

# **Circular Economy and Environmental Protection**

*Bilingual scientific journal / Kétnyelvű tudományos folyóirat*

## **Körforgásos Gazdaság és Környezetvédelem**



*Official Journal of the  
Environmental and Process Engineering Research  
Group and Institute of Chemistry*

### **Volume 1, Issue 2, 2017**

## **EDITORIAL INFORMATION**

**Editor-in-Chief:** Mizsey, Peter

**Editorial Advisory Board:**

Kraslawski, Andrzej

Mika, Laszlo Tamas

Nagy, Tibor

Plesu, Valentin

Reti, Gabor

Stawski, Dawid

Szlavik, Janos

Toth, Andras Jozsef

Valentinyi, Nora

Vatai, Gyula

Viskolcz, Bela

**Journal Editor:** Racz, Laszlo (sr)

**Assistant Editors:**

Andre, Anita

Farkas Szoke-Kiss, Anita

Fozer, Daniel

Haaz, Eniko

Tarjani, Ariella Janka

**Publishers:**

Environmental and Process Engineering Research Group, and Institute of Chemistry – Mizsey, Peter

ISSN 2560-1024

**Contact, manuscript submission:** ceep@envproceng.eu

*On the first page: a 7500 BPD MEROX<sup>TM</sup> unit to remove mercaptan sulphur from kerosene fraction in an oil refinery offered for sale by Phoenix Equipment Corp.*

*(<https://www.phxequip.com/plant.2204/merox-unit-7500-bpd.aspx>)*

## CONTENTS / TARTALOM

Editorial preface / Szerkesztői előszó.....4

### Environmental Protection / Környezetvédelem

Tóth, András József – Rózsavölgyi, Beáta – Haszon, Boglárka – Kovács, András – Haáz, Enikő – Solti, Szabolcs – Mizsey, Péter: Ártalmatlanítási eljárások kőolajiparban keletkező MEROX<sup>TM</sup> lúgokra.....5-20

### Actualities / Aktualitások

Tóth, András József: Az IChemE Global Awards 2017 díjazott pályamunkái .....21-24



*A part of 7500 BPD MEROX<sup>TM</sup> unit to remove mercaptan sulphur from kerosene fraction offered for sale by Phoenix Equipment Corp (<https://www.phxequip.com/plant.2204/merox-unit-7500-bpd.aspx>)*

## **EDITORIAL PREFACE / SZERKESZTŐI ELŐSZÓ**

Tisztelt / Kedves Olvasó,

Nagy örömünkre szolgál frissen indult lapunk második számának beharangozása.

Örömünk elsődleges oka, hogy Kutatócsoportunk és a Miskolci Egyetem valamint az EGIS közös kutatási eredménye, mely az 1. szám címlapján látható, előírászerűen működő ipari berendezés formájában meg is valósult, bejutott az Institution of Chemical Engineers világszervezet, az IChemE Global Awards 'finalist'-jai közé. Munkánk végül is a 'highly commended'

díjat nyerte el, mely a hazai csapat mögötti második helyet eredményezte. Erről kiadványunk hírei között részletesen beszámolunk.

Tudományos publikációnk kiemelten környezetvédelmi témájú, melyben hulladékártalmatlanítást szén-dioxid kémiai megkötésével érünk el, két legyet is ütve egy csapással.

Reméljük, olvasóink sok érdekességet találnak kiadványunkban, melyre mások figyelmét is felhívják, és kedvet kapnak arra, hogy saját munkájukat Szerkesztőségünkbe közlésre beküldjék.

Budapest, 2017. november 30.

Nagy, Tibor

## **Ártalmatlanítási eljárások kőolajiparban keletkező MEROX™ lúgokra**

**Tóth, András József<sup>1,\*</sup>, Rózsavölgyi, Beáta<sup>1</sup>, Haszon, Boglárka<sup>1</sup>,  
Kovács, András<sup>2</sup>, Haáz, Enikő<sup>1</sup>, Solti, Szabolcs<sup>3</sup>, Mizsey, Péter<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup>BME-VBK Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, 1111, Budapest,  
Budafoki út 8.

<sup>2</sup>KUKK K+F Kft., 1083, Budapest, Szigetvári út 1.

<sup>3</sup>Szelence Kamionmosó Kft., Szabadegyháza

<sup>4</sup>Miskolci Egyetem, Finomvegyipari és Környezettechnológiai Intézeti Tanszék,  
3515, Miskolc, Egyetemváros C/1 108.

\*andras86@kkft.bme.hu, +36 1 463 1494

*Beküldve: 2017. november 15.*

*Közlésre elfogadva: 2017. november 25.*

### **KIVONAT**

A kőolaj- és földgázfeldolgozásban a merkaptánok (RSH) eltávolítására alkalmazott Honeywell UOP MEROX™ (MEROX™ – MERkaptán Oxidáció alkalikus környezetben szénhidrogén diszulfiddá, RSSR) eljárás során nagy mennyiségű kéntartalmú veszélyes hulladék, ún. MEROX™ lúg keletkezik. Ez az anyag a környezetre kiemelt veszélyt jelent, mert rendkívül magas a kémiai oxigénigény értéke és erősen lúgos kémhatású. Ártalmatlanításukat elsősorban égetéssel oldják meg, azonban több módszer ismert a részleges kezelésükre. Közleményünkben öt ilyen eljárást mutatunk be: a MOL-OX kezelést, a nedves levegő oxidációt, az adszorpciót, a kolloidkémiai kezelést, illetve a plazmabontást. Laboratóriumi kísérletekben vizsgáltuk a MEROX™ lúg szén-dioxidos elnyelését. Megállapítottuk, hogy a kezdeti 13-as pH értékű mintákat közel semleges értékre lehet csökkenteni már 1 dm<sup>3</sup>/L gázadagolás mellett is.

### **ABSTRACT**

**Disposal methods of MEROX™ caustic waste from petroleum industry**

In the oil refineries there is a high level of sulphur-containing hazardous waste, MEROX™ bases are formed. These substances mean a high risk to the environment, because they have high chemical oxygen demand and are highly alkaline. Their disposal is mainly achieved by combustion, but several methods are known for their partial treatment. In our article, five such methods are described: MOL-OX treatment, wet air oxidation, adsorption, colloid chemistry and plasma digestion. The carbon dioxide dissolution of the MEROX™ alkaline was investigated in laboratory experiments. It has been found that the initial pH values of pH 13 can be reduced to a near neutral value even at 1 dm<sup>3</sup>/L gas dispensing.

## BEVEZETÉS

A kőolajfinomítás során számos technológiai lépésben keletkeznek toxikus és intenzív bűzhatást okozó veszélyes anyagok, melyek előkezelés nélkül nem bocsáthatók az ipari szennyvíztisztítóba. A benzintípusú üzemanyagok oldott kén-hidrogén- és merkaptán-típusú vegyületeinek eltávolítása során MEROX<sup>TM</sup> lúgot alkalmaznak. A MEROX<sup>TM</sup> lúg regenerálható, ám egy idő után annyira telítődik különféle szerves vegyületekkel, hogy a lúg ismételt használata már nem lehetséges. A keletkezett fāradt MEROX<sup>TM</sup> lúg jelentős veszélyforrás a környezetre nézve nagy kémiai oxigénigénye (KOI) (10 000– 200 000 mgO<sub>2</sub>/L) és erősen lūgos kémhatása (pH≈13) miatt. Élővízbe vagy biológiai szennyvíztisztítóba erős toxicitása miatt még nagy hígításban sem engedhető be. Ilyen környezetre ártalmas hulladékot a legtöbb esetben étetéssel ártalmatlanítanak. A lúg égetése nagyon energiaigényes és feldolgozásakor a kéntartalmú vegyületek kén-dioxid (SO<sub>2</sub>) gāzzá oxidálódnak, amit a füstgāzból abszorbeálni szükséges. Tehát az égetés sem környezeti, sem gazdasági szempontból nem megfelelő megoldás. Olyan megoldást célszerű találni a körforgásos gazdaság jegyében, amely során mód nyílik a toxikus lúg, vagy esetleges komponensének hasznosítására.

A kőolajfinomítóban 20 000–820 000 tonna szén-dioxid (CO<sub>2</sub>) keletkezik egymillió tonna kőolaj feldolgozása során. A hazai finomítás fenntarthatósági jelentése szerint 2014-ben a MOL Dunai Finomító CO<sub>2</sub> kibocsátása 1 millió tonna feletti lehetett

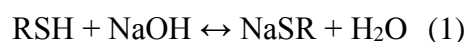
([http://jovoujratoltve.hu/images/pdf/jelente\\_seink/Ff2014\\_finomitas.pdf](http://jovoujratoltve.hu/images/pdf/jelente_seink/Ff2014_finomitas.pdf)). Jelentős mértékű kibocsátás-csökkentést csak a keletkező CO<sub>2</sub> felhasználásával, hasznosításával lehet elérni. Érdemes ezért

megvizsgálni a CO<sub>2</sub>-nek a szintén nagy mennyiségben keletkező MEROX<sup>TM</sup> lūgban történő elnyeletési lehetőségét.

Közleményünk első részében a szakirodalomban fellelhető MEROX<sup>TM</sup> lūggal kapcsolatos eljárásokat, kísérleteket és azok eredményeit foglaljuk össze. A vizsgálatok két csoportba sorolhatók: az egyik célja a lūg ártalmatlanítása, míg a másiké az ipari felhasználása. Az ezt követő gyakorlati részben pedig azt vizsgáljuk, hogy a finomítóban keletkező toxikus fāradt MEROX<sup>TM</sup> lūg, illetve szén-dioxid reakciója során milyen változások tapasztalhatók. Vizsgáljuk a MEROX<sup>TM</sup> lūg CO<sub>2</sub> elnyeletés hatására bekövetkező pH változását, felrajzoljuk a titrálási görbét.

## A MEROX LŰGOK KEZELÉSI ELJÁRÁSAI

A kőolaj-feldolgozás során figyelembe kell venni a kőolajban található különböző anyagok tulajdonságait. Az aromás és alkil merkaptánok, melyek a kőolaj fontos szerves kén alkotói, felelősek a rossz szagért és a fémek korróziójáért, illetve magas kémiai oxigénigénnyel rendelkeznek (Ellis, C.E. (1998)). Ezeket az anyagokat mindenképp el kell távolítani, hogy megfelelő minőségű termékeket állíthassunk elő a finomítás során. Az egyik eltávolító folyamat a MEROX<sup>TM</sup> eljárás, mely során kénmentesítik a kőolajpárlatot. A folyamat fém-kelát közreműködésével megy végbe, a merkaptánok diszulfiddá oxidálódnak lūgos közegben. A lejátszódó reakció általános egyenlete:



(olaj)

(vizes fāzis)

Az eljárás tehát csökkenti a teljes kéntartalmat a végtermékben, így alkalmas gāzok, autógāz (LPG), és kőolajfrakciók kezelésére (Basu, B. et al. (1993)). Az

olajfinomítókból származó, használt lúg oldatokat nagyon nagy pH (pH >12) és emelkedett Na-koncentráció jellemzi (5–12 w/w%). A hidroszulfid (HS<sup>-</sup>) és a szulfid (S<sup>-</sup>) a leggyakoribb kén összetevő a használt lúgokban, koncentrációjuk meghaladhatja a 2–3 w/w%-ot, de szerves kénformák és aromás szénhidrogének is megtalálhatóak az oldatban (metántiol, benzol, fenol). A kéntartalmú vegyületek egyrészt nehézségeket okoznak a kőolaj-feldolgozás során, másrészt korrodáló és környezetkárosító hatásuk van. A különböző lelőhelyről származó kőolajak kéntartalma eltérő: a MOL Dunai Finomítóban feldolgozott import orosz kőolaj kéntartalma 1,36 m/m%, míg a hazai kőolajé 0,18 m/m%. A kéntartalom csökkentése rendkívül fontos feladat, mivel a jelenlegi előírások szerint a motorbenzin kéntartalma nem haladhatja meg a 10 ppm-es határértéket (30/2011. (VI. 28.) NFM rendelet, [http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=A1100030.NFM&txtreferer=A0500164.TV](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1100030.NFM&txtreferer=A0500164.TV)).

A lúgot regenerálják és visszaforgatják a folyamatba. A regenerálásban a kéntartalmú vegyületeket katalitikus oxidációval olajban oldódó diszulfiddá alakítják. A szerves és a szervesetlen fázis elkülönítése után a szervesetlen lúgot visszaforgatják a műveletbe, a diszulfidos anyagáramot pedig megfelelő technikával ártalmatlanítják. Ez a regenerálási művelet addig ismételhető, ameddig az extrakt (szervesetlen fázis) nem telítődik annyira, hogy a hatékony fázisválasztást megakadályozza. A diszulfid olajok elválasztása nem spontán folyamat, mert a jelenlévő főleg dimetil-, dietil-, illetve metil-etil-diszulfidok a vizes közeghez hasonló sűrűség és forráspont jellemzőkkel rendelkeznek. Ezért a szerves és szervesetlen fázisok finomítására a diszulfidos

anyagáramot benzines, petróleumos mosásnak vetik alá, majd homoksűrőbe vezetik. A szervesetlen fázis alkalmas a kénhidrogén- és merkaptán vegyületek vízdoldható sóvá alakítására, a folyamatba visszaforgatásra (Széchy, G. (2003)).

Ez a szulfidos oldat tehát mérgező, rossz szagú és korrozív is, habár a pontos összetétele nagyban függ a kezelt szénhidrogénfajtától (de Graaff, M. et al. (2011)). Az Egyesült Államok Forrásmegőrzési és Helyreállítási Törvényének értelmében veszélyes hulladéknak minősül (Sayid Abdulah, S.H.Y. et al. (2011)). A megfelelő Na:S aránnyal rendelkező szulfidos folyadékokat Kraft-eljárás során használhatják fel, emellett a krezi savakat is regeneráltathatják és árusíthatják. Néhány esetben azonban ezek az alternatívák nem állnak rendelkezésre és a használt lúgáramot szennyező folyadékként kezelni kell (Ellis, C.E. (1998)). A használt lúgok ártalmatlanítására számos módszer áll rendelkezésünkre, fizikai és kémiai módszerek mellett biológia folyamatokkal is kezelhetjük az oldatot (de Graaff, M. et al. (2011)).

### **A MEROX<sup>TM</sup> katalizátor regenerálása**

A szulfidokat diszulfiddá oxidáló (MEROX<sup>TM</sup>) katalizátort akkor regenerálják, ha az adszorpció miatt a reaktorban a nyomásesés megközelíti a megengedett 70 kPa értéket. Az aktív szén katalizátor ágyat forró vízzel mossák, az adszorbeálódott szerves vegyületeket és a lúggal képzett szappanokat, lúgmaradékot a pórusokból és azok felületéről eltávolítják. Az aktív centrumok felszabadítására jéccettel mossák át az aktív szenet – az elfolyó vizek pH-ja 5–5,5 értékre csökken – ezzel újabb, oxidációnak makacsul ellenálló

szerves vegyületeket juttatnak a hulladék vízáramba. A mosást a stabil pH=8–9 tartomány eléréséig 85–90°C-os forró, ionmentes vízzel végzik. A regenerálást nehezíti, hogy a katalitikus oxidáció hordozója aktív szén, mely nagy hatékonysággal adszorbeál poláros vegyületeket. A katalizátor felületének szabadon tételét szolgáló deszorpciós (aktiválási) műveletben a deszorbeált komponensek a szerves anyagáramot sárgára színezik. A katalizátor előkészítését követően a vas-kelát katalizátor elegyet cirkuláltatják a katalizátor ágyon, majd az aktív anyagmennyiség megkötődését követően lúggal kondicionálják a katalizátort és újabb szerves, ill. szerves anyagmennyiséggel terhelik a használt, megsemmisítésre ítélt MEROX™ lúgot. További szennyvízterhelést okoz a katalizátor impregnálásához szükséges ammóniaoldatos átöblítés is. Mindezek a szennyező komponensek együttesen terhelik a használt MEROX™ lúgnak nevezett hulladék anyagáramot, mely jelentős veszélyforrás a környezetre. Annak ellenére, hogy nagymértékű (200–400-szoros) hígítással és alkalmas mennyiségű – 8–10%-os tömény kénsav – semlegesítő szerrel elérhető a KOI : Biológiai oxigénigény (BOI)  $\leq 2$  érték és pH=7–8, erős toxicitása miatt biológiai rendszerekben nem kezelhető. Sem gazdasági, sem ökológiai szempontok miatt nem lenne elfogadható gyakorlat az ennél nagyobb mérvű hígítás, és a semlegesítés utáni biológiai lebontó rendszerbe vezetésük.

A nagy szerves anyag tartalom miatt ettől a hulladéktól jelenleg jellemzően égetéssel szabadulnak meg az olajipari cégek. Az ártalmatlanítás költségének csökkentése a nedves oxidáció aktiválási energiájának csökkentésével érhető el. Nagy számban fejlesztettek ki a feladatra alkalmas katalizátort. Annak ellenére, hogy ezekről,

mint a gyakorlatban alkalmazható és megfizethető technológiákról számoltak be, a kőolajfinomítók nem preferálják ezeknek a katalizátoroknak az alkalmazását, mert a nagy lúgkoncentráció korrozív. Az agresszív közeg a legtöbb ismert katalizátorhordozót rövid üzemeltetési idő alatt feloldja (Isaák, G. et al. (2002)).

## **A MEROX™ lúg fő kezelési eljárásai**

### *MOL-OX eljárás*

A MOL-OX eljárás kidolgozóinak (Isaák, G. et al. (2002)) célja a MEROX™ lúg gazdaságos, helyszíni ártalmatlanítására alkalmas ipari méretű technológia megvalósítása volt.

A szennyvizet először kémiai előkezelésnek vetették alá, annak érdekében, hogy a szerves és szerves szennyező komponenseket nem mérgező, vagy a mikroorganizmusok számára lebontható vegyületekké alakítsák. Az átalakítás – többnyire oxidáció – molekuláris oxigénnel vagy oxidáló vegyületekkel történhet. Figyelembe véve az ártalmatlanítandó vegyületek típusát, az ártalmatlanítás idejét, a szükséges készülékigényt, valamint a gazdaságosságot, a szerzők a molekuláris oxigén – mint oxidálószer – alkalmazása mellett döntöttek. Az általánosan alkalmazott oxidálószeresek közül a hidroxilgyök, az atomos oxigén és a hidrogén-peroxid az, amely erős oxidálószer és alkalmazása nem okoz további környezeti terhelést. Az ózon vagy a hidroxilgyök előállítás, valamint az ultrabolya besugárzás biztosítása többletköltségekkel járna, ezért, ha feltétlenül nem szükséges, alkalmazása kerülendő. A hidrogén-peroxid csak a 3–5 pH-tartományban képes oxidálni, ezért a szennyvizet előzőleg semlegesíteni kellene. Ez a pH-beállítás azonban az illékony kénvegyületek felszabadulásával és egyéb



nem kívánatos mellékreakcióval járna, ami a szennyező komponensek még nehezebb ártalmatlanítását eredményezné.

Szakaszos laboratóriumi kísérletek során megállapították a KOI csökkentésének paraméter-érzékenységet, a hőmérséklet, nyomás, tartózkodási idő, gázmennyiség és minőség hatását a konverzióra. A szakaszos

üzemmód sikeres megvalósítását követően a költségek további csökkentése érdekében a fáradt MEROX lúgok folytonos oxidációjával kezdtek el foglalkozni. A folytonos technológiában a tartózkodási idő 20–30%-kal csökkent, 35–40%-kal nőtt a termelékenység, továbbá jelentősen csökkent az energiaintegráció miatt a fűtőgáz felhasználás.

Hulladék paraméter	Kezelendő MEROX™-lúg	Kezelt MEROX™-lúg
pH	8–13,5	7–11
KOI, mgO <sub>2</sub> /L	5 000– 180 000	200–1 800
Na <sub>2</sub> S <sub>x</sub> -tartalom	1,5–8,0%	Max. 20 ppm
Száranyag-tartalom, %	5–11	5–11
Olajtartalom, ppm	0–7 000	Max. 20

1. táblázat. A MOL-OX eljárás jellemzői (Isaák, G. et al. (2002))

A reaktor méretének csökkentésére kifejlesztették a titán-dioxid (TiO<sub>2</sub>) alapú MOL-OX T4N nevű katalizátort, melynek alkalmazásával minden korábbinál jobb eredményt értek el. A végleges technológiai eljárás hatásait az 1. táblázatban figyelhetjük meg, amelyben összehasonlítjuk a kiindulási mintát a kezelt hulladék adataival (Isaák, G. et al. (2002)). A MOL-OX eljárás során oxidáló ágensként oxigént használtak, az átáramló gázmennyiség 7 dm<sup>3</sup>/h volt és a rendszert 0,6 MPa nyomáson, 150°C-on 96 órán keresztül működtették.

#### Nedves levegős oxidáció

A többféle szerves szennyező anyagot, illetve biológiailag nehezen bontható vegyületeket tartalmazó szennyvizek nem vihetők be közvetlenül a biológiai tisztítókba. Ezek kezelésére sok esetben

nedves levegős oxidáció (Wet Air Oxidation, WAO) alkalmasnak bizonyul.

A nedves levegős oxidáció vizes közegben lejátszódó oxidációs eljárás, amely során a vízben oldott szerves anyag tökéletesen el van keverve a gázfázisban található oxigénnel. Az oxidálószer lehet levegő, vagy tiszta oxigén. A folyamat általában magas nyomáson (70–230 bar) és magas hőmérsékleten (150–350°C) játszódik le. A hőmérséklet és nyomás értékeket úgy kell beállítani, hogy a szennyező anyagáram ne legyen illékony. Maga a víz semleges közeg az oxidáció szempontjából, viszont nagy sűrűsége és viszonylag állandó hőkapacitása révén technológiai előnyt jelent.

Az eljárást két fő lépés határozza meg: az oxigéntranszfer a folyadékfázisba, valamint a már oldott oxigén és a szerves

anyag közötti reakció. Az oxidáció mértéke elsősorban a hőmérséklettől, az oxigén parciális gőznyomásától, a tartózkodási időtől és az oxidálandó vegyület ellenálló képességétől függ.

A WAO-eljárás előnye, hogy minimális levegőszennyezettséget okoz, ugyanis a

szennyezőanyagok a folyadékfázisban maradnak. A kis mennyiségű távozó gáz nagyrészt levegőből vagy oxigénből és szén-dioxidból áll. A módszer hátránya, hogy a nagy hőmérséklet és nyomás, a hosszú tartózkodási idő, valamint az eszközök kialakításához szükséges fokozottan korrózióálló és ellenálló anyagok miatt nagy költségekkel kell számolni (BME-KKFT (2017b)).

A nedves levegős oxidáció egyik típusa a katalitikus nedves levegős oxidáció (CWAO). A reakciósebesség növelésére katalizátort alkalmaznak, ami általában

valamilyen oldható átmeneti fémsó (pl. rézsók). Ezek jelenléte azonban problémákat vetett fel: meg kellett oldani elválasztásukat a reakcióelegytől, valamint az újrafelhasználásukat. A heterogén katalizátorok – többnyire stabil hordozóra felvitt nemesfémek – használata került előtérbe, melyek kevésbé hajlamosak a reakcióelegybe, ezáltal a termékbe mosódásra. Jellemzően nagy KOI-értékű ipari szennyvizeknél alkalmazzák az eljárást, magas hőmérsékleten és nagy nyomáson (BME-KKFT (2017b)). A 2. táblázat különböző oxidációs eljárások típusait és azok paramétereit foglalja össze.

Nedves levegős oxidáció (WAO)		T=200-350°C p=70-230 bar Oxidálószer: levegő vagy O <sub>2</sub>	Termikus oxidációs eljárások
Katalitikus nedves levegős oxidáció (CWAO)		T<200°C p<50 bar Oxidálószer: levegő vagy O <sub>2</sub> katalizátor	
Szuperkritikus vizes oxidáció (SCWO)		T>374°C p>221 bar Oxidálószer: levegő, O <sub>2</sub> vagy H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (esetenként katalizátor)	
Nedves peroxidos oxidációs eljárások	Nedves peroxidos oxidáció (WPO)	T>100°C, p>1 bar, Oxidálószer: H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Speciális oxidációk (AOPs)
	Fenton nedves peroxidos oxidáció (FWPO)	T~25°C, p~1 bar, Oxidálószer: H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Katalizátor: Fe <sup>2+</sup>	
Különleges oxidációs eljárások		OH <sup>-</sup> gyök intermedier (elektródok, UV fény, ultrahang impulzusok vagy O <sub>3</sub> )	
Kombinált eljárások		O <sub>3</sub> +UV Biológiai kezelés+AOPs Adszorpció aktív szénen+CWAO	Kombinált kezelési eljárások

**2. táblázat.** Az oxidációs eljárások típusai és paramétereit (BME-KKFT (2017a))

A nedves levegős oxidációval az égetésnél enyhébb körülmények között lehet oxidálni. Az oxidáció hatékony lejátszódásához a gáz- és folyadékfázisnak nagy felületen kell érintkeznie. Czimer és munkatársai ezt szilárd, saválló acél töltettel valósították meg (Czimer, B. et al. (2015)). Mivel az oxidáció szobahőmérsékleten nem játszódik le, így az alkalmazott folyamatos üzemű reaktort fűtötték. Vizsgálták az oxidáció paraméter-érzékenységét: a hőmérséklet, a nyomás, valamint a gáz és folyadék betáplálás térfogatáramának hatását. A nedves levegős oxidációs kísérlet 30 bar-on, 250°C-on, 0,25 L/h térsébséggel zajlott.

A nedves levegős oxidációs kísérlet célkitűzése az volt, hogy a MEROX<sup>TM</sup> lúg biológiai szennyvíztisztítóba vezethető legyen. Ezt azonban nem sikerült megvalósítani, mivel az eljárással nem lehetett elérni a kibocsátási határértékeket (Czimer, B. et al. (2015)).

#### *Adszorpció*

Czimer és munkatársai adszorpciós kísérletet végeztek a MEROX lúggal. A mérések során azt vizsgálták, hogy a MEROX lúg szennyeződései mennyire tudnak megkötődni különböző szilárd anyagok felületén. A mérést három különböző töltettel is elvégezték: derítőföldet, alumínium-szulfátot, illetve petrolkokszt alkalmaztak. A derítőföldet a kőolajipar adszorbensként használhatja a paraffingyártásnál. Az alumínium-szulfát savas flokkulálószer, így képes csökkenteni a lúg bázikus kémhatását, emellett a KOI-t okozó vegyületek megkötésére használják. A petrolkokszt – csak úgy, mint a MEROX lúg – a kőolajfinomítóban keletkezik.

A kísérletek elvégzését követően azt tapasztalták, hogy az alumínium-szulfáttal töltött oszlop eltömődött, melyért

valószínűleg a keletkezett alumínium-hidroxid csapadék volt a felelős. A derítőfölddel töltött oszlopon csekély mennyiségű anyag folyt át, viszont a KOI-t okozó vegyületek közel 60%-át sikerült megkötöni. A petrolkokszt az első mintánál nem csökkentette, hanem növelte a MEROX<sup>TM</sup> lúg kémiai oxigénigényét. Ennek magyarázata az lehet, hogy a petrolkokszt a keletkezése során könnyű szénhidrogéneket adszorbeál a felületén, melyek a MEROX<sup>TM</sup> lúgba mosódtak. A későbbi minták esetében a mért KOI megegyezett a kiindulási anyag KOI-jával (Czimer, B. et al. (2015)).

#### *Kolloidkémiai kezelés*

A MEROX<sup>TM</sup> lúg fényszórása, illetve a titrálási görbe alakja azt bizonyítja, hogy a lúg kolloid állapotú. A hidroszolok kinetikai stabilitását általában a részecskék felületei között fellépő elektromos taszítás okozza (Hórvölgyi, Z. (2011)). A Cohen-szabály szerint vízben többnyire minden mikrofázis negatív elektromos töltésű. A többszörösen pozitív töltésű ionokkal ez a felületi töltés leárnyékolható és így a mikrofázisok közötti taszítás megszűnése után azok aggregálódnak. A KOI-t okozó vegyületek jelentős része szűrővel eltávolítható.

Czimer és munkatársai szervesen sókat –  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$  és  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – oldottak fel vízben, majd ebből az oldatból különböző mennyiségeket adtak a MEROX lúghoz: először annyit, hogy a csapadékképződés látható legyen, majd a további minták esetében ennél a mennyiségnél többet, illetve kevesebbet.

A kétféle só alkalmazása különböző eredményhez vezetett. Az alumínium-szulfát oldat hozzáadásakor gázfejlődés volt tapasztalható és a keletkezett csapadék nehezen volt szűrhető. Ezzel szemben a

vas(III)–klorid oldat használatakor gázfejlődés nem volt tapasztalható és a csapadék sokkal gyorsabban szűrhető volt. A vasionok növekvő hatékonyságot mutatnak: minél nagyobb a hozzáadott fémion mennyisége, annál nagyobb a kémiai oxigénigény csökkenése. Az alumínium-ionok esetében a hozzáadott ion mennyiségének függvényében hirtelen változásokat tapasztaltak a KOI csökkenésének mértékében: a görbe meredeken nő, majd egy bizonyos határt elérve meredeken csökkenni kezd. A módszer legfőbb hátránya, hogy ténylegesen nem kezeli a nagy kémiai oxigénigényt okozó vegyületeket, csupán átviszi őket egy másik fázisba (Czimer, B. et al. (2015)).

#### *Olajipari hulladékvíz kezelése víz alatti plazmaberendezéssel*

A plazmás módszer lényege, hogy villamosan vezető, vagy vezetőső adagolásával vezetővé tett, szerves anyagokat tartalmazó oldatot vezetnek át olyan reaktoron, melyben az átáramló oldatba jól vezető elektródok merülnek. Az elektródok és az oldat között villamos ívet (plazmát) hoznak létre. A plazmazóna a víz alá merülő elektródok felületén, váltakozó áram hatására alakul ki. A vízben oldott szerves szennyezők az elektromos plazma rendkívül magas hőmérséklete és UV sugárzása miatt bomlanak el. Tehát nem a plazma termikus bontását használják, hanem azt, hogy magas hőmérsékleten UV sugárzás jelenik meg, mely a vízben hidroxil-gyököket hoz létre. Ezek erősen oxidálnak és roncsolnak.

A berendezés széles körben alkalmazható minden olyan esetben, ahol a hulladék oldat híg vizes oldat és elektromosan vezet, valamint a hagyományos égetés nem lenne gazdaságos vagy környezetvédelmi okokból eleve kizárt.

A víz alatti plazmabontó berendezés lehetséges alkalmazási területe az olajiparban keletkező szerves kéntartalmú hulladék oldatok tisztítása. A labor méretű kísérletek során a különböző kőolajpárlatok szerves kéntartalmának eltávolításakor használt mosóoldat regenerálásával foglalkoztak. A kifejlesztett technológia lényege, hogy a híg vizes oldat szerves anyag tartalmát oly módon csökkentse, hogy ne változzon a hulladék oldat szeretlen sótartalma. A kezelés hatására az eredeti hulladék oldat 250 000 mg O<sub>2</sub>/L körüli KOI értéke a kezelés hatására 4 000 mg O<sub>2</sub>/L érték alá csökkent. Továbbá a kezelés energiaigénye 4-5 kWh/L volt (G.I.C. Kft. (2005)). Az 1. ábrán egy bűvár üzemű víz alatti plazma berendezés látható, melyet a MEROX lúg merkaptán-tartalmának bontására telepítettek.



**1. ábra.** Bűvár üzemű víz alatti plazma berendezés MEROX<sup>TM</sup> lúg merkaptán tartalmának bontására (G.I.C. Kft. (2007))

#### **A MEROX<sup>TM</sup> lúg ártalmatlanítási módszereinek összefoglalása**

A bemutatott MEROX<sup>TM</sup> lúg ártalmatlanítási módszereket a 3. táblázat foglalja össze. Az összehasonlítási szempont a KOI változása volt. A

táblázatban szereplő adatok minden esetben az adott technológiával eddig elért legjobb eredmények.

A kémiai oxigénigényért felelős vegyületek eltávolításának hatásfokát a következőképpen határoztuk meg:

$$KOI_{csökkentés} = 1 - \frac{KOI_{kezelt}}{KOI_{eredeti}} \quad (2)$$

Megnevezés	MOL- OX	WAO	Adszorpció	Kolloidkémiai kezelés	Plazmabontó
Eredeti oldat KOI, mg O <sub>2</sub> /L	100 000	32 400	114 000	114 000	250 000
Kezelt oldat KOI, mg O <sub>2</sub> /L	1 300	1 140	46 000	63 832	4 000
KOI-csökkentés hatásfoka, %	99	97	60	44	98

### 3. táblázat. MEROX<sup>TM</sup> lúg ártalmatlanítási módszerek hatásfoka

#### A MEROX<sup>TM</sup> lúg lehetséges alkalmazásai, hasznosításai

A világon előállított rostok 90–95%-ához fát használnak alapanyagként. Behin és Zeyghami célja az volt, hogy a mezőgazdaságban hulladéknak számító kukoricaszárból rostokat, elsősorban  $\alpha$ -cellulózt állítsanak elő, ezzel csökkentve a fafelhasználást.

A szerzők szerint olyan új növényekre van szükség, amelyekből kis költségekkel minőségi termékek állíthatók elő, miközben a környezetet nem károsítják. A kukoricaszárról – mint sok más mezőgazdasági maradékról – úgy tartják, hogy a selejt minőségű papírgyártás alapanyaga lehet. Azokban az országokban, ahol jelentős a kukoricatermesztés, az aratást követően a kukoricaszárat elégetik.

Az olajfinomítóknál keletkező MEROX<sup>TM</sup> lúg – miután annyira telítődött különféle szerves vegyületekkel, hogy már nem regenerálható – igen veszélyes hulladéknak

számít. Behin és Zeyghami kísérleteket végeztek NaOH-s, illetve MEROX lúgos feltárással is. A MEROX<sup>TM</sup> lúg alkalmazása egyrészt költséghatékonyabb, másrészt környezetkímélőbb lenne.

NaOH oldattal 94,8%-os, míg MEROX<sup>TM</sup> lúggal 97,4%-os tisztaságú  $\alpha$ -cellulózt sikerült előállítaniuk. Ily módon két hulladéknak számító alapanyagból, értékes rostok állíthatók elő. A technológia lehetőséget kínál a papíripar fafelhasználásának csökkentésére is (Behin, J. and Zeyghami, M. (2009)).

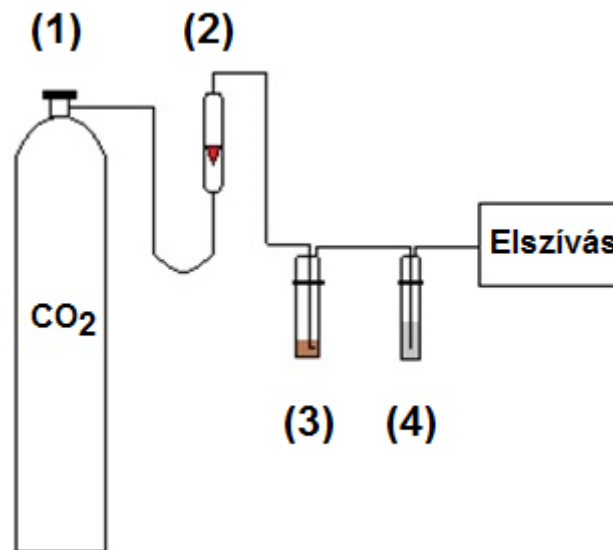
Behin a papír újrahasznosításának egyik lépését – nevezetesen a tinta eltávolítását – a megszokott NaOH oldat helyett MEROX<sup>TM</sup> lúggal végezte el. A kísérlet eredményesnek bizonyult: a MEROX lúg megfelelő kémiai összetételének köszönhetően nagyobb hatékonysággal sikerült a tintanyomokat eltávolítani, mint NaOH oldat használata esetén (Behin, J. (2012)).

## SZÉN-DIOXID VIZSGÁLATA

## ELNYELETÉS

A méréshez használt berendezés rajza a 2. ábrán látható.

### Anyagok és módszerek



2. ábra. Kísérleti berendezés CO<sub>2</sub> elnyeletésére

A mérési berendezés tehát CO<sub>2</sub> (tisztasága: min. 99,5%) gázipalackból (1), rotaméterből (2), MEROX<sup>TM</sup> lúgot tartalmazó gázbuborékolató palackból (3) és NaOH oldatot tartalmazó gázbuborékolató palackból (4) áll.

A kísérletek során először táramérlegben bemértünk 10%-os NaOH oldatból kb. 100 grammot a (4) gázbuborékolató palackba, majd egy másik palackba kb. 25 gramm fáradt MEROX lúgot töltöttünk. Ennél nagyobb mennyiségű MEROX<sup>TM</sup> lúg bemérése esetén a CO<sub>2</sub>-elnyelődés 5–10. percében már olyan mértékű volt a habképződés a MEROX lúgos palackban, hogy a rendszer áthabzott a NaOH oldatba. Kisebb mennyiségű lúg vizsgálata sem volt megvalósítható: ebben az esetben a folyadékszint alacsonyabban volt, mint a szén-dioxidos bevezető cső alja. A mérés kezdetén minden mintának meghatároztuk a pH-ját is SCHOTT CG 841 típusú elektromos pH mérővel, amelyet előzetesen három különböző pH-jú standard oldattal kalibráltunk.

A berendezés összeállítása után beállítottuk a CO<sub>2</sub> gáz térfogatáramát. 1 dm<sup>3</sup>/h, majd 4–5 dm<sup>3</sup>/h CO<sub>2</sub> gáz áramoltatás mellett vizsgáltuk az elnyeletést 30, illetve 60 percen keresztül.

Minden mérést követően közvetlenül vezettünk CO<sub>2</sub> gázt 30 percen keresztül kb. 100 gramm 10%-os NaOH oldatba, úgy, hogy nem volt előtte a rendszerbe kötve a MEROX<sup>TM</sup> lúggal töltött palack. Így meg tudtuk határozni, hogy a NaOH mennyi szén-dioxidot nyelt el: a CO<sub>2</sub> elnyeletés hatására ugyanis nátrium-karbonát (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) és nátrium-hidrogén-karbonát (NaHCO<sub>3</sub>) képződik.

Az elnyelt CO<sub>2</sub> mennyiségét titrálással határoztuk meg. Ehhez fenolftalein indikátort és 10 normális sósav oldatot használtunk, melyet előzőleg kálium-hidrogén-karbonát (KHCO<sub>3</sub>) oldattal faktoroztunk (Szepesváry, P. (1999)). A titrálási görbe megrajzolásához az oldat pH-ját minden egyes 0,1 cm<sup>3</sup> sósav oldat hozzáadása után mértük elektromos pH mérővel.

A szén-dioxid és nátrium-hidroxid reakcióegyenlete:



A titrálás egyenletei:



A faktorozás egyenlete:



A pH változás hatását úgy vizsgáltuk, hogy a meghatározásához a szén-dioxid bevezetés kezdetétől számítva minden 5. percben megállítottuk a kísérletet és megmértük elektromos pH mérővel a MEROX<sup>TM</sup> lúg pH-ját.

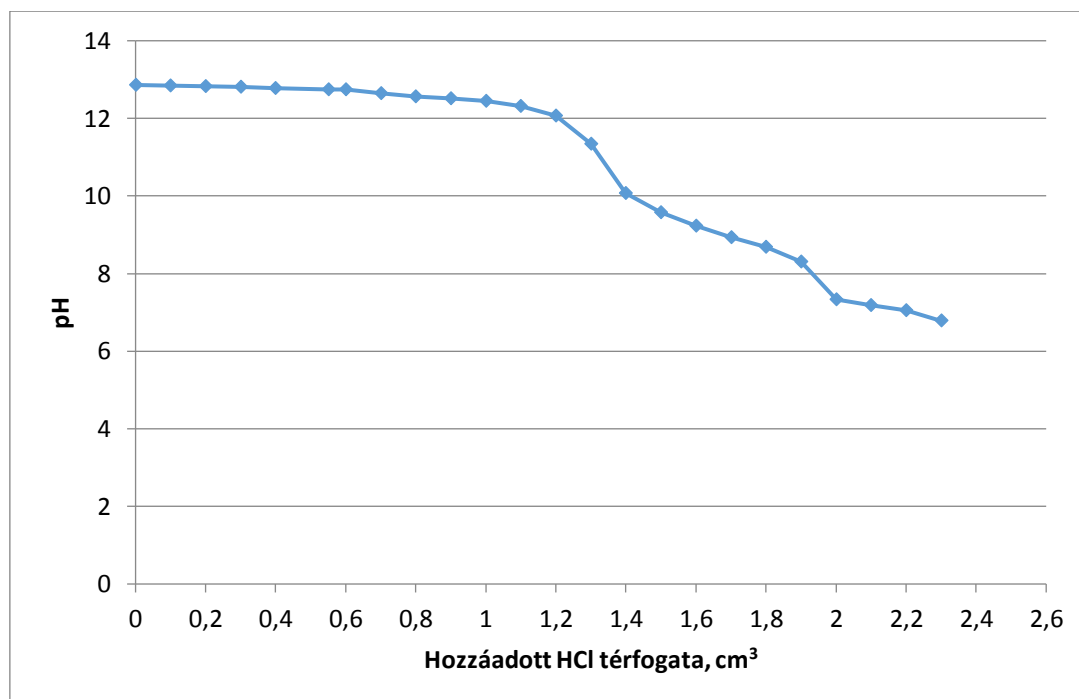
Vizsgáltuk az elnyeletést habzágató hozzáadásával is, úgy, hogy a MEROX<sup>TM</sup> lúggal töltött palackhoz 0,05 g szilikonolajat adtunk. Az iparban vegyi anyagok széles skáláját alkalmazzák habzágató szerként. Ezek közé tartozik a szilikonolaj is, melyet elsősorban vizes rendszerekben fellépő, tenzidek okozta habzás megakadályozására, ill. a képződött hab letörésére használnak, különösen a vegyipar területén, illetve a szennyvíztisztításnál (Denkov, N.D. et al. (2014)).

Megvizsgáltuk a kiindulási és a kezelt minták KOI-ját is az ISO 6060:1991 szabvány szerint.

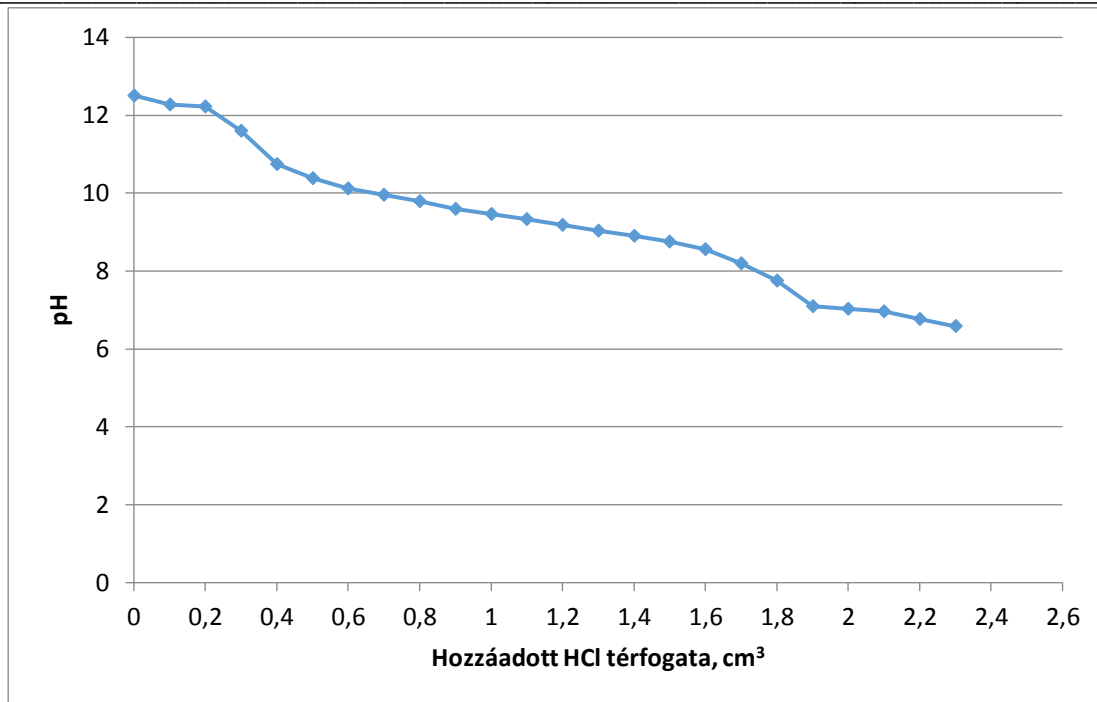
### Eredmények

#### Titrlási görbe meghatározása

A 3. ábrán látható annak a NaOH oldatnak a titrlási görbéje, amely a MEROX<sup>TM</sup> lúg után volt elhelyezve.



3. ábra. MEROX<sup>TM</sup> melletti NaOH titrlási görbéje



**4. ábra.** NaOH titrálási görbéje

A 4. ábrán a NaOH titrálási görbéje szerepel.

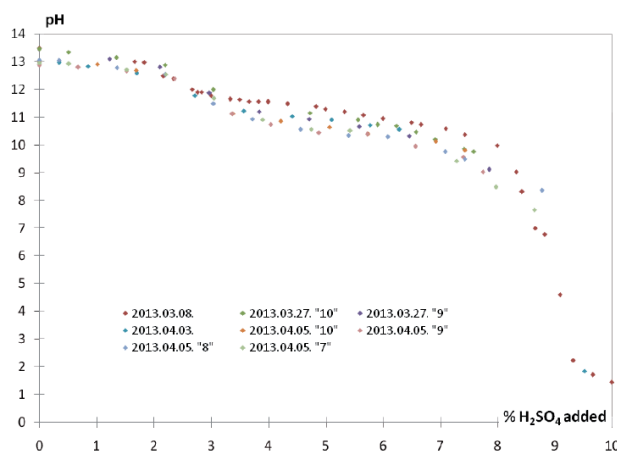
A mérés során a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -ot fenolftalein mellett  $\text{NaHCO}_3$ -ig titráljuk. A diagramokon látható, hogy ehhez a MEROX<sup>TM</sup> lúg mellett lévő NaOH esetében  $1,35 \text{ cm}^3$  sósav oldat kellett, míg az önmagában lévő NaOH esetében ez a mennyiség  $0,35 \text{ cm}^3$  volt. Ezek az értékek a titrálási görbék első inflexiós pontjai. Tehát az első mérés során jóval több – közel négyszer annyi –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  keletkezett, mint a másodikban.

A második inflexiós pont alapján tudjuk meghatározni a  $\text{NaHCO}_3$  mennyiségét. A diagramokról leolvasott térfogatokat átszámoltuk mólokra, majd ezekből az értékekből levontuk a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  móljait, hiszen a sósav oldat fogyásban ez is benne van. Itt megfordul az előbbi felállás: a MEROX<sup>TM</sup> lúg mellett NaOH oldatban jóval kevesebb  $\text{NaHCO}_3$  keletkezett, mint a sima NaOH oldatban.

Összességében elmondható, hogy a 30 perces kísérlet során a NaOH oldat mindkét esetben közel ugyanannyi szén-dioxidot nyelt el. Az önmagában álló NaOH-ban időben egyenletesen nyelődött el a  $\text{CO}_2$  gáz, míg a MEROX<sup>TM</sup> lúg mellett NaOH esetében azt tapasztaltuk, hogy a mérés kezdetén kis mennyiségű gáz jutott NaOH-os palackba, a kísérlet utolsó 10 percében viszont szinte csak a NaOH oldat nyelte el a szén-dioxidot.

Czimer és munkatársai a MEROX<sup>TM</sup> lúg kénsavas titrálását végezték el, ami az 5. ábrán látható (Czimer, B. et al. (2015)). Látható, hogy ennek a lefutása hasonló képet mutat a NaOH-os vizsgálatok során tapasztaltakkal. A minta kezdeti pH értéke 13 körüli volt. A görbének két inflexiós pontja van: az első  $\text{pH}=12,5$ -ös, míg a második  $\text{pH}=5$ -ös értéknél. A kísérlet szempontjából az első pont az érdekes, ugyanis ez az inflexiós pont a titrált oldat kolloid szerkezetében történő változást jelzi. A második inflexiós pont a sav-bázis semlegesítésre utal.



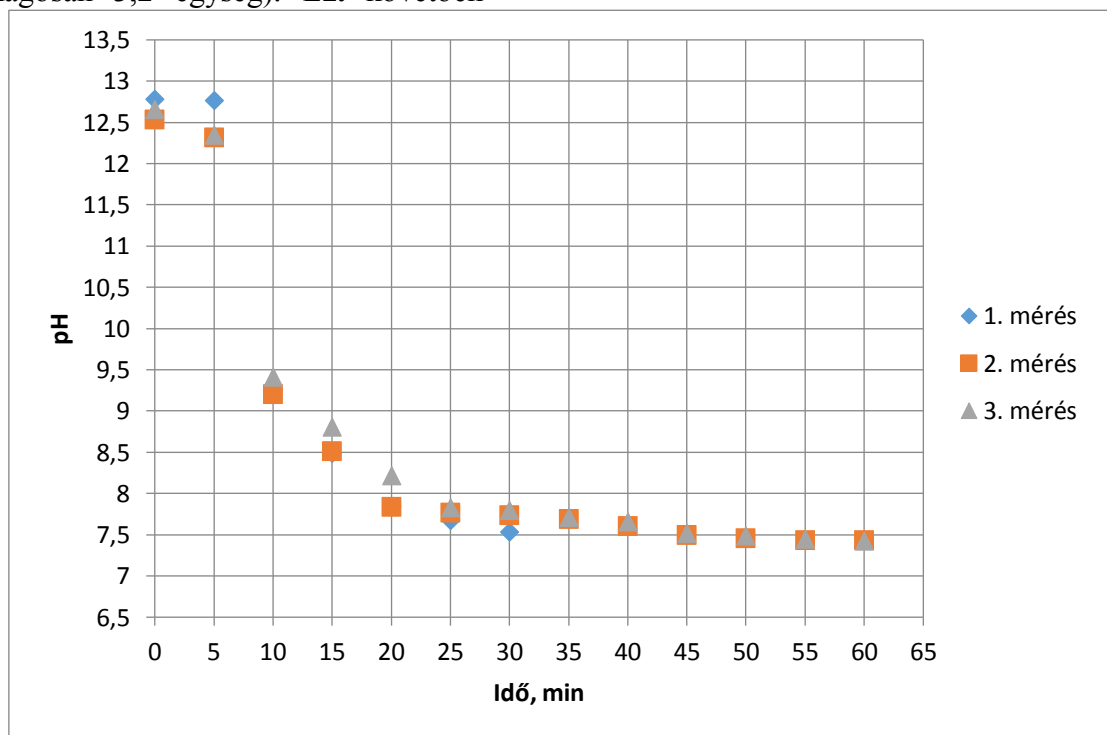


5. ábra. A MEROX lúg titrálási görbéje kénsavval (Czimer, B. et al. (2015))

#### A pH változás meghatározása

Az 5 percenként mért pH adatokból készítettük a 6. ábrát, melyen három párhuzamos mérés eredménye látható. Mindhárom minta esetében az 5. és 10. perc között történt jelentős pH csökkenés (átlagosan 3,2 egység). Ezt követően –

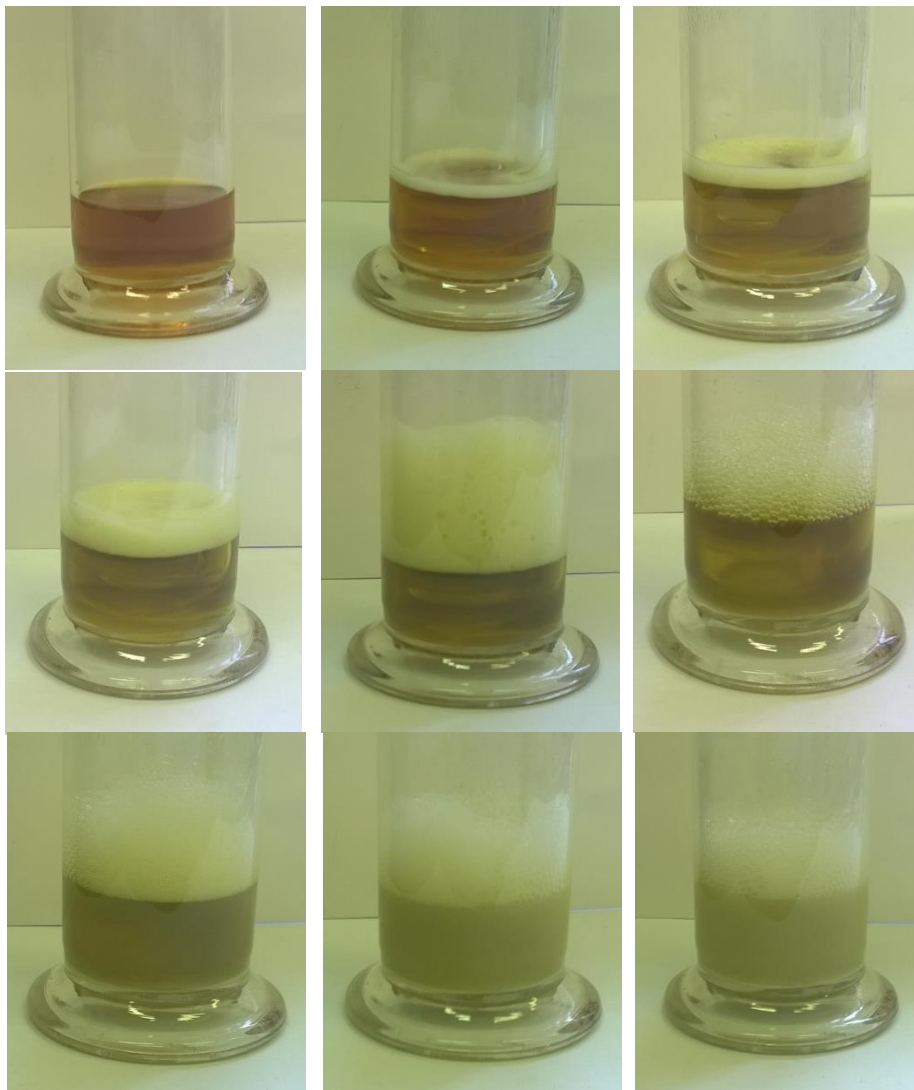
ugyan kisebb mértékben, mint eddig –, de tovább csökkent a pH egészen a 20. percig. Innentől kezdve jelentős változás nem volt megfigyelhető. Hozzávetőlegesen a 45. percre már beállt a végső pH érték, és a további szén-dioxid bevezetés már nem hozott változást.



1. ábra. A pH változása az idő függvényében

Az 5-percenkénti mintavétel során fényképeket készítettünk a MEROX<sup>TM</sup> lúgos palack tartalmáról. A 7. ábrán a képek időrendi sorrendben követik egymást. Látható, hogy a szén-dioxid elnyelést habképződés és színváltozás kíséri. A habképződés oka a nagy szerves anyag

tartalom lehet. A szín változásáért a MEROX<sup>TM</sup> lúgból kiülepedő kén és egyéb vegyületek a felelősek. A szén-dioxid hatására a lúgban Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> és NaHCO<sub>3</sub> is képződik, melyek szilárd formában kiválnak az oldatból.



**2. ábra.** A MEROX<sup>TM</sup> lúg változása a szén-dioxidos elnyelés során

#### *Habzásgátló hatásának vizsgálata*

A MEROX lúghoz hozzáadott kis mennyiségű szilikonolaj jelentősen befolyásolta a minta viselkedését.

Az olaj záróréteget hozott létre a lúg felületén, s ennek köszönhetően a habzás

minimálisra csökkent 1 dm<sup>3</sup>/h térfogatáram esetén. Amennyiben 4–5 dm<sup>3</sup>/h szén-dioxid gázáramot alkalmaztunk, a habzás intenzívebb volt, bár közel sem annyira, mint szilikonolaj hozzáadása nélkül. A MEROX<sup>TM</sup> lúg pH változását két alkalommal mértük meg: a 15. percben 8,2,

míg a 30. percben, azaz a mérés végén 7,3 volt.

A habzásgátló hozzáadása ugyan elősegítette a nagyobb mennyiségű szén-dioxid elnyeletést, de az elérhető legkisebb pH értéket nem módosította számottevően. Valószínűleg a MEROX™ lúg már nem volt képes több CO<sub>2</sub>-ot elnyelni, telítődött, s ezért nem változott jelentősen a pH sem.

#### *A kémiai oxigénigény meghatározása*

A kiindulási MEROX™ lúg KOI értéke 79 000 mgO<sub>2</sub>/L, a kezelt mintáé pedig átlagban 72 000 mgO<sub>2</sub>/L volt. Megállapítható, hogy a kémiai oxigénigény ugyan csökkent, de csak kis mértékben. A konverzió 9%-os, ami elsősorban a Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> kiválásának tulajdonítható. Tehát elmondható, hogy CO<sub>2</sub> elnyeletés önmagában nem csökkenti a MEROX™ lúg kémiai oxigénigényét, csupán a keletkező Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> okozza a változást.

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

Közleményünkben kőolajfinomítóból származó MEROX™ lúgokat vizsgáltunk, ezen belül is a szén-dioxid elnyeletés okozta változásokat figyeltük meg. A szakirodalmi összefoglaló után bemutattuk a laboratóriumi kísérleteket.

Megállapítottuk, hogy a szén-dioxid elnyeletés során szignifikánsan csökkent a MEROX™ lúg pH-ja. A kezdeti pH érték 13 körüli volt; ezt sikerült lecsökkenteni semleges körüli értékre. A pH változás vizsgálata során megfigyeltük, hogy az 5. és 10. perc között történik a legjelentősebb pH változás (12,6-os pH-ról 9,5-re). Ezt követően tovább csökkent a pH, bár jóval kisebb léptékben. A 20. perctől kezdve nagyon kismértékű csökkenés tapasztalható, ezért ennél tovább nem volt érdemes működtetni a rendszert.

A habzásgátló hozzáadásával sikerült megvalósítani a kísérletet nagyobb térfogatáramú szén-dioxid bevezetéssel is. Azt tapasztaltuk, hogy a nagyobb térfogatáram hatására nem csökken jóval jelentősebben a pH, illetve adott pH elérése sem történik meg hamarabb. Így a szilikonolaj, mint habzásgátló hozzáadása csak a költségeket növeli, a pH-csökkentés szempontjából nem hoz hasznot.

A kísérletekből az is kiderült, hogy a szén-dioxid elnyeletés nem csökkenti a MEROX™ lúg kémiai oxigénigényét. Ezzel szemben megállapítható, hogy nagy mennyiségű szén-dioxidot lehet elnyeletni a lúgban, gátat csak a túlzott habzás jelentheti.

Az elvégzett kísérletek további mérések alapjául szolgálhatnak. Érdemes lenne továbbá azt is vizsgálni, hogy milyen változások mennek végbe, milyen vegyületek válnak ki, miközben a pH csökken, illetve a minták BOI-értékét is követni.

### **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

A publikáció a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és az 112699-es számú OTKA pályázat támogatásával készült. A kutatómunka az Európai Unió és a magyar állam támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával, a GINOP-2.3.4-15-2016-00004 projekt keretében valósult meg, a felsőoktatás és az ipar együttműködésének elősegítése céljából.

**Kulcsszavak:** finomítói hulladék, MEROX lúg, szén-dioxid elnyeletés, pH semlegesítés

**Keywords:** refinery waste, MEROX caustic waste, carbon-dioxide dissolution, pH neutralisation

## RÖVIDÍTÉSEK

BOI	Biológiai oxigénigény
CO <sub>2</sub>	Szén-dioxid
CWAO	Katalitikus nedves levegős oxidáció
HCl	Sósav
KHCO <sub>3</sub>	Kálium-hidrogén-karbonát
KOI	Kémiai oxigénigény
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Nátrium-karbonát
NaHCO <sub>3</sub>	Nátrium-hidrogén-karbonát
NaOH	Nátrium-hidroxid
SO <sub>2</sub>	Kén-dioxid
TiO <sub>2</sub>	Titán-dioxid
WAO	Nedves levegős oxidáció

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Basu, B., Satapathy, S. and Bhatnagar, A.K. (1993). Merox and Related Metal Phthalocyanine Catalyzed Oxidation Processes. *Catalysis Reviews: Science and Engineering*, 35(4), pp. 571–609.
- Behin, J. (2012). Deinking in bubble column and airlift reactors: Influence of wastewater of Merox unit as pulping liquor. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(8), pp. 1045–1051.
- Behin, J. and Zeyghami, M. (2009). Dissolving pulp from corn stalk residue and waste water of Merox unit. *Chemical Engineering Journal*, 152(1), pp. 26–35.
- BME-KKFT (2017a) *Laborfeladat előirat szennyvízminiták nedves levegős oxidációjához*. Budapest: BME.
- BME-KKFT (2017b). *Segédanyag nedves levegős oxidációs gyakorlathoz*. Budapest: BME.
- Czimer, B., Kovács, A. and Petró, J. (2015). Treatment of Spent Merox Caustic Waste in Industrial Ecology Frames. *Periodica Polytechnica: Chemical Engineering*, 59(3), pp. 215–220.
- de Graaff, M., Bijmans, M.F.M., Abbas, B., Euverink, G.-J.W., Muyzer, G. and Janssen, A.J.H. (2011). Biological treatment of refinery spent caustics under halo-alkaline conditions. *Bioresource Technology*, 102(15), pp. 7257–7264.
- Denkov, N.D., Marinova, K.G. and Tcholakova, S.S. (2014). Mechanistic understanding of the modes of action of foam control agents. *Advances in Colloid and Interface Science*, 206 (Supplement C), pp. 57–67.
- Ellis, C.E. (1998). Wet air oxidation of refinery spent caustic. *Environmental Progress* 17(1), pp. 28–30.
- G.I.C. Kft. (2005). *Vízalatti plazmaberendezés veszélyes anyagok ártalmatlanítására*. Available at: <http://inventor.hu/eko/jury/palyaz/schremmer.pdf> [Accessed 1 Nov.. 2017].
- G.I.C. Kft. (2007). *Víz alatti plazma technológia oldott szerves szennyezőket tartalmazó ipari szennyvizek tisztítására*. Available at: <http://www.gic.co.hu/kepek/letoltesek/1udwig-magyar-2old-v01.pdf> [Accessed 1 Nov.. 2017].
- Hórvölgyi, Z. (2011). *A nanotechnológia kolloidkémiai alapjai*. Budapest: Typotex Kiadó.
- Isaák, G., Kovács, I. and Petró, J. (2002). Nagy szulfid- és merkaptántartalmú finomítói szennyvizek ártalmatlanítása. *Magyar Kémikusok Lapja*, 57(3), pp. 93–96.
- Sayid Abdulah, S.H.Y., Abu Hassan, M.A., Zainon Noor, Z. and Aris, A. (2011). Optimization of photo-Fenton oxidation of sulfidic spent caustic by using response surface methodology. In: *National Postgraduate Conference*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Széchy, G. (2003). *Bevezetés a kőolajfeldolgozás technológiájába*. Budapest: Trainex Kiadó.
- Szepesváry, P. (1999). *Analitikai kémiai laboratóriumi gyakorlatok I. (Titrimetriás és gravimetriás módszerek)*. Budapest: Műegyetemi Kiadó.

## Az IChemE Global Awards 2017 díjazott pályamunkái

2017. november 2-án tartották Birmingham-ben az Institution of Chemical Engineers világszervezet díjátadó gáláját, az IChemE Global Awards-ot. Tizenöt különböző kategóriában hirdettek pályázatot 2017 tavaszán és a Hilton Metropole Hotelben tartott döntőre kategóriánként a nyolc legjobbnak ítéltet hívták meg.

A közép-kelet-európai régióból csupán egy magyar pályázó volt jelen a rendezvényen. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)

Környezeti és Folyamatmérnöki Kutatócsoportja a Miskolci Egyetemmel (ME) és az Egis Gyógyszergyárral karöltve közös munkával jelentkezett. A „**Novel method for the physicochemical treatment of process wastewaters to enhance sustainability in the spirit of circular economy**” című pályázatukat a „Water” kategóriában kiemelték és döntős pozícióba került. Az IChemE Global Awards 2017 és a Water kategória logóit az 1. ábra mutatja. Az IChemE Global Award makettje és kategóriái a 2-3. ábrákon láthatóak.



1. ábra. IChemE Global Awards 2017 és Water category logók



2. ábra. Az IChemE Global Award makettje



3. ábra. Az IChemE Global Awards 2017 kategóriái

Az egyes kategóriák kiemelt pályázói, a legjobb 3 helyezettek alább olvashatóak, kiemelve a vizes kategóriát (zárójelben a szponzorok).

### **I. Award for Outstanding Achievement in Chemical and Process Engineering** (ExxonMobil)

Győztes: Desolenator, UK - *Desolenator: Advanced Portable Solar Distillation Technology*

### **II. Biotechnology Award** (PM Group)

1. University of Bath, UK - *Vaccines Without Refrigeration*
2. (Highly commended) University of Birmingham, UK - *Anti-Scarring Eye Drops*
3. (Highly commended) uFraction8, UK - *Scalable, Low Cost Bioreactor Dewatering*

### **III. Energy Award** (Rolls-Royce)

1. United Utilities, Jacobs and Laing O'Rourke, UK - *Going Beyond Energy Neutrality*
2. (Highly commended) GENeco, UK - *Building an Innovative Renewable Energy Ecosystem*
3. (Highly commended) Liquefied Natural Gas, Magnolia LNG, Bear Head LNG Corporation, USA - *OSMR® Mid-Scale LNG Liquefaction Process*

### **IV. Food and Drink Award 2017** (Food and Drink Special Interest Group)

1. GSK Consumer Healthcare, UK - *Horlicks Manufacturing Step-Change Technology*
2. (Highly commended) The Dow Chemical Company, USA - *DOWEX MONOSPHERE 99/220 Ion Exchange Resin*

3. (Highly commended) University of Edinburgh, School of Engineering (IMP) and Heidi Beers, UK - *Multi-Objective Optimisation of Industrial Beer Fermentation*

### **V. Industry Project Award 2017** (Sellafield)

1. AstraZeneca, UK - *Zoladex SPP5 Aseptic Manufacturing Facility*
2. (Highly commended) Malaysia LNG, Malaysia - *Increase LNG Production Without Spending More*
3. (Highly commended) Sellafield Ltd and James Fisher Nuclear, UK - *The Cutting Edge*

### **VI. Innovative Product Award 2017** (Astra Zeneca)

1. Ceres Power, UK - *The Ceres Power SteelCell*
2. (Highly commended) Aqua Metals, USA - *Revolutionising Lead-Acid Battery Recycling*
3. (Highly commended) Activated Research Company, USA - *Universal Carbon Detection with the Polyarc Reactor*

### **VII. Oil and Gas Award 2017** (Jacobs)

1. Johnson Matthey and BP Group Technology, UK - *Novel Reactor and Catalyst for Fischer-Tropsch*
2. (Highly commended) Liquefied Natural Gas, Magnolia LNG and Bear Head LNG Corporation, USA - *OSMR® Mid-Scale LNG Liquefaction Process*
3. (Highly commended) Green Lizard Technologies, UK, Dixie Chemical, USA and Felda Global Ventures, Malaysia - *Glycidol Production Using Thin Film Evaporation*

### **VIII. Process Safety Award** (ABB Consulting)

1. Ministry of Manpower, National Environment Agency (NEA) and Singapore Civil Defence Force (SCDF), Singapore - *Implementing the WSH (MHI) Regulations*
2. (Highly commended) Jacobs, UK - *Sellafield FGMSP Retrievals Project*
3. (Highly commended) DBD, UK - *Sellafield Site Resilience Project*

### **IX. Research Project Award 2017** (Aston University)

1. Johnson Matthey and BP Group Technology, UK - *Novel Reactor and Catalyst for Fischer-Tropsch*
2. (Highly commended) PETRONAS Research and Dalian Institute of Chemical Physics (DICP), Malaysia - *Membrane Contactor for Acid Gas Removal*
3. (Highly commended) University of Bath, UK - *Vaccines Without Refrigeration*

### **X. Sustainability Award** (Costain)

1. GENeco, UK - *Building an Innovative Renewable Energy Ecosystem*
2. (Highly commended) GSK Consumer Healthcare, UK - *Horlicks Manufacturing Step-Change Technology*
3. (Highly commended) United Utilities, Jacobs and Laing O'Rourke, UK - *Going Beyond Energy Neutrality*

### **XI. Team Award 2017** (The Chemical Engineer)

1. Centre for Process Innovation, UK, Calysta, USA and Otto Simon Ltd, UK - *From Pipe Dream to Pilot Plant*
2. (Highly commended) University of Nottingham, Faculty of Engineering and Teledyne-e2v, UK, and Jenike & Johanson,

USA - *Towards Large Scale Microwave Pre-Treatment of Ores*

3. (Highly commended) ABB, Genesis and Industry Technology Facilitator, UK - *Collaboration, Sharing Information to Reduce Cost for Decommissioning*

### **XII. Training and Development Award 2017** (Bouygues)

1. Imperial College London, Department of Chemical Engineering, UK - *Imperial College Carbon Capture Pilot Plant*
2. (Highly commended) Energus, UK - *Nuclear Graduates Development Programme*
3. (Highly commended) IBioIC, UK - *Upskilling The Next Generation*

### **XIII. Water Award 2017** (GHD)

1. Desolenator, UK - *Desolenator: Advanced Portable Solar Distillation Technology*

Angol összefoglaló: There are currently 1.2 billion people experiencing water stress around the globe, and the United Nations predicts this number will rise to 4 billion by 2030. Desolenator has patented a technology that uses solar power to purify salt water, brackish, or contaminated water into clean drinking water - at the affordable cost of \$0.01/litre. The technology is being built into three different sized models (portable, household and community-sized), to be used in both developing and developed markets.

**2. (Highly commended) University of Miskolc, Budapest University of Technology and Economics and EGIS Pharmaceutical, Hungary - Sustainable Method for Process Wastewater Treatment**

Angol összefoglaló: In the process industries, special wastewaters arises that contain significant amounts of organic

compounds – among them organic halides. These compounds are a significant burden on the environment and only physicochemical methods can be considered for treatment. Researchers at the University of Miskolc and Budapest University of Technology and Economics apply steam to strip out pollutants, so the process wastewaters can be cleaned until the discharge limit. Using this method, the polluting materials can be also utilised as solvent. A target-orientated rectification column was designed based on modelling and experiments. Industrial case studies prove that this method can successfully contribute to the circular economy.

3. (Highly commended) Affinity Water, Anatune and JR Pridham, UK - *Automated Metaldehyde Treatment Process*

Angol összefoglaló: As online, automated Gas Chromatographer Mass Spectrometry (GCMS) metaldehyde monitor has been fully integrated into Affinity Water treatment works and telemetry. The system automatically samples three inlet sources and provides results within 36 minutes. Since September 2016, data is comparable to its UK Accreditation Service accredited laboratory performance. This has never been implemented in the UK before and is a game-changer for the water industry. The technology enables rapid response to inlet metaldehyde concentrations and provides more proactive management of the risk to

water quality. In the future, live water quality data will provide more accurate treatment capability and ensure compliance is maintained.

#### **XIV. Young Industrialist Award (GSK)**

1. Balaji Sridhar – *Nanoly Bioscience, USA*
2. (Highly commended) Blair Scott - *DBD Limited, UK*
3. (Highly commended) Jan Hendri Barnard – *Sasol South Africa, South Africa*

#### **XV. Young Researcher Award (BP)**

1. Clementine Chambon – *Imperial College London*
2. (Highly commended) Ong Wee Jun - *Institute of Materials Research and Engineering (IMRE), Agency for Science, Technology and Research (A\*STAR), Singapore*
3. (Highly commended) Robert Hoye – *University of Cambridge, UK*

Összefoglalva és kiemelve, a BME, ME és EGISs közös „*Novel method for the physicochemical treatment of process wastewaters to enhance sustainability in the spirit of circular economy*” című pályamunkája a 2017-es IChemE Global Awards-on a 2. helyet szerezte meg.

*Tóth, András József*