

**XXI. SZÁZADI VÍZGAZDÁLKODÁS A  
TUDOMÁNYOK METSZÉSPONTJÁBAN**

*II. Víztudományi Nemzetközi Konferencia*

*Konferencia kötet*

*Szarvas, 2019. március 22.*

**Kiadó:**

Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar  
5540 Szarvas, Szabadság út 1-3.  
honlap: [www.gk.szie.hu](http://www.gk.szie.hu)

**Felelős kiadó:**

Dr. Futó Zoltán  
egyetemi docens, Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi  
Karának megbízott dékánja

Rácz Istvánné dr.

főiskolai tanár, szakmai vezető EFOP 3.6.1-16-2016-00016 projekt

**Szerkesztette:**

Dr. Jakab Gusztáv – Csengeri Erzsébet

**A kiadvány megjelenését támogatta:**

Az **EFOP 3.6.1-16-2016-00016** számú, SZIE Szarvasi Campusának kutatási és képzési profiljának specializálása intelligens szakosodással: mezőgazdasági vízgazdálkodás, hidrokultúra növénytermesztés, alternatív szántóföldi növénytermesztés, ehhez kapcsolódó precíziós gépkezelés fejlesztése című ESZA által finanszírozott EU projekt.

**Nyomda:**

Digitális Kalamáris Kiadó és Gyorsnyomda  
5540 Szarvas, Fűzfa u. 27.

**ISBN 978-963-269-808-3**

Szarvas, 2019

**A konferencia tudományos és lektori bizottsága:**

Rácz Istvánné dr. főiskolai tanár, EFOP szakmai vezető, SZIE AGK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet  
Prof. Dr. Helyes Lajos egyetemi tanár, intézetigazgató, SZIE MKK Kertészeti Intézet

Dr. Skutai Julianna egyetemi docens, SZIE MKK Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Intézet

Dr. Jakab Gusztáv egyetemi docens, mb intézetigazgató, SZIE AGK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet

Dr. Jakabné Dr. Sándor Zsuzsanna tudományos főmunkatárs, NAIK Halászati Kutató Intézet

Dr. Gombos Béla főiskolai docens, SZIE AGK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet

Dr. Virág Sándor főiskolai tanár, SZIE AGK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet

Dr. Mészáros Miklós főiskolai docens, SZIE AGK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet

Dr. Tirczka Imre egyetemi docens - SZIE MKK Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Intézet

Dr. Centeri Csaba egyetemi docens, intézetigazgató, SZIE MKK Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Intézet

Dr. Bodnár Károly főiskolai tanár, SZIE AGK Agrártudományi és Vidékfejlesztési Intézet

Dr. Egri Zoltán főiskolai docens SZIE AGK Agrártudományi és Vidékfejlesztési Intézet

Dr. Grónás Viktor egyetemi docens, SZIE MKK Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Intézet

# MIKROHULLÁMÚ ELŐKEZELÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A SZENNYVÍZ ÉS ISZAPKEZELÉSI ELJÁRÁSOKBAN

JÁKÓI Zoltán<sup>1</sup> – BERTLA Adrienn<sup>2</sup> – PAPP Viktória<sup>3</sup> –  
HODÚR Cecília<sup>4</sup> – BESSZÉDES Sándor<sup>5</sup>

- <sup>1</sup> Szegedi Tudományegyetem Mémóriki Kar, jakoi.z@mnk.u-szeged.hu
- <sup>2</sup> Szegedi Tudományegyetem Mémóriki Kar, bertla.adrienn@gmail.com
- <sup>3</sup> Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar, papp.viktoria@uni-sopron.hu
- <sup>4</sup> Szegedi Tudományegyetem Mémóriki Kar, hodur@mnk.u-szeged.hu
- <sup>5</sup> Szegedi Tudományegyetem Mémóriki Kar, beszedes@mnk.u-szeged.hu

## Bevetés

A szennyvíz- és iszapkezelési eljárásokban a termikus módszereket gyakran alkalmazzák. Az alkalmazásuk célja lehet például a patogén mikroorganizmusok elpusztítása, a nedvességelvonás hatékonyságának növelése, vagy az iszapok esetében a nehezen lebontható fiziko-kémiai szerkezet előzetes degradációja révén a további hasznosítás – például rothasztás- elősegítése. A hagyományos termikus eljárások alternatívájaként egyre többet foglalkoznak a mikrohullámú kezelések kutatásával, az ezen alapuló módszerek fejlesztésével. A mikrohullámú energiaközlés alkalmazása egyre szélesebb körben terjed az anyagkezelési eljárásokban. A mikrohullámú sugárzás speciális hőkelési mechanizmusa, és egyes esetekben a nem pusztán termikus hatásokra visszavezethető egyéb hatásai, a hagyományos hőkelési eljárásokhoz képest hatékonyabbá teherik. A kutatómunkánk során a mikrohullámú energiaközlés alkalmazhatóságát vizsgáltuk szennyvíz és iszap alapanyagok esetében. A kísérletek elsődleges célja a biológiai lebonthatóságban a mikrohullámú kezeléseket hatására végbemenő változások vizsgálata volt. A mikrohullámú energiaközlésen alapuló kezelési módszerek hatékonyságát a szakirodalomban, elsősorban a kommunális iszapokra vonatkozóan, már többször vizsgálták. A módszer alkalmazhatóságának komplexebb megítélése esetében azonban fontosak lennének a folytonos anyagáramú komplexebb megítélése esetében a számított tapasztalatok is. Ezért az SZTE Mémóriki Kar Folyamatmérnöki Intézetében folytonos anyagáramú mikrohullámú kezelőrendszer fejlesztettünk, amelyben mind iszap, mind szennyvíz minták vizsgálhatóak. A kutatásunk során a mikrohullámú energiaintenzitásnak és az alapanyag pH-jának hatását vizsgáltuk a szervesanyag vízoldhatóságában, a biológiailag lebontható formában lévő szervesanyag koncentrációjában és a biogáz termelődésben bekövetkező változásokra.

## Irodalmi áttekintés

A nagyobb energiaintenzitású mikrohullámú sugárzás esetében megállapították, hogy az, többek között az egyes komponensek eltérő dielektromos jellemzői miatt (Brodie et al., 2014), alkalmas az iszapjelvények hatékony roncsolására, így a további (pl. biológiai) hasznosítás számára elegendő szerves anyagot juttatva az oldható fázisba (Ahn et al., 2009; Chang et al., 2011), illetve elősegíti a vízlelenítési folyamatokat is (Wojciechowska 2005). Anaerob fermentáció esetében a mikrohullámú előkezelés a hidrolízis szakasz felgyorsításával alkalmasnak bizonyult a biogáz kitermelési mutatók,

illetve a fermentáció kinetikai paramétereinek javítására (Tyagi and Lo, 2013). Kuglarz és munkatársai (2013) a kommunális szennyvíziszapot alacsony hőmérsékleten mikrohullámmal kezelve arra a következtetésre jutottak, hogy a hagyományos termikus módszert a mikrohullámú energiaközléssel összehasonlítva a forráspont alatti hőmérséklet tartományban a biogáz termelődés és a szerves anyag frakciók oldhatósági tétele a mikrohullámokkal kezelt minták esetében hatásosabb volt.

## Anyag és módszer

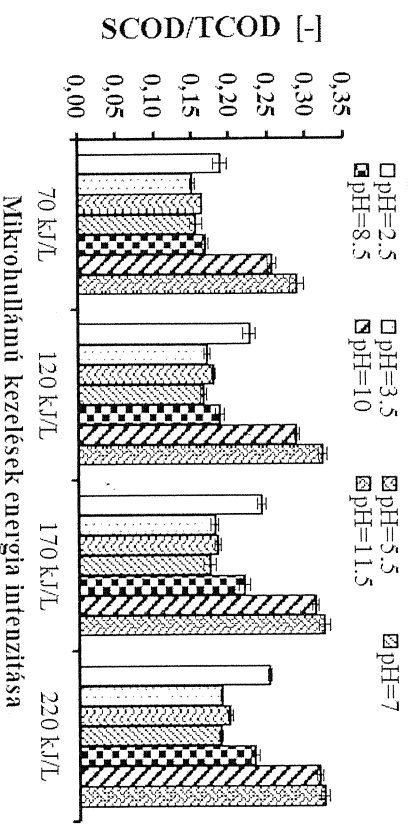
A mikrohullámú kezeléseket egy folytonos anyagáramú kezelő berendezésben végeztük, amelyben a 2450 MHz frekvencián működő magnetron teljesítménye 100-700 W tartományban, fokozatmentesen változtatható. Az anyagovábbfűtásra perisztaltikus szivattyút alkalmaztunk. A kezeléseket energiaintenzitása az aktuális magnetron teljesítmény és a tartózkodási idő szorzataként lett meghatározva. Az alapanyagok pH-ját 5N sósav és 5N nátrium-hidroxid oldattal állítottuk be, közvetlenül a mikrohullámú kezeléseket megelőzően.

A bloknial oxigénigényt (BOI) 5 napos időtartam alatt, 20°C-on termosztált körülmények között, BOD Seed szelektált mikroorganizmus készítményt (Cole Parmer, USA) alkalmazva, respirometriás mérőrendszerrel (BOD Oxidirect) határoztuk meg.

A kémiai oxigénigényt (KOl, COD) kálium-dikromátos fotometriás gyorsított (Hanna) mérték előzetes 120 perces 150°C-os roncsolást követően. A szerves anyagokon belül a vízoldható (SCOD) formában lévő vegyületek frakcionálására centrifugálást (3000 min<sup>-1</sup>; 20 perc), majd ezt követően szűrést (0,45 µm pórusméret) alkalmaztunk. A szervesanyag vízoldhatóságát az oldható/teljes KOl aránnyal (SCOD/TCOD) jellemeztük. A biogáz termelődését laboratoriumi léptékű (reaktor térfogat: 250 ml) 30 napos folyamatosan kevertetett batch mezofili rothasztási tesztekkel vizsgáltuk, nyomásregisztrálás mérőfejek (Oxirap OC) alkalmazásával 37°C-on, termosztált körülmények között. A minták beoltására 10 m/m%-os koncentrációban egy települési szennyvíziszap rothasztóból származó anaerob iszapot használtunk. A rothasztási tesztek előtt valameny mintát pH-ját egységesen 7,2 értékre állítottuk be.

## Eredmények és értékelésük

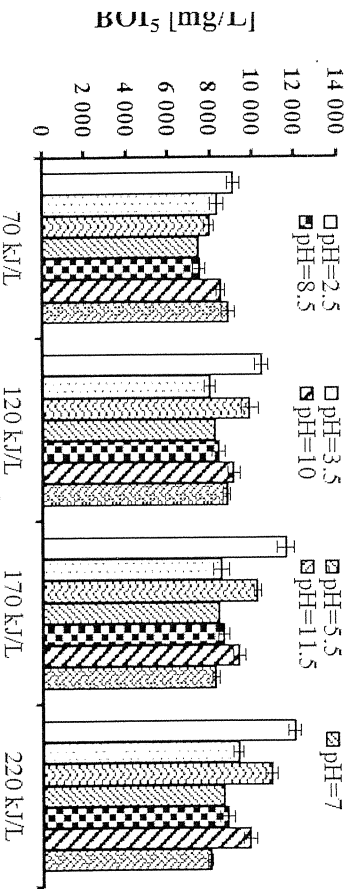
A kutatási munka első szakaszában az alapanyag pH-jának, valamint a mikrohullámú kezelés energiaintenzitásának hatását vizsgáltuk a szervesanyag vízoldhatóság jellemzésére szolgáló SCOD/TCOD mutató esetében. A pH-t 2,5-10 tartományban, a kezeléseket mikrohullámú energiaintenzitását 70-220 kJ/L tartományban változtattuk. Az 1. ábra tejipari eredetű szennyvíziszap kezelésére vonatkozó eredményeket mutatja be. A mérési eredményeink alapján megállapítható, hogy a mikrohullámú energiaközlés növelte az iszap szerves anyagának oldhatóságát. A nem kezelt (kontroll) izsapminta kezdeti 0,11-es SCOD/TCOD aránya lúgosított (pH=8,5-10) minták esetében 120-220 kJ/L kezelési energiaintenzitás tartományban legalább 140%-al növekedett (a pH-tól és az energiaintenzitástól függően elérhető tartomány: 0,27-0,31).



1. ábra. Szervesanyag vízoldhatóság (SCOD/TCOD) változása  
 1. ábra. Change of organic matter solubilization (given by SCOD/TCOD) as a function of microwave  
 intensity [kJ/L] and pH)

állapítható volt, hogy az iszokban lévő részecskék dezintegrálódásával összefüggő  
 JD/TCOD arány (szervesanyag oldhatósági arány) az alkalmazott  
 rgiantenzitástól függetlenül lúgos kémhatású minták esetében növekedett nagyobb  
 tékben. Ugyanazon pH-n a mikrohullámú kezelések intenzitásának növelése mind  
 as (pH= 2,5-5,5), mind lúgos (pH=8,5-10) kémhatás beállítása mellett fokozta a  
 vesanyag oldhatósági arány növekedését, a semleges közeli pH-n a mikrohullámú  
 rgiaközlés hatása kevésbé volt kifejezett.

aerob körülmények közötti biológiai lebonthatóság változásának jellemzésére a  
 kémiai oxigénigény (BOD) határoztuk meg a kezelt minták esetében.



Mikrohullámú kezelések energia intenzitása

2. ábra. Mikrohullámú kezelések hatása a biokémiai oxigénigényre

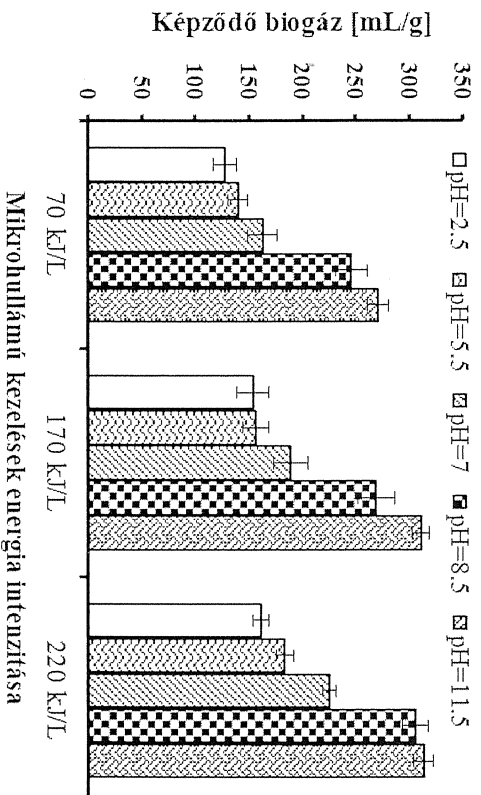
ure 2. Effect of microwave treatment on biochemical oxygen demand (as a function of microwave energy  
 nsity [kJ/L] and pH)

Az eredményeink alapján megállapítható, hogy a mikrohullámú energiaközlés során  
 alkalmazott savas és lúgos kémhatású minták esetében elérhető BOI értékek közötti  
 különbség kisebb, mint amelyet a szervesanyag oldhatósági vizsgálatnál tapasztaltunk.

Azokban a BOI-t tekintve a szervesanyag oldhatóság esetében kapott eredményektől  
 eltérő tendenciát tapasztaltunk: a BOI növekedés mértéke a mikrohullámú kezeléssel  
 kombinált sav adagolás (savas pH elérése), különösen a nagyobb energiaintenzitástú  
 (170-220 kJ/L) mikrohullámú kezeléseknél, nagyobbban tekinthető, mint a lúgos  
 kezelések alkalmazása esetén (2. ábra).

A mikrohullámú kezelések hatékonyságát, a szervesanyag oldhatósági mutató és az  
 aerob körülmények közötti biológiai lebonthatóság mértékével összefüggő BOI mellett,  
 az anaerob rohasztási folyamatban keletkező biogáz mennyiségével is jellemzeni  
 kívántuk.

A kezeletlen minta eredeti biogáz-kitermelési mutatója (72±3,2 mL/g szárazanyag) a  
 mikrohullámú, illetve kombinált mikrohullámú/kémiai előkezelésekkel növelhető volt.  
 Az előkezelések során a lúg adagolás alkalmazása (lúgos pH tartomány elérése) a  
 mikrohullámú energiaközléssel kombinálva a fajlagos biogáz kitermelést 250 mL/g  
 érték fölé növelte (3. ábra).



3. ábra. Mikrohullámú kezelés hatása a biogáztermelődesre

Figure 3. Effect of microwave treatment on biogas production (as a function of microwave energy  
 [kJ/L] and pH)

A kezelési energiatenzitás növelése elsősorban a savas és semleges pH-ra beállított minták esetében tudta fokozni a biogáz képződését. A 8,5-ös pH alkalmazásakor a mikrohullámú energiatenzitás 170 kJ/l-ről 220 kJ/l értékre növelése nem indokolható, mivel további biogáz növekmény már nem volt tapasztalható. Továbbá, a mikrohullámú kezeléseknél a legnagyobb (220 kJ/l) energiatenzitás alkalmazásánál a pH 8,5-ről 11,5 értékre növelése további biogáztermelődései növekményt már nem okozott. A lúg adagolással, annak egy határon belüli növelésével, a kezelesek energiaszükséglete csökkenthető, illetve a mikrohullámú energiatenzitás növelésével a lúg adagolási koncentrációja csökkenthető; a további hasznosítás módjainak és céljának függvényében.

### **Következtetések**

A kísérleti eredményeink alapján megállapítható, hogy a folytonos anyagáramú mikrohullámú energiaközlés alkalmas nemcsak a kommunális eredetű másodlagos iszap, hanem az élelmiszeripari primer iszap biológiai lebonthatóságának növelésére is. Az iszapban lévő szerves anyagok vízoldhatóságának növelésére elsősorban a mikrohullámú energiaközléssel kombinált lúgos módszerrel tekinthetőek hatékonyak, a szabványt vízoldhatóságunk növekedése a kezelést követő anaerob fermentációban a biogáz képződés fokozódását eredményezte. A mikrohullámú-savas kezelesek elsősorban a rövidebb időtartamú aerob biológiai lebonthatóság növelésére alkalmasak.

### **Összefoglalás**

A kutatásunk során a folytonos anyagáramú mikrohullámú kezelesek hatékonyságát vizsgáltuk, a biológiai lebonthatóság változása szempontjából. Az aerob biológiai lebonthatóságot a biokémiai oxigénigény változásával, az anaerob lebonthatóságot a rothasztási folyamatban keletkező biogáz mennyiségével jellemeztük.

A mikrohullámú kezelesek esetében vizsgáltuk az iszap kénhatásának, illetve a mikrohullámú energiatenzitás változtatásának a biológiai lebonthatóságra gyakorolt hatásait.

A kísérleti eredményeink alapján összefoglalóan megállapítható, hogy a mikrohullámú energiaközlés, folytonos anyagáramú kezelőrendszer alkalmazása esetén is, az alkalmazott energiatenzitástól és pH-tól függő mértékben, alkalmas a szervesanyag oldhatóság, továbbá mind az aerob, mind az anaerob körülmények közötti biológiai lebonthatóság fokozására.

**Kulcsszavak:** mikrohullám, szennyvíz, iszap, biológiai lebonthatóság

### **Köszönetnyilvánítás**

A kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatási munkát továbbá az NKFI K115691 projekt támogatta.

### **Indoalton**

- Ahn J.H. - Shin S.G. - Hwang S. 2009. Effect of microwave irradiation on the disinfection and acidogenesis of municipal secondary sludge. *Chemical Engineering Journal*. 153: 145-150.
- Brodie G. - Destefani R. - Schneider P.A. - Airey L. - Jacob M.V. 2014. Dielectric properties of sewage biosolids: measurement and modeling. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 48.3:147-157.
- Chang C.J. - Tyagi V.K. - Lo S.L. 2011. Effects of microwave and alkali induced pretreatment on sludge solubilization and subsequent aerobic digestion. *Bioresource Technology*. 102:7633-7640.
- Kuglarz M. - Karakashev D. - Angelidaki I. 2013. Microwave and thermal pretreatment as methods for increasing the biogas potential of secondary sludge. *Bioresource Technology*. 134:290-297.
- Tyagi, V.K. - Lo S.L. 2013. Sludge: A waste or renewable source for energy and resources recovery?, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 25:708-728.
- Wojciechowska E. 2005. Application of microwaves for sewage sludge conditioning. *Water Resource*. 39.19:4749-4754.

## **Applicability of microwave irradiation for wastewater and sludge processing**

### **Abstract**

In our research work, the applicability of continuously flow microwave treatment for enhanced biodegradability of wastewater and sludge was studied. Effect of microwave energy intensity and pH of processed material on biodegradability indicators was investigated. Aerobic and anaerobic biodegradability was characterized by biochemical oxygen demand, and biogas produced in anaerobic digestion process, respectively.

Our results show, that microwave treatments, applied as solely treatments, were suitable to increase the organic matter solubility and aerobic and anaerobic biodegradability, as well. Combination of microwave irradiation with chemical (acid or alkali) dosage was suitable to further increase the efficiency of microwave process. Microwave/acidic treatment enhance the aerobic biodegradability in larger extent, than that of obtained for microwave/alkaline process. Considering the longer time demanded anaerobic digestion process, it can be concluded that microwave/alkaline pre-treatment has been proved suitable to increase the biogas yield. Microwave treatment with energy intensity range of 170-220 kJ/L for wastewater sludge sample with pH adjusted to 11.5 increased the biogas yield from 72 mL/g to 300 mL/g.

**Keywords:** microwave, wastewater, sludge, biodegradability