



ARSENICPLATFORM

HUSRB/1002/121/075



Unapređeni procesi oksidacije u tretmanu vode za piće

Nagyhatékonyságú oxidációs eljárások az ivóvíz előkészítése során

Dr Jelena Molnar

Department za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine

Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu

Újvidéki Tudományegyetem, Természettudományi-matematikai Kar

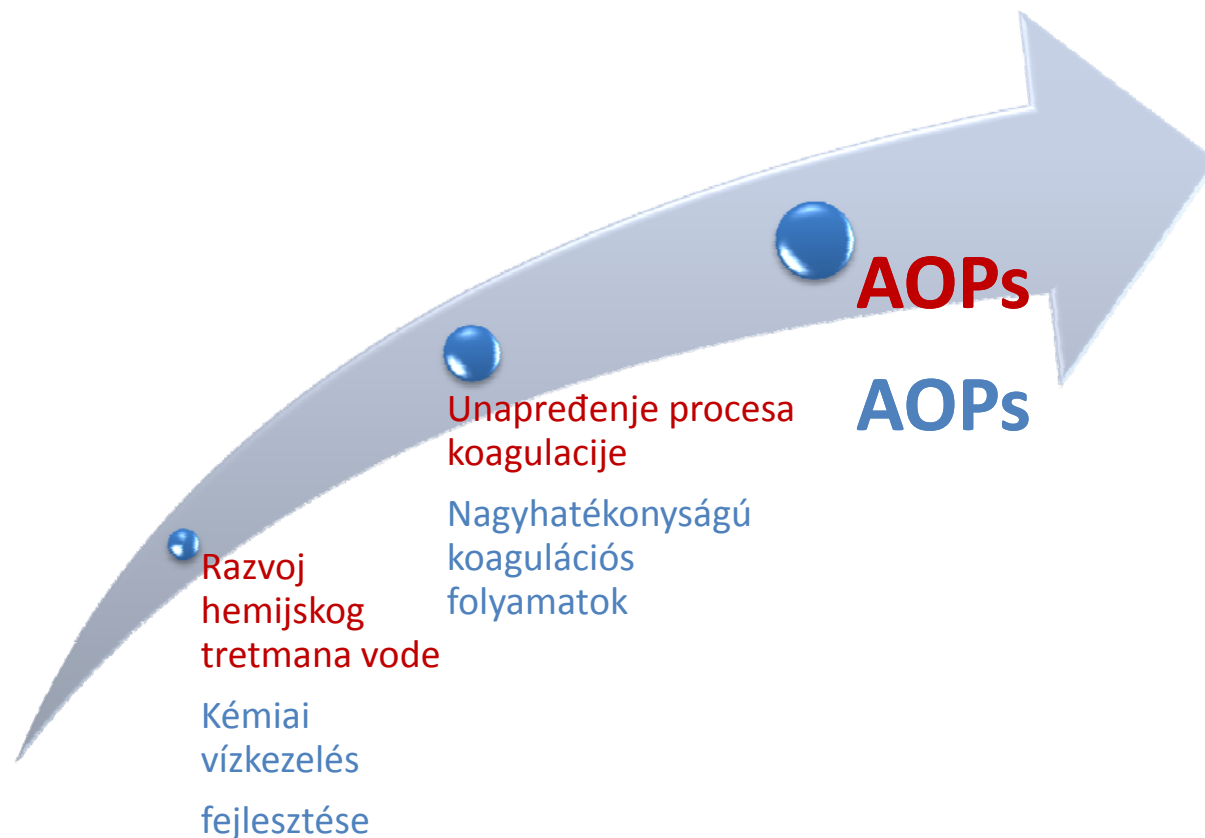


Projekat sufinansira
Evropska unija

Kikinda, 23-24.02.2012.

UNAPREĐENI PROCESI OKSIDACIJE (AOPs)

Nagyhatékonyságú oxidációs folyamatok(AOPs)



Oksidacija i uklanjanje teško razgradivih organskih jedinjenja u vodi

Vízben előforduló nehezen lebomló szerves anyagok oxidálása és eltávolítása

- ✓ Osnovna karakteristika svih AOPs-a je generisanje OH radikala
 - ✓ Az AOPs közös jellemzője az OH gyökök generálása

Apsolutni oksidacioni potencijal najčešće primenjivanih oksidanata

Oksidant	Apsolutni oksidacioni potencijal (volt)
Fluor	3.03
Hidroksil radikali	2.80
Atomski kiseonik	2.42
Ozon	2.07
Vodonik peroksid	1.78
Perhidroksil radikal	1.70
Permanganat	1.68
Hipobromna kiselina	1.59
Hlor-dioksid	1.57
Hipohloritna kiselina	1.49
Hlor	1.36
Kiseonik	1.20

Jedinjenje	O ₃	·OH
Hlorovani alkeni	10 ³ -10 ⁴	10 ⁹ -10 ¹¹
Fenoli	10 ³	10 ⁹ -10 ¹⁰
Jedinjenja koja sadrže organski vezani azot	10-10 ²	10 ⁸ -10 ¹⁰
Aromati	1-10 ²	10 ⁸ -10 ¹⁰
Ketoni	1	10 ⁹ -10 ¹⁰
Alkoholi	10 ⁻² - 1	10 ⁸ -10 ⁹

Podela AOPs-a

AOPs-ek felosztása



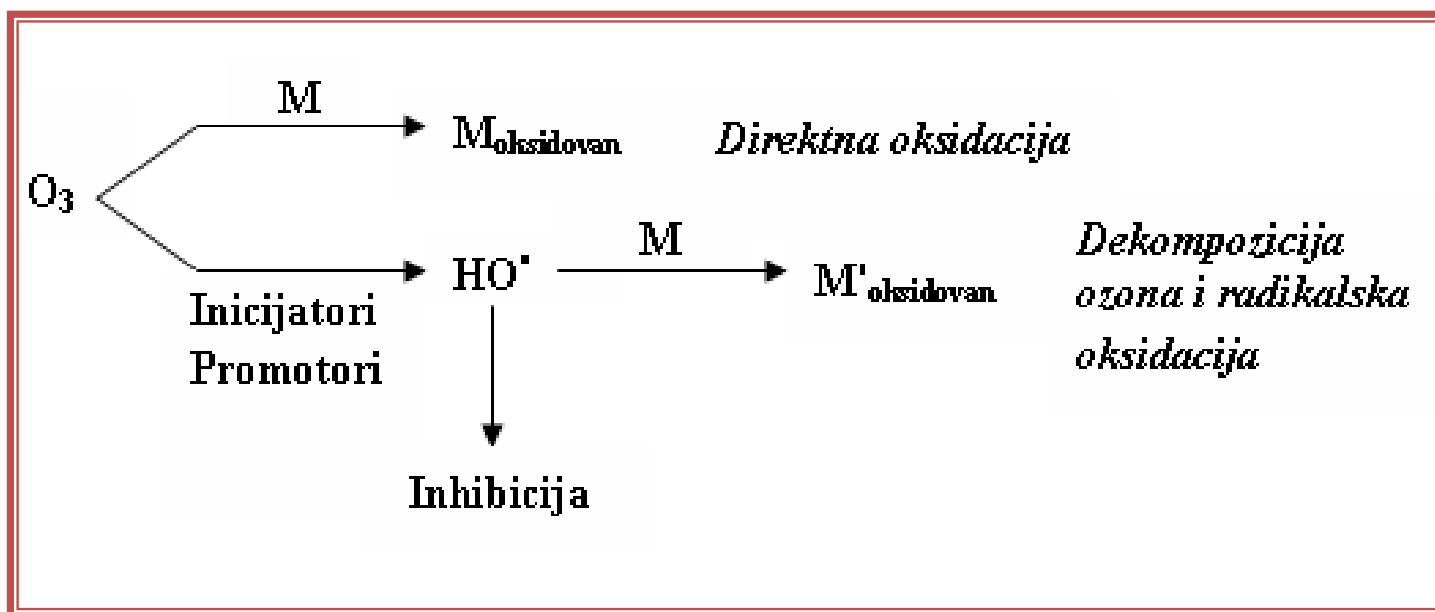
Primena AOPs u tretmanu vode za piće

AOPs alkalmazása ivóvíz kezelésnél

- Degradacija velikog broja mikropolutanata (uključujući As) i POM
- Nagyszámú mikroszennyező lebontása (beleértve As) ésTSZA
- Jedinjenja koja se teško oksiduju ozonom
 - ✓ Geosmin, 2-metil izoborneol
 - ✓ Fenoli
 - ✓ Hlorovani ugljovodonici
- Vegyületek melyek nekezen ózonozhatók
 - ✓ Geosmin, 2-metil izoborneol
 - ✓ fenolok
 - ✓ Klórozott szénhidrogének

Proces ozonizacije Ózonizáció folyamata

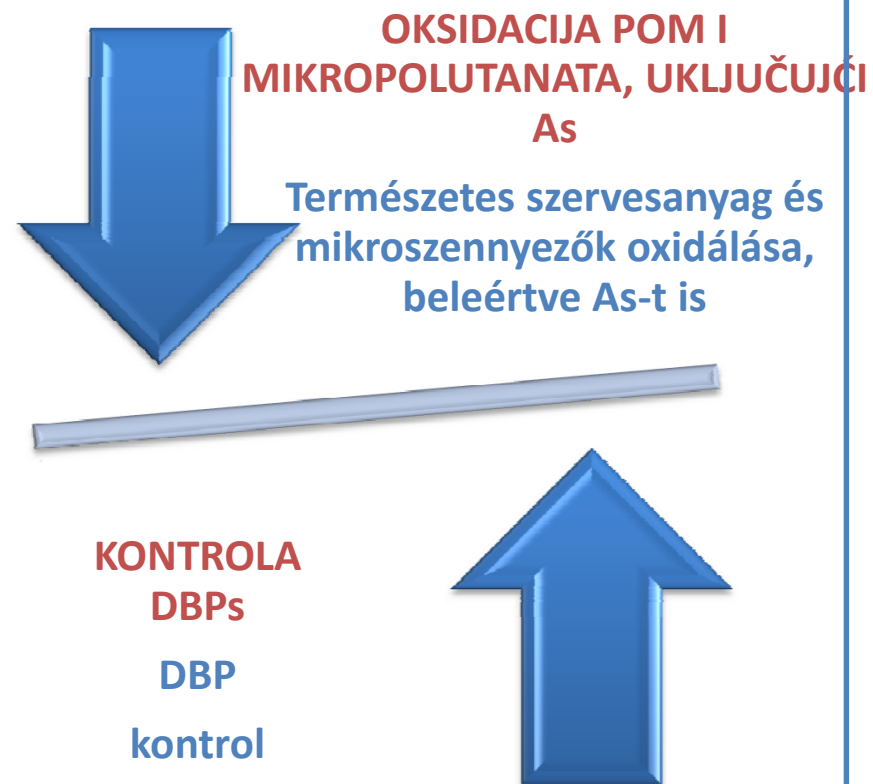
- Oksidacija organskih materija:
- Szervesanyag oxidálása:



Prednosti primene ozona u tretmanu vode za piće

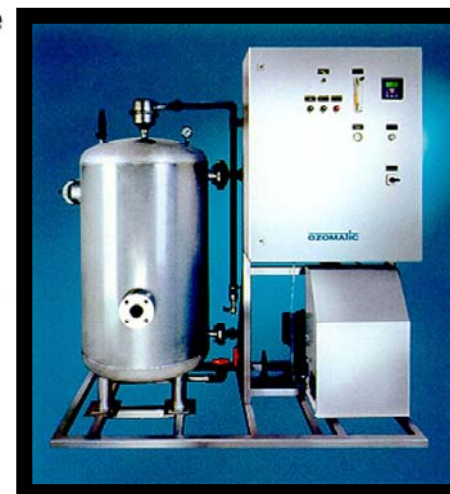
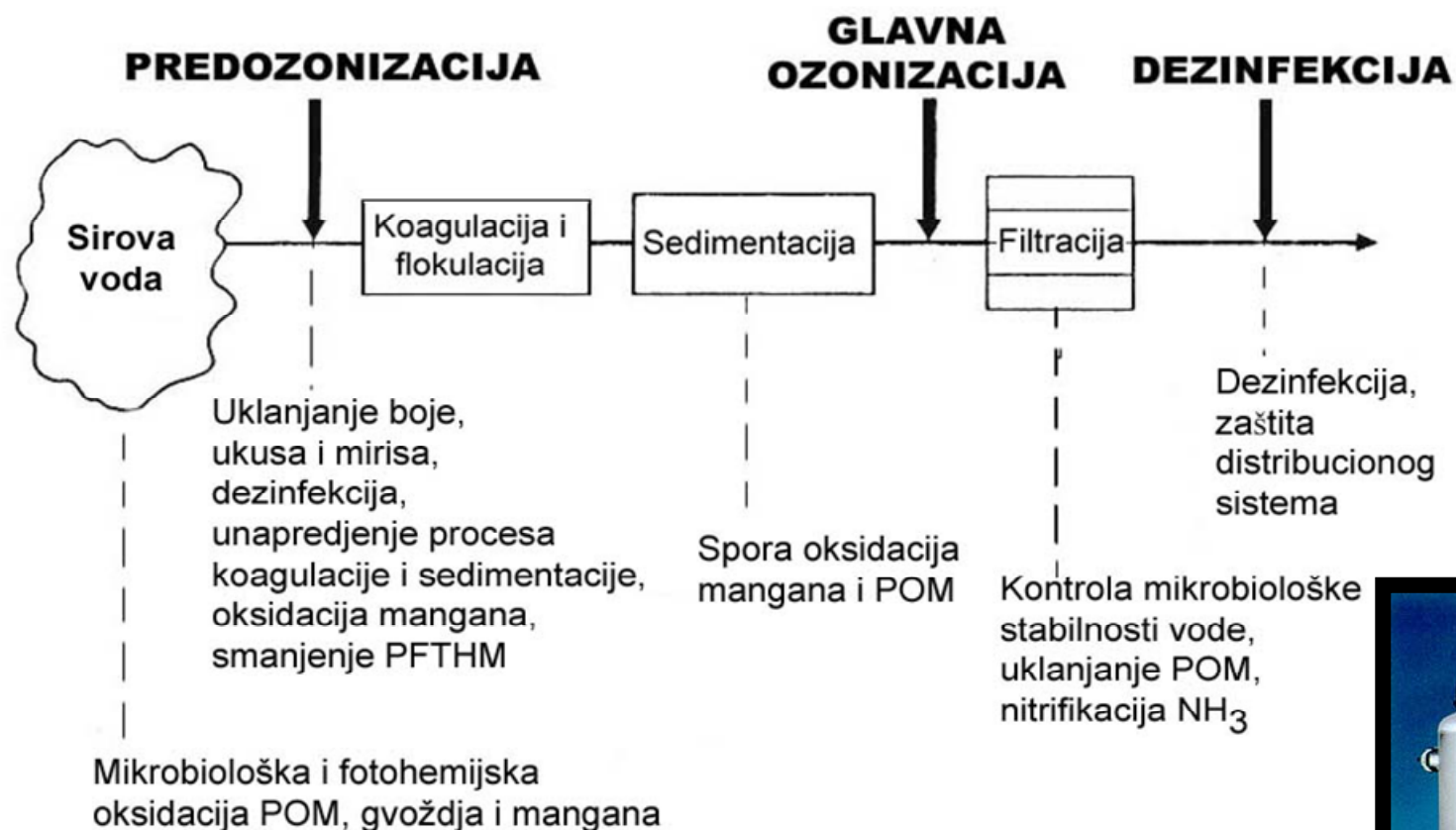
Ózon alkalmazásának előnyei az ivóvíz kezelésben

- ✓ dezinfekcija,
- ✓ oksidacija gvožđa i mangana, sulfida,
- ✓ oksidacija jedinjenja koja daju miris i ukus,
- ✓ uklanjanje boje,
- ✓ redukcija potrebe za hlorom kroz oksidaciju i dr.
- ✓ Nakon dekompozicije ozona, kao rezidual se javlja jedino kiseonik



Mesta primene ozona u tretmanu vode za piće

Ózonozás alkalmazásának helyei az ivóvízkezelés során

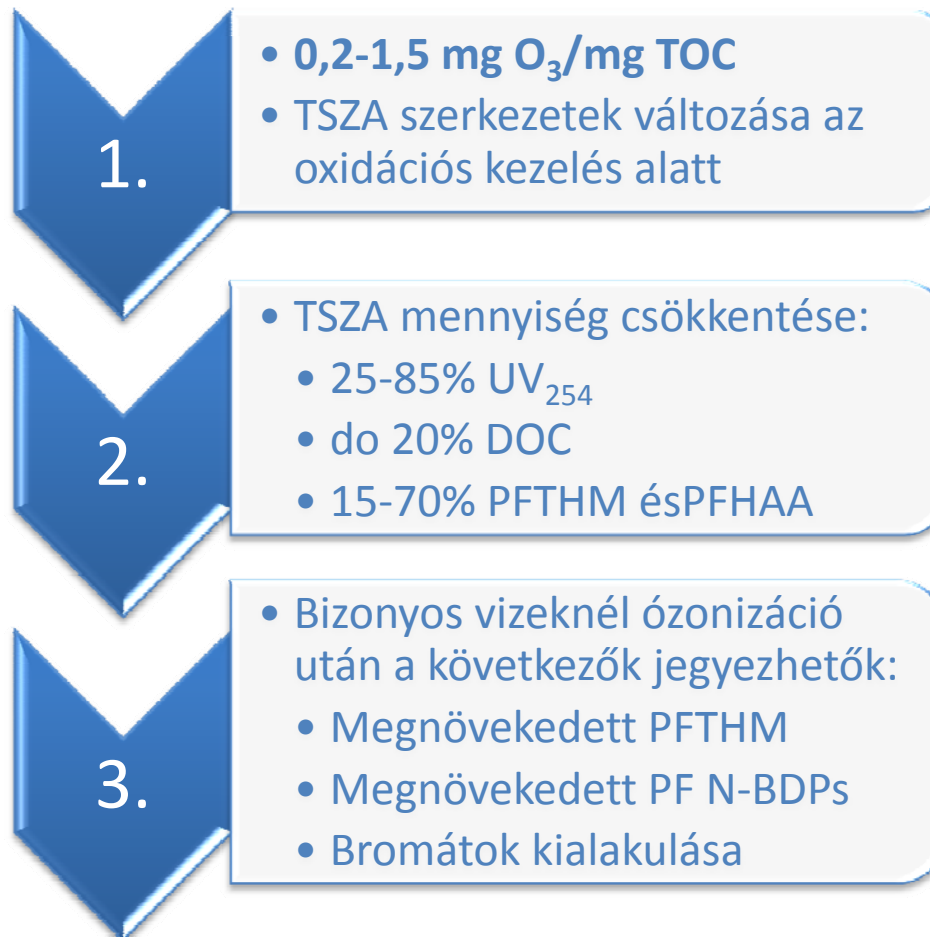
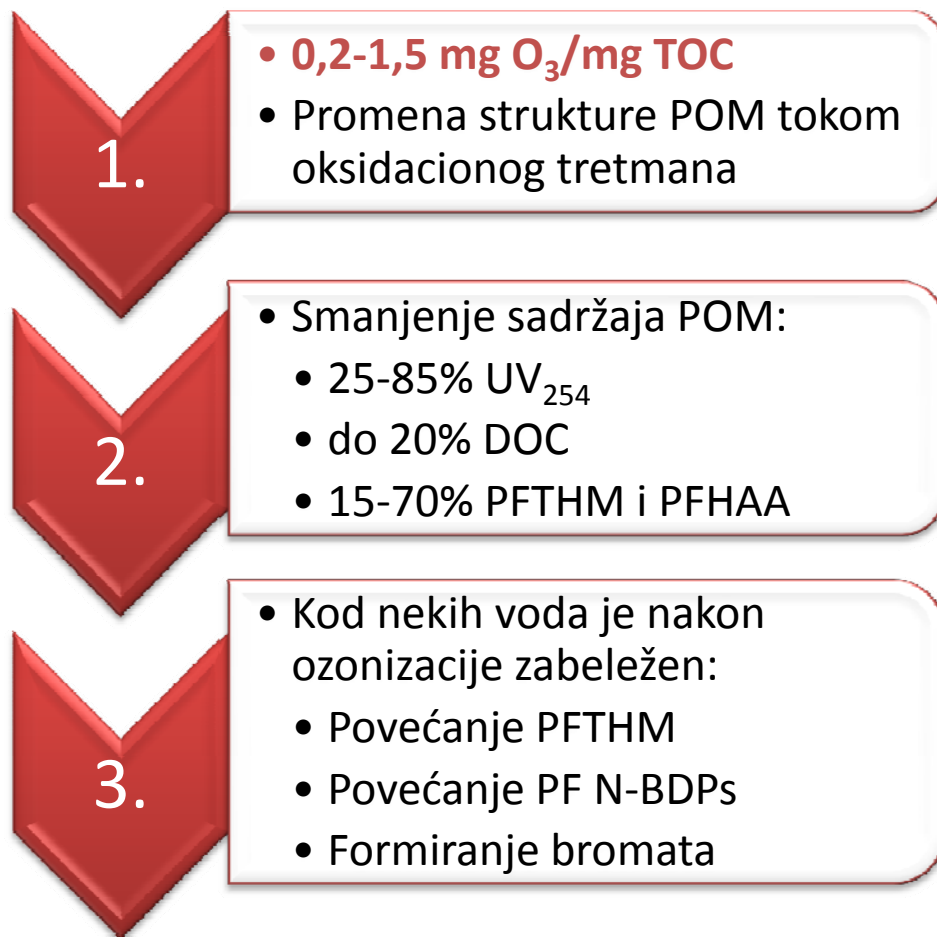


Primena ozona ima i nekih nedostataka: Ózon alkalmazásának vannak bizonyos hátrányai is:

- Formiranja oksidacionih nusprodukata:
- Oxidációs melléktermékek kialakulása
 - ✓ aldehida,
 - ✓ ketona,
 - ✓ bromata i niza bromovanih DBP,
- početna cena za ozonizaciju je visoka,
- Ózonizálás költséges,
- generacija ozona zahteva visoku energiju i mora se generisati na licu mesta,
- Ózongenerálás magas energiákat vesz igénybe és a folyamatot a helyszínen kell végrehajtani
- nema rezidualno delovanje
- Nincs reziduális hatás

Primenom ozona postignito je:

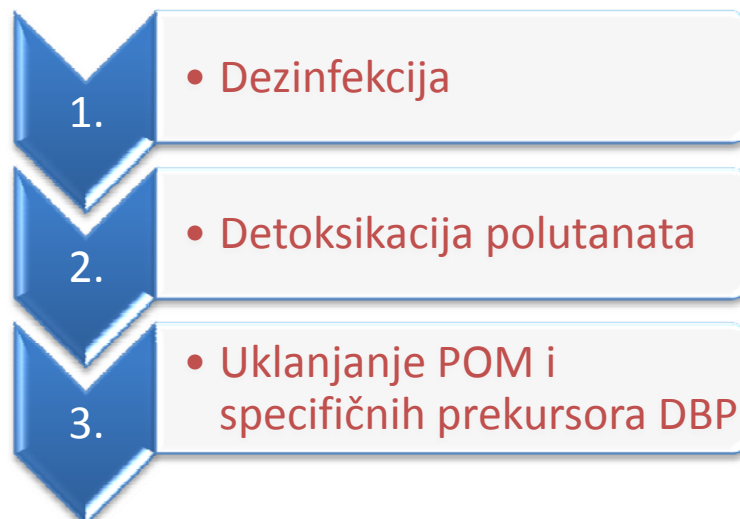
Ózon alkalmazásával a következők érhetőek el:



AOPs zasnovani na primeni ozona Ózon alkalmazásn alapuló AOPs

- *Homogeni nefotohemijski sistemi:*
 - O_3/H_2O_2 , O_3/OH^- ;
- *Homogeni fotohemijski sistemi:*
 - O_3/UV , $O_3/H_2O_2/UV$;
- *Heterogeni nefotohemijski i fotokatalitički sistemi:*
 - TiO_2-O_3 , TiO_2-O_3/UV ;

- *Homogén nem fotokémiai folyamat:*
 - O_3/H_2O_2 , O_3/OH^- ;
- *Homogén fotokémiai folyamat :*
 - O_3/UV , $O_3/H_2O_2/UV$;
- *Heterogén nem fotokémiai és fotokatalitikus rendszer:*
 - TiO_2-O_3 , TiO_2-O_3/UV ;



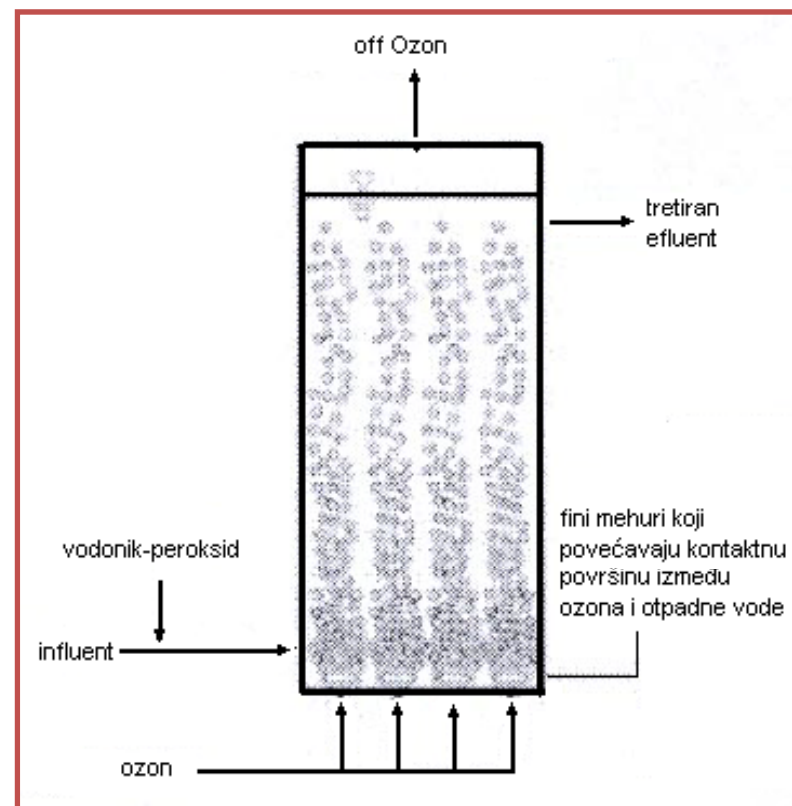
Ozon/vodonik peroksid (O_3/H_2O_2) Ózon/hidrogén-peroxid (O_3/H_2O_2)

Jedan od najjednostavnijih i najjeftinijih načina da se inicira razlaganje ozona i formiraju visoko reaktivni OH radikali

Egyik legegyszerűbb és legolcsóbb módja az ózon dekompozícójának kezdésére és reaktív OH gyökök képzésére

- ✓ Potrebno je odrediti optimalnu dozu H_2O_2 i O_3 .

$$H_2O_2/O_3=0,04-1$$



Primena O_3/H_2O_2 u tretmanu vode za piće

O_3/H_2O_2 alkalmazása ivóvíz kezelés során

- uklanjanje komponenti koje daju miris i ukus vodi,
- Víz ízét és szagát adó anyagok eltávolítása
- različitih organskih polutanata,

Za uklanjanje jedinjenja karakteristično je da se ne mogu u potpunosti ukloniti primenom ozona, dok O_3/H_2O_2 proces u velikom broju slučajeva može omogućiti njihovu delimičnu ili potpunu mineralizaciju, a time i olakšano uklanjanje iz vode.

- ✓ pesticidi,
- ✓ deterđenti,
- ✓ lekovi,
- ✓ proizvodi za ličnu higijenu i hormonski aktivne supstance,
- POM,
- TSZA,
- Ispitana je i mogućnost za dezinfekciju vode.

Efikasnost oksidacije organskih i neorganskih konstituenata vode primenom O_3/H_2O_2 procesa zavisi od:

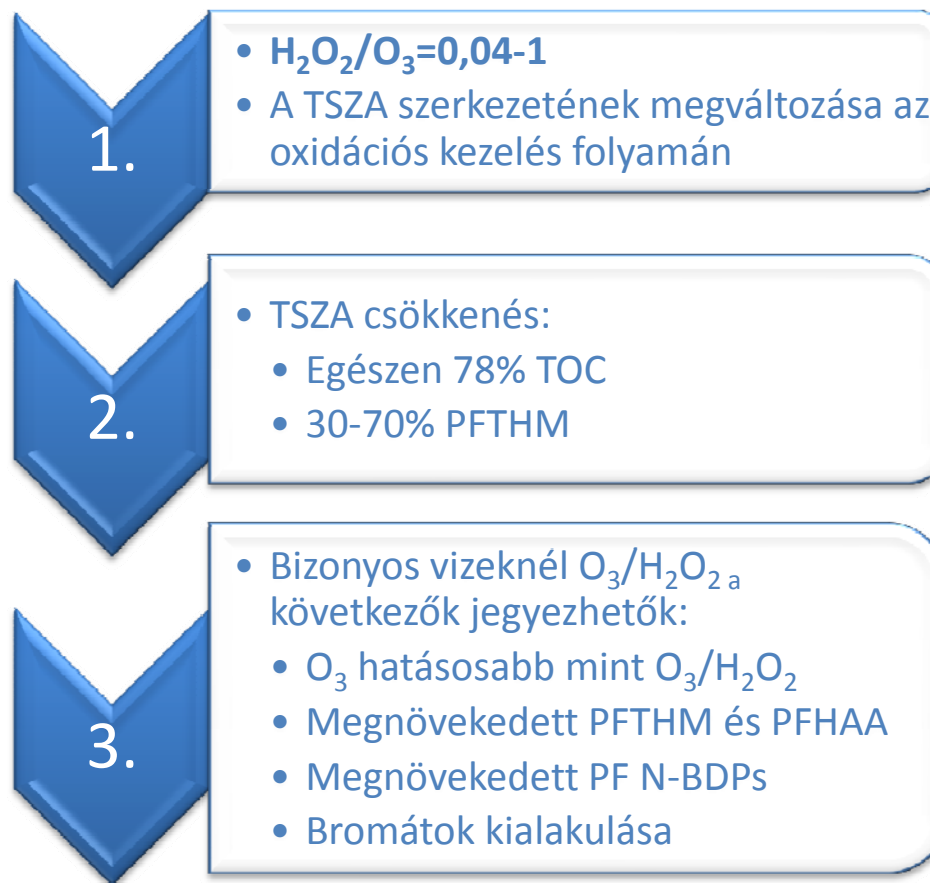
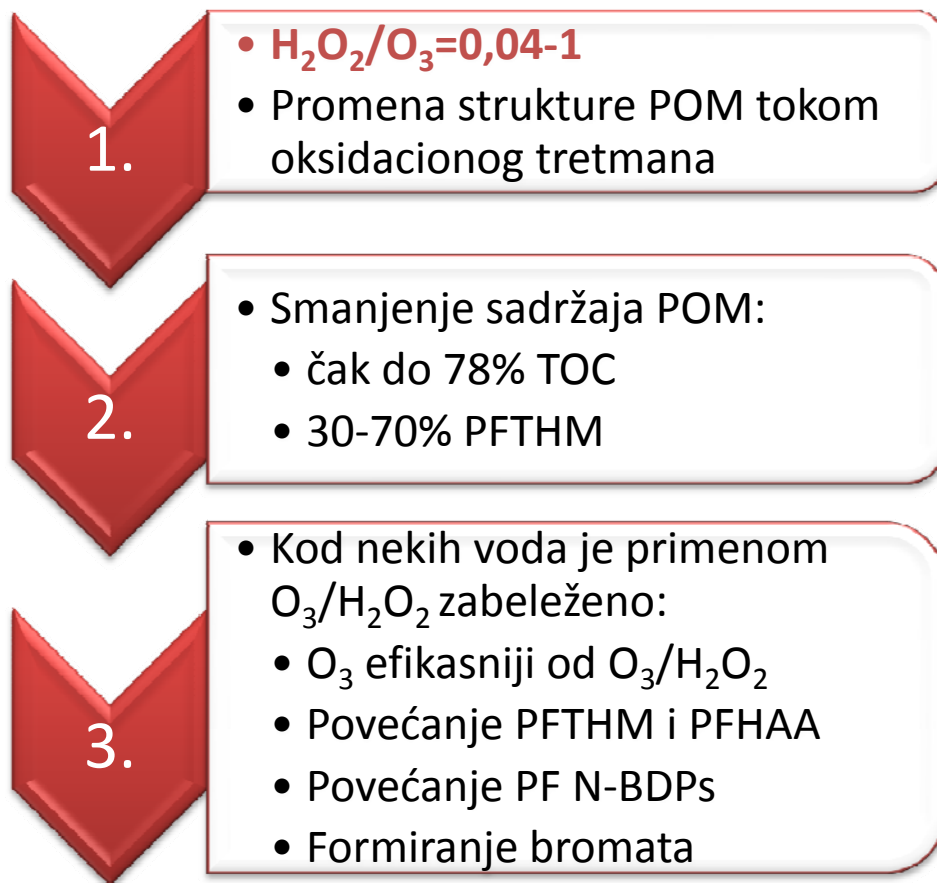
A víz szerves és szervesetlen összetevői oxidálásának határfoka O_3/H_2O_2 folyamattal a következőktől függ:

- doze O_3 ,
- doze H_2O_2 ,
- njihovog međusobnog odnosa,
- pH vode,
- vremena kontakta,
- alkaliteta vode i prirode matriksa,

- O_3 dózis
- H_2O_2 dózis
- A kettő aránya,
- Víz pH,
- Kontakt idő,
- Víz alkalitás és mátrix jellemzői

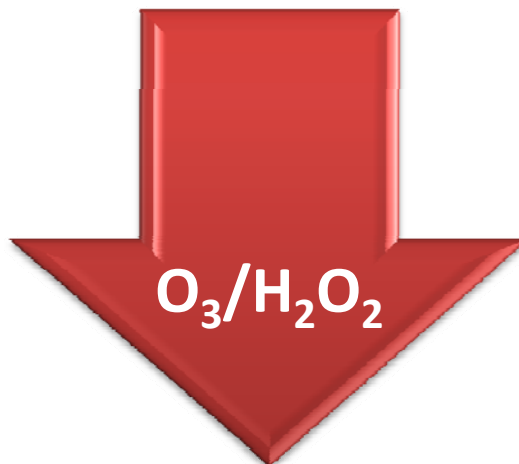
Primenom O_3/H_2O_2 postignito je:

O_3/H_2O_2 alkalmazással a következők lettek elérhetőek:



Poređenje O_3 i O_3/H_2O_2 :

O_3 és O_3/H_2O_2 összehasonlítása



- | | |
|--|--|
| - Brzina dekompozicije ozona – | „Normalna“ dekompozicija kojom dolazi do produkcije hidroksil radikala kao intermedijera |
| - Rezidual ozona – | 5-10 min. |
| - Način oksidacije – | Obično direktnom oksidacijom molekulskog O_3 |
| - Sposobnost oksidacije Fe i Mn – | Odlična |
| - Sposobnost uklanjanja jedinjenja koja vodi daju miris i ukus – | Promenljiva |
| - Sposobnost oksidacije hlorisanih organskih jedinjenja – | Slaba |
| - Sposobnost dezinfekcije i mogućnost detekcije reziduala - | Odlična |

- | | |
|--|---|
| - Brzina dekompozicije ozona – | Ubrzavanje dekompozicije O_3 povećava koncentraciju $\cdot OH$ u odnosu na O_3 |
| - Rezidual ozona – | Veoma kratak usled brze reakcije |
| - Način oksidacije – | Favorizovano $\cdot OH$ |
| - Sposobnost oksidacije Fe i Mn – | Manje efikasan |
| - Sposobnost uklanjanja jedinjenja koja vodi daju miris i ukus – | Dobra, $\cdot OH$ reaktivniji od O_3 |
| - Sposobnost oksidacije hlorisanih organskih jedinjenja – | Dobra, $\cdot OH$ reaktivniji od O_3 |
| - Sposobnost dezinfekcije i mogućnost detekcije reziduala - | Dobra, ne omogućava merenje reziduala, pa iz tog razloga nije moguće izračunati Ct vrednost |



Katalitička ozonizacija

Katalitikus ózonozás

✓ Najčešće primenjavani katalizatori:

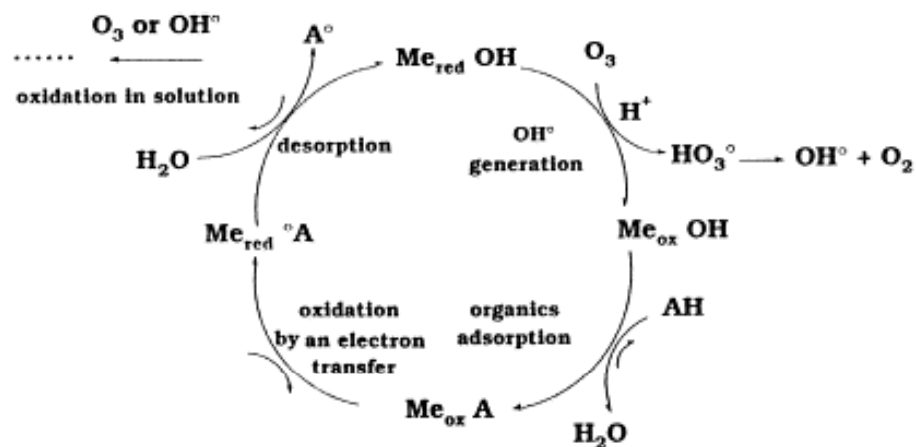
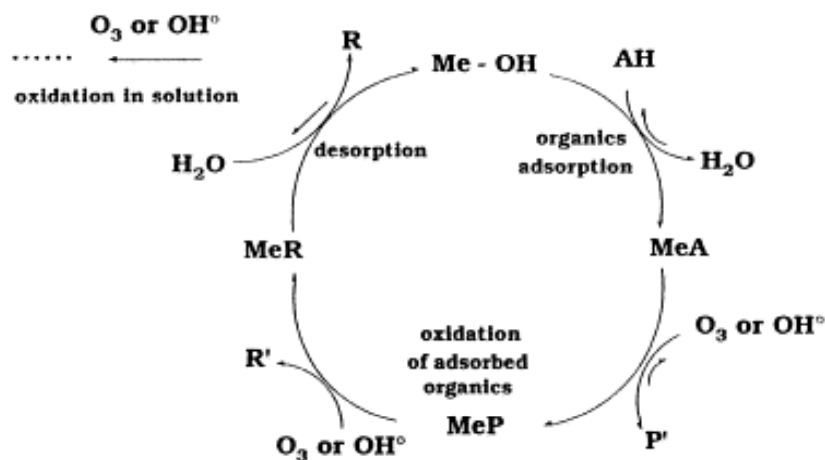


MnO_2 ,
 TiO_2 ,
 Al_2O_3



$\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$, Cu-TiO_2 ,
 Ru-CeO_2 ,
 V-O/TiO_2 ,
 V-O/silika gel
i $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$,
 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$

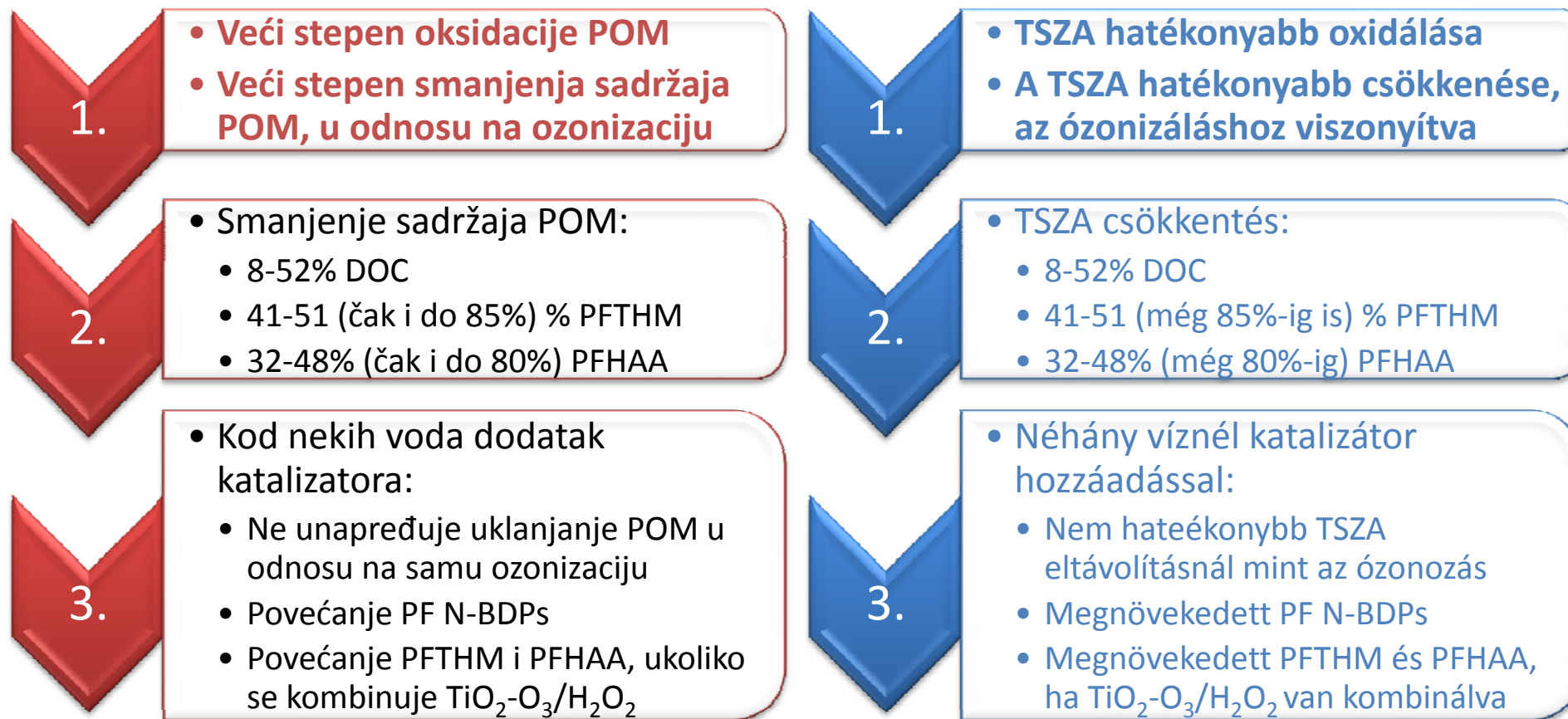
Uklanjanje organskih materija katalitičkom ozonizacijom



- *Hemisorpcija ozona;*
- *Hemisorpcija organskih molekula;*
- *Hemisorpcija ozona i organskih molekula.*

Poređenje fikasnosti katalitičke ozonizacije sa ozonizacijom

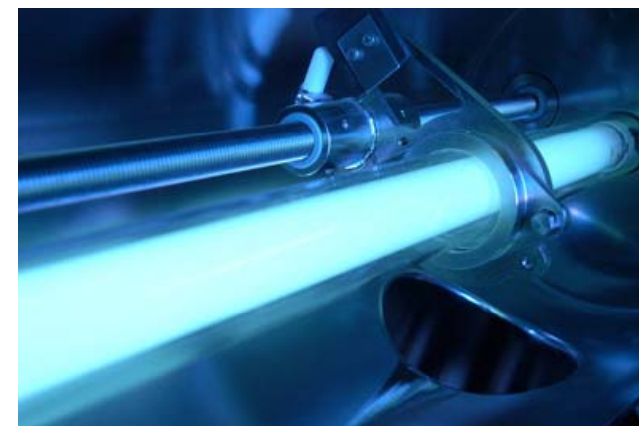
A katalitikus ózonozás és ózonozás összehasonlítása



O_3/UV i H_2O_2/UV

O_3/UV és H_2O_2/UV

- ✓ Kompletna oksidacija, kao i oksidativna destrukcija jedinjenja rezistentnih na oksidaciju ozonom ili H_2O_2 .
- ✓ Teljes oxidáció, és azon vegyületek oxidatív roncsolása melyek ellenállóak O_3 vagy H_2O_2 oxidálására
- ✓ Samo UV zračenje – primarno za dezinfekciju vode!
- ✓ UV lampe pod niskim pritiskom.



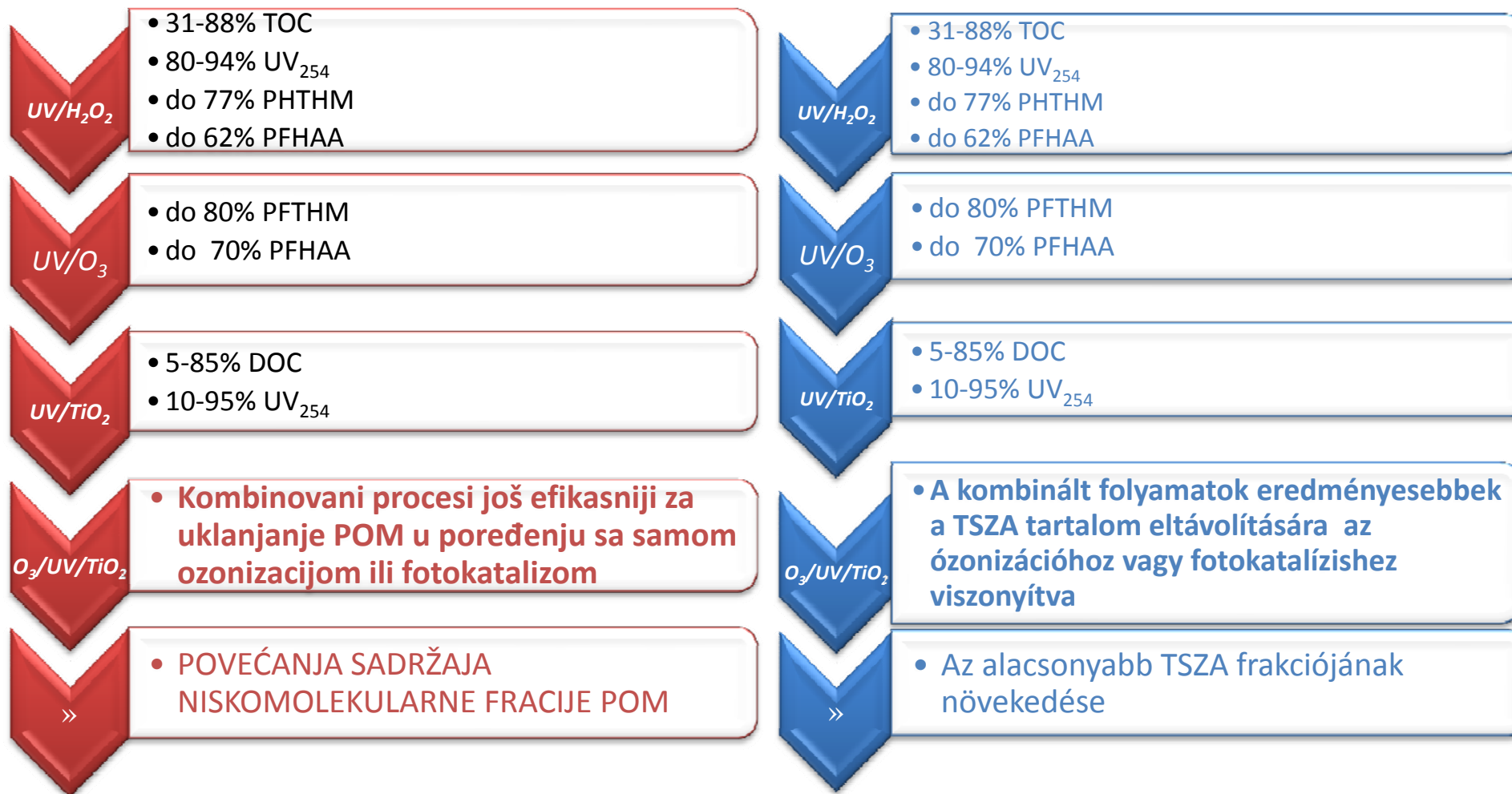
Primena O_3/UV i H_2O_2/UV u tretmanu vode za piće

O_3/UV és H_2O_2/UV alkalmazása ivóvíz kezelésnél

- Za potpunu mineralizaciju organskih jedinjenja malih molekulskih masa:
 - A kis molekula tömegű szerves anyagok teljes mineralizációja :
 - ✓ glioksal,
 - ✓ glioksalna kiselina,
 - ✓ oksalna kiselina i
 - ✓ mravlja kiselina
 - uklanjanje komponenti koje vodi daju miris
 - Olyan anyagok eltávolítása, melyek színt és szagot advnak a avíznek
 - ✓ geosmin i
 - ✓ MIB .
- Za oksidaciji POM i smanjenju PFTHM i PFHAA.
 - TSZA oxidálására és PFTHM, valamint PFHAA csökkentésére.
- Ovaj proces ima dobar potencijal za tretman vode sa nižim vrednostima TOC, pri niskom alkalitetu, nižoj pH vrednosti, maloj mutnoći i bez prisustva bromida.

Poređenje efikasnosti nefotohemijskih i fotohemijskih procesa na bazi O_3 i H_2O_2

Nem fotokémiai és fotokémia O_3 és H_2O_2 alapuló folyamatok hatásfokának összehasonlítása



Fenton proces

Fenton folyamat

Najvažniji parametri koji efikasnost Fenton procesa:

Fenton proces je jedan od najefikasnijih AOPs koji se poslednjih godina široko primenjuje za oksidaciju/koagulaciju voda sa visokim sadržajem POM i drugih teško degradabilnih jedinjenja.

- ***reakcioni uslovi:***

A Fenton az egyik leghatékonyabb AOP, mely az utóbbi időben széleskörűen alkalmazott magas természetes szervesanyag tartalommal és egyéb nehezen degradálható vegyületekkel rendelkező vizek oxidációs/kolagulációs kezelésére.

✓ Priroda matriksa.

Prednosti primene Fenton procesa: A Fenton folyamatok alkalmazásának előnyei:

- Uklanjanje organskih materija (i polutanata) i As
 - ✓ oksidacijom i
 - ✓ koagulacionim korakom
 - ✓ precipitacijom
- Potpuna mineralizacija organskih suspatanci do CO₂ i vode.
- Soli Fe²⁺ i H₂O₂ su jeftine supstance i nisu toksične, nema ograničenja u transferu, nikakva energija se ne uvodi za katalizu i proces je jednostavno započeti i kontrolisati.
- Szerves anyagok teljes mineralizációja CO₂ és vízig.
- Fe²⁺ sók és H₂O₂ olcsó vegyületek, nem mérgezőek, nincs behatároltság a transzfernél, energiát nem kell befektetni a katalízisbe csak elkezdeni kell és kontrolálni.

Uklanjanje POM i As primenom Fenton procesa As és TSZA eltávolítása Fenton folyamattal

- ✓ pH 3,5-5
- ✓ 82-96% uklanjanja
 - ✓ DOC,
 - ✓ UV₂₅₄ i
 - ✓ PFTHM i PFHAA
- ✓ Potpuno uklanjane As
- ✓ Fluktuacije PF N-DBPs
- ✓ Primenom solarnog foto-Fentona (pH 6,5):
 - ✓ 55% TOC
 - ✓ 86% PFTHM

- ✓ pH 3,5-5
- ✓ 82-96%-os eltávolít
 - ✓ DOC,
 - ✓ UV₂₅₄ és
 - ✓ PFTHM és PFHAA
- ✓ As teljes eltávolítása
- ✓ Fluktáció PF N-DBPs
- ✓ Szoláris foto-Fentont alkalmazva (pH 6,5):
 - ✓ 55% TOC
 - ✓ 86% PFTHM

Primena Fenton procesa ima i nekih nedostataka

Fenton folyamatok alkalmazásának néhány hátránya

- uzak opseg pH vrednosti kako bi se izbeglo formiranje i dalja precipitacija Fe oksihidroksida i
- potrebno regenerisati rastvorene jone Fe iz tretiranog rastvora, što zahteva dodatan korak obrade.

- pH keskeny sávja melyel a az Fe oxihidroxid képződés és kicsapódása kerülhető el és
- A kezelt oldatból az Fe ionokat regenerálni kell, amely újabb lépést igényel

Umesto zaključka

- Kroz niz laboratorijskih, pilot i „full-scale“ istraživanja proteklih godina utvrđeno je da se AOPs mogu efikasno primeniti u tretmanu vode za piće, uz neophodnos ispitivanja procesa za svaku vodu koju je potrebno tretirati, ponaosob.
- Nophodna su opsežnija ispitivanja sa ciljem:
 - ✓ boljeg razumevanja mehanizama pojedinih AOPs,
 - ✓ realne procene troškova odabranog AOPs za primenu u tretmanu specifične vode, u odnosu na druge proocese koji se primenjuju u tretmanu vode za piće,
 - ✓ određivanja nusproizvoda oksidacije sa AOPs i njihove toksičnosti i određivanja pouzdanosti odabranog AOPs.

Következtetés helyett

- Az előző években végzett laboratóriumi, pilot és „full-scale” kutatások alapján megállapítható, hogy az AOP hatásosan alkalmazható ivóvízkezelés során, de minden vízre alaposan ki kell tanulmányozni melyik eljárással kell az adott vizet kezelni.
- Szélskörű kutatások szükségesek a következő célkitűzésekkel:
 - ✓ Néhány AOP, folyamat alaposabb megértése céljából
 - ✓ A specifikus vizek kezelésére kiválasztott AOP költségeinek reális felmérése és összehasonlítása egyéb víztrisztító eljárásokkal
 - ✓ az AOP alkalmazásával keletkező melléktermékek meghatározása, és toxicitásuk felmérése, valamint a kiválasztott AOP megbízhatóságának vizsgálata.

Hvala na pažnji!
Köszönöm a figyelmet!

*Dobri susedi
zajedno stvaraju
budućnost*

