

The background of the slide is a photograph of water with a stone splash in the center, creating concentric ripples. The text is overlaid on this image.

Mere prevencije i postupci uklanjanja cijanotoksina iz vode

Mr Jelica Simeunović
Departman za biologiju i ekologiju, PMF Novi Sad

Negativan efekat cijanotoksina u vodi za piće zasnovan je na toksikaciji usled:

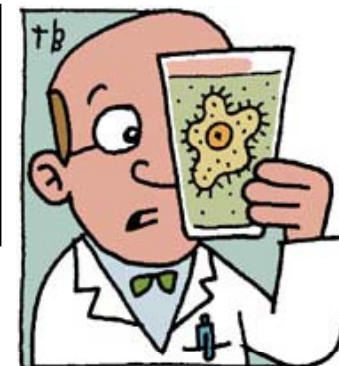
konzumiranja vode sa visokom koncentracijom cijanotoksina

hroničnog trovanja usled stalnog izlaganja niskim dozama toksina duže vreme

Prisustvo cijanotoksina u izvorima za vodosnabdevanje predstavlja ozbiljan problem za fabrike voda, s obzirom da mnoge poznate procedure i tretmani u pripremi vode za piće ne mogu dovoljno efikasno da uklone ili smanje koncentracije toksina na prihvatljiv nivo.



Zdravstveni rizik može biti smanjen



**prevencijom cvetanja u
vodenim ekosistemima
namenjenim za
vodosnabdevanje**

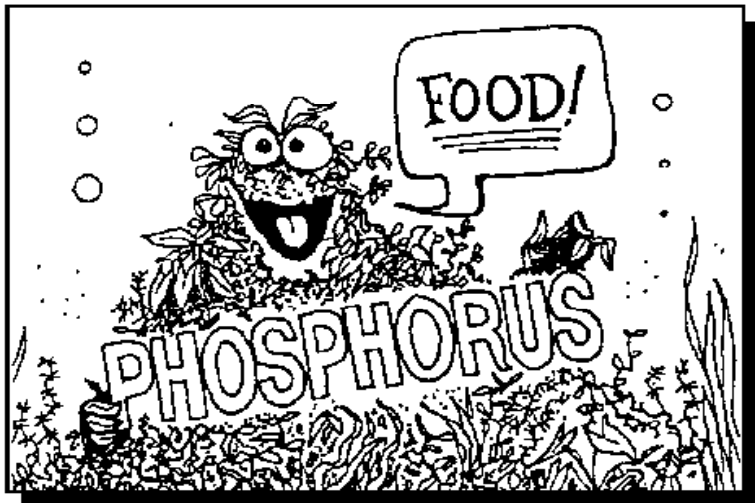


**uklanjanjem ćelija
cijanobakterija
(intracelularnih toksina)**

**uklanjanjem ekstracelularnih
cijanotoksina
tokom
tretmana pripreme vode za piće**



- Mnogi ekološki faktori poput koncentracije azota, fosfora, mikronutrijenata, temperature, pH vrednosti, svetlosti, hidrološki i meteorološki faktori imaju presudan uticaja na pojavu prenamnožavanja cijanobakterija.
- **Fosfor** je ključni faktor procesa eutrofizacije i koncentracije fosfora veće od 0,1 mg/l dovoljne su da izazovu pojavu cvetanja cijanobakterija u vodenim ekosistemima.
- **Niska koncentracija azota i povećana koncentracija fosfora favorizuje dominaciju cijanobakterijskih vrsta u vodi.**



- **Prevenција pojave cvetanja cijanobakterija i algi se u prvom redu sastoji u smanjenju, odnosno kontroli unošenja neorganskih materija pre svega fosfora i azota u vodene ekosisteme koji se koriste za vodosnabdevanje.**
- **Prevenција i moguća sanacija cvetanja cijanobakterija u akvatičnim sredinama svodi se na nekoliko važnih koraka:**
 - **1. adekvatno prečišćavanje otpadnih voda;**
 - **2. kontrolisana upotreba fertilizatora u poljoprivredi;**
 - **3. smanjenje spiranja vode sa poljoprivrednih površina;**
 - **4. zaštita od erozije;**
 - **5. zaštita vodoizvorišta i primena adekvatnih tretmana u pripremi vode za piće;**
 - **6. drenaža sedimenta i vezivanje fosfora;**
 - **7. promene hidrofizičkih karakteristika i pojačavanje protoka vode;**
 - **8. biomanipulacija;**
 - **9. upotreba algicida.**



- **Intaktne cijanobakterijske ćelije koje dospevaju u početni postupak procesa pripreme vode, mogu biti u velikom broju fizički uklonjene:**

koagulacijom,

flokulacijom,

sedimentacijom,

filtracijom,

međutim ukoliko je dodat oksidant, one bivaju lizirane što dovodi do oslobađanja toksina.

- Rastvoreni cijanotoksini (ekstracelularni toksini) ne mogu biti uklonjeni pomenutim fizičkim metodama.
- Svi cijanotoksini su rastvorljivi u vodi, pa prema tome mere remedijacije moraju uključiti **hemijske tretmane** u redukciji toksičnosti i kompletnom uklanjanju toksina iz vode za piće.



Postupci i tretmani uklanjanja cijanotoksina iz vode:

I FIZIČKI

Koagulacija

Sedimentacija

Adsorpcija

UV zračenje

Flokulacija

Filtracija

II HEMIJSKI

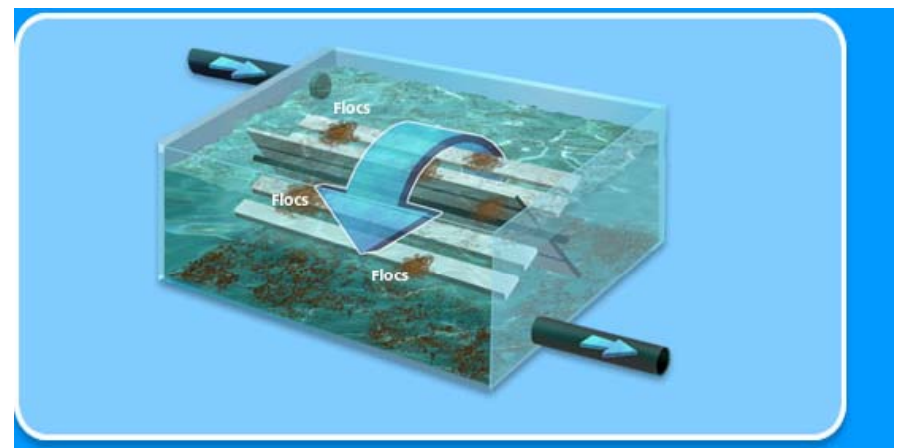
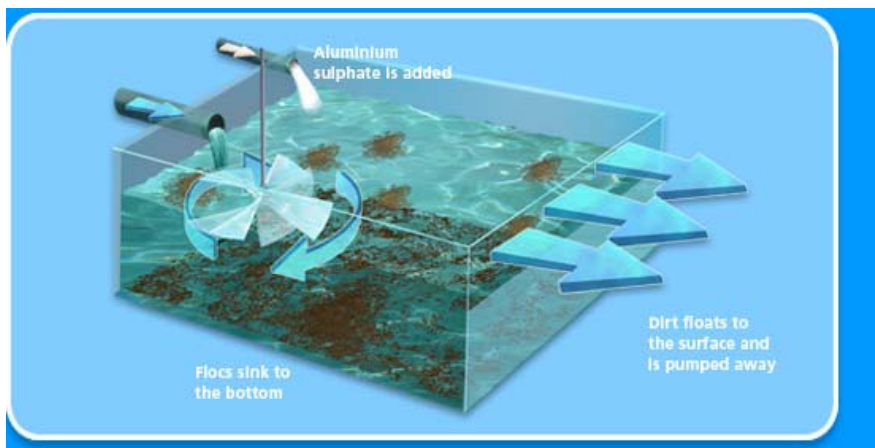
Tretman
alagicidima

Ozonizacija

Hlorinacija

Koagulacija i flokulacija

- Koagulacija i flokulaciju mogu biti efikasne metode za eliminaciju cijanobakterijskih ćelija iz vode, ali ne i u vodi rastvorenih cijanotoksina (ekstracelularnih toksina).
- Efikasnost uklanjanja neoštećenih ćelija cijanobakterija zavisi od optimizacije doziranja supstanci i reakcije sredine, tj. pH procesa koagulacije.
- Koagulacija može dovesti do problema kao što je liziranje ćelija cijanobakterija i oslobađanja toksina.
- Najčešće se koriste soli Al, Fe i sintetički polimeri.



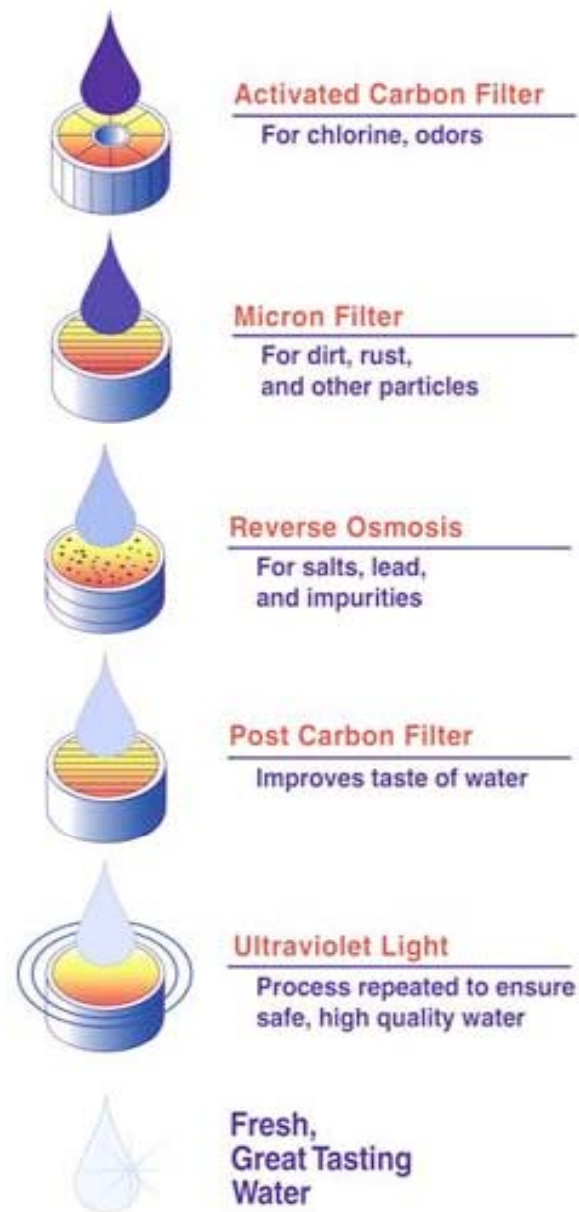
Adsorbcija na aktivnom uglju

- istraživanja sa aktivnim ugljem su pokazala da su i aktivni ugalj u prahu (PAC) i granulirani aktivni ugalj (GAC) dovoljno efikasni i brzi (kontaktno vreme od 30 min je dovoljno) u eliminaciji iz vode u ćeliji vezanih cijanotoksina (intracelularnih toksina).
-
- 20 mg/PAC/L  90% efikasnost
- 30-50 mg/GAC/L  90% efikasnost
- U slučaju PAC, doziranje je veoma važan parametar , dok je u slučaju korišćenja GAC, važan izbor vrste uglja (mrki, drveni > treset).
- Problem pri korišćenju aktivnog uglja u tretmanu pripreme vode za piće je formiranje biofilma, koji značajno može da umani efikasnost adsorbcije toksina.

Procesi na membranama-filtracija

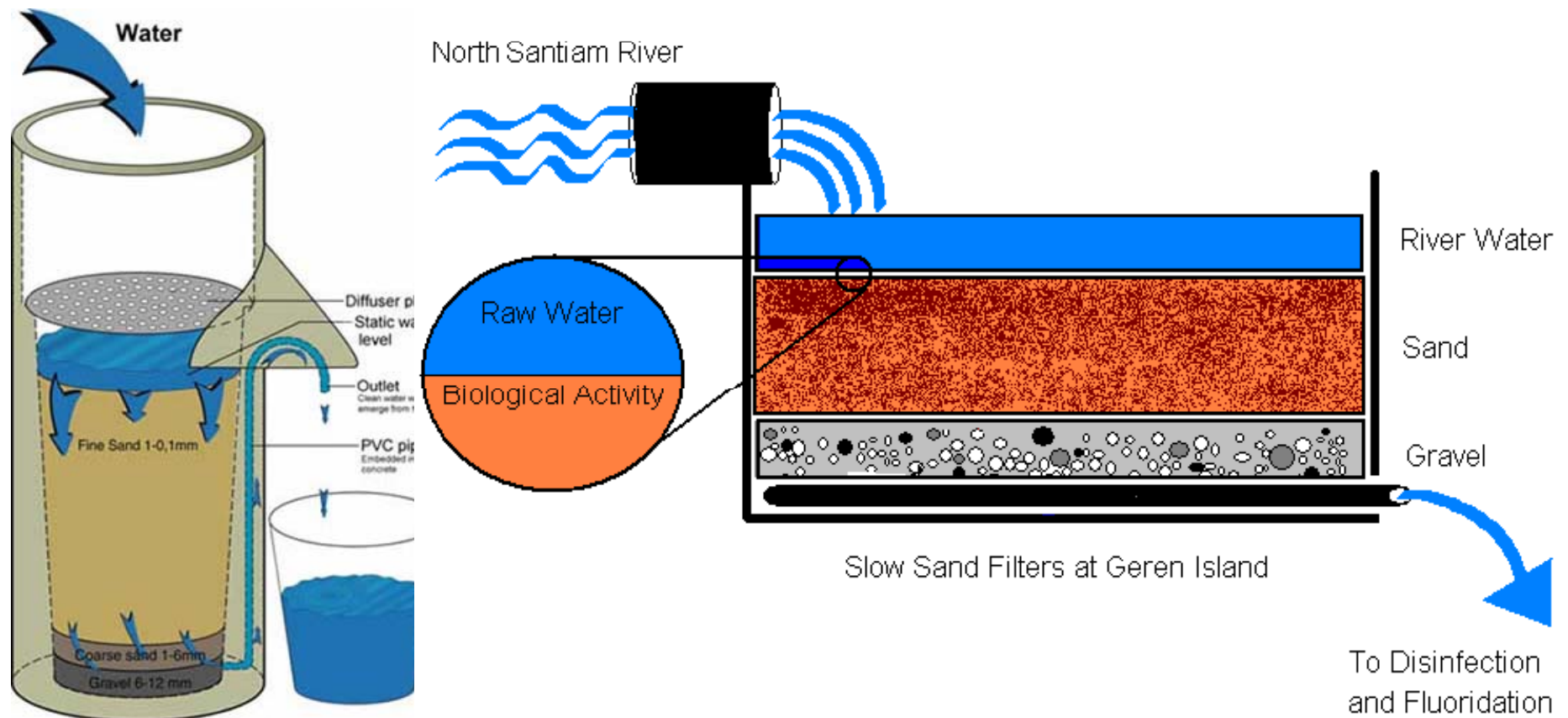
- **Mikrofiltracija (MF)** i **ultrafiltracija (UF)** mogu biti veoma efikasne ($> 98\%$) u eliminaciji čitavih ćelija toksičnih cijanobakterija-eliminacija intracelularnih toksina.
- Primenom ultrafiltracije moguće je redukovati nivo cijanotoksina u filtratu ali se oni ne mogu potpuno ukloniti. Uklanjanje bi bilo moguće samo primenom membrana veoma malog poroziteta (**membrane za nanofiltraciju**) koje mogu da zaustave substance malih molekulskih težina.
- Negativna pojava koja se može javiti je liza ćelija

↓
**povećana koncentracija rastvorenih
cijanotoksina u vodi**



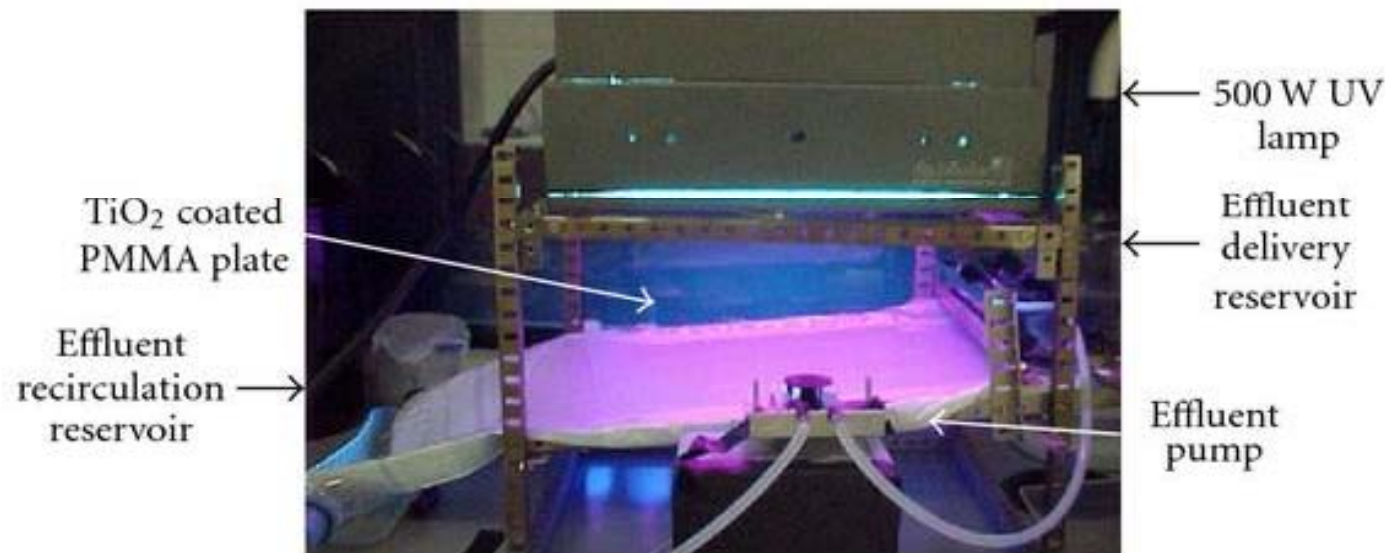
Spora peščana filtracija

- Efikasnost u uklanjanju intaktnih ćelija cijanobakterija može biti oko 90%.
- Problem blokiranja filtracije u slučaju cvetanja vode



Svetlost

- Cijanotoksini su prilično stabilni u uslovima prirodne svetlosti.
- Ultraljubičasta svetlost pri visokim dozama zračenja (20000 mWs/cm²) izaziva degradaciju toksina – nepraktičan metod za uklanjanje toksina.
- Fotokatalitički proces u kojem se primenjuju TiO₂ kao katalizator i UV zračenje može da izazive dekompoziciju hepatotoksina mikrocistina sa vremenom poluraspada manjim od 5 min.

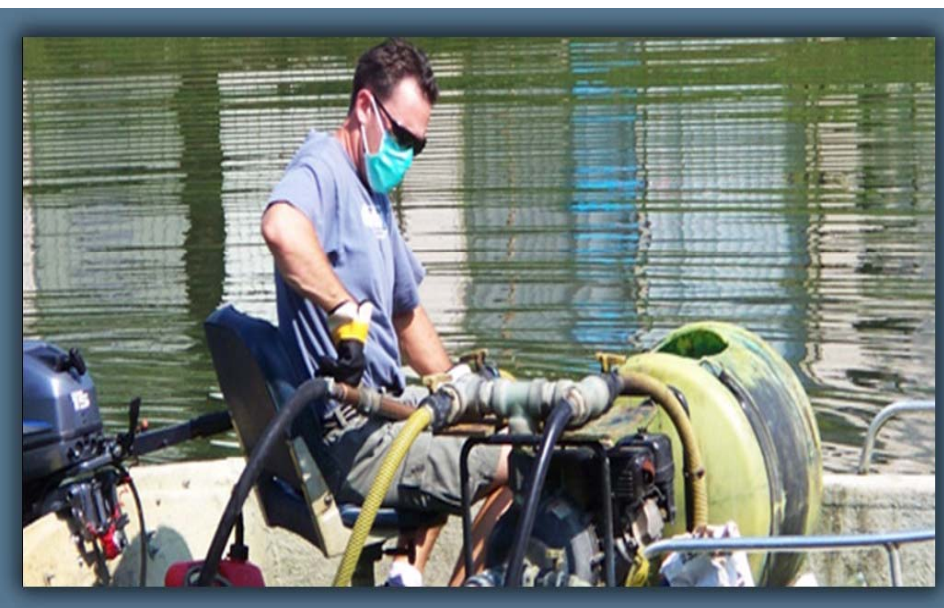
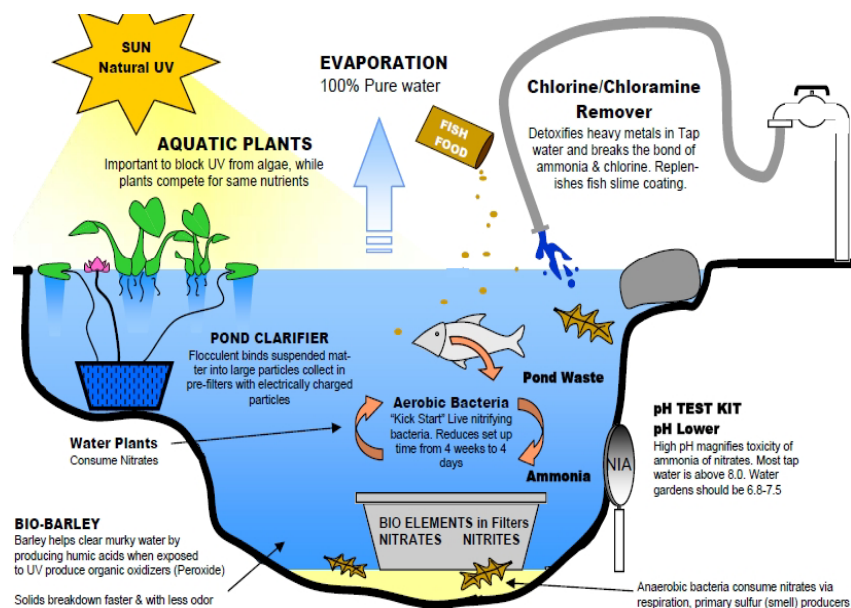


Korišćenje algicida

- Koriste se u rezervoarima za vodosnabdevanje za kontrolu rasta algi i u cilju sprečavanja cvetanja i pojave toksina.
- Najčešće korišćeni algicidi su na bazi Cu (bakar sulfat, bakar citrat, bakar-enolat i dr.).
- Različite vrste su različito osetljive na algicid:
koncentracija jona Cu^{2+} u opsegu $0,063\text{--}6,3 \cdot 10^{-7}$ mg/L toksična za cijanobakterije, zelene i mnoge druge alge.
- **Ukoliko se algicid koristi mora biti primenjen u početnim, ranim fazama razvoja cijanobakterija i algi, kada je gustina ćelija mala u cilju sprečavanja lize ćelija i oslobađanja toksina.**



- Upotreba algicida u kontroli toksičnih cijanobakterija zahteva izolaciju rezervoara za period koji omogućuje degradaciju toksina i produkovanih supstanci neprijatnog mirisa.
- Upotreba algicida zahteva obavezan monitoring cijanotoksina nakon primenjenog tretmana.



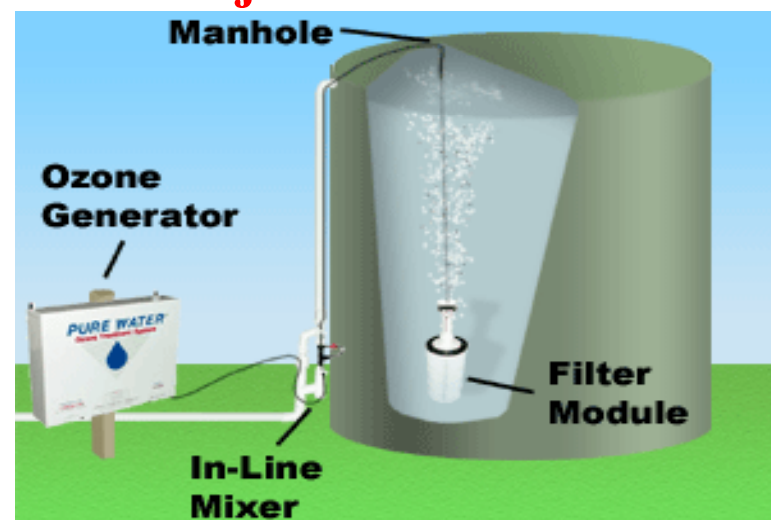
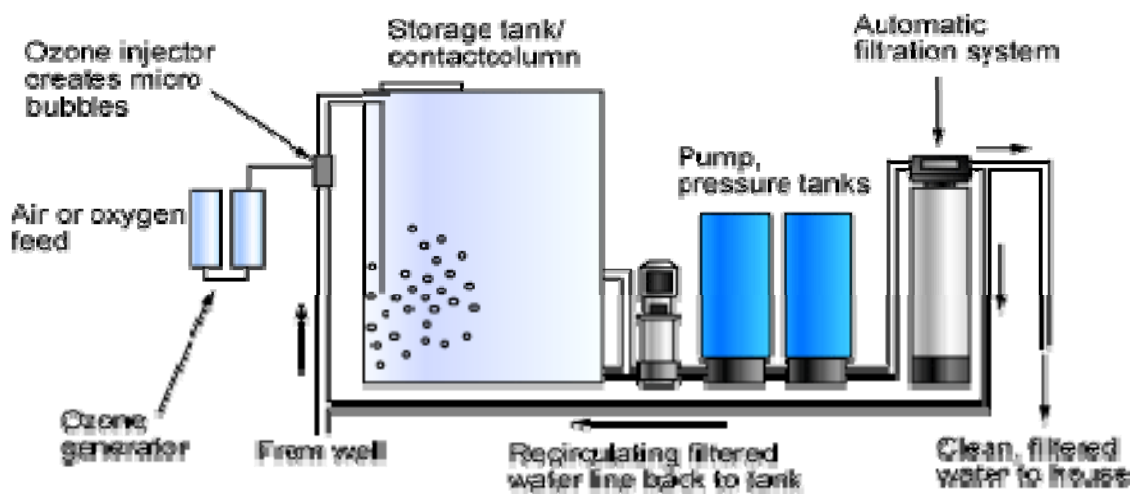
Hlorinacija

- Hlorinacija nije dovoljno efikasan proces za uništavanje cijanotoksina rastvorenih u vodi.
- Efikasnost hlorinacije jako zavisi od jedinjenja hlora i koncentracije koja se koristi.
- Vodeni rastvor hlora i kalcijum-hipohlorita pri koncentraciji ≥ 1 mg/L uklanja više od 90% hepatotoksina, dok natrijum hipohlorit pri istoj koncentraciji ostvaruje najviše 40-80% efikasnosti.
- Efekat zavisi i od vrste cijanotoksina (neurotoksini ne mogu biti uklonjeni pomenutim dozama).



Ozonizacija

- Ispitivanja su pokazala da se ozonizacijom postiže smanjenje koncentracije cijanotoksina u vodi za relativno kratko vreme.
- Efikasnost može biti $>98\%$ za rastvorene cijanotoksine.
- Efikasnost zavisi od primenjene doze, vremena delovanja i pH vrednosti.
- Problem može predstavljati prisustvo rastvorenog organskog ugljenika (DOC oko 8 mg/L, zahteva dozu ozona > 1 mg/L).
- **Postupak se preporučuje u pripremi vode za piće sa aspekta eliminacije toksina jer predstavlja najefikasniji proces u destrukciji intracelularnih i ekstracelularnih cijanotoksina.**



	Očekivano uklanjanje toksina ¹		
Tretmanske metode	Vezani u ćeliji	Ekstracelularni	Komentar
Koagulacija/sedimentacija/	>80%	<10%	Uklanjanje je moguće za toksine u neoštećenim ćelijama
Precipitacija /sedimentacija	>90%	<10%	Uklanjanje je moguće ostvariti za toksine u ćelijama, ukoliko ćelije nisu oštećene
Brza filtracija	>60%	<10%	Uklanjanje je moguće ostvariti za toksine u ćelijama, ukoliko ćelije nisu oštećene
Spora peščana filtracija	~90%	Verovatno značajno	Uklanjanje je efikasno za toksine u ćelijama; efikasnost zavisi od formiranja biofilma
Koagulacija/sedimentacija/ filtracija	>90%	<10%	Uklanjanje je moguće ostvariti za toksine u ćelijama, ukoliko ćelije nisu oštećene
Flotacija vazduhom	>90%	Nije poznato, verovatno malo	Uklanjanje je moguće ostvariti za toksine u ćelijama, ukoliko ćelije nisu oštećene
Adsorbcija-aktivni ugalj u prahu (PAC)	Neznatno	>85%	Aдекватne doze PAC (>20 mg/l) pokazuju efikasnost,
Adsorbcija-granulirani aktivni ugalj (GAC)	>60%	>80%	Kompeticija u slučaju rastvorene organske materije smanjuje kapacitet procesa
Biološki granulirani aktivni ugalj	>60%	>90%	Kompeticija u slučaju rastvorenog organskog ugljenika smanjuje kapacitet procesa,
UV zračenje		Neznatan	Pogodno za degradaciju mikrocistin-LR i anatoksin-a, ali samo sa izuzetno visokim dozama
Membranski procesi	Visoka efikasnost (>99%)	Nepoznato	Zavisi od tipa membrane

	Očekivano uklanjanje toksina ¹		
Tretmanske metode	Vezani u ćeliji	Ekstracelularni	Komentar
Preozonizacija	Veoma efikasna pri pojačanoj koagulaciji	Potencijal povećan	Koristan proces pri niskim dozama u kombinaciji sa koagulacijom ćelija; rizik od oslobađanja toksina zahteva pažljivo praćenje i moguće dodatne tretmane
Prehlorinacija	Veoma efikasna pri pojačanoj koagulaciji	Izaziva liziranje ćelija i oslobađanje metabolita	Koristan proces u kombinaciji sa koagulacijom ćelija ali je pogodan samo ukoliko dodatni tretmani mogu da uklone rastvorene toksine i druge oslobođene metabolite;
Ozonizacija	-	>98%	Brz i efikasan proces koji deluje na rastvorene toksine ako je zahtev za rastvorenim organskim ugljenikom zadovoljen
Slobodni hlor (postfiltracija)	-	>80%	Efikasan kada je slobodni hlor >0.5 mg/l posle >30 minuta pri pH<8 i nizak nivo rastvorenog organskog ugljenika; efikasnost je neznatna kada je niska doza ili je pH>8
Hloramin	-	Neznatan	Neefikasan.
Hlor- dioksid	-	Neznatan	Nema efekta sa dozama koje se koriste u procesima pripreme vode za piće
Kalijum- permanganat	-	>95%	Efikasan za rastvoren toksin ali samo u odsustvu čitavih ćelija
Vodonik- peroksid	-	Neznatan	Nije efikasan

A photograph of a vast, deep blue ocean under a clear sky. The water is textured with small waves, and the horizon is visible in the distance. The text 'HVALA NA PAŽNJI!' is overlaid in the center in a bold, yellow, serif font.

HVALA NA PAŽNJI!