

# СКРИВЕНА ОПАСНОСТ: ПРИСУСТВО АРСЕНА У ВОДИ ЗА ПИЋЕ

*Проф . др Јасмина Азбаба*

# Квалитет воде за пиће

- Квалитет воде за пиће је кључан фактор за очување здравља и добробити људи.
- Да би вода била погодна за пиће, мора задовољити строге стандарде у погледу:
  - **хемијског састава,**
  - **микробиолошке исправности и**
  - **физичких особина.**

**Хемијској контаминацији воде за пиће** често се придаје нижи приоритет у поређењу са микробиолошком контаминацијом, обзиром да су њени нежељени ефекти по здравље људи генерално повезани са вишегодишњом експозицијом, док су ефекти микробиолошке контаминације најчешће тренутни.

Међутим, хемијске загађујуће материје у води која служи за водоснабдевање могу проузроковати **веома озбиљне здравствене проблеме.**

# THE COUNTRIES WHERE You Can and Can't Drink Tap Water



While drinkable tap water is taken for granted in some countries, according to the World Health Organization, one in four people around the world doesn't have access to safe drinking water.

We've mapped whether you can safely drink tap water or not in countries around the world, according to CDC advice. Only 50 countries offer drinkable tap water, the majority of which are in Europe. In comparison, only three North American countries (**the U.S., Canada and Costa Rica**) and one South American country (**Chile**) have drinkable tap water. Every African country and most countries in parts of Asia and Oceania (including **China and the Philippines**) lack safe tap water.

Can You Drink the Tap Water? ● Yes / ● No / ● No Data

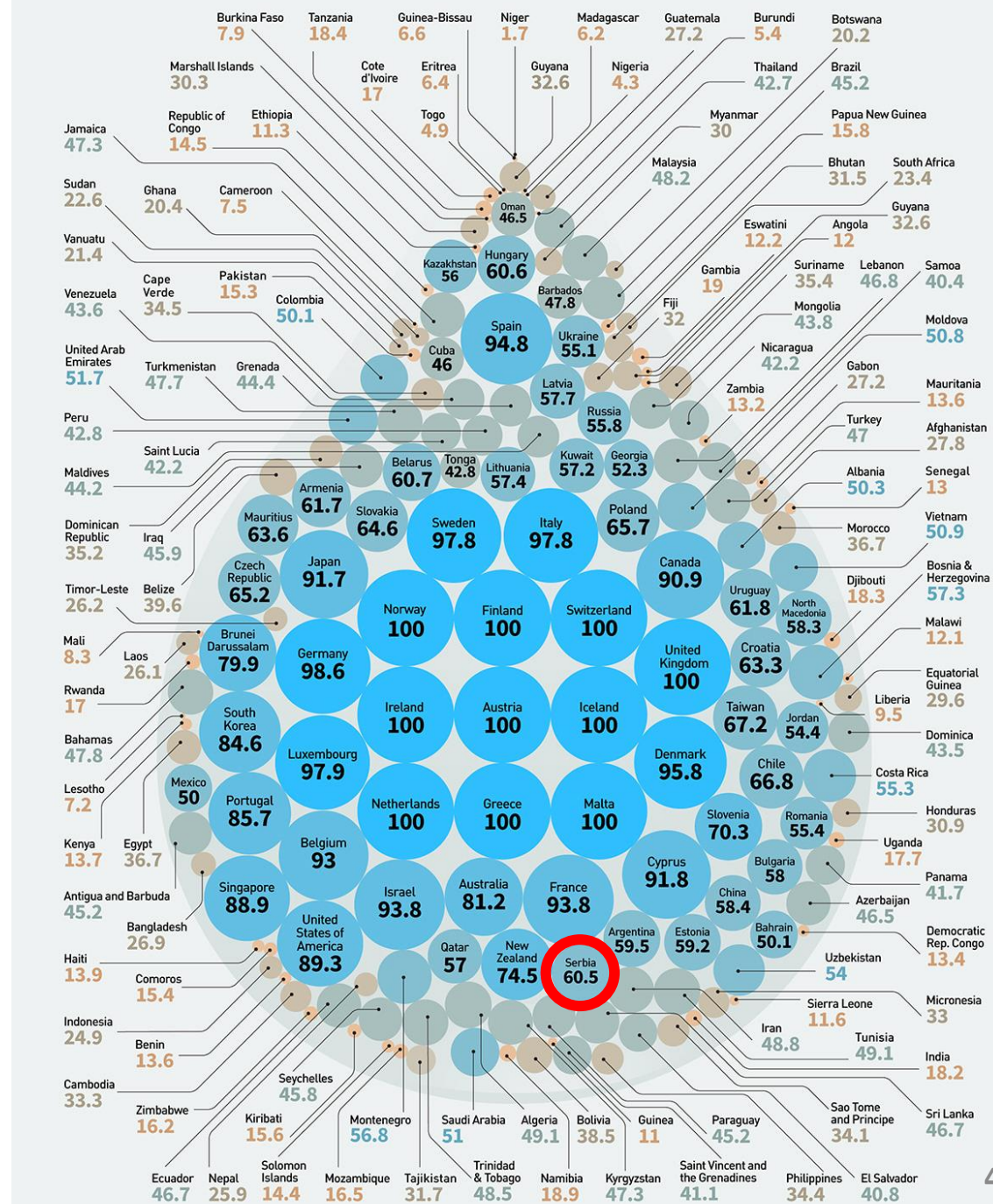


METHODOLOGY: Based on Centers for Disease Control and Prevention [CDC] guidance.

This image is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License - www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/



- Оцена квалитета воде за пиће у 180 земаља широм света на основу **Индекса еколошког учинка** (Environmental Performance Index – EPI).
- EPI – оцењује број година живота изгубљених на 100.000 људи (DALY стопа), због изложености небезбедној води за пиће.
  - 1 DALY је еквивалентан изгубљеној једној години здравог живота
- Вредност 100 – указује да држава има најнижу DALY стопу ( $\leq 5$  перцентила), док 0 указује на највишу стопу ( $\geq 95$  перцентила).
- Кластер земаља оцењених са вредности 100 су европске земље (чак 19 од 20 земаља са најсигурнијом водом се налази у Европи).
- Према квалитету воде за пиће у Европи најгоре су оцењене Албанија (50,3) и Молдавија (50,8).
- 24 земље са најнижим вредностима су у Африци.



## Процена хемијског квалитета воде за пиће

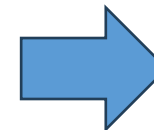
- **толеришући дневни унос (TDI)**

- процењена количина супстанце у храни и води за пиће изражена по јединици телесне масе човека (mg/kg или µg/kg телесне масе), која се свакодневно може конзумирати током трајања живота без ризика по здравље.

$$TDI = \frac{NOAEL}{UF}$$

- **препоручене вредности**

- за одговарајуће супстанце то су максимално дозвољене концентрације у води за пиће при којима нема негативних последица по здравље или је ризик за здравље прихватљив.



МДК

$$МДК (mg/l) = \frac{TDI (mg/kg/dan) \times \text{просечна телесна маса потрошача (kg)}}{\text{дневна количина воде коју особа конзумира (l/dan)}}$$

## As - скривена опасност

- Перцепција потрошача примарно је усмерена на органолептички квалитет воде (боја, мирис, укус)
- Присуство арсена у води не утиче на органолептички квалитет воде - детекција софистицираним аналитичким техникама
- Редовна контрола квалитета воде
- Јачање свести потрошача о квалитету воде за пиће и потенцијалним негативним ефектима одређених конституената природних вода



јачање свести

едукација

разумевање

превенција/  
унапређење

# Арсен (As)

74.92160 Atomic mass	33 Atomic number
<b>As</b>	
Arsenic	
947 First ionization energy	2.18 Electronegativity

- 33. елемент Периодног система елемената, саставни је део земљине коре и широко је распрострањен у животној средини.
- Може се наћи у површинској и подземној води, ваздуху и земљишту.
- Сматра се да је сагоревање угља један од главних извора арсена у ваздуху.
- Присуство у земљишту и води последица је процеса
  - распадања и растварања стена и минерала обогаћених арсеном,
  - као и бројних антропогених активности (топионице, испуштање отпадних вода, употреба пестицида, сагоревање фосилних горива)

1 H Hyd...									2 He Heli...								
3 Li Lithi...	4 Be Ber...								10 Ne Neon								
11 Na Sodi...	12 Mg Mag...								18 Ar Argon								
19 K Pot...	20 Ca Calc...	21 Sc Sca...	22 Ti Tita...	23 V Van...	24 Cr Chr...	25 Mn Man...	26 Fe Iron	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Cop...	30 Zn Zinc	31 Ga Gall...	32 Ge Ger...	33 As Ars...	34 Se Sele...	35 Br Bro...	36 Kr Kry...
37 Rb Rub...	38 Sr Stro...	39 Y Yttri...	40 Zr Zirc...	41 Nb Nio...	42 Mo Mol...	43 Tc Tec...	44 Ru Rut...	45 Rh Rho...	46 Pd Pall...	47 Ag Silver	48 Cd Cad...	49 In Indi...	50 Sn Tin	51 Sb Anti...	52 Te Tell...	53 I Iodine	54 Xe Xenon
55 Cs Cae...	56 Ba Bari...	57 La Lant...	72 Hf Haf...	73 Ta Tant...	74 W Tun...	75 Re Rhe...	76 Os Oso...	77 Ir Irid...	78 Pt Plati...	79 Au Gold	80 Hg Mer...	81 Tl Thal...	82 Pb Lead	83 Bi Bis...	84 Po Polo...	85 At Asta...	86 Rn Radon
87 Fr Fra...	88 Ra Rad...	89 Ac Acti...	104 Rf Rut...	105 Db Dub...	106 Sg Sea...	107 Bh Boh...	108 Hs Has...	109 Mt Meit...	110 Ds Dar...	111 Rg Roe...	112 Cn Cop...	113 Nh Nih...	114 Fl Fler...	115 Mc Mos...	116 Lv Live...	117 Ts Ten...	118 Og Oga...
58 Ce Ceri...	59 Pr Pra...	60 Nd Neo...	61 Pm Pro...	62 Sm Sa...	63 Eu Eur...	64 Gd Gad...	65 Tb Terb...	66 Dy Dys...	67 Ho Hol...	68 Er Erb...	69 Tm Thul...	70 Yb Ytte...	71 Lu Lute...				
90 Th Tho...	91 Pa Prot...	92 U Ura...	93 Np Nep...	94 Pu Plut...	95 Am Am...	96 Cm Curi...	97 Bk Ber...	98 Cf Cali...	99 Es Eins...	100 Fm Fer...	101 Md Men...	102 No Nob...	103 Lr Law...				

- Alkali metals
- Alkaline earth metals
- Transition metals
- Post-transition metals
- Metalloids
- Reactive non-metals
- Noble gases
- Lanthanides
- Actinides
- Unknown properties



- Концентрација арсена у различитим типовима земљишта, урбаних средина у Србији, креће се у распону од 6 до 10 mg/kg.
- Присуство у стенама и слојевима глине (као хидролошким лежиштима) - лако продирање у подземне воде услед растварања под различитим хидрогеохемијским условима → **природно тј. геолошко порекло.**
- Као такав присутан је у многим подземним водама широм
  - Европе (Мађарска, Словачка, Румунија, Чешка итд.) и
  - света (Бангладеш, Индија, Кина, Чиле, САД итд.) и стога

**представља један од најозбиљнијих проблема  
контаминације пијаће воде са којим се свет данас  
сусреће**

Концентрација варира  
зависно од локалитета.

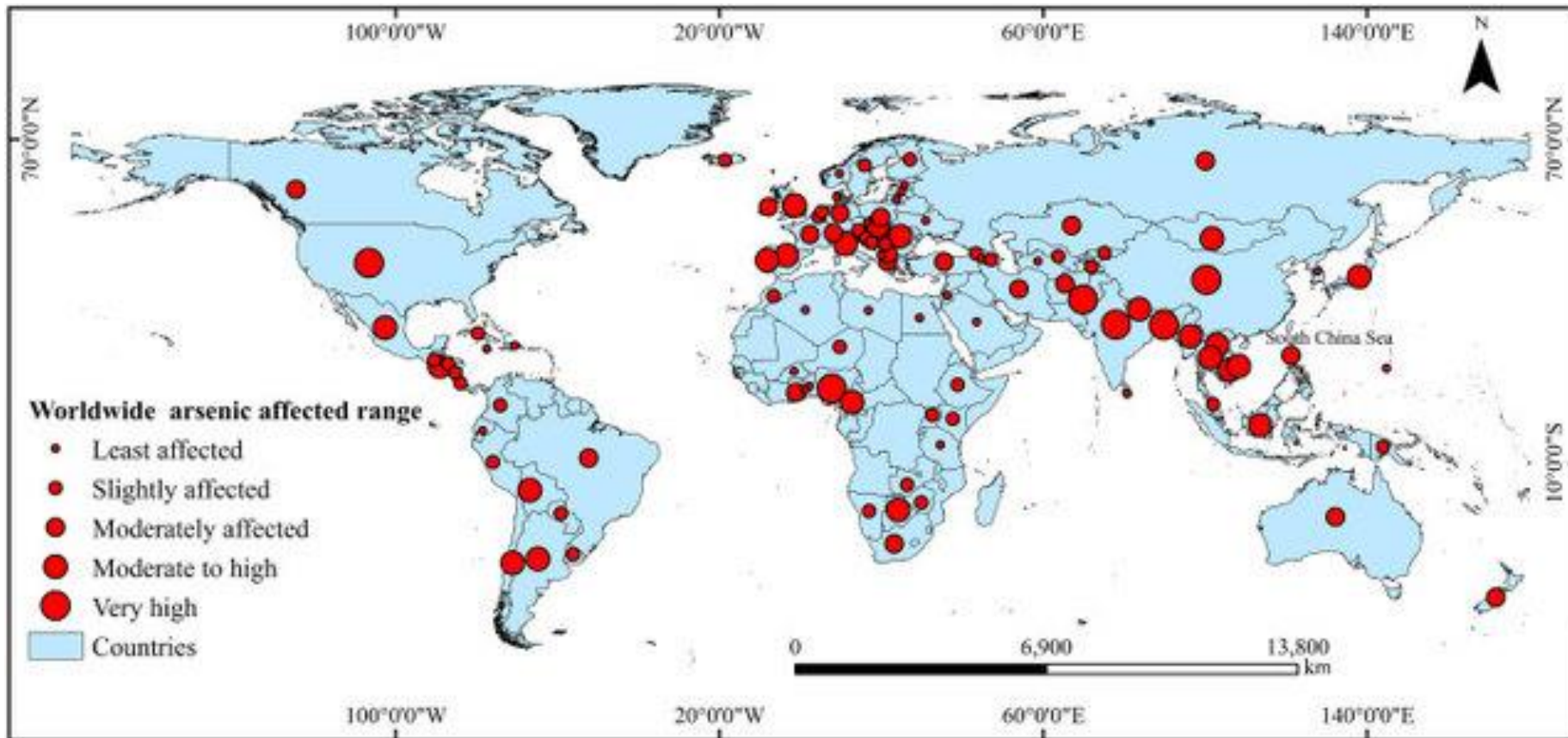
Најчешће: < 1-2  $\mu\text{g As/l}$ .

У подземним водама  
(лежишта од депозита  
сулфидних и седиментних  
минерала вулканског  
порекла):  
и до 12 mg As/l.



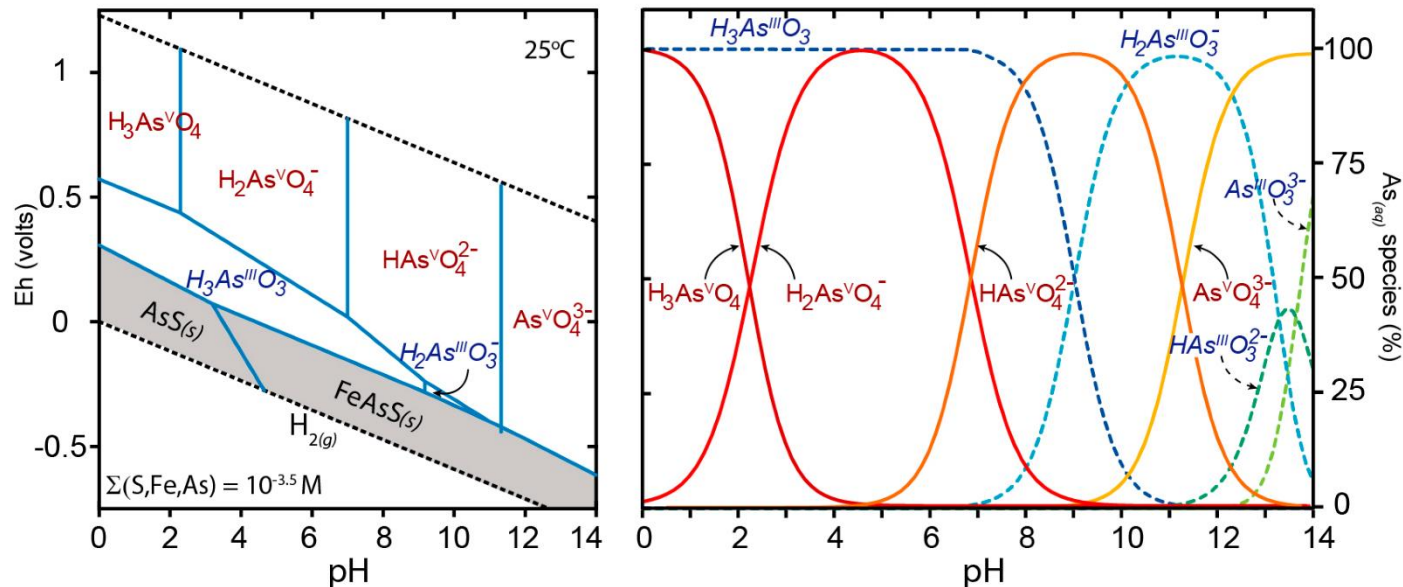


- Процењује се да је око 107 земаља (више од 230 милиона људи) погођено присуством арсена ( $> 10 \mu\text{g/l}$ ) у подземним водама, као једном од највреднијих ресурса на планети :

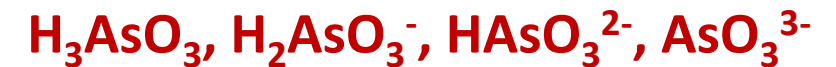


- Азија (32)
- Европа (31)
- Африка (20)
- Северна Америка (11)
- Јужна Америка (9)
- Аустралија (4)

- У природним водама As је присутан у неорганском и у органском облику, са **предоминацијом неорганског**.
- Валентност и присуство различитих форми зависе од оксидо-редукционих услова и рН воде.



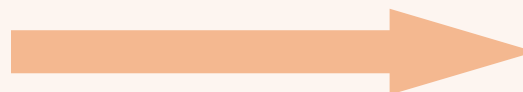
- Арсенит - As(III), присутан је у води зависно од рН средине као:



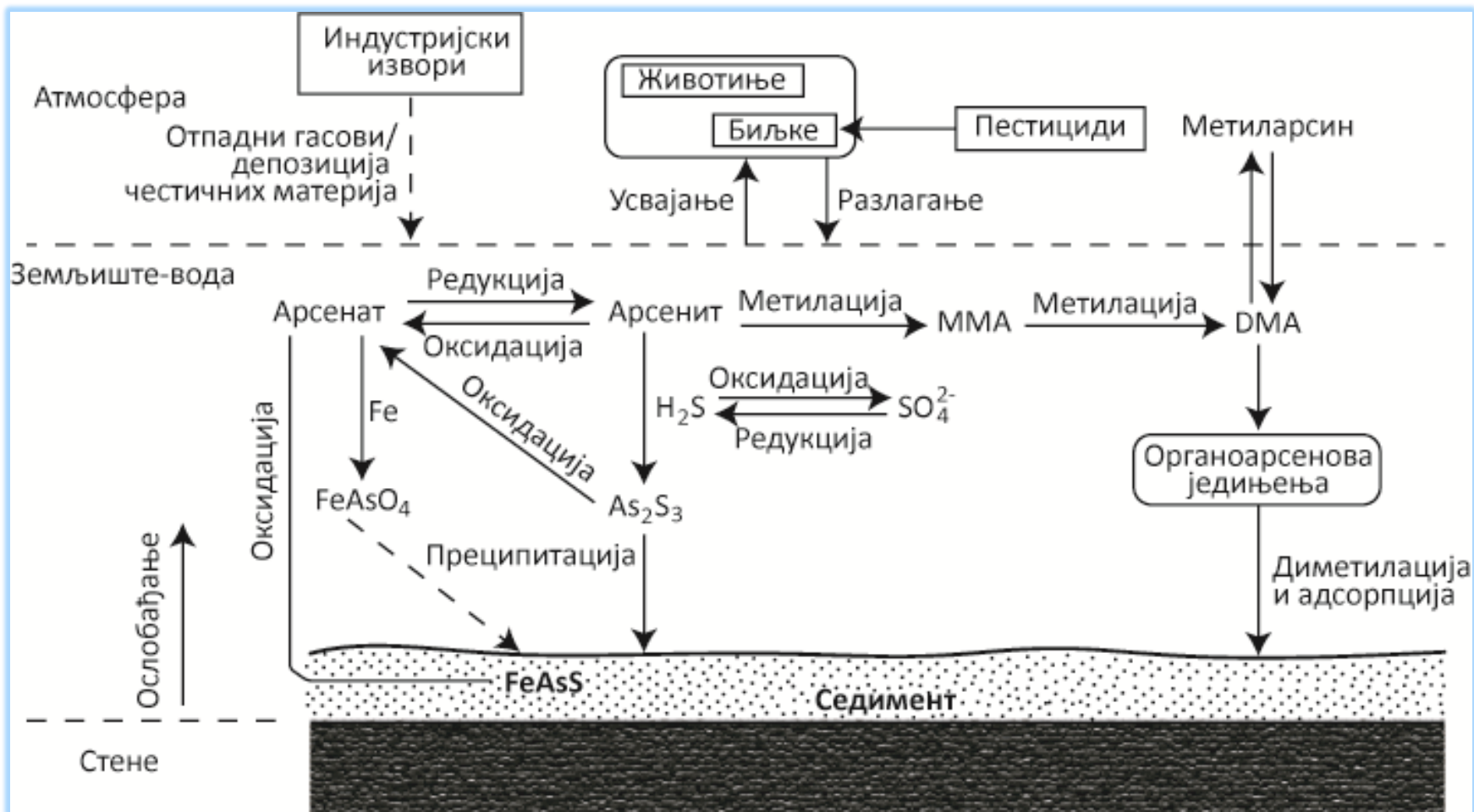
- Арсенат – As(V), присутан је у води зависно од рН средине као:



У поземним водама најчешћа форма је As(III) – због аноксичних услова



Неке подземне воде садрже само As(III), неке само As(V), а неке комбинацију оба



Хемијске и биолошке реакције:

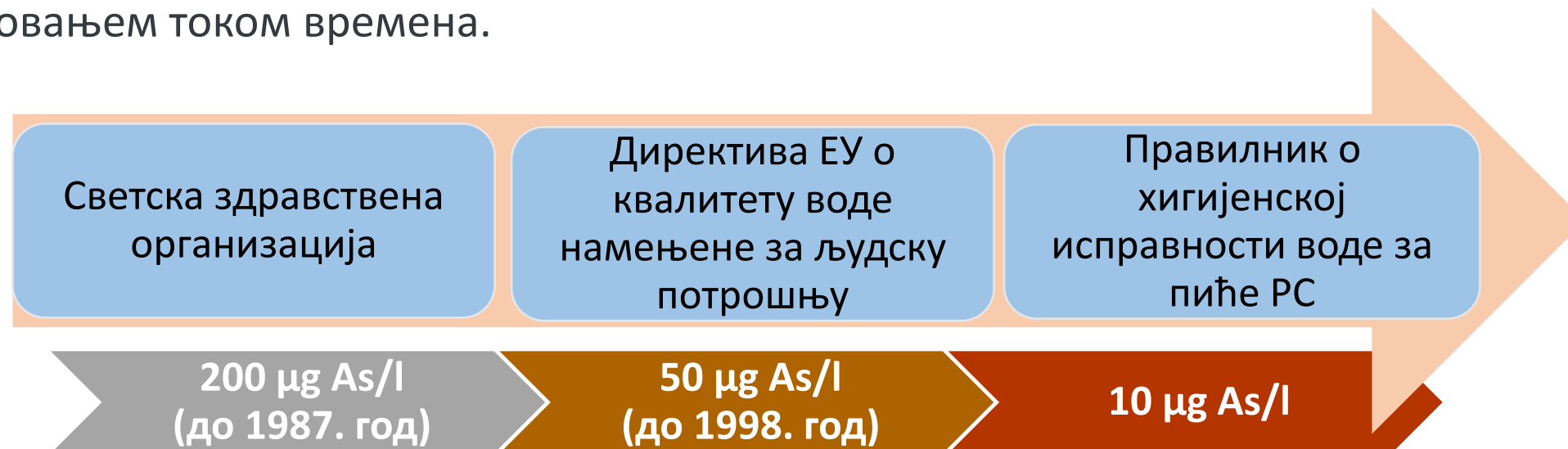
- оксидација,
- редукција,
- адсорпција,
- преципитација,
- метилација и
- испаравање

Сматра се да су главни процеси којима долази до контаминације воде арсеном:

- (1) оксидација арсенопирита ( $FeAsS$ ) или феро хидроксида ( $Fe(OH)_2$ ) и
- (2) редукцији окси-хидроксида ( $FeO(OH)$ ).

- As је металоид без мириса и укуса због чега је важно одређивање садржаја арсена у води за пиће.
- Арсен је познат као канцероген и токсичан елемент (IARC)
- Арсен је леталан у високим концентрацијама, али и при ниским концентрацијама при хроничној изложености може резултовати тровањем током времена.

- **Ефекти дуготрајне изложености As могу бити невидљиви и развијају се постепено.**
- Здравствени проблеми могу се појавити тек након година изложености, што отежава повезивање проблема са квалитетом воде за пиће.



# Токсикокинетика арсена

## Апсорпција

Варира у зависности од растворљивости једињења са арсеном и присуства и састава других састојака хране и нутријената у гастроинтестиналном тракту

## Дистрибуција

Арсен се дистрибуира између крвне плазме и еритроцита (везан за глобински део хемоглобина), а потом у ћелије.

Резидуе арсена се могу наћи у јетри, бубрезима, слезини и плућима, а након неколико недеља и у ноктима, коси и кожи (због њиховог високог садржаја сумпора везаног за протеине).

Укупна акумулација арсена у ткивима:  
бубрези>плућа>бешика>кожа>крв>јетра

## Метаболизам

Раније се сматрало да је акутна токсичност неорганског арсена већа од његовог органског облика и да метилација неорганског арсена представља детоксификациони механизам

Међутим, тровалентни метаболит токсичнији је од As(III)

Продукција тровалентног метиларсенита представља биоактивацију и може допринети токсичности As(III).

## Екскреција

Арсен и његови метаболити се излучују путем урина и жучи

Однос метаболита арсена у урину варира од особе до особе, а објашњава се различитом ефикасношћу метилације арсена.

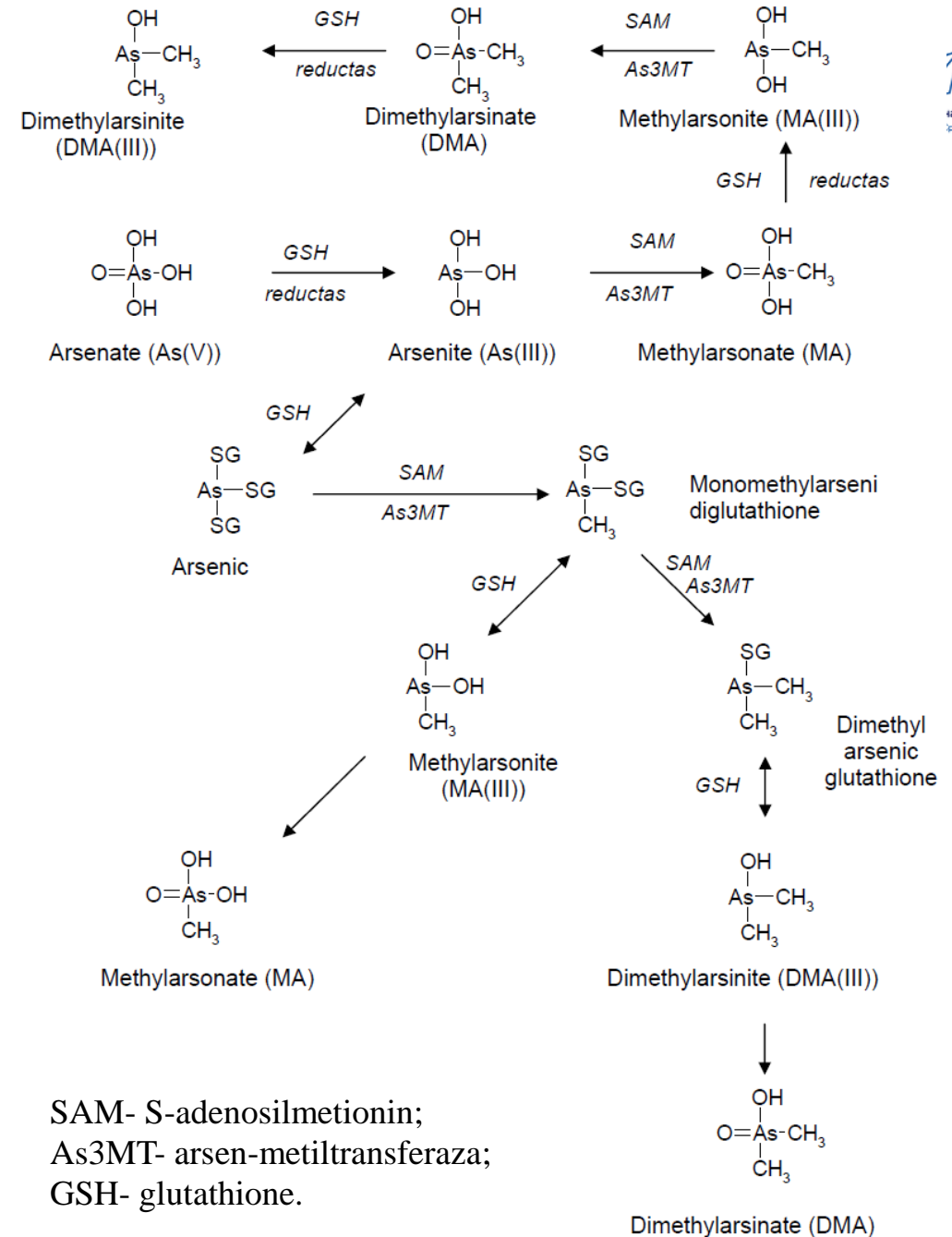
Типичан однос арсена и његових метаболита у урину:

10-30% неоргански арсен,  
10-20% метиларсенат(V) и  
60-70% диметиларсенат(V)

Код већине сисара, укључујући човека, неоргански арсен пролази кроз низ метаболичких реакција и процеса, тако да се излучују углавном његови метаболити.

Многи фактори као што су **старост, пол, стање ухрањености, изложеност другим хемијским супстанцама**, а посебно **ниво изложености арсену**, утичу на биотрансформацију арсена.

**Предложени метаболички пут неорганског арсена код сисара**



Извор: EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). 2009. Scientific Opinion on Arsenic in Food. EFSA Journal. 7(10):1351. 2024. Update of the risk assessment of inorganic arsenic in food. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8488> 2024. Risk assessment of small organoarsenic species in food. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8844> Доступно на: [www.efsa.europa.eu](http://www.efsa.europa.eu).

# Присутство арсена у води за пиће представља озбиљан изазов који може имати дугорочне и тешке последице по здравље људи.

- Дуготрајно излагање арсену може изазвати различите врсте канцера:

- **канцер коже,**
- **плућа,**
- **мокраћне бешике,**
- **јетре,**
- **простате**

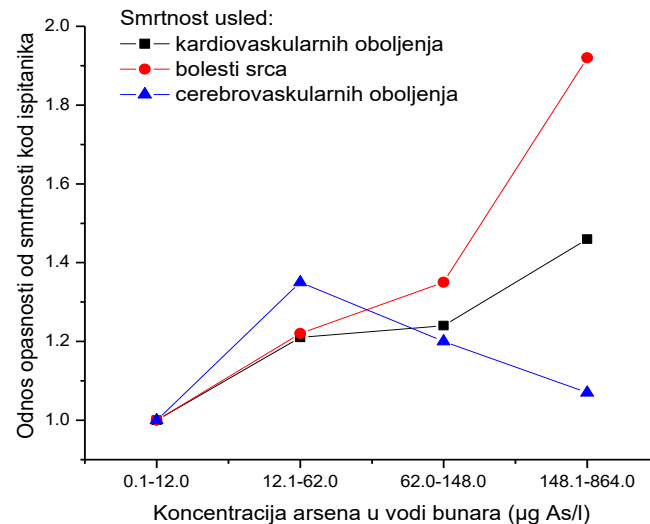


- Осим канцера може изазвати:

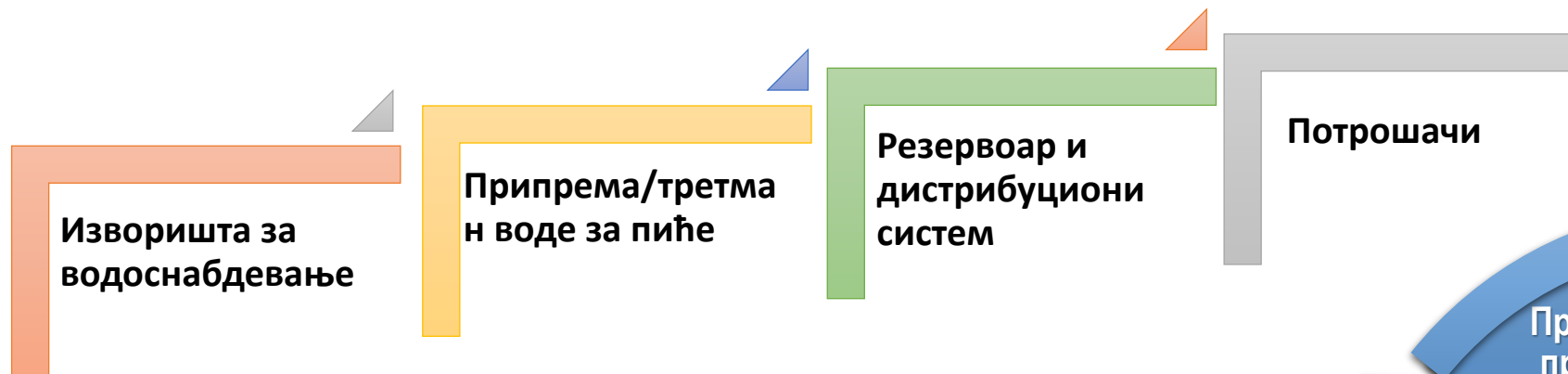
- **Кожне поремећаје:** промене у боји коже, пуцање коже и стварање брадавица.
- **Кардиоваскуларне болести:** дуготрајна изложеност може повећати ризик од болести срца и крвних судова.
- **Диабетес:** постоји веза између изложености арсену и повећаног ризика од дијабетеса типа 2.
- **Неуролошке проблеме:** дуготрајна изложеност може утицати на развој и функцију нервног система, посебно код деце.



Извор: Chen Y, Graziano JH, Parvez F, Liu M, Slavkovich V, Kalra T, Argos M, Islam T, Ahmed A, Rakibuz-Zaman M, et al. 2011. Arsenic exposure from drinking water and mortality from cardiovascular disease in Bangladesh: prospective cohort study. Br Med J. 342:d2431. (прилагођено)



# Процена и управљање ризиком



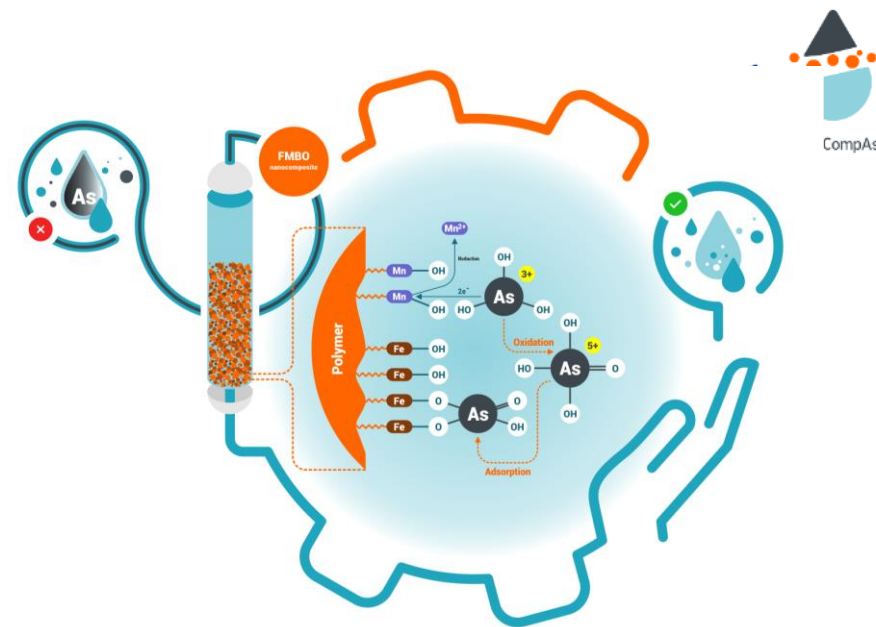
## **ПЛАНОВИ ЗА СИГУРНО СНАБДЕВАЊЕ ВОДОМ ЗА ПИЋЕ**





	Ризик	Сценарио	Одговор
Процена ризика	низак ризик	Нема ранијих доказа о присуству арсена у подземној води Нема ризика од контаминације на <a href="http://www.gapmaps.net">www.gapmaps.net</a>	Лабораторијска испитивања приоритетних прородних контаминаната (нпр. ) у <1% бунара на различитим дубинама
	сумња на ризик	Нема ранијих доказа о присуству арсена у подземној води Одређени степен ризика од контаминације на <a href="http://www.gapmaps.net">www.gapmaps.net</a>	Лабораторијска испитивања приоритетних прородних контаминаната (нпр. ) у >5% бунара у областима идентификованим од стране <a href="http://www.gapmaps.net">www.gapmaps.net</a>
	утврђен ризик	Поједини извештаји о присуству арсена у подземној води, али нису још увек потврђени	Успостављање мултидисциплинарног тима ради валидације податак о контаминацији воде арсеном
	потврђен ризик	Мониторингом потврђено присуство арсена у подземној или површинској води	Дефинисање циљева базираних на здрављу (укључујући и стандарде за арсен) Припремити мониторинг план за праћење конц. арсена у води Утврдити приоритетне мере за смањење ризика од арсена
Управљање ризиком	квантификован ризик	Подаци о природи и обиму проблема представљени на детаљној мапи	Опсежно испитивање бунара у високо ризичној области Подићи капацитете за испитивања на терену и лабораторијску верификацију Увести јединствени систем кодирања бунара Иницирати приоритетне мере за смањење ризика
	умањени ризик	Обимним истраживањем идентификовани сви безбедни и контаминирани бунари (јавни и проватни) Идентификовани/обезбеђени алтернативни извори воде за пиће за угрожену популацију	Успоставити систем за праћење здравља/пољопривреде/воде Применити процес контроле и обезбеђивања квалитета (QA/QC) за све опције умањења ризика Испитивање одступања у подацима добијеним праћењем здравља/пољопривреде/воде
	секундарни ризик	Идентификоване промене и ефекти на здравље услед изложености арсену	Испитати/обележити контаминацију бунара за наводњавање Формирати базу података о контаминацији арсена Подржати академска испитивања одступања у прикупљеним подацима
	будући ризик	Још ризик од експозиције арсену није квантификован	Испитивање латентних болести, мобилности арсена и смањења његовог садржаја, последица по безбедност хране и воде, поверења у јавне агенције

- **Контрола и обезбеђивање** високог стандарда квалитета воде за пиће укључује редовно **тестирање и мониторинг**.
- **Третман воде** игра кључну улогу у осигуравању њеног квалитета, а савремене технологије омогућавају ефикасно уклањање потенцијалних контаминаната.
- Очување и унапређење квалитета воде за пиће није само питање **здравствене заштите**, већ и питање **очувања животне средине и одрживог развоја** заједница.
- **Кроз правилно управљање ресурсима и примену савремених технологија, можемо осигурати да вода коју користимо остане чиста, сигурна и доступна за све.**



## NanoCompAs



NanoCompAs



Фонд за науку  
Републике Србије

- Иновативни приступ пречишћавању воде применом бифункционалног нанокмпозитног филтерског медијума на бази Fe-Mn оксида:
  - Сарадња УНСПМФ-а и ИМСИ-ја
  - Провера перформанси процеса адсорпције на бифункционалном нанокмпозитном материјалу – лабораторијска истраживања
  - Валидација бифункционалног нанокмпозитног материјала на терену - пилот истраживања
  - Сектор вода - анализа тржишта



# Закључак

- Присутност арсена у води за пиће је скривена опасност која може имати озбиљне и дугорочне последице по здравље људи и животну средину.
- Од кључног је значаја пратити и регулисати садржаје арсена у води за пиће (али и другим изворима изложености) како би се смањила потенцијална штета по здравље људи.

- Ефикасно решавање овог проблема захтева
  - подизање свести о опасностима од присуства арсена у води и
  - разумевање природних процеса који до тога доводе,
  - разумевање напора који се предузимају да се ублажи његов утицај на становништво применом различитих технологија за третман воде,
  - заједнички рад на развоју ефикасних решења,
  - имплементацију регулативних мера, као и
  - пружање подршке заједницама погођеним овим проблемом.

# ХВАЛА НА ПАЖЊИ!

Истраживање је спроведено уз подршку Фонда за науку Републике Србије, Број 4858 "Scale up of bifunctional Fe-Mn binary oxide nanocomposite filter media: an innovative approach for water purification" – NanoCompAs.

Ова презентација је сачињена уз финансијску подршку Фонда за науку Републике Србије. За садржину ове публикације искључено је одговорна др Јасмина Агбаба и та садржина не изражава ставове Фонда за науку Републике Србије.