

PRIPOROČILA ZA PRIPRAVO PITNE VODE

8. člen Uredbe o pitni vodi (Ur. l. RS, št. 61/23)

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	3
2 POSTOPKI ZA PRIPRAVO PITNE VODE.....	5
2.1 Koagulacija	5
2.2 Flokulacija	5
2.3 Sedimentacija ali usedanje.....	5
2.4 Filtracija.....	6
2.4.1 Hitri peščeni filtri	6
2.4.2 Filtri za grobo obdelavo vode	6
2.4.3 Tlačni filtri	6
2.4.4 Počasni peščeni filtri	6
2.4.5 Diatomejski filter	6
2.4.6 Obrežno infiltriranje	7
2.5 Aeracija	7
2.6 Adsorpcija z aktivnim ogljem	7
2.7 Ionska izmenjava	7
2.8 Membranska filtracija	8
2.8.1 Mikrofiltracija	8
2.8.2 Ultrafiltracija	8
2.8.3 Nanofiltracija.....	8
2.8.4 Reverzna osmoza	8
3 DEZINFEKCIJA PITNE VODE	9
3.1 Kloriranje.....	9
3.2 Uporaba klorovega dioksida	10
3.3 Kloraminacija	10
3.4 UV sevanje	11
3.5 Ozoniranje.....	11
4 ZMANJŠANJE ŠTEVILA MIKROORGANIZMOV Z UPORABO POSAMEZNIH POSTOPKOV PRIPRAVE PITNE VODE	12
5 UČINKOVITOST POSTOPKOV PRIPRAVE PITNE VODE GLEDE NA SMERNICE SVETOVNE ZDRAVSTVENE ORGANIZACIJE.....	15
VIRI IN LITERATURA.....	23

1 UVOD

Pitna voda je po Uredbi o pitni vodi (Ur.l. RS, št. 61/23) (v nadaljevanju Uredba) definirana kot "vsa voda v svojem prvotnem stanju ali po pripravi, ki izpolnjuje zahteve iz 6. člena te Uredbe in je namenjena pitju, kuhanju, pripravi hrane ali za druge gospodinske namene v javnih in tudi zasebnih prostorih, ne glede na njeno poreklo in ne glede na to, ali se zagotavlja iz vodovodnega omrežja ali cisterne ali je v prometu kot predpakirana pitna voda, vključno z izvirske vodo in namizno vodo, ter vsa voda, ki se uporablja za izvajanje živilske dejavnosti".

Priprava pitne vode je določena z 8. členom te Uredbe, v katerem je definirana kot "postopki za doseganje zdravstveno ustrezne in skladne pitne vode ter vsako drugo spreminjanje lastnosti pitne vode od zajetja za pitno vodo do mesta uporabe". Za pripravo pitne vode in s tem tudi zagotavljanje njene zdravstvene ustreznosti se lahko uporabijo le snovi, ki so navedene v Prilogi 5 Uredbe (Seznam snovi za pripravo pitne vode) in biocidni proizvodi, za katere je izdano dovoljenje za dostopnost na trgu in uporabo (vrsta uporabe 5) na podlagi predpisov s področja biocidnih proizvodov, ki so objavljeni na spletnih straneh Urada Republike Slovenije za kemikalije (URSK) v Registru biocidnih proizvodov. Vse snovi za pripravo pitne vode ne smejo negativno vplivati na njene lastnosti in s tem tudi neposredno ali posredno na zdravje ljudi.

Tveganje za javno zdravje predstavlja uživanje pitne vode v kateri so lahko prisotni mikrobiološki, kemijski in fizikalni dejavniki tveganja ter radioaktivne snovi. Hidrični izbruhi so posledica mikrobiološkega onesnaženja pitne vode s povzročitelji nalezljivih bolezni, med katere sodijo patogene bakterije, virusi in paraziti, na primer praživali (protozoa) in črvi (helmiti). Nekateri patogeni povzročajo hude in včasih celo smrtno nevarne bolezni. Prizadenejo lahko veliko število ljudi. Kemijski dejavniki tveganja so nevarne snovi, ki lahko izvirajo iz naravnih virov, industrijske dejavnosti, gospodinjstev, kmetijske dejavnosti, postopkov za pripravo pitne vode in materialov, ki prihajajo v stik s pitno vodo (World Health Organization [WHO], 2022). Fizikalni dejavniki tveganja se nanašajo na organoleptične lastnosti vode (Environmental Protection Agency [EPA], 2024), radioaktivne snovi pa so v skladu s Pravilnikom o monitoringu radioaktivnosti v pitni vodi (Ur. L. RS, št. 74/15, 76/17 – ZVISJV-1 in 104/20) snovi, ki vsebujejo enega ali več radionuklidov, ki jih ni mogoče zanemariti.

V procesu zagotavljanja zdravstveno ustrezne in skladne pitne vode je ključno izdelati in izvajati varnostni načrt, ki temelji na oceni in upravljanju tveganja skozi celotno oskrbovalno verigo pitne vode od prispevnega območja za zajetja pitne vode, zajetja, priprave, shranjevanja in distribucije pitne vode do mesta uporabe. Pomemben je pristop večkratnih ovir, ki je v uporabi že stoletja. Gre za temeljni koncept zagotavljanja varne pitne vode in varstva potrošnikov. Koncept je zasnovan na način, da so ovire izbrane v določenem vrstnem redu z namenom, da se poveča učinkovitost različnih postopkov v procesu priprave vode. S pristopom večkratnih ovir se zagotovi, da celoten postopek priprave pitne vode poteka kontinuirano, ne glede na nihanje zmogljivosti in obdobja neučinkovitosti posameznega postopka, ki so v procesu priprave pitne vode normalni (WHO, 2004, 2022).

Pristop večkratnih ovir je zasnovan v sledečem vrstnem redu (WHO, 2004):

- zaščita zajetja pitne vode (voda, ki se uporablja za pitno vodo mora izvirati iz najkakovostnejšega možnega vira);
- koagulacija, flokulacija in sedimentacija;
- filtracija;
- dezinfekcija;
- zaščita pred naknadnim onesnaženjem vode v sistemu za oskrbo s pitno vodo (v nadaljevanju vodovod).

V primeru, da navedeni vrstni red ni najbolj učinkovit, se lahko doda več stopenj filtracije ali dezinfekcije (WHO, 2004). Pristop večkratnih ovir vključuje izbiro najboljšega dostopnega vira, njegovo zaščito in varovanje, optimalno pripravo in vodovodno omrežje. Postopke priprave izberemo za vsak posamezni primer oskrbe na podlagi ocene tveganja prispevnega območja, značilnosti zajetja, kakovosti surove vode ter stanja ostalih elementov vodovoda. Poznati moramo dejanska in potencialna tveganja ter tvegane dogodke. Priprava je odvisna od stopnje čistosti vode, ki jo želimo doseči in od vrste onesnaženja (NIJZ, 2024). Priporočamo, da bodo postopki priprave izbrani in implementirani strokovno, s pomočjo strokovnjakov hidrogeološke, hidrološke in tehnične stroke.

2 POSTOPKI ZA PRIPRAVO PITNE VODE

2.1 Koagulacija

Koagulacija je najpogosteje uporabljen postopek za čiščenje površinske vode. Najbolj učinkovita je pri odstranjevanju delcev in vezanih mikroorganizmov, nekaterih težkih kovin in slabo topnih organskih kemikalij, kot so na primer nekateri organoklorni pesticidi. Učinkovitost postopka je odvisna od značilnosti surove vode, vrste in količine uporabljenega koagulant ali pomožnih sredstev, pogojev mešanja in pH vrednosti (WHO, 2022). Kot koagulant se največkrat uporabljajo aluminijeve ali železove soli (na primer aluminijev sulfat ali železov klorid) (NIJZ, 2024; WHO, 2022) ali sintetični polimeri (NIJZ, 2024), ki se v surovo vodo dozirajo pod nadzorovanimi pogoji z namenom, da nastane kosmičast kovinski hidroksid. Kosmiči odstranijo suspendirana in raztopljenjena onesnaževala ter pomagajo nevtralizirati vodo. Med postopkom koagulacije se lahko v vodo dozira tudi aktivno oglje v prahu za adsorpcijo organskih kemikalij, kot so na primer hidrofobni pesticidi, iz vode pa se nato odstrani kot sestavni del kosmičev. Kosmiči se iz vode nato lahko odstranijo s postopkom sedimentacije ali flotacije z raztopljenim zrakom in nato s filtracijo s pomočjo hitrih filtrov (WHO, 2022). Pri sedimentaciji ali usedanju zaradi težnosti prihaja do usedanja delcev in mikroorganizmov. Proces je počasen in ga ovira vsako gibanje (NIJZ, 2024). Pri odstranitvi kosmičev s flotacijo z raztopljenim zrakom se zračni mehurčki pritrdijo na kosmiče, zaradi česar lebdijo na površini vode. Plast suspendiranih delcev se periodično odstrani. Po izvedbi postopka sedimentacije in flotacije se očiščena voda nadalje obdela s filtracijo s pomočjo hitrih filtrov, kjer se odstranijo preostale trdne snovi, filtrirana voda pa se lahko tudi naknadno obdela z drugimi postopki obdelave pitne vode (WHO, 2022).

2.2 Flokulacija

Flokulacija je postopek, kjer se z nežnim mešanjem izboljša stik med delci in kosmiči ter se olajša združevanje v večje kosme, imenovane flokule (NIJZ, 2024). Flokule se zato lažje odstranijo iz vode v naslednjih fazah obdelave, kot sta sedimentacija ali usedanje in filtracija. Flokulacija je ključna za učinkovito odstranitev delcev blata, peska, mikroorganizmov in drugih nečistoč ter pomaga izboljšati kakovost pitne vode (WHO, 2022). Proces kombiniramo s koagulacijo (NIJZ, 2024).

2.3 Sedimentacija ali usedanje

Sedimentacija je proces, v katerem zaradi težnosti pride do usedanja delcev, vključno mikroorganizmov. Proces je počasen, ovira pa ga vsako gibanje. K usedanju pripomore dodatek koagulant (NIJZ, 2024). Sedimentacija lahko poteka tudi brez uporabe kemičnega koagulant. To je postopek, pri katerem se preko treh bazenov omogoči zaporedno odstranjevanje trdnih delcev iz vode, ki se usedajo v zato namenjenih delih bazena (WHO, 2022). Sediment oziroma blato je odpadki, ki vsebuje veliko vode, ki jo je treba odstraniti, za kar lahko uporabimo sušenje, filtrske stiskalnice, vakum (NIJZ, 2024).

2.4 Filtracija

Trdne delce iz surove vode se lahko odstrani z uporabo različnih filtrov.

2.4.1 Hitri peščeni filtri

Hitri peščeni filtri so običajno sestavljeni iz odprtih pravokotnih rezervoarjev in vsebujejo kremenčev pesek premera 0,5-1,0 mm. Višina peščenega sloja je med 0,6-2 m (WHO, 2022), običajno pa le-ta znaša 1 m (NIJZ, 2024). Največkrat se hitri peščeni filtri uporabijo za odstranjevanje kosmičev pri postopku koagulacije, lahko pa se uporabijo tudi za zmanjševanje motnosti in odstranjevanje adsorbiranih kemikalij ter oksidiranega železa in mangana iz surove vode (WHO, 2022).

2.4.2 Filtri za grobo obdelavo vode

Filter za grobo obdelavo vode se lahko uporablja kot predfilter (na primer pred uporabo počasnega peščenega filtra), saj uspešno čisti vodo z visoko motnostjo (> 50 NTU). Filtrski medij predstavlja grobi gramoz ali drobljeno kamenje. Delci se odstranijo tako s filtracijo kot tudi z usedanjem (WHO, 2022).

2.4.3 Tlačni filtri

Tlačni filtri se uporabljajo samo v primeru, kjer je potrebno vzdrževati določeno višino pri kateri vode ni potrebno črpati v dovod (WHO, 2022).

2.4.4 Počasni peščeni filtri

Počasni peščeni filter sestoji iz peska, premera med 0,15 in 0,3 mm. Uporablja se predvsem za odstranjevanje alg in mikroorganizmov (vključno s protozoji) ter za zmanjševanje motnosti (vključno z adsorbiranimi kemikalijami). Najbolj so primerni za surovo vodo z nizko motnostjo ali vodo, ki je bila predhodno obdelana (na primer s postopkom grobe filtracije). Na površini se razvije biološka aktivna plast, imenovana tudi "*schmutzdecke*", kjer prihaja do inaktivacije mikroorganizmov in biorazgradnje. V zgornji, nekaj centimetrov debeli plasti peska, se odstranijo delci in mikroorganizmi ter zmanjša motnost surove vode (WHO, 2022). Ob zmanjšani prepustnosti je potrebno mehanično odstraniti vrhnji sloj, nakar filter potrebuje nekaj časa, da dozori oziroma, da se ponovno razvije biološka aktivna plast (NIJZ, 2024).

2.4.5 Diatomejski filter

Filtri iz diatomejske zemlje (drobni ostanki morskih organizmov) delujejo tako, da se voda zmeša z diatomejsko zemljo in s tokom nanese na membrano, kjer se tvori filtracijska plast.

Zaradi tanke plasti se hitro mašijo in pogosto prebijajo, zato niso primerni za uporabo s koagulanti (NIJZ, 2024) .

2.4.6 Obrežno infiltriranje

Obrežno infiltriranje (ang. *bank infiltration*) se nanaša na proces, pri katerem površinska voda pronica iz brega ali dna reke oziroma jezera do vodnjakov vodarne. Med potovanjem vode skozi zemljo se njena kakovost spreminja zaradi mikrobioloških, kemičnih in fizikalnih procesov ter zaradi mešanja s podzemno vodo. Proces se lahko opiše tudi kot "inducirana infiltracija," saj črpanje v vodnjakih znižuje gladino podzemne vode, kar povzroči, da površinska voda pod hidravličnim gradientom priteče v vodonosnik. Obrežno infiltriranje se lahko doseže z naravnim pronicanjem v zbiralne bazene, plitvimi navpičnimi ali vodoravnimi vodnjaki, ki so postavljeni v aluvialnih peščenih in prodnih nanosih ob površinskih vodah, ter infiltracijskimi galerijami.

2.5 Aeracija

S postopkom aeracije oziroma prezračevanja se iz vode odstranijo plini in hlapne organske snovi (na primer topila), spojine, ki vplivajo na okus in vonj ter radon (WHO, 2022). Pri izvedbi postopka pride do izmenjave plinov (vnosa kisika in odstranitve žveplovodika, ogljikovega dioksida, radona in tako dalje). Proces je zelo učinkovit pri oksidaciji železa ali mangana (NIJZ, 2024).

2.6 Adsorpcija z aktivnim ogljem

Aktivno oglje se proizvaja iz materialov, ki vsebujejo ogljik, najpogosteje iz lesa, premoga, kokosove lupine ali šote. Lahko je v zrnati ali praškasti obliki, katero obliko se uporabi, je odvisno od stroškovne učinkovitosti, pogostosti uporabe in uporabljenega odmerka. Praškasta oblika aktivnega oglja se največkrat uporablja v primeru občasne kontaminacije ali kadar so potrebni nizki odmerki aktivnega oglja. Zaradi svojih lastnosti je bolj razširjena uporaba aktivnega oglja v zrnati obliki (WHO, 2022). Aktivno oglje se uporablja za odstranjevanje organskih kemikalij (NIJZ, 2024; WHO, 2022), tudi kloriranih produktov, radona (NIJZ, 2024), vonja, okusa (NIJZ, 2024; WHO, 2022), pesticidov, toksinov cianobakterij in celotnega organskega ogljika (WHO, 2022). Adsorpcijske zmožnosti se povečajo zaradi malih por, ki jih vsebuje aktivno oglje (NIJZ, 2024).

2.7 Ionska izmenjava

Ionska izmenjava je postopek, pri katerem se ioni enakega naboja izmenjujejo med vodno fazo in trdno fazo smole (WHO, 2022). Smole so lahko naravne ali umetne, njihova naloga je, da nadomestijo oziroma vežejo katione ali anione (NIJZ, 2024). Pri kationski izmenjavi prihaja

do mehčanja vode, pri anionski pa do odstranitve onesnaževal, kot so nitrat, fluorid, arzenat in uran v obliki uranovega aniona (WHO, 2022).

2.8 Membranska filtracija

Med najpomembnejše vrste membranske filtracije pri postopku priprave pitne vode uvrščamo mikrofiltracijo, ultrafiltracijo, nanofiltracijo in reverzno osmozo (WHO, 2022). Gre za znane postopke, filtracijske membrane pa se razlikujejo glede na velikost por (NIJZ, 2024). Mikrofiltracija in ultrafiltracija sta procesa z nizkim tlakom, nanofiltracija in reverzna osmoza pa procesa z visokim (WHO, 2022).

2.8.1 Mikrofiltracija

Pri postopku mikrofiltracije delovni tlak znaša 1-2 bara, velikost por je med 0.01–12 μm , filtrirajo pa se koloidi in suspendirani delci, ki so večji od 0.05 μm (WHO, 2022). Uporablja se za obdelavo vode v kombinaciji s koagulacijo ali aktivnim ogljem v prahu za odstranjevanje delcev in nekaj raztopljenega organskega ogljika pred membranami za reverzno osmozo ter za izboljšanje pretoka permeata.

2.8.2 Ultrafiltracija

Postopek ultrafiltracije je podoben reverzni osmozi, vendar imajo membrane nekoliko večjo velikost por (med 0.002–0.03 μm) in delujejo pri nižjem delovnem tlaku (manjši od 5 barov). Membrane zadržijo viruse, bakterije in organske molekule z molekulsko maso večjo od 800 daltonov (WHO, 2022).

2.8.3 Nanofiltracija

Postopek nanofiltracije je lahko učinkovit pri odstranjevanju organskih spojin, ki vplivajo na barvo. Nanofiltracijske membrane prepuščajo enovalentne katione, kot sta natrijev in kalijev, ne prepušča pa dvovalentnih kationov (na primer kalcijevega in magnezijevega) in nekaterih organskih snovi z večjo molekulsko maso. Delovni tlak pri postopku nanofiltracije je običajno okoli 5 barov, velikost por pa med 0.001–0.01 μm (WHO, 2022).

2.8.4 Reverzna osmoza

Pri reverzni osmozi se raztopljene trdne snovi, molekule in ioni, ločijo s polprepustno membrano in tlakom (NIJZ, 2024). Polprepustna membrana omogoča prehod topila in onemogoča prehod raztopljene snovi. Topilo prehaja iz bolj koncentrirane raztopine v manj koncentrirano raztopino z uporabo tlaka, ki je večji od naravnega osmotskega tlaka. Običajno je delovni tlak med 15-50 barov, odvisno od uporabe, velikost por pa manjša od 0.002 μm . Reverzna osmoza zavrača enovalentne katione in organske snovi z molekulsko maso večjo od

približno 50 daltonov. Reverzna osmoza se najpogosteje uporablja pri razsoljevanju somornice (brakične vode) in morske vode, zaradi visoke učinkovitosti odstranjevanja mikroorganizmov in nekaterih kemijskih onesnaževal, se lahko uporablja kot enostopenjski postopek oziroma je potreba po kombiniranju z dezinfekcijo nizka (WHO, 2022). Primeri kemikalij, ki se odstranijo z reverzno osmozo so svinec, baker, klorid, krom, natrij (sol), zmanjša pa se lahko tudi vsebnost arzena, fluorida, radija, sulfata, kalcija, magnezija, kalija, nitrata in fosforja (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2024). Voda, ki prehaja skozi membrano se imenuje permeat. Le-ta je skoraj brez vsebnosti mineralov, zato je potrebno izvesti tudi postopek remineralizacije, ki izboljša kakovost vode (Vingerhoeds idr., 2016).

3 DEZINFEKCIJA PITNE VODE

Pri izvajanju dezinfekcije se preverja učinkovitost uporabljenega postopka dezinfekcije in zagotavlja, da je vsako onesnaženje s stranskimi produkti dezinfekcije čim manjše, ne da bi bil pri tem ogrožen učinek dezinfekcije.

S postopkom dezinfekcije pitne vode se uničuje bolezenske mikroorganizme, posledično se na ta način preprečuje širjenje nalezljivih bolezni, ki jih povzročajo mikroorganizmi, ki se prenašajo s pitno vodo. Pitno vodo je možno dezinficirati s kemijskimi snovmi, kot so plinski klor, hipokloriti, klorov dioksid in ozon ter s fizikalnimi postopki, kot so UV sevanje, ultrafiltracija in prekuhavanje. Glede na mesto delovanja se dezinfekcija deli na primarno in sekundarno. Pri primarni dezinfekciji se uničijo mikroorganizmi v surovi vodi. Sekundarni dezinfekciji pravimo tudi rezidualna dezinfekcija in poteka v omrežju. Preprečuje razrast bakterij in ščiti vodo pred naknadno kontaminacijo v omrežju. Rezidualno delovanje lahko zagotavlja tudi postopek primarne dezinfekcije (NIJZ, 2024).

3.1 Kloriranje

Kloriranje se uvršča med najpogosteje uporabljene postopke dezinfekcije pitne vode (NIJZ, 2024) in se primarno uporablja predvsem za zagotavljanje mikrobiološke ustreznosti le-te. Ne glede na navedeno, pa klor lahko deluje kot oksidant in odstrani oziroma pomaga pri odstranjevanju ali kemični pretvorbi nekaterih kemikalij. Najpogosteje uporabljena sredstva pri kloriranju so plinski klor, raztopina natrijevega hipoklorita, kalcijev hipoklorit v granulah, uporablja pa se lahko tudi klorov dioksid. Učinkovitost kloriranja je odvisna od kontaktnega časa, motnosti, pH vrednosti, temperature in prisotnosti organskih snovi (WHO, 2022). Referenčna vrednost za motnost je 0,3 NTU v 95% vzorcev in nobeden vzorec ne sme preseči 1 NTU, razen v primeru podzemne vode, kadar motnost povzročata železo in mangan. Priporočljivo je, da postopek kloriranja ni krajši od 30 minut, po zaključku postopka pa naj v vodovodnem omrežju ostane 0,3–0,5 mg/l prostega preostalega oziroma rezidualnega klora. V primeru, da upravljavec vodovoda zagotavlja konstantno mikrobiološko ustreznost pitne vode, je lahko koncentracija rezidualnega klora tudi nižja od 0,3 mg/l (NIJZ, 2024), vendar ne nižja kot 0,1 mg/l (<0,1 mg/l Cl meritve niso več zanesljive). Smernice Svetovne zdravstvene

organizacije (SZO) določajo, da koncentracija prostega rezidualnega klora 5 mg na liter vode ne predstavlja tveganje za zdravje ljudi (NIJZ, 2024), njegova prisotnost pa preprečuje ponovno kontaminacijo vode (WHO, 2022). Klor je še posebej učinkovit proti bakterijam, malo manj proti virusom, najmanj pa proti parazitom (praživali, valjasti in ploski črvi) (WHO, 2022). Zaradi reakcije klora z naravno prisotnimi organskimi snovmi nastanejo pri kloriranju tudi trihalometani in drugi halogenirani produkti, ki predstavljajo stranske produkte dezinfekcije pitne vode. Izmed izbranih spojin trihalometanov za določanje v pitni vodi, kot so triklorometan (kloroform), tribromometan (bromoform), dibromoklorometan in bromodiklorometan, je v pitni vodi običajno prisoten predvsem kloroform (Mertik idr., 2022). Nastajanje stranskih produktov je z optimizacijo sistema možno tudi nadzorovati (WHO, 2022).

Poznamo različne tehnike kloriranja. Hiperkloriranje ali klorni šok je postopek dezinfekcije vode ali vodovodnih instalacij (na primer cevi, rezervoarja) in se izvede v primeru izrednih razmer, po sanacijah, kot tudi v novih objektih. Pri postopku hiperkloriranja se uporablja več kot desetkrat višje koncentracije klorovega sredstva kot pri standardnem kloriranju vode. Uporaba vode med samim postopkom je prepovedana (NIJZ, 2024).

Postopek dekloriranja se izvede v primeru, kadar je količina prostega preostalega klora večja od predpisane. Za zniževanje oziroma odstranjevanje le-tega se lahko izvede aeracija, adsorpcija z aktivnim ogljem ali pa se uporabijo kemijska sredstva (najpogosteje se uporabljata natrijev tiosulfat ali žveplov dioksid) (NIJZ, 2024). S postopkom dekloriranja preprečimo težave z okusom pitne vode (WHO, 2022).

3.2 Uporaba klorovega dioksida

Klorov dioksid se lahko uporablja kot alternativa kloru in ozonu, vendar ne zagotavlja rezidualnega učinka, kot ga klor. V vodi razpade na klorat, klorit in klorid, pri njegovi uporabi pa ne nastanejo trihalometani kot pri uporabi klora (WHO, 2022). Več o kloritu in kloratu je na voljo na naslednji povezavi: <https://nijz.si/wp-content/uploads/2025/01/Opisi-kemijskih-parametrov-ki-jih-dolocamo-v-pitni-vodi-vezija-5.pdf>.

3.3 Kloraminacija

Kloramini (monokloramin, dikloramin, trikloramin ali dušikov triklorid) nastanejo pri reakciji med klorom, raztopljenim v vodi, in amoniakom. So stranski produkt kloriranja pitne vode v prisotnosti amoniaka. Višji kloramini (dikloramin in trikloramin) se tvorijo le občasno ter povzročajo težave z okusom in vonjem že pri nižjih koncentracijah kot monokloramin. Standardna praksa vključuje vzdrževanje določene koncentracije kloramina v distribucijskem sistemu, ki znaša 0,5–2 mg/l, kadar se kloramin uporablja kot primarno dezinfekcijsko sredstvo ali za zagotavljanje rezidualnega klora v distribucijskem sistemu (WHO, 2022). Monokloramin se zaradi svoje stabilnosti najpogosteje uporablja kot sekundarno dezinfekcijsko sredstvo za preprečevanje rasti mikroorganizmov v omrežju. Glede na podatke US EPA (2009) se monokloramin kot dezinfekcijsko sredstvo v pitni vodi uporablja že več kot

90 let. Njegova učinkovitost je potrjena z desetletji uporabe v ZDA, Kanadi in Veliki Britaniji. SZO je določila priporočeno mejno vrednost v pitni vodi, ki ne sme presegati 3 mg/l (WHO, 2022). Ocena učinkovitosti kloramina v pitni vodi se najpogosteje izvaja s kolorimetrično analizo po navodilih proizvajalca. Zaradi možnih interferenc imajo akreditirani laboratoriji natančno predpisane postopke, zato pred meritvami pri upravljavcu preverijo, katero dezinfekcijsko sredstvo uporabljajo. Ključno je tudi, da upravljavec laboratorij pravočasno obvesti o uporabi monokloramina, da se analiza temu ustrezno prilagodi.

3.4 UV sevanje

Dezinfekcija z UV sevanjem se uporablja za inaktivacijo bakterij, virusov in parazitov. Po izpostavljenosti UV svetlobi celica mikroorganizma ostane živa, vendar se ne more razmnoževati in zato tudi ni infektivna. Za dezinfekcijo pitne vode je uporaben del spektra UV-C. Odmerki UV svetlobe, ki se običajno uporabljajo, dosežejo različno stopnjo inaktivacije mikroorganizmov (bakterije, virusi, paraziti). Adenovirusi zahtevajo najvišje UV odmerke. Na učinkovitost dezinfekcije vpliva kakovost surove vode (na primer motnost, prepustnost za svetlobo, delci) in kemijska sestava (na primer vsebnost mangana in železa). Če motnost vode presega 1 NTU, postopek UV dezinfekcije ni primeren. UV dezinfekcijo lahko optimizira predhodna priprava vode. Dezinfekcija z UV sevanjem nima rezidualnega učinka, zato tovrstna voda v vodovodnem omrežju ni zaščiten pred morebitnim naknadnim onesnaženjem (NIJZ, 2023).

3.5 Ozoniranje

Ozon se proizvaja iz kisika ali zraka, pri čemer je njegova čistost v največji meri odvisna od pogojev proizvodnje. Pri uporabi za pripravo pitne vode je še posebej pomembno preprečiti prisotnost dušikovih oksidov v ozonu. Za zagotovitev ustrezne čistosti ozona je priporočljivo upoštevati primere dobre proizvodne prakse. To pomeni, da se ozon za pripravo pitne vode proizvaja iz čistega kisika in ne neposredno iz zraka. Ključnega pomena pa je tudi, da sta kisik oziroma zrak, iz katerih se proizvaja ozon, ustrezno suha (Slovenski inštitut za standardizacijo [SIST], 2011). Postopek ozoniranja se uvršča v primarno dezinfekcijo. Ozon (O₃) je močan oksidant, nastane s prehodom suhega zraka ali molekul kisika skozi visokonapetostno električno polje. Nastali zrak z ozonom se iz zaprtih rezervoarjev dozira neposredno v vodo. Ozon reagira z naravnimi organskimi snovmi in poveča njihovo biorazgradljivost. Da bi se pri postopku ozoniranja izognili nezaželeni rasti bakterij v omrežju, se izvede še naknadna obdelava pitne vode na primer z uporabo na primer počasnega peščenega filtra ali aktivnega oglja v granulah z namenom, da se odstranijo biorazgradljive organske snovi, ter uporaba kloriranja zaradi rezidualnega učinka, ker ga ozon nima. Plin ozon je učinkovit tudi pri razgradnji različnih pesticidov in organskih kemikalij (WHO, 2022), vendar pa se po ozoniranju tvorijo številne nove spojine, nekatere med njimi so mutagene in kancerogene (NIJZ, 2024). Stranski produkti oksidacije vključujejo aldehide, ketone in karboksilne kisline. V vodah, ki vsebujejo bromide, lahko nastanejo bromat, morebitna kancerogena snov za ljudi, in v manjši meri bromirani organski stranski produkti (Manasfi, 2021).

4 ZMANJŠANJE ŠTEVILA MIKROORGANIZMOV Z UPORABO POSAMEZNIH POSTOPKOV PRIPRAVE PITNE VODE

V primeru, da je površinska voda slabe kakovosti, je potrebnih več stopenj čiščenja (na primer s koagulacijo, flokulacijo, usedanjem, filtracijo in dezinfekcijo). V Tabeli 1 so predstavljeni postopki, ki se uporabljajo posamično ali kombinirano za zmanjšanje števila mikroorganizmov. Učinkovitost posameznega postopka je odvisna od lastnosti posamezne skupine mikroorganizmov (na primer velikost, narava zaščitnih zunanjih plasti, fizikalno-kemijske lastnosti površine). Poleg lastnosti mikroorganizmov je učinkovitost obdelave lahko odvisna tudi od združevanja različnih postopkov. V napravah za pripravo pitne vode uporaba pristopa večkratnih ovir izboljšuje učinkovitost celotnega čiščenja. Kljub temu lahko prihaja tako do pozitivnih kot tudi negativnih interakcij med posameznimi postopki pristopa večkratnih ovir, vendar pa še ni povsem raziskano kako interakcije vplivajo na splošno kakovost vode in učinkovitost čiščenja. Pri pozitivni interakciji je inaktivacija onesnaževala višja, saj postopka med seboj delujeta sinergistično. Primer pozitivne interakcije je, ko postopek koagulacije in sedimentacije delujeta pod optimalnimi pogoji in je nato delovanje hitrih peščenih filtrov učinkovitejše. Do negativnih interakcij lahko pride, ko napaka v prvem postopku povzroči neuspeh naslednjega (na primer, če se v postopku koagulacije ne odstranijo organske snovi, lahko to povzroči zmanjšano učinkovitost nadaljnjega postopka dezinfekcije) (WHO, 2022).

Tabela 1: Zmanjšanje števila bakterij, virusov in praživali z uporabo posameznih postopkov priprave pitne vode

Postopek priprave	Skupina enteričnih patogenov	Minimalna odstranitev (LRV)	Maksimalna odstranitev (LRV)	Opombe
Predpriprava				
Filtri za grobo obdelavo vode	Bakterija	0.2	2.3	Odvisno od filtrirnega medija, koagulanta
Rezervoarji za shranjevanje	Bakterija	0.7	2.2	Čas zadrževanja > 40 dni
Obrežno infiltriranje	Praživali	1.4	2.3	Čas zadrževanja 160 dni
	Virusi	> 2.1	8.3	Odvisno od potovalne razdalje, vrste tal, hitrosti črpanja, pH, ionske moči
	Bakterija	2	> 6	
	Praživali	> 1	> 2	
Koagulacija, flokulacija in sedimentacija				
Konvencionalno čiščenje	Virusi	0.1	3.4	Odvisno od pogojev koagulacije
	Bakterija	0.2	2	
	Praživali	1	2	
Visoko-stopenjsko čiščenje	Praživali	> 2	2.8	Odvisno od uporabe prekrivnega polimera
Flotacija z raztopljenim zrakom	Praživali	0.6	2.6	Odvisno od odmerka koagulanta

Mehčanje vode z apnom	Virusi	2	4	Odvisno od pH in časa usedanja
	Bakterija	1	4	
	Praživali	0	2	
Filtracija				
Granularna visokohitrostna filtracija	Virusi	0	3.5	Odvisno od filtrirnega medija in predpriprave s postopkom koagulacije; motnost filtrirane vode ≤ 0.3 NTU v 95% vzorcev (noben vzorec ne presega 1 NTU), povezano z zmanjšanjem virusnega bremena za 1-2 log točki in zmanjšanjem <i>Cryptosporidiuma</i> za 3 log
	Bakterija	0.2	4.4	
	Praživali	0.4	3.3	
Počasni peščeni filtri	Virusi	0.25	4	Odvisno od prisotnosti biološke aktivne plasti <i>schmutzdecke</i> , velikosti zrn, pretoka, obratovalnih pogojev (predvsem temperature in pH); motnost filtrirane vode ≤ 1NTU v 95% vzorcev (in noben, ki ne presega 5 NTU), povezano z zmanjšanjem virusnega bremena za 1-2 log točki in zmanjšanjem <i>Cryptosporidiuma</i> za 2.5-3 log
	Bakterija	2	6	
	Praživali	0.3	> 5	
Diatomejski filtri	Virusi	1	1.7	V primeru, da je prisotna filtrirna pogača. Odvisno od kemijske predpriprave. Odvisno od kakovosti medija in hitrosti filtracije.
	Bakterija	0.2	2.3	
	Praživali	3	6.7	
Membranska filtracija: mikrofiltracija, ultrafiltracija, nanofiltracija, reverzna osmoza	Virusi	< 1	> 6.5	Razlikuje se glede na velikost por (mikrofiltri, ultrafiltri, nanofiltri in filtri za reverzno osmozo), celovitost filtrirnega medija in filtrirnih tesnil ter odpornosti na kemične in biološke ("rast") degradacije; maksimalna odstranitev povezana z motnostjo filtrirane vode < 0.1 NTU
	Bakterija	1	>7	
	Praživali	2.3	>7	
Primarna dezinfekcija^{a,b}				
Klor	Virusi	2 (Ct ₉₉ 2–30 min·mg/l; 0–10 °C; pH 7–9)		Prosti klor × kontaktni čas napoveduje učinkovitost; je neučinkovit proti <i>Cryptosporidium</i> oocysts. Motnost in raztopljene snovi, ki imajo veliko afiniteto do klora, zavirajo proces, zato je referenčna vrednost za motnost 0,3 NTU v 95% vzorcev in nobeden vzorec ne sme presegati 1 NTU z namenom, da
	Bakterija	2 (Ct ₉₉ 0.04–0.08 min·mg/l; 5 °C; Ph 6-7)		
	Praživali	2 (Ct ₉₉ 25–245 min·mg/l; 0–25 °C; Ph 7–8; predvsem <i>Giardia</i>)		

			se zagotovi učinkovita dezinfekcija. Kadar to ni izvedljivo, je treba motnost ohranjati pod 5 NTU z višjimi odmerki klora ali kontaktnim časom. Poleg primarne dezinfekcije je potrebno upoštevati tudi koristi ohranjanja prostega rezidualnega klora v distribucijskih sistem vsaj 0.2 mg/l ali več.
Klorov dioksid	Virusi	2 (Ct ₉₉ 2–30 min·mg/l; 0–10 °C; pH 7–9)	
	Bakterija	2 (Ct ₉₉ 0.02–0.3 min·mg/l; 15–25 °C; pH 6.5–7)	
	Praživali	2 (Ct ₉₉ 100 min·mg/l)	
Ozon	Virusi	2 (Ct ₉₉ 0.006–0.2 min·mg/l)	Bolj učinkovit proti bakterijam kot virusih
	Bakterija	2 (Ct ₉₉ 0.02 min·mg/l)	
	Praživali	2 (Ct ₉₉ 0.5–40 min·mg/l)	Odvisno od temperature; <i>Cryptosporidium</i> se zelo razlikuje
UV	Virusi	4 (7–186 mJ/cm ²)	Učinkovitost dezinfekcije je odvisna od odmerka, ki se spreminja glede na intenzivnost, čas izpostavljenosti in UV valovne dolžine. Prekomerna motnost in nekatere raztopljene vrste zavirajo proces, zato mora biti motnost pod 1 NTU, da je dezinfekcija učinkovita. Kadar to ni izvedljivo, je potrebno motnost ohranjati pod 5 NTU z višjimi odmerki.
	Bakterija	4 (0.65–230 mJ/cm ²)	
	Praživali	4 (< 1–60 mJ/cm ²)	

Legenda:

Ct = produkt koncentracije razkužila in čas delovanja; LRV, log10 vrednost zmanjšanja (glej opombo)

^aKemična dezinfekcija: Navedene so vrednosti Ct, ki dosežejo 2 LRV

^bUV-obsevanje: podano je območje odmerka UV, ki doseže 4 LRV

Vir: WHO, 2022

Opomba: LRV = Log Reduction Value/logaritemska stopnja zmanjšanja števila mikroorganizmov.

LRV se uporablja za opis učinkovitosti procesov dezinfekcije ali filtracije v pripravi pitne vode – torej za oceno, koliko mikroorganizmov se odstrani ali deaktivira v določenem postopku (npr. UV-razkuževanje, filtracija, kloriranje).

Gre za logaritemsko (osnova 10) zmanjšanje koncentracije mikroorganizmov.

1 LRV pomeni 10-kratno (ali 90 %) zmanjšanje mikroorganizmov.

2 LRV pomeni 100-kratno (ali 99 %) zmanjšanje.

3 LRV pomeni 1.000-kratno (ali 99,9 %) zmanjšanje.

4 LRV pomeni 10.000-kratno (ali 99,99 %) zmanjšanje.

In tako naprej.

Primer: Če je v vodi začetna koncentracija 1.000.000 mikroorganizmov na liter in po postopku ostane samo 1.000, je bilo doseženo:

$$\text{LRV} = \log_{10}(1.000.000/1.000) = \log_{10}(1000) = 3$$

$$\text{LRV} = \log_{10}(1.000.000/1.000) = \log_{10}(1000) = 3$$

5 UČINKOVITOST POSTOPKOV PRIPRAVE PITNE VODE GLEDE NA SMERNICE SVETOVNE ZDRAVSTVENE ORGANIZACIJE

V nadaljevanju so v tabelah predstavljeni podatki o učinkovitosti postopkov priprave pitne vode za različne vrste kemikalij.

Tabela 2: Učinkovitost postopka za naravno prisotne kemikalije glede na smernice Svetovne zdravstvene organizacije

	Koagulacija	Ionska izmenjava	Obarjanje (apno skupaj z natrijevim karbonatom ali natrijevim hidroksidom)	Aktiviran aluminijev oksid	Aktivno oglje	Ozoniranje	Adsorpcija/Oksidacija	Membrane
Arzen ^a	++ <0.005	+++ <0.005	++ <0.005	+++ <0.005				+++ ^b <0.005
Fluorid	++			+++ <1				+++ <1
Mangan		++ ^c <0.05	+++ <0.02			++ ^d <0.05	+++ ^e <0.02	+++ ^f <0.01
Selen	++	+++ <0.01		+++ <0.01				+++ <0.01
Uran	++	+++ <0.001	++	+++ <0.001				

Legenda:

++ Približno 50-odstotna ali večja odstranitev.

+++ Približno 80-odstotna ali večja odstranitev.

V tabeli so kemikalije, za katere so podatki na voljo. Prazen vnos v tabeli pomeni bodisi, da je postopek neučinkovit bodisi, da ni podatkov o njegovi učinkovitosti. Za najbolj učinkovite postopke so v tabeli ocenjene koncentracije kemikalije (izražena v mg/l), ki naj bi bile dosežene.

^a Mediji na osnovi železovega oksida in železovega hidroksida so zelo učinkoviti za arzenat in arzenit.

^b Membrane za reverzno osmozo so bolj učinkovite za odstranjevanje arzenata kot arzenita. Arzenit se lahko oksidira v arzenat z dezinfekcijskimi sredstvi (na primer klorom).

^c Raztopljeni mangan (II) se lahko odstrani s kationsko izmenjavo v procesu mehčanja vode z zeolitom.

^d Oksidaciji mangana z uporabo ozona mora slediti filtracija.

^e Vključuje manganov zeleni pesek in druge filtrirne medije, prevlečene z manganovimi oksidi (na primer običajni filtrirni mediji s prostim klorom, nanesenim čez filtrirno posteljo).

^f Proces membranske filtracije z nizkim tlakom pred katero se je izvedla oksidacija s kalijevim permanganatom.

Vir: WHO, 2022

Tabela 3: Učinkovitost postopka za kemikalije iz industrijskih virov in gospodinjstev glede na smernice Svetovne zdravstvene organizacije

	Aeracija	Koagulacija	Ionska izmenjava	Obarjanje (apno skupaj z natrijevim karbonatom ali natrijevim hidroksidom).	Aktivno ogljje	Ozoniranje	Napredna oksidacija	Membrane	Biološka obdelava ^a	UV sevanje
Kadmij		+++ <0.002	+++ <0.002	+++ <0.002				+++ <0.002		
Živo srebro		+++ <0.0001		+++ <0.0001	+++ <0.0001			+++ <0.0001		
Benzen	+++ <0.01				+++ <0.01	+++ <0.01	Da ^b			
Ogljikov tetraklorid	+++ <0.001				+++ <0.001			+		
1,2-diklorobenzen	+++ <0.01				+++ <0.01	+++ <0.01		Da ^b		
1,4-diklorobenzen	+++ <0.01				+++ <0.01	+++ <0.01		Da ^b		
1,2-dikloroetan	+++				+++ <0.01		+			
1,2-dikloroeten	+++ <0.01				+++ <0.01	+++ <0.01				
1,4-dioksan					+		+++ 0.05			
Edetska kislina					+++ <0.01					
Etilbenzen	++ <0.001	+			+++ <0.001	+++ <0.001	++	+	++	

Heksaklorobutadien		+++ <0.001			+	
Nitrilotriocetna kislina		++				++
<i>N-nitrosodimetilamin</i>		+		++		+
Pentaklorofenol		+++ <0.0004			++	
Perklorat			Da ^b		Da ^b	Da ^b
Stiren	+++ <0.02	+++ <0.002	++		+	+
Tetrakloroeten	+++ <0.001	+++ <0.001			+	
Toluen	+++ <0.001	+++ <0.001	+++ <0.001	+++ ^C <0.001		++ <0.001
Trikloroeten	+++ <0.02	+++ <0.02	+++ <0.02	+++ ^C <0.02		
Ksilen	+++ <0.005	+++ <0.005		+++ ^C <0.005		++

Legenda:

+ Omejeno odstranjevanje.

++ Približno 50-odstotna ali večja odstranitev.

+++ Približno 80-odstotna ali večja odstranitev.

V tabeli so kemikalije za katere so podatki na voljo. Prazen vnos v tabeli pomeni bodisi, da je postopek neučinkovit bodisi, da ni podatkov o njegovi učinkovitosti. Za najbolj učinkovite postopke so v tabeli ocenjene koncentracije kemikalije (izražena v mg/l), ki naj bi bile dosežene

^a Biološka obdelava vključuje filtracijo s počasnimi peščenimi filtri in obrežno infiltriranje

^b Znana učinkovitost ali verjetna učinkovitost, le-ta pa ni bila kvantificirana.

^c Lahko bi bilo učinkovito, vendar je zaradi stroškovne učinkovitosti smiselno uporabiti druge postopke.

Vir: WHO, 2022

Tabela 4: Učinkovitost postopka za kemikalije, ki nastanejo kot posledica kmetijske dejavnosti, glede na Smernice svetovne zdravstvene organizacije

	Kloriranje	Aeracija	Koagulacija	Ionska izmenjava	Aktivno oglje	Ozoniranje	Napredna oksidacija	Membrane	Biološka obdelava ^a
Nitrat				+++ <5				+++ <5	+++ <5
Nitrit	+++ <0.1							+	+++
Alaklor					+++ <0.001	++	+++ <0.001	+++ <0.001	
Aldikarb					+++ <0.001	+++ <0.001		+++ <0.001	
Aldrin/dieldrin			+		+++ <0.000 02	++ <0.000 02		+++ <0.00002	
Atrazin in njegovi metabolite kloro-s-triazina			+		+++ <0.0001	Da ^b	+++ <0.0001	+++ <0.0001	+++ ^c <0.0001
Karbofuran	+				+++ <0.001	Da ^b		+++ <0.001	
Klordan					+++ <0.0001	++ <0.0001		Da ^b	
Klorotoluron					+++ <0.0001	+++ <0.0001			
Cianazin					+++ <0.0001	+		+++ <0.0001	
2,4-D					+++ <0.001	+++ <0.001		Da ^b	
1,2-dibromo-3-kloropropan		++ <0.001			+++ <0.0001				
1,2-dibromoetan		+++ <0.0001			+++ <0.0001				
1,2-dikloropropan		Da			+++ <0.001	+			

Dimetoat	+++ <0.001		++	++		
Endrin		+	+++ <0.0002		Da ^b	
Hidroksiatrazin					+++ <0.001	Da ^b
Izoproturon	++		+++ <0.0001	+++ <0.0001	+++ <0.0001	+++ <0.0001
Lindan			+++ <0.0001	++	Da ^b	++
Mekokrop			+++ <0.0001	+++ <0.0001		+++ <0.0001
Metoksiklor		++	+++ <0.0001	+++ <0.0001	Da ^b	
Metaloklor			+++ <0.0001	++	Da ^b	++
Simazin			+++ <0.0001	++	+++ <0.0001	+++ <0.0001
2,4,5-T			+++ <0.001			Da ^b
Terbutilazin		+	+++ <0.0001	++		
Trifluralin			+++ <0.0001		+++ ^d <0.0001	

Legenda:

+ Omejeno odstranjevanje.

++ Približno 50-odstotna ali večja odstranitev.

+++ Približno 80-odstotna ali večja odstranitev.

V tabeli so kemikalije za katere so podatki na voljo. Prazen vnos v tabeli pomeni bodisi, da je postopek neučinkovit bodisi, da ni podatkov o njegovi učinkovitosti. Za najbolj učinkovite postopke so v tabeli ocenjene koncentracije kemikalije (izražena v mg/l), ki naj bi bile dosežene.

^a Biološka obdelava vključuje filtracijo s počasnimi peščenimi filtri, biološko denitrifikacijo (za odstranjevanje nitratov) in obrežno infiltriranje.

^b Znana učinkovitost ali verjetna učinkovitost, le-ta pa ni bila kvantificirana.

^c Primerna za obrežno infiltriranje; za filtracijo s počasnimi peščenimi filtri ni učinkovita.

^d Lahko bi bilo učinkovito, vendar je zaradi stroškovne učinkovitosti smiselno uporabiti druge postopke

Vir: WHO, 2022

Tabela 5: Učinkovitost postopka za pesticide glede na Smernice svetovne zdravstvene organizacije

	Kloriranje	Koagulacija	Aktivno oglje	Ozoniranje	Napredna oksidacija	Membrane
DDT in metaboliti		+	+++ <0.0001	+	+++ ^c <0.0001	+++ ^a <0.0001

Legenda:

+ Omejeno odstranjevanje.

+++ Približno 80-odstotna ali večja odstranitev.

Za najbolj učinkovite postopke je v tabeli ocenjena koncentracija kemikalije (izražena v mg/l), ki naj bi bile dosežene.

^a Lahko bi bilo učinkovito, vendar je zaradi stroškovne učinkovitosti smiselno uporabiti druge postopke.

Vir: WHO, 2022

Tabela 6: Učinkovitost postopka za celice cianobakterij in njihovih toksinov glede na Smernice svetovne zdravstvene organizacije

	Kloriranje	Koagulacija	Aktivno oglje	Ozoniranje	Napredna oksidacija	Membrane	Prepustnost sedimenta ^a
Celice cianobakterij		+++				+++	+++
Toksini cianobakterij	+++ ^b		+++	+++	+++	+++ ^c	+++

Legenda:

Kloriranje, ozoniranje ali napredna oksidacija lahko sproščajo cianotoksine.

+++ = 80-odstotna ali večja odstranitev

V tabeli so kemikalije za katere so podatki na voljo. Prazen vnos v tabeli pomeni bodisi, da je postopek neučinkovit bodisi, da ni podatkov o njegovi učinkovitosti.

^a Prepustnost sedimenta vključuje filtracijo s počasnimi peščenimi filtri in obrežno infiltriranje. Pronicanje skozi tla (na primer med umetnim obnavljanjem podtalnice) je lahko tudi učinkovito pri odstranjevanju cianobakterij in njihovih toksinov.

^b Za anatoksine ni učinkovito.

^c Lahko je učinkovito, odvisno pa je predvsem od velikosti por in toksina.

Vir: WHO, 2022

VIRI IN LITERATURA

- Centers for Disease Control and Prevention. (10. 04. 2024). *About Home Water Treatment Systems*. <https://www.cdc.gov/drinking-water/about/about-home-water-treatment-systems.html>
- Environmental Protection Agency. (17. 08. 2024). *Types of Drinking Water Contaminants*. <https://www.epa.gov/ccl/types-drinking-water-contaminants>
- Manasfi, T. (2021). Chapter Four - Ozonation in drinking water treatment: an overview of general and practical aspects, mechanisms, kinetics, and byproduct formation. V T. Manasfi in J.L. Boudenne (ur.), *Comprehensive Analytical Chemistry* (str. 85–116).
- Mertik, S., Hrženjak, V. in Hojnik, D. (2022). *Monitoring pitne vode 2021: letno poročilo o pitni vodi v letu 2021*. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano. <https://nijz.si/wp-content/uploads/2022/12/mpv-letno-porocilo-2021.pdf>
- Nacionalni inštitut za javno zdravje. (19. 07. 2023). *Strokovno mnenje o možnosti uporabe UV svetlobe za dezinfekcijo pitne vode*. <https://nijz.si/wp-content/uploads/2014/05/Strokovno-mnenje-o-moznosti-uporabe-UV-svetlobe-za-dezinfekcijo-pitne-vode.pdf>
- Nacionalni inštitut za javno zdravje. (11. 11. 2024). *Pogosta vprašanja o pitni vodi*. <https://nijz.si/moje-okolje/pitna-voda/pogosta-vprasanja-o-pitni-vodi/>
- Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti v pitni vodi. (2015). *Uradni list RS*, (74/15, 76/17 – ZVISJV-1 in 104/20). <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=PRAV12359>
- Slovenski inštitut za standardizacijo. (2011). *Kemikalije, ki se uporabljajo za pripravo pitne vode – Ozon* (SIST EN 1278:2011).
- Uredba o pitni vodi. (2023). *Uradni list RS*, (61/23). <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED8706>
- Vingerhoeds, M. H., Nijenhuis-de Vries, M. A., Ruepert, N., van der Laan, H., Bredie, W. L. P. in Kremer, S. (2016). Sensory quality of drinking water produced by reverse osmosis membrane filtration followed by remineralisation. *Water research*, 94, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.043>
- World Health Organization. (2004). *Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking Water*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/42796/9241562552.pdf?sequence=1>
- World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda*. Geneva: World Health Organization. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/352532/9789240045064-eng.pdf?sequence=1>