

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Szerves szennyezők eltávolítása nyersvizekből
kén(IV) indukált autooxidációval**

Truzsi Alexandra

Témavezető: Dr. Bodnár Ildikó, főiskolai tanár

Társ-témavezető: Prof. Dr. Fábián István, egyetemi tanár



DEBRECENI EGYETEM

Kémiai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2022

I. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Magyarországon az ivóvízellátásban felhasznált nyersvizet 95 %-ban felszín alatti, általában jól védett ivóvízbázisokból nyerjük, ezért természetesnek vesszük, hogy az ivóvíz jó minőségben és kellő mennyiségben mindig a rendelkezésünkre áll. Ugyanakkor a világ számos részén, de hazánkban is egyre jelentősebbé válik a vízszennyezés, aminek átgondolt kezelése globális és lokális szinten is halaszthatatlanná vált. Olyan technológiai eljárásokra van szükség, melyek lehetővé teszik a vízellátási és vízminőségi problémák csökkentését, az ivóvízhálózatban megjelenő ún. másodlagos szennyező források okozta károsodások megelőzését és a víz környezetbarát tisztítását.

A mélységi vizek tisztítására annak minőségétől, a felhasználási igénytől függően számos technológia szolgál. Az ivóvízkezelés során alkalmazott technológia egyik fontos lépése az ammóniumtartalom csökkentését szolgáló törésponti klórozás. Emellett a klórozással a különböző mikroorganizmusok is dezaktiválhatók, ami az ivóvizek minőségének jogszabályi előírásoknak való megfelelését is biztosítja. A klórozással kapcsolatban felvetődő egyik legsúlyosabb aggály a különböző toxikus szerves halogenid vegyületek megjelenése az ivóvizekben. Ezek más oxidálószeret alkalmazó vízkezelési technológiákban is képződhetnek kloridion jelenlétében. A fertőtlenítés melléktermékei (DBPs) nemcsak íz- és szagrontó hatásúak, de karcinogén, teratogén, illetve mutagén tulajdonságuk is lehet.

A doktori munkám során tisztázni kívántam, hogy milyen mértékben lehet a $\text{Fe(II)/Fe(III)-S(IV)}$ -levegő rendszer alkalmazásával az ivóvízellátásban felhasznált nyersvizek kémiai oxigénigény értékét (KOI_{ps}) csökkenteni és ezzel összefüggésben a halogénezett szerves vegyületek képződését elkerülni.

A KOI_{ps} lényegében a nyersvízben lévő oxidálható szerves komponensek koncentrációját jellemzi, így a vizsgált módszer a vízkezelési eljárások során a szerves szennyezők eltávolítására kínál új lehetőséget. A vizsgálati módszer kidolgozása során abból indultunk ki, hogy a szulfition vizes közegben történő katalizált autooxidációjában érélyes oxidálószerként viselkedő reaktív gyökök képződnek, melyek reakcióba lépnek a vízben lévő szennyező komponensekkel.

Célunk volt a szisztematikus vizsgálatok eredményeit felhasználva az oxidáció optimális körülményeinek megállapítása, azaz az eredményekre alapozva a maximális KOI_{ps} csökkentés hatékonyságának optimális feltételeit a válaszfelület módszertanával (RSM) kívántuk meghatározni.

Tanulmányozni kívántuk továbbá, hogy a nyersvíz előkezelésére alkalmazott oxidatív rendszer milyen mértékben van hatással a nyersvíz fertőtlenítésére alkalmazott klór hatására keletkező trihalometán-származékok (THMs) és az adszorbeálható szerves halogéntartalom (AOX) képződésére. Ehhez kapcsolódva célunk volt annak bizonyítása is, hogy a nyersvíz előkezelésére alkalmazott oxidáció során nem, vagy kisebb mértékben képződnek toxikus fertőtlenítési melléktermékek, melyek káros egészségügyi és környezeti hatásokat idéznek elő.

Céljaink között szerepelt továbbá mikroszkópos biológiai és bakteriológiai vizsgálatok végzése is, annak érdekében, hogy az alkalmazott oxidatív rendszernek a nyersvízben esetlegesen előforduló mikroorganizmusok eltávolításában betöltött szerepét feltárjuk. Ezáltal lehetőségünk nyílna a víz minőségének javítására, valamint a hálózaton jelentkező másodlagos vízminőségi problémák és a környezetterhelés megelőzésére egyaránt.

II. ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A kutatásba bevont különböző nyersvizek jellemzőit az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat A különböző nyersvizek néhány jellemző paramétere.

Mintavételi helyek	KOI _{ps} (mg/l)	pH	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)	As (µg/l)	T (°C)	Össz. CH ₄ (l/m ³)
Apátfalva (3. kút)	5,21	8,0	1,39	75,8	16,1	3,09	22,1	4,46
Apátfalva (4. kút)	6,91	8,0	1,19	106,6	149,4	1,90	19,7	7,77
Biharkeresztes (3. kút)	7,88	7,9	1,03	87,0	43,0	25,1	24	23,3
Földeák (3. kút)	2,70	8,0	1,58	151,1	22,6	21,9	31,1	2,47
Királyhegyes	7,02	8,2	1,11	97,5	22,1	7,70	18,5	7,16
Kismarja (2. kút)	6,52	7,9	0,71	138,0	78,0	< 0,5	13,8	-
Makó (1-2-3. kút)	2,30	7,8	1,56	129,1	37,8	34,8	26,3	3,45
Nagyér (4. kút)	3,20	8,0	0,20	774,0	161,0	25,1	14,8	1,7
Pocsaj (3. kút)	6,80	8,0	-	84,0	38,0	5,3	-	-
Pocsaj (4. kút)	9,18	8,0	1,31	98,0	29,0	< 0,5	25,1	-

A vizsgálatok során egy gázmosóban a nyersvízbe folyamatosan szintetikus levegőt vezettünk. Az állandó gázáramot egy Gilmont típusú (Thermo Scientific) áramlásmérő alkalmazásával biztosítottuk. Ezt követően a szükséges mennyiségű Na₂SO₃, Fe₂(SO₄)₃ és FeSO₄ reaktánsokat adtunk az oldathoz.

Különböző kontaktidők után, a mintákat 0,45 μm nylon membrán fecskendőszűrőn átszűrtük és standard KMnO_4 módszerrel meghatároztuk a kezelt víz KOI_{ps} értékét. Minden kísérlet szobahőmérsékleten, $\sim 25^\circ\text{C}$ -on történt. A kutatásaink során a részletes vizsgálatokat a Királyhegyesről származó (EOVy: 770635,8 m, EOvx: 104066,9 m) nyersvízzel végeztük, amire viszonylag magas KOI_{ps} (7,02 mg/l) jellemző.

Szisztematikusan tanulmányoztuk, hogy a KOI_{ps} eltávolítás hatékonysága hogyan függ a következő paraméterektől: a Fe összkoncentrációja (C_{Fe}), a Fe(II) relatív koncentrációja ($\text{Fe(II)\%}$), a nátrium-szulfid koncentrációja ($C_{\text{S(IV)}}$), a levegőbevezetés időtartama, a reakcióidő ($t_{\text{levegő}}$) és a levegő áramlási sebessége ($v_{\text{levegő}}$).

Ionkromatográfiás módszerrel igazoltuk, hogy a kezelt mintákban a kén(IV) teljes mennyisége elfogy. A mérésekhez egy Thermo Scientific Dionex ICS-5000+ ionkromatográfiás rendszert használtunk (védő oszlop: Dionex IonPacTM AG19 RFICTM Guard 4×50 mm, analitikai oszlop: Dionex IonPacTM AS19 RFICTM Analytical 4×250 mm, detektálás: 250 nm-en, eluens: 20 mM NaOH, mérési idő: 15 perc, 25 μl -es loop típusú injektálás).

A szisztematikus kísérletek során kapott eredményeket a Design Expert[®] 11.0 (USA) RSM csomag felhasználásával a válaszfelület-módszerrel (*response surface methodology*, RSM) végzett optimalizálási eljárás bemeneti adataiként használtuk fel. A paraméterek robusztusságát kontroll kísérletekben igazoltuk a módszer által megjósolt optimális reaktáns-koncentrációkat és reakcióidőt $\pm 20\%$ -kal változtatva.

Az MSZ ISO 7150-1:1992 szabványt használtuk a vízben lévő ammóniumion meghatározására. A vizsgált mintarészlethez színeképző reagens (nátrium-szalicilátot, trinátrium-citrátot és nátrium-nitrozopentaciano-ferrát(III)-ot tartalmazó oldat) és nátrium-diklór-izocianurát oldatot adtunk. Az ammóniumion koncentrációját a keletkező kék színű vegyület abszorpciós maximumán (655 nm) mért fényelnyelés alapján UV/VIS spektrofotométerrel határoztuk meg.

A nyersvizekhez minden alkalommal a törésponti klórozáshoz szükséges mennyiségű hipoklórossavat ($\text{HOCl} : \text{NH}_4^+$ tömegarány: 8,7 : 1) adagoltunk, ami 100 % nátrium-hipoklorit dózisnak felelt meg. A hipoklórossav hozzáadását követően a mintát másfél óráig kevertettük. A folyamatot 3,5 g/l koncentrációjú nátrium-tioszulfát oldat hozzáadásával állítottuk le, és megmértük a kezelt vízben az ammóniumion koncentrációját.

A trihalometán-származékok meghatározása a Debreceni Vízmű Zrt. akkreditált Központi Laboratóriumában az MSZ 1484-5:1998 szabvány alapján, egy Thermo TRACE GC Ultra GC-ECD analizátorral történt, amely egy elektronbefogási detektorral (ECD) és egy RTX-624 30 m×0,32 mm×1,8 µm (Restek) és egy ZB-SemiVolatiles 30 m×0,25 mm×0,25 µm (Zebron, Phenomenex) kapilláris oszlopokkal volt felszerelve. A nyersvizek és a kezelt vizek AOX-tartalmát a Debreceni Vízmű Zrt. akkreditált Központi Laboratóriumában ISO 9562:2004 szabvány alapján határoztuk meg egy ECS 1200 AOX, EOX, POX analizátorral (Thermo Fisher Scientific).

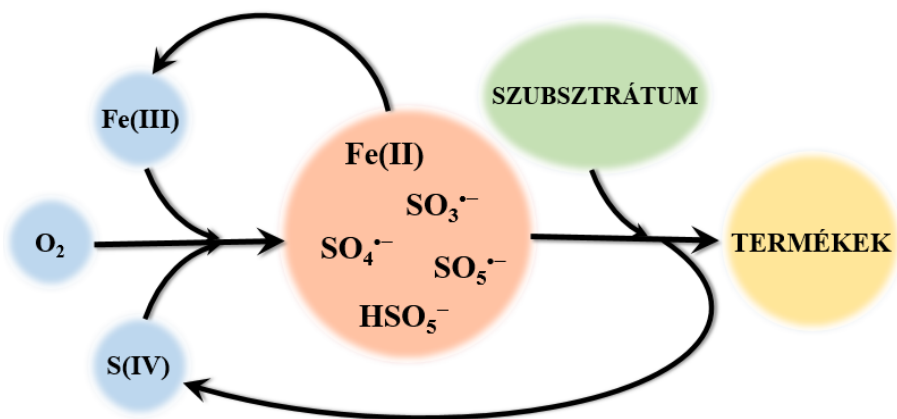
A bakteriológiai és mikroszkópos biológiai vizsgálatokat szintén a Debreceni Vízmű Zrt. akkreditált Központi Laboratóriumában európai és magyar szabványok alapján végeztük, a steril körülmények között vételezett vízmintákon és az oxidációs eljárással kezelt vízmintákon egyaránt.

A bakteriológiai vizsgálatok közül a *Coliformszám* és az *Escherichia coli-szám* meghatározása az MSZ EN ISO 9308-1:2015 és MSZ EN ISO 9308-1:2014/A1:2017 szabvány, míg a *37°C-on és 22°C-on növő baktériumok telepszámának* a vizsgálata az MSZ EN ISO 6222:2000 szabvány szerint történt. A mikroszkópos biológiai vizsgálatokat az MSZ 448-36:1985 szabvány alapján határoztuk meg. A laboratóriumokba hűtve szállítottuk a mintákat a feldolgozásig 4-8°C-on tároltuk. A vízminták feldolgozását 24 órán belül megkezdtük.

III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

3.1. Bizonyítottuk, hogy az Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-levegő rendszerrel történő oxidatív módszerrel a nyersvíz kémiai oxigénigénye (KOI_{ps}) csökkenthető.

3.1.1. Igazoltuk, hogy a kutatásban felhasznált nyersvizekben lévő szerves szubsztrátumok az 1. ábrán látható séma szerint reakcióba lépnek a S(IV) vízben történő Fe(II)/Fe(III) által katalizált autooxidációjában képződő erélyes oxidálószerként viselkedő gyökökkel.



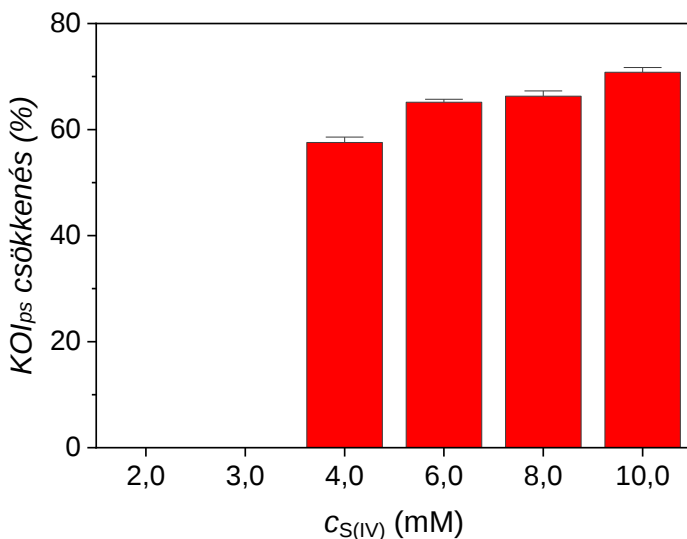
1. ábra A szubsztrátum oxidációja a Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-levegő rendszer alkalmazásával.

3.1.2. Igazoltuk, hogy a Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-levegő rendszerrel történő KOI_{ps} csökkentés hatékonysága nagymértékben függ a Fe összkoncentrációjától (C_{Fe}), a Fe(II) relatív koncentrációjától ($Fe(II)\%$), a nátrium-szulfid koncentrációjától ($C_{S(IV)}$), a levegőbevezetés időtartamától vagy reakcióidőtől ($t_{levegő}$) és a levegő áramlási sebességétől ($v_{levegő}$).

3.1.3. Megállapítottuk, hogy a KOI_{ps} csökkentés hatékonysága, a levegőbevezetés időtartamát növelve 60 percnél elér egy állandó értéket, azonban 100 %-os eltávolítási hatékonyságot nem tudtunk elérni. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a KOI_{ps} -hez hozzájáruló egyes komponensek nem oxidálhatók teljes mértékben ezzel az oxidatív módszerrel.

3.1.4. Igazoltuk, hogy a levegő áramlási sebességének növelésével a KOI_{ps} csökkentés hatékonysága először nő, majd az áramlási sebesség további növelésével meredeken csökkenni kezd. Ennek oka, hogy egyrészt a reakcióelegy egyre inkább túltelítődik oxigénnel, és az oxigén-koncentráció változása alapvetően befolyásolhatja a versengő reakciók sebességét (1. ábra); másrészt pedig, a levegő a nagy áramlási sebesség mellett kihajthatja az S(IV)-et a reakcióelegyből. A többi paraméter aktuális értékétől függetlenül, az optimális áramlási sebesség $v_{\text{levegő}} = 200$ ml/perc körül volt, ezért ezt a paramétert a későbbi kísérletek során sem változtattuk meg.

3.1.5. Bizonyítottuk, hogy a KOI_{ps} csökkentés hatékonysága nő az S(IV) koncentráció növekedésével. Különleges sajátossága a rendszernek az, hogy a KOI_{ps} érték mérhető csökkenése nem figyelhető meg, amíg az S(IV) koncentráció el nem ér egy küszöbértéket, ami függ a hozzáadott Fe(II) koncentrációjától ($Fe(II)\% = 100 \%$) (2. ábra). Ezen megfigyelés alapján az S(IV)-et viszonylag nagy koncentrációban kellene alkalmazni. Azonban a hatályos 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet előírásai alapján a szulfácion koncentrációja nem haladhatja meg a 2,5 mM-t.



2. ábra A KOI_{ps} csökkentés hatékonysága a $c_{S(IV)}$ függvényében.

$c_{Fe} = 4,0$ mM, $Fe(II)\% = 100$ %, $t_{levegő} = 60$ perc, $v_{levegő} = 200$ ml/perc.

3.1.6. Megállapítottuk, hogy az optimális teljes Fe(II)-koncentráció nagymértékben függ az S(IV) teljes koncentrációjától, azaz ezen reaktánsok koncentrációjának aránya szintén befolyásolja a KOI_{ps} csökkentés hatékonyságát. Első közelítésben a megfigyelt tendenciák azzal értelmezhetők, hogy a katalitikus ciklus kialakulásához a reakció kezdeti szakaszában a Fe(II) egy részének Fe(III)-má kell oxidálnia. Összességében ez a folyamat a kén(IV) fogyasztását is eredményezi, ami rontja a KOI_{ps} csökkentésének hatékonyságát. Feltételezésünk szerint a reakciórendszerben ki kell alakulnia egy optimális Fe(II)/Fe(III) koncentrációaránynak ahhoz, hogy a szerves szennyezők oxidációja meghatározó legyen. Bizonyos koncentrációviszonyok mellett a két

versengő reakcióút közül a Fe(III) képződése és az S(IV) fogyása válik dominánssá és a KOI_{ps} értéke változatlan marad.

3.1.7. Igazoltuk, hogy a KOI_{ps} csökkentés hatékonysága erősen függ a Fe(II) és a Fe(III) koncentrációjának arányától, amikor a c_{Fe} és az S(IV) teljes koncentrációja állandó. A Fe(III) relatív koncentrációjának növelése egy ideig előnyös, de kontraproduktív, ha a Fe(II):Fe(III) koncentrációarány egy, a további paramétereiktől is függő érték alá csökken.

3.1.8. Igazoltuk, hogy nagy teljes vaskoncentráció mellett a szulfition katalitikus autooxidációja válik meghatározóvá, miközben a szerves komponensek oxidációja és az S(IV) egyidejű regenerálódása háttérbe szorul. A kísérletek egyértelműen bizonyítják, hogy a KOI_{ps} csökkentés hatékonysága a reaktánsok koncentrációjának alkalmas megválasztásával optimalizálható.

3.2. Meghatároztuk a maximális KOI_{ps} csökkentés hatékonyságának feltételeit a válaszfelület-módszerrel (RSM).

3.2.1. A KOI_{ps} csökkentés hatékonyságának optimalizálásához háromszintű FC-CCD (*face centered-central composite design*) eljárással terveztük meg a kísérletekben alkalmazott reakcióelegyek összetételét. Az egyes paraméterek értékei a következő tartományokba estek: c_{Fe} : 1,0-4,5 mM; $Fe(II)\%$: 0-100 %; $c_{S(IV)}$: 0,5-2,5 mM; $t_{levegő}$: 30-90 perc, valamint az előzőekben részletezett kísérleti tapasztalatok alapján a levegő áramlási sebességét minden esetben 200 ml/perc értéken tartottuk. A $c_{S(IV)}$ esetében figyelembe kell venni, hogy az S(IV) a folyamat során teljes mértékben szulfáttá alakul át. A jelenlegi előírások szerint viszont a szulfátion koncentrációja nem haladhatja meg a 2,5 mM-t az ivóvízben, így ennél nagyobb a vízhez adagolt S(IV) koncentráció sem lehet.

Igazoltuk, hogy az említett paramétereknek megfelelő négy független tényezőt (X_1 , X_2 , X_3 , X_4) három szinten -1 és $+1$ között kell kódolni. Az FC-CCD (*face centered-central composite design*) eljárást alkalmazva 21 db kísérletet végeztünk. A kísérleti körülményeket és a kapott KOI_{ps} csökkentés hatékonyságait az 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat A *face centered-central composite design* (FC-CCD) eljárással tervezett kísérleti körülmények és a megfelelő KOI_{ps} eltávolítási hatékonyságok.

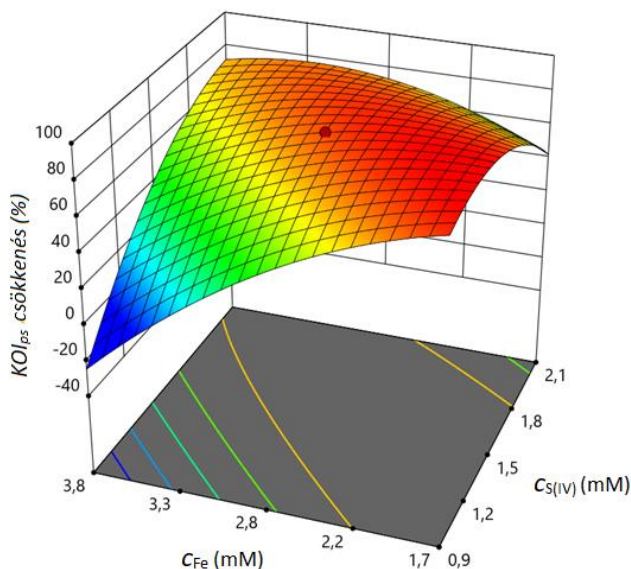
Kísérletek száma	C_{Fe} (mM)	$Fe(II)\%$	$CS(IV)$ (mM)	$t_{levegő}$ (perc)	KOI_{ps} csökkenés (%)
1	1,70	20	0,9	42	87,3
2	2,80	0	1,5	60	0,03
3	4,50	50	1,5	60	0,03
4	2,80	50	2,5	60	46,6
5	2,80	50	1,5	60	80,8
6	2,80	50	1,5	60	80,7
7	3,80	80	0,9	42	0,03
8	2,80	50	1,5	90	77,1
9	1,00	50	1,5	60	66,9
10	2,80	50	0,5	60	0,03
11	3,80	80	0,9	78	0,03
12	2,80	50	1,5	60	80,8
13	1,70	80	2,1	78	79,7
14	1,70	20	0,9	78	87,5
15	3,80	20	2,1	78	66,5
16	1,70	80	2,1	42	78,4
17	2,80	50	1,5	60	80,8
18	2,80	50	1,5	60	80,8
19	3,80	20	2,1	42	60,6
20	2,80	50	1,5	30	42,5
21	2,80	100	1,5	60	54,8

3.2.2. A kísérletsorozatba véletlenszerűen öt párhuzamos mérést beillesztve (5., 6., 12., 17. és 18. kísérletek) igazoltuk, hogy a KOI_{ps} csökkentés hatékonysága jól reprodukálható (80,7 – 80,8 %). A válaszparamétert (KOI_{ps} csökkentés hatékonyságot) az 1. egyenlet szerinti köbös közelítő modellel illesztettük.

$$\begin{aligned} Y = & b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{14}X_1X_4 \\ & + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_3X_4 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{44}X_4^2 + \\ & b_{123}X_1X_2X_3 + b_{234}X_2X_3X_4 + b_{124}X_1X_2X_4 + b_{134}X_1X_3X_4 + b_{112}X_1^2X_2 + b_{113} \\ & X_1^2X_3 + b_{114}X_1^2X_4 + b_{122}X_1X_2^2 + b_{133}X_1X_3^2 + b_{144}X_1X_4^2 + b_{223}X_2^2X_3 + \\ & b_{224}X_2^2X_4 + b_{233}X_2X_3^2 + b_{244}X_2X_4^2 + b_{334}X_3^2X_4 + b_{344}X_3X_4^2 + b_{111}X_1^3 \\ & + b_{222}X_2^3 + b_{333}X_3^3 + b_{444}X_4^3 \end{aligned} \quad (1)$$

Megállapítottuk az eredmények statisztikai elemzése során, hogy a paraméterek F- és p-értékei szignifikánsak voltak. Az R^2 együtthatók (1,0000), a korrigált R^2 ($R^2_{adj} = 1,0000$) és a modell F-értéke ($3,621 \times 10^5$) megerősítik, hogy a köbös modell használata ebben az esetben megfelelő.

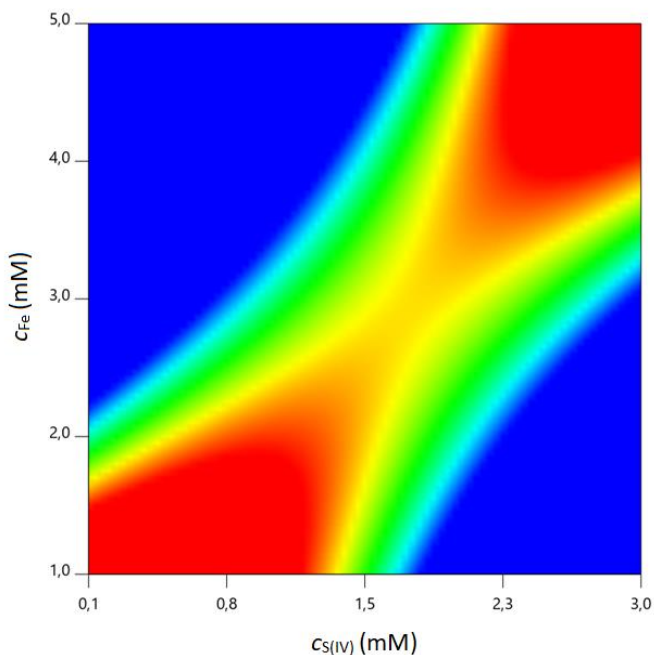
3.2.3. A modell által előre jelzett KOI_{ps} csökkentés hatékonyságok függését a reagenskoncentrációktól 3D válaszfelületi ábrák segítségével demonstráltuk. Példaként a 3. ábra mutatja az előre jelzett KOI_{ps} csökkentés hatékonyságot a c_{Fe} és a $c_{S(IV)}$ függvényében. Megállapítottuk, hogy az RSM-számítások igazolják a rendszer összetettségét.



3. ábra A KOI_{ps} csökkentés hatékonyságának válaszfelülete a teljes Fe és S(IV) koncentráció függvényében.

$Fe(II)\% = 50 \%$, $t_{levegő} = 60$ perc, $v_{levegő} = 200$ ml/perc.

Amint a 4. ábra mutatja, a KOI_{ps} csökkentés hatékonysága nem monoton módon változik a c_{Fe} és a $c_{S(IV)}$ növelésével. A kontúrdiagram két kedvező régiót (piros zónák) mutat viszonylag kis és nagy reaktáns-koncentrációknál. A köztes régióhoz tartozó zöld zónában az eltávolítási hatékonyság csökken, ami arra utal, hogy az S(IV) oxidatív fogyása válik dominánssá a szubsztrátum katalitikus oxidációjával szemben. A 2. táblázatban szereplő eredményekkel összhangban bizonyos koncentráció tartományokban (kék zónák) egyáltalán nem várható KOI_{ps} csökkenés.



4. ábra A KOI_{ps} csökkentés hatékonyságának kontúrdiagramja az összes Fe és S(IV) koncentráció függvényében. A színek az alábbiak szerint jelzik az eltávolítás hatékonyságát, kék: 0 %, piros: nagy (85,4 % optimális esetben).

$Fe(II)\% = 20 \%$, $t_{\text{levegő}} = 42$ perc, $v_{\text{levegő}} = 200$ ml/perc.

3.2.4. Megállapítottuk, hogy a statisztikai eljárás a királyhegyesi nyersvíz esetében 0,880-as elvárási szinten (*desirability level*) a következő becsült optimalizált paraméterértékeket eredményezi: $c_{\text{Fe}} = 1,7 \text{ mM}$, $\text{Fe(II)\%} = 20 \text{ \%}$, $c_{\text{S(IV)}} = 0,9 \text{ mM}$ és $t_{\text{levegő}} = 42 \text{ perc}$. Ilyen körülmények között a KOI_{ps} csökkentés hatékonyságának mért és előre jelzett értéke $87,5 \pm 0,02 \text{ \%}$, illetve $85,4\%$. Ez a kiváló egyezés igazolja a modell helytállóságát.

3.2.5. Igazoltuk a KOI_{ps} csökkentés hatékonyságának robusztusságát oly módon, hogy az optimális paraméterértékek körül a reaktánsok koncentrációját $\pm 20 \text{ \%}$ -kal változtattuk, azonos reakcióidő (42 perc) mellett. Az eredmények mutattak némi változást, de a KOI_{ps} csökkentés hatékonysága sohasem volt kisebb, mint $75,4 \text{ \%}$.

3.3. *Bizonyítottuk, hogy az alkalmazott módszer általánosan alkalmazható különböző nyersvizekben a KOI_{ps} jelentős mértékű csökkentésére, vagyis az ivóvízellátásban felhasznált nyersvizek előkezelésére.*

3.3.1. A $\text{Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-levegő}$ oxidatív módszer általános alkalmazhatóságának igazolására a királyhegyesi nyersvízre megállapított optimális paraméterértékek felhasználásával megvizsgáltunk különböző helyről származó nyersvizekben a KOI_{ps} csökkentés hatékonyságát, ami $62,0 \pm 0,01 \text{ \%}$ és $88,5 \pm 0,01 \text{ \%}$ között változott (3. táblázat).

3. táblázat A Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-levegő rendszer KOI_{ps} csökkentés hatékonysága a különböző nyersvizekben.

Mintavételi helyek	KOI _{ps} (mg/l)	KOI _{ps} csökkenés (%) (Átlag±SD)
Apátfalva (3. kút)	5,21 ± 0,02	88,5 ± 0,01
Apátfalva (4. kút)	6,91 ± 0,01	88,1 ± 0,02
Biharkeresztes (3. kút)	7,88 ± 0,01	62,0 ± 0,01
Földeák (3. kút)	2,70 ± 0,01	85,5 ± 0,01
Kismarja (2. kút)	6,52 ± 0,02	81,8 ± 0,01
Makó (1-2-3. kút)	2,30 ± 0,01	85,4 ± 0,02
Nagyér (4. kút)	3,20 ± 0,005	87,8 ± 0,01
Pocsaj (3. kút)	6,80 ± 0,01	81,0 ± 0,02
Pocsaj (4. kút)	9,18 ± 0,01	82,9 ± 0,02

$c_{\text{Fe}} = 1,7 \text{ mM}$, $\text{Fe(II)\%} = 20 \text{ \%}$, $c_{\text{S(IV)}} = 0.9 \text{ mM}$, $t_{\text{levegő}} = 42 \text{ perc}$,
 $v_{\text{levegő}} = 200 \text{ ml/perc}$.

3.4. Igazoltuk, hogy a Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-levegő rendszerrel történő oxidatív előkezelés során a víz ammóniumtartalma nem változik és a törésponti klórozás a kezeletlen és előkezelt vízben összességében azonos módon játszódik le.

3.4.1. Megállapítottuk, hogy az ammóniumion törésponti klórozása során, a kezeletlen nyersvíz, az oxidatíván előkezelt víz és összehasonlításként egy ammónium-szulfát oldat esetében az ammóniumion teljes eltávolításához szükséges HOCl : NH₄⁺ tömegarány minden esetben 8,7 : 1. Ez a tömegarány felel meg a 100 % nátrium-hipoklorit dózisnak.

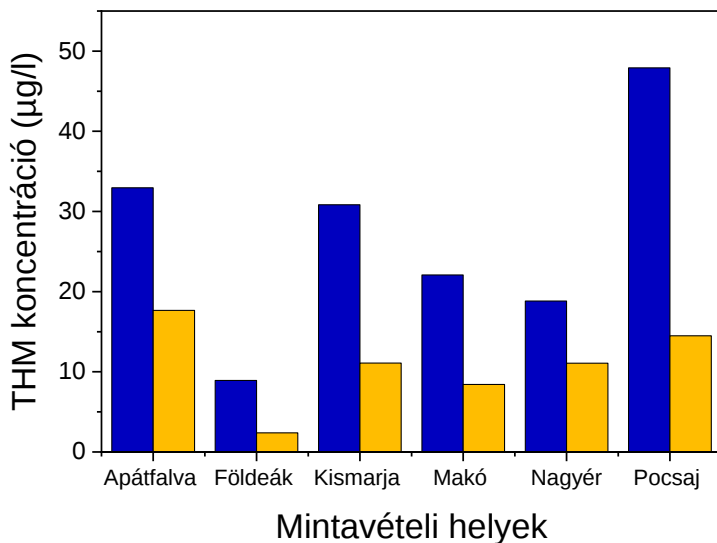
3.4.2. Megállapítottuk, hogy a mintákhoz a 100 % nátrium-hipoklorit dózis hozzáadását követően az oxidált mintában valamelyest lassabban játszódik le a klórozási reakció mint a kezeletlen mintában.

Ezt azzal értelmezzük, hogy az oxidatív előkezelés során nyersvízminta KOI_{ps} tartalma közel 87 %-kal csökken így a két mintában eltérő mátrixhatás érvényesül. Ugyanakkor szobahőmérsékleten a törésponti klórozás minden esetben teljes mértékben végbemegy 90 perc alatt.

3.5. Igazoltuk, hogy a nyersvíz Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-levegő rendszerrel történő oxidatív előkezelésének eredményeként jelentősen csökken a törésponti klórozás során képződő klórozott melléktermékek koncentrációja.

3.5.1. Megállapítottuk, hogy a királyhegyesi nyersvíz esetében az AOX koncentrációja $79,05 \pm 2,10$ %-kal, míg a THM koncentrációja $79,06 \pm 15,36$ %-kal csökkent. A nyersvíz esetében a klórozást követően a THM koncentrációja viszonylag közel van a 201/2001. (X.25.) Korm. rendeletben megadott $50 \mu\text{g/l}$ -es határértékhez, ugyanakkor az oxidatív kezelést követően ez a szennyeződés a határérték 13 %-a. Az AOX koncentráció csökkenés mértéke is kiemelkedően nagy.

3.5.2. Megállapítottuk, hogy a különböző kutakból származó nyersvizekben az ammóniumion koncentrációja viszonylag széles határok között változik ($0,22 - 1,58 \text{ mg/L}$), ezért az egyes minták esetében a törésponti klórozáshoz szükséges nátrium-hipoklorit adagolt mennyisége is jelentősen különbözik. Emellett a nyersvizekben lévő szerves prekursorok koncentrációjában a különbség 2 – 2,5-szörös. Összességében ennek az a következménye, hogy egyértelmű korreláció nem állapítható meg a nyersvizek összetétele és a képződő THM és AOX koncentrációja között. Általános trendként azonban az érvényesül, hogy nagyobb szervesanyag tartalom esetén nagyobb mennyiségben képződnek a klórozott szerves komponensek.

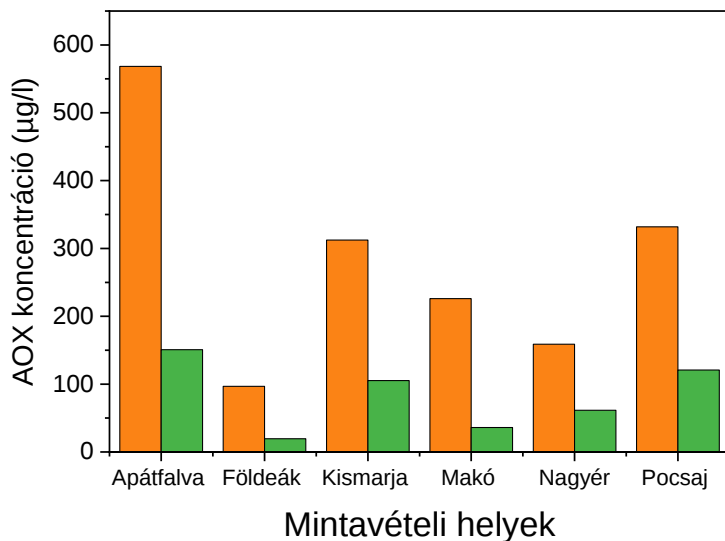


5. ábra A THM koncentrációk különböző kezeletlen és oxidatíván előkezelt nyersvizekben törésponti klórozás után.

Kék szín: kezeletlen nyersvíz, sárga szín: oxidatíván előkezelt nyersvíz.

HOCl : NH_4^+ tömegarány: 8,7 : 1, ami 100 % nátrium-hipoklorit dózissnak felel meg.

3.5.3. Igazoltuk, hogy több az ivóvízellátásban aktívan használt mélyfúrású kút esetében az oxidatív előkezelés hatására (a királyhegyesi nyersvízre optimalizált reagenskoncentrációkat alkalmazva), a THM koncentrációja 41,2 – 73,3 % között (5. ábra), míg az AOX koncentrációja 61,3 – 84,1 % között változott (6. ábra). Ezen vizek oxidatív kezelésére a királyhegyesi nyersvízre optimalizált reagenskoncentrációkat alkalmaztuk.



6. ábra Az AOX koncentrációk különböző kezeletlen és oxidatíván előkezelt nyersvizekben törésponti klórozás után.

A narancssárga szín: kezeletlen nyersvíz, a zöld szín: oxidatíván előkezelt nyersvíz.

$\text{HOCl} : \text{NH}_4^+$ tömegarány: 8,7 : 1, ami 100 % nátrium-hipoklorit dózisonak felel meg.

3.6. Megállapítottuk, hogy az alkalmazott oxidatív rendszer a nyersvízben esetlegesen előforduló mikroorganizmusok eltávolításában is jelentős szerepet játszik.

3.6.1. Igazoltuk, hogy a vizsgált berekböszörményi és pocsaji nyersvizekben a Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-levegő rendszerrel történő oxidatív előkezelést követően a mikroszkópos felvételek már nem mutattak biofilm jelenlétére utaló nyomokat.

3.6.2. Igazoltuk, hogy a biharkeresztesi 2. kútból sterilen vételezett nyersvíz mikroszkópos felvételén *Crenothrix polyspora* fonalas vasbaktérium, valamint kerekeshéreg (*Rotatoria*) volt látható, amiket az oxidatív kezelés eltávolított.

3.6.3. Megállapítottuk, hogy a sterilen vételezett, oxidatív kezelés előtti pocsaji nyersvízben a 37°C-on nöövő baktériumok telepszáma 50/ml volt, ami több mint kétszerese a kormányrendeletben megadott 20/ml határértéknek. Ez a magas baktériumszám biofilm réteg kialakulására utal, amit a mikroszkópos biológiai vizsgálatok is alátámasztottak. Igazoltuk, hogy az alkalmazott oxidatív kezelést követően a telepszám 2/ml-re lecsökken, ami 96 %-os eltávolítási hatásfoknak felel meg.

3.6.4. A sterilen vételezett, kezeletlen nyersvízben a 22°C-on nöövő baktériumokat, melyeknek eredetileg 42/ml volt a telepszáma, az oxidatív kezeléssel teljes egészében eltávolítottuk.

3.6.5. Megmutattuk, hogy kezeletlen berekböszörményi nyersvízben 37°C-on nöövő baktériumok telepszáma 195/ml, ami a kormányrendeletben előírt 20/ml határérték több mint 9-szerese; míg a 22°C-on nöövő baktériumok telepszáma 260/ml, ami az előírt 100/ml határérték több mint 2-szerese. Ezek a nagy telepszámok biofilm kialakulására vagy lokálisan jelentkező problémára utalnak. A mikroszkópos biológiai vizsgálatok alátámasztják a biofilm jelenlétét.

3.6.6. A berekböszörményi nyersvízben az Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-levegő rendszerrel történő oxidatív kezelés során a 37°C -on *növő baktériumok* mért telepszámát teljes egészében eltávolítottuk, míg a 22°C -on *növő baktériumok* mért telepszámát 2/ml-re csökkentettük. A nyersvízben jelenlévő baktériumok telepszámának csökkentésével az előkezelt nyersvíz biológiailag stabilabbá válik, ami elősegíti az elosztóhálózatokban az esetleges bakteriális szennyezettség megelőzését, azaz a káros másodlagos hatások minimalizálását.

V. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

A nyersvizek kémiai oxigénigényben (KOI_{ps}) kifejezett szerves szennyezettsége komoly kihívást jelent az ivóvízkezelő üzemek számára. Az értekezésben bemutatott módszer a korábban alkalmazott más technikákkal szemben hatékony alternatívát kínál a KOI_{ps} érték csökkentésére. A munkánk során részletesen tanulmányozott Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-levegő oxidatív rendszer a ma ismert egyik leghatékonyabb, ugyanakkor környezetbarát oxidáló és fertőtlenítőszer.

Az eljárás fő előnye, hogy az alkalmazott reagensekből csak veszélytelen termékek – vas(III) és szulfátion – keletkeznek. A vas csapadékká alakul, amely a vízkezelési technológia későbbi lépéseiben eltávolítható, a képződő szulfátion koncentrációja pedig az előírt határérték alatt tartható. A kísérletek során a nyersvizeket úgy használtuk fel, ahogyan azt megkaptuk, azaz a nagy hatékonyságú KOI_{ps} -eltávolításhoz nincs szükség előkezelésre. Az oxidatív kezelés alkalmazása az ivóvízkezelés korai szakaszában egyértelműen csökkenti az antagonistá termékek kialakulásának kockázatát a teljes technológia további lépéseiben. A rendszer fertőtlenítő hatása révén különböző klór-rezisztens szennyező mikroorganizmusok inaktíválása valósítható meg a nyersvizek előkezelésével. Emellett a szervesanyag tartalom jelentős részét eltávolító oxidatív kezelés után, a törésponti klórozás során képződő káros melléktermékek koncentrációja jelentős mértékben csökken.

Az alkalmazott oxidatív rendszerrel tehát lehetőség van a víz minőségének javítására, valamint a hálózaton jelentkező ún. másodlagos vízminőségi problémák és a környezetterhelés megelőzésére. Megítélésünk szerint eredményeink viszonylag könnyen adaptálhatók az eddigieknél hatékonyabb ivóvízkezelési technológiák kifejlesztésére.

PUBLIKÁCIÓS LISTA

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **A. Truzsi, B. Kovács, I. Bodnár, I. Fábián**
Controlling the formation of halogenated byproducts in the chlorination of source waters by oxidative pre-treatment with the Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-air system
Ecotoxicology and Environmental Safety, **2022**, 244, 114036.
DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.114036
[Q1, IF.: 7.129, Cit.: 0/0]
2. **A. Truzsi, J. Elek, I. Fábián**
Sulfur(IV) assisted oxidative removal of organic pollutants from source water
Environmental Pollution, **2022**, 294, 118625.
DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118625
[D1, IF.: 9.988, Cit.: 0/0]

Az értekezés anyagához szorosan nem kapcsolódó közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (5)

1. **Truzsi A., Szmolka M., Bodnár I., Varga J.**
Oxidációs eljárások összehasonlítása neonikotinoid növényvédő szerek modelloldatokból történő eltávolítására
Int. J. Eng. Manag. Sci., **2019**, 4 (2), 91-98
DOI: 10.21791/IJEMS.2019.2.11.

2. **Truzsi A., Bodnár I., Fülöp Z.**
A debreceni szennyvíztisztító telep biogáz termelő fermentációs folyamatainak nyomon követése kémiai módszerekkel = Monitoring of Debrecen WWTP biogas fermentation processes by chemical methods.
Int. J. Eng. Manag. Sci., **2017**, 2 (1), 79-83
DOI: 10.21791/IJEMS.2017.1.15.
3. **Truzsi, A., Bodnár, I., Fülöp, Z.**
Innovatív szennyvíztisztítási módszer vizsgálata kommunális szennyvíz kémiai kezelésére = Examination of innovative wastewater treatment method for chemical treatment of municipal wastewater.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 1 (2), 136-144, **2016**. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.2.18>.
4. **Truzsi, A., Bodnár, I., Fórián, S.**
Fizikai, kémiai és hidromorfológiai jellemzők vizsgálata a Hortobágy-Berettyó főcsatorna mentén.
Debr. Műsz. Közl. 13 (2), 98-103, **2014**. ISSN: 1785-0622.
5. **Truzsi, A., Bodnár, I., Lengyel, A.**
Felszín alatti víztest szénhidrogén szennyezésének monitoringja = Hydrocarbon contamination monitoring of a groundwater waterbody.
Debr. Műsz. Közl. 12 (2), 74-82, **2013**. ISSN: 1785-0622.

Magyar nyelvű konferencia közlemények (7)

1. **Truzsi A., Bodnár I., Varga J.**
Neonikotinoid növényvédő szerek oxidatív lebontására irányuló módszerfejlesztések = Methods Development for Oxidative Degredation of Neonicotinoid Pesticides.
Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, 2018, 442 p. pp., 358-365., 8 p. ISBN: 9789637064388
<http://hdl.handle.net/2437/256443>
2. **Truzsi A., Bodnár I., Varga J., Bellér G., Fábíán I.**
Neonikotinoid növényvédő szerek oxidációja modelloldatokból peroxomonoszulfát-ionnal = Oxidation of Neonicotinoid Insecticides from Model Solutions with Peroxomonosulfate Ion.
Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, 2019, 464 p. pp., 404-407., 4 p. ISBN: 9789637064388
<http://hdl.handle.net/2437/273106>
3. **Truzsi A., Bodnár I., Fülöp Z.**
A debreceni szennyvíztisztító telep vizsgálata különös tekintettel a fermentációs folyamat megbízható értékelésére alkalmazható FOS/TAC arány nyomon követésével Examination of Debrecen WWTP Focusing on the FOS/TAC Ratio as a Reliable Assessment Parameter Used for the Fermentation Process.
Int. J. Eng. Manag. Sci., 2019, 4 (2), 91-98
DOI: 10.21791/IJEMS.2019.2.11.

4. **Truzsi A., Bodnár I., Varga J.**
Oxidatív lebontásra irányuló módszerfejlesztések biológiailag nem vagy nehezen bontható szerves anyagokkal terhelt felszíni és felszín alatti vizek in situ tisztítására = Methods Development for Oxidative Degredation in Surface and Groundwater Loaded by Non or Hardly Biodegradable Organic Pollutants.
Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, 2017, 630 p. pp., 571-578., 8 p ISBN: 9789637064388
<http://hdl.handle.net/2437/243208>
5. **Truzsi, A., Bodnár, I.**
Antropogén szennyezők hatásának vizsgálata a Hortobágy-Berettyó főcsatorna növényi tápanyagtartalmára.
Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, 2015. konferencia előadásai : Debrecen, 2015. június 11..
Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 543-547, **2015.** ISBN: 9789637064326
6. **Truzsi, A., Fórián, S., Bodnár, I.**
A Hortobágy-Berettyó főcsatorna vízminőségének, kiemelten a víz ionösszetételének értékelése maucha-féle csillagdiagrammal = The assesment of ionic composition of hortobágyberettyó main canal with maucha star diagram.
Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, 2014. Szerk.: Pokorádi László, MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, Debrecen, 413-418, **2014,** (Műszaki füzetek ; 14) ISBN: 9789635087525

7. **Truzsi, A., Fórián, S., Bodnár, I.**

Terepi vízminőségi vizsgálataink a Hortobágy-Berettyó főcsatornán = Our Field Measurements of Water Quality at The Main Canal of Hortobágy Berettyó.

Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX: Nemzetközi Tudományos Konferencia. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 425-428, **2014.**



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/409/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Truzsi Alexandra
Doktori Iskola: Kémiai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10059255

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Truzsi, A., Kovács, B., Bodnár, I., Fábán, I.:** Controlling the formation of halogenated byproducts in the chlorination of source waters by oxidative pre-treatment with the Fe(II)/Fe(III)-S(IV)-air system.
Ecotox. Environ. Safe. 244, 1-7, 2022. ISSN: 0147-6513.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114036>
IF: 7.129 (2021)
2. **Truzsi, A., Elek, J., Fábán, I.:** Sulfur(IV) assisted oxidative removal of organic pollutants from source water.
Environ. Pollut. 294, 1-7, 2022. ISSN: 0269-7491.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118625>
IF: 9.988 (2021)

További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (5)

3. **Truzsi, A., Szmolka, M., Bodnár, I., Varga, J.:** Oxidációs eljárások összehasonlítása neonikotinoid növényvédő szerek modelloldatokból történő eltávolítására.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 4 (2), 91-98, 2019. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2019.2.11>.
4. **Truzsi, A., Bodnár, I., Fülöp, Z.:** A debreceni szennyvíztisztító telep biogáz termelő fermentációs folyamatainak nyomon követése kémiai módszerekkel = Monitoring of Debrecen WWTP biogas fermentation processes by chemical methods.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 2 (1), 79-83, 2017. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2017.1.15>.





**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

5. **Truzsi, A.**, Bodnár, I., Fülöp, Z.: Innovatív szennyvíztisztítási módszer vizsgálata kommunális szennyvíz kémiai kezelésére = Examination of innovative wastewater treatment method for chemical treatment of municipal wastewater.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 1 (2), 136-144, 2016. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.2.18>.
 6. **Truzsi, A.**, Bodnár, I., Fórián, S.: Fizikai, kémiai és hidromorfológiai jellemzők vizsgálata a Hortobágy-Berettyó főcsatorna mentén.
Debr. Műsz. Közl. 13 (2), 98-103, 2014. ISSN: 1785-0622.
 7. **Truzsi, A.**, Bodnár, I., Lengyel, A.: Felszín alatti víztest szénhidrogén szennyezésének monitoringja = Hydrocarbon contamination monitoring of a groundwater waterbody.
Debr. Műsz. Közl. 12 (2), 74-82, 2013. ISSN: 1785-0622.
- Magyar nyelvű konferencia közlemények (7)
8. **Truzsi, A.**, Bodnár, I., Varga, J., Bellér, G., Fábán, I.: Neonikotinoid növényvédő szerek oxidációja modelloldatokból peroxomonoszulfát-ionnal = Oxidation of Neonicotinoid Insecticides from Model Solutions with Peroxomonosulfate Ion.
In: Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2019. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, MTA Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 404-407, 2019. ISBN: 9789637064388
 9. **Truzsi, A.**, Bodnár, I., Varga, J.: Neonikotinoid növényvédő szerek oxidatív lebontására irányuló módszerfejlesztések = Methods Development for Oxidative Degredation of Neonicotinoid Pesticides.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban. Szerk.: Bodzás Sándor, Antal Tamás, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 358-365, 2018. ISBN: 9789637064371
 10. **Truzsi, A.**, Bodnár, I., Fülöp, Z.: A debreceni szennyvíztisztító telep vizsgálata különös tekintettel a fermentációs folyamat megbízható értékelésére alkalmazható FOS/TAC arány nyomon követésével = Examination of Debrecen WWTP Focusing on the FOS/TAC Ratio as a Reliable Assessment Parameter Used for the Fermentation Process.
In: A XXII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak előadásai : Proceedings of the XXII-th International Scientific Conference of Young Engineers. Szerk.: Bitay Enikő, Óbudai Egyetem ; Kolozsvár : Erdélyi Múzeum Egyesület, Budapest, 391-394, 2017. ISBN: 9789634490180
 11. **Truzsi, A.**, Bodnár, I., Varga, J.: Oxidatív lebontásra irányuló módszerfejlesztések biológiailag nem vagy nehezen bontható szerves anyagokkal terhelt felszíni és felszín alatti vizek = In Situ Tisztítására Methods Development for Oxidative Degredation in Surface and Groundwater Loaded by Non or Hardly Biodegradable Organic Pollutants.
In: Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017 konferencia előadásai. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 571-578, 2017. ISBN: 9789637064357



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

12. **Truzsi, A.,** Bodnár, I.: Antropogén szennyezők hatásának vizsgálata a Hortobágy- Berettyó főcsatorna növényi tápanyagtartalmára.
In: Műszaki tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2015 : konferencia előadásai : Debrecen, 2015. június 11.. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 543-547, 2015. ISBN: 9789637064326
13. **Truzsi, A.,** Fórián, S., Bodnár, I.: A Hortobágy-Berettyó főcsatorna vízminőségének, kiemelten a víz ionösszetételének értékelése maucha-féle csillagdiagrammal = the assesment of ionic composition of hortobágyberettyó main canal with maucha star diagram.
In: Az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2014. Szerk.: Pokorádi László, MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, Debrecen, 413-418, 2014, (Műszaki füzetek ; 14) ISBN: 9789635087525
14. **Truzsi, A.,** Fórián, S., Bodnár, I.: Terepi vízminőségi vizsgálataink a Hortobágy-Berettyó főcsatornán = Our Field Measurements of Water Quality at The Main Canal of Hortobágy-Berettyó.
In: Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX : Nemzetközi Tudományos Konferencia. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 425-428, 2014.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 17,117

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 17,117

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.08.31.

