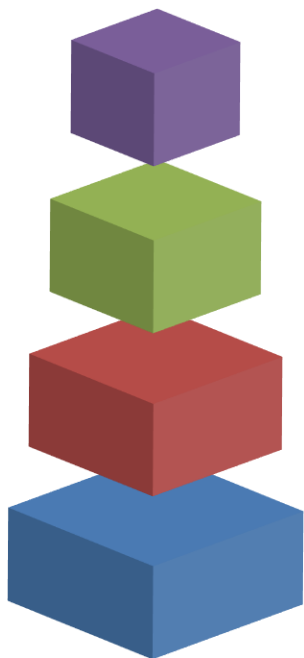


ВОДА ЗА ПИЋЕ – ПРОБЛЕМИ И РЕШЕЊА

Проф. др Јасмина Агбаба

Природно-математички факултет у Новом Саду
Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине

Садржај презентације



Стање водоснабдевања у Србији

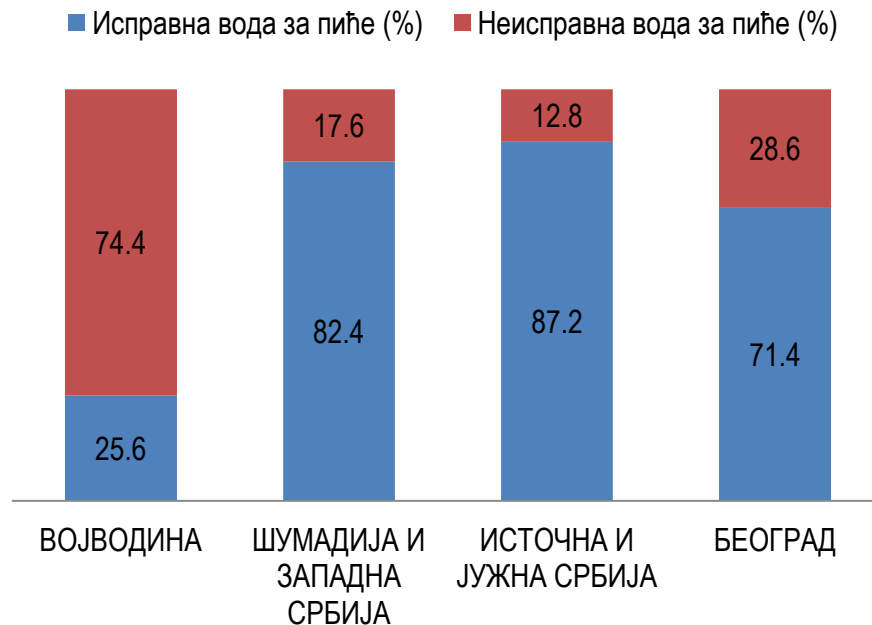
Квалитет подземних и површинских вода

Значај пилот истраживања у дефинисању технолошке линије обраде воде

Проблеми и могућа решења при припреми воде за пиће

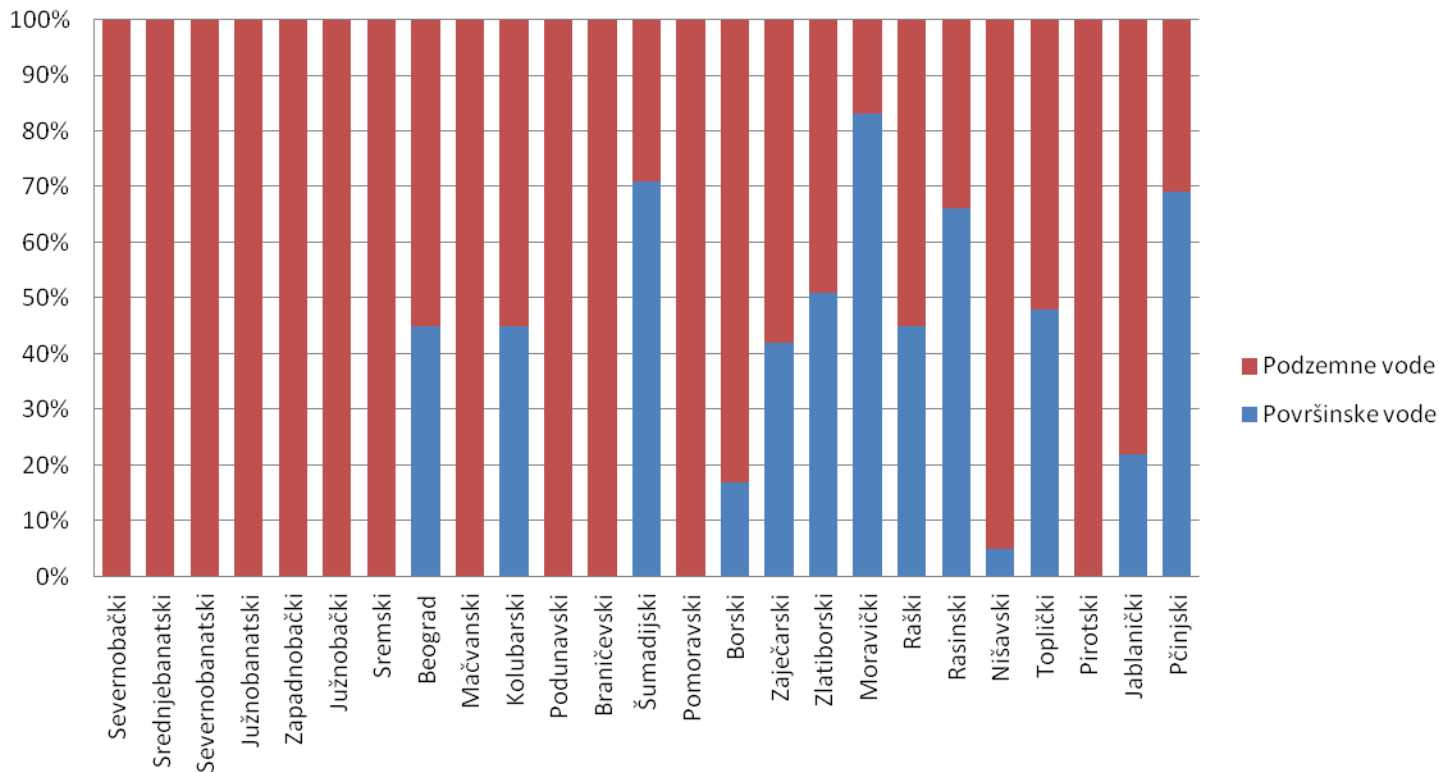


Процент контролисаних јавних водовода градских насеља у Србији по регионима, 2021



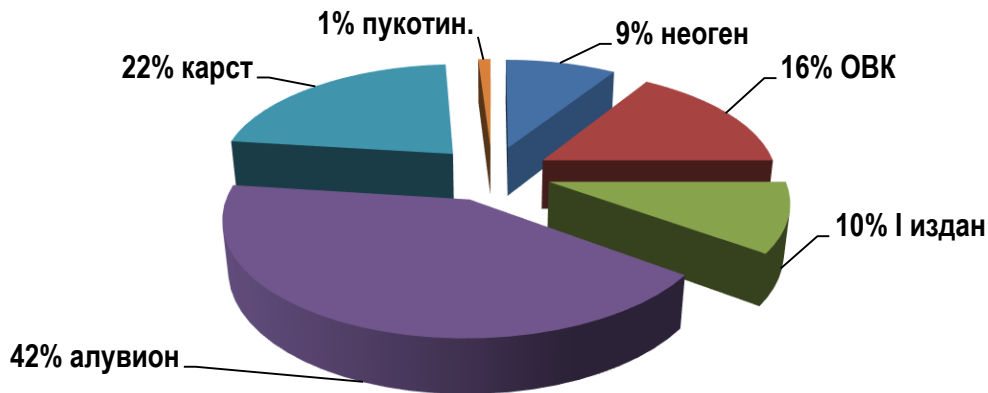
Извор: Извештај о здравственој исправности воде за пиће јавних водовода и водних објеката у Републици Србији за 2021. Годину, Институт за јавно здравље Србије „Др Милан Јовановић Батут”

Тип изворишта воде за пиће јавног водоснабдевања по окрузима



КВАЛИТЕТ ПОДЗЕМНИХ ВОДА КАО РЕСУРСА ВОДЕ ЗА ПИЋЕ

- Квалитет подземних вода у Србији је неуједначен, почев од воде високог квалитета до вода које се морају подвргавати сложеним поступцима прераде.
- Квалитет воде зависи од издани до издани, а такође и од локације изворишта када се ради о истој издани.



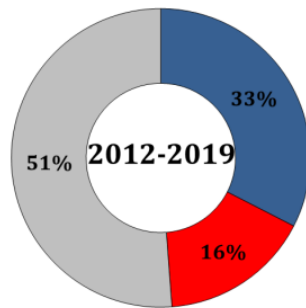
Заступљеност типова издани у снабдевању водом општинских центара

Извор: Стратегија управљања водама на територији Републике Србије до 2034. године, "Сл. гласник РС", бр. 3/2017

9%	Песковите наслаге неогена	<ul style="list-style-type: none">• минерализација воде је променљива, тврдоћа различита, местимично нешто повишен садржај гвожђа, генерално по хемијском саставу вода релативно доброг квалитета
16%	ОВК	<ul style="list-style-type: none">• природне органске материје, висока укупна минерализација, гвожђе, амонијак, арсен ...
10%	I издан	<ul style="list-style-type: none">• повећан садржај органских материја, укупна минерализација, гвожђе, амонијак, манган ...
42%	Алувион	<ul style="list-style-type: none">• гвожђе, манган, амонијак ... зависи од квалитета воде реке
22%	Карстне издани	<ul style="list-style-type: none">• повољна физичка и хемијска својства - ниска минерализација (200-500 мг/л), садржај основних јона и микрокомпоненти хемијског састава нижи од МДК .
1%	Пукотинске издани	<ul style="list-style-type: none">• због изузетно скромних филтрационих карактеристика, нису од већег значаја за јавно водоснабдевање, осим локално

КВАЛИТЕТ ПОВРШИНСКИХ ВОДА КАО РЕСУРСА ВОДЕ ЗА ПИЋЕ

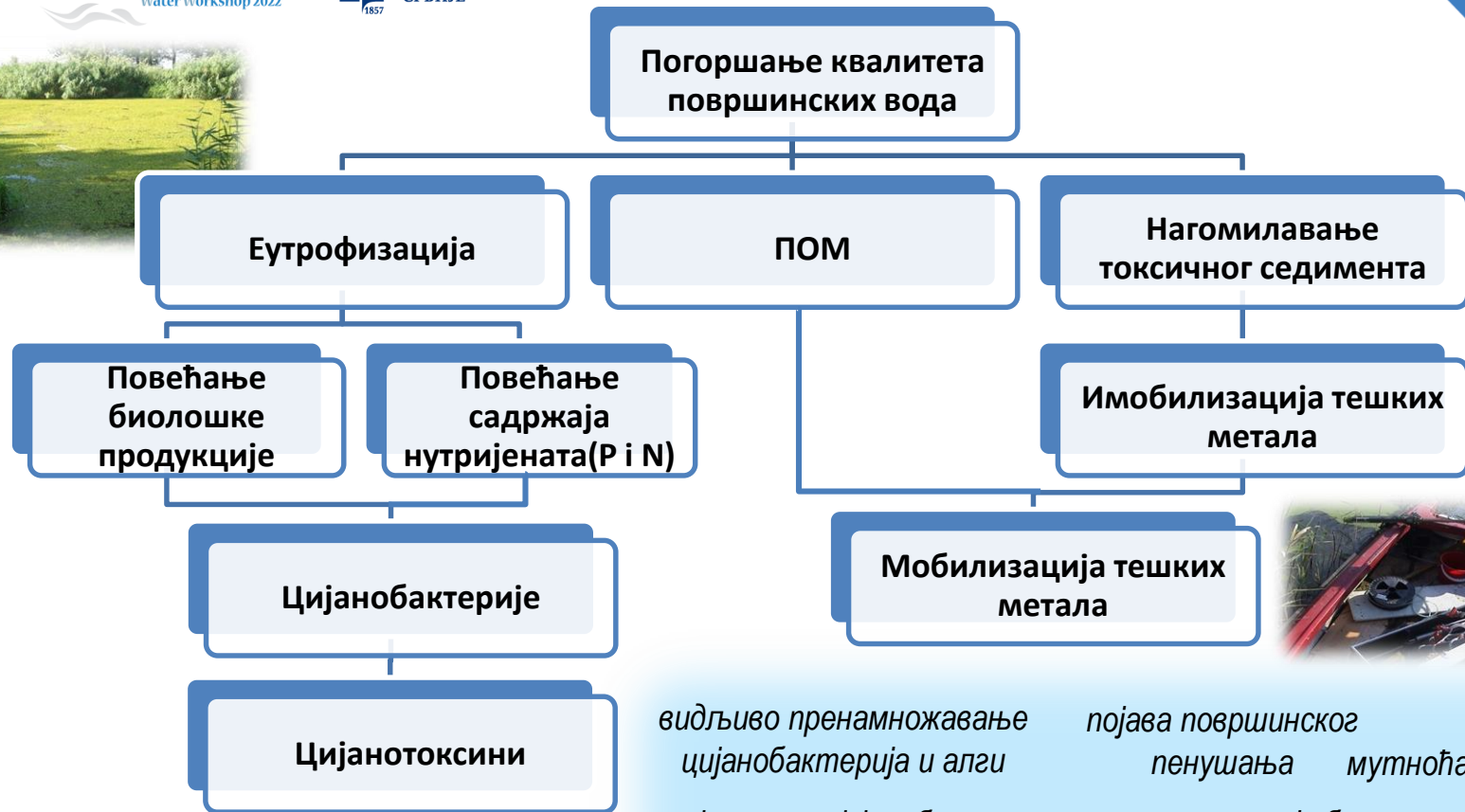
- Мерења у току последњих 30 година показују да је квалитет вода био на нивоу захтеваних класа испод 10% укупног броја испитиваних профила.
- **ПРОБЛЕМ:**
 - Оптерећење са N и P
 - Биолошки разградљиве органске материје



■ добар статус ■ није постигнут добар статус ■ ВТ која нису обухваћена мониторингом

Разврставање водних тела површинских вода према хемијском статусу





*видљиво пренамножавање
цијанобактерија и алги*

*појава пливајућих биљних
делова*

*појава површног
пенушања мутноћа воде*

*агрегација бентосних
макрофита*

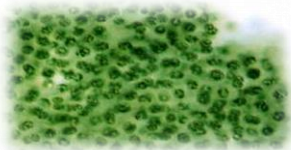
Токсичне цијанобактерије

2000 врста: за ~ 40 је познато да продукују токсине

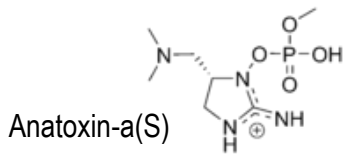
Промена боје и
мириса воде
(геосмин, 2-МИБ)

Цијанотоксини

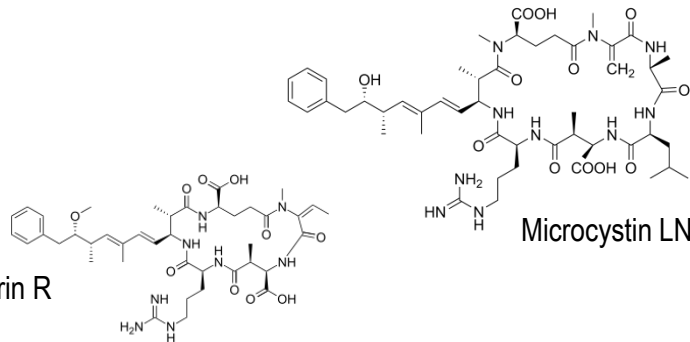
МДК за
Mikrocistin-LR
1 µg/l



Microcystis aeruginosa



Nodularin R



Microcystin LN

ДЕФИНИСАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ОБРАДЕ ВОДЕ

- **I ФАЗА** – фундаментална истраживања
 - база за нове помаке
 - отварање нових путева за креирање нових решења у техници и технологији припреме воде за пиће
- **II ФАЗА** – лабораторијска испитивања
 - Неопходан корак у провери идеја за целовита решења
- **III ФАЗА** – ПИЛОТ испитивања
 - синтезна провера у претходним фазама осмишљених решења, пре њихове финализације

ИНТЕГРИСАНИ
ПРИСТУП У
ИСТРАЖИВАЧКОМ И
ИНОВАТИВНОМ
СМИСЛУ



ПИЛОТ ИСТРАЖИВАЊА

Искуства указују да **мале инвестиције у ПИЛОТ истраживања доносе велике користи.**



- Дају отворену могућност поређења
 - више атрактивних решења
 - на основу конкретних података и мерења
 - на води која ће се заиста и прерађивати.

Најчешћи проблеми квалитета воде за пиће

Повећан садржај гвожђа и мангана у води

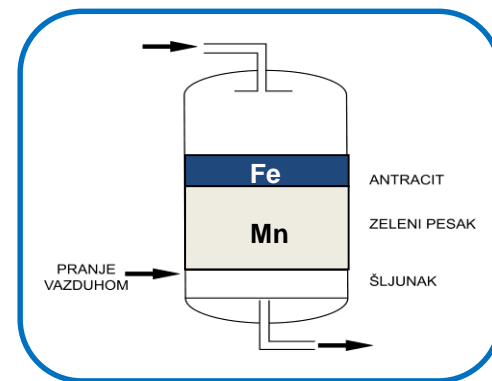
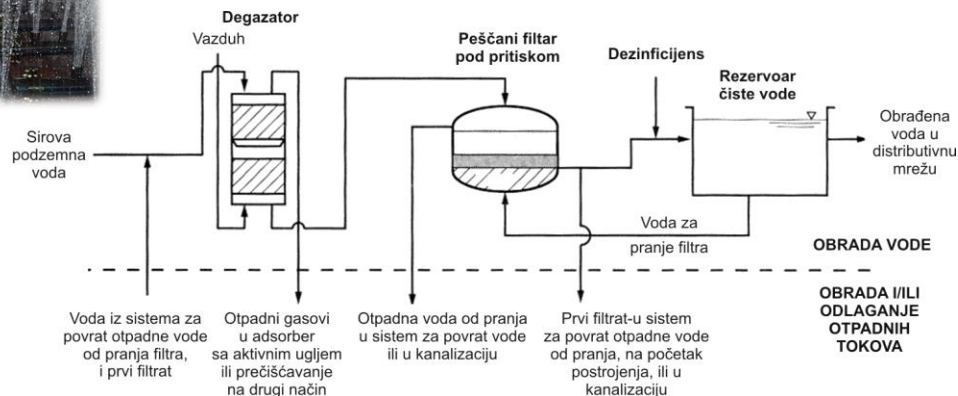
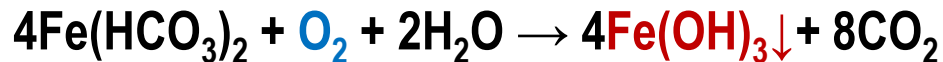
Повећан садржај амонијака

Повећан садржај арсена

Повећан садржај природних органских материја и органских микрополутаната

ПРОЦЕСИ УКЛАЊАЊА ГВОЖЂА И МАНГАНА

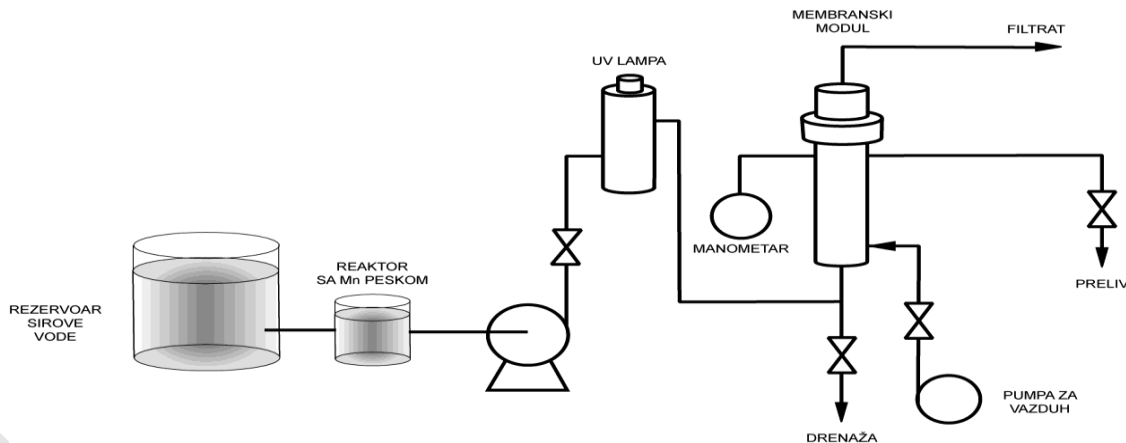
ПРОБЛЕМ / РЕШЕЊЕ



Филтрациони медијум

Мембранска филтрација - микрофилтрација

- уклањање већих количина Fe и Mn у присуству и одсуству растворених ОМ
- мембрански третман:
 - директна мембранска сепарација
 - оксидација + мембранска сепарација
- компактан систем
- висока ефикасност у пречишћавању различитих типова сирове воде



Биолошко уклањање гвожђа и мангана

- Бактерије – катализовање оксидације гвожђа и везивање у ћелијску мембрану
- Преципитати који настају у току оксидације се снажно везују за бактеријске полимере – формира се кристална форма оксихидроксида.
- **Fe: од неколико дана до једне недеље**
- **Mn: 3-12 недеља**
- Инхибиција: H_2S , хлор, NH_4^+ и тешки метали
- Mn: брзи пешчани филтри, песакприродно или вештачки прекривен слојем MnO_2 .

Предности:

- брза оксидација без додатних реагенаса
- велика брзина филтрације
- лакши третман муља: муљ који настаје након процеса је компактан
- капацитет задржавања (за Fe): филтер (песак) може задржати и до 5 пута више преципитата због компактности форме оксидованог Fe у коме се оно налази.

Najčešći problemi kvaliteta vode za piće

Повећан садржај гвожђа и мангана у води

Повећан садржај амонијака

Повећан садржај арсена

Повећан садржај природних органских материја и органских микрополутаната

ПРОЦЕСИ УКЛАЊАЊА АМОНИЈАКА

- Присуство амонијака може бити извор неколико проблема везаних за квалитет воде за пиће:
 - поновни раст бактерија,
 - стварање нитрита непотпуном оксидацијом амонијака и
 - појава непожељног укуса и мириса.

СЗО (4. издање, 2022)
1,5 mg/l

Директива 2020/2184
0,5 mg/l

Правилник ("Сл. лист СРЈ", бр. 42/98 и
44/99 и "Сл. гласник РС", бр. 28/2019)
0,5 mg/l

Физичко-хемијски процеси

Јонска измена
(клиноптилолит)

Хеммијска оксидација
(најчешће хлорисање
преко превојне тачке)

Мембрански процеси

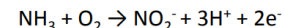
Биолошки процеси

Нитрификација
Денитрификација

Филтери са имобилисаном
микрофлором
(ГАУ, позолан, биолит,
Nitrazur N)

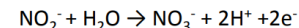
NITRIFIKACIJA

I FAZA:



Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrosospira, Nitrosolobus i Nitrosovibrio

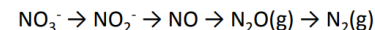
II FAZA:



Nitrobacter, Nitrospina, Nitrococcus i Nitrospira

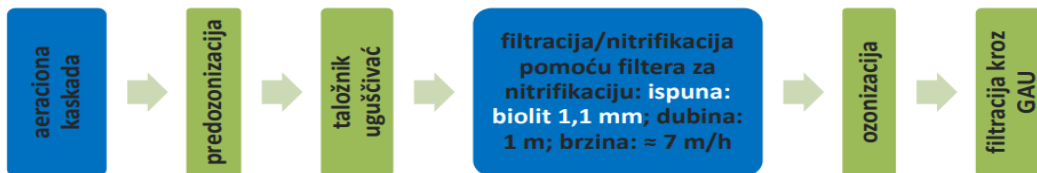


DENITRIFIKACIJA



3,6 mg O₂ за 1 mg NH₄⁺
1 < NH₄⁺ < 2 mg/l

Primer iz Francuske (*Eau & Force, Mont Valérien*):



Биолошки третман воде која садржи амонијак, гвожђе и/или манган

Низак садржај амонијака, гвожђа и мангана

- физичко-хемијско уклањање Fe
- нитрификација и биолошко уклањање Mn на истом филтеру

Просечан или висок садржај Fe и низак садржај Mn, $\text{NH}_4^+ < 1,5 \text{ mg/l}$

- биолошко уклањање Fe праћено интензивном аерацијом
- филтрација кроз пешчани или филтер за нитрификацију зависно од тачног садржаја NH_4^+ и T воде

Просечан или висок садржај Fe и Mn, $\text{NH}_4^+ > 1,5 \text{ mg/l}$

- Биолошко уклањање Fe
- Нитрификација уз помоћ Nitrazur N
- завршна филтрација где се нитрификација и уклањање Mn завршава истовремено путем биолошког процеса

Najčešći problemi kvaliteta vode za piće

Повећан садржај гвожђа и мангана у води

Повећан садржај амонијака

Повећан садржај арсена

Повећан садржај природних органских материја и органских микрополутаната

ПРОЦЕСИ УКЛАЊАЊА АРСЕНА

ПРОБЛЕМ ...

- As има токсична и канцерогена својства.
- Према класификацији **IARC**: неоргански тровалентни арсен је сврстан у **групу I**, петовалентни неоргански арсен и органски арсен, као и њихова једињења сврстани у токсичне супстанце.
- У површинским водама: As(V), арсенат
- У редукованим условима (дубоке подземне воде и седименти): As(III), арсенит (знатно мобилнији и токсичнији).

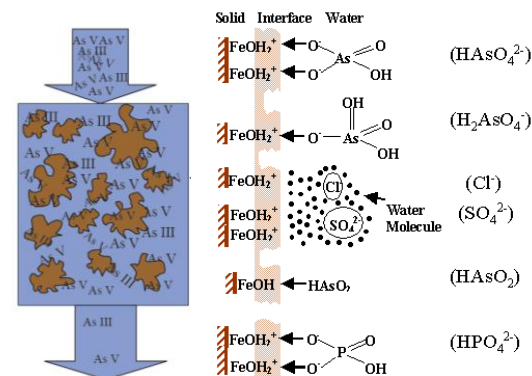


Наранџаста боја потиче од преципитата гвожђе оксихидроксида. Вода садржи високу концентрацију гвожђа, арсена и мангана.

МДК 10 µg/l

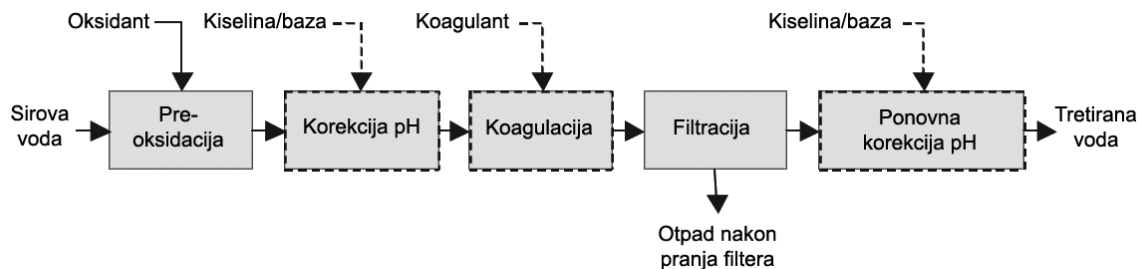
Најчешће примењиване технологије за уклањање арсена из воде

Технологија	Кратак опис
Преципитациони процеси	Коагулација, побољшана коагулација и омекшавање воде кречом.
Мембрански процеси	Мембране за нано-филтрацију (NF, >90%) и реверзну осмозу (RO, >95%)
Адсорпциони процеси	Адсорбенти: активни алуминијум-оксид и адсорбенти на бази гвожђа (грануловани фери хидроксид, грануловани фери оксид и песак обложен гвожђе-оксидом.
Јонска измена	Јако-базне ањонске јоноизмењивачке смоле (у Cl^- или OH^- форми) - добри резултати у уклањању As(V) , али не и As(III) (при $\text{pH} < 9$ је у виду недисосоване H_3AsO_3).



Други ањони ступају у конкуренцију са As(V) :

$\text{SO}_4^{2-} > \text{HAsO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-; \text{CO}_3^{2-} > \text{NO}_2^- > \text{Cl}^-$

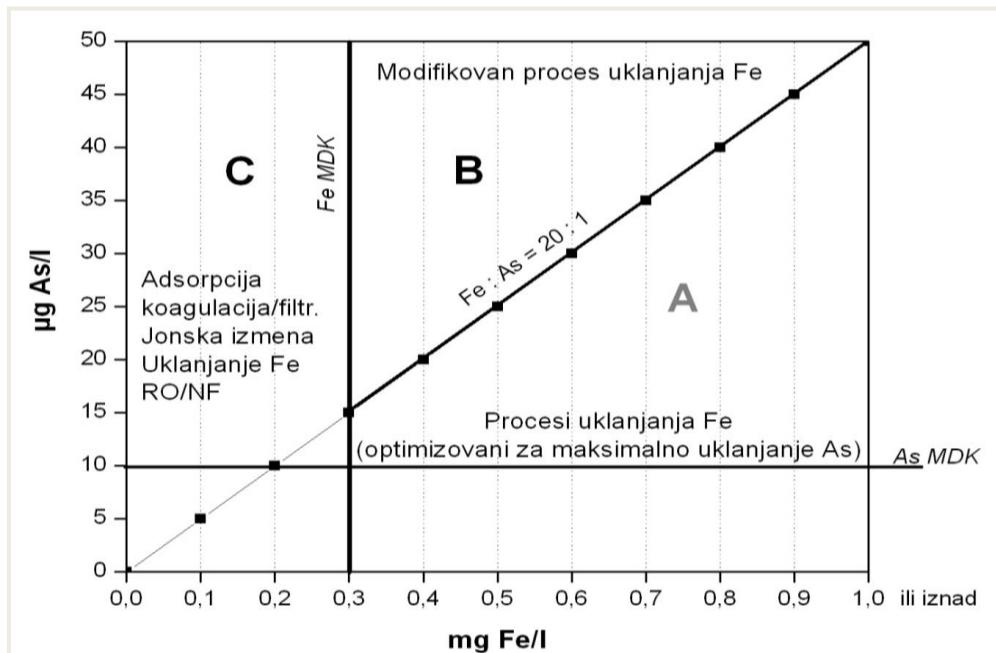


- Концентрација гвожђа у води може бити један од основних фактора при одабиру технологије – због снажног афинитета гвожђа да адсорбује арсен на површини.

A - Концентрација гвожђа ($>0,3$ mg/l), висок однос Fe:As ($>20:1$).

B - Концентрација гвожђа ($>0,3$ mg/l), низак однос Fe:As ($<20:1$)

C - Концентрација гвожђа ($<0,3$ mg/l)



“Водич” за одабир технологије уклањања арсена заснован на односу концентрација арсена и гвожђа у сировој води (Sorg, 2002)

Одлагање муља са арсеном

- Редукција запремине муља (*филтер пресе, тракасте филтер пресе, центрифуге, вакуум филтрација*), као и применом лагуна као прелазног решења.
- Депоновање или даљи третман
 - Код муља богатог арсеном, одлука о даљем одлагању или третману зависи од теста одређивања токсичних карактеристика муља (*eng. Toxicity Characteristics Leaching Procedure - TCLP*).

TCLP критеријуми – излужује се мање од 5 mg As/l = неопасан отпад и могуће га је:

- испуштати у водоток или у канализациони систем
- одлагати на депоније
- одлагати на земљиште (излуживање <41 mg/kg - без ограничења количине; 41-75 mg/kg ограничење количине).

Najčešći problemi kvaliteta vode za piće

Повећан садржај гвожђа и мангана у води

Повећан садржај амонијака

Повећан садржај арсена

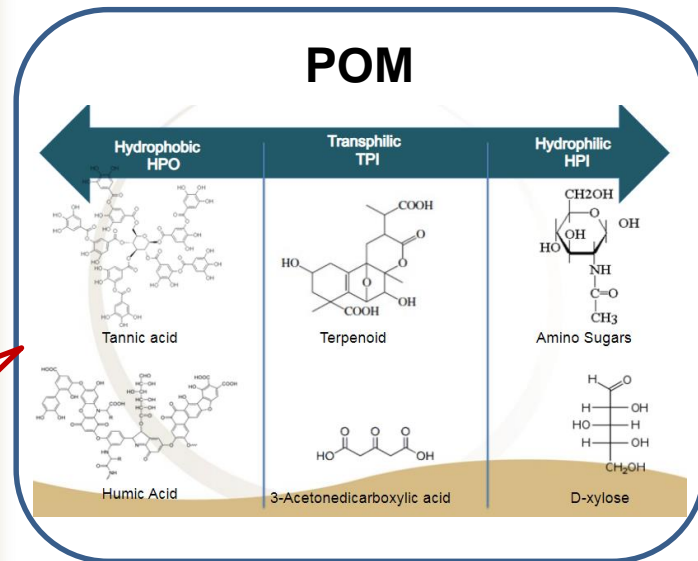
Повећан садржај природних органских материја и органских микрополутаната

ПРОЦЕСИ УКЛАЊАЊА ОРГАНСКИХ МИКРОПОЛУТАНАТА

- Полициклични ароматични угљоводоници
- Фармацеутска средства
- Средства за личну хигијену
- Пестициди
- Полихлоровани бифенили
- Пластификатори
- Наркотици
- Адитиви
- Успоривачи горења
- ПФАС
- Амини
- Полихлоровани дибензо-*p*-диоксини/фурани
- Хормонски активне супстанце
- Сурфактанти
- Комплексирајући агенси
- Мириси
- Додаци за горива
- Лекови
- Цијанотоксини
- Други ксенобиотици

DBPs

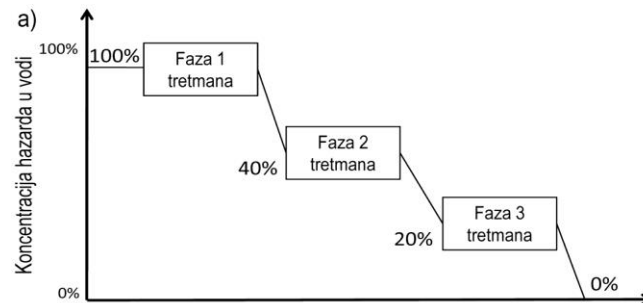
ПРОБЛЕМ



Уклањање цијанобактерија и цијанотоксина

Интактне цијанобактеријске ћелије које доспевају у почетни поступак процеса припреме воде, могу бити у великом броју физички уклоњене, међутим уколико је додат оксидант, оне бивају лизиране што доводи до ослобађања токсина.

- Уклањање интактних ћелија је примарни циљ и постоји технолошких решења чији избор зависи од расположивих могућности специфичних за сваки локалитет понаособ.
- ***Вишебаријерни приступ***



Пре фабрике воде:

Контрола дубине захвата воде

- Цијанобактерије цветају ретко равномерном густином ћелија по дубини резервоара.
- Нпр. преко ноћи, *Microcystis* тежи да флотира ка површини воде.

Сенка на површини воде (Shallow Clean®)

- Нижа температура воде, рН вредност воде је ближа неутралној,
- На додирној површини воде и чврсте фазе формиран је биофилм који се храни цијанобактеријама.

Исушивање (седимента на насипу)

- Измуљивање – укланњање *Microcystis* инокулума заједно са површинским седиментом.
- Исушивање седимента – лакши и јефтинији начин поготово када су у питању плитки резервоари.

Примена алгицида

- Користе се у резервоарима за водоснабдевање.
- Најчешће примењивани алгициди су на бази Cu (бакар сулфат, бакар цитрат, бакар-енолат и др).

Перформансе третмана цијанобактерија и цијанотоксина

	К/Ф/С	К/DAF	Мембран. процеси	Оксидација				Активни угаљ	Биолошки третман
				Хлор (pH < 8)	KMnO ₄	Озон	AOPs		
Цијано-бактеријске ћелије	≥ 80%	80% (до 99%)	≥ 80% (МФ, УФ до 98%)						
Цијанотоксини				≥ 80%	≥ 80% (до 95%)	≥ 80% (до 98%)	≥ 80%	≥ 80%	≥ 80%

- 1) Хлорисање и озонизација могу резултовати ослобађањем цијанотоксина, зато је оксидациони третман боље применити након уклањања интактних цијанобактерија
- 2) Празна поља указују или да је дати третман у потпуности не ефикасан или пак да о његовим ефектима нема података
- 3) Биолошки третман укључује и спору пешчану филтрацију и обалску филтрацију

ПРИМЕР спроведених истраживања

Tabela 2.1 Operativni uslovi laboratorijskih ispitivanja

Proces	Opseg operativnih uslova
pH korekcija	7,0 - 8,3
Predozonizacija	1,0-12,6 mg O ₃ /l
Koagulacija	FeCl ₃ : 50-130 mg/l PACl: 5-30 mg/l FeCl ₃ - PACl: 3-30 mg FeCl ₃ /l : 30 mg Al/l PACl- FeCl ₃ : 30 mg Al/l : 3-30 mg FeCl ₃ /l
Flokulacija	Unifloc 27: 0,05-0,2 mg/l
Ozonizacija	0,6 - 2,2 mg O ₃ /l
Unapređeni oksidacioni proces (O ₃ /H ₂ O ₂)	1,7-2,2 mg O ₃ /l O ₃ :H ₂ O ₂ =1:1

Tabela 2.2 Operativni uslovi pilot ispitivanja

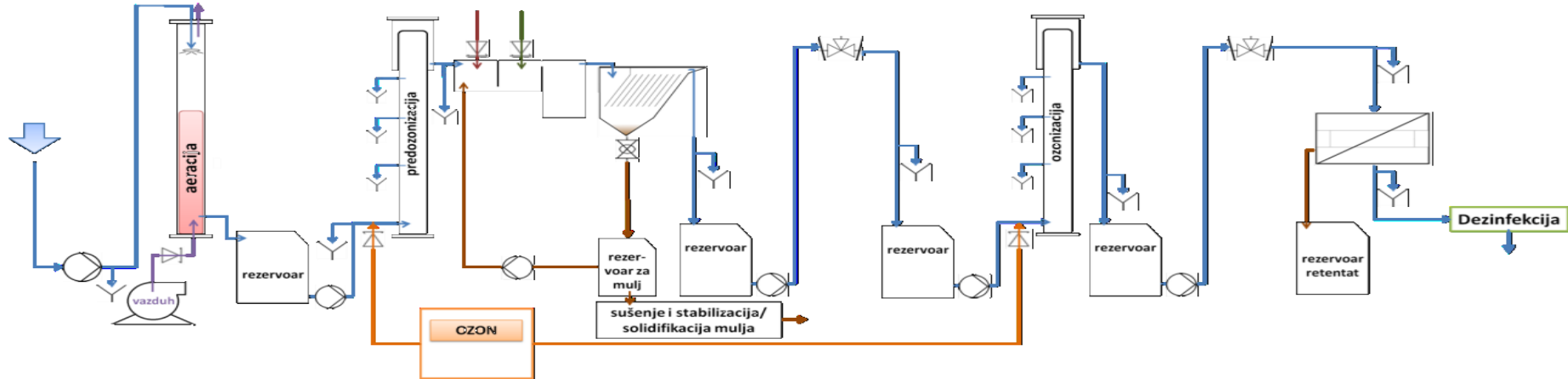
Proces	Opseg operativnih uslova
Aeracija	odnos vazduh:voda = 1,5: 1
Predozonizacija	1,0 - 2,5 g O ₃ /m ³
Koagulacija	FeCl ₃ : 50-70 g/m ³
Flokulacija	Unifloc 27: 0,05-0,1 g/m ³
Filtracija	dvomedijumska pesak/antracit: 3,6-12 m/h
Ozonizacija	0,6 - 1,5 g O ₃ /m ³
Mešanje voda	izdan OVK : prva izdan = 1,3 : 1

Подземна вода:

- PB ≈ 30 mg KMnO₄/l
- As ≈ 220 μg/l
- Na ≈ 260 mg/l
- NH₃ ≈ 0,6 mg/l
- (B ≈ 0,5 mg/l)

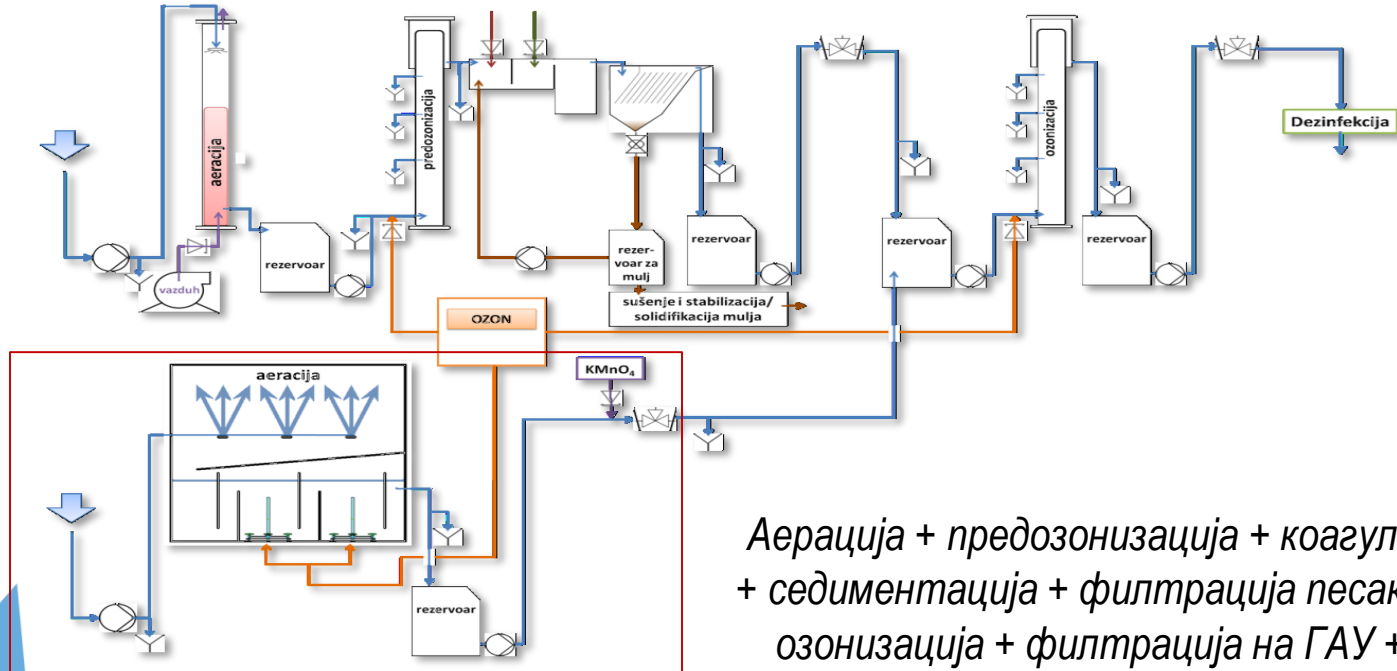


ВАРИЈАНТА I – КОРИШЋЕЊЕ ПОСТОЈЕЋИХ РЕСУРСА ВОДЕ ЗА ПИЋЕ



Аерација + предозонизација + коагулација и флокулација + седиментација + филтрација
песак/антрацит + главна озонизација + филтрација на ГАУ + реверсна осмоза

ВАРИЈАНТА II – КОРИШЋЕЊЕ I И II ИЗДАНИ КАО РЕСУРСА ВОДЕ ЗА ПИЋЕ



Аерација + предозонизација + коагулација и флокулација + седиментација + филтрација песак/антрацит + главна озонизација + филтрација на ГАУ + разблаживање са водом прве издани или реверсна осмоза мањег капацитета у односу на Варијанту I

ЗАКЉУЧАК

- Специфични проблеми квалитета воде траже специфична решења
- Веома различите варијанте процеса могу дати исте ефекте:
 - темељно познавање потенцијалних алтернативних процеса и операција којима се поједини параметри квалитета воде могу изменити
 - одабир оптималне технологије за припрему воде за пиће
 - тежити највишем могућем квалитету воде за пиће, у постојећим околностима, а не бескомпромисно тражити највиши квалитет воде.

**Треба имати
уравнотежен и
реалистичан
приступ
проблематици
воде за пиће**

Хвала на пажњи!



Департман за
**ХЕМИЈУ, БИОХЕМИЈУ И
ЗАШТИТУ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ**