

TERMELJÜNK EGYÜTT A TERMÉSZETTEL

- AZ AGRÁRERDÉSZET MINT ÚJ KITÖRÉSI LEHETŐSÉG

Kővári Attila–Kiss Endre–Németh István Péter (Szerk.)

I. KÖTET

KOROKNAI LÁSZLÓ

A hibák felismerése megmunkált furatok palásiján
kamera és tükrök segítségével

ALKENAAN MOHAMAD – MIRKOWSKI RADOSŁAW

Investigation of the possibility to recover scandium
from red mud using EAF technology

AMANUEL MEKONNEN – ELIAS ATTALAH – KISS ENDRE

Gas separator

STANIĆ MOLČER PIROSKA – KOVÁCS-BOKOR ÉVA

Környezeti tényezők predikciós modelljének
fejlesztése gépi tanulásos módszerekkel

MÁTÉ MÁRTON – KŐVÁRI ATTILA

A statisztikai mechanika elveinek és módszereinek
alkalmazása a gépészeti modellalkotásban

PÁSZTOR JUDIT – KISS ENDRE

A biómassza energetikai hasznosítási lehetőségei

KOROKNAI LÁSZLÓ

Ózonkoncentráció-mérés – Bevezető: az ózon

KOVÁCS-BOKOR ÉVA – DOMOKOS ENDRE – KISS ENDRE

Újabb növényi kísérletek ipari iszapokkal

KŐVÁRI ATTILA

Nehézfémek forrásai és felhalmozódása

ENDRE KISS – ÉVA KOVÁCS-BOKOR

Surface contamination control of plant surfaces
by supersonic jet



Dunakavics
KÖNYVEK 18.

DUE PRESS

A könyv megjelenését az EFOP-3.6.2-
16-2017-00018 „Termeljünk együtt a
természettel – az agrárerdészet mint
új kitörési lehetőség” című projektje
támogatta

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Kővári Attila–Kiss Endre–Németh István Péter (Szerk.)

TERMELJÜNK

EGYÜTT A TERMÉSZETTEL

– AZ AGRÁRERDÉSZET MINT ÚJ KITÖRÉSI LEHETŐSÉG

I. KÖTET

© Kővári Attila–Kiss Endre–Németh István Péter editors 2020

© Alkenaan Mohamad, Amanuel Mekonnen, Domokos Endre, Elias Attalah,
Kiss Endre, Koroknai László, Kovács-Bokor Éva, Kővári Attila, Máté Márton,
Mirkowski Radosław, Pásztor Judit, Stanić Molcer Piroška, 2020

Lektorálta: Dr. Kiss Endre, Dr. Kővári Attila, Kovács-Bokor Éva

A könyv megjelenését az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel
– az agrárerdészet, mint új kitörési lehetőség” című projekt támogatta.

D=U=E PRESS

DUNAÚJVÁROSI EGYETEM
www.uniduna.hu

Kiadóvezető Németh István

Felelős kiadó Dr. habil András István
Felelős szerkesztő Nemeskéry Artúr

Tördelés Duma Attila
Készült a HTSART nyomdában
Felelős vezető Halász Iván

ISBN 978-615-6142-06-1ő
ISBN 978-615-6142-07-8

TERMELJÜNK EGYÜTT A TERMÉSZETTEL

– AZ AGRÁRERDÉSZET MINT ÚJ KITÖRÉSI LEHETŐSÉG

Kővári Attila – Kiss Endre – Németh István Péter (Szerk.)

I. KÖTET

KOROKNAI LÁSZLÓ

A hibák felismerése megmunkált furatok palástján
kamera és tükrök segítségével

ALKÉNAN MOHAMAD – MIKOWSKI Radosław

Investigation of the possibility to recover scandium
from red mud using EAF technology

AMANUEL MEKONNEN – ELIAS ATTALAH – KISS ENDRE

Gas separator

STANIĆ MOLČER PIROSKA – KOVÁCS-BOKOR ÉVA

Környezeti tényezők predikciós modelljének
fejlesztése gépi-tanulási módszerekkel

MÁTÉ MÁRTON – KŐVÁRI ATTILA

A statisztikai mechanika élyefnek és módszereinek
alkalmazása a gépészeti modellalkotásban

PÁSZTOR JUDIT – KISS ENDRE

A biomassza energetikai hasznosítási lehetőségei

KOROKNAI LÁSZLÓ

Ózonkoncentráció-mérés – Bevezető: az ózon

KOVÁCS-BOKOR ÉVA – DOMOKOS ENDRE – KISS ENDRE

Újabb növényi-kísérletek ipari iszapokkal

KŐVÁRI ATTILA

Nehézfémek forrásai és felhalmozódása

ENDRE KISS – ÉVA KOVÁCS-BOKOR

Surface contamination control of plant surfaces
by supersonic jet



Dunaújváros
KÖNYVTÁR 18

DUE PRESS

A könyv megjelenését az EFOP-3.6.2-
16-2017-00018 „Termeljünk együtt a
természettel – az agrárerdészeti mint
új kiterjesztési lehetőség” című projektje
támogatta

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Tartalom

Auditori salutem!	7
<u>KOROKNAILÁSZLÓ</u> A hibák felismerése megmunkált furatok palástján kamera és tükör segítségével <i>1. rész</i>	9
<u>ALKENAAN MOHAMAD-MIRKOWSKI RADOSŁAW-KISS ENDRE</u> Investigation of the possibility to recover scandium from red mud using EAF technology <i>Part 1</i> Introduction	17
<u>ALKENAAN MOHAMAD-MIRKOWSKI RADOSŁAW-KISS ENDRE</u> Investigation of the possibility to recover scandium from red mud using EAF technology <i>Part 2</i> Properties of scandium	23
<u>AMANUEL MEKONNEN-ELIAS ATTALAH-KISS ENDRE</u> Gas separator <i>Part 1</i> Introduction	29
<u>AMANUEL MEKONNEN-ELIAS ATTALAH-KISS ENDRE</u> Gas separator <i>Part 2</i> Electrostatic Separation	35
<u>AMANUEL MEKONNEN-ELIAS ATTALAH-KISS ENDRE</u> Gas separator <i>Part 3</i> Literature review of biogas	39
<u>STANIĆ MOLČER PIROSKA-KOVÁCS-BOKOR ÉVA</u> Környezeti tényezők predikciós modelljének fejlesztése gépi tanulós módszerekkel	49
<u>MÁTÉ MÁRTON-KÖVÁRI ATTILA</u> A statisztikai mechanika elveinek és módszereinek alkalmazása a gépészeti modellalkotásban	55

PÁSZTOR JUDIT-KISS ENDRE

A biomassza energetikai hasznosítási lehetőségei

63

KOROKNAI LÁSZLÓ

Ózonkoncentráció-mérés 1 . rész – Bevezető: az ózon

69

KOVÁCS-BOKOR ÉVA-DOMOKOS ENDRE-KISS ENDRE

Újabb növényi kísérletek ipari iszapokkal

79

KÓVÁRI ATTILA

Nehézfémek forrásai és felhalmozódása

93

ENDRE KISS-ÉVA KOVÁCS-BOKOR

Surface contamination control of plant surfaces by supersonic jet

97

Auditori salutem!

Jelen kiadvány az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „TERMELJÜNK EGYÜTT A TERMÉSZETTEL – AZ AGRÁRERDÉSZET MINT ÚJ KITÖRÉSI LEHETŐSÉG” projekt egyes eredményeit foglalja össze. A projekt célja az agrárerdészeti rendszerek hazai adaptációjának segítése. A projekt további célkitűzése a partnerek közötti hálózat építése, a kapacitásokat szerszervezve kutatói csapatok által a nemzetközi kutatói vérkeringésbe történő bekapcsolódás. A Dunaújvárosi Egyetem Műszaki Intézete, azon belül a Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék a műszaki és környezettudomány területén végez kutatási tevékenységet. A projekt témája lehetőséget biztosít az egyes intézményekben meglévő kutatási potenciálok szinergiájára.

A kutatási tevékenység során olyan komplex ismeretek birtokába jutunk, amelyek hozzájárulnak a fenntartható mezőgazdálkodás megalapozásához, a jövő nemzedékek számára is elfogadható agrártermelési formák kialakításához, a fogalmak tisztázáshoz. A hasonló tématerületen végzett kutatási tevékenységek viszont egymást kiegészítve hozzájárulnak egy komplex terület teljes, átfogó elemzéséhez. A kialakuló kutatói szervezet mind méretében, mind a kutatói tevékenység nagyságában eléri azt a kritikus tömeget, amely lehetővé teszi a nemzetközi kutatói hálózatba történő bekapcsolódást. A projekt által kijelölt probléma vizsgálata és ezáltal a célkitűzései hazánkban teljesen újszerűek és hiánypótlónak tekinthetők.

A Dunaújvárosi Egyetem Műszaki Intézetének Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszéke több kutatási téma tekintetében is részt vesz a projektben, melynek egyes eredményei megjelennek a projekttel összefüggő tanulmányok között is.

Vivat Academia!

(A Szerkesztők)

A hibák felismerése megmunkált furatok palástján kamera és tükör segítségével 1. rész

Jellegzetes hibák, vizsgálati módszerek

Összefoglalás: Az autóiparban nagy szerepet kapott az alumíniumöntvények használata. A jelenleg gyártott és formázott öntvények csaknem 90%-át az alumínium teszi ki, melyek elterjedése a jó fizikai és öntési tulajdonságok megfelelő kombinációjának köszönhető.

Az öntvények minőségének egyik legfontosabb jellemzője az öntvény porózussága. A porozitás-vizsgálat során a legnagyobb kihívást a megmunkált furatok vizsgálata jelenti. Erre az esetre egy olyan berendezés megtervezése a cél, melynek segítségével – tükrök és kamera használatával – különböző átmérőjű furatok palástját lehet megvizsgálni és kiszűrni a hibás darabokat, így csökkentve a szubjektív döntéshozatalokat.

Kulcsszavak: Alumíniumöntvény; porózusság; furatok hibadetektálása.

Abstract: The use of aluminum castings has played a major role in the automotive industry. Almost 90% of the castings currently produced and formed are aluminum, the spread of which is due to the right combination of good physical and casting properties. One of the most important characteristics of casting quality is the porosity of the casting. The biggest challenge in porosity testing is the examination of machined holes. In this case, the goal is to design a device that allows mirrors and cameras to be used to inspect the mantle of holes of different diameters and filter out defective pieces, thus reducing subjective decision-making. This article summarizes the typical defects and test methods for machined holes.

Keywords: Aluminum cast; porosity; defect detection of holes.

** Dunaiújvárosi Egyetem, Műszaki
Intézet, Természettudományi és
Környezetvédelmi Tanszék
E-mail: koroknail@uniduna.hu*

Bevezetés

Az autóiparban nagy szerepet kapott az alumíniumöntvények használata. A jelenleg gyártott és formázott öntvények nagyrészt az alumínium teszi ki, melyek elterjedése a jó fizikai és öntési tulajdonságok megfelelő kombinációjának köszönhető. Az ipar minőségi elvárásai komoly követelményeket támasztanak minden alkatrészszel szemben, így az alumíniumöntvényekkel szemben is. Ezen követelményeknek történő megfelelés a folyamatosan felmerülő új problémák hatékony megoldását igényli.

Az öntvények minőségének egyik legfontosabb jellemzője az öntvény porózussága. A porózusság az öntvény alkalmazásától függően nemcsak korlátozhatja, akár ki is zárhatja a felhasználhatóságot, ezért nagyon fontos – még a gyártás korai stádiumában – a porozitás mértékének megállapítása. Az öntvényekben előforduló porozitással alapvetően az a probléma, hogy a pórusok a különböző forgácsoló megmunkálások során a felszínre kerülnek, s lunkereket, felületi egyenetlenségeket, illetve nagyméretű anyagihiányokat okozhatnak. A tömítetlenség szivárgáshoz, nyomáscsökkenéshez vezet, míg a felületi egyenetlenségek a csúszó alkatrészek intenzív elhasználódását eredményezik, csökkentve azok élettartamát. Az alumíniumöntvények porozitása általánosan előforduló hiba: porozitás-szegény öntvények előállítása még napjainkban is komoly kihívást jelent az ipar számára.

Dolgozatomban a gyártás során a furatokban felszínre kerülő hibák felismerésére szolgáló megoldást vázolom, és ismertetem a teszteredményeket.

Megmunkált furatok vizsgálata

JELLEGZETES HIBÁK

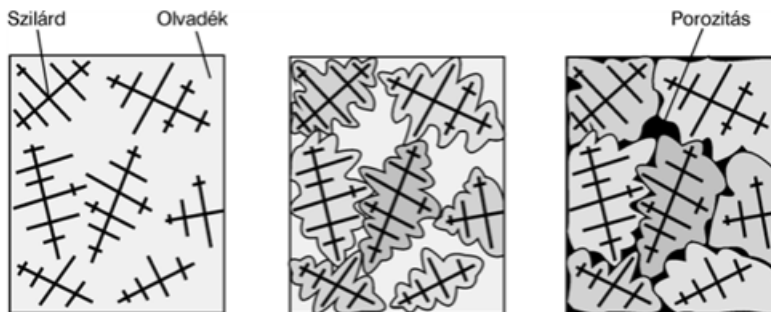
Porozitás

Az anyagvizsgálat során megkülönböztettünk porozitást és lunkert. Látványra e két hiba egyformának tűnik, de mégis különbözőek.

Nagyon lassú hűtésekor, vastag falú homokformába öntve a fémolvadékot az egész keresztmetszet azonos hőmérsékletű lesz. Ennek következtében az öntvény teljes térfogatában nagyjából egyszerre kezdődik meg a kristályosodás, és azonos ütemben folytatódik. A fémötvözetek rendszerint dendritesen kristályosodnak, s a keletkező kristályok nagyon hamar átszövik az öntvény egész keresztmetszetét. Szilárd vázat képeznek már akkor is, amikor az öntvény nagyjából még folyékony. A fajtérfogat csökkenése közben ez a folyékony rész kristályosodik rá a dendritekre. Tekintve, hogy a kristályosodás a dendritek közötti

térfogatrészben fejeződk be, a kisméretű fogyási üregek is itt keletkeznek. Ezeket az apró fogyási üregeket pórusoknak vagy porozitásnak nevezzük. Az ily módon megszilárdult öntvény porozitásának összes térfogata megegyezik az öntvény teljes tömegének fogyásával. [1]

1. ábra. A porozitás kialakulása [2]



Lunker

A porozitással ellentétben a lunker erős hűtőhatású, hideg fémformában a kristályosodás a forma fala mellett egy vékony kéreg képződésével indul meg. A kéreg kristályosodása csökkenti a fémtömeg térfogatát, ennek folytán a folyékony fém szintje kissé süllyed. Erre a kéregre kristályosodik a következő réteg, ami az olvadákszint további süllyedését okozza. A folyamat végeredményeként az öntvényben kúp alakú összefüggő fogyási üreg, azaz lunker képződik. [2]

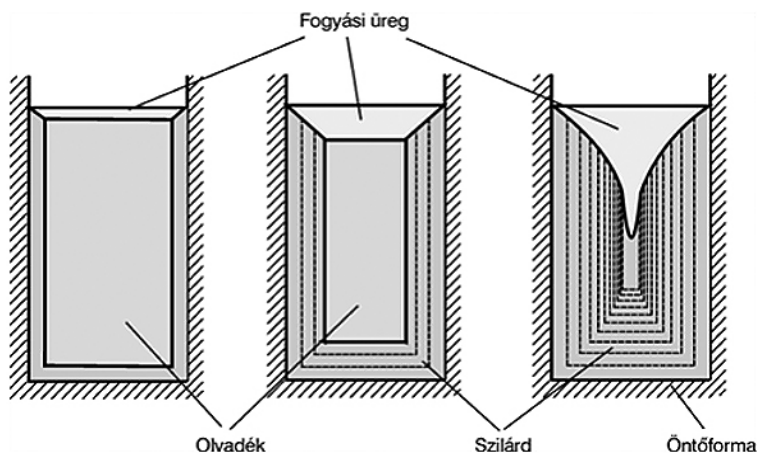
[1] Csomai István A. S. (2003): Porozitási hibák ellenőrzése képfeldolgozással. *Magyar elektronika: professzionális elektrotechnikai és automatizálási szakfolyóirat*. Pp. 36–37.

[2] Markovits Tamás (2018): *Korszerű lézersugaras technológiák*. Budapest: Akadémia.

[3] Tóth László (1999): *Roncsolásmentes vizsgálatok, azok megbízhatósága és következményei*. Miskolc: Miskolci Egyetem.

[4] Markovits Tamás (2018): *Korszerű lézersugaras technológiák*. Budapest: Akadémia.

2. ábra. A lunker kialakulása [4]



VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

CT-vizsgálat

A komputertomográfia (CT) egy olyan vizsgálati módszer, amellyel összetett külső és belső geometriák ellenőrizhetők nagy pontossággal, gyorsan és roncsolásmentesen. Az ipari CT berendezés az egyedüli méréseszköz, amellyel olyan térfogat-információ szerezhető a vizsgált alkatrészről, amely nemcsak a külső burkolófelület topológiáját határozza meg nagy pontossággal, hanem adatot szolgáltat a belső struktúráról, inhomogenitásról is.

E technológia a röntgenvizsgálat továbbfejlesztése, amely működésének alapja, hogy egy légritkított üvegcsőbe két elektróda kerül elhelyezésre (anód, katód), melyekre nagyfeszültségű egyenáramot kapcsolnak. Az alacsony nyomású térben a fűtőfeszültség hatására az izzó katódból elektronok lépnek ki, melyek a csőfeszültség hatására felgyorsulnak és nagy sebességgel az anódnak ütköznek. A becsapódó elektronok mozgási energiájának nagy százaléka hővé alakul, a megmaradó részből röntgensugárzás keletkezik. [3] [4]

Szemrevételezési vizsgálat

Ezen vizsgálat a felületi hibák kimutatására alkalmas legegyszerűbb vizsgálati módszer. A szemrevételezéses vizsgálatot általában valamely más vizsgálat kiegészítőjeként szokták alkalmazni, hiszen az emberi szem felbontóképessége és érzékenysége nagymértékben különbözik az egyéb vizsgálati módszerektől, és a gépi, automatikus észlelésekkel összevetve meglehetősen nagy a szubjektív hatás. Ennek ellenére azt mondhatjuk, hogy a két különböző típusú vizsgálat jól kiegészíti egymást. [5]

1. táblázat. Az emberi szem és a kamera közötti különbség

Jellemző paraméter	Gépi észlelés	Emberi észlelés
Távolság	Korlátolt képesség	Jó minőségű észlelés
Orientáció	2 dimenzióban megfelelő	Jó minőségű észlelés
Mozgás	Korlátolt, érzékeny a képességre	Jó minőségű észlelés
Élek, tartományok érzékelése	Éles kontrasztú kép szükséges	Magasan fejlett
Alakfelismerés	Jó mennyiségi elemzésre	Csak minőség észlelésre
Képrendezés	Speciális szoftver szükséges; korlátolt lehetőség	Magasan fejlett
Felületi árnyékok észlelése	Korlátolt, szürkeárnyalatos lehetőség	Magasan fejlett
2 dimenziós kiértékelés	Jellegzetes alakokra kitűnően alkalmazható	Magasan fejlett
3 dimenziós kiértékelés	Erősen korlátolt lehetőség	Magasan fejlett

Noha a hivatkozott táblázatokban kiemelt karakterisztikus sajátosságok összehasonlítása már önmagában is alkalmas arra, hogy egy adott célra alkalmazandó gépi vagy szemrevételezéses vizsgálat mellett dönthessünk, mégis azt kell mondani annak, hogy nagyobb számú azonos alkatrész vizsgálatánál a megfelelő bizonylatolás és az eredmények későbbi reprodukálhatóságának biztosítása érdekében a szubjektivitástól mentesebb gépi észlelést célszerű választani. Egyedi vizsgálatnál, avagy előzetes tájékozódás esetén mindenképpen hasznosabb a sokszor több rész-

[5] Gácsi Zoltán–Mertinger Valéria (2000): *Fémtan*. Budapest: Műszaki.

[6] Szalay Zsolt (2001): *Alumínium-szilícium öntvények prozítás-kimutathatóságának pontosság-növelése roncsolásmentes vizsgálati módszerek alkalmazása esetén.* Budapest: BME.

letet feltáró, szemrevételezéses vizsgálat alkalmazása. Kétségtelenül igaz, hogy ennek eredménye szubjektív hibák hordozója lehet, azt azonban ne feledjük, hogy a szemrevételezéses vizsgálatokat általában olyan szakemberek, szakértők végzik, akik tökéletesen tisztában vannak azzal, hogy „milyen típusú hibát, hol és miért” keresnek, azaz ismerik a gyártástechnológiát, annak sajátosságát (avagy az üzemeltetés körülményeit és annak várható hatásait), következésképpen „látni is képesek, nem csupán nézni”. Ez az a képesség, amely sok gyakorlatot és kellő elméleti felkészültséget követel meg a szakembertől. [6]

2. táblázat. A kamera és az emberi észlelés összehasonlítása [6]

Vizsgálat tulajdonság	Gépi észlelés	Emberi észlelés
Felbontóképesség	A pixel mérete korlátozza	Magas felbontóképesség
Feldolgozási sebesség	A másodperc tört része képenként	Valós idejű feldolgozás
Elkülönítőképesség	Magas kontrasztú képekre korlátozott	Nagyon érzékeny
Pontosság	Mennyiségi elkülönítés esetén pontos; nagyobb számú vizsgálatnál a pontosság állandó értékű marad	Minőségi elkülönítés esetén pontos, nagyobb számú vizsgálatnál a pontosság csökken
Működési költség	Alacsony számú vizsgálatnál magas, nagy számú vizsgálatkor olcsóbb, mint a szemrevételezéses vizsgálat	Alacsony számú vizsgálatnál olcsóbb, mint a gépi vizsgálat
Általánosan	Nagyszámú vizsgálatnál előnyös	Alacsony számú vizsgálatnál előnyös

Míg a képfeldolgozás módszereit kezdetben főként az űr- és haditechnikában alkalmazták, a képfelvevő, digitalizáló és számítástechnikai eszközök fejlődésével és popularizálódásával, napjainkban egyre szélesebb körben használják az automatizálási, minőségellenőrzési és biztonságtechnikai feladatoknál.

A képfeldolgozás nyújtotta gyors, roncsolásmentes mérési módszer két alapvetően fontos területen – az automatizálási feladatokban és a minőségellenőrzés területén – alkalmazható.

Az ipari automatizálási alkalmazások, a nagy sebességigény és a költség minimalása miatt általában speciális, egyszerűsített algoritmusokat alkalmaznak. A mérésből számított paraméterek a döntést szolgálják, nem feltétlenül értelmezhetők.

Komplex minőség-ellenőrzési feladatokra szakértői rendszer használható, melynek döntési algoritmusai általában szoftveresen hangolható, figyelembe véve az újabb kutatási eredményeket. A rendszer által nyert paraméterek sok esetben azonosak a humánszakértő által hagyományosan használt paraméterekkel.

Mind az automatizálási, mind a minőségellenőrzési alkalmazási terület igényli a mérendő objektumtípus adott optikai tulajdonságra vonatkozó előzetes kutatását. Az adott alkalmazásnak megfelelő módszer az előzetes mérések statisztikai analízisével választható ki. A kutatásnak, az előzetes méréseket lehetővé tevő környezetnek (méréselrendezés, algoritmusok) a sokrétű felhasználás érdekében általánosnak, ugyanakkor hangolhatónak kell lennie.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel – az agrárerdészeti mint új kitörési lehetőség” című projekt támogatja.

Investigation of the possibility to recover scandium from red mud using EAF technology Part 1 Introduction

Abstract: In this work, we studied and applied methods and techniques to extract scandium from red mud which considered as a toxic waste from extracting aluminum, using the electric arc furnace (EAF) technology to melt dried samples of red mud. Moving next to acid leaching using HCL, HNO₃, H₂SO₄ in different concentrations and normality with different temperatures to extract scandium. Electric electrodes and filtration processes were applied after distilled water wash. Finding the results using both electric microscope and ICP technology to analyze the extracting elements.

Keywords: Aluminium cast; porosity; defect detection of holes.

* *Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*
E-mail: alkennaanm@uniduna.hu

** *Dunaújvárosi Egyetem*
E-mail: mirkowski@uniduna.hu

*** *Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*
E-mail: kisse@uniduna.hu

[1] Patterson, S. H.–Kurtz, H. F.–Olson, J. C.–Neeley, C. L. (1986): World Bauxite Resources. In: *U.S. Geological Survey Professional Paper*. Washington.

[2] Deady, É.–Mouchos, E.–Goodenough, K.–Williamson, B.–Wall, F. (2016): *A review of the potential for rare-earth element resources from European red muds: examples from Seydişehir, Turkey and Parnassus-Giona, Greece*. Mineral. Mag.

[3] Klauber, C.–Gräfe, M.–Power, G. (2011): Bauxite residue issues: II. options for residue utilization. *Hydrometallurgy*.

[4] World Aluminium and the European Aluminium Association, 2015. Bauxite Residue Management: Best Practice. Available from the International Aluminium Institute, 10 King Charles II Street, London, SW1Y 4AA, UK.

[5] Binnemans, K.–Jones, p. T.–Blanpain, B.–Van Gerven, T.–Pontikes, Y. (2015): *Towards zero-waste valorisation of rare-earth-containing industrial process residues: a critical review*. J. Clean. Prod.

Introduction

Due to its high alloy, Scandium founded to be an interesting element with a few practical studies to extract from red mud. In which in the paper we present some of the methods we are applying in order to reach two goals, a zero-waste process from bauxite ore (Aluminum production extraction) to red mud (Aluminum production waste, Scandium and REE's container) in which is produced over 150 million tons annually. The second goal is to find the most efficient and low cost process to extract Scandium. In this paper a few theoretical studies will be shown to obtain a general information about red mud, REE's, EAF technology, Scandium and our personal experiment from preparing the red mud samples, to smelting using EAF technologies. To acid leaching using several normality acid and different concentrations for HCL, HNO₃, H₂SO₄ acids to extraction methods such as electric electrodes and filtration processes. A further studies, experiment and analysis will occur specially after we got an ICP analyzer.

Theoretical studies

Bauxite residue (BR, also called red mud) is the waste product generated during alumina production from bauxite by the Bayer process. [1] It is composed essentially of compounds that are insoluble in concentrated sodium hydroxide solutions: iron and titanium minerals, undigested alumina minerals, sodium aluminum hydro-silicates and calcium compounds. It has been estimated that the annual global production of bauxite residue exceeds 150 million tons [2] and, according to numbers from the year 2007, about 2.7×10^9 tons have been already accumulated in tailing ponds, dry stacking and other dry disposal methods. [3] It is believed that today, this amount has increased to approximately 4×10^9 tons. [4] Bauxite residue represents an interesting source for major elements such as aluminum, iron and titanium, but also for rare-earth elements (REEs). [5] The chemical composition of bauxite residue shows a very wide variability, as it depends on the origin of the bauxite ore and the operational conditions during the Bayer process. A range on compo-

sition of minerals typically found on bauxite residue has been reported by Evans. REEs are normally associated to phosphate (e.g., monazite ($REEPO_4$)) and fluorocarbonate (e.g., bastnäsite ($REECO_3F$)) compounds. Bastnäsite is the most common host for rare-earth oxides in karst bauxites. [6] The enrichment factor of the rare earths in bauxite residue compared to bauxite is about a factor of two. [7]

The concentration of rare earths in bauxite residue may vary between 500 and 1700 mg/kg. Scandium represents 95% of the economic value of REEs present in bauxite residue. [8]

Ores with a scandium content range between 20 and 50 mg/kg are considered as resources and are worthy of exploitation. The highest concentration of scandium is found in Jamaica bauxite residue, with concentration as high as 260 mg/kg. [9]

This concentration is ten times higher than the average concentration of scandium in the Earth's crust. Several methods based on direct leaching by acids have been reported for recovering valuable metals from bauxite residue. [10]

The extraction efficiencies depend on the acid concentration with more extraction achieved at higher acid concentrations, but the amount of iron dissolution increases with acid concentration as well and this limits the REE concentration in the leachate. [11]

Although conventional direct acidic leaching of bauxite residue allows a high extraction of REEs with a low iron dissolution the concentration of REEs in the leachate (5–9 mg/L) is still about one hundred times lower than the iron concentration (about 900 mg/L), which hampers the extraction of REEs in further processing, for instance in the solvent extraction step. [12]

However, the concentration of REEs in the leachate may be increased by a multi-stage treatment. The method has demonstrated promising results in terms of acid consump-

[6] Maksimovic, Z.–Panto, G. (1991): *Contribution to the geochemistry of the rare earth elements in the karst-bauxite deposits of Yugoslavia and Greece*.

[7] Ochsenkuhn-Petropulu, M.–Lyberopulu, T.–Parissakis, G. (1994): *Direct determination of lanthanides, yttrium and scandium in bauxites and red mud from alumina production*. Anal. Chim.

[8] Borra, C. R.–Pontikes, Y.–Binnemans, K.–Van Gerven, T. (2015b): *Leaching of rare earths from bauxite residue (red mud)*. Miner. Eng.

[9] Borra, C. R.–Mermans, J.–Blanpain, B.–Pontikes, Y.–Binnemans, K.–Van Gerven, T. (2016c): *Selective recovery of rare earths from bauxite residue by combination of sulfation, roasting and leaching*. Miner. Eng.

[10] Kovács-Bokor É.–Domokos E. (2017): *Determination of heavy metal content of river sediment and analysis of the accumulation of heavy metals by plants*. In: Proceedings of International Conference on Global Environmental Changes and Environmental Health: Environmental and Economic Impact on Sustainable Development. Pp. 33–40.

[11] Kovács-Bokor É.–Domokos E. (2019): *Phytoextraction potential of wheat and study on the applicable ratio of converter sludge in some soil-sludge mixtures*. Journal of applied technical and educational sciences. 9. (4.) Pp. 88–100

[12] Onghena, B.–Borra, C. R.–Van Gerven, T.–Binnemans, K. (2017): *Recovery of scandium from sulfation-roasted leachates of bauxite residue by solvent extraction with the ionic liquid betainium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide*. Sep. Purif. Technol.

[13] Onghena, B.–Borra, C. R.–Van Gerven, T.–Binne-mans, K. (2017): *Recovery of scandium from sulfation-roasted leachates of bauxite residue by solvent extraction with the ionic liquid betainium bis(trifluoromethylsulfonyl) imide*. Sep. Purif. Technol. [

14] Kokhanenko, P.–Brown, K.–Jermy, M. (2016): Silica aquasols of incipient instability: Synthesis, growth kinetics and long-term stability. *Col-loids Surfaces a Physicochem. Eng.*

[15] Hamouda, A. A.–Amiri, H. A. A. (2014): *Factors affecting alkaline sodium silicate gelation for in-depth reservoir profile modification*.

[16] Hamouda, A. A.–Amiri, H. A. A. (2014): *Factors affecting alkaline sodium silicate gelation for in-depth reservoir profile modification*.

[17] Tobler, D. J.–Shaw, S.–Benning, L. G. (2009): *Quantification of initial steps of nucleation and growth of silica nanoparticles: an in-situ SAXS and DLS study*. Geo-chim. Cosmochim.

[18] Friedrich, B.–Hanebuth, M.–Kruse, S.–Tremel, A.–Vossenkaul, D. (2016): *Method for opening a eudi-alyte mineral*.

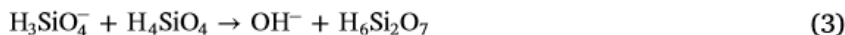
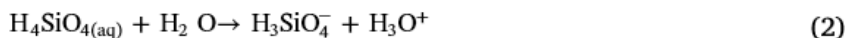
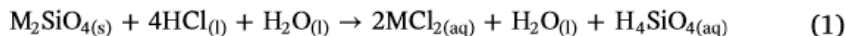
tion reduction and enhancement of leaching efficiency, by which the concentration of metals in the leach liquor is increased. [13]

The application of the multi-stage leaching method to bauxite residue may increase the REE concentration in the leachate, although a high silica dissolution may also be expected, as well as an accumulation of major metals in the final leachate.

A high silica dissolution leads to a greater silicon supersaturation index (SSI), which represents the ratio of dissolved silica with respect to the maximum silica solubility. [14] The increase of SSI is considered to be the driving force for silica polymerization. [15]

In HCl or H₂SO₄ media, at relatively low pH values, i.e. below the isoelec-tric point for silica in the solution (pH iso between 1.7 and 2.2), the hydrolysis of silica occurs very fast to produce H₄SiO₄ and H₃SiO₄[−] (Eqs. (1) and (2)), which are the precursors for silica gel polymerization. [16]

Initially, silica monomers (e.g., H₄SiO₄, H₃SiO₄[−]) polymerize via dimers, trimers, etc. to cyclic oligomers (Sin+1Om+2·OH), according to Eqs. (3) and (4). These oligomers continue to react until a gel network is formed via Ost-wald ripening, i.e. dissolution of smaller particles and precipitation on larger particles, which finally results in the formation of an acidic silica gel. [17]



Among others, quartz, sodalite and cancrinite are the most abundant sili-ca bearing minerals in bauxite residue, although silica gel is produced by the acidification of amorphous silicate minerals. Such compounds have a higher solubility in comparison to quartz, which makes these minerals of special interest for further research. [18]

Silica gel formation represents a serious drawback in the extraction of metals from ores and process residues by hydrometallurgical methods be-

cause the gel solutions can no longer be filtered. [19] Additionally, this gelatinous precipitate may blind ore particles from further dissolution and reduce the leaching kinetics significantly. According to the literature, silica (and iron) can remain undissolved when the bauxite residue is processed by the consecutive combination of sulfation, roasting and leaching processes, which also allows to achieve a high selectivity for REEs. [20]

However, this method is limited by the high energy consumption due to the decomposition of sulfates during roasting and evaporation of water during sulfation. Another method, dry digestion, is an effective way to avoid the dissolution of amorphous silica from silicate minerals mainly because it may take place at ambient conditions. The method consists in contacting silicate minerals with strong acids in a water-deficient system, i.e. a high solid concentration, by which silica is effectively rejected from the respective minerals. It is stated that in a water-deficient system, the interaction between the metal and the acid (i.e. formation of MSO_4 or MCl_2 with concentrated H_2SO_4 or HCl , respectively, where M represents the valuable metal) scavenges the available water of the system, so that no hydration of the silica is possible. This way, the silica polymerization is avoided, and the dehydrated silica (i.e. SiO_2) is readily filterable. The same principle applies in the so-called acid pugging and curing method, but the technique requires temperatures in the range of 100–200°C. [21]

The dry digestion method is applied at ambient temperature, which represents its most remarkable advantage. Although there exist no literature reports on the application of dry digestion to bauxite residue, researchers have reported promising results on the use of this technique for extraction of metals from eudialyte [22], but also from different silicate minerals for zinc and manganese extraction. [23]

The objective of this paper is to evaluate the extraction of REEs from bauxite residue by dry digestion with concentrated mineral acids (i.e. HCl , H_2SO_4), followed by water leaching. Valuable metals can be effectively washed out by using this method since silica polymerization does not occur, which significantly can improve the filterability of the leach liquor.

Direct leaching experiments of bauxite residue are performed with HCl and H_2SO_4 at different concentrations in order to study the behavior of silicon during acid leaching over time.

[19] Abkhoshk, E.–Jorjani, E.–Al-Harashseh, M. S.–Rashchi, F.–Naazeri, M. (2014): *Review of the hydrometallurgical processing of non-sulfide zinc ores.*

[20] Borra, C. R.–Mermans, J.–Blanpain, B.–Pontikes, Y.–Binnemans, K.–Van Gerven, T. (2016c): *Selective recovery of rare earths from bauxite residue by combination of sulfation, roasting and leaching.* Miner. Eng.

[21] Borra, C. R.–Mermans, J.–Blanpain, B.–Pontikes, Y.–Binnemans, K.–Van Gerven, T. (2016c): *Selective recovery of rare earths from bauxite residue by combination of sulfation, roasting and leaching.* Miner. Eng.

[22] Davris, P.–Stopic, S.–Balomenos, E.–Panias, D.–Paspaliaris, I.–Friedrich, B. (2017): *Leaching of rare earth elements from eudialyte concentrate by suppressing silica gel formation.* Miner. Eng.

[23] Dufresne, R. (1976): *Quick leach of siliceous zinc ores.*

A multistage leaching was applied after dry digestion to increase the REEs concentration in the leachate. The process has been compared with the conventional direct acidic leaching method in terms of selected REEs and iron concentration, and acid consumption.

Acknowledgement

Thanks for the support of EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Produce together with the nature – agroforestry as a new outbreaking possibility” project.

Investigation of the possibility to recover scandium from red mud using EAF technology Part 2 Properties of scandium

Abstract: In this work, we studied and applied methods and techniques to extract scandium from red mud which considered as a toxic waste from extracting aluminum, using the electric arc furnace (EAF) technology to melt dried samples of red mud. Moving next to acid leaching using HCL, HNO₃, H₂SO₄ in different concentrations and normality with different temperatures to extract scandium. Electric electrodes and filtration processes were applied after distilled water wash. Finding the results using both electric microscope and ICP technology to analyze the extracting elements.

Keywords: Scandium; application of scandium; rare-earth elements.

* *Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*
E-mail: alkennaanm@uniduna.hu

** *Dunaújvárosi Egyetem*
E-mail: mirkowski@uniduna.hu

*** *Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*
E-mail: kisse@uniduna.hu

[1] IUPAC Recommendations. *Nomenclature of inorganic chemistry*.

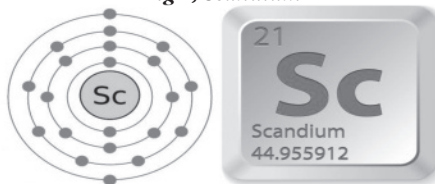
[2] Establishment of Scandium Recovery Operations.

[3] Iwamoto, Fumio. „Commercial Scandium Oxide Production by Sumitomo Metal Mining Co. Ltd”.

[4] „NioCorp Announces Final Closing of Non-Brokered Private Placement for Aggregate Gross Proceeds of C\$1.77 Million.”

[5] „Long-discussed niobium mine in southeast Nebraska is ready to move forward, if it gathers \$1 billion in financing.”

Fig 1, Scandium



Scandium *Fig 1* is a chemical element with the symbol Sc and atomic number 21. A silvery-white metallic d-block element, it has historically been classified as a rare-earth element [1], together with yttrium and the lanthanides. It was discovered in 1879 by spectral analysis of the mineral's euxenite and gadolinite from Scandinavia.

Scandium is present in most of the deposits of rare-earth and uranium compounds, but it is extracted from these ores in only a few mines worldwide. Because of the low availability and the difficulties in the preparation of metallic scandium, which was first done in 1937, applications for scandium were not developed until the 1970s. The positive effects of scandium on aluminum alloys were discovered in the 1970s, and its use in such alloys remains its only major application. The global trade of scandium oxide is about 10 tons per year.

The properties of scandium compounds are intermediate between those of aluminum and yttrium. A diagonal relationship exists between the behavior of magnesium and scandium, just as there is between beryllium and aluminum. In the chemical compounds of the elements in group 3, the predominant oxidation state is +3. The world production of scandium is in the order of 15 tons per year, in the form of scandium oxide. The demand is about 50% higher, and both the production and demand keep increasing. In 2003, only three mines produced scandium: the uranium and iron mines in Zhovti Vody in Ukraine, the rare-earth mines in Bayan Obo, China, and the apatite mines in the Kola peninsula, Russia; since then many other countries have built scandium-producing facilities, including 5 tons/year (7.5 tons/year Sc_2O_3) by Nickel Asia Corporation and Sumitomo Metal Mining in the Philippines. [2, 3] In the US, NioCorp Development hopes to raise \$1 billion [4] toward opening a niobium, mine at its Elk Creek site in southeast Nebraska [5]

which may be able to produce as much as 95 tons of scandium dioxide annually. [6] In each case scandium is a byproduct from the extraction of other elements and is sold as scandium oxide. [7, 8] To produce metallic scandium, the oxide is converted to scandium fluoride and then reduced with metallic calcium.

Madagascar and the Iveland-Evje region in Norway have the only deposits of minerals with high scandium content, thortveitite $(\text{Sc,Y})_2(\text{Si}_2\text{O}_7)$ and Kolbe-kite $\text{ScPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, but these are not being exploited.

The absence of reliable, secure, stable, long-term production has limited the commercial applications of scandium. Despite this low level of use, scandium offers significant benefits. Particularly promising is the strengthening of aluminum alloys with as little as 0.5% scandium. Scandium-stabilized zirconia enjoys a growing market demand for use as a high-efficiency electrolyte in solid oxide fuel cells.

Because of its rarity, scandium is among the most expensive elements. Price for pure scandium fluctuates between 4,000 and 20,000 US dollars per kilogram. Meanwhile, the limited market generates a variety of prices at any given time. In 2010, at the peak of the rare-earths shortage, the price of scandium rose to over 15,000 US dollars per kilogram, and the widely commercially used scandium oxide (Sc_2O_3) was selling above 7 000 US dollars per kilogram. Since then the limited demand coupled with steady production keeps the price at its 20-year average.

Application of Scandium

The addition of scandium to aluminum limits the grain growth in the heat zone of welded aluminum components. This has two beneficial effects: the precipitated Al_3Sc forms smaller crystals than in other aluminum alloys [9], and the volume of precipitate-free zones at the grain boundaries of age-hardening aluminum alloys is reduced. [10] Both effects increase the usefulness of the alloy. However, titanium alloys, which are similar in lightness and strength, are cheaper and much more widely used. [11]

The alloy $\text{Al}_{20} \text{Li}_{20} \text{Mg}_{10} \text{Sc}_{20} \text{Ti}_{30}$ is as strong as titanium, light as aluminum, and hard as ceramic. [34] The main application of scandium by weight is in aluminum-scandium alloys for minor aerospace industry components. These alloys contain between 0.1% and 0.5% of scandium.

[6] NioCorp Superalloy Materials the Elk Creek Superalloy Materials Project.

[7] Deschamps, Y.

[8] „Mineral Commodity Summaries 2015: Scandium.” United States Geological Survey.

[9] Ahmad, Zaki (2003): „*The properties and application of scandium-reinforced aluminum.*”

[10] Schwarz, James A.–Contescu, Cristian I.–Putyera, Karol (2004).

[11] Youssef, Khaled M.–Zaddach, Alexander J.–Niu, Changning–Irving, Douglas L.–Koch, Carl C. (2015): „A Novel Low-Density, High-Hardness, High-entropy Alloy with Close-packed Single-phase Nanocrystalline Structures.” *Materials Research Letters*.

[12] Ahmad, Zaki (2003): „*The properties and application of scandium-reinforced aluminum.*”

[13] Bjerklie, Steve (2006): „A batty business: Anodized metal bats have revolutionized baseball. But are finishers losing the sweet spot?” *Metal Finishing*.

[14] James, Frank (15 December 2004): *Effective handgun defense*. Krause Publications.

[15] Sweeney, Patrick (13 December 2004): *The Gun Digest Book of Smith & Wesson*. Gun Digest Books.

[16] Nouri, Keyvan (2011. 11. 09.): „History of Laser Dentistry.” *Lasers in Dermatology and Medicine*.

[17] Hammond, C. R. In: CRC Handbook of Chemistry and Physics 85th (Ed.) Section 4; *The Element*.

[18] Simpson, Robert S. (2003): *Lighting Control: Technology and Applications*. Focal Press.

[19] Kobayashi, Shu–Manabe, Kei (2000): „*Green Lewis acid catalysis in organic synthesis.*”

[20] N. G. Connelly–T. Damhus (Eds.) (2005): *Nomenclature of Inorganic Chemistry*.

They were used in the Russian military aircraft, specifically the Mikoyan-Gurevich MiG-21 and MiG-29. [12]

Some items of sports equipment, which rely on high-performance materials, have been made with scandium-aluminum alloys, including baseball bats and bicycle frames and components. [13] Lacrosse sticks are also made with scandium. The American firearm manufacturing company Smith & Wesson produces semi-automatic pistols and revolvers with frames of scandium alloy and cylinders of titanium or carbon steel. [14, 15]

Dentists use erbium-chromium-doped yttrium-scandium-gallium garnet (Er,Cr:YSGG) lasers for cavity preparation and in endodontics. [16] The first scandium-based metal-halide lamps were patented by General Electric and initially made in North America, although they are now produced in all major industrialized countries. Approximately 20 kg of scandium (as Sc_2O_3) is used annually in the United States for high-intensity discharge lamps. [17] One type of metal-halide lamp, similar to the mercury-vapor lamp, is made from scandium triiodide and sodium iodide. This lamp is a white-light source with high color rendering index that sufficiently resembles sunlight to allow good color-reproduction with TV cameras. [18] About 80 kg of scandium is used in metal-halide lamps/light bulbs globally per year.

The radioactive isotope ^{46}Sc is used in oil refineries as a tracing agent. Scandium triflate is a catalytic Lewis acid used in organic chemistry. [19]

Rare-Earth elements (REE's)

A rare-earth element (REE) or rare-earth metal (REM), as defined by the International Union of Pure and Applied Chemistry, is one of a set of seventeen chemical elements in the periodic table, specifically the fifteen lanthanides, as well as scandium and yttrium. [20] Scandium and yttrium are considered rare-earth elements because they tend to occur in the same ore deposits as the lanthanides and exhibit similar chemical

properties but have different electronic and magnetic properties. [21] Rarely, a broader definition that includes actinides may be used, since the actinides share some mineralogical, chemical, and physical (especially electron shell configuration) characteristics. [22]

The 17 rare-earth elements are:

Cerium (Ce), Dysprosium (Dy), Erbium (Er), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Holmium (Ho), Lanthanum (La), Lutetium (Lu), Neodymium (Nd), Praseodymium (Pr), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Scandium (Sc), Terbium (Tb), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb), and Yttrium (Y). They are often found in minerals with Thorium (Th), and less commonly Uranium (U). Despite their name, rare-earth elements are – with the exception of the radioactive promethium – relatively plentiful in Earth's crust, with cerium being the 25th most abundant element at 68 parts per million, more abundant than copper. However, because of their geochemical properties, rare-earth elements are typically dispersed and not often found concentrated in rare-earth minerals; as a result, economically exploitable ore deposits are less common. [23] The first rare-earth mineral discovered (1787) was Gadolinite, a mineral composed of Cerium, Yttrium, Iron, Silicon, and other elements. This mineral was extracted from a mine in the village of Ytterby in Sweden; four of the rare-earth elements bear names derived from this single location.

Acknowledgement

Thanks for the support of EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Produce together with the nature – agroforestry as a new outbreaking possibility” project.

[21] Professor of Chemistry at University College London, Andrea Sella: „*Insight: Rare-earth metals.*”

[22] T Gray (2007): „Lanthanum and Cerium.” *The Elements*. Black Dog & Leventhal.

[23] Kovács-Bokor É. –Domokos E. (2017): *Determination of heavy metal content of river sediment and analysis of the accumulation of heavy metals by plants*. In: Proceedings of International Conference on Global Environmental Changes and Environmental Health: Environmental and Economic Impact on Sustainable Development. Pp. 33–40.

Gas separator Part 1

Introduction

Abstract: The Separation of different mixture of gases in different power plants and particular environments are key activities nowadays. Even though the removal of particulate matter from flue and exhaust gases using electrostatic field is a very widely investigated and very successfully applied in daily industrial practice. The separation of gases using electrostatic field is less researched and not really applied in the industrial practice. The charging of gas molecules and atoms can be executed rather easily in some cases, but to generate unipolar charged particle cloud is rather difficult process. For this research at first a mono-polarly charged gas cloud is needed. For that, a so called boxer charger equipment is developed and built using a technology similar to that developed by professor Masuda of the University of Tokyo.

After that step a gas is selected which can be mono-polarly charged, and mixed with some carbon dioxides or methane to start the separation process. The process' mathematical model is also under development.

Keywords: Electrostatic gas separation; electrostatic precipitation; boxer charger.

**Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*

E-mail: amanuelm@uniduna.hu

***Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*

E-mail: eliasa@uniduna.hu

****Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*

E-mail: kisse@uniduna.hu

INVESTIGATION OF POSSIBILITIES OF ELECTROSTATIC GAS SEPARATION

Introduction

Gas separation is a widely used technique in which the objective is the separation of one or more gases from a mixture. It is becoming crucial for several industrial processes such as the treatment of fumes from coal-fired plants, in particular, aiming for the removal of CO_2 to reduce the greenhouse effect. Growing interest is also given to other applications such as the separation and purification of commercially important gases such as H_2 , CH_4 and O_2 from natural gas. The most common methods to perform gas separation are:

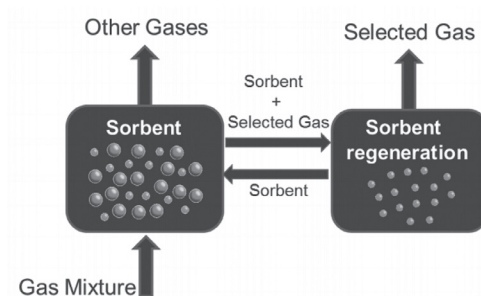
1. Separation with solvent/sorbents.
2. Separation by cryogenic distillation
3. Separation with Membranes

A) SEPARATION WITH SOLVENT/SORBENTS

The separation with solvent/sorbents is based on the affinity of the gas towards a specific sorbent such as zeolites, alumina or activated carbon or a solvent for instance MEA (methanolamine). The most illustrative example of this technology is represented by the Pressure Swing Adsorption method (PSA). The separation occurs when the gas mixture comes in contact with the sorbent/solvent in a vessel which is then pressurized. The gas with the highest affinity for the adsorbent is „trapped” whereas the others pass through the system.

The regeneration of the vessel is carried out by returning it to atmospheric pressure or by increasing the temperature, with release of the „trapped” gas. The main advantages of this technique is the high purity of the separated gas, the disadvantage consists in the high energy required for running the system, especially for the regeneration of the vessel.

Figure 1. Schematic representation of Pressure Swing Adsorption method (PSA)



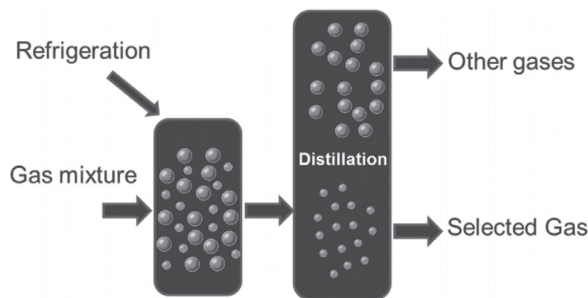
B) SEPARATION BY CRYOGENIC DISTILLATION

Cryogenic distillation is based on the fact that in a mixture of gases they all have different boiling points and they could be separated by increasing/decreasing the temperature and pressure of the system in which they are stored, so that they can be divided into their single components. The gas mixture is cooled down to a low temperature (typically $< -50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Once in the liquid form, the components of the gas can be directed in a distillation column and through a series of compression, cooling and expansion steps, they can be distributed to different channels, depending on their boiling points (Fig. 2).

It is a widely used technique for streams that already have a high concentration of desired gas (typically $>90\%$) but it is not very appropriate for more dilute gas streams. The main advantage of the Cryogenic gas separation is that it enables direct production

of liquid gas, which is often very useful for certain transport options, such as transport by ship. A major disadvantage is connected with the high amount of energy required for the refrigeration especially for dilute gas streams.

Figure 2. Schematic representation of Cryogenic distillation method



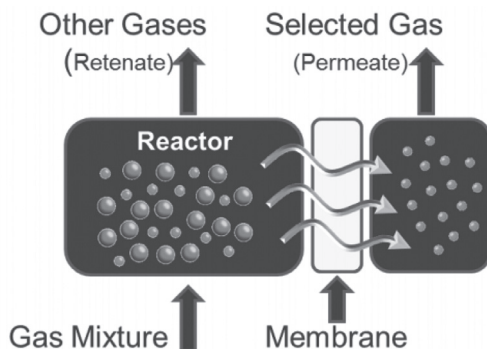
C) SEPARATION WITH MEMBRANES

Separation of gases with membranes relies on the different affinities of one or more gases towards the membrane material, causing one gas to be permeate faster (or slower) than others. It is one of the fastest growing field for gas separation techniques, especially due the high variety of materials which the membrane could be composed of, including Microporous Organic Polymers, Zeolites, Ceramic and Metal containing materials (for a more in depth reading Sapolsky and Freeman [i]).

The gas mixture is directed into a vessel and put in contact to the membrane material which is at the interface with another vessel (*Fig. 3*). The mixture is allowed to diffuse into the second vessel under a pressure gradient which promotes the mass transport through the membrane separating the retentate (slower gas) from the permeate (faster gas).

The use of membranes for gas separation offers several benefits, probably the most valuable is the high cost-efficiency (both for the mechanical simplicity of the system and for low energy regeneration) in fact, they do not require thermal regeneration, a phase change or active moving parts in their operation.

Figure 3. Schematic representation of Membranes for gas separation



Probably the greatest limitation of membranes for gas separation derived from their trade-off relationship between permeability and selectivity for a required gas component. This means that high permeable membranes have low selectivity, requiring several run for a good separation, and highly selective membranes have low permeability, meaning long operational

times. This trade-off was well addressed by Robeson [12] in two well-known articles [ii,iii] in which he studied the gas separation performance of several membrane forming materials in terms of permeability of a particular species (PA) and selectivity towards one component of ages pair ($\alpha_{A/B} = PA/PB$), organizing the data in double logarithmic plots for a series selected commercially important gas pairs such as H_2/CH_4 , H_2/CO_2 and O_2/N_2 .

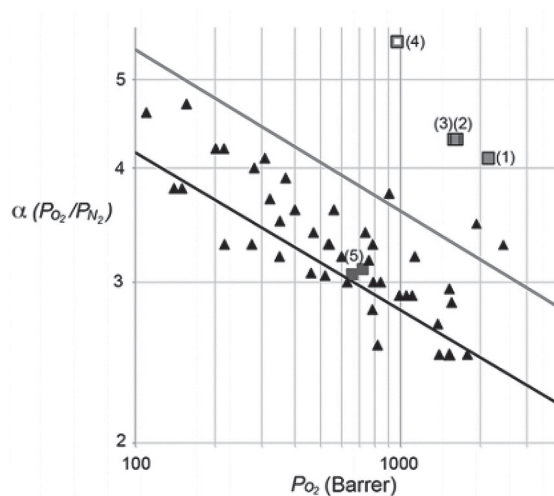
He confirmed that highly selective membranes generally exhibit low permeability and vice versa. The most important outcome of this study is represented by the so-called Robeson [13] Upper bound, an empirical line which is drawn for every gas pair plot that is meant to define how good a material for gas separation is. In Fig. 4 there is a typical example[iv] in which the red (upper) line represents the 2008 Upper Bound for the gas pair O_2/N_2 . Supposedly, if we plot the selectivity $\alpha_{A/B}$ versus permeability PA for a new membrane and the data point fall close or go over the upper bound, it is widely accepted that the material has an excellent compromise between P (rate of separation) and α (goodness of separation).

[12] Robeson, L. M. (1991): Correlation of separation factor versus permeability for polymeric membranes J. *Membr. Sci.* 62. (2.) Pp.165–185.

[13] Robeson, L. M. (2008): The upper bound revisited J. *Membr. Sci.* 320. (1+2) Pp. 390–400.

[13] Robeson, L. M. (2008): The upper bound revisited J. *Membr. Sci.* 320. (1+2). Pp. 390–400.

Figure 4. An example of Robeson plot, in this case O₂/N₂ [iv]



The black line represents the 1991 [ii] upper bound whereas the red line is the current (2008) upper bound. [13]

Acknowledgement

Thanks for the support of EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Produce together with the nature – agroforestry as a new outbreaking possibility” project.

Gas separator Part 2

Electrostatic Separation

Abstract: The Separation of different mixture of gases in different power plants and particular environments are key activities nowadays. Even though the removal of particulate matter from flue and exhaust gases using electrostatic field is a very widely investigated and very successfully applied in daily industrial practice; The separation of gases using electrostatic field is less researched and not really applied in the industrial practice. The charging of gas molecules and atoms can be executed rather easily in some cases, but to generate unipolar charged particle cloud is rather difficult process. For this research at first a mono-polarly charged gas cloud is needed. For that, a so called boxer charger equipment is developed and built using a technology similar to that developed by professor Masuda of the University of Tokyo. After that step a gas is selected which can be mono-polarly charged, and mixed with some carbon dioxides or methane to start the separation process. The process' mathematical model is also under development.

Keywords: Electrostatic separation; electrostatic precipitation; removal of particulates.

** Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék
E-mail: amanuelm@uniduna.hu*

*** Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék
E-mail: eliasa@uniduna.hu*

**** Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék
E-mail: kisse@uniduna.hu*

ELECTROSTATIC SEPARATION

The separation of particulates in a fluid can be efficiently accomplished using electrical forces; the main criterion being the fluid must have insulating properties so an electric field can be superimposed across it. Electrostatic separation is done by initially charging the particulates or contaminants and then moving and concentrating them at the electric field boundary.

Electrical separation was first demonstrated by Hohlfield in 1824 by clearing a smoked-filled jar with an electrified point. In 1884, Oliver Lodge attempted to collect lead fume using an elementary form of electrostatic precipitator, energized from a Voss machine driven by a steam engine. It was not until the early 1900's that satisfactory means of electrical energization enabled various workers to install plants to collect sulphuric acid mists. During the 1920's, the use of electrostatic precipitators became firmly established across all industries for the collection of both solid and liquid particulates.

Industrial Electrostatic Precipitation [after White (1963)]

In industrial applications, there are generally two arrangements:

- a. The horizontal-flow plate type—where a series of parallel plates, spaced up to 400 mm, form the gas passages and the discharge electrodes are insulated and hanging centrally between them.
- b. The tube type precipitator—where the gases pass upwards through vertical tubes measuring up to 250 mm dia., with the discharge electrode taking the form of a coaxial element.

Because of its higher potential separation efficiency, having several stages/precipitator fields in series, the plate precipitator has largely replaced the tube type for dry particulates. Nowadays precipitators capable of treating 1,000 m³/s of gas, removing at least 99.8% of the particulates from power plants are required to meet current legislation. These units are energized from silicon rectifiers having microprocessor-based thyristor control devices to optimize maximum voltage, and hence performance, at all times.

Where precipitators are used for mist/droplet collection, the vertical flow unit is ideally suited since the collected product is self-draining. Efficiencies in excess of 99% can be obtained from a single tube length.

Basic Principle of Operation [Rose and Wood (1956)]

The discharge electrode energized by a high negative potential, up to 70 kV depending on plant configuration, causes local ionization of the gas molecules as a result of high electrical stress on the sharp-edged electrode. The positive ions are immediately collected by the electrode while the negative ions escape into the space charge region, moving towards the positively-charged collector. As the gas-borne particles pass through the space charge area, they receive a negative saturation charge in around 0.1 second and, as charged particles, move under the influence of the field to be collected on earthed plates.

Removal of Particulates

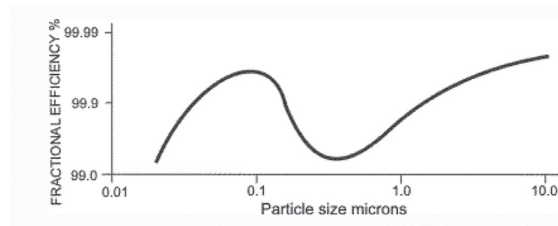
In order for the process to continue effectively, particulates which arrive at the collectors need to be periodically removed. Typically this is done by simple impact rapping, which shears the agglomerated product, which then falls into the hoppers. The frequency/intensity of the rapping blows is regulated by the thickness and type of deposition. To maximize corona production, the discharge electrodes are similarly cleaned to maintain their sharp edges, and hence their emission characteristic.

For gases which are close to dew point or dusts which are particularly adhesive, wet-type precipitators are used where the deposited material is water-washed from the electrode system in the form of a slurry.

Effect of particle size

For particles having a diameter in excess of 2 microns, the charge is acquired by ionic collision, whereas for particles less than 0.2 microns, the charge is acquired by diffusion processes. A typical fractional efficiency relationship, [McEvoy (1986)] is illustrated in *Figure 1*. The dip in the 0.5 micron range follows classical charging theory; then once diffusion charging becomes effective, efficiency begins to recover.

Figure 1. Typical fractional efficiency curve.



Acknowledgement

Thanks for the support of EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Produce together with the nature – agroforestry as a new outbreaking possibility” project.

Gas separator Part 3

Literature review of biogas

Abstract: The Separation of different mixture of gases in different power plants and particular environments are key activities nowadays. Even though the removal of particulate matter from flue and exhaust gases using electrostatic field is a very widely investigated and very successfully applied in daily industrial practice; The separation of gases using electrostatic field is less researched and not really applied in the industrial practice. The charging of gas molecules and atoms can be executed rather easily in some cases, but to generate unipolar charged particle cloud is rather difficult process. For this research at first a mono-polarly charged gas cloud is needed. For that, a so called boxer charger equipment is developed and built using a technology similar to that developed by professor Masuda of the University of Tokyo. After that step a gas is selected which can be mono-polarly charged, and mixed with some carbon dioxides or methane to start the separation process. The process' mathematical model is also under development.

Keywords: Biogas; composition of biogas; thermochemical reactor.

* *Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*

E-mail: amanuelm@uniduna.hu

** *Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*

E-mail: eliasa@uniduna.hu

*** *Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*

E-mail: kisse@uniduna.hu

A Literature Review of Biogas:

INTRODUCTION

Converting wastes into biogas is a way to recover energy from the waste, to reduce odors, to increase nutrient availability, and to reduce pathogen content (Garrison and Richard 2005; Goodrich and Schmidt 2002). While converting waste to biogas is desirable, one of the reasons it is not common is because of the poor quality of biogas and the high maintenance requirement of biogas using systems (Stowell–Henry 2003). Removing hydrogen sulfide from the biogas or sulfur from any point in the biogas generation process would take care of both of these issues.

Composition of Biogas

Table 2.1. shows the concentration of hydrogen sulfide in biogas, as well as the concentrations of other major component gases, carbon dioxide and methane. Landfill biogas does not have as much hydrogen sulfide in it because the organic materials decompose several years while manures are digested fresh (Ki-Hyun et al. 2005).

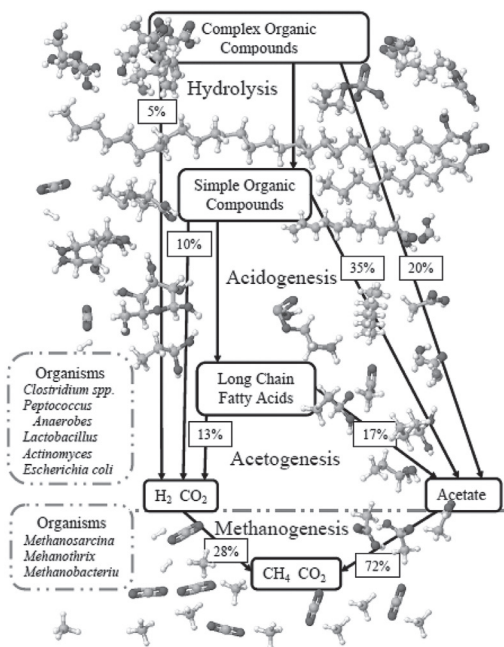
Table 2.1. Composition of Various Forms of Biogas

Substrate (by volume)	H_2S (ppm)	CO_2 (%)	CH_4 (%)	Source
Swine Waste	600 – 4000	40	60	(Pagilla, Kim and Cheunbarn, 2000)
Cattle Manure	600 – 7000	40	60	(Bothi, 2007)
Landfill Wastes	0 – 2000	30 – 50	50 – 70	(Shin et al., 2002)

Biogas from manure is generated biologically by anaerobic digestion of the complex organic molecules. Under anaerobic conditions microorganisms break down the organic debris until the carbon in the debris is in either its most reduced or its most 4 oxidized state (Kotelnikova 2002). Roughly sixty percent of the carbon is reduced and volatilizes as methane while the rest of the carbon volatilizes as carbon dioxide (Antenen et al. 2004 nn). As many as 138 different microorganisms contribute to the production of biogas from swine manure with the majority of them being strict anaerobes (Giannotti et al., 1982). As presented in Figure 2.1, these microorganisms can be broadly classified into two physiologically distinct groups.

The first group breaks down the complex organics into simpler organic molecules (hydrolytic and fermenter organisms). The second group uses the simple organic molecules, particularly acetate and hydrogen, to make methane (methanogenic organisms) (Cappenberg 1975; Tchobanoglous et al 2002). While manure is being digested, very small bursts of hydrogen sulfide will bubble out (Ni et al. 2001; Arogo et al., 2000) and accumulate as a small portion of biogas. Hydrogen sulfide is produced during hydrolysis when certain organisms break down the essential amino acid methionine (Ravanel et al. 1998; Zhu et al. 1999). In the methanogenic stage hydrogen sulfide production continues because a different group of sulfate reducing organisms can use fatty acids, particularly acetate, as a substrate (Tchobanoglous et al. 2002).

Figure 2.1. Breakdown of Organics into Biogas



Sulfate reducers are a nuisance because they grow faster than methanogenic organisms using the same substrates (Oremland–Polcin 1982). This was shown when acetate and sulfate were used to culture a sulfate reducer *Desulfobacterpostgatei* and a methanogen *Methanosarcinabarkeri* with similar maximum growth rates, μ_{max} . The half saturation coefficient, K_S , for *Desulfobacterpostgatei* was 0.2 mM which was fifteen

times less than *Methanosarcinabarkeri*'s K_S which was 3 mM (Schönheit–Kristjansson–Thauer 1982). Acetate concentration in swine manure is around 51 mM (Hansen–Angelidaki–Ahring 1999) so the growth rate, μ , can be calculated as a percentage of μ_{max} using the basic growth model in equation 2.1. μ for methanogens is 94% μ_{max} while μ for the sulfate reducers is 99.6% μ_{max} . In a batch process μ for the methanogens drops off quickly as acetate is consumed. As sulfate is reduced hydrogen sulfide is formed, which is another problem because the hydrogen sulfide byproduct is inhibitory to all organisms involved in anaerobic digestion (Cypionka, 1986), especially the methanogens (Hulshoff et al. 1998, Chen et al. 2008).

$$\mu = \frac{\mu_{max} \cdot S}{K_s + S}$$

When conversion techniques other than anaerobic digestion are used, hydrogen sulfide is still a problem. A gas similar to biogas called syngas can be produced from manure by gasification or pyrolysis using a thermochemical reactor (Chang 2004). Thermochemical reactors use more energy than anaerobic digesters, however, they are more compact and convert the waste much faster (Cantrell et al. 2007). During thermochemical conversion, syngas is created by heating up the manure in either completely or partially anoxic conditions. When heated the manure reduces to a 7 combination of hydrogen gas and carbon monoxide. This gas can be reformed into methane and carbon dioxide by passing it through high temperature steam. In thermochemical reactions free energy changes tend to favor sulfate reduction over methane formation. Table 2.2 shows the free energies associated with different sulfate reductions.

Table 2.2. Stoichiometry for Sulfate Reduction and Methanogenesis

Reaction	ΔG (kJ/mol)
Sulfate-reducing reactions	
$4H_2 + SO_4^{2-} + H^+ \rightarrow HS^- + 4H_2O$	-38.1
$Acetate + SO_4^{2-} \rightarrow HS^- + 2HCO_3^-$	-47.6
$Propionate + \frac{3}{4}SO_4^{2-} \rightarrow \frac{3}{4}HS^- + Acetate + HCO_3^- + \frac{1}{4}H^+$	-37.7
Methanogenic reactions	
$4H_2 + HCO_3^- + H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	-33.9
$Acetate + H_2O \rightarrow CH_4 + HCO_3^-$	-31.0

adapted from Lens et al. (1998)

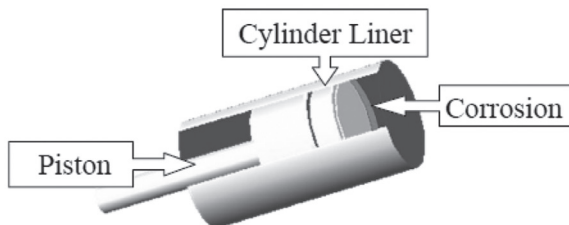
THE ISSUE WITH HYDROGEN SULFIDE

Hydrogen sulfide in biogas is one of the main reasons that the benefits currently do not outweigh the cost of an anaerobic digester (Garrison–Richard 2005; Stowell–Henry 2003). There are a few cases, such as one dairy waste digester reported by Goodrich and Schmidt (2002), that had few problems in terms of hydrogen sulfide damage, but in most cases the damage from the sulfide in the biogas causes equipment and maintenance costs to increase (Li 1984; Lusk 1998). Picken and Hassan (1983) explicitly mention engine problems caused by hydrogen sulfide in biogas when it is burned as a fuel. [8]

Biogas from anaerobic digestion is mostly methane. If biogas were pure methane it would be an excellent choice for a fuel. Methane has a simple structure and is highly stable, which allows for ease of storage and handling. As an engine fuel it has the advantages of complete combustion, no dilution of lubricants, better exhaust performance, and good anti-knock properties (Jiang et al. 1989). Biogas, however, is only sixty percent methane. The remaining forty percent is mostly acid gases (primarily carbon dioxide) with hydrogen sulfide causing the most problems. When real biogas is burned as a fuel engines tend to wear out quickly. Picken and Hassaan (1983) have shown that the first part of a biogas engine to wear out is the cylinder liner at the upper position of the piston ring (*see figure 2.2*). Excessive wear in cylinder liners at this position is caused by the corrosion phenomena (Sudarshan–Bhaduri 1983; Goode 1989).

[8] 2005, Today's Hydrogen Production Technology. *Hydrogen & Clean Fuels Research*. Washington, D. C.: Fossil Energy Office of Communications. <http://www.fossil.energy.gov/programs/fuels/hydrogen/currenttechnology.html>

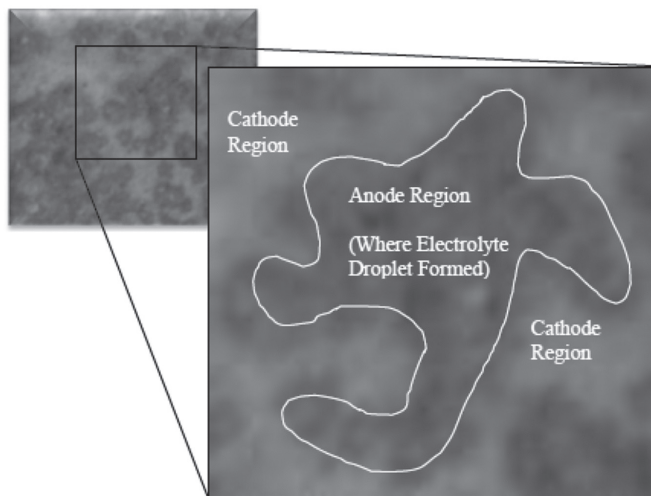
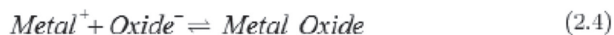
Figure 2.2. Location in Cylinder Liner Where Corrosion Forms



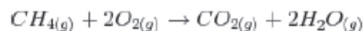
The Corrosion Phenomena

Corrosion is the degradation of a metal as it is converted from a desired to an undesired form. All metals corrode at certain electrochemical and thermodynamic conditions. These conditions depend on the pH, chemical potential, and temperature of the solution. When corrosion occurs, metal ions dissolve into a solution releasing electrons into the metal that is left. These electrons are conducted through the metal to a location where the solution, metal, and possibly atmosphere meet. There the electron is accepted by any oxidizing agent present. In this research the common oxidizing agents that form stable corrosion compounds with the metal are oxygen and sulfur. As more metal ions dissolve and are oxidized the parts that are metal will become damaged by being eaten away or by converting into a material resembling the metal's ore (Hamilton 1985). (See equations 2.2, 2.3, and 2.4) Figure 2.3 shows where droplets of solution formed on the surface of the metal.

Figure 2.3. Corrosion in Metal Showing Where Droplets of Electrolyte Formed

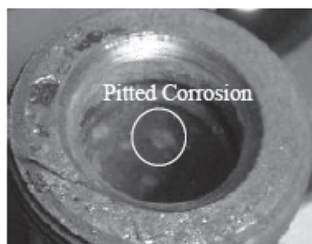
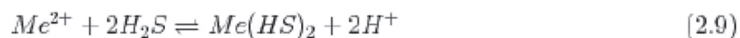
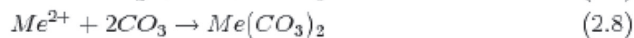
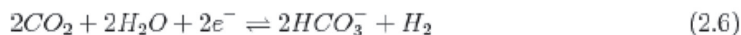


Corrosion occurs during normal methane combustion. Assuming standard conditions, combustion of 1 liter of methane (*see equation 2.5*) has the potential to produce 1.4 ml of liquid water and 0.9 liters of carbon dioxide. (In industry standard units 100 ft³ of methane has the potential to produce 1.0 gallons of liquid water and 91 ft³ of carbon dioxide.) The water produced is an electrolyte and the oxygen is the oxidizing agent needed for corrosion. The carbon dioxide speeds up the corrosion by making the electrolytic solution more acid which, in turn, speeds up the dissolution of the metal into ions.



Hydrogen sulfide is oxidized into sulfur dioxide which dissolves as sulfuric acid. Sulfuric acid, even in trace amounts, can make a solution extremely acidic. Extremely acidic electrolytes dissolve metals rapidly and speed up the corrosion process. This is particularly true in high temperatures, such as is the case with the afore mentioned cylinder liner. Even if there is no oxygen present, biogas can corrode metal. Hydrogen sulfide can become its own electrolyte and absorb directly onto the metal to form corrosion. (Brown, 2004). If the hydrogen sulfide concentration is very low, the corrosion will be slow but will still occur due to the presence of carbon dioxide. People in the pipeline industry refer to this type of corrosion as sweet corrosion which is recognized by very deep pits (Smith, 1993). The mechanism for this reaction is given in equations 2.6–2.8 (López–Pérez–Simison 2003). If the concentration of hydrogen sulfide in the gas is greater than 100 ppm, people in the pipeline industry refer to the corrosion as sour corrosion which is recognized by pits as shown in *figure 2.4* (Smith 1993). This mechanism is given in equation 2.9.

Figure 2.4. Pitted Anoxic Corrosion



The presence of hydrogen sulfide causes metals to become more active. Describing a metal as active is one of three ways to describe the resistance of a metal to corrosion given a certain set of thermodynamic conditions. The other two are immune and passive. Immune metals, for example gold, have natural nobility but are too expensive for making systems that handle biogas. Passive metals are typically used in biogas applications. These metals have an oxidized coating that slows corrosion. Active metals have no resistance to corrosion and will dissolve on contact with an electrolyte. Anything that makes a metal more active will make it corrode faster.

Pitted Corrosion

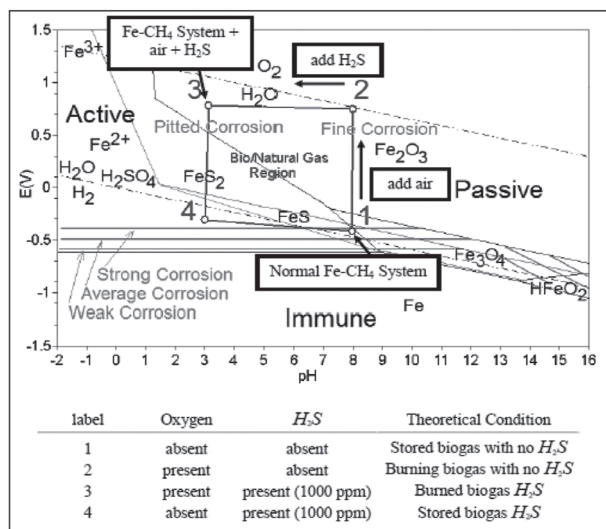
The potential – pH diagram, also known as a Pourbaix diagram, is a graphical way to show the effect of hydrogen sulfide on the corrosion of metal parts. *Figure 2.5* is a potential – pH diagram for a biogas - iron corrosion system at standard conditions.

Though metal systems for using biogas are never made of pure iron, the pure iron system has similar thermodynamics, more simplicity, and more empirical data to back it up than the carbon-iron (steel) or carbon-chromium-iron (stainless steel) typically used in the construction of biogas burning systems. The derivation of this diagram is in appendix C.1.

Point one in *figure 2.5* describes the pH and potential a water droplet would have in standard conditions for a pure methane-iron system. Adding air to the system shifts the pH and potential of the water droplet from point one to point two.

The speed of corrosion increases as air is added, but this effect is counteracted because the iron will become passive, or form a protective oxide coating. The difference between the water droplet in the iron-methane system and the iron-biogas system is shown by shifting from point one to point four. This shift causes a slight increase in the speed of corrosion. The practical scenario for utilizing biogas is a shift from point one to point three, where the biogas is used and oxygen is present. In this scenario the corrosion is fast and the oxide coating is not as stable, which causes pits form and drastically reduces the useful life of the metal.

Figure 2.5. Corrosion Phenomena in the Methane/Biogas-Iron System



Acknowledgement

Thanks for the support of EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Produce together with the nature – agroforestry as a new outbreaking possibility” project.

Környezeti tényezők predikciós modelljének fejlesztése gépi-tanulási módszerekkel

Összefoglalás: A környezet szennyezettségére kihatnak az olyan időjárási mennyiségek, mint pl. a hőmérséklet és a csapadékmennyiség. Ezenkívül olyan emberi tényezők is hatnak rá, mint a gazdaság, a mezőgazdaság és az ipar. A környezeti adatok gyűjtésével lehetőség nyílt olyan adatvezérelt modellek létrehozására, amelyek meg tudják jósolni, hogy a szennyezettségi mutatók az egyes tényezők változásával milyen értékeket fognak felvenni. A kutatás első hipotézise az, hogy a gazdasági és társadalmi paraméterek prediktívmodell-bemeneteként használhatók a levegő minőségére. A kutatás második hipotézise szerint lehetséges olyan feketedoboz-alapú prediktív modellt létrehozni, amely figyelembe veszi az időjárási, a szennyezési és a gazdasági paramétereket. A kutatás eredménye azt bizonyítja, hogy a nagymennyiségű begyűjtött adatok géptanulási módszerekkel való feldolgozása által létre lehet hozni egy, a levegő minőségének becslésére alkalmas modellt. A jelen kutatási eredmények alapján további modelleket lehet létrehozni más környezeti információk predikciójára, ilyen például a vizek minősége. A modell segítségével előre lehet látni, hogy egy-egy paraméter változása milyen következményekkel járhat a környezetre.

Kulcsszavak: Környezeti adatok; levegőminőségi mutató; géptanulás.

Abstract: Environmental pollution is affected by weather quantities such as temperature and precipitation. In addition, it is affected by human factors such as the economy, agriculture and industry. By collecting environmental data, it has become possible to create data-driven models that can predict the pollution indicator values as each factor changes. The first hypothesis of the research is that economic and social parameters have an impact on air quality. The second hypothesis of the research is that it is possible to create a black box-based predictive model that takes into account weather, pollution,

* Szabadkai Műszaki Szakfőiskola
E-mail: piroska@vts.su.ac.rs

** Dunaiújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék
E-mail: kovacsbe@uniduna.hu

[1] Bealey, W. J. (2016): *Agroforestry systems for ammonia air quality management*. (Doctoral dissertation). Edinburgh: University of Edinburgh.

[2] Demir, M.–Dindaroğlu, T.–Yılmaz, S. (2014): Effects of forest areas on air quality; Aras Basin and its environment. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12. (1). 60.

[3] Seo, J.–Park, D. S. R.–Kim, J. Y.–Youn, D.–Lim, Y. B.–Kim, Y. (2018): Effects of meteorology and emissions on urban air quality: a quantitative statistical approach to long-term records (1999–2016) in Seoul, South Korea. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18. (21). Pp. 16121–16137.

[4] Zhu, Z.–Qiao, Y.–Liu, Q.–Lin, C.–Dang, E.–Fu, W.–Dong, J. (2020): The impact of meteorological conditions on Air Quality Index under different urbanization gradients: a case from Taipei. *Environment, Development and Sustainability: A Multidisciplinary Approach to the Theory and Practice of Sustainable Development*. Pp. 1–17.

[5] Holian, M. J. (2014): The effect of social and economic development on air pollution in Indian cities. *Environment and Urbanization ASIA*, 5. (1). Pp. 1–15.

[6] Zheng, H.–Huai, W.–Huang, L. (2015): Relationship between pollution and economic growth in China: Empirical evidence from 111 cities. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 9. (1). Pp. 22–31.

and economic parameters. The results of the research demonstrate that by processing large amounts of collected data, a model can be created that is suitable for estimating air quality by using machine learning methods. Based on the results of the present research, additional models can be developed to predict other environmental information, such as water quality. In practice, with the help of the model, it is possible to predict the consequences of a change in a parameter on the environment.

Keywords: Environmental data; air quality index; machine learning.

Bevezető

Az agrárerdészet összefüggését a levegő minőségével számos kutatási eredmény bizonyítja. [1] [2] A meteorológiai viszonyok és a légszennyezők közötti kapcsolat mindig a szakértők, kutatók figyelmének középpontjában volt. [3] [4] A levegő minőségét – az időjárási és szennyezési tényezőkön kívül – a gazdasági tényezők is befolyásolják. [5] [6] A levegőminőségi mutatójának kiszámításában figyelembe veszik a CO, az O₃, a SO₂, NO₂, O₃, illetve PM_{2,5} és PM₁₀ részecskéket, melyek közül az utóbbi kettő legtöbbször égés által keletkezik. A műanyagok égése által keletkezett vegyi anyagokat és az általuk történő környezeti szennyezést és egészségügyi problémák kapcsolatát vizsgálja. [7] Az égési melléktermékek közelében lévő egészségügyi kockázatokat tárgyalja. [8] Az adatbányászat és a gépi tanulási technikák használata a kutatásokban [9] [10] [11], ha a környezetszennyezést nem is tudja teljesen megakadályozni, segíteni hivatott annak menedzsmentjét.

Elméleti háttér, a témához kapcsolódó információk

A hagyományos minőségpredikciós modellek nem tudják átfogóan figyelembe venni az összes, nagyon különböző fizikai, kémiai, meteorológiai, biológiai és hidraulikai tényezők befolyását a környezeti mutatók alakulására. A hibavisszaterjesztéses neurális hálózatok sikeresen használhatók nemlineáris összefüggések modellezésére és a problémák predikciójára.

Célok, módszer

A környezeti adathalmaz a következő gazdasági paramétereket tartalmazta: a lakosság sűrűsége, GDP és a zöld területek nagysága. Az időjárási tényezők közül az átlagos csapadékmennyiség és hőmérséklet került a modell bemenetére, míg szennyezési paraméterként az égés által kibocsátott részecskemennyiség. A modell kimenete a levegőminőség mutatója. A kutatásban kivizsgálásra került a logisztikus regressziós modell, a véletlen eredő és a mesterséges mélyneurális hálózat.

Vizsgálatok, a téma kifejtése

A modellek teljesítményének mutatóiként a pontosság, a ROC (Receiver Operating Characteristic – a vevő működési jelleggörbéje) alatti terület és az F-mérték került kiszámításra. A ROC-görbe horizontális tengelye a hamis pozitív arány, függőleges tengelye pedig az igaz pozitív arány. Az F1-mérték a precizitást és a felidézést veszi figyelembe. A precizitás egyenlő a helyesen identifikált pozitív eredmények és az összpozitív eredmény hányadosával, a felidézés pedig egyenlő a helyesen identifikált pozitív eredmények és az összes olyan pozitív eredmény hányadosával, amelyet pozitívnak kell identifikálni.

[7] Nagy, Á.–Kuti, R. (2016): The Environmental Impact of Plastic Waste Incineration. *AARMS Academic and Applied Research in Military Science*. 15. (3). Pp. 231–237.

[8] de Titto, E.–Savino, A. (2019): Environmental and health risks related to waste incineration. *Waste Management & Research*. 37.(10). Pp. 976–986.

[9] Li, S. T.–Shue, L. Y. (2004): Data mining to aid policy making in air pollution management. *Expert Systems with Applications*. 27. (3). Pp. 331–340.

[10] Xiao, D.–Fang, F.–Zheng, J.–Pain, C. C.–Navon, I. M. (2019): Machine learning-based rapid response tools for regional air pollution modeling. *Atmospheric environment*. 199. Pp. 463–473.

[11] Binsy, M. S.–Sampath, N. (2018, August): *Self configurable air pollution monitoring system using IoT and data mining techniques*. In International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things. *Springer, Cham*. Pp. 786–798.

Eredmények

1. táblázat. Gépi tanulós módszerek predikációs eredményeinek összehasonlítása

	ROC alatti terület	Pontosság	F1-mérték
Logisztikus regresszió	0.71	0.63	0.62
Véletlen erdő	0.87	0.74	0.73
Neurális hálózat	0.92	0.85	0.85

2. táblázat. Neurális hálózattal kapott eredmények a különböző bemeneti csoportok esetében

	ROC alatti terület	Pontosság	F1-mérték
Gazdasági tényezők	0.69	0.71	0.71
Időjárási tényezők	0.83	0.83	0.85
Gazdasági és időjárási tényezők	0.92	0.86	0.83
Gazdasági, időjárási és szennyezési tényezők	0.92	0.85	0.84

Eredmények értékelése, következtetések

A 2. táblázat alapján elmondható, hogy a gazdasági tényezők alapján 0.71 pontosságú predikációs modell készíthető, ami a kutatás első hipotézisét, miszerint a gazdasági tényezők prediktorként használhatóak a levegő minőségi indexét illetően. Az 1. és 2. táblázat eredményei mind az első mind a második hipotézist igazolják. A becslés nemcsak a rövid távú tervezéshez és szabályozáshoz szükséges, hanem olyan esetekben is, amikor újabb gyárak vagy más létesítmények épülnek, amelyek szennyvize a folyókba vagy tavakba fog ömleni. Ekkor a modellen még a beruházás és új létesítmény felépítése előtt meg lehet állapítani, hogy milyen következményei lesznek a potenciálisan újabb szennyezésnek, és ennek megfelelően olyan intéz-

kedéseket lehet hozni, amelyek szerződésben vagy az építkezési engedélyben meghatározott mértékben korlátozzák a szennyezés mennyiségét. A predikciós modellek segítenek a tervezésekben, a paraméterek előírt értékeinek megtartásában, valamint a katasztrófák elkerülésében. A modell használata a gyorsan változó mennyiségek figyelembevételével, amelyekre az ember nem tud kihatni – mint például a hőmérsékleti változók – figyelmeztető funkciót is biztosítani tud.

Összefoglalás

A kutatásban a levegő minőségére ható tényezők figyelembevételével predikciós modellek kerültek fejlesztésre. A modellek közül a teljesítménymutatók kiszámítása után a mélyneurális háló bizonyult a legeredményesebbnek. A neurális hálók automatizált optimalizáción mentek keresztül. A kivizsgálás azt mutatta, hogy a gazdasági, meteorológiai és szennyezési értékek együttes figyelembevétele adja a legjobb prediktív modellt. A további kutatásokban a kapott modelleket az idő dimenziójában is ki lehet vizsgálni.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel – az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség” című projekt támogatta.

A statisztikai mechanika elveinek és módszereinek alkalmazása a gépészeti modellalkotásban

Összefoglalás: A gépgyártástechnológiai jelenségek modellezése általában tapasztalati úton szerzett paraméterek, kezdeti értékek alapján történik. A jelen számítástechnikájának lehetőségeivel élve alkalom adódik olyan modellek kidolgozására és számítógépes tesztelésére, amilyenre ezek hiányában nem volt lehetőség. Az analitikus mechanika és a statisztikai mechanika olyan erős leíró eszközök, amelyek segítségével bizonyos jelenségeknek azon sajátosságait lehet kimutatni, amelyek a klasszikus módszerek segítségével nem lehetségesek. Az az elv, miszerint a makroszkopikus rendszerek fizikai paramétereinek értékei, illetve ezek tulajdonságai a mikroszkopikus szintű alkotóelemeik egyenes következménye, lehetőséget nyújt a valósághoz közelebbi modellek megalkotására.

Jelen tanulmányban a kis átmérőjű szármaró rezgésképeinek modellezését vizsgáljuk, összehasonlítva azt a szakirodalomban közölt kísérleti eredményekkel. A modellben az anyagot homogénnek és izotrópnak tekintettük, a gerjesztő erőt kizárólag a forgácsvastagság változásának tulajdonítottuk. Ezzel szemben, ha felállítunk egy olyan modellt, amelyben elfogadjuk, hogy a forgácsoló egységnyi fajlagos erő – mint anyagjellemző – bizonyos értékeket bizonyos valószínűséggel vesz fel, a valósághoz sokkal közelebb álló modellt kapunk.

Kulcsszavak: Marás; rezgések; statisztikai anyagmodell.

Abstract: The modelling of phenomenon accompanying the manufacturing processes usually bases on empiric parameters and initial values. Profiting of the benefits of nowadays computing power, a certain opportunity occurs on elaborating and testing performant models, inaccessible in the past. The analytical and statistical mechanics represent powerful tools, able to show such peculiarities of certain phenomenon, that couldn't be identified using

* *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar*
E-mail: mmate@ms.sapientia.ro

** *Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*
E-mail: kovari@uniduna.hu

[1] Eastman, Peter:
Introduction to statistical mechanics.

[2] Huang, Kerson
(1987): *Statistical mechanics.* Wiley.

classic methods. The principle stating that macroscopic properties or behavior of macro systems e.g. macro states are directly dependent with the constitutive parts microstates offers a great possibility to build up more realistic models.

The present study deals with the vibration pattern of small diameter end mills, comparing the theoretical values with published experimental results. The model deals with homogeneous and isotropic material, thus the inducing force appear due to the exclusive effect of chip thickness variation. If the model will be improved by introducing a statistic variable for the unitary specific cutting force, taking certain values in certain directions with given probability the model becomes more realistic.

Keywords: Milling, vibrations, statistical material model.

A statisztikai mechanika elve

A statisztikai fizika és ezen belül a statisztikai mechanika – szemléletében és módszereiben – olyan eszközzé vált, amelyet fokozottan összetett rendszerek tanulmányozásában a gépészmérnöki tudományterületeken is sikeresen lehet alkalmazni. [1] [2]

A statisztikai fizika alapjai a termodinamikai rendszerek megfigyelésének szükségessége miatt alakult ki. Célja abban áll, hogy nagy rendszerek makroszkopikus jellemzőit a rendszer alkotó részecskéinek viselkedéséből tudja meghatározni, azaz a makroszkopikus fizikai mennyiségeket mikroszkopikus fizikai mennyiségekből összeállítani. A kiindulási pontot a részecskék állapotát leíró mechanikai mennyiségek, azaz a tömeg, a sebesség, az energia képezték. Ezek segítségével lehet a rendszer állapotát leírni, figyelembe véve az ezt alkotó részecskéket jellemző mennyiségek összes lehetséges értékkombinációját. Ha csupán egy egydimenziós mozgásra korlátozott részecskéből álló elméleti rendszert tekintünk, akkor ennek elméletileg a mozgás tengelyén bárhol lehet a helyzete, és bármekkora lehet az impulzusa. Ha a helyértéket az x és az impulzust a rá merőleges y tengelyen ábrázoljuk, akkor az állapot képe egy síkbeli pont. Könnyű belátni, hogy lehetetlen, sőt értelmetlen a rendszert az összes alkotóelem paramétereinek összességével jellemezni, mivel az áttekinthetatlenné válik. Ezért kellett bevezetni az állapothoz tartozó valószínűség fogalmát.

Könnyű belátni, hogy az összes mikroszkopikus állapot együttesen sokkal több információt nyújt a makroszkopikus rendszerről, mint amennyire szükségünk van. Emiatt érdeklődésünk a makroszkopikus állapottól felé irányul, ahol a makroszkopikus rendszert a gyakorlatban felhasználható fizikai mennyiségekkel írjuk le.

A makroszkopikus rendszer fizikai jellemzői tehát a mikroszkopikus jellemzők, azaz a részecskéket jellemző fizikai mennyiségek értékkombinációja pillanatnyi értékeinek fluktuációi szerint változnak. Ennél fogva egy adott állapot valószínűségét jellemezhetjük azzal a $\Delta\tau$ időintervallummal, amelyben a rendszer egy bizonyos állapotú. Ezt a megközelítést fel lehet váltani egy olyan modellel, amelyben N , a részecskékkel egyenlő számú azonos rendszert tekintünk. Ebben az esetben adott állapot valószínűsége egyenlő azon rendszerek számának részarányával, amelyek az i állapotban vannak, azaz $P(i)=N_i/N$.

A gépészmérnöki alkalmazások modellezésének sajátosságai

A gépészmérnöki tudományterületek olyan mechanikai rendszerek viselkedését próbálják leírni, amelyek a gyártáshoz, illetve a termékek működéséhez köthetők. A problémát a legáltalánosabb módon – a statisztikai mechanika szemléletében – úgy lehet megfogalmazni, hogy milyen valószínűséggel veszik fel a rendszer jellemző paraméterei az elvárt működés szerint előírt paramétereket. A gyártás ilyen szempontból az egyik legösszetettebb rendszer. A gyártórendszer stabil, hogyha beállítási paraméterei bizonyos értékek között mozognak. Ezek deviációjából ítéljük meg az állapotingadozást kiváltó okokat és próbáljuk előírni a kompenzációs lépéssorozatot. Bár makroszkopikus skálán jól ismertek a gyártást és a működést kísérő fizikai jelenségek, a matematikai modell állandói is valószínűségi változók – amennyiben a valósághoz minél közelebb álló képet szeretnénk kapni.

A jelenség matematikai modelljét általánosságban az

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

alakban szoktuk megadni, amihez vagy általános polinomiális, azaz

$$y = \sum_{i=1}^{i=p} a_i x_i + \sum_{i,j=1}^{i,j=p} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i,j,k=1}^{i,j,k=p} c_{ijk} x_i x_j x_k + \dots + q \prod_i x_i \quad (2)$$

vagy pedig exponenciális alakot rendelünk:

$$y = C \prod_{i=1}^p x_i^{q_i} \quad (3)$$

[3] Fridrik, L. (1982): *Kísérletek tervezése a gépgyártásban*. Miskolc: Nehézipari Műszaki.

[4] Atanasiu, Costica M. (2004): *Metode moderne în mecanica experimentală*. Bukarest: Printech.

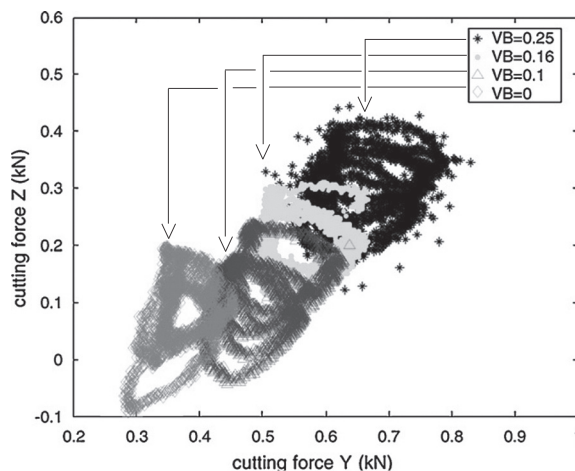
[5] Kemény, S.–Deák, A. (2000): *Kísérletek tervezése és értékelése*. Budapest, Műszaki.

[6] Teti, R.–Jemielniak, K.–O'Donnell, G.–Dornfeld, D. (2010): Advanced monitoring of machining operations. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 59. Pp. 717–739

Az együtthatók kiszámítása a kísérleti kutatás módszertana alapján történik. [3] [4] [5] A tapasztalat alapján a következőket vonhatjuk le:

- A statisztikai módszerek helyes alkalmazása ellenére a kapott eredmény bizonyos határok között fluktuál.
- Azonos kísérleti beállítások mellett a nem szignifikáns értékek kiküszöbölése után is lehetnek szignifikánsan különböző eredmények.
- A rendszer fizikai paraméterei időben változhatnak, sőt, változnak.
- Kijelenthető, hogy a technológiai rendszerre is definiálhatunk állapotteret, azzal a különbséggel, hogy a fizikai mechanikai paramétereket feleltetjük meg a statisztikai fizikában alkalmazott modell szerint.

1. ábra. A forgácsolóerők fluktuációja [6]



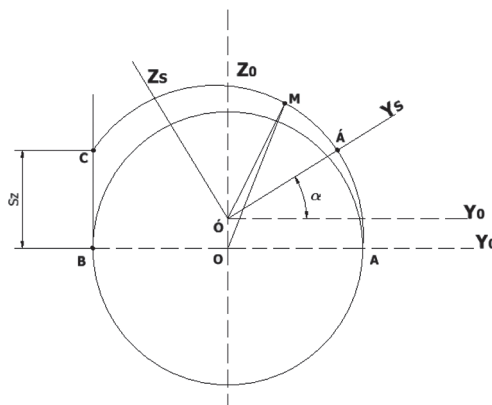
A fenti állításokra kiváló példa a részleges vagy normálirányú (előtolás-összetevőt nem tartalmazó) forgácsolóerő-fluktuáció, annak ellenére, hogy a beállítási paraméterek állandóak. [6]

Modelljavaslat a horonymarás esetére

Az ujjmaróval való horonymarást megvalósító technológiai rendszer egyik gyenge pontja a szerszám kis merevsége, mely a rezgések jellemzőit jelentősen befolyásolja. Mivel a szerszám átmérője a horonymé-rethez kötött, lehetőségeink a dinamikai jelenségek intenzitásának csökkentésére kizárólag a szerszámszár szabad hosszának és a forgácsolási paraméterek értékeinek helyes megválasztásában adottak.

Kezdetben feltételezzük, hogy az anyag homogén és izotróp, a szerszámszár pedig – bár tökéletesen rugalmas, állandó K_w merevségű – nem befolyásolja az elméletileg nem torzult forgácskeresztmetszetet. Ennélfogva a rezgések kizárólag a forgácsvastagság periodikus változásának tulajdonítható forgácsolóerő-fluktuációnak a következményei.

2. ábra. A forgácsvastagság változása ujjmaró használatakor



A 2. ábrán látható geometriai viszonyok alapján föl lehet írni a forgácskeresztmetszetet befolyásoló forgácsvastagság-értéket:

$$a(\alpha) = \sqrt{R^2 + \frac{S_z^2 Z^2}{4\pi^2} \alpha^2 + 2R \frac{S_z Z}{2\pi} \alpha \sin \alpha} - R \quad (4)$$

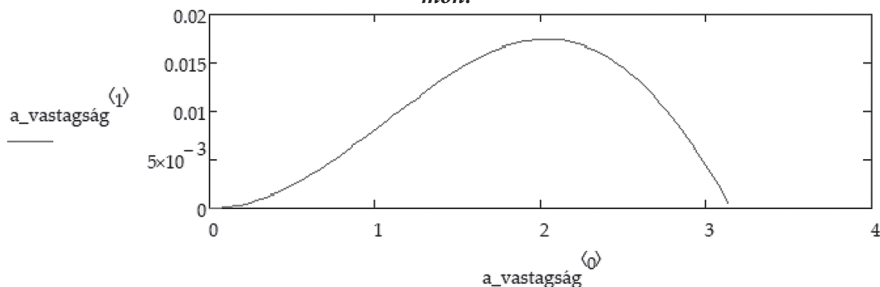
ahol α a maró élének helyzetét megadó szögparaméter, s_z a fogankénti előtolás és R a maró sugara.

[7] Hollanda, D. (2007): *A forgácsolás alapjai*. Kolozsvár: Scientia.

[8] Pálmai, Z. (1980): *A fémek forgácsolhatósága*. Budapest: Műszaki.

Az $a(\alpha)$ -függvény időbeli változását a 3. ábra szemlélteti:

3. ábra. A forgácsvastagság változása az él helyzetszögének függvényében, a $[0, \pi]$ intervallumon.



A maximális forgácsvastagság, tehát a maximális erő azon az elfordulási szögön keletkezik, ahol a forgácsvastagság a lehető legnagyobb; ezt a helyet a (3) függvény differenciáljának nullává tételével kapott egyenlet megoldása adja:

$$\alpha \frac{S_z Z}{2\pi} + R \sin \alpha + R \alpha \cos \alpha = 0 \quad (5)$$

Az elméleti forgácsvastagság-függvény felhasználásával és a fajlagos egységnyi forgácsolóerő képletével [7] [8] kapjuk a gerjesztő erőfüggvényt:

$$F_z(\alpha) = k_{s11} a^{1-z}(\alpha) b \quad (6)$$

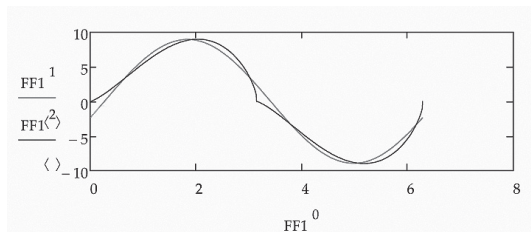
A b érték a forgács szélessége, ami esetünkben a marási mélységnek felel meg. A (6) függvény grafikus képe hasonló a 3. ábrán szemléltetett függvénnyel, bár az $1-z$ kitevő némi torzítást hoz be.

A maró átellenben helyezkedő foga akkor lép forgásba, amikor a vizsgált fog elhagyja a forgácsolt felületet. Az erő változása ugyanaz, mint az első fog esetében, de a szerszámszár-hajlító igénybevétele szempontjából ellentétes előjelű. Így a szerszám egy teljes leírt fordulatra értelmezhető gerjesztő függvényét úgy kapjuk, hogy a $[\pi, 2\pi]$ intervallumra az előbbi függvényszakaszt ellentétes előjellel illesztjük. Általános

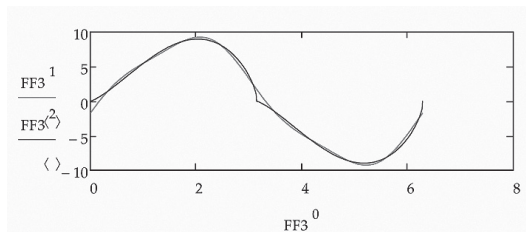
$$F_z(\alpha) = \begin{cases} k_{s11} a^{1-z}(\alpha) b, & \alpha \in [2k\pi, (2k+1)\pi] \\ -k_{s11} a^{1-z}(\alpha) b, & \alpha \in [(2k+1)\pi, 2(k+1)\pi], k = 0, 1, \dots, n \end{cases} \quad (7)$$

A lengés-egyenletek felírása végett a (7) függvényre Fourier-sorozatot illesztettünk, melynek csupán első két szignifikáns tagját vesszük figyelembe, mivel a többi harmonikus amplitúdója jelentőségmentes. Az eredeti függvény és a Fourier-sorozattal közelített függvények összehasonlító grafikus képeit a 4. ábrán szemléltettük.

4. ábra. A gerjesztő-függvény és a Fourier-sorozatos közelítései



a. Két szignifikáns taggal való közelítés



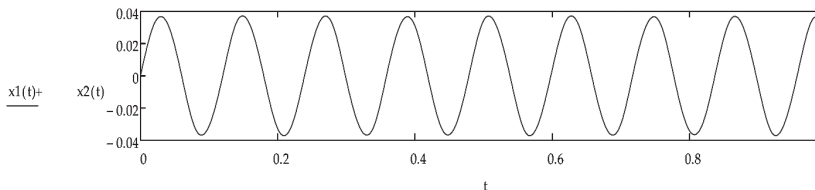
b. Hat szignifikáns taggal való közelítés

A Fourier-sorozat mindkét figyelembe vett tagjára felírjuk és megoldjuk az egyenletet:

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + K_w x = F_j, \quad a_j \cos j\omega t + b_j \sin j\omega t = F_j \cos(j\omega t + \varphi_j) \quad (8)$$

A K_w merevségi tényezőt abból az igénybevétel-feltételezésből számítottuk ki, miszerint a maró az egyik végén befalazott, míg az élek és a mart felület kapcsolódása legjobban csuklóhoz hasonlít. A $d=2$ mm átmérőjű, $s_z=0,02$ mm/fog előtolásra és a $v=40$ m/min forgácsoló sebességre kapott stacionárius lengéskép az 5. ábrán látható.

5. ábra. A stacionárius lengések



A modell kiértékelése

Az előbbieken bemutatott marásdinamikai modell előnye az egyszerűségében rejlik. Segítségével be tudjuk állítani a legmegfelelőbb vágósebességet. Felírásakor feltételeztük, hogy az anyag ideális.

A valósághoz sokkal közölenebb álló modellt kapunk, ha a (6) erőképlet állandóit statisztikai változóként kezeljük, melyek *eloszlására vonatkozó hipotéziseket* javasolunk. Így

$$Fz(\alpha) = k_{s11}(\alpha, x) a^{1-z} b(\alpha, x) \quad (9)$$

A (9) erőképletben két, elfordulási szögtől és helyzettől függő statisztikai változót vezettünk be, melyek eloszlásáról feltételezéseket kell megfogalmazni. A fajlagos forgácsolóerő függ az anyag szálszerkezetétől, mivel a maró előtolásának iránya az anyag szálirányával bizonyos, megmunkálástól és befogástól függően változó szöget zár be. Ez egy olyan eset, amelyet nagy sorozat- vagy tömeggyártás esetében összevethetőnek tartunk egy N elemű rendszer állapotváltozásaival. Bárhogy is helyezkedjen a munkadarab a marás irányához, mindig létrejön egy periodikus moduláló jel.

A második stochasztikus változó pedig – a rugalmas kihajlás következményeképpen – a marási mélység változása. A (8) differenciálegyenlet jobb oldala a két említett stochasztikus változó kompozíciójának eloszlását fogja követni. Egy ilyen modell belátásunk szerint nehezebben kezelhető, de a lengéskép közelebb lesz a kísérleti eredményekhez.

Következtetések

Jelen közleményben a statisztikai mechanika gépgyártástechnológiai alkalmazási lehetőségeit vitatjuk.

A gépgyártástechnológiához kapcsolódó gépészeti tudományterületeken szokásos modellalkotás egyik sajátossága az anyagmodell ideálisnak való feltételezése. Természetesen, ebben az esetben az alkalmazott értékek a sok esetben Maxwell- vagy normál leoszlásnak megfelelőített valószínűségi változók várható értékei.

Ez esetben – ahogy a marási példán keresztül is igazoltuk – kapunk eredményeket, melyek a makroszkopikus jellemzők közötti várható kapcsolatot leírják, de a modellt tovább lehet finomítani, mégpedig az anyag mikroszkopikus tulajdonságainak felhasználásával, illetve a modellbe való illesztésével. Az említett modellmódosítással az elméleti rezgésképet a valós, mért rezgésképhez pontosabban lehet közelíteni.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel – az agrárerdészeti mint új kitörési lehetőség” című projekt támogatta.

A biomassza energetikai hasznosítási lehetőségei

Összefoglalás: Napjaink energiaválsága, illetve a mezőgazdasági termelés jelentős energiaszükséglete megköveteli a műszaki tudományok részét képező energetika és az agrártudományok határterületein a főbb folyamatok általános törvényszerűségeinek feltárását. Ennek érdekében érdemes feltárni, elemezni a biomassza energetikai hasznosításának hatékonyságát. A mezőgazdaság és erdészet leggyakoribb energiaforrása a belsőégésű motorral működtetett traktor. A biomassza feldolgozása történhet terepen, mozgás közben és álló helyzetben egyaránt, így az erőgép belsőégésű motorja által felhasznált tüzelőanyag mennyisége alkalmas lehet a biomassza-feldolgozás energiaigényének becslésére. Jelen dolgozatban a biomassza feldolgozás energiaigényének mérési lehetőségét elemzem.

Kulcsszavak: Biomassza; tüzelőanyagfogyasztás; erőgép.

Abstract: The well-known energy situation, the significant energy demand of agricultural production, requires the exploration of the general laws of the main processes in the field of energy, which is part of the technical sciences, and the agricultural sciences. Therefore, it is worth exploring and analyzing the efficiency of energy utilization of biomass. The most common source of energy for agriculture and silviculture is the tractor. As biomass can be processed both in motion and when stationary, the amount of fuel used by the tractor engine can be used for estimating the energy demand for biomass processing. In my dissertation I analyze the possibility of measuring the energy demand of biomass processing.

Keywords: Biomass; fuel consumption; tractor.

* *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék*
E-mail: pjudit@ms.sapientia.ro

** *Dunaiújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*
E-mail: kovari@uniduna.hu

[1] Szendrei, J. (2005):
A biomassa energetikai
hasznosítása.
*Agrártudományi Köz-
lemények.* 2005/16.
Pp. 264–272.

Bevezető

Napjaink energiaválsága, illetve a mezőgazdasági termelés jelentős energiaszükséglete megköveteli a műszaki tudományok részét képező energetika és az agrártudományok határterületein zajló főbb folyamatok általános törvényszerűségeinek feltárását, elemzését. A fenntartható mezőgazdasági termelés a mezőgazdasági melléktermékek energetikai hasznosítását is figyelembe veszi. A mezőgazdasági melléktermékek a biomassa részét képezik. A biomassa környezettudományi fogalom, jelentése: biológiai úton létrejövő szervesanyag-tömeg. A nyersanyagként felhasználható biomassa a növénytermesztésből, az állattenyésztésből, az élelmiszeriparból, az erdőgazdaságból és a kommunális szférából származik. [1]

Biomassa energetikai hasznosítása tüzelőanyagként az alábbi formákban történhet:

- szilárd tüzelőanyag: tűzifa, kukoricaszár, rizshéj, trágya, egyéb mezőgazdasági hulladék, faforgács, fűrészpor, fanyesedék, faszén;
- folyékony tüzelőanyag: bio-üzemanyagok;
- gáznemű tüzelőanyag: biogáz.

A biomassa hasznosítása tüzelésre nem újkeletű, mégis tapasztalható, hogy ritkán alkalmazzák, inkább környezetszennyező módon kerül elégetésre.

Az aránylag fiatal agrárerdészeti ültetvényeket létrehozó gazdálkodók nem rendelkeznek elegendő tapasztalattal, az energiaárak hosszú távon kiszámíthatatlanok, így nehéz előre tervezni. Ennek érdekében a mezőgazdasági és erdészeti melléktermékek, valamint az agrárerdészetekben létrehozott biomassa energetikai hasznosításának energiamérlegét érdemes lenne feltárni, elemezni.

Elméleti háttér, a témához kapcsolódó információk

A biomassa-felhasználót két dolog érdekelheti: mekkora az energiabefektetés, illetve az energianyereség.

A mezőgazdaság és az erdészet leggyakoribb energiaforrása a belsőégésű motorral működtetett magajáró erőgép, a traktor. A belsőégésű motor a tüzelőanyagból

származó energiát mozgási energiává alakítja. Ez az energia a teljesítményátviteli rendszeren és a TLT-n, a teljesítmény-átviteli tengelyen keresztül az erőgép önkonvencióra, a munkagép vontatására és esetleges hajtására fordítódik. Mivel a biomassza feldolgozása történhet terepen, mozgás közben és álló helyzetben egyaránt, a belsőégésű motor által felhasznált tüzelőanyag mennyisége mindkét esetben alkalmas lehet a biomassza-feldolgozás energiafelhasználásának becslésére. [2]

A biomassza energetikai jellemzésére a fűtőérték alkalmas. Egy tüzelőanyag fűtőértéke az a hőmennyiség, amely 1 kg tüzelőanyagból nyerhető, (megj. a füstgázzal együtt távozó víz gőz halmazállapotban van), mértékegysége: [J/kg].

A szilárd tüzelőanyagok jellemzői [3]: a szénttartalom (C) legyen minél nagyobb; az oxigén-tartalom (O) legyen minél kisebb; a hidrogén-tartalom (H) legyen minél nagyobb; a nitrogén-tartalom (N) a korróziót jellemzi; a víztartalom is legyen alacsony. A fűtőérték számításához meghatározott összefüggések magyarázzák a jellemzők közti összefüggéseket:

$$Q = 196 C + 14119 \text{ [kJ/kg]}, \quad (1)$$

$$Q = 33500 C + 14300 H - 15400 O - 14500 N \text{ [kJ/kg]} \quad (2)$$

Célok, módszer

Dolgozatomban elemzem a munkagép-erőgép gépcsoport tüzelőanyag-fogyasztásának mérési lehetőségeit. Meghatározom a munkagép-erőgép gépcsoport energiafelhasználását különböző munkálatokra, anyagokra.

[2] Drunek(Pásztor), J. (2009): Researches on the energy optimization of the preparation works of the germination bed in greenhouses/„Transilvania” University of Braşov. Doctoral thesis.

[3] Voicea, I (2014): *Integrated technology for obtaining agripellets. INMATEH – Agricultural Engineering*. Vol.42.1/2014. Pp. 129–136.

Vizsgálatok, a téma kifejtése

A biomassza feldolgozása történhet terepen, mozgás közben és álló helyzetben egyaránt. A belsőégésű motor által felhasznált tüzelőanyag mindkét esetben az erőgép-munkagép gépcsoprt önvontatására és a munkagép hajtására fordítódik (1. ábra):

$$Q = Q_{\text{üresjárat}} + Q_{\text{biomassza-feldolgozás}} \quad [\text{J}], \quad (3)$$

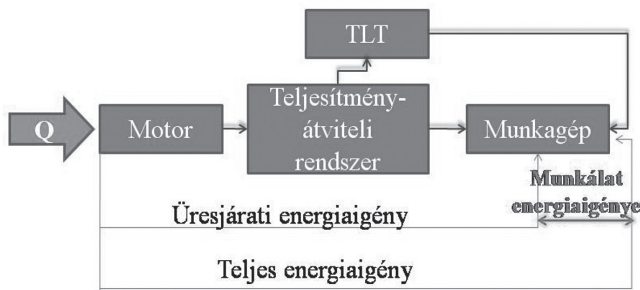
ahol: Q tüzelőanyaggal bevitt energia, [J]; $Q_{\text{üresjárat}}$ erőgép-munkagép üresjáratú tüzelőanyag-fogyasztása, [J]; $Q_{\text{biomassza-feldolgozás}}$ biomassza-feldolgozás energia-felhasználása, [J].

A munkálat energiaigénye egyszerűen kiszámolható a (3)-as összefüggésből:

$$Q_{\text{biomassza-feldolgozás}} = Q - Q_{\text{üresjárat}} \quad [\text{J}]. \quad (4)$$

A motor által felhasznált tüzelőanyag pontos mérésére kétutas átfolyásmérő alkalmas. A mérések többszöri ismétlésével adatgyűjtés történik. A mért adatok statisztikai feldolgozásával átlagbecslés végezhető.

1. ábra. Az erőgép-munkagép gépcsoprt energiafelhasználása



A munkálatok által felvett energiamennyiség fajlagosításával megbecsülhető az egységnyi tömegű vagy egységnyi térfogatú biomassza feldolgozásának energiaigénye.

Összefoglalás

A mezőgazdasági és erdészeti termelésben használt erőgép-munkagép gépcsoport tüzelőanyag-fogyasztásának mérése üresjáratban és munkaközben is egyaránt alkalmazható a biotermék feldolgozásához szükséges energiaigény meghatározására.

A mérési módszer kiterjeszthető különböző biotermék-anyagok feldolgozásának energiaigény-meghatározására. A tüzelőanyag-fogyasztás mérése alkalmazható helyben való megmunkálás, illetve mozgás közbeni feldolgozás esetén is.

Az eredmények felhasználhatók az [4] [5] [6] publikációkban megjelenő kutatási témákkal összefüggésben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel – az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség” című projekt támogatta.

[4] Kiss, E.–Radnai, L.–Horváth, M.–Kovács-Bokor, É.–Kása, G. (2016): Performance of an electrostatic cyclone in removing of airborne particles and in decomposition of NOx. In: *ICESP XIV conference Papers*. Pp. 1–4.

[5] Kiss, E.–Horváth, M.–Prohászka, T.–Sovák, M.–Kovács, I.–Kovács-Bokor, É. (2018): Investigation of red mud in order to utilize it. In: *Proceedings Book of 9th ICEEE-2018 International Conference on Climate Change and Environmental (Bio) Engineering*. Pp. 46–46.

[6] Kovács-Bokor, É.–Domokos, E. (2017): Determination of heavy metal content of river sediment and analysis of the accumulation of heavy metals by plants. In: *Proceedings of International Conference on Global Environmental Changes and Environmental Health: Environmental and Economic Impact on Sustainable Development*. Pp. 33–40.

Ózonkoncentráció-mérés 1. rész

– Bevezető: az ózon

Összefoglalás: Napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt kap a Föld légkörének magas ózonkoncentrációja, melynek jellemző élettani hatása van: erős oxidáló hatása miatt az egészségre ártalmas, a légutakban funkcionális és morfológiai változásokat okoz. Az ózon kellemetlen szagú, izgatja a szemet és a légzőszervek nyálkahártyáját, súlyosbítja a krónikus betegségeket, elsősorban a hörghurutot és az asztmát okoz. Az ózon a második legerősebb oxidálószer, emiatt – 0,1 és 3% koncentráció között – ideális fertőtlenítő, sterilizáló szer. Az ózon megfelelő használatához természetesen szükség van ózonkoncentrációt mérő berendezésekre, melyek természetesen elérhetőek a piacon, de meglehetősen magas áron, mivel az abszorpciós méréshez használt fényforrások nagyon drágák és kissé bizonytalanok. A félvezető optikai anyagok fejlődésével mára elérhetővé váltak a 255 nm hullámhosszon dolgozó UV LED-ek, illetve az ezen a tartományon is működő fényérzékelők. Ezekkel az eszközökkel az eddigieknél jobb ózonkoncentráció-mérőt készíthetünk.

Kulcsszavak: Ózon; ózonkoncentráció; UV.

** Dunaiújvárosi Egyetem, Műszaki
Intézet, Természettudományi és
Környezetvédelmi Tanszék
E-mail: koroknail@uniduna.hu*

[1] <http://ozonfriss.hu/hu-hu/ozon-info>

Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt kap a magas ózonkoncentráció a Föld légkörében, mely károsítja az emberi szervezetet, a növény- és állatvilágot egyaránt. Számos kutatás foglalkozik a levegő ózonkoncentráció-tartalmának csökkentésével, melynek célja a Föld megóvása, illetve a már bekövetkező károsodások megfékezése.

Ózonnal nemcsak a Föld légkörében találkozunk, hanem otthoni használatkor, illetve gyakran által füstök, gázok között is. Dolgozatom témája is ehhez kapcsolódik.

Az ózon a második legerősebb oxidálószer a fluor után, ugyanakkor nem hagy tartósan jelenlévő maradványokat maga után, mivel legfeljebb 11 órás felezési idővel átalakul oxigénné, ami többnyire természetes része a környezetnek. A nagy oxidációs potenciál miatt – 0,1 és 3% koncentráció között – nagyon jó fertőtlenítő, sterilizáló szer. Az ózon megfelelő használatához természetesen szükség van ózonkoncentráció-mérő berendezésekre, amelyek természetesen elérhetőek a piacon, de meglehetősen magas áron, mivel az abszorpciós méréshez használt fényforrások nagyon drágák és kissé bizonytalanok.

A félvezető optikai anyagok fejlődésével mára elérhetővé váltak a 255 nm hullámhosszon dolgozó UV LED-ek és az ezen a tartományon is működő fényérzékelők. Ezekkel az eszközökkel az eddigieknél jobb ózonkoncentráció-mérőt készíthetünk. A cikksorozat ezt tárgyalja.

Az ózon

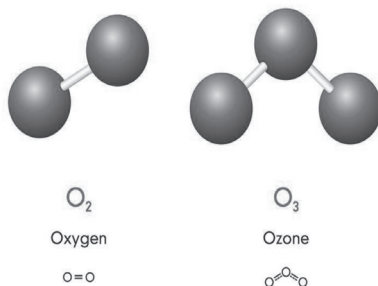
AZ ÓZON TULAJDONSÁGAI

Az ózon (O₃) egy három oxigénatomból álló molekula. Normál körülmények között láthatatlan, nagy tömegben halványkék árnyalatú, szúrós szagú gáz, -112 °C alatt sötétkék folyadék, -193 °C alatt sötétkék és kristály halmazállapotú.

Az Ózon rendkívül instabil vegyület: igen rövid idő alatt közönséges oxigénmolekulára (O₂) és egyatomos, rendkívül reagens, úgynevezett nascensz oxigénre bomlik. Ha oxidálható anyaggal érintkezik, bomlása már alacsony hőmérsékleten is rendkívül gyors.

Az ózon gáz halmazállapotában nem jól tárolható, és szállítható, ezért felhasználása során a helyszínen állítják elő. Villámcsapás közelében nagy mennyiségben keletkezik az ún. koronakisülés hatására, de minden 185 nm közeli hullámhosszú UV (UV-c) sugárzás is ózont fejleszt. [1]

1. ábra. O₂ és O₃ molekula [2]



[2] <https://hu.depositphotos.com/8513838/stock-illustration-ozone-and-oxygen-atom-and.html>

KÉMIAI TULAJDONSÁGOK

Az ózon (O₃) tompaszög alakú, enyhén poláris, 3 oxigén atomból álló instabil molekula. Az ózon és az oxigén egymás allotróp módosulatai.

Instabil molekula, emiatt közönséges oxigén molekulára (O₂) és egyatomos, rendkívül reagens, ún. nascensz oxigénre bomlik.

Az egyik legerősebb oxidálószer. Ha oxidálható anyaggal érintkezik, már alacsony hőmérsékleten is azonnali robbanásszerű bomlás jön létre. Az oxidálható anyagok, beleértve az alkének, a benzol és más aromás vegyületek (gumi, dicyanogen, brómdietil-éter, dintrogen-tetroxid, nitrogén-triklorid, hidrogén-bromid és tetraluorohydrazine) az ózonnal könnyen reagálnak, és normál külső hőmérséklet mellett spontán lebomlanak.

Ennek a tulajdonságának köszönhetően az ózon az egyik legerősebb fertőtlenítő hatású anyag. Ha bármiféle mikroorganizmussal kapcsolatba kerül (pl.: baktérium, penész, gomba, vírus, bármely szagot okozó elem vagy oxidáló anyag), azt azonnal megsemmisíti vagy csapadék formájában oxidálja és kiszűrhetővé teszi.

Az ózonos oxidálási folyamat olyan eredményes, hogy a mikroorganizmusok nem tudnak immunitást felépíteni, nem úgy, mint ahogy a hagyományos vegyszerek esetében. [1]

FIZIKAI TULAJDONSÁGOK

[1.] <http://ozonfriss.hu/hu-hu/ozon-info>

1. táblázat. Az ózon fizikai állapota normál körülmények között [1]

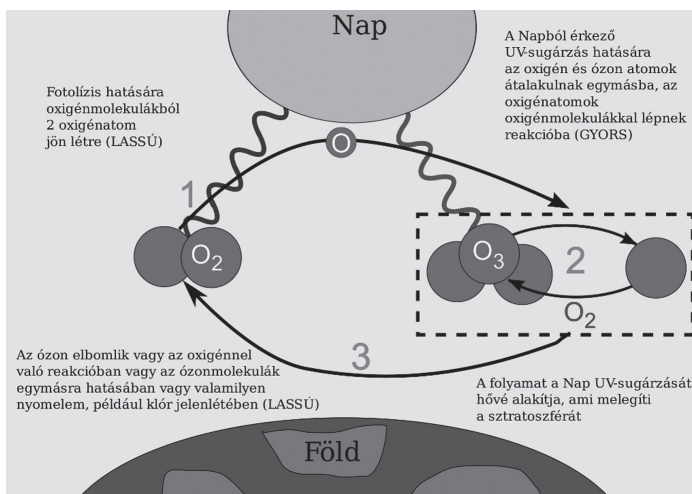
Kémiai képlete	O ₃
Fizikai állapot	Gáz
Molekulatömeg	48.0
Sűrűség	2,14 kg/m ³
Megjelenés	Tiszta: alacsony koncentrációkban Kék: magasabb koncentrációknál
Szag	Jellegzetes szűrő szagú
Olvadáspont	-193 °C
Forráspont	-112 °C
Oldhatóság vízben	570 mg/L20 °C, 100% O ₃ , 0,640 °C

AZ ÓZON KELETKEZÉSE

A légkörben úgy jön létre, hogy az ultraibolya-sugárzás hatására egy oxigénmolekula felbomlik oxigénatomokra: az így keletkező oxigénatom ütközik egy oxigénmolekulával, és ózonmolekulát hoz létre. Az ózon elnyeli a káros ultraibolya sugarakat, amelyek bőrrákot, vakságot és immunrendszer-károsodást okozhatnak.

A Napból mindenféle hullámhosszúságú elektromágneses sugárzás érkezik, azonban a 190 nm-nél rövidebb hullámhosszakat a légkör oxigénje elnyeli, és ózon keletkezik, melynek koncentrációja a magassággal változik, de a legnagyobb értéket a sztratoszférában éri el, mintegy 24 km-es magasságban. Ez a koncentráció ott mintegy 5ppm. Látszólag nem sok, azonban ez a 40 km vastag – igaz, változó koncentrációjú – ózonréteg óriási anyagmennyiséget jelent.

2. ábra. Az ózon keletkezése [3]



[3] <https://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%93zonr%C3%A9teg>

[4] Környezetvédelem és Energiagazdálkodás jegyzet

Ennek az ózonrétegnek az a szerepe, hogy elnyelje és ne engedje a Föld felszínére a 360 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú elektromágneses sugárzást. Ezt a szolgálatot az ózon azóta végzi, mióta a tengerek felső néhány méterében megjelent az élet.

Így az ózonréteg a földi életet védi a 360 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú elektromágneses sugárzástól, azt mondjuk, hogy ózonpajzsként működik. A földi élet nem szokott hozzá a rövidhullámú sugárzáshoz, ezért az ózonréteg, az ózonpajzs sérülése károkat okozhat.

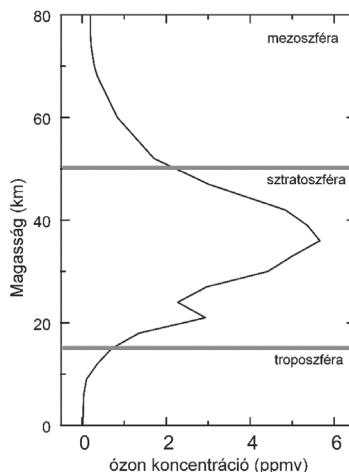
Sajnos, napjainkban a klórtartalmú anyagok (CFC-k), mint például a freonok, a széntetraklorid vagy más anyagok, mint a nitrogéndioxid, a sztratoszférába felkerülve, katalitikus hatásukkal roncsolják, vékonyítják az ózonréteget.

Különösen a déli féltekén jelentős ez a hatás, az Antarktisz felett már nincs is ózonréteg, s sok esetben Ausztrália, Új-Zéland és Dél-Amerika egyes területein annyira elvákonyodik az ózonréteg, hogy a növényzet megég, az emberek és az állatok égési sérüléseket szenvednek a szabad ég alatt. Különösen a halászok és a mezőgazdasági munkások szenvedik meg ezt a káros jelenséget. [4]

[5] Levegőtisztaság-
védelem előadási
anyag.

[9] <http://www.beltanoda.hu/segedanyagok/foldrajz/SMOG.pdf>

3. ábra. Az ózonkoncentráció a troposzférában és a sztratoszférában [5]



TROPOSZFÉRIKUS ÓZON

A föld légkörének legalsó rétege, ahol az időjárási jelenségek nagy része lejátszódik. A Föld felszínén kezdődik, és a trópusi területeken 16–18 km magasságig, míg a sarkköröknél 10 km magasságig tart. [5]

Los Angeles szmog

A Los Angeles szmog, más néven fotokémiai szmog fő okozója az ózon, a kipufogó gázokból származó nitrogénoxidok (NO, NO₂), valamint szénhidrogének keveréke.

A nappali UV-sugárzás hatására előbb ózon, majd a fenti vegyületekből reaktív szerves gyökök, végül peroxi-alkil-nitrátok keletkezhetnek.

A fotokémiai szmog erősen izgatja a nyálkahártyát, az ózon pedig károsítja a növények leveleit. A fotokémiai szmog 25–35 °C hőmérséklet, alacsony páratartalom és 2 m/s alatti szélsébség esetén jöhet létre. Ilyen típusú szmogot először 1985-ben észleltek Magyarországon. [9]

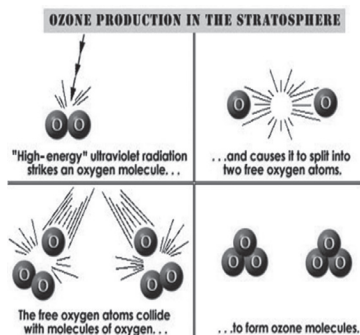
4. ábra. Los Angeles szmog



SZTRATOSZFÉRIKUS ÓZON

Alsó határa a közepes szélességi körökön 10, felső határa pedig 50 km magasságban van, a sarkköröknél azonban 8 kilométeres magasságban kezdődik. A hőmérsékleti rétegződés hatására a sztratoszféra dinamikusan stabil: nincs szokványos hőáramlás és az ehhez kapcsolódó turbulencia. A hőmérséklet-növekedést a magasabb rétegekben található ózonréteg okozza, amely elnyeli a nap ultraibolya sugarait és eközben megnöveli a rétegek hőmérsékletét. [5]

5. ábra. Ózon keletkezése a sztratoszférában [7]



[7] https://www.google.hu/search?biw=664&bih=609&tbm=isch&sa=1&ei=Cz7nW4POCKrmsAes0Jf4Cw&q=%C3%B3zon+molekula&oq=%C3%B3zon+molekula&gs_l=img.3...81326.84288.0.84527.17.11.1.0.0.0.519.2002.4-1j3.4.0...0...1c.1.64.img..13.1.498...0j0i5i30k-1j0i8i30k1j0i24k1.0.wKb8xkj01wM

[8.] http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/DobsEgys_.htm

Dobson-egység (DU)

Az ózonréteg oszlopsűrűségének mértékegysége. Ha egy adott alapterületű levegőoszlopban lévő összes ózont a Föld felszínén egyenletesen szétoszlatnának, 1 DU-nak megfelelő mennyiség 1 atmoszféri légnyomáson, 0 °C hőmérsékleten 0,01 mm vastag réteget képezne.

A földi légkör normális ózontartalma 300 DU körüli, vagyis 3 mm vastagon borítaná be a Földet. [8]

AZ ÓZON MEGJELENÉSE AZ ŐSLÉGKÖRBEN

Megkülönböztetünk elsődleges és másodlagos őslégkört.

Az elsődleges légkör 4,5 milliárd évvel ezelőtt keletkezett

- hidrogénből,
- héliumból,
- nemes gázokból (neon, argon).

A másodlagos légkör 3,6 milliárd évvel ezelőtt keletkezett vulkáni kigázosodás, illetve becsapódási kigázosodás révén. A kialakuló légkör most már bizonyos fokú védelmet nyújtott. Ekkor a légkörben már más anyagok is megtalálhatóak voltak, mint például:

- szén-dioxid,
- vízgőz,
- kén,
- nitrogén,
- hidrogén.

A légkör oxigéntartalmának növekedése a másodlagos légkör kialakulásától indult meg. Egyesek a sztromatolitokat fosszilis zátonyoknak tekintették, melyeket különböző típusú algák hoztak létre.

Mások, a sokkal szkeptikusabbak, a sztromatolitokat pusztán abiotikus folyamatok eredményeként értékelték. Ekkor már kezdtek megjelenni a prekambriális, fosszilis, mikroszkopikus méretű növények.

Az oszlopszerű sztromatolitok rétegeiben megfigyelt GUNFLIT-fossziliák többsége, a modern cianobaktériumokhoz (kék-zöldalgákhoz) és a baktériumokhoz hasonlít.

2,7 milliárd évvel ezelőtt a fotoszintetizáló mikroorganizmusok egyre több oxigént juttattak az őslégkörbe, a felszabaduló oxigén majdnem teljes mennyiségét óceáni vasvegyületek kötötték meg.

A 2.2 milliárd évvel ezelőtti oxigénszint a mai szint 1%-ának felelt meg (a mai légkör 21%-a oxigén), mely érték 1,9 milliárd éve a mai mennyiség 15%-ára emelkedett.

Az oxigénhiányt kedvelő mikroorganizmusoknak alkalmazkodniuk kellett az ősi körülményekhez, így az üledékbe telepedve és a felszín alatt éltek tovább. Több, mint 2 milliárd éve át a mikroorganizmusok uralták a bioszférát. Pl. termofil fermentálók, anoxigenikus fotoszintézist végzők, sztromatolitok, aerob légzők, nitrifikálók, denitrifikálók. Az eukarióták kialakulását és térhódítását a légkör megnövekedett oxigénszintje tette lehetővé, mintegy 2,7–1,8 milliárd éve.

A légköri oxigén biológiai eredetű, oxigenikus mikroorganizmusok életműködésének melléktermékeként keletkezett. A földtörténet korai szakaszában O_2 kialakulhatott a víz fotodisszociációja során is. A vízből H_2 és O_2 szabadult fel, a hidrogén kидiffundált a világűrbe, az oxigén viszont – a hidegcsapdának köszönhetően – a légkörben maradt.

Urey-szint

A maximális oxigénszint, amit fotodisszociáció útján lehet elérni, kb. ezredrésze a mai koncentrációnak (0,001 PAL). Ezen a szinten a fotodisszociáció leáll. Az Urey-szintnél magasabb O_2 koncentráció elérése csak biológiai úton lehetséges.

Az UV sugárzás a vizek felső 10 m-ét járja át. A Nap UV-sugárzása bontja a vízmolekulákat, és molekuláris oxigén jön létre. Ez az O_2 igen rövid életű volt, mivel – ugyancsak az UV-sugárzásnak köszönhetően – ózonná alakult. Ebből kialakult egy, a vízfelszín közelében lévő vékony ózonréteg.

Pasteur-szint

Körülbelül 3,5 milliárd évvel ezelőtt megjelent oxigenikus élőlények, kékbaktériumok a légkör O_2 -tartalmát fokozatosan emelték, mely 2 milliárd évvel ezelőttre elérte azt a szintet, ami lehetőséget nyújtott az eukariota szervezetek kifejlődésére. Ez a jelenlegi oxigénkoncentráció század része (0,01 PAL).

Az ózonszint növekedik, a vizeknek már csak mintegy 30 cm-es felső rétege lakhatatlan. 0,1 PAL esetében az ózonréteg eléri azt a vastagságot, amely elég ahhoz, hogy a szárazföldön se legyen küszöbérték feletti az UV-sugárzás, s megindulhat a szárazulatok benépesítése. Erre kb. 600–700 millió évvel ezelőtt került sor. [5]

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel – az agrárerdész mint új kitörési lehetőség” című projektje támogatta.

[5.] Levegőtisztaság-védelem-előadási anyag.

Újabb növényi kísérletek ipari iszapokkal

Összefoglalás: Napjaink ipari folyamatai során számos melléktermék keletkezik, például iszapok formájában. Ezek az iszapfajták technológiától függően jelentős mennyiségben tartalmazhatnak nehézfémeket, valamint olyan értékes elemeket, amelyeket később a technológiában újra tudnánk hasznosítani. Ezen elemek csökkentésének egyik módja a növényekkel történő fitoextrakció. Kutatásunk fő célja volt, hogy megállapítsuk az ipari iszap és talajkeverékeken nevelt növények fitoremediációs potenciálját. Kísérleteink során konverteriszap és lösztalaj 5–10–15–20–25%-os keverékeit alkalmztuk. A tesztnövény őszi búza volt. A kísérlet végére elmondható, hogy az iszap-talajkeverékekben a cink 53%-kal, az ólom 50%-kal csökkent. Az őszi búza a kadmiumot és az ólmot nehezebben tudta felvenni, és főként a gyökerében akumulálta a nehézfémeket.

Kulcsszavak: Konverteriszap; cink; ólom; fitoextrakció; bioremediáció.

Abstract: Many industrial processes produce different kind of by-products as sludges. Those various sludge-types can contain heavy metals or other valuable elements which can be reusable in technologies. Phytoextraction can be one of the solutions of reducing the concentration of these elements in sludge. Our aim is to determine the phytoremediation potential of the test plants which were grown in mixtures of industrial sludge and soils. During the experiments various mixtures (5–10–15–20–25%) of converter sludge and loess soil-type mixtures were used. Wheat (*Triticum aestivum*) was applied as test plant. The results emphasized that the zinc and lead concentration in the mixtures was decreased by plants in the ratio of 53 and 50%. Wheat could hardly uptake cadmium and lead and most of the heavy metals were accumulated mainly in roots.

Keywords: Converter sludge; zinc; lead; germination; phytoextraction; bioremediation.

* Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természet-
tudományi és Környezetvédelmi
Tanszék

E-mail: kovacsbe@uniduna.hu

** Pannon Egyetem

E-mail: domokos.endre@uni-
pannon.hu

*** Dunaújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természet-
tudományi és Környezetvédelmi
Tanszék

E-mail: kisse@uniduna.hu

[1] Yaozu, W.–Zhengjian, L.–Jianliang, Z.–Rui M.–Yapeng, Z. (2020): Advanced converter sludge utilization technologies for the recovery of valuable elements: A review, *Journal of Hazardous Materials*. Volume 381. 5 January 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120902>

[2] Laura, M. P.–Lothar, R.–Hajo, H. (2010): The Essential Toxin: Impact of Zinc on Human Health, *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2010. 7. Pp. 1342–1365; doi:10.3390/ijerph7041342

[3] WHO: *Lead poisoning and health* (2019). Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

[4] Ali, H.–Khan, E.–Sajad, M. A. (2013): Phytoremediation of heavy metals „concepts and applications”. *Chemosphere*. 91. Pp. 869–881.

[5] Hooda, V. (2007): Phytoremediation of toxic metals from soil and waste water. *Journal of Environmental Biology*. 28. (2). Pp. 367–376.

Bevezető

Napjainkban köztudott, hogy környezetünk minőségét erőteljesen befolyásolják az ipari termelés során keletkező káros, szennyező anyagok, illetve a lakosság erősen befolyásolni tudja. Az alkalmazott termelési folyamatok során sokféle melléktermék, iszap és salak keletkezhet, amelyek fémoxidok mellett akár nehézfémeket is tartalmazhatnak. Ezen fémek közül vannak, amelyek toxikusak a környezet élővilágára (pl. kadmium, higany, ólom), míg más összetevők esszenciálisak (pl. réz, cink), de akadnak közöttük olyan elemek is (pl. ritkaföldfémek), amelyek alapanyagként újrahasznosíthatóak lennének a technológiákban.

Kutatásainkhoz a rendelkezésünkre álló iszapok közül az ISD-Dunaferr Kft.-nél keletkező konverteriszapot választottuk ki. Ez az iszap az acélgyártási folyamatok során keletkezik. A gyártás során a folyékony vasba nagynyomású oxigént fújnak be, minek következtében a fémes elemek (pl. cink, ólom) a felszabaduló gázokba jutnak. Ezt a gázt később nedves leválasztási módszerrel tisztítják meg, így a fémes elemek az iszapba kerülnek át. Az iszap emiatt nagy koncentrációban tartalmaz többek között cink-oxidot és ólom-oxidot. [1]

A cink és az ólom a megengedett határérték feletti mennyiségben mérgező hatást gyakorol a környezetre, felhalmozódhat a táplálékláncban. A cink mint esszenciális elem könnyen akkumulálódik, de túl nagy koncentrációban letargiát, légzőszervi rendellenességeket, fémfüst-lázat, émelygést okozhat. [2] Az ólom a gyerekeknél és a felnőtteknél is egészségügyi problémákat okozhat. Főként a csontokban és a fogakban halmozódik fel. Túlzott mennyisége esetén növeli a magas vérnyomás kialakulási esélyét, a vesekárosodás kockázatát. Gyermekeknél az agyat és a központi idegrendszert támadja meg, görcsöket, kómát és akár halált is okozhat. [3]

Ma már számos fizikai, kémiai és biológiai remediálási módszer ismert a toxikus elemekkel szennyezett iszapok remediálására. Ezek közül a biológiai, fitoremediációs módszereknél növényeket alkalmazunk ahhoz, hogy az elszennyezett talajokban, folyóvízi és ipari iszapokban határérték alá csökkentsük a toxikus összetevők mennyiségét. Az úgynevezett fitotechnológiák és fitoremediációs folyamatok között sokféle módszer ismert, úgymint a fito-extrakció, fito-volatilizáció, fito-filtráció, fito-stabilizáció, fito-degradáció. [4] [5]

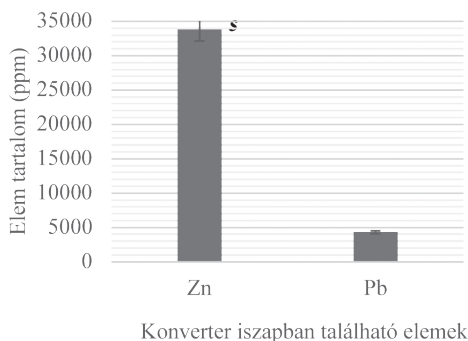
Ezen eljárások előnye, hogy használatuk során nem alkalmazunk további vegyszereket a környezet terhelésére, valamint ezáltal egy extra biomasz-mennyiséget termelünk, amit felhasználhatunk akár energiatermelésre is.

Elméleti háttér, témához kapcsolódó információk

A KÍSÉRLETHEZ FELHASZNÁLT KONVERTERISZAP JELLEMZŐI

A konverteriszap az acélgégyártás során a konvertergáz nedves tisztításának mellékterméke. Fő összetevői közé főként a nehézfém-oxidok – például Zn-, Pb-oxidok – tartoznak, amelyek koncentrációja a felhasznált hulladék-keverékétől függ. Az iszapban található cink koncentrációja: 0,67–4-5% közötti is lehet. Az ISD-Duna-ferr Zrt-nél keletkező mennyisége mintegy 30 000 t/év. Az ebben található cink mennyisége elérheti az 1185 t/év mennyiséget. [6] Az 1. és 2. ábrán a kísérleteink során felhasznált konverteriszap-minták fémtartalmát mutatjuk be. A fémek mennyiségét XRF készülékkel mértük meg. A mintákban található cink mennyisége 33 842 ppm (3,38 %), az ólom koncentrációja pedig 4483 ppm (0,44 %) volt.

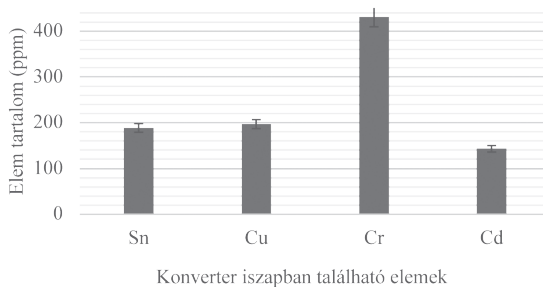
1. ábra. A konverteriszap cink- és ólomtartalma (ppm)



A 2. ábra adatai szerint a konverteriszap a cink és ólom mellett 0,01% kadmiumot, 0,4% krómot, 0,02% rezet és ónt tartalmaz.

[6] Márkus R.–Grega O. (2011): „Veszélyes hulladéknak minősülő ipari eredetű porok és más hulladékok veszélyességének megszüntetése, hasznosítási lehetőségeik kidolgozása.” Retrieved from <https://www.kfki.hu/~anyag/tartalom/2011/1/osszefoglalo.pdf>

2. ábra. A konverteriszap további elemtartalma (ppm)



Ha ezeket az eredményeket összehasonlítjuk a magyarországi határértékekkel (6/2009 KvVM-EüM-FVM rendelet), akkor elmondhatjuk, hogy a konverteriszap krómtartalma ötszöröse, kadmiumtartalma 143-szorosa, réztartalma 2,5-szerese, cinktartalma 169-szerese, és ólomtartalma 43-szorosa a megengedett határértéknek.

Célok, módszer

Kutatásunk fő célja olyan növényfajták keresése volt, amelyek a jövőben felhasználhatók a szennyezett talajok, iszapok in-situ kármentesítésében. További célunk volt az ipari iszapokban (konverteriszap) található nehézfémek, más értékes elemek különböző növényfajokon/fajtákon belüli akkumulációjának feltárása, az elemtartalom változásának megállapítása.

FITOEXTRAKCIÓS LABORKÍSÉRLETEK ELŐKÉSZÍTÉSE

A fitoextrakciós kísérletek során különféle talajok és konverteriszap adott arányú keverékeit alkalmaztuk. A konverteriszap talajokba történő bekeverési arányai az alábbiak voltak: 5–10–15–20–25%. A keverékek elkészítése előtt mind az iszap-, mind a talajmintákat előkészítettük, azaz kiszárítottuk és porítottuk. Az adott arányú keverékeket táramérleg segítségével készítettük el, 100%-os tömegnek a talajminta tömegét vettük.

Az ebben a tanulmányban bemutatott kísérletekhez lösztalajt használtunk fel. A lösztalaj pH-értéke 8,1 volt, mintavétele Dunaújvárosban a helyi löszpart területéről, a Siklói útról történt meg.

Tesztnövényekként a szakirodalomban használatos növényfajtákat választottuk ki. A laborkísérletek során használt tesztnövények az alábbiak voltak:

- Búza (*Triticum aestivum*)
- Angol perje (*Lolium perenne*)
- Fejessaláta (május királya) (*Lactuca sativa*)
- Sárgarépa (Vörös óriás) (*Daucus carota*)
- Lóbab (*Vicia faba*)
- Fehér mustár (*Sinapis alba*)
- Szirti ternye (*Alyssum saxatile*)
- Mezei tarsóka (*Thlaspi arvense*)
- Zöldborsó (*Pisum sativum*)

A felsorolt tesztnövények közül a kísérletek során bebizonyosodott, hogy laborkörülmények közötti neveléshez leginkább az őszi búza, az angol perje és a zöldborsó a legalkalmasabb (4. ábra). A növényneveléshez egy, az általunk kialakított fénypolcot használtunk fel (3. ábra), amely polcaira összesen 6 db 120 cm-es V-TAC 6326 típusú, 18W-os teljesítményű és 1530 lm fényerősségű növénynevelő LED-fénycső lett felszerelve.

3. ábra. A laborkísérletekhez felhasznált növénynevelő fénypolc



4. ábra. A növénynevelő fénypolccal végzett növénynevelési kísérlet



ISZAP ÉS TALAJKEVERÉKEK, NÖVÉNYMINTÁK ELEMTARTALMÁNAK MÉRÉSE. (5. ábra)

A méréseket X-MET 5100 XRF (röntgenfluoreszcens) mérőműszerrel végeztük el (5. ábra). A kézi készülékkel háromszor „mértünk rá” a mintákra, 30 sec mérési idővel. A továbbiakban a három mérés átlageredményeit mutatjuk be.

A röntgenfluoreszcens (XRF) méréstechnika az elemanalízis során egyre inkább kezd elterjedni az iparban, mert kevés mintaelőkészítést igényel. Előnye, hogy nemcsak laborban, de terepen is jól használható, hiszen fröccsenővíz- és porálló és $-10-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ között használható. A készülékkel egy mérési idő 15–60 sec között változtatható.

5. ábra. Elemtartalom mérése XRF-készülékkel

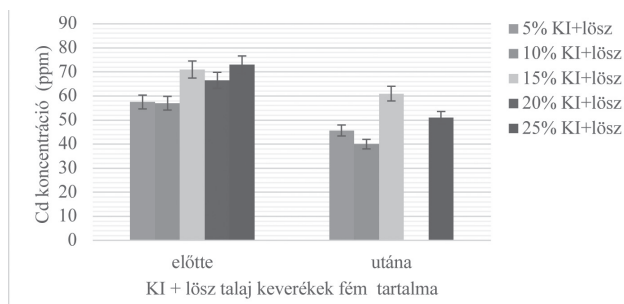


Eredmények

KONVERTERISZAP ÉS LÖSZTALAJ-KEVERÉKEK ÉS AZ ŐSZI BÚZA KADMIMUM-TARTALMA

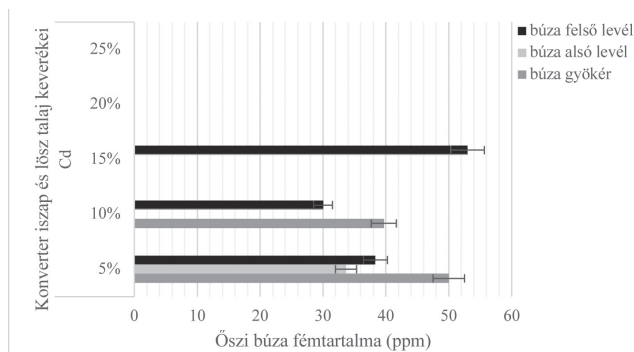
A 6. ábra adatai alapján elmondható, hogy a keverékekben a kezdeti kadmium-tartalom a növénynevelési kísérlet végére csökkent. A csökkenés mértéke átlagosan 48% volt.

6. ábra. A konverteriszap és talajkeverékek kadmium-tartalma (ppm)



A 7. ábra alapján látható, hogy az őszi búza nehezen vette fel a kadmiumot. Ezt az elemet főként a gyökérzetében akkumulálta, a levelek felé kevésbé tudta transzlokálni. A legjobb eredményeket az 5%-os konverteriszapos keverék esetén kaptuk.

7. ábra. A konverteriszap- és talajkeverékeken növekedett őszi búza kadmium-tartalma (ppm)



KONVERTERISZAP ÉS LÖSZTALAJ-KEVERÉKEK ÉS AZ ŐSZI BÚZA ÓLOMTARTALMA

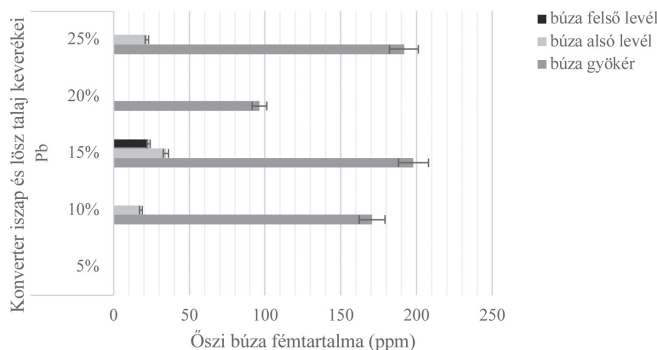
A 8. ábra adatai alapján megállapítható, hogy a keverékekben a kezdeti ólomtartalom a kísérlet végére csökkent. A csökkenés mértéke a keverékek szerint 24–57% között mozgott, átlagosan 50%-os volt.

8. ábra. A konverteriszap és talajkeverékek ólomtartalma (ppm)



A 9. ábra alapján látható, hogy az őszi búza a kadmiumhoz képest jobban akkumulálta az ólmot. Az ólomtartalom legnagyobb részét a gyökérzetből mutattuk ki, ami azt jelenti, hogy ez a növény ezt az elemet csak kevésbé tudta transzlokálni a felsőbb növényi részek felé. A legjobb eredményeket az 15%-os konverteriszapos keverék esetén kaptuk.

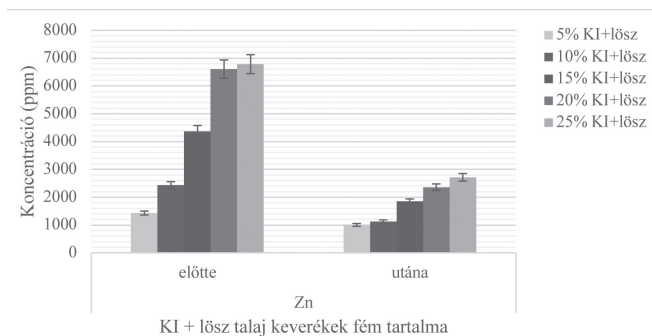
9. ábra. A konverteriszap és talajkeverékeken növekedett őszi búza ólom tartalma (ppm)



KONVERTERISZAP ÉS LÖSZTALAJ-KEVERÉKEK ÉS AZ ŐSZI BÚZA CINKTARTALMA

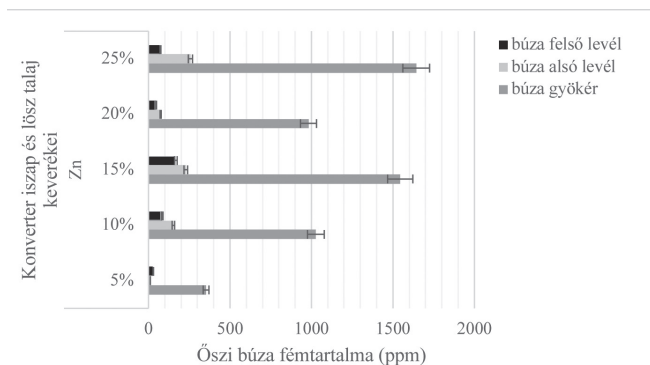
A 10. ábra bemutatja az iszap–talaj-keverékek cinktartalmának változását az őszi búza ültetése előtt és után. Az adatok alapján megállapítható, hogy a keverékekben a kezdeti cinktartalom lecsökkent. A csökkenés mértéke 35–70% között mozgott, és átlagosan 53%-os volt.

10. ábra. A konverteriszap és talajkeverékek cinktartalma (ppm)



A 11. ábra az őszi búza cink felvételét mutatja be keveréktípusonként. A cink felvételét az is könnyebbé teszi, hogy ez az elem az esszenciális elemek közé sorolható. Bizonyos mennyiségben a növénynek a megfelelő fejlődéséhez szüksége van rá, ezért könnyebben akkumulálható számára. A cinktartalom legnagyobb része a gyökérzetben található, de ezt az elemet a tesztnövény jelentős mértékben képes volt a felső levelek felé transzlokálni. A konverteriszap bekeverési aránya szerint látható, hogy minél több konverteriszap volt a lösztalajhoz keverve, annál nagyobb mértékű volt a növény elem-akkumulációja.

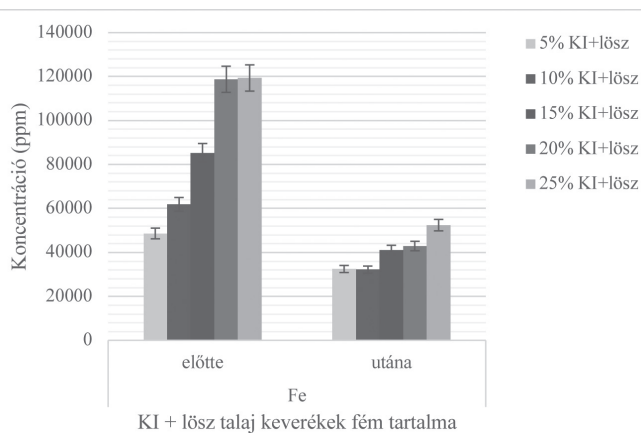
11. ábra. A konverteriszap és talajkeverékeken növekedett őszi búza cinktartalma (ppm)



KONVERTERISZAP ÉS LÖSZTALAJ-KEVERÉKEK ÉS AZ ŐSZI BÚZA VASTARTALMA

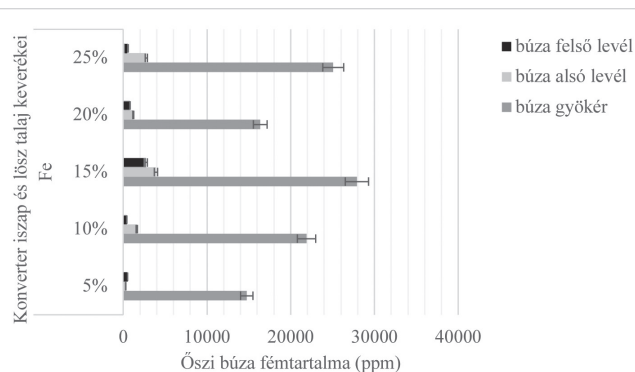
A 12. ábráról levonható az a következtetés, hogy a vastartalom az iszap–talaj-keverékekben – az őszi búza vasfelvételének köszönhetően – szintén csökkent. A csökkenés mértéke 33–63% között mozgott, átlagosan 50%-os volt. A legnagyobb mértékű csökkenés a 20%-os iszap–talaj-keverékben volt megfigyelhető.

12. ábra. A konverteriszap és talajkeverékek vastartalma (ppm)



A 13. ábrán a teszt növény vasfelvételét figyelhetjük meg keveréktípusonként. A vastartalom legnagyobb része ennél az elemnél is leginkább a növény gyökérzetében található, de minél több volt a konverteriszap a lösztalajban, a növény annál nagyobb mértékben tudta transzlokálni ezt az elemet a felső levelek felé.

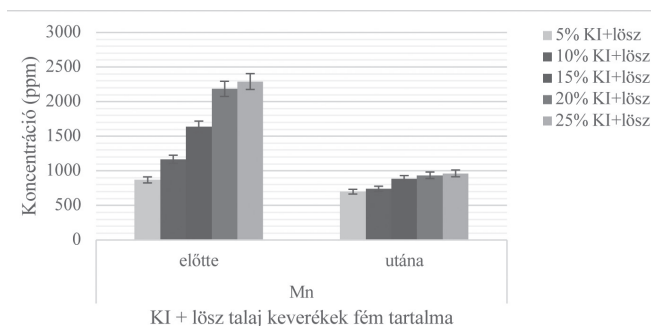
13. ábra. A konverteriszap és talajkeverékeken növekedett őszi búza vastartalma (ppm)



KONVERTERISZAP ÉS LÖSZTALAJ-KEVERÉKEK ÉS AZ ŐSZI BÚZA MANGÁNTARTALMA

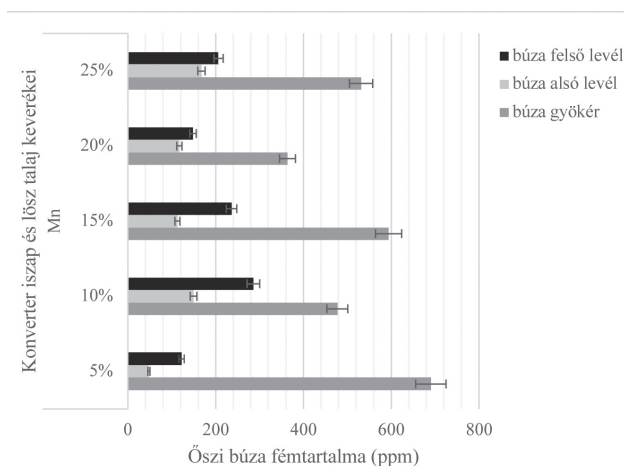
A teszt növény mangánfelvételének köszönhetően a mangántartalom az iszap–talaj-keverékekben szintén lecsökkent (14. ábra). A csökkenés mértéke 20-58% között mozgott, átlagosan 43%-os volt. A legnagyobb mértékű csökkenés a 25%-os iszap–talaj-keverékben volt megfigyelhető.

14. ábra. A konverteriszap és talajkeverékek mangántartalma (ppm)



Az őszi búza a mangánt szintén könnyen felvette a keverékekből (15. ábra). Bár ennél az összetevőnél is inkább a gyökérzet raktározta el nagyobb mértékben az elemeket, jelentős volt az áthelyeződés a levelek felé is.

15. ábra. A konverteriszap és talajkeverékeken növekedett őszi búza mangántartalma (ppm)



Eredmények értékelése, következtetések

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy az őszi búza akkumulációjának hatására csökkent a konverteriszap és lösztalaj keverékeinek fémtartalma. A keverékekben a vastartalom 50%-kal, a mangántartalom 44%-kal, a réztartalom 83%-kal, a cinktartalom 53%-kal, a kadmiumtartalom 48%-kal és az ólomtartalom 50%-kal csökkent.

A laborkísérletek alapján megállapítható, hogy az őszi búza főként a gyökerében képes a nehézfémeket akkumulálni, az akkumuláció mértéke nagyobb iszapbekeverési arány mellett növekedett a növényi részekben; a Mn, a Zn, és a Fe könnyebben akkumulálódott a búza felső részeiben. A búza nehezen akkumulálta a kadmiumot és az ólmot.

További kutatási tervünk újabb laborkísérletek elvégzése további növényfajták bevonásával, valamint a növények egymásra hatásának, szinergiájának vizsgálata az ipari iszapok fémtartalmának akkumulációja szempontjából.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 és az EFOP-3.6.1.-16-2016-00003 pályázat nyújtotta támogatást.

Nehézfémek forrásai és felhalmozódása

Összefoglalás: A légkörbe kerülő nehézfémek többségének forrása a kohászat, hőtermelési építmények, belsőégésű motorok, vegyszerek, bányászat, hulladéklerakás. Rendszerint nagy területeket szennyezve a kibocsátás helyéhez közel jutnak vissza a talajba. A közlekedési és az ipari tevékenységen túlmenően, a nehézfém szennyeződésnek mezőgazdasági okai is lehetnek. Ilyenek elsősorban a műtrágyák, szerves trágyák, szennyvizek, szennyvíz iszapok, peszticidek. A cikkben a nehézfémek jellemzése, emberi szervezetre gyakorolt hatásai kerülnek összefoglalásra.

Kulcsszavak: Nehézfém; előfordulás; környezeti terhelés.

Abstract: The source of most of the heavy metals entering the atmosphere is metallurgy, heat generation structures, internal combustion engines, chemicals, mining, and landfill. They usually return to the soil close to the point of discharge, contaminating large areas. In addition to transport and industrial activities, heavy metal pollution can also have agricultural causes. These are mainly fertilizers, organic fertilizers, sewage, sewage sludge, pesticides. The article summarizes the sources and accumulation of heavy metals.

Keywords: Heavy metal; occurrence; environmental load.

** Dunaiújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természet-
tudományi és Környezetvédelmi
Tanszék
E-mail: kovari@uniduna.hu*

[1] Simon L. (2006): *Toxikus elemek akkumulációja, fitoin-dikációja és fitoremediációja a talaj-növény rendszerben.* MTA doktori értekezés.

[2] Kádár I. (1991): *A talajok és növények nehézfém-tartalmának vizsgálata.* Budapest: MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet.

[3] Kádár I. (1995): *A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon.* Budapest: MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet.

[4] Perei Katalin–Pernyeszi Tímea–Lakatos Gyula (2013): *Bioremediáció.* Szeged: Szegedi Tudományegyetem.

Bevezető

Elsősorban az ipari tevékenység következtében a környezetünkben lévő toxikus nehézfém nagymértékben nőtt. [1] A kémiai környezetterhelés – különösen a mikroelemek és a toxikus nehézfémek felhalmozódása révén – jelentős egészségügyi, biológiai, ökológiai hatással bír. [2] A táplálékláncon keresztül a toxikus nehézfémek bejutnak az emberi szervezetbe és közvetlenül veszélyeztetik egészséget. Az emberi anyagcsere olyan enzimrendszerre épül, amely az esszenciális elemeket hasznosítja (Fe, Mn, Zn, Cu stb.), míg a káros elemeket kiküszöböli (As, Hg, Pb, Cd, Be). Azonban az élőlények nem képesek rövidtávon alkalmazkodni a drasztikus környezeti átalakuláshoz, így a kémiai környezetterhelés megnövekedésére az emberi szervezet nincs felkészülve. Az akkumulálódó elemek stabilak, irreverzibilisen változtatják meg a környezet és az élőlények összetételét. [3] Éppen ezért a nehézfémek emberi szervezetre gyakorolt hatásainak az ismerete igen fontos.

Nehézfémek forrásai

Kémiai értelemben nehézfémeknek azokat a fémeket nevezzük, amelyeknek a sűrűsége meghaladja az 5 g/cm³-t, rendszáma 20-nál nagyobb. Idesorolható többek között a cink, a higany, a kadmium, a nikkel, a réz, az ólom, a volfrám, valamint a színesfémek és a ritka földfémek is. [4] A nehézfém kifejezés köz-napi szóhasználatban összekapcsolódott a toxikus elem fogalommal.

A légkörbe kerülő nehézfémek többsége a kohászati, hőtermelési építmények, belsőégésű motorok, vegyszerek, bányászat, hulladéklerakás következtében jut a természetbe. A talajba rendszerint a kibocsátás helyéhez közel jutnak vissza, nagy területeket szennyeznek be. Azonban az ipari és közlekedési tevékenységen túl, a nehézfém-szennyeződésnek mezőgazdasági okai is lehetnek (műtrágyák, szerves trágyák, szennyvizek, szennyvíziszapok, peszticidek). A legveszélyesebb nehézfém-szennyezők közé a kadmium, a higany, a cink és az ólom tartozik.

A nehézfémek felhalmozódása

Köztudott, hogy az élő szervezetek zavartalan működéséhez, kis mértékben szükség van nehézfémekre, sőt néhányuk az egészséges környezet nélkülözhetetlen alkotói. Egyes nehézfémek enzimalkotók, illetve enzimreakciók katalizátorai. [5] Mennyiségük, eloszlásuk, normális esetben, a szövetekben és sejtekben állandó.

Az ipari forradalom kezdete óta a toxikus nehézfémek egyre nagyobb mértékben terhelik a környezetet. Az elemek jelentős része a levegőbe kerül, majd bizonyos idő után száraz vagy nedves ülepedés formájában a talaj felszínére jutnak. [3] A fémek biológiai nem bonthatók le, az élő szervezetekben felhalmozódhatnak, továbbá biokémiai reakciók során, mérgező vegyületekké alakulhatnak át. [6] Sok nehézfém az abiotikus rendszerek határfelületén halmozódik fel, majd a fizikai vagy kémiai paraméterek megváltozásának hatására remobilizálódik. [7]

Az emberi aktivitás (nyersanyag-kitermelés, energiaelőállítás, magas hőmérsékletű folyamatok), a nehézfémek mobilizációjához igen jelentős mértékben hozzájárul, és ez ahhoz vezet, hogy sok fém biokémiai anyagfolyamata túlnyomóan antropogén eredetű. [8] A nehézfémek toxikus hatása azon alapszik, hogy a fehérjéket denaturálják, ezáltal blokkolják az élő szervezetek létfontosságú anyagcsere-folyamatait és egyes funkcionális enzimfolyamatait. [9] A szervetlen eredetű nehézfémek légköri, élővízi, illetve talajban való felhalmozódása komoly károsodást idézhet elő az élővilág táplálékláncában, és ezáltal az ember egészségében. [10]

Összegzés

A nehézfémekkel szennyezett talajok környezeti problémát okoznak, mivel a talaj képes a környezetbe kerülő nehézfémek megkötésére és tárolására. A megkötött toxikus nehézfémek mobilizálódhatnak egy bizonyos terhelési szint felett, valamint a talajban lezajló egyensúlyi folyamatok változásával is. Ennek következtében a vízrendszeren vagy a táplálékláncan keresztül a nehézfémek bejuthatnak az ökoszisztémába, veszélyeztetve ezzel az élőlényeket

[5] Barna Sz. (2008): *Növényekre adaptálható gyors bioteszt kidolgozása talajok nehézfém-tartalmának jellemzésére.*

[6] Taraczközi K. (2003): Nehézfémek a mezőgazdasági talajokban. *Acta Agraria Debreceniensis*. 10. Pp. 85–89.

[7] Albert S.–Bajnóczy G.–Dombi A.–Horváth O. (2008): *Környezeti kémia.* Környezetmérnöki Tudástár. Pannon Egyetem.

[8] Papp S.–Kümmel R. (1992): *Környezeti kémia.* Budapest: Tankönyvkiadó. 255–275.

[9] Nyitrai L.–Pál G. (2013): *A biokémia és molekuláris biológia alapjai.* Tankönyvtár.

[10] Szegedi L. (2011): Toxikus nehézfém-szennyezés utóhatásának vizsgálata barna erdőtalajon. Szent István Egyetem. Doktori értekezés.

[11] Kovács-Bokor É.–Kiss E. (2017): Környezetvédelmi mérési módszerek a hallgatói laborgyakorlatokon. In: *A Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar 2017-es tudományos konferenciáinak tanulmánygyűjteménye*. Pp. 950–959.

[12] Kovács-Bokor, É.–Domokos E. (2017): Determination of heavy metal content of river sediment and analysis of the accumulation of heavy metals by plants. In: *Proceedings of International Conference on Global Environmental Changes and Environmental Health: Environmental and Economic Impact on Sustainable Development*. Pp. 33–40.

[13] Kovács-Bokor, É.–Kiss, E. (2018): Dunai iszapos üledék nehézfém tartalmának akkumuláció vizsgálata növényekkel. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING AND MANAGEMENT SCIENCES*. 3. (1.) Pp. 163–170.

[14] Kovács-Bokor É.–Domokos E.–Kiss E. (2018): Determination of the accumulation of heavy metals of river sediment by plants. In: *Proceedings Book of 9th ICEEE-2018 International Conference on Climate Change and Environmental (Bio) Engineering*. Pp. 228–238.

[15] Kovács-Bokor É.–Domokos E.–Kiss E. (2019): Effect of industrial sludge-soil mixtures on germination of white mustard and wheat. *JOURNAL OF APPLIED TECHNICAL AND EDUCATIONAL SCIENCES*. 9. (1.) Pp. 66–78.

[16] Kovács-Bokor É.–Domokos E. (2019): Phytoextraction potential of wheat and study on the applicable ratio of converter sludge in some soil-sludge mixtures. *JOURNAL OF APPLIED TECHNICAL AND EDUCATIONAL SCIENCES*. 9. (4.) Pp. 88–100.

[17] Kovács-Bokor É.–Domokos E.–Kiss E. (2019): Folyóvízi üledékek nehézfém tartalmának akkumuláció vizsgálata növényekkel. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING AND MANAGEMENT SCIENCES*. 4. (2.) Pp. 46–53.

és az embert. Ezért is fontos a fitoremedáció, mely egy természetbarát technológia, a szennyezett környezet megtisztítása növények által. Az ezen a kutatási területen elért eredményeket számos publikáció foglal össze, többek között a Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszékén folyó kutatások. [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17]

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel – az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség” című projekt támogatta.

Surface contamination control of plant surfaces by supersonic jet

Abstract: A contactless surface cleaner equipment using supersonic gas jet with ion injection has been developed in order to remove solid contaminations fatal to the quality of semiconductors, as well as mechanical and optical technologies. Contaminations a main dimensions beyond about 30 μ m can be removed by a shock wave of a sufficient strength, so far as they are not bond with adhesive elements. Dusts larger than a few μ m can be removed by the combination of chock wave and ionic current. Some chemical deposition can be removed by adding acetone to the chock wave gun. In vacuum ion current and shock wave are more effective than those are in normal environment. The irradiation by ultraviolet light on the intersection between adhesively bound contaminant and sample surface enhances the removal performance.

Keywords: Surface cleaning; ultrasonic nozzle; contamination control.

* *Dunaiújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*

E-mail: kisse@uniduna.hu

*** *Dunaiújvárosi Egyetem,
Műszaki Intézet, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék*

E-mail: kovacsbe@uniduna.hu

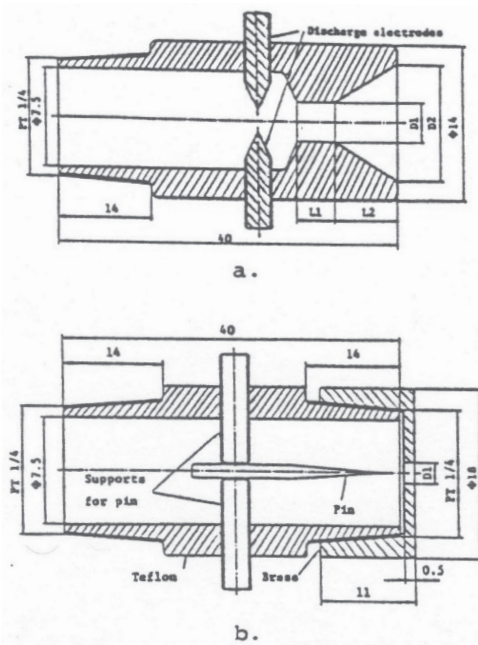
Introduction

It is known that in the processing of semiconductor, space and fine mechanical technologies, as well as optical and biotechnologies the presence of any extraneous fine materials, especially in solid form, can be fatal. The usual preventive measure against these solid particulates is the use of a clean or super clean room in the processing areas. However, even if a super clean room be used, the deposition of a few particles on the critical surface of the workpieces is unavoidable, leading to a great lowering of the yield. In some cases the mechanical wiping is effective to remove these particulate contaminants, but as the dust is small (below 10-30 μm), the detection of their positions is not easy. Moreover, the cleaning process has to be effective on the entire surface of a workpiece without causing any damage on it. Such method should be non-contacting and possible to allow the use of semi or full automatic machines being used in the present production lines. One of the methods meeting these requirements is to use an air or liquid jet (or combination of them) either in the one shot or in scanning mode. As the small particulates are strongly bound to the surface with Van der Waals force, capillary condensation of water vapour in the contact area and electrostatic force, strong mechanical force must be combined with the supply of bipolar ions for elimination of contact charge. Monopolar ions can also be used to provide charges of the same polarity on the surface and particulate at their contact point to produce Coulombic repulsion force, assisting the shock wave. The author's attempted to use a strong shear stress caused by shock wave produced in an ultrasonic air jet. The modification of contact charging is also possible by irradiating the contact with ultraviolet light. In vacuum the capillary condensation almost disappears and the effect of shock wave is enhanced. The methods described above were investigated with a series of experiments. The results of these experiments are given below.

Methods and apparatuses

It is known that a compressed gas flowing through a nozzle and allowed to expand adiabatically at its exhaust, produces a shock wave, and that its wave front propagates with a velocity much higher than that of sound to produce a very strong shear stress at the intersection between the supersonic and subsonic regions of the flow. Hence, If this intersection part is placed on a surface, the high shear strength could remove most of the particles. Unfortunately, however, the shock wave cannot penetrate into the boundary

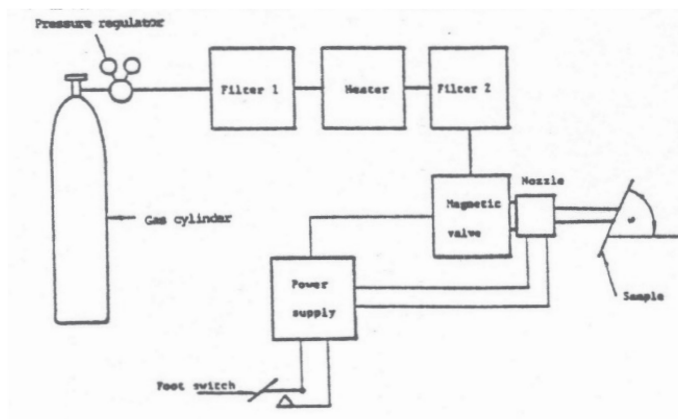
Figure 1. Principal Types of Nozzles Tested



[1] H. Schlichting, H. (1979): *Boundary Layer Theory*. McGraw-Hill.

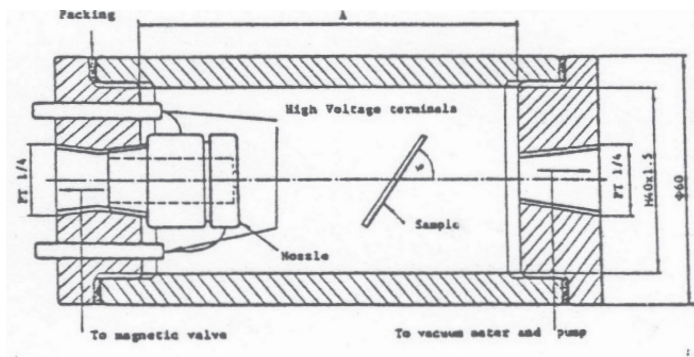
layer [1] between the surface and the flow, while the shear force can penetrate into it. In order to obtain such shock wave, a series of nozzles is constructed, as shown in Fig. 1., Fig. 1.a. indicates a „Laval” type nozzle. D1 was varied between 0,5mm, and D2 from 2xD1 to 6xD1. Both L1 and L2 were between 2 and 10mm. Biopharma type nozzles were also constructed (Fig. 1.b.) with D1 in 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 and 4.0mm. In order to provide bipolar or monopolar ions, a corona ion source was built in the nozzles. Ions were generated by means of one or two needle electrodes by a d.c or a.c excitation voltage. The cleaning effect of the supersonic gas jet was investigated in the experimental set up as shown in Fig. 2. The gas used was either nitrogen or air with low (DP< 48 °C) or high grade (class A, DP<75°C). The samples were glass, copper and stainless steel plates. The contamination was deliberately generated on the surface using copper, iron, and silicon carbide powders with the diameter from about 1 to 100µm.

Figure 2. Experimental Arrangement



Textile fibers, and certain powders from human body, such as skin, hair, eyelash etc. were also tested. In order to increase the strength of the shock wave, the gas feeding was pulsed. In the supersonic part of the flow the gas temperature is greatly reduced below the environment to form water mists which precipitate on the sample surface. Therefore, the gas was preheated to avoid such trouble. The collision angle varied from 0° to 90° . In order to ease the generation of shock wave, and to decrease the thickness of the boundary layer (or to completely eliminate that), vacuum chamber is constructed (Fig. 3.). The length A was varied between 10 and 30cm. The distance of the sample from nozzle was varied between 3 and 20cm.

Figure 3. Vacuum Chamber



Results

Shock wave could be successfully generated by all of the diaphragm type nozzles in the pressure range of 0.2–0.8 MPaG, with a high stability. The nozzles of *Fig. 1.a.* could also generate the shock

Figure 4. Collision of Gas Jet in Glass Plate



waves, but much weaker to disappear very soon after pressure saturation, below 0.5 MPaG. If 1 (in *Fig. 1.a.*) is longer, the degradation is faster. The Schlieren photographs of the shock wave and its collision in a glass plate is presented in *Fig. 4*. The picture is similar in all of the nozzles. The shock wave was existing within about 3–5 cm distance. In collision with a plate, the shock wave disappears, so far as if the direction of the flow be not parallel to the plate, while in parallel it was reflected. The average temperature of gas at the outlet is decreasing by increasing pressure. The ionic current obtained by nozzles was as high as 5–10 pA depending on the pressure. If one of the main dimensions of the dust was higher than about 30 μm , and there was no adhesive material existed between that and the surface, the shock wave (the stronger the better) could effectively remove the contamination. In the range between 10 and 30 μm the shock wave was sometimes insufficient, and the monopolar ion was necessary to use. However, if the contaminant is fiber like one it is removable with a very strong shock wave, even if its main dimensions is as small as about 5–7 μm . In case of metallic surfaces, especially for conductive dust, the nozzle with both monopolar ion and shock wave is very effective above about 1 μm , so far as no adhesive binding material be existing. In case of glass substrate, conductive dust can be removed even if its main dimension is as small as few μm (*Fig. 5*).

In general, when the particle is smaller than $10\mu\text{m}$, shock wave alone is not sufficient, and only the addition of bipolar ions in the form of an alternate ionic current with a suitable repetition frequency removed the dust.

Figure 5. Cooper Powder

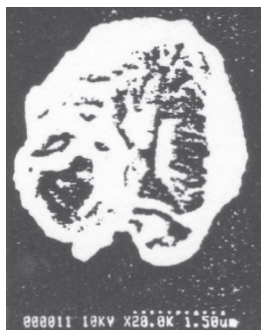
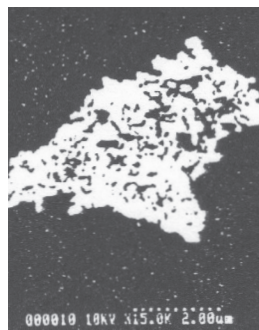


Figure 6. Small Particle



If the surface of the particle is not smooth enough, and the minimum radius of the curvature is smaller than about $0.1\mu\text{m}$ (Fig. 6.) even the combination of ions and shock wave was sometimes ineffective in the normal environment. It worked only in vacuum chamber. The dusts like (Fig. 7.) could not be removed. The filter 2 can be omitted, if the heater is made of ceramic elements. But the filter 1 was necessary, because, even from class A air cylinder, some particles, or a group of them (Fig. 8.), were coming to be precipitated on the ioniser was on. These impurities were hard to remove. The only way to remove them was the use of

Figure 7. Unremovable Particle

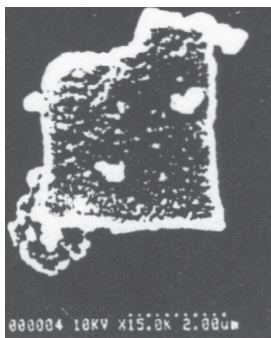
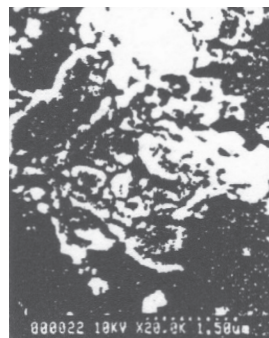


Figure 8. Contamination Coming from Class A Air Cylinder



a two-phase nozzle with a very high fraction of liquid solvent (e.g. acetone). It was likely that at least a class 1 gas filter must be used. The adhesive force could be lowered by irradiation of ultraviolet light.

Conclusions

Shock wave can remove particles larger than about 20-30 μm from the surface of a metal and glass plate, so far as no adhesive elements be existing. Shock wave combined with ions can remove contamination larger than about 10 μm , so far as no adhesive elements be existing. A two phase gun with acetone can remove certain type of chemical depositions being bound with adhesive elements. At least class 1 gas filter must be used for cleaning air to be used in the nozzle. If the adhesive force between the dust and the surface of the sample is higher than several hundreds N/m² , other method must be used to remove the contaminants.

Acknowledgement

Thanks for the support of EFOP-3.6.2-16-2017-00018 „Produce together with the nature – agroforestry as a new outbreaking possibility” project.