



UKLANJANJE ARSENA U TRETMANU VODE ZA PIĆE

Dr Jasmina Agbaba

ARSEN

- U prirodnim podzemnim vodama arsen se javlja u dva valentna stanja, kao trovalentan i kao petovalentan.
- Valentno stanje i oblici arsena u vodi zavise od više faktora: *redoks potencijal i pH vrednost vode, sadržaj organskih materija, veličina čestica, biološka aktivnost, karakteristike samog akvifera i dr.*
- U površinskim vodama bogatim kiseonikom najčešće je prisutan petovalentni arsen (As(V), arsenat), dok je u redukovanim uslovima sa smanjenim redukcionim potencijalom (duboke podzemne vode i sedimenti), uglavnom prisutan trovalentni arsen (As(III), arsenit), koji je znatno mobilniji i toksičniji.



Narandžasta boja potiče od precipitata gvožđe oksihidroksida koji nastaje prilikom izlivanja podzemne vode u reku. Voda sadrži visoku koncentraciju gvožđa, arsena i mangana.

Neoksidujući uslovi

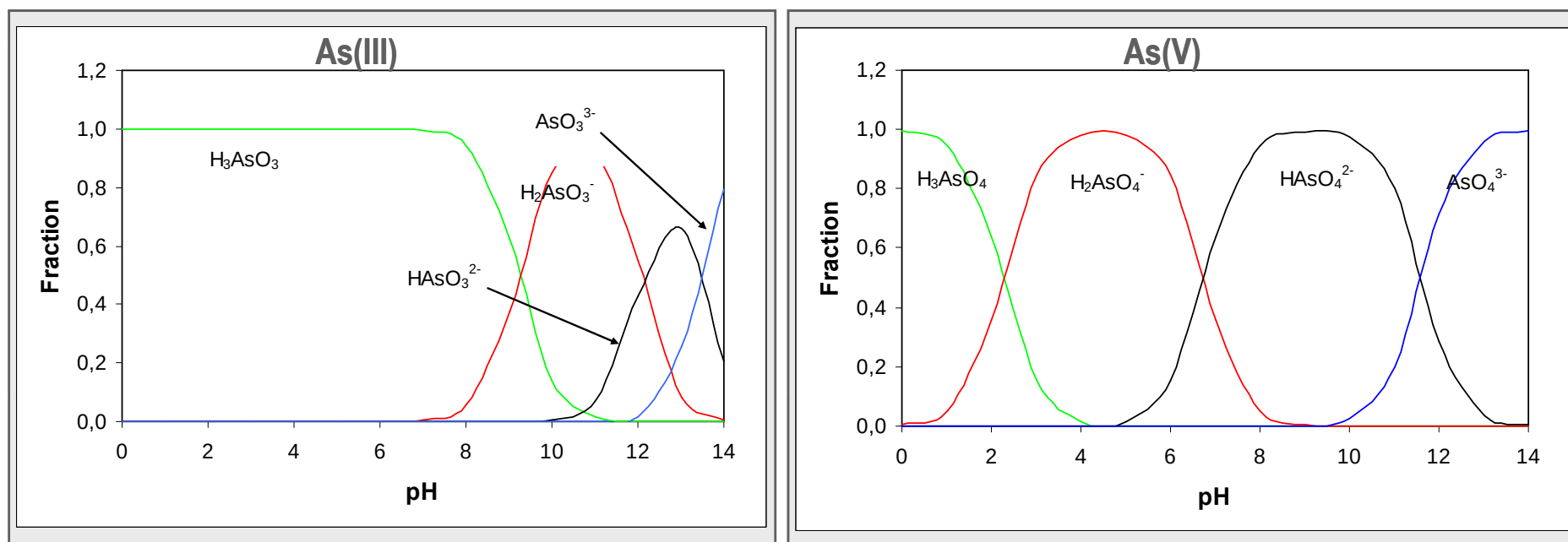
As(III) je stabilan u obliku nejonizovane arsenitne kiseline (H_3AsO_3) i arsenitnog anjona (H_2AsO_3^-).

Oksidujući uslovi

Dominira As(V) - u anjonskim oblicima H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} ili AsO_4^{3-} (pH 6-10).

Organometalne forme As

Molarna frakcija ukupnog rastvorenog As(III) i As(V) u funkciji pH vode na 25°C





- Dosadašnja eksperimentalna istraživanja na životinjama i epidemiološke studije na humanoj populaciji su dokazala toksična i kancerogena svojstva arsena.
- Prema klasifikaciji IARC neorganski trovalentni arsen je svrstan u **grupu I (dokazano kancerogen za čoveka)**, dok su petovalentni neorganski arsen i organski arsen, kao i njihova jedinjenja svrstani u toksične supstancije.
- Pri ograničenom broju *in vivo* i *in vitro* testova utvrđeno je i mutageno dejstvo arsena.

- Hronično izlaganje As - najčešći krajnji ishod su tumor i gangrena.
- WHO(1993), EU Directive (1998), USEPA(2001):

Maksimalno dozvoljena koncentracija arsena 10 $\mu\text{g As/l}$.



Postupci za smanjenje sadržaja arsena u vodi za piće

Najčešće primenjivane tehnologije za uklanjanje arsena iz vode

Tehnologija	Kratak opis
Precipitativni procesi	Koagulacija, poboljšana koagulacija i omekšavanje vode krečom. Metalni hidroksidi (soli gvožđa, aluminijum oksid i kalcijum oksid) primenjuju se kao precipitanti. Može biti potrebna pre-oksidacija As(III) u As(V). Faktori koji utiču na performanse procesa su tip i doza precipitanta, oksidaciono stanje As, pH i prisustvo kompetirajućih komponenti.
Membranski procesi	Membrane za nano-filtraciju (NF) i reverznu osmozu (RO) se jedine mogu primenjivati za obradu vode bez predtretmana (zbog male molekulske mase oblika arsena). Očekivano je generisanje velike zapremine reziduala. Faktori koji mogu uticati na performanse uklanjanja arsena su: prisustvo čvrstih čestica i koloida, oksidaciono stanje As, pH i temperatura vode. Takođe se uspešno primenjuju precipitativni procesi pre mikro-filtracije u ultra-filtracije.
Adsorpcioni procesi	Tipični adsorbenti su aktivni aluminijum-oksidi (AA), aktivni ugalj (AC) i adsorbenti na bazi gvožđa (granularni feri hidroksid-GFH, granularni feri oksid – GFO i pesak obložen gvožđe-oksdom (IOCS)). Za svaki adsorbent važe drugačiji uslovi za optimalno uklanjanje As. Trenutno, najefektivniji je GFH. Faktori koji utiču na efikasnost uklanjanja As su: pH, oksidaciono stanje As, kompetirajući joni i EBCT.
Jonska izmena	Obično se primenjuju jako-bazne smole . Značajni faktori su pH, kompetirajući joni, tip smole, alkalitet i oksidaciono stanje As.



Postupci za smanjenje sadržaja arsena u vodi za piće

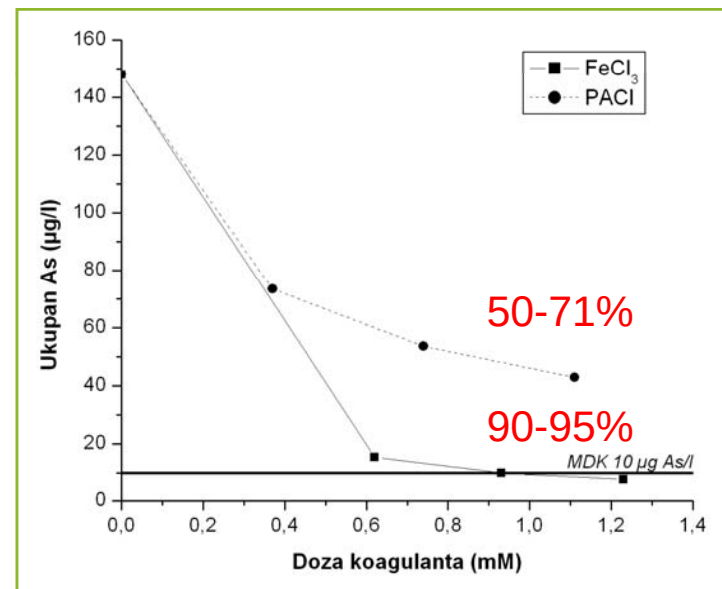
USEPA (2000b) je identifikovala sedam tehnologija kao najbolje dostupne (BAT) za uklanjanje arsena:

Tretman/tehnologija	Maksimum uklanjanja* (%)
Jonska izmena (sulfati 50 mg/l)	95
Aktivni aluminijum oksid	95
Reverzna osmoza	>95
Modifikovana koagulacija/filtracija	95
Modifikovano omekšavanje krečom (pH >10,5)	90
Reverzna elektrodijaliza	85
Oksidacija/filtracija (Fe:As=20:1)	80
*Vrednosti procenata uklanjanja odnose se na uklanjanje As(V). Preoksidacija može biti potrebna za konvertovanje As(III) u As(V).	

Kombinacija poboljšane koagulacije i mikrofiltracije (MF) nije uključena u ove BAT zbog nedovoljnog broja podataka dobijenih sa pilot postrojenja, iako je EPA uzela u obzir činjenicu da se ovom tehnologijom zadovoljavaju kriterijumi za klasifikaciju BAT.

Koagulacija i flokulacija i drugi precipitacioni procesi

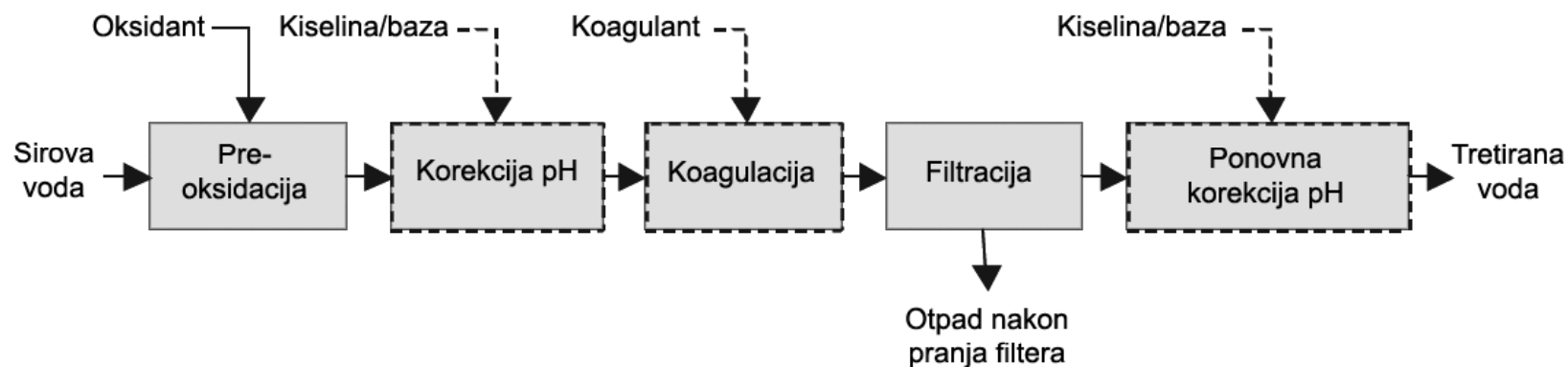
- Koagulacija primenom koagulanata na bazi aluminijuma i gvožđa praćena dezinfekcijom vode hlorisanjem, jedna je od najčešće primenjivanih metoda tretmana vode.
- Kao koagulanti primenjuju se različiti agensi kao što su soli aluminijuma, gvožđa, kreč, gvožđe hidroksid i dr.
- Modifikacija:
 - "flokulacija u cevi" nakon koje sledi direktna filtracija vode preko peščanih filtera - efikasnost uklanjanja arsena **>99%**.



Promena sadržaja arsena u koagulisanjoj vodi u zavisnosti od primenjene doze i tipa koagulanta

pH vrednost vode i prisustvo različitih konstituenata vode (kao npr. fosfata i silikata), dva su značajna parametra od kojih zavisi efikasnost procesa koagulacije/flokulacije.

- Za svaki koagulant postoji optimum u pogledu pH vrednosti pri kojima se postiže maksimalno uklanjanje arsena.
- Uklanjanje arsena solima aluminijuma: **pH 6-7**
 - *kada proces obuhvata i predtretman vode hlorom - povećanjem pH u opsegu pH 7-9 efikasnost uklanjanja arsena opada sa 90% na 20%.*



Dijagram toka precipitacionog/filtracionog procesa

- Efikasnost uklanjanja As(V) generalno veća i stabilnija u odnosu na efikasnost uklanjanja As(III).
- Sugerije se oksidacija As(III) u As(V) dodatkom hlora ili mangan dioksida u vidu predtretmana.

- Hlor i permanganat brzo oksiduju As(III) do As(V) u opsegu pH 6,3-8,3.
- Hlor-dioksid ima ograničeno dejstvo u oksidaciji As(III), a monohloramin nije efikasan.
- Prisustvo rastvorenog mangana, rastvorenog gvožđa, sulfida i ukupnog organskog ugljenika (TOC) usporava oksidaciju, ali se potpuna oksidacija ipak postiže za manje od jednog minuta.

Uklanjanje arsena koagulacijom/precipitacijom

Jedinjenja	Eksperimentalni uslovi	Uklanjanje (%)
Na bazi aluminijuma	sa Cl ₂ (pH=7) bez Cl ₂	90 10
Gvožđe sulfat	sa Cl ₂ (pH<8,5) bez Cl ₂	90 50-60
Za omekšavanje krečom	sa Cl ₂ (pH>11) bez Cl ₂ (pH>11)	90 80
Gvožđe hlorid	sa Cl ₂ i Fe/As odnos > 30	90-100
Na bazi aluminijuma	sa Cl ₂ (6,8<pH<8,5)	67-88
Polialuminijum hlorid	sa Cl ₂	87-88

Uklanjanje arsena omekšavanjem vode krečom

- ova tehnologija se **smatra neekonomičnom za uklanjanje samo As** i njena primena je opravdana samo u slučaju kada je potrebno i smanjenje tvrdoće vode odnosno, uklanjanje kalcijuma i magnezijuma.

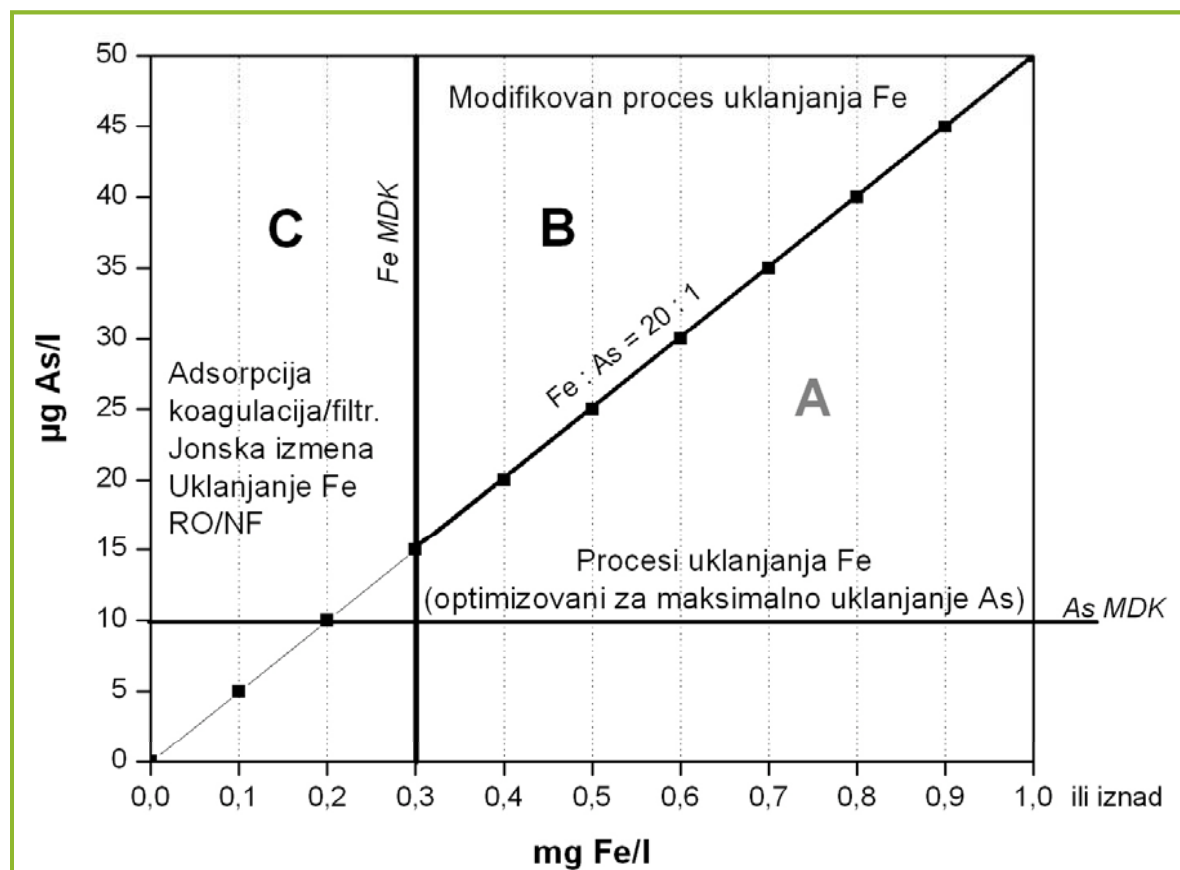
Kombinovano uklanjanje arsena, gvožđa i mangana

- **zasniva se na oksidaciji njihovih rastvorenih oblika u više valentno stanje koje će graditi gvožđe i/ili mangan precipitate.**
- Na efikasnost uklanjanja arsena utiče: izbor medija za naknadnu filtraciju vode, kao i pH vrednost vode, prisustvo kompetitivnih liganada (kao što su silikati, fosfati i dr), koncentracija arsena.
- “greensand” zeleni pesak sa nanešenim mangan dioksidom - moguće je ukloniti i do 90% As.
 - Međutim, kada se za formiranje sloja mangan dioksida na pesku primenjuje permanganat, može doći do oksidacije adsorbovanih katjona do njihovih nerastvornih formi koji onda zaostaju na česticama peska i nakon njegovog ispiranja.



- Koncentracija gvožđa u vodi može biti jedan od osnovnih faktora pri odabiru tehnologije - zbog snažnog afiniteta gvožđa da adsorbuje arsen na površini.

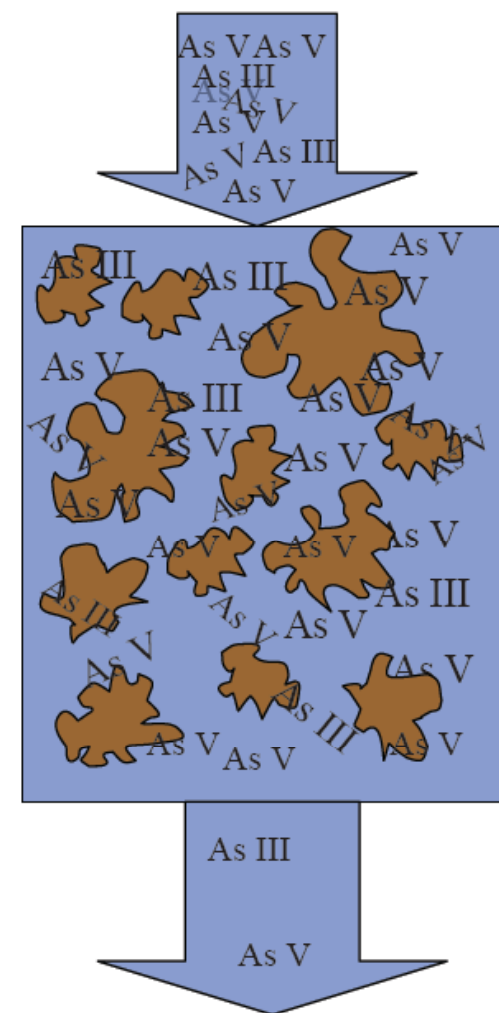
- A** - Koncentracija gvožđa ($>0,3$ mg/l), visok odnos Fe:As ($>20:1$).
- B** - Koncentracija gvožđa ($>0,3$ mg/l), nizak odnos Fe:As ($<20:1$).
- C** - Koncentracija gvožđa ($<0,3$ mg/l).



“Vodič” za odabir tehnologije uklanjanja arsena zasnovan na odnosu koncentracija arsena i gvožđa u sirovoj vodi (Sorg, 2002)

Sorpcioni procesi (adsorpcija i jonska izmena)

- Za uklanjanje arsena, primenjuju se konvencionalni adsorbensi kao što su:
 - aktivni ugalj (AC),
 - zeolit, hidratizani oksidi metala (npr. aktivni aluminijum trioksid, hidratizani gvožđe oksid i dr.)
 - jonoizmenjivačke smole
 - kompleksi kaolinita i huminskih kiselina,
 - porozne smole ispunjene kristalnim hidratizanim cirkonijum oksidom i dr.





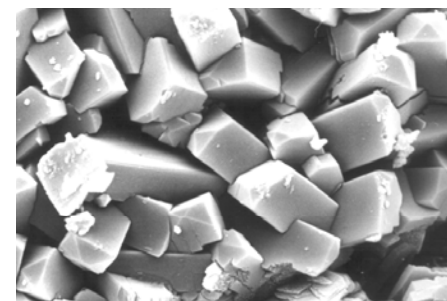
■ Aktivni ugalj

- poseduje visok sorpcioni kapacitet ka arsenu (2860 mg/g).
- Predtretmanom uglja (npr. rastvorom Cu(II), impregnacijom sa Fe oksidom) povećava njegov kapacitet za uklanjanje arsena.



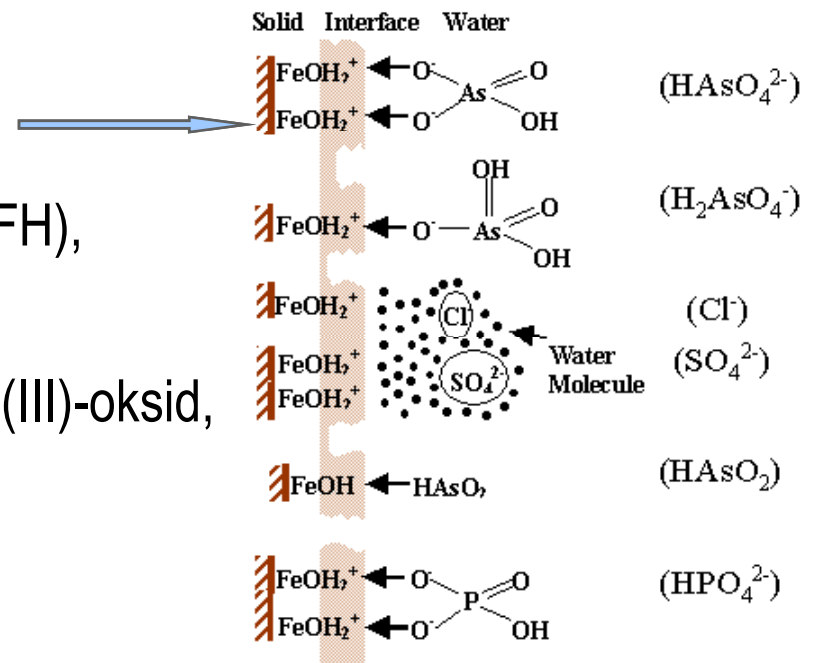
■ Zeolit (hidratisani aluminosilikatni mineral)

- Jonoizmenjivačka i adsorpciona svojstva - primenjuje se za selektivno uklanjanje arsena, ali i drugih katjona iz vodenih rastvora.
- Prirodni minerali zeolita ispoljavaju snažan afinitet ka As(III) i As(V)
 - *Filterom sa karbazitom moguće je ukloniti do 1000 µg/l arsena obradom više od 235 BV vode.*
- Adsorpciju arsena na prirodnom zeolitu moguće je poboljšati organskom modifikacijom strukture zeolita.



■ Sorbenti na bazi gvožđa:

- hidratizirani gvožđe(III)-oksid (HFO),
- granulovani gvožđe(III)-hidroksid (GFH),
- gvožđe oksihidroksid,
- silicijum(IV)-oksid koji sadrži gvožđe(III)-oksid,
- pesak obložen gvožđe oksidom,
- gvožđe(III)-hlorid i dr.



- Granulovani gvožđe hidroksid (GFH)
 - u reaktoru sa nepokretnim slojem - jednostavno vođenje procesa bez potrebe za doziranjem hemikalija ili korekcije pH vrednosti vode,
 - omogućava najveću operativnu pouzdanost uz minimalno održavanje i monitoring procesa.



SORB 33™

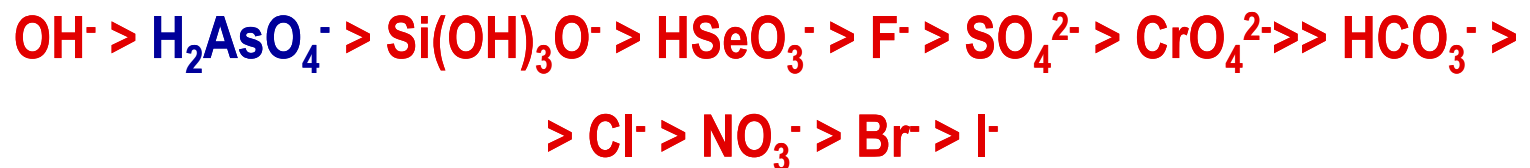
- filtracija vode pod pritiskom kroz kolonu sa GFO Bayoxide® E33 ispunom
- jedini faktor koji je nephodno pratiti tokom rada ovog sistema je pad pritiska u adsorpcionoj koloni
- pri visokim pH vrednostima, visoke koncentracije vanadijuma, fosfata i silicijuma mogu smanjiti adsorpciju arsena i usloviti čestu promenu adsorpcione ispune.



Postrojenje i pilot postrojenje za tretman vode za piće sa reaktorom sa nepokretnim slojem granulisanog medija Bayoxide E33

■ Aktivni aluminijum trioksid (AA)

- Porozni, granularni materijal sa karakteristikama jonoizmenjivača,
- Efikasnost uklanjanja As(III) i As(V) je >95%
- Uslovljena je :
 - *preoksidacijom As(III) u As(V),*
 - *prisustvom konstituenata vode koji interferiraju adsorpcioni proces*
 - *potrebom za korekcijom pH vrednosti vode na pH<6,5 (kapacitet uklanjanja As je najveći pri opsegu pH 5,5-6,0).*
- Mnogi anjoni stupaju u kompeticiju sa jonima arsena za sorpciona mesta na AA - za opseg pH 5,5-8,5 selektivna sekvenca određenih anjona je:



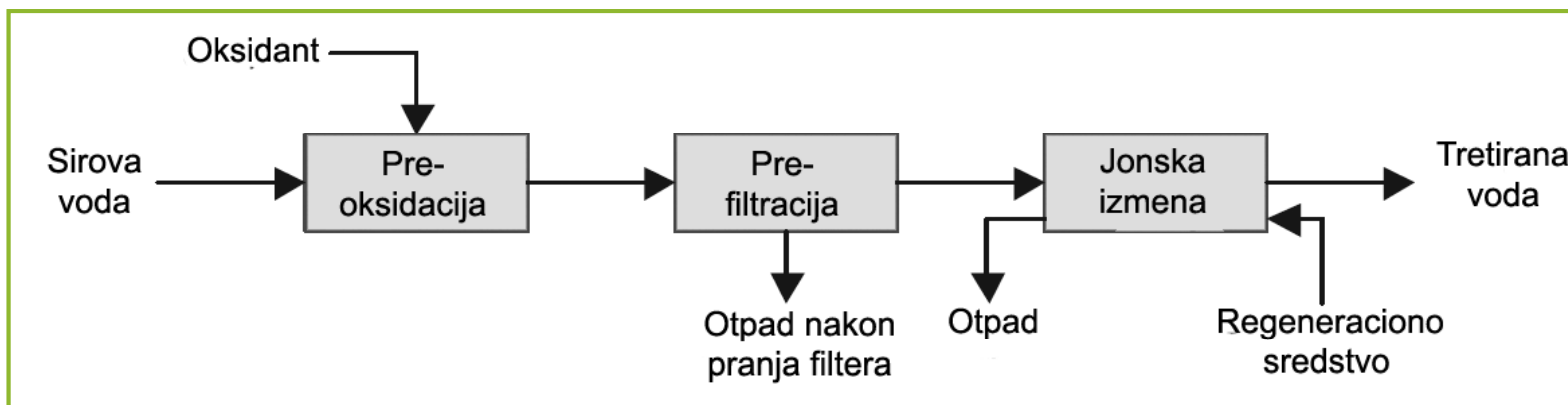
■ Jonoizmenjivačke smole

- Najčešće su u hloridnom obliku - izmena jona arsena i hlorida.
- Jako-bazne anjonske jonoizmenjivačke smole (u Cl^- ili OH^- formi) - dobri rezultati u uklanjanju As(V) (H_2AsO_4^- HAsO_4^{2-}), ali ne i As(III) (pri $\text{pH} < 9$ je u vidu nedisosovane H_3AsO_3).
- Drugi anjoni stupaju u kompeticiju sa As(V) za aktivna mesta na jonoizmenjivačkoj smoli prema nizu:

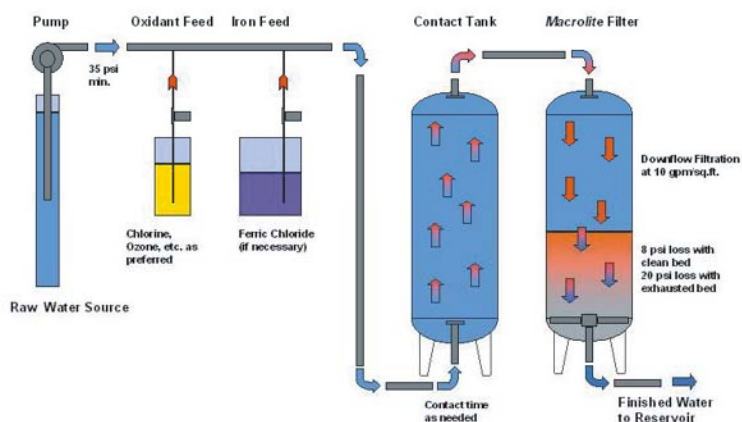


- Visok sadržaj ukupnih rastvorenih materija - negativno utiče na performanse jonoizmenjivačkog sistema.
- Generalno gledano, jonska izmena nije ekonomski isplativ tretman u slučaju da voda sadrži više od 500 mg/l ukupnih rastvorenih materija ili više od 50 mg/l sulfata.





Dijagram toka procesa jonske izmene





Uklanjanje arsena sorpcijom primarno je uslovljeno:

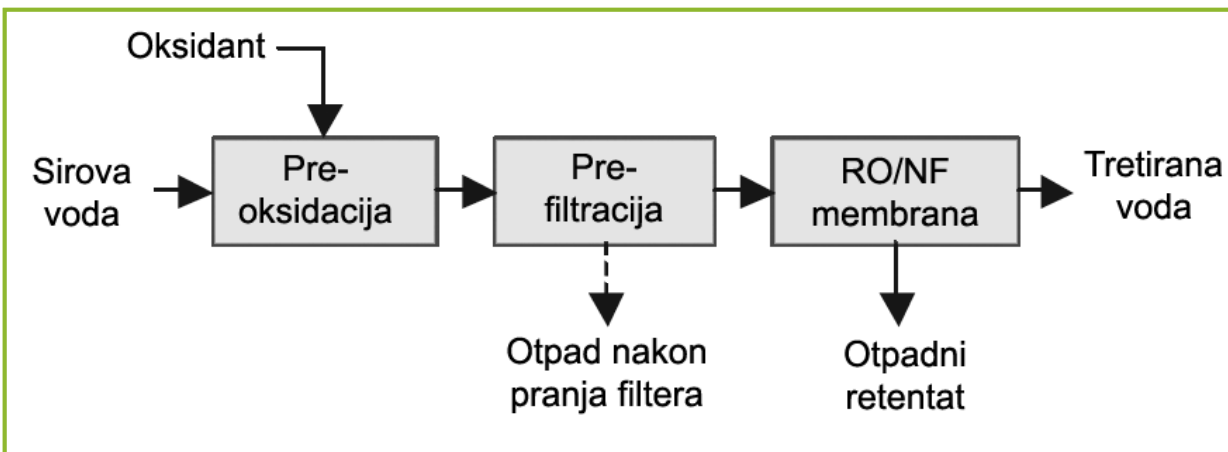
- 1) pH vrednošću vode,
- 2) predtretmanom adsorbenta
- 3) prisustvom drugih jonskih i organskih komponenti u vodenom rastvoru.

Uklanjanje arsena adsorpcijom - efikasnost i optimalni pH uslovi

Adsorbent	Efikasnost	Optimalni pH
Aktivni ugalj (C u obliku pulpe)	Opterećenje sa As: 6 mg As/g	~ 6
Aktivni ugalj (grafitne šipke)	Opterećenje sa As(V): 31 mg/g Opterećenje sa As(III): 30 mg/g	5–7 5–8
Aktivirani aluminijum oksid	Manje efikasan za As(III) nego za As(V) Efikasniji u slučaju dodatka Cl ₂	5,5–6
Jonoizmenjivač	Uklanjanje As >95%	~ 7,5
Jako bazni jonoizmenjivač	Uklanjanje As ~99%	-
Aktivirani crveni mulj	Uklanjanje As(III): 87,5% Uklanjanje As(V): 96,5%	5,8–7,5 1,8–3,5
Fe-Mn ruda	Uklanjanje As(III) i (V) ~100% (desorpcija nije moguća)	4–8
Kristalni hidratizani cirkonijum oksid	Uklanjanje As(III) i (V) ~100%	6–8

Membranski procesi

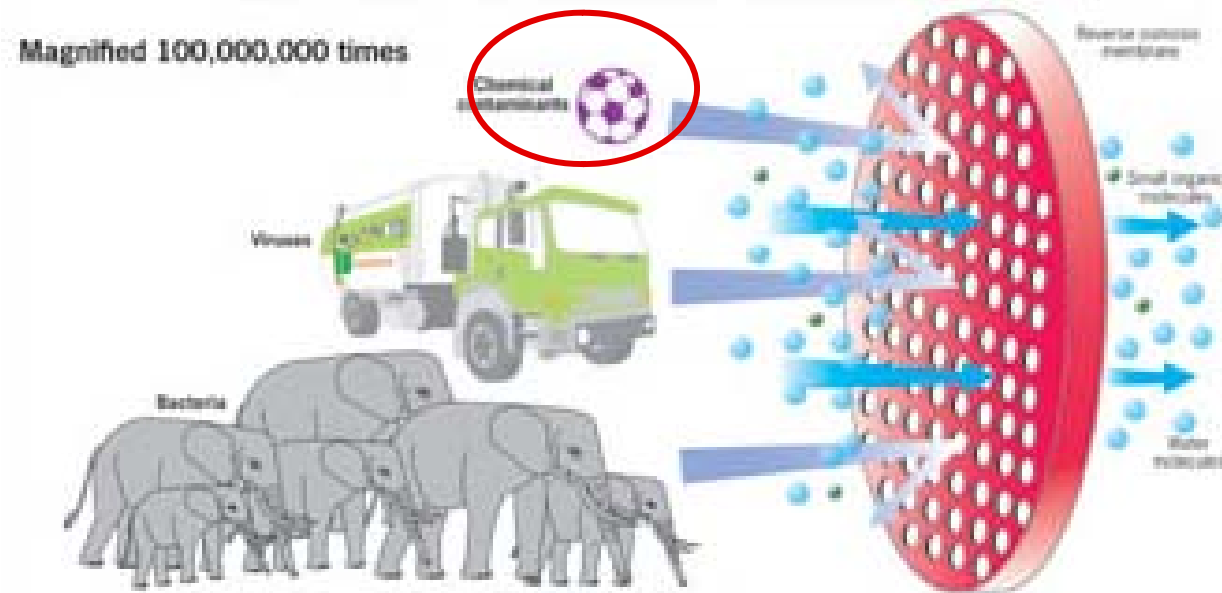
- reverzna osmoza (RO) - veličina pora $\sim 0,0005 \mu\text{m}$  Efikasnost uklanjanja As **95%**
- nanofiltracija (NF) - veličina pora $0,001-0,003 \mu\text{m}$  **>90%**



Dijagram toka RO membranskog procesa



Princip rada reverzne osmoze



- Jedna od osnovnih prednosti membranskih procesa je ta da je efikasnost uklanjanja relativno slabo uslovljena pH vrednosti tretirane vode.
- Međutim, uočeno je da se uklanjanje As(III) i As(V) povećava (za oko 20%) sa povećanjem pH vrednosti vode sa pH=7-10 i pH=3-5 respektivno
 - *neophodnost nalaženja optimalne operative pH vrednosti za membranski tretman*
- Efikasnost RO zavisi u prvom redu od čistoće vode i pritiska vode u cevima.

- RO - efikasnost uklanjanja
 - **97% As(V) i**
 - **92% As(III)**
 - **izvesno smanjenje i sadržaja soli.**
- Neophodna je prethodna oksidacija As(III) u As(V) – značajan izbor oksidacionog sredstva (npr. hlor, može oštetiti materijal membrane).

Uklanjanje arsena membranskim procesima ($c_0 = 5-150 \mu\text{g As/l}$)

Membranski proces	Efikasnost uklanjanja (%)		
	Ukupan As	As(V)	As(III)
RO	–	96-100	40–85
NF	95–99	60–100	10–75
ED	>95	-	-
UF	–	50–65	10–53

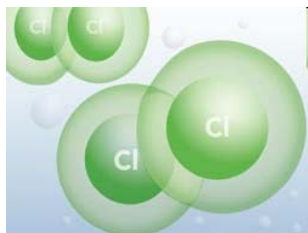
- **Nedostatak:** visoka cena (membrana) i "*fouling*" membrana.

Oksidacija

- Redukovani neorganski As (III) (arsenite) u cilju efikasnijeg uklanjanja iz vode neophodno je konvertovati u As(V) (arsenate).
- Efektivna oksidaciona sredstva: *hlor, permanganat, ozon i Filox-R™*
- Hlor dioksid i monohloramin su neefikasni za oksidaciju As(III).
- UV zračenje takođe je neefikasno, osim u slučaju dodatka sulfita - UV foto-oksidacija daje obećavajuće rezultate u pogledu konverzije As(III) u As(V).



■ Hlor



- Potrebno je razmotriti:



- 1) osetljivost tretmana na primenu hlora,
- 2) formiranje dezinfekcionih nusprodukata,
- 3) osnovne zahteve vezane za skladištenje i rukovanje hemikalijom, i
- 4) bezbednost operatera.

- Stehiometrijska potreba za Cl_2 za oks. As(III): **0,95 mg Cl_2 / mg As(III)**.
- Sposobnost hlora da konvertuje As(III) u As(V) je relativno nezavisna od pH vrednosti pri opsegu pH 6,3-8,3.
- Primenom doze hlora 3 puta veće od stehiometrijske potrebe postiže oksidacija 95% As(III) u As(V) za 42 s, pri čemu u vodi rastvoreni gvožđe, mangan i ukupni organski ugljenik nemaju značajan uticaj na vreme potrebno za konverziju, dok ga sulfidi produžuju na oko 60 s.

■ Permanganat

- Stehiometrijska potreba za oksidantom:
1,06 mg MnO_4^- /mg As(III)
- Sposobnost permanganata da konvertuje As(III) u As(V) je relativno nezavisna od pH vrednosti pri opsegu pH 6,3-8,3.
- u vodi rastvoreni gvožđe, mangan i ukupni organski ugljenik nemaju značajan uticaj na vreme potrebno za konverziju, dok ga sulfidi produžuju.

Nedostaci:

- sa permanganatom se teško rukuje
- može doći do formiranja čestičnog mangana (MnO_2)
- može se javiti potreba za primenom sekundarnog dezinfekcionog sredstva;
- u suprotnom može doći do stvaranja anoksičnih uslova u distribucionom sistemu prouzrokujući redukciju As(V) do As(III).



■ Ozon

- Oksiduje i arsen i gvožđe, uz istovremeno formiranje mesta za adsorpciju arsena na nastalom gvožđe hidroksidu.
- Stehiometrijska potreba za ovim oksidantom:
0,64 mg O₃/mg As(III).
- Ozon brzo oksiduje As(III) u slučaju kada sulfidi i organske materije nisu prisutni u vodi (za oko 18 sekundi) - u suprotnom brzina oksidacije se smanjuje i do potpunog prekida.
- Sposobnost ozona da konvertuje As(III) u As(V) je relativno nezavisna od pH vrednosti vode pri opsegu **pH 6,3-8,3.**
- Nedostatak primene ozona je što nema rezidualno delovanje te je najčešće neophodno primeniti ga u kombinaciji sa još nekim dezinfekcionim sredstvom.



■ **Filox-R™**

- Filox-R™ je medijum na bazi granularnog mangan dioksida koji može katalizovati oksidaciju As(III) u As(V) sa kiseonikom rastvorenim u vodi.
- Ima tendenciju adsorpcije određene količine arsena (više od 26%).
- Stehiometrijska potreba za ovim oksidantom:
0,21 mg O₂/mg As(III).
- Primenom ovog medijuma (pri vremenu zadržavanja od 1,5 min EBCT), moguće je ostvariti konverziju više od **98,7%** As(III) u As(V).
- Snižavanjem pH vrednosti vode sa pH 8,3 na pH 6,0 povećava se stepen konverzije As(III) na 100%.
- Gvožđe, mangan, vodonik sulfid i ukupni organski ugljenik interferiraju proces oksidacije pri niskoj koncentraciji rastvorenog kiseonika u vodi (0,1 mg O₂/l) i EBCT manjem od 1,5 min.





Generisanje i odlaganje reziduala arsena nakon tretmana

- Otpad sa postrojenja za pripremu vode za piće ima šest izvora:
 - *suspendovane materije iz sirove vode*
 - *supstance koje su uzrok obojenja vode i koje se uklanjaju tokom tretmana*
 - *rastvorene supstance koje precipitiraju tokom procesa – uglavnom gvožđe i mangan, kao i tvrdoća precipitirana tokom procesa omekšavanja vode*
 - *dodati koagulanti koji tokom procesa precipitiraju*
 - *druge hemikalije dodate tokom tretmana, kao što su aktivni ugalj u prahu i bentonit*
 - *biološki obraštaj tokom procesa – teško ga je proceniti i obično nema veliki značaj osim kada su u pitanju peščani filteri*



- Otpad generisan na ove načine može se podeliti u četiri osnovne kategorije:
 - *tečan hemijski otpad*
 - *otpadne vode od pranja rešetki i sita*
 - *otpadne vode sa filtera i adsorbera*
 - *mulj*
- Pre odlaganja - zgušnjavanje i uklanjanje vode, dalja obrada u cilju stabilizacije/imobilizacije u mulju prisutnih kontaminanata.
- Jedna od opcija je da se mulj odlaže u lagune kako bi se konsolidovao - postoji opasnost od izluživanja opasnih i toksičnih materija i njihovog dospevanja u životnu sredinu.
- Kako bi se to sprečilo, mulj se tretira dodatkom flokulanta u cilju jasnog razdvajanja faza između koagulisano mulja i čistog supernatanta.
- Zgušnjivač mulja dizajniran je tako da omogućava potpuno uklanjanje slobodne vode. Mulj nakon ovog procesa, u zavisnosti od prirode mulja, sadrži **5-10% čvrste materije**.

- Zapremina mulja se može redukovati značajno upotrebom različite mehaničke opreme (*filter prese, trakaste filter prese, centrifuge, vakuum filtracija*), kao i primenom laguna kao prelaznog rešenja.
- Nakon uklanjanja vode, shodno svom sastavu mulj se može deponovati ili, pak, dalje podvrgnuti tretmanu obrade.
 - Kod mulja bogatog arsenom, odluka o daljem odlaganju ili tretmanu zavisi od testa određivanja toksičnih karakteristika mulja (eng. *Toxicity Characteristics Leaching Procedure - TCLP*).



- **Prema TCLP kriterijumu** - ukoliko se iz otpadnog materijala **izlužuje manje od 5 mg As/l**, ispitivani otpad se klasifikuje kao **neopasan** i moguće ga je odlagati na više načina:
 - **ispuštanjem u vodotok ili u kanalizacioni sistem**
 - ako je zadovoljen kriterijum o dozvoljenoj koncentraciji suspendovanih i toksičnih materija,
 - **odlaganjem na deponije**
 - samo otpadi koji nisu klasifikovani kao hazardni mogu biti smešteni na deponije za komunalni otpad, u suprotnom zahteva se njegova dalja obrada i/ili deponovanje na specijalnim deponijama.
 - **odlaganjem na zemljište**
 - Izluživanje <41 mg/kg otpad se može primeniti na zemlju bez ograničenja količine, dok se reziduali koji sadrže do 75 mg/kg mogu primenjivati u ograničenim količinama.

Solidifikacija i stabilizacija (S/S) kao remedijaciona tehnologija za otpad koji sadrži arsen

- U praksi je samo proces solidifikacije i stabilizacije primenljiv je za tretman otpada (reziduala) generisanog u procesu pripreme vode za piće, u smislu **imobilizacije arsena u rezidualu**.
- S/S tehnologijom hazardne supstance i kontaminanti se stabilišu u fizičkom i hemijskom smislu u čvršće strukture.
- Uopšteno S/S ima za cilj da:
 - (a) olakša rukovanje otpadom i poboljša njegova fizička svojstva,*
 - (b) smanji površinu otpadne mase,*
 - (c) da limitira rastvorljivost hazardnog kontaminanta i*
 - (d) da izvrši detoksikaciju sadržanih kontaminanata.*



- Najčešće korišćena vezivna sredstva za arsen su:

- *cement*
- *kreč*
- *leteći pepeo,*
- *organski modifikovana glina i dr.*

**Stabilan proizvod
koji se uklapa u
limit od 5 mg As/l
TCLP testa.**



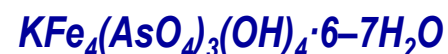
Potencijalna ograničenja

- U nekim uslovima odlaganja, izluživanje arsena se može razlikovati od onog što je predviđeno u testu, a to se dešava u slučajevima kad je povišena pH vrednost samog otpada ili mesta na kome se on odlaže.
- Takođe, dugoročnost ovog procesa može biti ugrožena ukoliko se stvore uslovi u samom otpadu koji pogoduju prelasku arsena u rastvorljivije i samim tim više mobilne forme.

Kristalizacija mulja

Najbolji način za finalnu dispoziciju arsena - njegovo vraćanje u prvobitni oblik minerala?

Zasnovano na literaturnim podacima, iz studija koje se bave formiranjem **farmakosiderita**, minerala u kome su i arsen i gvožđe vezani u kristalnu rešetku što rezultuje značajnim smanjenjem izluživanja ovih komponenti.





**HVALA NA
PAŽNJI!**