

# Podzemne vode i onečišćenje organskim tvarima

---

Talić, Sara

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:920049>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

**PODZEMNE VODE I ONEČIŠĆENJE ORGANSKIM  
TVARIMA**

Završni rad

Sara Talić

G2206

Zagreb, 2021.



KLASA: 602-04/21-01/149  
URBROJ: 251-70-14-21-2  
U Zagrebu, 15.9.2021.

Sara Talić, studentica

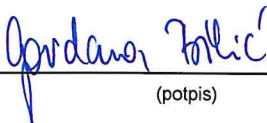
## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/149, URBROJ: 251-70-14-21-1 od 29.4.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### PODZEMNE VODE I ONEČIŠĆENJE ORGANSKIM TVARIMA

Za voditeljicu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Doc. dr. sc. Gordana Bilić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditeljica:

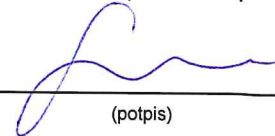


(potpis)

Doc. dr. sc. Gordana Bilić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

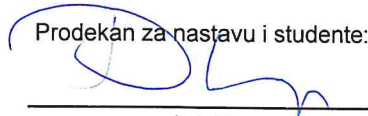


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko  
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)

## PODZEMNE VODE I ONEČIŠĆENJE ORGANSKIM TVARIMA

SARA TALIĆ

Završni rad izrađen je: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za kemiju  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Voda i njezina onečišćenja imaju značajan utjecaj ne samo na okoliš, nego i na ljudski i životinjski svijet. U ovom radu su opisana osnovna svojstva vode i kemijski sastav podzemne vode, a uz to prikazani su najčešće organske tvari koje onečišćuju podzemnih voda. Također, prikazani su različiti načini dezinfekcije voda sa svrhom dobivanja pitke vode.

Ključne riječi: svojstva vode, podzemna voda, organske tvari, dezinfekcija vode, onečišćenje vode

Završni rad sadrži: 36 stranica, 5 tablice, 14 slika, 28 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Doc. dr. sc. Gordana Bilić

Pomoć pri izradi: Marina Samardžija, mag. ing. cheming.

Ocjenjivači: 1. Doc. dr. sc. Gordana Bilić

2. Doc. dr. sc. Zoran Kovač

3. Prof. dr.sc. Frankica Kapor

Datum obrane: 21. rujna 2021.

## Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Svojstva vode.....	2
2.1. Kemijska svojstva .....	2
2.2. Fizikalna svojstva .....	3
2.3. Biološka svojstva .....	3
2.4. Radiološka svojstva .....	4
3. Podzemne vode.....	6
3.1. Kemijski sastav podzemnih voda .....	6
3.2. Tvrdoća vode .....	7
3.3. Specifična električna vodljivost.....	8
3.4. Koncentracija vodikovih iona (pH) .....	9
4. Zagađenje podzemnih voda .....	11
4.1. Aktivni izvori zagađenja .....	11
4.2. Potencijalni izvori zagađenja .....	11
4.3. Fizičko zagađenje .....	12
4.4. Biološko zagađenje .....	12
4.5. Radiološko zagađenje .....	13
4.6. Kemijsko zagađenje.....	13
5. Organske tvari u podzemnim vodama .....	15
5.1. Pesticidi.....	15
5.1.1. <i>Organoklorni pesticidi</i> .....	16
5.1.2. <i>Organofosforni pesticidi</i> .....	18
5.1.3. <i>Karbamati</i> .....	18
5.1.4. <i>Piretrin i Piretroidi</i> .....	19
5.2. Farmaceutici .....	20
5.3. Gusti organski spojevi koja se ne miješaju s podzemnom vodom .....	22
5.4. Spojevi korišteni u kućanstvu .....	24
6. Dezinfekcija vode .....	25
6.1. Fizikalna dezinfekcija .....	26
6.2. Kemijska dezinfekcija .....	26
6.3. Membranska dezinfekcija .....	27
7. Zaključak .....	29

8. Literatura .....	30
---------------------	----

### **Popis tablica**

Tablica 3.1. Raspored vode na Zemlji .....	6
Tablica 3.2. Glavni kationi i anioni u "slatkim" podzemnim vodama.....	7
Tablica 3.3. Podjela voda s obzirom na ukupnu tvrdoću vode .....	7
Tablica 3.4. Klasifikacija voda prema mineralizaciji .....	8
Tablica 4.6. Učestalost uzročnika zagađenja podzemnih voda u SAD .....	14

### **Popis slika**

Slika 2.1. Molekula vode i njen dipolni karakter .....	2
Slika 2.3. Patogeni organizmi koji mogu biti prisutni u vodoopskrbnom sustavu i zdravstvene poteškoće koje mogu uzrokovati kod ljudi.....	4
Slika 2.4. Uklanjanje urana iz podzemne vode pomoću titanske elektrode .....	5
Slika 3.3. Elektroliza vodene otopine natrijevog klorida .....	9
Slika 3.4. pH skala i prikaz koncentracija vodikovih iona u različitim otopinama .....	10
Slika 4.2. Potencijalni izvori zagađenja .....	12
Slika 5.1.1. Prikaz strukturnih formula organoklorida .....	17
Slika 5.1.2. Prikaz strukturnih formula organofosforni pesticida .....	18
Slika 5.1.3. Prikaz strukturnih formula karbamata .....	19
Slika 5.1.4. Prikaz strukturnih formula piretroida .....	20
Slika 5.2. Kretanje farmaceutika u okolišu.....	21
Slika 5.3. Kretanje gustih organskih spojeva kroz podzemlje.....	23
Slika 6. Produkti koji nastaju prilikom kloriranja vode koja sadrži organske tvari .....	25
Slika 6.3. Dezinfekcija vode pomoću membrane .....	28

## 1. Uvod

U ovom radu navedeni su neki od glavnih organskih zagađivača podzemnih voda. Voda je jedan od najznačajnijih i najposebnijih elemenata života i neophodna je za ljudski, biljni i životinjski svijet. Kvaliteta života izravno je povezana s kvalitetom vode, a dostupnost pitke vode, kao osnovnog ljudskog prava, nažalost nije omogućena svima. Razvojem industrije, brzim rastom stanovništva i porastom životnog standarda raste i potrošnja vode, a s time rastu i različita zagađenja zraka, tla i vode. Ukoliko se količine zagađenja znatno ne smanje ili se njihovo saniranje ne poboljša voda će postajati sve skuplja i nedostupnija.

Zagađenjem vode smatra se degradacija kvalitete vode kemijskim, fizičkim, biološkim ili radiološkim onečišćenjem do stupnja pri kojem se više ne može koristiti za piće, odnosno postaje štetna po ljudsko zdravlje. Onečišćenje vode je svaka promjena kakvoće vode koja nastaje unošenjem ili ispuštanjem hranjivih i drugih tvari u vodu, utjecajem energije ili drugih uzročnika u tolikoj količini da se mijenjaju korisna svojstva vode, pogoršava se stanje vodenih ekosustava i ograničava namjenska uporaba vode.

Dok mnoge zemlje imaju problem s nedostatkom pitke vode, Hrvatska se nalazi među trideset vodom najbogatijih zemalja na svijetu. Iako podzemne vode čine 12% od ukupnih količina vode u Hrvatskoj, one su zaslužne za više od 90% vodoopskrbe gradova i naselja.

Organske tvari su neophodne za svakidašnji život i njihova uporaba u raznim aspektima je nezamjenjiva. Medicina, poljoprivreda i različite industrije ne bi mogle funkcionirati bez njih, ali njihova prevelika potrošnja i neadekvatno zbrinjavanje postaju sve veći problem. Kada su jednom uvedene u okoliš, organske tvari mogu se razlagati pri čemu nastaju tvari jednostavnijeg kemijskog sastava, a one ponekad mogu biti i otrovnije od početnih. Topive tvari prenose se vodom, šire u podzemlju, te ulaze u hidrološki ciklus iz kojeg ih je teško ukloniti.

Cilj ovog rada je prikazati osnovna svojstva vode, kemijske karakteristike podzemne vode, te najčešće izvore i načine zagađivanja. Posebno su istaknute organske tvari koje su u posljednje vrijeme sve prisutnije u okolišu i čiji utjecaj je počeo ostavljati značajne posljedice na živa bića.

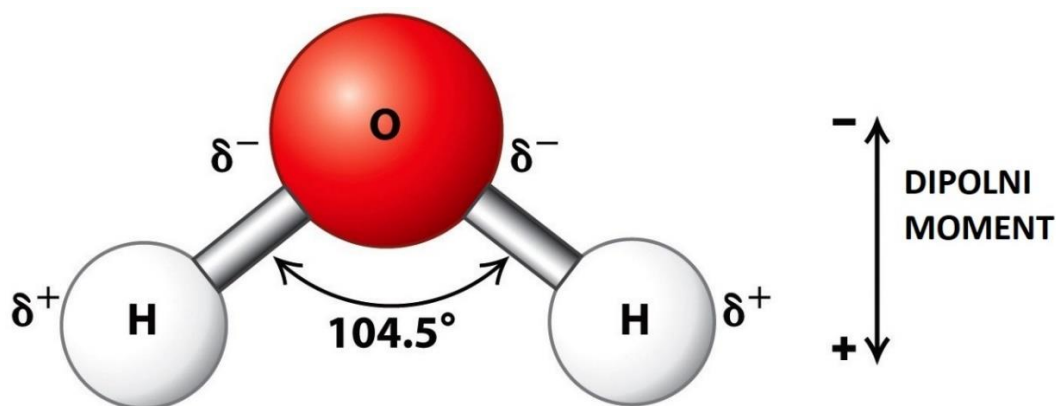
## 2. Svojstva vode

Kemijski čistu vodu u prirodi gotovo da ni ne možemo naći. Voda, već pri prolazu kišnih kapi kroz atmosferu, otapa plinove i prikuplja čestice prašine i dima. Dolaskom na površinu tla počinje teći pri čemu sakuplja i nosi čestice minerala i stijena koje dijelom i otapa. U površinske vode ulaze različiti mikroorganizmi koji žive u površinskoj zoni tla. Dio vode infiltrira se u podzemlje gdje se nastavljaju procesi otapanja minerala i stijena. Svi navedeni procesi mijenjaju svojstva vode i utječu na njezinu kvalitetu (Mayer, 1993).

Kvaliteta vode ovisi o njezinim kemijskim, fizičkim, biološkim i radiološkim svojstvima.

### 2.1. Kemijska svojstva

Molekula vode je dipolnog karaktera, sastoji se od dva atoma vodika i jednog atoma kisika. Vodik i kisik imaju različiti afinitet prema elektronima što ima za posljedicu asimetričnu raspodjelu naboja u molekuli vode. Jedan dio molekule je relativno negativno nabijen (kisik), a drugi dio molekule postaje relativno pozitivno nabijen (vodikovi atomi) (slika 2.1). Iako je molekula vode tetraedarske strukture, zbog odbijanja između slobodnih elektronskih parova atoma kisika, kut između dvije O-H veze odstupa od tetraedarskog i iznosi  $104,5^\circ$ . Dipolni momenti pojedinačnih veza u molekuli asimetrično su raspoređeni, a vektorskom sumom oni se povećavaju, zbog čega voda ima veliki dipolni moment. Zbog velikog dipolnog momenta voda ima veliku moć otapanja ionskih spojeva (Mayer, 2004).



Slika 2.1. Molekula vode i njen dipolni karakter (www.futureengineers.org)



Kemijska svojstva podzemnih voda ovise o vrsti i količini mineralnih tvari otopljenih u vodi. Sve podzemne vode imaju u sebi otopljene minerale, a njihova koncentracija se povećava s vremenom stajanja vode u podzemlju. Kemijska svojstva vode najviše utječu na kvalitetu i uporabu (Mayer, 1993).

## **2.2. Fizikalna svojstva**

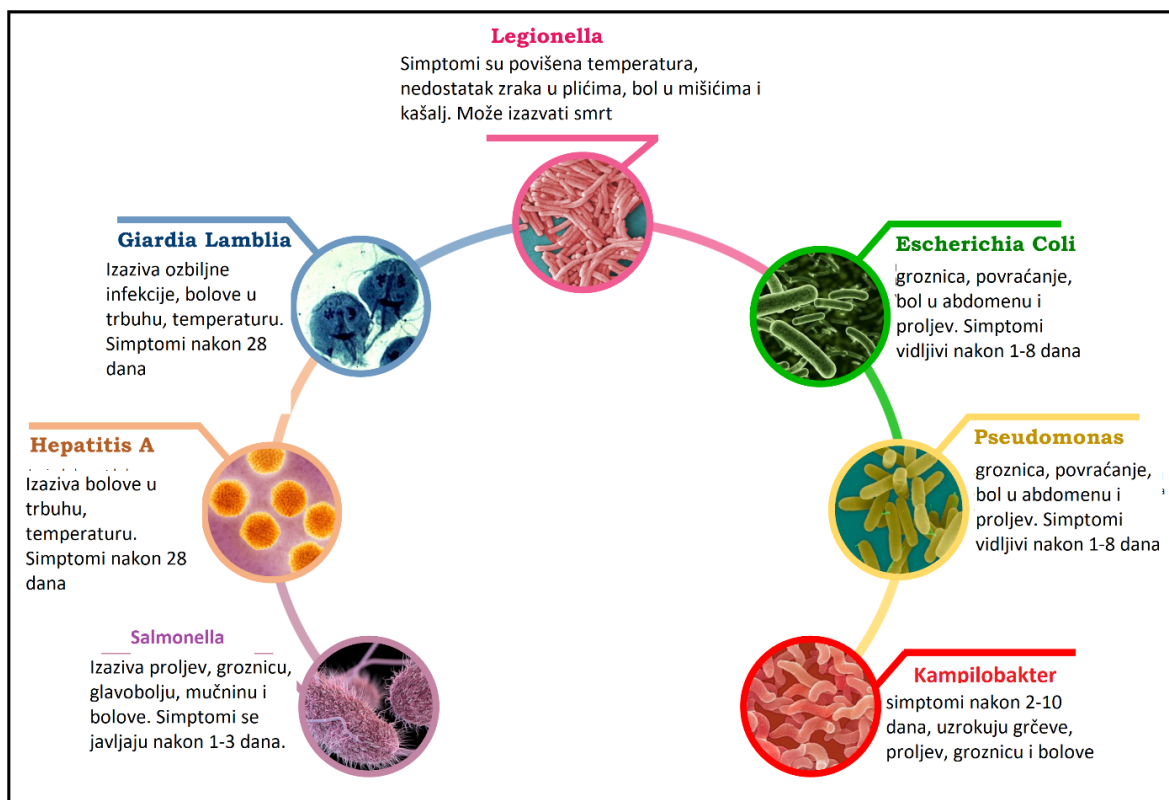
Fizikalna svojstva vode su: temperatura, mutnoća, boja, miris i okus. Temperatura podzemne vode ovisi o klimatskim uvjetima, geološkoj građi terena, povezanosti s površinskim vodama i dinamici podzemne vode. Na otprilike dvadeset metara dubine nalazi se neutralni temperaturni sloj, kod kojeg je temperatura podzemne vode konstantna i jednaka je prosječnoj godišnjoj temperaturi zraka. Ispod tog sloja temperatura podzemne vode raste s dubinom (u prosjeku 1°C za svakih 33 m dubine). Mutnoća vode potječe od suspendiranih ili koloidnih anorganskih ili organskih čestica u vodi. To su najčešće čestice pijeska, praha i gline ili talozi hidroksida željeza, mangana i nekih drugih spojeva. Boja, okus i miris ukazuju na kemijska i biološka svojstva vode. Boja može potjecati od različitih otopljenih ili koloidnih anorganskih i organskih spojeva, a to su najčešće otopljene soli željeza i mangana, bjelančevine, ugljikohidrati, taninske i huminske kiseline. Okus također potječe od otopljenih mineralnih soli, najučestalije su vode slankastog okusa zbog sadržaja natrijevog klorida. Miris vode potječe od plinova koji su prisutni u vodi kao što su sumporovodik, metan, amonijak (Mayer, 1993).

## **2.3. Biološka svojstva**

Biološka svojstva vode ovise o prisutnosti različitih mikroorganizama. Najčešći mikroorganizmi su bakterije, rikecije, virusi i protozoe.

Saprobni organizmi razgrađuju organske tvari, pomažu u procesima gnjiljenja i truljenja i smatraju ih "čistačima" prirode. Kemoautotrofni mikroorganizmi do energije potrebne za život dolaze oksidacijom anorganske tvari. Najznačajnije su sumporne, dušikove i željezovite bakterije koje svojim djelovanjem utječu na kemijske značajke vode. Patogeni mikroorganizmi svojim djelovanjem izazivaju bolesti kod viših živih bića. Patogene bakterije potječu iz crijevne flore ljudi i životinja, a voda im je vrlo prikladno

sredstvo za prenošenje. Na slici 2.3. prikazani su neki od patogenih organizama koji zbog svoje prisutnosti u vodi mogu naštetiti ljudskom organizmu (Mayer, 1993).

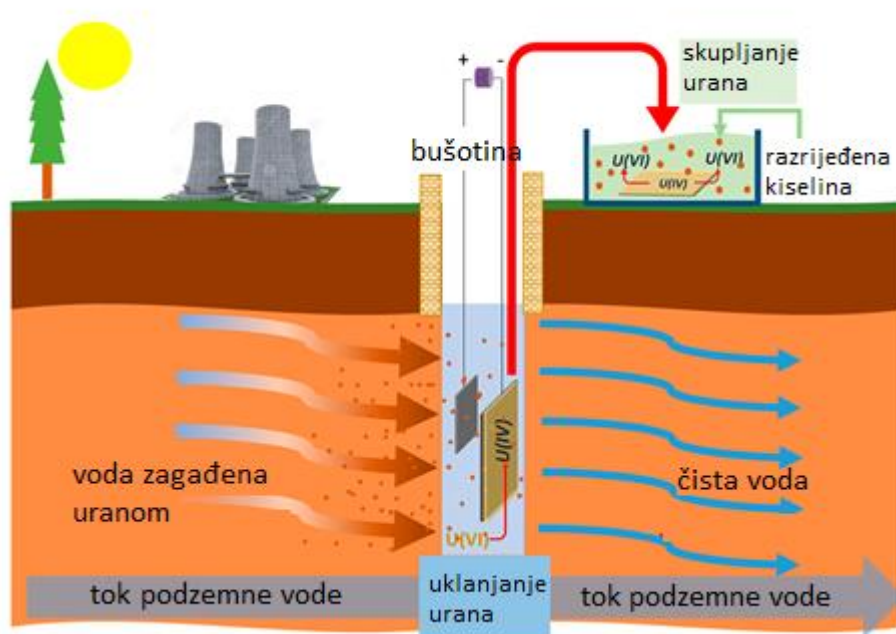


Slika 2.3. Patogeni organizmi koji mogu biti prisutni u vodoopskrbnom sustavu i zdravstvene poteškoće koje mogu uzrokovati kod ljudi ([www.brodextrident.com](http://www.brodextrident.com))

## 2.4. Radiološka svojstva

Radioaktivnost podzemnih voda dolazi od prisutnosti radioaktivnih izotopa lakih elemenata kao što su vodik, kisik, ugljik, jod, natrij, kalij. To su alfa i beta emiteri kratkog vremena poluraspada. Najčešći je izotop kalija s masenim brojem 40, a često su prisutni stabilni i radioaktivni izotopi vodika - deuterij i tricij te izotop kisika s masenim brojem 18. Radioaktivni jod se može pronaći u nižim koncentracijama. Jedini teški radioaktivni element koji se pronalazi u podzemnim vodama je stroncij s masenim brojem 90. Prisutnost radioaktivnosti koja potječe od izotopa lakih elemenata nije štetna, a vode s nešto višim koncentracijama mogu imati i ljekovito djelovanje. U podzemnim vodama također još možemo pronaći i radioaktivne izotope iz grupe radij-torij, odnosno elemente iz uranskog niza. Oni imaju vrlo dugačko vrijeme poluraspada izraženo u milijardama godina, a emiteri

su beta i gama zračenja koja su štetna za živa bića. Radioaktivni izotopi se u prirodi mogu nakupiti prirodnim putem iz uranom bogatih minerala ili mogu biti uvedeni umjetnim putem. Tada se govori o radioaktivnom zagađenju, a njihov uzrok mogu biti podzemne nuklearne eksplozije (testiranje nuklearnog oružja), oštećenje nuklearnih elektrana ili neadekvatno zbrinjavanje nuklearnog otpada (Mayer, 1993). Danas postoje nove metode uklanjanja radioaktivnog urana iz podzemnih voda pomoću titanske elektrode koje smanjuju čak 97% urana iz vode i omogućuju dobivanje pitke vode, te saniranje štete. Na slici 2.4. prikazana je jedna takva elektrokemijska metoda uklanjanja urana iz podzemne vode. Temelji se na redukciji urana iz oksidacijskog stanja +6 u +4. Pri tome se titanova elektroda koristi kao radna elektroda, a uslijed redukcije na njezinoj površini akumulira se uranijev(IV) oksid,  $UO_2$ , koji je ujedno katalizator redukcije urana(VI). Akumulirani  $UO_2$  može se ukloniti s površine elektrode uranjanjem u razrijeđenu dušičnu kiselinu ([www.chemistryworld.com](http://www.chemistryworld.com)).



Slika 2.4. Uklanjanje urana iz podzemne vode pomoću titanske elektrode  
([www.chemistryworld.com](http://www.chemistryworld.com))

### 3. Podzemne vode

Zemlja je kao "vodeni planet" prekrivena vodom, i to čak 70,8% njene površine. No većina te vode, 97,5% je slana, a samo 2,5% slatka (tablica 3.1.). Dio slatke vode zarobljen je u vječnom ledu i snijegu, u organizmima, atmosferi ili vlazi u tlu i nedostupna je za ljudske potrebe. Najveći dio iskoristive slatke vode nalazi se u podzemlju.

Tablica 3.1. Raspored vode na Zemlji (Maidment D. R. i dr., 1993)

UKUPNA KOLIČINA VODE NA ZEMLJI	DIO OD UKUPNE KOLIČINE VODE NA ZEMLJI (%)	DIO OD UKUPNE KOLIČINE SLATKE VODE NA ZEMLJI (%)
Slana voda	97,4742	0,000
Slatka voda	2,5258	100,000
Slatka voda u krutom stanju (led i snijeg)	1,7550	69,550
"Vezana slatka voda" (u tlu i organizmima)	0,0022	0,053
Voda u atmosferi	0,001	0,266
Površinska slatka voda	0,0068	0,040
Podzemna slatka voda	0,7600	30,060

Kod proučavanja podzemne vode uzimamo u obzir određene parametre prema kojima možemo odrediti kvalitetu vode za piće. Neki od tih parametara su: tvrdoća vode, specifična električna provodnost i pH-vrijednost (Mayer, 2004).

#### 3.1. Kemijski sastav podzemnih voda

Čak 95% volumena zemljine kore čine silikati, čija se osnovna struktura sastoji od kompleksnog silikatnog iona  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Taj ion nije električki izbalansiran i ima četverostruki negativni naboj, pa se za njega lako vežu pozitivni kationi kao kalcij, kalij, željezo, magnezij, natrij. No iako oksidi silicija, aluminijska i željezna čine glavne sastojke zemljine kore, oni nisu

najzastupljeniji u sastavu podzemne vode zbog svoje slabije topivosti. Tako u podzemnim vodama prevladavaju ioni koji čine relativno topive minerale (tablica 3.2.) (Mayer, 1993).

Tablica 3.2. Glavni kationi i anioni u "slatkim" podzemnim vodama (prema Gorham, 1961)

Kationi	Anioni
Kalcij ( $\text{Ca}^{2+}$ )	Bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )
Magnezij ( $\text{Mg}^{2+}$ )	Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )
Natrij ( $\text{Na}^+$ )	Klorid ( $\text{Cl}^-$ )
Kalij ( $\text{K}^+$ )	

Topljivost tvari definira se masom otopljene tvari u 100 grama otapala pri određenoj temperaturi i važan je parametar kod promatranja podzemne vode (www.edutorij.e-skole.hr). Kako bi znali možemo li koristiti vodu za piće, industrijsku proizvodnju ili navodnjavanje potrebno je poznavati ukupnu koncentraciju otopljenih mineralnih tvari u vodi. Nju možemo dobiti vaganjem suhog ostatka nakon isparavanja vode ili sumiranjem koncentracija svih iona koje su dobivene kemijskom analizom (Mayer, 2004).

### 3.2. Tvrdoća vode

Tvrdoća vode je mjera za ukupni sadržaj kalcijevih i magnezijevih soli u vodi. Ustanovljeno je više vrsta jedinica za tvrdoću vode. Osim SI jedinice koja bi bila mol/L, tvrdoća se često mjeri u stupnjevima. Postoje tako njemački, francuski i engleski stupnjevi, a u Hrvatskoj se najviše upotrebljava njemački stupanj (°nj ili d°H), koji je definiran kao: 1°nj = 10 mg CaO/L. U tablici 3.3. prikazana je podjela voda prema stupnjevima tvrdoće (Šimunić, 2013).

Tablica 3.3. Podjela voda s obzirom na ukupnu tvrdoću vode (Šimunić, 2013)

Vode	Tvrdoća °dH
Meka voda	do 4°dH
Lagano tvrda voda	4 - 8°dH
Umjereno tvrda voda	8 - 18°dH
Tvrda voda	18 - 30°dH
Jako tvrda voda	više od 30°dH

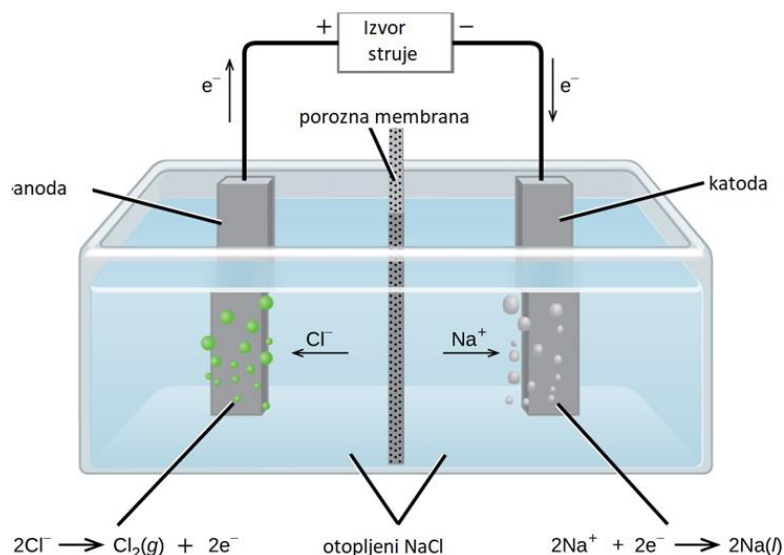
Osim iona kalcija i magnezija vodu mogu činiti tvrdom i drugi elementi kao što su željezo i mangan. Ona se izražava kao koncentracija kalcijeva karbonata u mg/l. Tvrdoća se dijeli na karbonatnu, ona koju čine kalcijevi i magnezijevi ioni iz bikarbonata i karbonata, i nekarbonatnu tvrdoću, koja potječe od sulfata, klorida, nitrata, borata i jodida (Mayer, 2004). Tvrda voda nije opasna po zdravlje, a u nekim slučajevima gdje je otopljeni kalcij i magnezij vrlo visok, voda može biti glavni izvor kalcija i magnezija u prehrani. U tablici 3.4. je prikazana podjela vode prema količini otopljenih tvari u njoj.

Tablica 3.4. Klasifikacija voda prema mineralizaciji (prema Freeze i Chery, 1979)

Tip vode	Količina otopljenih tvari (mg/l)
Slatka voda	0-1000
Brakična (bočata) voda	0-1000
Slana voda	10 000-100 000
Rasol (slanjaća)	Više od 100 000

### 3.3. Specifična električna vodljivost

Električna provodljivost neke tvari je mogućnost da provodi električnu struju. Ako je voda ionizirana ili sadrži otopljene minerale, električna struja može prolaziti kroz nju. Na primjeru sa slike 3.3. u elektrolizi vodene otopine natrijevog klorida, pozitivno nabijeni ioni natrija kretat će se prema negativnoj elektrodi (katodi), a negativno nabijeni ioni klora prema pozitivnoj elektrodi (anodi) (Mayer, 2004).



Slika 3.3. Elektroliza vodene otopine natrijevog klorida ([www.opentextbc.ca/chemistry/](http://www.opentextbc.ca/chemistry/))

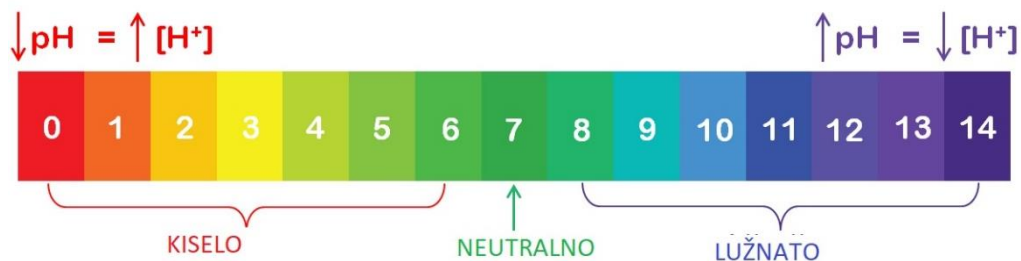
Električna vodljivost vode najviše ovisi o sadržaju iona koji se nalaze u vodi, odnosno o količini minerala koji su otopljeni u vodi. Otopine većine anorganskih spojeva relativno su dobri vodiči, dok organski spojevi, koje ne disociraju u vodenoj otopini, vrlo slabo provode struju. Izmjerenom vrijednošću električne vodljivosti možemo procijeniti stupanj mineralizacije vode i tako odrediti o kojoj je vrsti vode riječ (Brletić, 2017). Instrument za mjerenje vodljivosti je konduktometar, a mjerna jedinica električne vodljivosti je S/cm.

### 3.4. Koncentracija vodikovih iona (pH)

Voda disocira na vodikov ion ( $\text{H}^+$ ) i hidroksilnu skupinu ( $\text{OH}^-$ ), a ovisno o koncentraciji slobodnih vodikovih iona ima kiseli ili lužnati karakter. Koncentracija  $\text{H}^+$  iona  $[\text{H}^+]$  u vodi izražava se pH vrijednošću, a ona je jednaka negativnom logaritmu koncentracije vodikovih iona.

$$\text{pH} = -\log \frac{[\text{H}^+]}{\text{mol dm}^{-3}} \quad (1)$$

Vrijednost pH se kreće između 0-14 iako je u prirodi taj raspon manji. Otopina koja ima višu koncentraciju  $\text{H}^+$  iona je kisela i njen pH je manji od 7, ako je koncentracija vodikovih i hidroksilnih iona jednaka otopina je neutralna i pH iznosi 7, a ako je koncentracija  $\text{OH}^-$  iona viša otopina je lužnata i vrijednost pH je veća od 7 (slika 3.4.).



Slika 3.4. pH skala i prikaz koncentracija vodikovih iona u različitim otopinama  
([www.icne.co.uk/ ph-testing](http://www.icne.co.uk/ph-testing))

Glavni regulator pH vrijednosti vode je otopljeni ugljični dioksid koji dolazi iz atmosfere, nastaje različitim biološkim procesima ili otapanjem karbonatnih stijena, te dolaskom karbonatnog i bikarbonatnog iona u otopinu (Mayer, 2004).

Mjerenje pH vrijednosti podzemne vode vrlo je važno budući da mnogi procesi u otopini (kompleksiranje, interakcija između vode i stijene, topljivost minerala, adsorpcija, topljivost plinova i biokemijske reakcije) ovise o pH vode. pH vrijednost otopine uglavnom određuju karbonati, ali se može znatno promijeniti izlaganjem vode površinskim uvjetima i uravnoteženjem s atmosferskim tlakom CO<sub>2</sub> (Halle, 2004).



## **4. Zagađenje podzemnih voda**

Život na zemlji je direktno povezan s podzemnim vodama i upravo njihova kvaliteta i kvantiteta su važni parametri za dobar održivi razvoj planete. Dok su zagađenja površinskih voda vrlo dobro praćena i istražena, zagađenja podzemnih voda često su bila zanemarivana i slabije istražena zbog teškog uočavanja ili zbog pojava koje su bile uočljive tek mnogo godina nakon prodora zagađivala u tlo (Mayer, 2004).

Uzroci zagađenja podzemnih voda su vezani uz različite oblike ljudske aktivnosti, a izvori zagađenja voda generalno se mogu podijeliti u aktivne i potencijalne (Nakić, 2010)

### **4.1. Aktivni izvori zagađenja**

Aktivni izvori zagađenja su oni za koje je sigurno da emitiraju zagađenje u vode, a mogu biti stalni i povremeni. Stalni izvori emitiraju zagađenje cijelo vrijeme promatranja i na njih ne utječu prevladavajući hidrološki uvjeti. Oni se dijele na:

- točkaste izvore (industrijski kompleksi, uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, rudničke vode, riblje farme, septičke jame) i
- raspršene izvore (poljoprivredna aktivnost na navodnjavanim površinama).

Povremeni izvori zagađenja emitiraju zagađivalo samo u jednom dijelu promatranja, ovisno o prevladavajućim hidrološkim uvjetima, a naročito u vrijeme intenzivnih i jakih oborina. Oni se također dijele na točkaste i raspršene:

- točkasti izvori – lokacije istjecanja oborinskih otpadnih voda, odlagališta jalovine u otvorenim površinskim kopovima, odlagališta stajskoga gnojiva i ostalog otpadnog materijala s farmi
- raspršeni izvori – poljoprivredna aktivnost, sustavi odvodnje oborinskih otpadnih voda, pošumljavanje

### **4.2. Potencijalni izvori zagađenja**

Potencijalni izvori zagađenja u normalnim prilikama uopće ne emitiraju zagađivala, već do njihove emisije može doći zbog havarija, kvarova, nepažnje ili drugih iznimnih okolnosti

(Nakić, 2010). Na slici 4.2. su prikazani potencijalni izvori zagađenja. Neki od njih su pesticidi, kisele kiše, toksični otpad i slično.



Slika 4.2. Potencijalni izvori zagađenja (www.open.edu.com)

### 4.3. Fizičko zagađenje

Fizičko zagađenje može se manifestirati kao povećanje temperature vode, pojava mutnoće, boje, mirisa i okusa vode. Promjena temperature može se dogoditi ispuštanjem voda za hlađenje iz termoelektrana (Tuhtar, 1984), ali budući da je povećanje temperature podzemne vode zbog vanjskih utjecaja rijetka pojava, najčešće se govori o mutnoći vode koja je posljedica prisustva sitnih čestica u podzemnoj vodi koje čine suspenziju ili koloidne otopine. Takve pojave javljaju se kod izvora u stijenama s pukotinskom poroznošću, najviše u kršu, a rješavaju se propuštanjem vode kroz sustav filtera (Mayer, 1993).

### 4.4. Biološko zagađenje

Patogene bakterije, virusi i različiti mikroorganizmi, koji mogu ugroziti ljudsko zdravlje, u podzemne vode dolaze prilikom kontakta vode s ljudskim ili životinjskim otpadnim tvarima. Biološko zagađenje se zbog filtracije kroz porozne stijene zadržava u relativnoj blizini izvora zagađenja, međutim u sustavima javne vodoopskrbe primjenjuju se različiti postupci preventivne dezinfekcije vode (Mayer, 1993).

#### **4.5. Radiološko zagađenje**

Radiološka zagađenja podzemnih voda uzrokovana su doticajem podzemne vode s različitim prirodnim radioaktivnim elementima ili umjetnim radioaktivnim izotopima. Izvorišta mogu biti uranska ležišta, rudnici urana, nuklearne elektrane, odlagališta nuklearnog otpada, bolnice, nuklearno oružje i slično (Tuhtar, 1984).

#### **4.6. Kemijsko zagađenje**

Kemijska zagađenja mogu biti anorganska i organska. Anorganska kemijska zagađenja su posljedica miješanja podzemne vode s industrijskim, rudničkim ili drugim otpadnim vodama koje često sadrže toksične elemente kao arsen, krom, olovo, živa, kadmij, bakar ili različite anorganske kiseline i lužine te otopine njihovih soli. Uz to dodatni kemijski zagađivači su anorganski pesticidi i anorganska mineralna gnojiva, te odlagališta komunalnog i industrijskog otpada.

Organska kemijska zagađenja smanjuju kvalitetu podzemne vode zbog njenog kontakta s različitim organskim spojevima kao što su nafta, deterdženti, organska otapala i dr.

Vrlo česta je pojava kombinacije kemijskog anorganskog, kemijskog organskog i biološkog zagađenja (tablica 4.6.) (Mayer, 1993)

Tablica 4.6. Učestalost uzročnika zagađenja podzemnih voda u SAD (Lindorff, 1979)

Uzročnik zagađenja	Učestalost %
Industrijske otpadne vode	31
Nafta i derivati nafte	18
Organski otpad	15
Kloridi (soljenje cesta protiv smrzavanja)	13
Odlagališta komunalnog otpada	7
Stajsko gnojivo (skladištenje i primjena)	3
Pesticidi (skladištenje i primjena)	2
Nuklearni otpad	2
Rudničke vode	1
Nepoznati uzročnici	8

## 5. Organske tvari u podzemnim vodama

Različiti niz organskih spojeva koristi se diljem svijeta u velikim količinama za proizvodnju i očuvanje hrane, za industrijske procese te za zdravstvenu njegu ljudi i životinja. Naglom urbanizacijom i razvojem poljoprivrede povisile su se koncentracije organske tvari u podzemnim vodama koje se prije nisu mogle ni otkriti ili se smatralo da su beznačajne. U takve tvari spadaju pesticidi, nafta i njezini derivati, organska otapala, deterdženti, organske boje i kiseline.

Organski zagađivači mogu prodrijeti u podzemne vode na način da su otopljeni u vodi ili kao organska likvidna faza koja se ne miješa s vodom. Zagađivači otopljeni u vodi rezultat su izljevima i curenja vodenih otopina ili ispiranja krutih faza i nemješivih organskih tekućina koje su prisutne u vadoznoj zoni i tlu. Organske tekućine u podzemlje dolaze izljevima, propuštanjima ili njihovim namjernim odlaganjem (Mackay, 1985).

### 5.1. Pesticidi

Pesticidi su kemijska sredstva (uglavnom organski spojevi) koja su namjerno ispuštena u okoliš za borbu protiv štetočina usjeva i prijenosnika bolesti. Zbog sve većeg broja ljudi na Zemlji iznimno je važno održavati proizvodnju hrane koja bi zadovoljila sve potrebe i uz što manje gubitaka usjeva, a tu su iznimno važni i korisni pesticidi. No pesticidi su ipak među najvećim onečišćivačima okoliša zbog svoje visoke biološke aktivnosti i toksičnosti (Zacharia, 2011). Nakon što pesticidi i njihovi novi spojevi nastali transformacijom kemijskim ili biološkim reakcijama dospiju u atmosferu, površinske ili podzemne vode, kreću se kroz hidrološki sustav zrakom, vodom ili česticama, ovisno o kemijskim i fizikalnim svojstvima spojeva. Razgrađeni spojevi često mogu biti i otrovniji od početnog pesticida, a ti podaci uključuju se u proces registracije novog pesticida, iako se još uvijek ne prate na odgovarajući način (Stuart, Lapworth, 2013).

U Hrvatskoj, svako sredstvo za zaštitu bilja koje se stavlja na tržište mora biti registrirano ili imati odgovarajuću dozvolu Ministarstva poljoprivrede. Sredstva se moraju primjenjivati u skladu s uputama i upozorenjima, moraju se skladištiti i čuvati u odgovarajućoj prostoriji u

originalnoj ambalaži, a praznu ambalažu potrebno je propisno zbrinuti. Pesticidi se prema namjeni dijele na ([www.gov.hr/hr/koristenje-pesticida.com](http://www.gov.hr/hr/koristenje-pesticida.com)):

- insekticide (suzbijaju kukce),
- akaricide (suzbijaju grinje),
- nematocide (suzbijaju fitoparazitske nematode),
- limacide (suzbijaju puževe),
- korvifuge (odbijaju napad ptica – repelenti),
- rodenticide (suzbijaju glodavce),
- fungicide (suzbijaju fitopatogene gljive),
- herbicide (suzbijaju korove),
- regulatore rasta (utječu na životne procese bilja drukčije od dohrane)

Na našem tržištu se nalazi preko 60 proizvođača raznih pesticida s tvrtkom Syngenta Agro d.o.o. na čelu koja ima 78 proizvoda odobrenih u Republici Hrvatskoj ([www.agroklub.com](http://www.agroklub.com)). Na temelju kemijske klasifikacije pesticidi su razvrstani u četiri glavne skupine (Zacharia, 2011) :

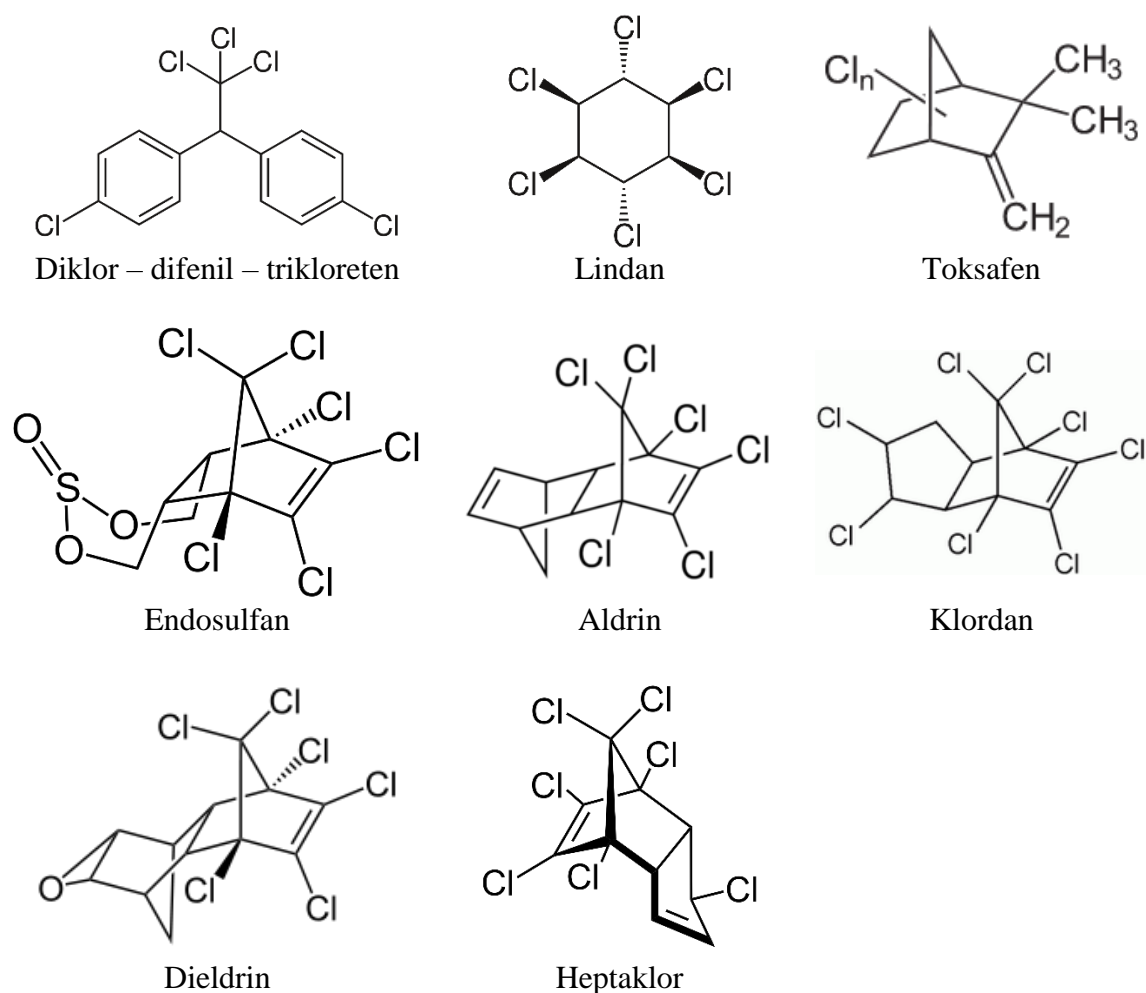
- organoklorni,
- organofosforni,
- karbamati,
- piretrin i piretroidi.

#### 5.1.1. *Organoklorni pesticidi*

Organoklorni pesticidi su organski spojevi s pet ili više atoma klora i prvi su sintetski organski pesticidi koji su se koristili u poljoprivredi i u zdravstvu. Većina ih se koristila kao insekticidi za suzbijanje insekata i imaju dugotrajan učinak u okolišu jer su otporni na većinu kemijskih i mikrobnih razgradnji. Organoklorni insekticidi djeluju kao smetnje u živčanom sustavu koje dovode do grčeva i paralize kukca i njegove smrt. Neki od najčešće korištenih organoklornih pesticida su DDT, lindan, endosulfan, aldrin, dieldrin i klordan (slika 5.1.1.) (Zacharia, 2011).

DDT (diklor-difenil-trikloretan) razvijen je kao prvi sintetički insekticid u 1940-ima. U početku se koristio u borbi protiv malarije, tifusa i drugih bolesti koje prenose insekti, a bio

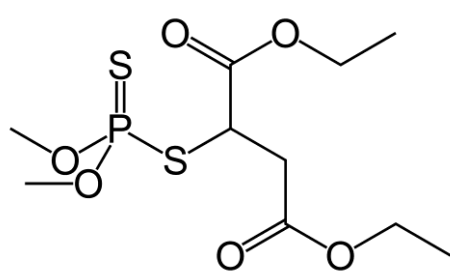
je učinkovit i za suzbijanje insekata u biljnoj i stočarskoj proizvodnji, ustanovama, domovima i vrtovima. Zbog niskih cijena i vrlo velike učinkovitosti postao je raširen i dostupan po cijelom svijetu dok se nisu počele primjećivati posljedice na ljudski i životinjski svijet. Istraživanja su pokazala niz učinaka na zdravlje ljudi povezanih s DDT-em i njegovim produktom razgradnje, DDE (diklordifenildikloroetilen): rak, muška neplodnost, pobačaji i niska porođajna težina, kašnjenje u razvoju, oštećenje živčanog sustava i jetre, a kod životinja ozbiljni pad populacije orlova zbog stanjenja ljuske jaja. DDT je zabranjen za poljoprivrednu uporabu u cijelom svijetu sa "Stockholmskom konvencijom o postojećim organskim zagađivačima" (eng."Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants") iz 2001. godine ([www.panna.org/resources/ddt-story](http://www.panna.org/resources/ddt-story)).



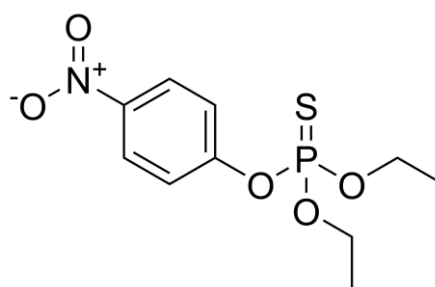
Slika 5.1.1. Prikaz strukturnih formula organoklorida  
([www.sciencedirect.com/organochlorine-pesticides](http://www.sciencedirect.com/organochlorine-pesticides) )

### 5.1.2. Organofosforni pesticidi

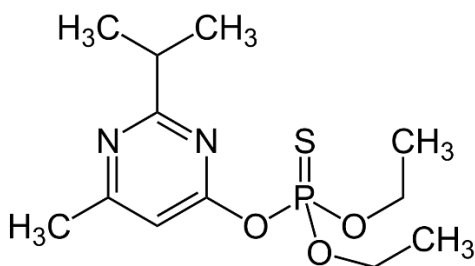
Organofosforni insekticidi sadrže fosfatnu skupinu i oni su toksičniji za kralježnjake i beskralježnjake. Dovode do prekrivanja acetilkolin neurotransmitera i zbog toga živčani impulsi ne uspijevaju proći kroz sinapsu izazivajući brzo trzanje mišića, paralizu i smrt. Organofosforni insekticidi lako se razgrađuju u okolišu raznim kemijskim i biološkim reakcijama, pa tako nisu u velikim količinama prisutni u okolišu. Neki organofosforni insekticidi su paration, malation, diazinon i glifosat (slika 5.1.2). (Zacharia, 2011).



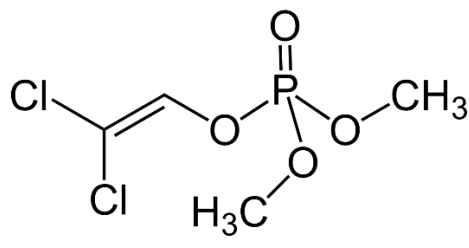
Malation



Paration



Diazinon



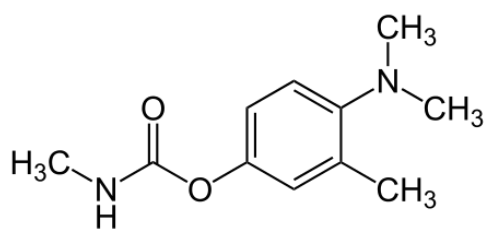
Diklorovos

Slika 5.1.2. Prikaz strukturnih formula organofosforni pesticida (<https://www.semanticscholar.org/Organophosphate-pesticides>)

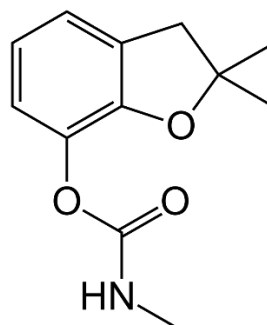
### 5.1.3. Karbamati

Karbamati su organski pesticidi dobiveni od karbaminske kiseline. Široko korišteni insekticidi iz ove skupine su karbaril, karbofuran i aminokarb (slika 5.1.3.) (Zacharia, 2011).

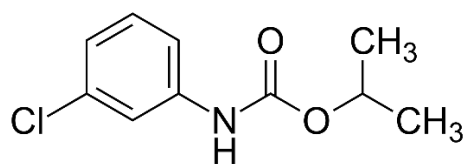




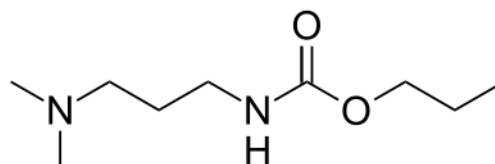
Aminokarb



Karbofuran



Klorprofam

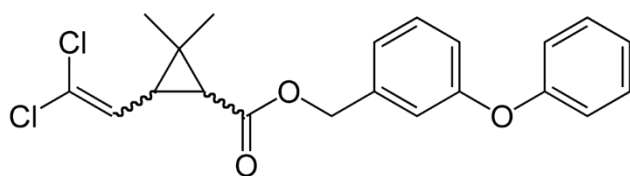


Propamokarb

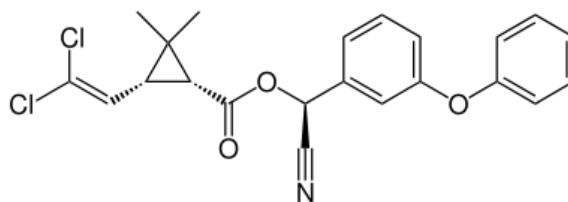
Slika 5.1.3. Prikaz strukturnih formula karbamata ([www.researchgate.net/figure/Chemical-structures-of-carbamate-pesticides](http://www.researchgate.net/figure/Chemical-structures-of-carbamate-pesticides))

#### 5.1.4. Piretrin i Piretroidi

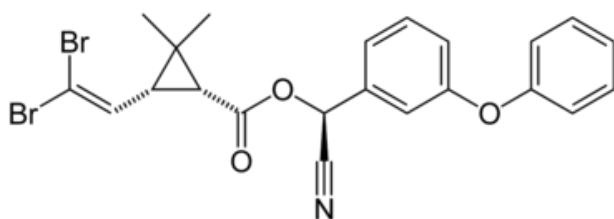
Piretroidi su skupina umjetnih pesticida sličnih prirodnom pesticidu piretrumu, koji proizvode cvjetovi krizanteme. Nakon što se piretroidi nanesu oni se razgrađuju sunčevom svjetlošću i drugim spojevima u atmosferi. Često u okolini traju samo jedan ili dva dana. Ne ulaze lako u korijenje biljaka jer se veže za tlo. Zbog toga piretroidi obično ne ulaze u podzemne vode i ne zagađuju zalihe pitke vode. Piretroidi se na kraju razgrađuju u tlu. Najčešće korišteni sintetički piretroidi uključuju permetrin, cipermetrin i deltametrin (slika 5.1.4.) (<https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/pyrethroids>).



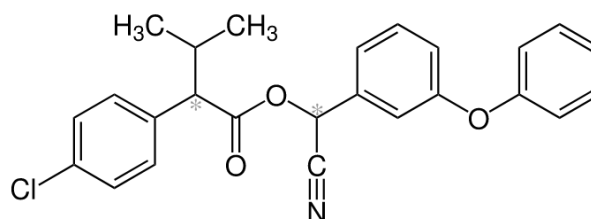
Permetrin



Cipermetrin



Deltametrin



Fenvalerat

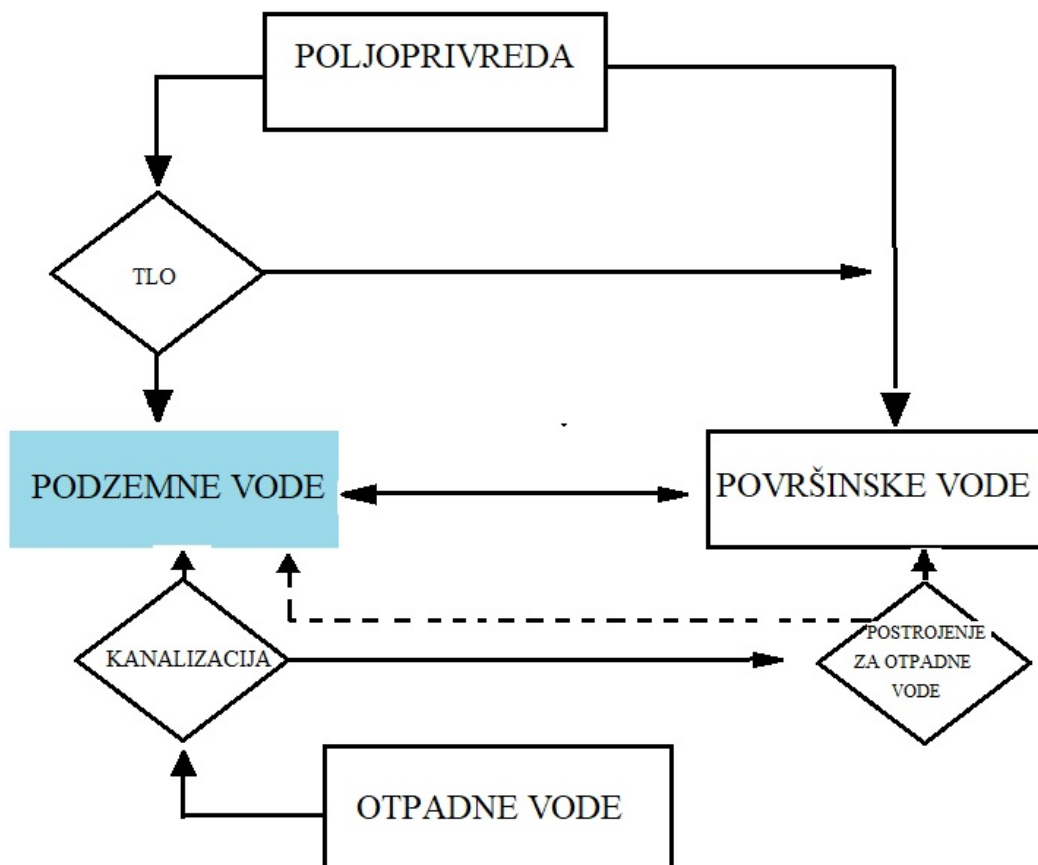
Slika 5.1.4. Prikaz strukturnih formula piretroida  
([www.semanticscholar.org/paper/Pyrethrum-flowers-and-pyrethroid-insecticides](http://www.semanticscholar.org/paper/Pyrethrum-flowers-and-pyrethroid-insecticides))

## 5.2. Farmaceutici

Farmaceutici su onečišivači koji uključuju razne skupine lijekova i dodataka prehrani koji se koriste u medicini i veterini. Iako je postojanost lijekova u okolišu relativno mala brzina kojom se oni ispuštaju u okoliš je puno veća od brzine njihove degradacije i transformacije što može dovesti do njihovog nakupljanja. Budući da su farmaceutici biološki aktivni spojevi koji pri niskim dozama izazivaju biološke učinke, dovoljni su tragovi farmaceutskih preparata za nepoželjno djelovanje na ljude i vodene organizme. Neke od prvih pojava koje su se primijetile bile su masovne pojave "feminiziranih" riba mužjaka zbog sintetskog estrogenog hormona koji se koristi za kontracepciju, te izumiranje bengalskih i indijskih tankokljunih supova zbog lijeka diklofenak (voltaren). Farmaceutici u okoliš mogu dospjeti iz različitih izvora kao što su: ispuštanja iz industrijskih postrojenja za farmaceutsku proizvodnju, postrojenja za obradu otpadnih voda, bolnica, odlagališta groblja, a veliki problem uzrokuju nepropisna odlagališta neiskorištenih lijekova te farme na kojima se lijekovi, posebice antibiotici, dodaju životinjskoj hrani u svrhu bolje iskoristivosti prehrane,

poboljšano rasta, te radi liječenja ili prevencije bolesti (Vuković Domanovac, Šabić Runjavec, Janton, Kučić, Grgić, 2019).

Na slici 5.2. prikazano je kretanje farmaceutika u okolišu, te u konačnici njihov ulazak u podzemne vode.



**Slika 5.2.** Kretanje farmaceutika u okolišu ([www.researchgate.net/figure/Pathways-of-pharmaceuticals-in-groundwater-and-drinking-water](http://www.researchgate.net/figure/Pathways-of-pharmaceuticals-in-groundwater-and-drinking-water) )

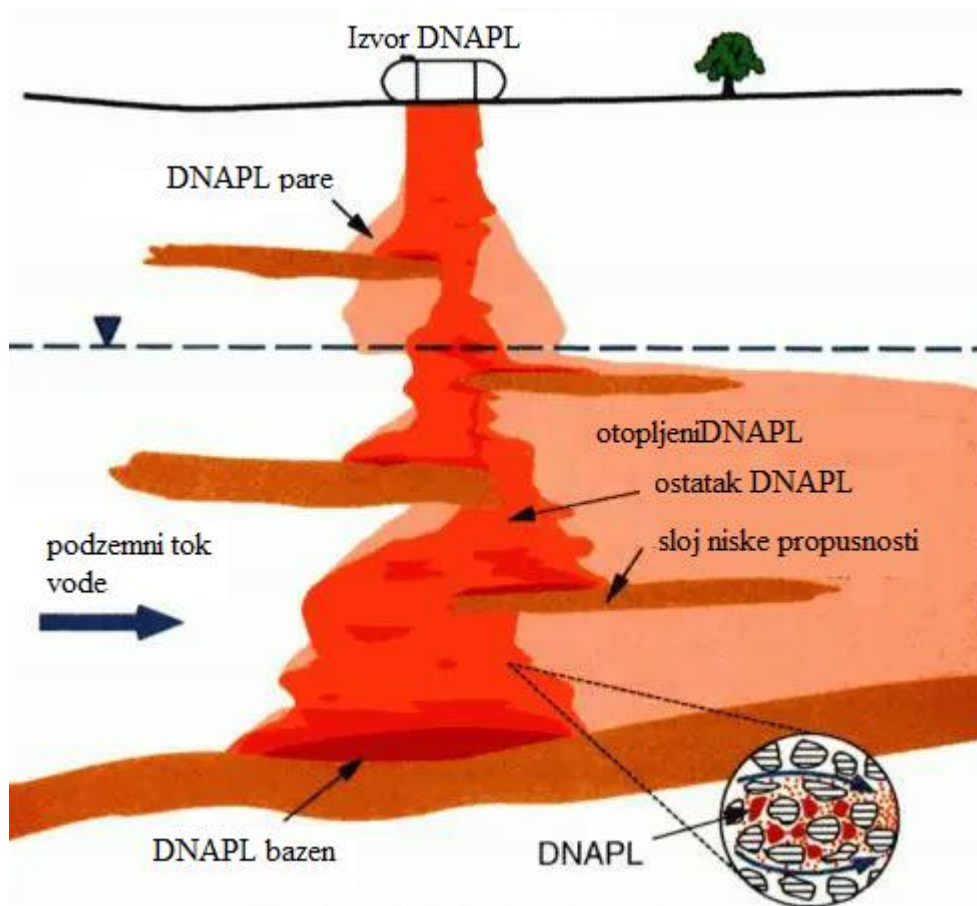
Neki od pronađenih tvari u okolišu su životinjski i ljudski antibiotici, kodein, acetaminofen (paracetamol), ibuprofen, salicilna kiselina, lijekovi za kemoterapiju. Problemi vezani uz prisutnost lijekova u okolišu uključuju poremećaje fizioloških procesa i reproduktivne funkcije organizma, razvoj rezistentnih bakterija te povećanje toksičnosti nekih farmaceutski aktivnih supstanci (Stuart, Lapworth, 2013).

### 5.3. Gusti organski spojevi koji se ne miješaju s podzemnom vodom

Gusti organski spojevi koji se ne miješaju s vodom (eng.: Dense Non Aqueous Phase Liquid, DNAPL) u koje spadaju: industrijska otapala, katrani, industrijske otpadne tvari su vrlo opasne i kancerogene tvari. Klorna industrijska otapala su opasne tvari u podzemnoj vodi, jer imaju veliku gustoću, malu viskoznost i srednju topivost. Kada se ispuštaju u okoliš u dovoljnoj količini, mogu se kretati kroz tlo i podzemne vode sve dok ne naiđu na dovoljno otporan sloj koji će ometati daljnje kretanje mase i omogućiti nakupljanje tekućine. ([https://clu.in.org/contaminantfocus/default.focus/sec/Dense Nonaqueous Phase Liquids DNAPLs\)/cat/Overview/](https://clu.in.org/contaminantfocus/default.focus/sec/Dense+Nonaqueous+Phase+Liquids+DNAPLs/cat/Overview/)).

U najpoznatija klorna otapala spadaju trikloretilen i tetrakloreten. Koriste se u zrakoplovnim, vojnim i metaloprerađivačkim industrijama, kao razrjeđivači boja, smola, te kao sredstva za odmašćivanje.

Zbog veće gustoće, a manje viskoznosti od vode vrlo su pokretljivi u zasićenom vodonosnom sloju i kada dođu u kontakt s podzemnom vodom, oni će se širiti vrlo brzo u dublje dijelove vodonosnika, do nepropusne podine. Posljedica relativno male topivosti klornih otapala jest da prilikom vertikalnoga procjeđivanja dio otapala će se zadržati u uljnoj fazi na dijelu krutoga stijenskog matriksa. Budući da su djelomično topivi u podzemnoj vodi, uljna faza koja se zadržala na krutom matriksu, postupno se otapa (slika 5.3.).



Slika 5.3. Kretanje gustih organskih spojeva kroz podzemlje ([www.vertexeng.com/dense-non-aqueous-phase-liquid-contamination](http://www.vertexeng.com/dense-non-aqueous-phase-liquid-contamination))

Kod sanacije podzemne vode od klornih otapala najčešće primjenjivana metoda je metoda crpljenja i tretiranja. Tom metodom se voda crpi na zdencima koji se nalaze nizvodno od izvora zagađenja, a crpljena voda kemijski se tretira do stupnja koji zadovoljava određene kriterije ili standarde. Tim postupkom ne odstranjuje se uljna faza, koja se adsorbirala na stijenskom matriksu.

Druga metoda sanacije uključuje primjenu nepropusne barijere, pomoću koje se dio vodonosnika u kojem se nalazi adsorbirana uljna faza fizički odjeljuje od preostalog dijela vodonosnika. Danas se sve više primjenjuje propusna reaktivna barijera koja radi na principu zadržavanja klornih otapala na propusnoj barijeri. Ta barijera se sastoji od materijala koji je ispunjen sitnozrnatim željeznim granulama (Nakić, 2010).

#### 5.4. Spojevi korišteni u kućanstvu

Organski spojevi imaju široku uporabu i svakodnevno su korišteni u kućanstvima, te se lako unose u okoliš prilikom tretiranja otpadnih voda. Triklosan se koristi u proizvodima za kućanstvo (pasta za zube, sapuni i antimikrobnih sprejevi), također se može naći u odjeći, kuhinjskom priboru, namještaju i igračkama. Kad triklosan uđe u ljudsko tijelo, brzo se metabolizira i urinom se može brzo ukloniti iz tijela. Iako brzina ovog uklanjanja ograničava toksičnost triklosana na ljude, njegovo izravno izlaganje koži povezano je s kontaktnim dermatitisom i reakcijama iritacije kože. Izloženost visokim dozama triklosana povezana je sa smanjenjem razine hormona štitnjače ([www.news-medical.net](http://www.news-medical.net)).

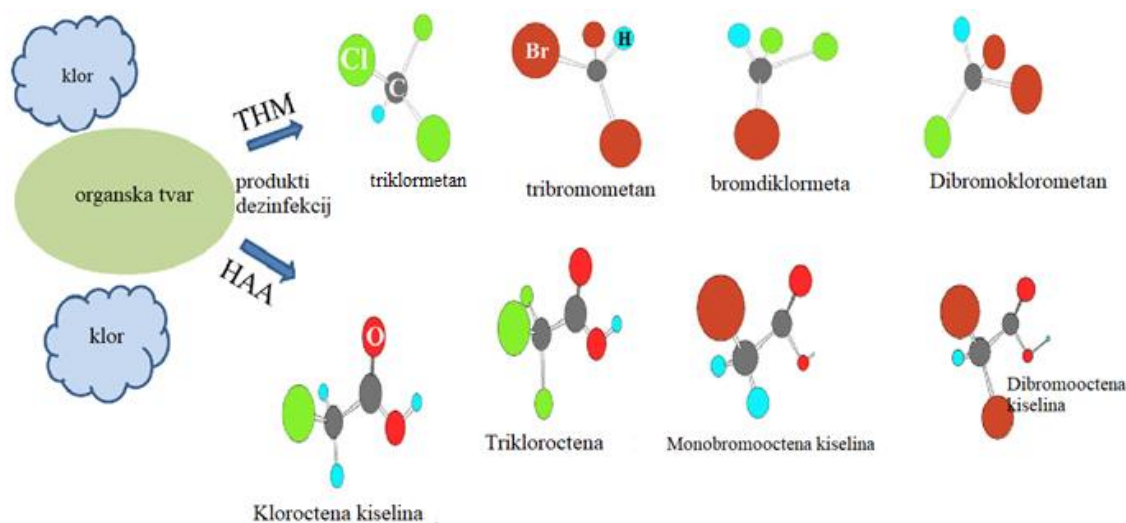
Alkilni esteri p-hidroksibenzojeve kiseline (parabeni), zbog svog antimikrobnog učinka, poznati su po upotrebi kao konzervansi u farmaceutskim, kozmetičkim i prehrambenim proizvodima. Međutim, parabeni su i endokrini disruptori koji ometaju normalne funkcije endokrinog sustava (Püttmann, Berger, Potouridis, 2016).

Tonalid i galoksalid koriste se kao mirisi u sredstvima za pranje i čišćenje, a njihova povišena koncentracija može ometati hormone i druge kemijske signale u tijelu što može dovesti do razvojnih, reproduktivnih, metaboličkih, moždanih problema, kao i problema u ponašanju (Stuart, Lapworth, 2013).

Sredstva za zaštitu od sunca često koriste organski benzofenon i metoksicinamat. Oni su prisutni u kremama i različitim kozmetičkim pripravcima, a njihova štetnost za ljude još nije u potpunosti ispitana (Stuart, Lapworth, 2013).

## 6. Dezinfekcija vode

Kako bi se spriječilo širenje zaraznih bolesti, vodu je važno tretirati na odgovarajući način. Jedna od metoda dezinfekcije vode je primjena klora i njegovih spojeva. U posljednje vrijeme postoji sve više dokaza da su pojedini dijelovi organskih tvari toksični ili kancerogeni ili to postaju kao rezultat kemijske međureakcije s klorom u vodenom mediju (Al-Abri, 2019). Istraživanja su pokazala da se u vodama koje sadrže humusne tvari (negativno nabijene makromolekule koje uz druge sastojke sadrže huminske, fulvinske i himetomelanske kiseline) pri dezinfekciji vode klorom stvaraju lakohlapivi halogenirani ugljikovodici tzv. trihalometani (THM). Klorirani organski spojevi koji se formiraju (trihalometani) su kloroform, bromdiklormetan i dibromklormetan, a uz njih se još mogu pojavljivati i haloctene kiseline (HAA). Epidemiološke studije ukazuju na povezanost između klorirane vode, sadržaja humusnih tvari i učestalosti oboljenja od raka (slika 6.) (Mijatović, Matošić, 2020).



Slika 6. Produkti koji nastaju prilikom kloriranja vode koja sadrži organske tvari

([www.researchgate.net/ Chlorination disadvantages and alternative routes for biofouling control in reverse osmosis desalination](http://www.researchgate.net/Chlorination_disadvantages_and_alternative_routes_for_biofouling_control_in_reverse_osmosis_desalination) )

## 6.1. Fizikalna dezinfekcija

U fizikalnu dezinfekciju vode najčešće se podrazumijeva korištenje topline, gdje je potrebno vrenje vode najmanje 20 minuta. Ova metoda je najjednostavnije i najučinkovitija, ali se koristi rijetko i na manjim količinama vode, jer cijena energije potrebne za zagrijavanje prevelika (Štrkalj, 2014).

Jedan od načina dezinfekcije vode je ozračivanje vode ultraljubičastim (UV) zrakama valne duljine 200-295 nm. Voda se dezinficira u roku od nekoliko sekundi jer UV zrake razore protoplazmu bakterijskih stanica. Nedostatak ove metode je u tome što ne postoje pouzdani pokazatelji za kontrolu učinka dezinfekcije kao i nemogućnost održavanja koncentracije rezidualnog sredstva za dezinfekciju vode u svrhu sprečavanja naknadne kontaminacije vode (Mijatović, Matošić, 2020).

## 6.2. Kemijska dezinfekcija

Kemijskim postupcima se postiže visoka primarna učinkovitost te postoji mogućnost naknadnog djelovanja. U to spada dezinfekcija klorom i njegovim spojevima, ozonom, srebrom i jodom.

Dezinfekcija vode klorom i njegovim spojevima provodi se (Mijatović, Matošić, 2020):

- elementarnim klorom
- klornim dioksidom
- kalcijevim i natrijevim hipokloritom
- kalcijevim klorid-hipokloritom
- kloraminom

Ako je ostao višak klora poslije obavljene dezinfekcije i uspostavljanja ravnoteže u vodi dezinfekcija je uspješno obavljena. Takav višak naziva se slobodni rezidualni klor čija koncentracija u vodi za piće treba biti u rasponu od 0,05 do 0,5 mg/l. Dezinfekcija vode za piće može se obavljati putem hiperkloriranja, gdje se koristi deset puta veća količina dezinfekcijskog sredstva. Takva voda se može koristiti (nakon obveznog uklanjanja viška



klora) tek nakon 24 sata, dok putem redovnog kloriranja voda se može koristiti nakon 30 minuta bez uklanjanja viška klora ([www.pliva-sept.hr](http://www.pliva-sept.hr)).

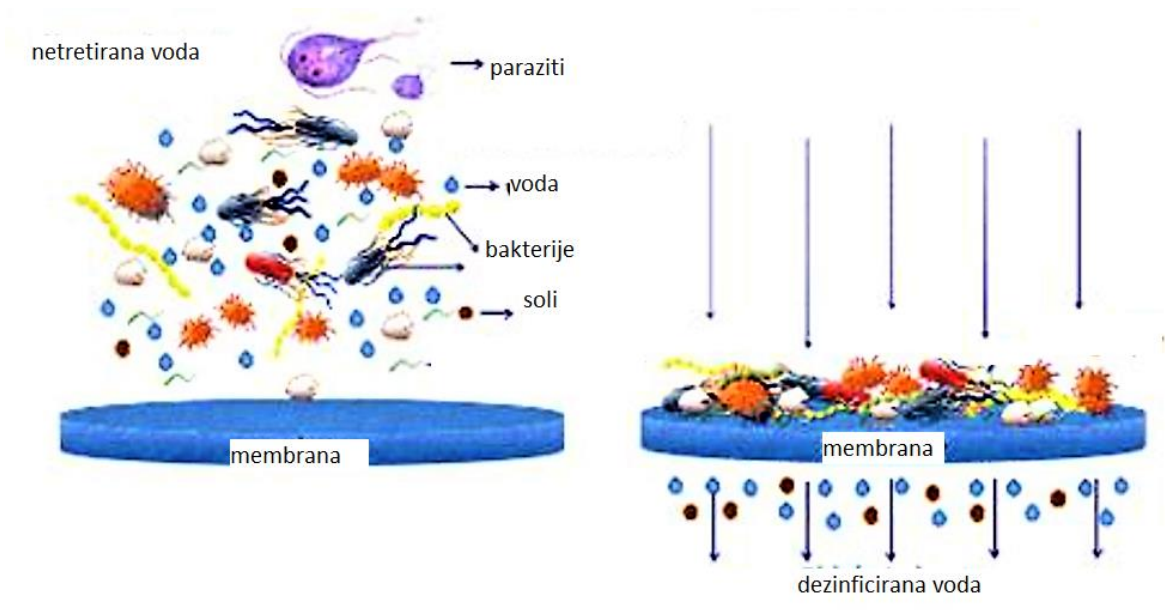
Ozon je nestabilna molekula s tri kisikova atoma i ima snažna oksidacijska svojstva zbog velikog oksidacijsko-redukcijskog potencijala. Dok prolazi kroz spontani prijelaz natrag u kisik, tvori monoatomske radikale kisika koji su izuzetno reaktivni, imaju kratak vijek trajanja (nekoliko milisekundi), te djeluju na mikroorganizme i organske tvari (Al-Abri, 2019).

Dezinfekcija jodom rijetko se koristi zbog njegovog velikog korištenja u farmaceutskoj industriji i visoke cijene. Za dezinfekciju se upotrebljava 2%-tna otopina joda čije dvije kapi su dovoljne za dezinfekciju 1 litre vode, uz vrijeme kontakta od 20 minuta.

Dezinfekcija srebrom, tj. ionima srebra često se kombinira s dezinfekcijom s bakrom koji također djeluje baktericidno. Srebro djeluje baktericidno reagirajući sa -SH grupama u proteinima (enzimima) te s ostalim staničnim molekulama. Rezultat djelovanja srebra je prestanak rasta bakterija (Mijatović, Matošić, 2020).

### **6.3. Membranska dezinfekcija**

Prilikom dezinfekcije vode membranskim procesima koriste se membrane koje djeluju kao selektivna zapreka. Temelji se na razlici u koncentraciji, tlaku ili elektrodnom potencijalu. Najčešće se koristi ultrafiltracija, gdje se voda propušta preko membrane čiji je promjer otvora od 2 do 104 nm (slika 6.3.). Tako se mogu ukloniti bakterije, virusi, ali i proteini (Štrkalj, 2014).



Slika 6.3. Dezinfekcija vode pomoću membrane ([www.sswm.info/membrane-filtration](http://www.sswm.info/membrane-filtration))

## 7. Zaključak

Apsolutno čista voda u prirodi ne postoji, nego sadrži različite otopljene tvari u sebi. Takve tvari u određenim količinama nisu opasne po ljudsko zdravlje i tada se voda smatra sigurnom za piće. Ukoliko koncentracije određenih tvari prelaze granice, koje su dogovorene od strane odgovarajućih agencija, ona nije sigurna za konzumaciju i smatramo ju zagađenom. Zagađena voda mogu biti različita, a u ovom radu razmatrane su organske tvari kao zagađivači.

Organske tvari se nalaze svugdje oko nas i život bez njih je nezamisliv. Organske tvari koje se koriste su sintetički dobivene u laboratorijima. Veliki problem predstavlja to što raspadom organske tvari nastaju toksični spojevi, a to se događa kada je tvar već uvedena u okoliš. Zato je bitno kod registracije novog sintetičkog proizvoda navesti njegove moguće spojeve pri razgradnji. Povećanjem broja ljudi na Zemlji, povećava se i potražnja za različite resurse kako bi se mogli svi opskrbiti. Poljoprivredni usjevi moraju biti veći nego ikada, a njihovi gubici što manji. Kako bi se usjevi sačuvali poseže se za različitim pesticidima koji pomažu u obrani usjeva od bolesti i raznih štetočina, a njihovi ostaci su sve prisutniji u podzemnim vodama.

Sve veći broj ljudi dovodi i do sve većeg broja bolesti koje se moraju tretirati i liječiti. Povećana uporaba lijekova dovodi do nastajanja bakterija otpornih na antibiotike i drugih posljedica koje se javljaju zbog nedostatka ispitivanja utjecaja lijekova na okoliš. Često se posljedice organskih tvari osjete tek kada su se dogodile već velike štete ljudskom i životinjskom svijetu. Sada je vrlo teško i nemoguće prestati odjednom koristiti organske tvari, stoga je potrebno njihovo savjesno korištenje i pronalazak adekvatnih postupaka za njihovo zbrinjavanje, što se može postići istraživanjem i unaprjeđivanjem znanosti. Dezinfekcija vode je nužna, ali i kod takvih postupaka mogu nastati produkti koji mogu biti štetni, stoga je bitno da voda bude u što je moguće boljem stanju kako bi se trebala manje tretirati.

## 8. Literatura

- Halle, R., 2004. *KEMIZAM I OBRADBA VODE*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko geološko naftni fakultet
- Mayer, D. 1993. *Kvaliteta i zaštita podzemnih voda*. Zagreb, Hrvatsko društvo za zaštitu voda i mora
- Mayer, D. 2004. *VODA od nastanka do upotrebe*. Zagreb, PROSVJETA
- Mijatović, I., Matošić, M. 2020 *Tehnologija vode (interna skripta)*, Zagreb Prehrambeno - biotehnološki fakultet
- Nakić, Z. 2010. *Geologija okoliša*, skripta, Zagreb Rudarsko geološko naftni fakultet
- Štrkalj, A. 2014. *Onečišćenje i zaštita voda*, Sisak, Metalurški Fakultet
- Šimunić, I. 2013. *Uređenje voda*, Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada
- Tuhtar, D. 1984. *Zagađenje zraka i vode*, Sarajevo, Svjetlost, OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva
- Al-Abri M., Al-Ghafri, B., Bora T., Dobretsov S., Dutta, J., Castelletto, S., Rosa, L., Borett A., 2019. *Chlorination disadvantages and alternative routes for biofouling control in reverse osmosis desalination*,
- Brletić, F., 2017. *Kemizam podzemnih voda crpilišta Ivanščak u Koprivnici*
- Vuković, Domanovac, M., Šabić, Runjavec, M., Janton, N., Kučić, Grgić, D., 2019. *Bioremedijacija farmaceutske otpadne vode*, Zagreb, Zavod za industrijsku ekologiju, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije,
- Ljoljo, D., 2012. *Završni rad*, SVEUČILIŠTE U ZAGREBU FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
- Mackay, D.M, Roberts, P.V., Cherry, J.A., 1985. *Transport of organic contaminants in groundwater*, American Chemical Society
- Püttmann, W., Berger, B., Potouridis, T., 2016. *Analysis of alkyl esters of p-hydroxybenzoic acid (parabens) in baby teethingers via gas chromatography-quadrupole mass spectrometry (GC-qMS) using a stable isotope dilution assay (SIDA)*
- Stuart, M., Lapworth, D. 2013. *Emerging Organic Contaminants in Groundwater* Wallingford,, British Geological Survey,
- Agroklub, datum pregledavanja: 06.09.2021. URL: <https://www.agroklub.com/zastitna-sredstva/>

Corrosionpedia, Chlorinated Solvent, datum pregledavanja: 28.08.2021. URL: <https://www.corrosionpedia.com/definition/2489/chlorinated-solvent>

Galaxolide: A Long-lasting Fragrance Contaminating the Great Lakes, datum pregledavanja: 06.09.2021. URL: <https://www.womensvoices.org/fragrance-ingredients/galaxolide-a-long-lasting-fragrance-contaminating-the-great-lakes/>

HBM4EU ,Benzophenones, datum pregledavanja: 06.09.2021. URL: <https://www.hbm4eu.eu/the-substances/benzophenones/>

Hrvatske vode, datum pregledavanja: 06.09.2021. URL: <https://www.voda.hr/hr/pitanja-odgovori>

Hrvatski zavod za javno zdravstvo, datum pregledavanja: 06.09.2021. URL: <https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/svjetski-dan-voda/>

Illinois Department of Public Health, Pyrethroid Insecticides, datum pregledavanja: 06.09.2021. URL: <http://www.idph.state.il.us/envhealth/factsheets/pyrethroid.htm>

Sciencedirect., Organochlorine Pesticides, datum pregledavanja: 22.07.2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/organochlorine-pesticides>

Silberman, J., Taylor A., 2021. *Carbamate Toxicity* datum pregledavanja: 22.07.2021. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482183/>

USGS, Contamination of Groundwater, datum pregledavanja: 21.07.2021. URL: [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/contamination-groundwater?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/contamination-groundwater?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)

U.S. Environmental Protection Agency, datum pregledavanja: 21.07.2021. URL: <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/ddt-brief-history-and-status>