

**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM  
MEZŐGAZDASÁG- ÉS  
ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR  
MOSONMAGYARÓVÁR**

**A MAGYAR ÉS NEMZETKÖZI AGRÁR -ÉS  
ÉLELMISZER-GAZDASÁG LEHETŐSÉGEI**

**XXXV.  
ÓVÁRI TUDOMÁNYOS NAP**



**2014. november 13.**

ISBN 978-963-334-193-3

(Tudományos Nap összefoglalók)

ISBN 978-963-334-194-0

(Tudományos Nap előadások és poszterek teljes anyaga CD)

---

## **SZERVEZŐ**

**Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és**

**Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár**

**VEAB Agrártudományi Szakbizottság**

## **TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG**

**Elnök: Prof. Schmidt Rezső CSc, dékán**

## **SZERVEZŐ BIZOTTSÁG**

**Elnök: Prof. Bali Papp Ágnes PhD**

## **T A G O K**

**Beke Dóra PhD**

**Krász Ádám dr.  
univ.**

**Hegy Judit PhD**

**Milics Gábor PhD**

**Konrád Szilárd  
PhD**

**Vér András PhD**

**Kovács Attila  
József PhD**

**Zsédely Eszter  
PhD**

## **TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG**

**Prof. Horn Péter az MTA rendes tagja**

**Prof. Schmidt János az MTA rendes tagja**

**Prof. Várallyay György az MTA rendes tagja**

**Prof. Kovács Melinda az MTA levelező tagja**

**Prof. Mézes Miklós az MTA levelező tagja**

**Prof. Neményi Miklós az MTA levelező tagja**

**Prof. Birkás Márta DSc**

**Prof. Husvéth Ferenc DSc**

**Prof. Sótonyi Péter DSc**

**Prof. Szabó Ferenc DSc**

**Prof. Kozári József CSc**

**Takácsné Prof. György Katalin CSc**

**Prof. Varga László PhD**

---

## **TARTALOMJEGYZÉK**

**ÁLLATTUDOMÁNYI SZEKCIÓ**

**NÖVÉNYTUDOMÁNYI SZEKCIÓ**

**ÉLELMISZERTUDOMÁNYI SZEKCIÓ**

**TAKARMÁNYOZÁSI SZEKCIÓ**

**AGRÁRMŰSZAKI SZEKCIÓ**

**AGRÁRÖKONÓMIAI SZEKCIÓ**

**SZAKTANÁCSADÓ SZEKCIÓ**

**ADOBE ACROBAT 11.01 MAGYAR VERZIÓ TELEPÍTÉSÉHEZ KATTINTSON DE !**

# DIELEKTROMOS JELLEMZŐK JELENTŐSÉGE AZ ISZAPKEZELÉS SORÁN

BESZÉDES S.<sup>1</sup> – KOVÁCS R.-NÉ V.P.<sup>2</sup> – LUDÁNYI L.<sup>1</sup> - KESZTHELYI-SZABÓ G.<sup>1</sup> –  
HODÚR C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet, 6725 Szeged Moszkvai krt. 9.

<sup>2</sup>Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Műszaki Intézet, 6725 Szeged Moszkvai krt. 9.

## Összefoglalás

Az utóbbi évtizedekben a szennyvízkezelésben keletkező iszap mennyisége folyamatosan növekszik. Az iszapkezelési eljárások között egyre inkább előtérbe kerülnek az energetikai és egyéb hasznosítást lehetővé tevő módszerek. A termikus iszapkezelési eljárásokhoz kapcsolódó kutatások egyik legújabb területe a mikrohullámú energiaközlésen alapuló módszerek fejlesztése és hatékonyság-vizsgálata.

A munkánk során az élelmiszeripari iszap alapanyag esetében vizsgáltuk a mikrohullámú energiaközlés hatását a biológiai hasznosítási eljárások előkezeléseként. A kutatásunk során az iszapok szerkezeti változásainak és a biológiai lebonthatóságának jellemzésére szolgáló mutatóknak a dielektromos jellemzőkkel való összefüggéseit vizsgáltuk.

## Bevezetés

A vízteleníthetőség javítása, a rothaszthatóság mértékének növekedése, vagy a mikrobiális kockázat csökkentése érdekében végzett termikus iszapkezelési eljárások során is az iszapszerkezet hatékony roncsolására törekednek. A mikrohullámú energiaközlés az intenzív felmelegítő képessége, a hagyományostól eltérő hőkeltési mechanizmusa, továbbá a nagyfrekvenciás elektromágneses térben végbemenő kémiai és anyagszerkezeti változások révén is jó alternatívája lehet a hagyományos hőkezelési módszereknek. Meg kell azonban jegyezni, hogy egyes alapanyagok esetében a hagyományos és a mikrohullámú hőkeltés hatásfoka között lényeges különbség nem tehető (Géczi et al., 2013). A mikrohullámú sugárzásnak az iszapokra gyakorolt hatásaira, valamint a hőkeltés hatékonyságával összefüggő dielektromos jellemzőket és ezeknek az iszapkezelések alatti változásaira vonatkozóan azonban még további kutatások szükségesek, amelyek lehetővé tennék a mikrohullámú iszapkondicionálási eljárás ipari technológiáknak megfelelő léptéknövelését.

A mikrohullámú sugárzás sejtkomponens szintű abszorpciója következtében a sejtállomány víztartalma halmazállapot változáson megy keresztül, ami a sejtfalra ható nyomásnak egy kritikus szintet meghaladó értéke esetén a sejtfal integritásának megszűnéséhez vezet (Lucchesi et al., 2007). A sejtfalak és sejtthártyák feltáródását követően a további degradációt a makromolekulák oldalláncainak a frekvencia függvényében változó polarizációja következtében, a hidrogénkötések felszakadása is elősegíti (Park et al., 2004). A hidrogénkötések felbomlása, és az iszapban található fehérjék másodlagos- és harmadlagos térszerkezetének változása az iszappelyhek szerkezeti stabilitásának csökkenéséhez vezet (Tang et al., 2010). A mikrohullámú sugárzás, a teljesítményszint megfelelő megválasztásával alkalmas továbbá egyes enzimes lebontási folyamatok hatékonyságának növelésére is (Lakatos et al., 2009).

Az iszapban lévő mikroorganizmusok sejtfalak felbomlásának, valamint az iszap szerkezeti változásainak kvantitatív jellemzésére a szakirodalom a kémiai oxigénigény (KOI, ill. COD [ $\text{mgL}^{-1}$ ], ill. [ $\text{kg m}^{-3}$ ]) egységben kifejezett szervesanyag vízdoldhatóság változását, illetve ezen belül az egyes vegyületsoportok (fehérjék, lipidek, szénhidrátok) vízdoldhatóságában végbemenő változását használja. A vízdoldható fázisban lévő szerves anyagoknak (SCOD) a teljes szervesanyag koncentrációhoz (TCOD) viszonyított aránya (SCOD/TCOD) kezeletlen, friss iszap esetében alacsony, előkezelés nélküli nyersiszap esetében növekedése a – körülményektől függően aerob, vagy anaerob – spontán biológiai lebomlási folyamatok megindulását jelzi.

Kommunális eredetű, másodlagos szennyvíztisztítási eljárásból származó iszapok esetében a mikrohullámú kezelések a kezdeti SCOD/TCOD arányt több mint kétszeresére – 6%-ról 15%-ra – növelték (Eskicioglu et al., 2006), de találhatunk olyan közleményeket, amelyben körülbelül ötszörös növekményről számolnak be (Park et al., 2004). A körülbelül  $10\text{W/cm}^3$  fajlagos mikrohullámú kezelési intenzitás rendelkezik olyan mértékű dezintegráló hatással, mint a pH12 kémhatású, 60 perces lúgos kezelés. A mikrohullámú energiaközlés hatására kommunális iszapok esetében a szénhidrátfrakciók vízdoldhatóságának növekedése, kb. 10-15%-al magasabb, mint a fehérjéké. A szénhidrátok oldhatósági tulajdonságaiban végbemenő változások, a szerkezeti stabilitásukat biztosító glikozidos kötéseknek a mikrohullámú energiaközlés termikus hatására történő felszakadásával magyarázható.

Az egyes komponensek oldható formáinak koncentrációváltozási dinamikájának különbségei az iszappelyhek szétesésén túl, a sejtfalak felbomlását követő sejtnedv kiáramlásnak tudható be. A fehérjéket és szénhidrátokat is tartalmazó anyagok, mint például a kommunális és élelmiszeripari szennyvíziszapok esetében, a hidrolízis során képződő reakciótermékek - vagyis az aminosavak és egyszerű szénhidrátok- együttes jelenléte, valamint a magas hőmérséklet következtében Maillard reakció megy végbe, amely a lebontásnak ellenálló komponensek arányának növekedésében is szerepet játszik (Bougrier et al., 2007).

A mikrohullámú kezelések hatására a lipideknek a sejtközötti állományban történő növekedése figyelhető meg. A sejthártya és sejtfal feltáródásával a sejtfalat alkotó foszfolipid kettősréteg is az iszapvízbe kerül, ami szintén jelentősen hozzájárul a szervesanyag tartalom vízdoldhatóvá válásához. A kétértékű kationok a negatív töltésű foszfolipidekhez kapcsolódva stabilizálják a biológiai membránokat (Chu et al., 2001), ezen szabad ionok – például  $\text{Ca}^{2+}$  - mennyiségének a kezelések hatására történő növekedése szintén az előzőekben leírt hipotézist igazolja (Ahn et al., 2009).

A nyers, előkezelést nem kapott, iszapban hidrofil tulajdonságú, hidratburokkal körbevett kolloid részecskék vannak, amelyeket az elektrosztatikus taszítóerők tartanak távol. A nagyfrekvenciával változó polaritású mikrohullámú térben a vízmolekulák rotációja révén a hidratburok részlegesen felbomlik, a zeta-potenciál értéke csökken, így az iszapszerkezet destabilizálódik (Jones et al., 2002). Az iszapmátrix szerkezeti és kémiai változásai a hőkeltés határfokára (a dielektromos tulajdonságok változása miatt) is hatással vannak, továbbá a viszkozitás változása a (konvektív) hőtranszport intenzitását is befolyásolja.

A szakirodalmi eredmények alapján a dipólusos vízmolekulák alkotta rendszerben, a dielektromos állandó és a dielektromos veszteségi tényező értéke a hőmérséklet növelésével csökken. Apoláris molekulákat tartalmazó rendszerekben a veszteségi tényező hőmérsékletfüggése ezzel ellentétes tendenciával jellemezhető (de los Santos, et al., 2003). Az iszap szerkezeti változásának megfelelően az iszappelyhek dezintegrálódása, illetve a

sejtfalak részleges felszakadásához szükséges hőmérséklet alatt a dielektromos jellemzők változását elsősorban az iszap eredeti szabad víztartalmának viselkedése határozza meg. Az iszapmátrixot stabilizáló polimerek felszakadásával az azokhoz kötődő víz felszabadul, a szabad víz aránya növekszik (Jones et al., 2002).

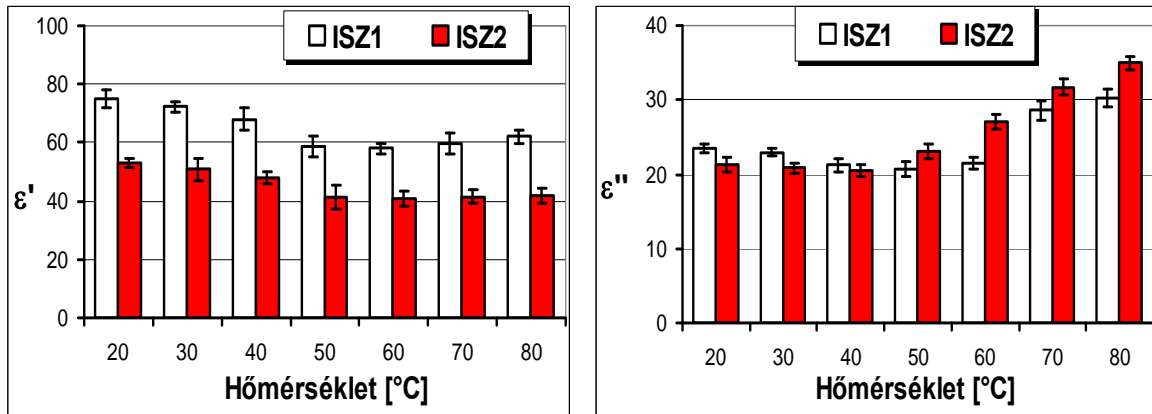
### **Anyag és módszer**

A vizsgálataink során a széntartalmú szerves anyagok mennyiségének meghatározására legtöbbször használt 5 napos biokémiai oxigénigényt (BOI<sub>5</sub>) mértük egy hat férőhelyes, folyamatosan kevertetett rendszerű BOD Oxidirect (Lovibond) típusú respirometriás berendezéssel. A BOI meghatározást az APHA 5210D módszernek megfelelően végeztük. A kémiai oxigénigényt (KOI) HACH küvettás gyorsesztekkel határoztuk meg, amelynek mérési módszere megfelel az USEPA5520D KOI mérési módszernek. A teljes KOI (TCOD) mérésnél az analizált minta a teljes iszapmátrixot tartalmazta. A SCOD mérésénél először az iszap vízdoldható fázisát kellett elválasztani. A szeparálást 15 perces centrifugálással (MPW-350, Lengyelország) 32000×g RCF értékkel végeztük. A centrifugálással kapott felülúszót 0,45 μm (Millipore) pórusméretű cellulóz-acetát alapanyagú mikroszűrőt alkalmazva fecskendőszűrővel tovább szűrtük és az ebből nyert mintán végeztük el az analízist.

A dielektromos állandó ( $\epsilon'$ ) és a dielektromos veszteségi tényező ( $\epsilon''$ ) mérésére a SZTE Folyamatmérnöki Intézete számára fejlesztett dielektrométert készüléket használtunk. A berendezés mérőtápvonalához, NRVZ típusú szenzorokkal, kapcsolódó NRVD teljesítménymérő (Rohde&Schwarz, Németország) segítségével a haladó irányú ( $P_h$ ) és a visszavert teljesítmény ( $P_r$ ) mérhető, amelyből a dielektromos állandó számítható. A mikrohullámú teret generáló 2450 MHz frekvenciájú magnetronból érkező sugárzás hullámkarakterisztikájának vizsgálatával - a  $\lambda/4$  távolságra elhelyezett detektorfejek villamos jeléből –fáziseltolás ( $\phi$ ) és a reflexió ( $\Gamma$ ) értékének felhasználásával a veszteségszög ( $\delta$ ) számítható, és ennek ismeretében a dielektromos veszteségi tényező értéke meghatározható.

### **Eredmények és értékelésük**

Mivel az általunk vizsgáltakhoz hasonló szerkezetű és tulajdonságú iszapok dielektromos jellemzőire vonatkozóan szakirodalmi adatok nem állnak rendelkezésre, a húsipari eredetű iszappal végzett kísérletsorozat során, azok magas nedvességtartalma miatt, a dielektromos jellemzők esetében a vízhez hasonló viselkedés volt várható a hőmérséklet változásának függvényében. A kísérleteket elvégeztük a rendelkezésre álló húsipari eredetű szennyvíziszappal (ISZ1; TS=9,7 m/m%), illetve víztelenített húsipari iszap adagolásával megnövelt szárazanyag tartalmú iszappal is (ISZ2, TS=14,7 m/m%). A kísérletek során meghatározott dielektromos állandó ( $\epsilon'$ ) és a dielektromos veszteségi tényező ( $\epsilon''$ ) hőmérsékletfüggése az irodalmi adatokban leírt tendenciákkal nem egyezett.

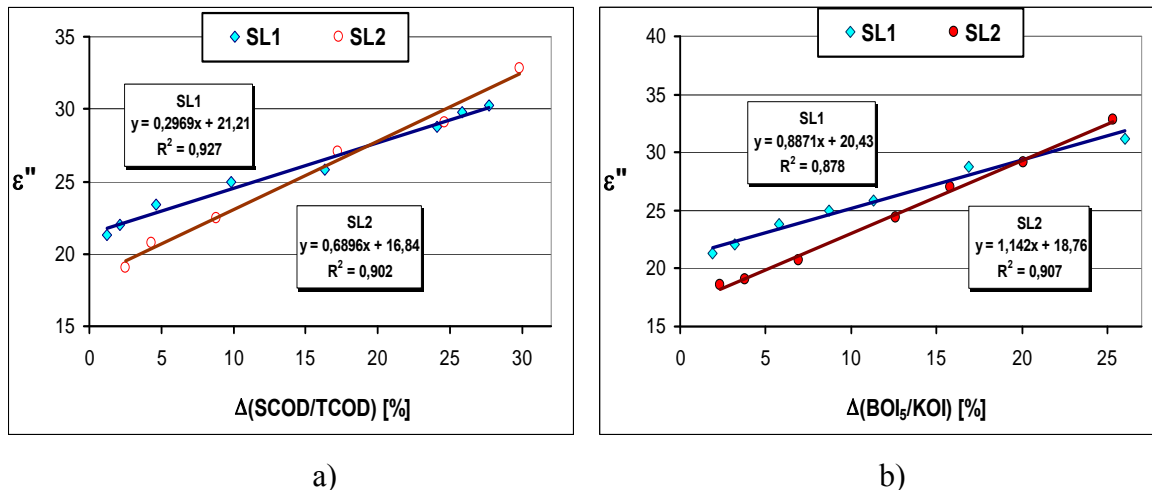


1. ábra: A dielektromos állandó ( $\epsilon'$ ) és a dielektromos veszteségi tényező ( $\epsilon''$ ) a hőmérséklet és a szárazanyag tartalom függvényében

Az eredeti szennyvíziszap (ISZ1) dielektromos állandója 20-50°C hőmérséklettartományban csökkent, majd kismértékben emelkedett (32. ábra), míg a dielektromos veszteségi tényező kismértékű csökkenést követően 30-60°C tartományban nem mutatott szignifikáns változást, majd ezt követően a hőmérséklet emelkedésével ugrásszerűen növekedett az értéke. A dielektromos jellemzők változásának oka az iszap kétlépcsős dezintegrálására vezethet vissza.

A termikus kezelések során először az iszappelyheket stabilizáló EPS struktúra bomlik fel, majd egy kritikus hőmérséklet elérésekor az iszapban lévő sejtfalak felszakadnak, és a sejtnedv kiszabadul (Cho et al., 2012). A polimerek részleges termikus hidrolízise, illetve a sejtfalak felszakadása után a sejtnedvvel kiszabaduló -mobilissá váló- ionoknak a növekvő arányú szabad víztartalomban mérhető koncentráció-emelkedése (Ahn et al, 2009) az ionos vezetés jelentőségének növekedése miatt, a dielektromos veszteségi tényező értékére egyre nagyobb hatást gyakorol, annak értékét növelve. Ennek figyelembevételével, és mivel az iszaprészecskék destrukciójának, valamint a sejtfalak integritásának megszűnése következtében az oldott szervesanyagok koncentrációja növekszik, a dielektromos paramétereknek a különböző hőmérsékleten történő mérésére szolgáló mintákból meghatároztuk a vizes fázis kémiai oxigénigényét, illetve számítottuk az oldhatósággal összefüggő SCOD/TCOD százalékos arányt is.





2. ábra A dielektromos veszteségi tényezőnek a szervesanyag vízoldhatósággal (a) és a biológiailag lebontható szervesanyag hányaddal (b) való összefüggése

A dielektromos paraméterek közül a veszteségi tényező ( $\epsilon''$ ) változása, és a szervesanyag oldhatóság kontroll mintához viszonyított változása között a vizsgált iszap esetében, az alkalmazott kísérleti körülmények között, szoros lineáris kapcsolat mutatható ki. A termikus kezelések következtében a szervesanyagok oldhatóságában tapasztalható növekedés tehát a dielektromos veszteségi tényező mérésével nyomonkövethető, ennek értékéből az oldhatósági változások mértéke becsülhetővé válik. Az oldhatósági változások mellett az iszapnak a BOI és KOI értékek hányadosával jellemzett biológiai bonthatóságának és a dielektromos jellemzőknek a kapcsolatát is vizsgáltuk.

A biológiailag lebontható szervesanyagok koncentrációjának a dielektromos veszteségi tényező mérésével való nyomonkövetése esetében szintén meg kell jegyezni, hogy az  $\epsilon''$  ismerete önmagában nem elegendő a biológiai bonthatóság meghatározására, azonban a kezelések közbeni változásainak mértékéből becsülhetővé válik a bonthatóság változásának mértéke, vagyis a kezelések hatékonysága.

## Összefoglalás

A kutatási munkánk során az élelmiszeripari, és ezen belül húsipari szennyvíziszapok szervesanyag tartalmának oldhatóságában, valamint a biológiailag lebontható szervesanyag hányad értékében végbemenő változások és a dielektromos jellemzők közötti összefüggéseket vizsgáltuk. Az eddigi eredményeink alapján a dielektromos jellemzők mérésének jelentősége például a félüzemi, vagy üzemi méretű, folytonos anyagkezelést alkalmazó berendezések hatékonyságának ellenőrzésében, és folyamatszabályozásában lehet. A dielektromos jellemzők helyszíni, a kezelővonalba épített - in-line - és a valós idejű mérést és a kezelési paraméterek szabályozását lehetővé tevő - real-time - mérésével a kezelések, és a dielektromos paramétereknek a szerepe miatt elsősorban a mikrohullámú kondicionálási eljárás, biológiai lebonthatóság és energetikai szempontú, a feldolgozott anyag összetételéhez és szerkezetéhez igazodó, dinamikus optimálása válhat lehetővé.

## **Köszönetnyilvánítás**

*A kutatómunkát az OTKA K105021. számú kutatási projekt támogatta. Jelen eredmények megjelenését „Zöld Energia Felsőoktatási Együtműködés (ZENFE)” című, TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0012 azonosítószámú projekt támogatja. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.*

## **Irodalomjegyzék**

1. AHN, J.H. – SHIN, S.G. - HWANG S.: Effect of microwave irradiation ont he disintegration and acidogenesis of municipal secondary sludge. Chemical Engineering Journal 153, 2009, 145-150.
2. BOUGRIER, C. – DELGENES, J.P. – CARRERE, H.: Impacts of thermal pretreatments on the anaerobic digestion of waste activated sludge. Biochemical Engineering Journal, 34(1), 2007, 20-27.
3. CHO, SK. – SHIN, HS. -, KIM, DH.: Waste activated sludge hydrolysis during ultrasonication: two-step disintegration. Bioresource Technology 44, 2012, 480-483.
4. CHU, C.P. – CHANG, B.V. – LIAO, G.S. – JEAN, D.S. – LEE, D.J.: Observations on changes in ultrasonically treated waste-activated sludge. Water Research 35, 2001, 1038-1046.
5. DE LOS SANTOS, J. – GARSIA, D. – EIRAS, J.A.: Dielectris chracterization of materials at microwave frequency range. Materials Research 6(2003), 742-746.
6. ESKICIOGLU, C. – KENNEDY, K.J. – DROSTE, R.L.: Characterization of soluble organic matter of waste activated sludge before and after thermal pretreatment. Water Research 40, 2006, 3725-3736.
7. GÉCZI, G. – HORVÁTH, M. – KASZAB, T. – ALEMANY, G.G.: No major differences found between the effects of microwave-based and conventional heat treatment methods on two different liquid foods. PLOS ONE 8(1), 2013, 1-12.
8. JONES, DA. – LELYVELD, T.P. – MAVROFIDIS, S.D. – KINGMAN, S.W. – MILES, N.J.: Microwae heating applications in environmental engineering-areview. Resources, Conservation and Recycling. 34, 2002, 75-90.
9. LAKATOS, E. – KOVÁCS, A.J. –SZERENCSEI, Á. -, NEMÉNYI, M.: Non-thermal effect of microwave treatment on enzyme suspensions Part II.: Cellulose enzyme activity. Review of Faculty of Engineering Analecta technica Szegedinensia, 2009, 63-68.
10. LUCCHESI, M.E. – SMADJA, J. – BRADSHOW, S. – LOUW, W. – CHEMAT, F.: Solvent free microwave extraction of Ellataria cardamonum L.: a multivariate study of a new technique for the extraction of essential oil. Journal of Food Engineering 79, 2007, 1079-1086.
11. PARK, B. – AHN, J.H. – KIM, J. – HWANG, S.: Use of microwave pretreatment for enhanced anaerobiosos of secondary sludge. Water Science and Technology 50, 2004, 17-23.
12. TANG, B. - YU L,F. – HUANG, S.S. – LUO, J.Z. – ZHUO, Y.: Energy efficinecy of pretreating excess sewage sludge with microwave irradiation. Bioresource Technology 101(14), 2010, 5092-5097.