

## 6. RASPRAVA

Hidrogeologija je znanstvena disciplina koja se bavi izučavanjem podzemne vode, njenim rasporedom, gibanjem kroz poroznu sredinu te njenim kemijskim i fizičkim značajkama kao rezultatom interakcije s poroznom sredinom i drugim sedimentima okoliša uključivo i čovjeka [11].

Podzemne vode su značajan dio ljudskog okoliša. S jedne strane su konačni prenositelj svih onečišćenja u površinske vode, atmosferu ili tlo, ali s druge strane su glavna, u nekim dijelovima svijeta i jedina mogućnost vodoopskrbe.

Površinska i podzemna hidrogeološka istraživanja omogućuju predvidjeti kretanja i mjesta pojave podzemne vode, a u određenim slučajevima dobiti i neke informacije o kvaliteti podzemne vode. Sva istraživanja u velikoj mjeri ovise o iskustvu istraživača i nisu lagana, pa ovisno o tome daju i rezultate različitih vrijednosti. Uz znanje i stručnost istraživača, potrebna su velika financijska ulaganja u istraživanje. Nijedna metoda se ne smije nekvalitetno i površno napraviti, niti se smije štedjeti u financijskim ulaganjima, jer to može ugroziti samo daljnje istraživanje i dati netočne rezultate.

Problematika u zaštiti podzemnih voda je u tome što onečišćenja podzemnih voda u pravilu su slabo vidljiva, a ponekad se uočavaju tek na eksploatacijskim objektima nakon dugo vremena. Ta onečišćenja se godinama akumuliraju u podzemlju i „danas“ praktički dolaze do izražaja. Slučajevi zagađenja podzemne vode su sve češći i drastičniji. Porastom broja stanovništva i razvojem industrije, potrebe za vodom svakodnevno rastu, te se povećava i njeno crpljenje iz podzemlja.

Osnovi zadatak zaštite podzemnih voda je spriješavanje budućeg onečišćenja i pokušaj smanjenja postojećeg onečišćenja. Ako je već prisutno nekakvo onečišćenje na nekom području, mjerama zaštite se nastoji to onečišćenje smanjiti na što nižu razinu.

Temeljni dokument zaštite voda u Hrvatskoj je “Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta” kojim su propisane zone sanitarne zaštite i mjere zaštite, koje su različite za svaku pojedinu zonu oko izvorišta (vodozahvata), a sastoje se u tome da se unutar pojedine zone zabrane aktivnosti koje predstavljaju potencijalnu opasnost za onečišćenje podzemnih voda.



Pravilnikom se propisuju uvjeti za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta koja se koriste za javnu vodoopskrbu, mjere i ograničenja koja se u njima provode, rokovi i postupak donošenja odluka o zaštiti izvorišta.

Zaštita koja se ostvaruje propisivanjem zona zaštita te propisanim mjerama zaštite koje zabranjuju određene aktivnosti moglo bi se reći da se ograničava razvoj određenog područja. No, odgovarajućim istražnim radovima zone se propisuju na onoj površini gdje je to zaista neophodno, a poštivanjem pojedinih zona sanitarne zaštite izvorišta i zakona vezanih za vodu, smanjuje se rizik onečišćenja podzemnih voda, što mora biti prioritet. Kako ne bi došlo do zagađivanja dragocjenih izvora pitke vode, i samog njezinog prekomjernog crpljenja, podzemnu vodu je potrebno zaštititi i planski iskorištavati, njome održivo upravljati.

## 7. ZAKLJUČAK

Zaštita vodnih resursa jedna je od najvažnijih znanstvenih i stručnih aktivnosti u svijetu. U Hrvatskoj je 90 % javne vodoopskrbe vezano za podzemne vode i stoga je zaštita podzemnih voda jako važna.

Hidrogeologija je znanstvena disciplina koja proučava pojavu i kretanje podzemne vode. Zanimljivo je pratiti njezin razvoj tijekom povijesti. Stari Zavjet ima brojne bilješke o podzemnoj vodi, izvorima i bunarima. Izvedeni su zdenci takvog promjera da je unutar njih bio izgrađen put za magarce, koji su iznosili na površinu iskopani materijal, odnosno podzemnu vodu. Podzemna voda je oduvijek predstavljala predmet interesa i objekt proučavanja upravo zato što se nalazi u podzemlju i nije predvidljiva i dostupna kao površinske vode. Brojne civilizacije, narodi, gradovi, naselja, nastali su upravo na mjestima koja su usko vezana za vodu, bila u pitanju rijeka, potok ili izvor. I to daje jasno do znanja koliko je voda važna i da ona zapravo predstavlja život. Na području Republike Hrvatske upravljanje vodama datira još iz rimskih vremena, a organizirana vodnogospodarska djelatnost javlja se u 19. stoljeću. Danas, vodnim resursima RH u cijelosti upravljaju Hrvatske vode.

Sve je naglašeniji problem onečišćenja podzemne vode. Uzroci onečišćenja su brojni, a glavni izvor onečišćenja podzemnih voda je ljudska aktivnost u okolišu, neznanje i nebriga. Onečišćenje podzemnih voda nije moguće u potpunosti spriječiti, ali se može svesti na prihvatljive vrijednosti. Predstavljene su brojne hidrogeološke metode za pronalazak vodonosnika i zaštitu dostupnih resursa podzemnih voda. No sve to iziskuje znatna ulaganja kao i znanje stručnih ljudi. Zbog toga se veliki naglasak stavlja na zaštitu voda i vodenog okoliša te sprječavanje onečišćenja. Zone sanitarne zaštite, brojni zakoni i direktive ne služe svojoj svrsi ako ih se ne poštuje.

Potrebno je i dalje istraživati i otkrivati nove zalihe podzemnih voda, postojeće zalihe štititi od onečišćenja pročišćavanjem otpadnih voda, primjenom čistih tehnologija u industriji i sigurnim zbrinjavanjem otpada, racionalno iskorištavati postojeće zalihe vode, razvijati i primjenjivati tehnike i postupke za zaštitu podzemnih voda. Ukoliko se nastave ignorirati onečišćenja vode i okoliša općenito jednog dana voda će se plaćati zlatom kao danas fosilna goriva.

## 8. LITERATURA

- [1] Mayer, D. (2006): VODA Od nastanka do upotrebe, Zagreb
- [2] Biondić, B. (2006): Interna skripta iz hidrogeologije
- [3] Vlašić, M. (2015): Hidrogeologija-1.dio.-50.str.pdf. Dostupno na: <https://www.scribd.com/document/290574543/HIDROGEOLOGIJA-1-DIO-50-str-pdf>. Datum pristupa: 26.4.2019.
- [4] Vodovod i kanalizacija Split. Dostupno na: <https://www.vik-split.hr/ona/povijesni-razvoj> Datum pristupa: 10.5.2019.
- [5] Anić, V. (1991.): Rječnik hrvatskog jezika, SNL, Zagreb
- [6] Anić, V. i Goldstein I. (1999.): Rječnik stranih riječi, Novi Liber, Zagreb
- [7] Babcock Gove P. (1961.): Webster's Third New International Dictionary
- [8] Enciklopedija leksikografskog zavoda (1969.), Zagreb
- [9] Mayer, D. (2007): Projektiranje hidrogeoloških istraživanja s predavanja u ak. godini 2007./2008
- [10] Kapelj, S. (2015): Materijali s predavanja iz Geologije I. u ak. godini 2015./2016.
- [11] Bačani, A. (2006): Hidrogeologija I. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- [12] Mayer, D. (1993): Kvaliteta i zaštita podzemnih voda. Hrvatsko društvo za zaštitu voda i mora, Zagreb
- [13] Zakon o vodama (NN 153/09, 63/11, 56/13, 14/14, 46/18), na snazi od 26.05.2018.
- [14] Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11 i 47/13)

## 9. POPIS SLIKA

Slika 1. Geološka karta Republike Hrvatske M 1 : 300.000

Slika 2. Hidrogeološka karta Republike Hrvatske M 1 : 300.000

Slika 3. Hidrološki ciklus, odnosno sliv i njegove komponente bilance