

# Mikrohullámú energiaközlés alkalmazása a növényi olaj alapú hajtóanyagok előállításának folyamatában

**Nagy Valéria, Beszédes Sándor, Ludányi Lajos,  
Keszthelyi-Szabó Gábor**

Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, H-6725 Szeged, Moszkvai krt. 9.  
e-mail: [valinagy78@gmail.com](mailto:valinagy78@gmail.com)

---

*A bio-motorhajtóanyagokkal kapcsolatos kutatások fontosságát egyrészt Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervében foglaltak, másrészt az Európa 2020 által is hangsúlyozott intelligens és fenntartható növekedés elősegítése indokolja. Ugyanakkor az Innovatív Unió kiemelt céljaként megjelölt kutatás, fejlesztési és innovációs teljesítmény – jelenleg mérsékelt (EU átlag alatti) – növekedésének az elősegítése is meghatározó szempont. Közleményünkben közölt kutatási program közvetlen célja a mikrohullámú előkezelés bio-energetikai célú felhasználási lehetőségének vizsgálata, közvetett cél az energiaellátás biztonságának megteremtése. Az eddigi tapasztalatok alapján a mikrohullámú energiaközlés előnyösen használható a biomassza biotranszformáción alapuló energetikai hasznosításakor, továbbá egyes kémiai reakciók intenzifikálása területén. Előkísérleti tapasztalataink azt mutatták, hogy a növényi olajok mikrohullámú térben történő átészterezése (metanolos átészterezés NaOH katalizátorral) az eljárás idejének és energiafelhasználásának csökkentését eredményezheti. A mikrohullámú energiaközléssel végzett növényi alapú hajtóanyagok előállítása eltérő műveleti-, eljárás- és folyamatparaméterek mellett történt. A kísérletek eredményeként megállapítható, hogy a hagyományos átészterezés reakcióidejéhez viszonyítva a mikrohullámmal történt átészterezési reakcióidők jelentősen lecsökkentek, azonban az eljárás energetikai szempontú optimalálásához a kezelt reakcióelegy összetételének és az összetevők dielektromos jellemzőinek további vizsgálata, illetve meghatározása is szükséges.*

*Kulcsszavak: biohajtóanyagok; biodiesel; mikrohullámú energiaközlés*

---

## 1 Bevezetés

Napjainkban a fenntartható fejlődés és a fenntartható túlélés meghatározó jelenségek, ennek okán az Európai Unió (EU) kiemelt intézkedése a zöld környezet irányába való elmozdulás, amelynek egyik eleme a hajtóanyagok előállításából és hasznosításából eredő kedvezőtlen klímaváltozás mértékének

lassítása és ehhez kapcsolódóan a károsanyag kibocsátás folyamatos csökkentése. Az utóbbi évek energiaellátásának anomáliái és ezek gazdasági vonatkozásai felhívták a figyelmet arra, hogy Magyarország esetében hosszútávon célszerűnek látszik a más országoktól való energetikai függőség mérséklése, melynek egyik lehetséges módja a hazai erőforrásokat felhasználó energiaelőállítási technológiák folyamatos fejlesztése. Ezért elengedhetetlen mind energetikai, mind pedig környezetvédelmi vonatkozásban is kutatni a bio-motorhajtóanyagok előállításának költséghatékonyabb módjait. Az előállítási időt és energiahatékonyságot tekintve innovatív lehet a mikrohullámú technika alkalmazása, ennek kísérleti igazolása. Az előállítási költségek csökkentésében kulcsfontosságú szerepet játszik a folyamatok külső energiaszükségletének csökkentése.

A mikrohullámú technológia hasznosíthatóságát a mezőgazdasági és élelmiszeripari eljárásokban már évtizedek óta vizsgálják, és igazolták annak hatékonyságát. Az utóbbi évtizedben egyre több kutatócsoport foglalkozik a környezetvédelmi technikákban történő felhasználással, például a környezetszennyező anyagok ártalmatlanítása vagy a hulladékok energetikai hasznosítása terén. Szintén jól hasznosítható eredmények születtek a nagyfrekvenciás változó elektromágneses térnek a kémiai szintézisekre és egyes bio-katalitikus folyamatokra gyakorolt hatásairól és ezek hasznosítási lehetőségeiről. Ezen előzetes eredmények alapján tehát a mikrohullámú energia és a különféle anyagok kölcsönhatásainak elméleti alapjait igazoló kísérletek végzése indokolt. Különböző biológiai anyagok – köztük a növényi olajok – és az elektromágneses energia (különösen a mikrohullámú energia) kölcsönhatását vizsgálta [Ponne – Bartels, 1995.]. Megállapították, hogy a mikrohullámú energia disszipációját, a folyamat energiahasznosulási mutatóit, valamint az anyagban végbemenő változásokat az anyagok fizikai, hőtani és dielektromos tulajdonságai egyaránt befolyásolják.

Az utóbbi időben az energetikai célokat szolgáló alkalmazás is egyre inkább előtérbe került a mikrohullámmal támogatott biodiesel előállítás területén. Számos közlemény és tanulmány közül például [Schuchardt *et al.*, 1998.] a kihozatali mutatók alapján kísérleti úton optimalták az ideális alkohol-növényi olaj-katalizátor arányt. A mikrohullámú technika alkalmazásával ugyanis sok esetben a szerves kémiai szintézisek transzformációs hatásfoka javítható, illetve a végtermék, a folyamatok melléktermékeinek tulajdonságai és a hasznosíthatóság is javulhat. Továbbá némely esetben elkerülhető vagy minimalizálható az oldószerek és katalizátorok használata [De La Hoz *et al.*, 2002.]. Ennek igazolására több kutatócsoport is végzett olyan technológiai kísérleteket, amelyek az adott növényi olaj mikrohullámmal támogatott átszterezésének körülményeit határozzák meg tapasztalati úton. A biodiesel előállítás lehetőségeit és kihívásait kutatta [Leadbeater – Stencel, 2006.] és [Al Zuhar, 2010.]. Az átszterezési fok növelésének lehetőségét vizsgálta [Orliac – Silvestre, 2007.], akik a hagyományos átszterezéshez viszonyítva magasabb hozamokat és rövidebb

reakció időt értek el nagyobb mennyiségű katalizátor és mikrohullámú energiaközlés egyidejű alkalmazásával. Később [Shakinaz et al., 2010.] a nem élelmezési célú növényi olajokkal (*Jatropha*) és a hulladék növényi olajokkal, míg [Ozturk et al., 2010.] kukoricacsírából nyert magas linolsav tartalmú olajjal végzett kísérleteikkel igazolták, hogy a mikrohullámú besugárzás alkalmazásával bizonyos kémiai reakciók felgyorsíthatók a mikrohullám szelektív abszorpciójának, illetve a molekuláris szintű termikus hatásnak köszönhetően.

A mikrohullámú energiaközlés előnyös hatásaira vonatkozóan a biogáz előállítási technológiák esetében is található tanulmányok. Ezek eredményeit összefoglalva megállapítható, hogy a biogáz fermentáció céljából nagy mennyiségben rendelkezésre álló – önmagában vagy alapanyag-keverékek összetevőjeként használható – szennyvíziszap esetében a mikrohullámú előkezelések a szervesanyagoknak az oldhatósági tulajdonságait, továbbá a lebontó mikroorganizmusok számára való hozzáférhetőségét javítják. Ezen hatások az anaerob fermentációs eljárásokban előnyösek mind a biogázkihozatali mutatók, mind pedig a biogáz termelődés ütemének fokozódása szempontjából [Kovács et al., 2012.]. Az utóbbi években a mikrohullámú anyagkezelési kutatásoknak az egyik kiemelt területe a lignocellulóz tartalmú melléktermékek és hulladékok kezelése. Megállapították, hogy a mikrohullámú sugárzással a növényi sejtfalak és szövetek igen intenzíven roncsolhatók, amely a későbbi bioetanol fermentáció során a hagyományos technológiáknál jobb kitermelési mutatókat eredményez [Beszédes et al., 2012.].

A mikrohullámú energiaközlés speciális hatásai között valamennyi kutató megemlítette a helyi hőmérsékletemelkedést, illetve a mikrohullámú besugárzás reakciót gyorsító hatását. Összefoglaló jellegű közleményükben [Motasemi – Ani, 2012.] a mikrohullámmal segített biodieszel előállítás területén az elmúlt tíz év kutatás-fejlesztési eredményeiről számolnak be, amelyek alapján a biodieszel hajtóanyagként történő hasznosítását is feltételező egyszerűsített energia megtérülési számítását végeztek, melynek alapján az előállítási és hasznosítási rendszer fenntarthatóságára következtetnek.

Az eddigi eredmények ismeretében a kutatómunkánk fő célkitűzése az EU területén motorhajtóanyagként felhasználható és hazai viszonylatban is rendelkezésre álló néhány növényi olaj mikrohullámú térben végzett átészterezési eljárás vizsgálata, az alapanyag függő műveleti paramétereknek az energetikai mutatók alapján történő optimalálása, valamint az előállított biodieszel minőségi paramétereinek és dielektromos paramétereinek összefüggésvizsgálata. E kutatási projekt első szakaszában a rész célkitűzés a kutatási feladat megvalósításához szükséges kísérleti berendezés összeállítása, a kísérleti módszer és az energetikai mérési-számítási módszerek megalkotása, alkalmazási feltételeinek meghatározása és validálása, továbbá az egyes alapanyagok esetében az átészterezési előkísérletek elvégzése és a folyamatjellemzők optimalálása.

## 2 Biodiesel előállítása mikrohullámú térben

A technológiai előkísérletek alapvető célja annak a megállapítása volt, hogy a belsőégésű motorok hajtóanyagaként hasznosítható növényi olajok (napraforgó, repce) mikrohullámú energiaközléssel végzett átészterezése milyen eltéréseket/hasonlóságokat mutat a hagyományos átészterezéshez viszonyítva. A kísérletileg meghatározott műveleti-, eljárás- és folyamatparaméterek mellett elvégzett mikrohullámmal támogatott átészterezés eredményeként nyert biodiesel motorhajtóanyag dielektromos tulajdonságainak ismeretében számolható a mikrohullámú kezelés során a hőkéltés szempontjából hasznosult (disszipált) teljesítmény, az alapvető fizikai, kémiai, tüzeléstechnikai és minőségi paramétereinek ismeretében pedig meghatározhatók egyéb energiaindikátorok.

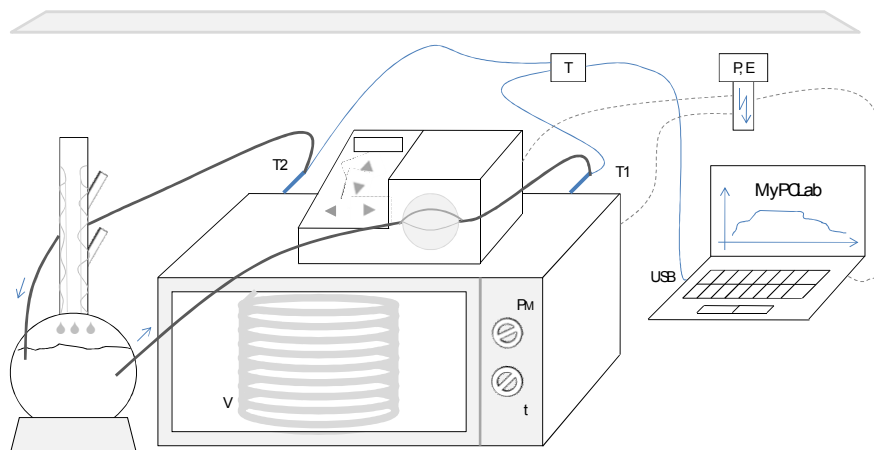
A kutatás közvetett célja, hogy a 2009/208/EC RED (Megújuló Energiaforrás Irányelvek) bioüzemanyagokra vonatkozó környezeti fenntarthatósági kritériumainak teljesítésével hozzájáruljon a fenntartható energetika előmozdításához.

### 2.1 Kísérleti eszközrendszer

A kutatásainkhoz szükséges kísérleti eszközrendszer a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kara Folyamatmérnöki Intézetének Hő- és Áramlástan Laboratóriumában rendelkezésre áll. A mikrohullámmal segített metanolos átészterezés egy átalakított háztartási mikrohullámú készülékben történt átfolyó rendszerben. Az átészterezés során a hőhatás következtében keletkező pára kondenzációját a zárt rendszerű puffertartálnál végeztük laboratóriumi spirálhűtő segítségével elszívó fülke alatt.

A mikrohullámú tér kialakításához a háztartási mikrohullámú készülék egy 8/10 mm átmérőjű, 15 menetes, PTFE anyagból készült csőspirál kezelőtérrel, továbbá hőmérsékletérzékelőkkel, a be- és kimenő dielektrikum hőmérsékletének mérésére és a hőmérsékletértékek regisztrálására alkalmas szoftvert (myPCLab) tartalmazó mérő és adatgyűjtő számítógépes rendszerrel, az energiaindikátorok meghatározásának/számításának alapját adó jellemzőket regisztráló adatgyűjtővel, valamint a folyamatos anyagtovábbítást biztosító perisztaltikus pumpával lett felszerelve. A PTFE alapanyagú csőspirál keresztmetszete és a menetek száma alapján meghatározott hasznos térfogat  $405 \text{ cm}^3$ . Az eszközrendszer vázlatos elrendezését az 1. ábra mutatja.

A készülék 2450 MHz frekvencián (12,24 cm szabadtéri hullámhossz mellett) 700 W maximális magnetron teljesítmény leadására képes a 0,25 m mélységű és 0,18 m magasságú üregrezonátorban.



I. ábra

Mikrohullámú kísérleti berendezés

## 2.2 Az átészterezés folyamatparamétereit és a kísérleti anyagok jellemzése

A nagy mennyiségben rendelkezésre álló motorhajtóanyagként hasznosítható növényi olajok közé Magyarországon a napraforgóolaj és a repceolaj tartozik. Az előkísérletek végzése során e két növényi olaj átészterezése metanol, valamint az olcsó és hatékony NaOH katalizátor felhasználásával történt. A kísérleti elegyet alkotó adott növényi olaj, metanol és katalizátor keveréke többkomponensű anyag (dielektrikum), amely poláros és ionos molekulákat egyaránt tartalmaz. A metanol a mikrohullámot jól abszorbeáló anyagok közé tartozik. Ennek oka a hidroxil csoportoknak ( $\text{OH}^-$ ) a változó polaritású, nagyfrekvenciás elektromágneses térben történő átrendeződése, amelynek során a kinetikai energia intenzív helyi hőfejlődést eredményez. A mikrohullámú kezelések nagy energiasűrűsége, illetve az elegyet alkotó komponensek eltérő dielektromos tulajdonságai miatti szelektív felmelegedés a hőmérsékletfüggő reakciók gyorsabb lejátszódásához vezet.

A különböző növényi eredetű olajok eltérő zsírsavösszetétele az anyag hőtani és dielektromos tulajdonságaira is hatással van. Az 1. táblázat tartalmazza a kísérlethez felhasznált növényi olajokat alkotó, különböző szénatomszámú zsírsavak mennyiségi összetételi értékeit. Az olajokat alkotó komponensek tömegkoncentrációinak és az egyes komponensek hőtani tulajdonságainak ismeretében a kísérlethez felhasznált elegyek fajhőértékei számíthatók [Zong et al., 2010.] szerint:

- napraforgóolaj:metanol:NaOH elegy esetében  $c_p=2,415 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

- repceolaj:metanol:NaOH elegy  $c_p=2,233 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

1. táblázat

A növényi olajok főbb komponensei és azok aránya

zsírsavak	napraforgó olaj	repceolaj
Palmitinsav (C 16:0)	6,64%	5,19%
Stearinsav (C 18:0)	3,46%	1,68%
Olajsav (C 18:1)	30,46%	60,89%
Linolsav (C 18:2)	57,72%	21,37%
Linolénsav (C 18:3)	0,08%	8,13%
Arachinsav (C 20:0)	0,27%	0,48%
Gadolajsav (C 20:1)	0,15%	1,10%
Behénsav (C 22:1)	0,76%	0,24%

Az átészterezés műveleti-, eljárás- és folyamatparamétereinek meghatározásánál figyelembe kell venni az elegyet alkotó összetevők (növényolaj, metanol, NaOH) eltérő dielektromos tulajdonságait, ugyanis az elegy dielektromos viselkedése a hőmérséklet mellett erősen függ az alkotó molekulák szerkezetétől.

Az elvégzett technológiai előkísérletek és a témában született szakirodalmi adatok alapján meghatározhatók az eljárás folyamatparaméterei:

- növényi olaj térfogata az elegyben: 82%
- metanol térfogata az elegyben: 18%
- katalizátor mennyisége: a növényi olaj tömegének 0,5%-a
- mikrohullámú kezelési teljesítmény  
(a magnetron teljesítmény és a sugárzási/sugárzásmentes időperiódusok aránya alapján): 418,1 W
- reakcióidők (a kezelt elegy egyszeri átáramoltatásának megfelelően, illetve a metanol forráspontja alatti kilépési hőmérséklet figyelembevételével): 300 és 360 sec
- folyamat jellege: folyamatos anyagtovábbítás

### 3 Kísérleti eredmények

Az eszközrendszerhez kapcsolt hőmérséklet érzékelő és regisztráló myPCLab szoftverrel rögzített  $T_{be}$  és  $T_{ki}$  hőmérsékletek, hőmérsékleti profilok, valamint az üregrezonátor geometriai paraméterei és a dielektrikum hőtani tulajdonságai alapján meghatározhatók a vizsgált növényi olajok dielektromos jellemzői, a disszipált teljesítmény/ befektetett energia arány, az átészterezés összenergia igénye, határfoka és hatékonysága. Az összehasonlítás alapja minden esetben a hagyományos átészterezés.

Mivel az üregrezonátorban nincs fázistolás, ezért az  $\varepsilon'$  a dielektromos állandó valós része (permittivitás) nem hat vissza a disszipált teljesítményre. Az  $\varepsilon''$  a dielektromos állandó képzetes része (abszorpciós tényező) a mikrohullámú energia hővé alakulásának mértékére jellemző. Ismert összetételű anyag esetében az összetételnek megfelelő fajhő, a kezelt anyag tömegaránya és a hőmérsékletemelkedés mértéke alapján a klasszikus kalorikus módszerrel kiszámítható hőmennyiség megegyezik a mikrohullámú sugárzás során az anyagban disszipálódott teljesítménnyel. Ennek értelmében a dielektrikumban elnyelődött mikrohullámú teljesítmény a hőtani jellemzők ismeretében (1) és a villamos és dielektromos paraméterek ismeretében (2) is felírható a következőképpen:

$$P_{\text{disszipált}} = c_p \cdot m \cdot \dot{T} \quad [\text{W}] \quad \text{és} \quad (1)$$

$$P_{\text{disszipált}} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot f \cdot E_{\text{RMS}}^2 \cdot \varepsilon''_{(Tki)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (2)$$

Az (1) és (2) összefüggésekből meghatározható az  $\varepsilon''$ , melyet visszahelyettesítve valamelyik egyenletbe, adódik a disszipált teljesítmény. A számítás az alábbi mennyiségek és részösszefüggések felhasználásával történik:

- $c_p$  – a kezelt elegy átlagos fajhője [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
- $m$  – a kezelt elegy tömege [kg]
- $\dot{T} = \frac{dT_{ki}}{dt}$  [ $\text{K} \cdot \text{s}^{-1}$ ] (3)
- $\varepsilon_0$  – elektromos permittivitás [ $\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ]
- $f$  – frekvencia [ $\text{s}^{-1}$ ]

A (2) egyenletben szereplő  $E_{\text{RMS}}$  [ $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ ] villamos térerő a terhelőoldali impedancia, az átlagos magnetron teljesítmény és az üregrezonátor geometriai méreteinek ismeretében számítható a következő összefüggéssel:

$$E_{\text{RMS}}^2 = \frac{4 \cdot P_{\text{magnetron}} \cdot Z_{\text{terhelő}}}{a \cdot b}, \quad \text{ahol} \quad (4)$$

- $P_{\text{magnetron}}$  – magnetron teljesítmény [W]
- $Z_{\text{terhelő}}$  – terhelésoldali impedancia [ $\text{V} \cdot \text{A}^{-1}$ ]
- $a$  – a tápvonal mélysége [m]
- $b$  – a tápvonal magassága [m]

A terhelő impedancia pedig a következőképpen határozható meg:

$$Z_{\text{terhelő}} = \frac{Z_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2 \cdot a}\right)^2}}, \quad \text{ahol} \quad (5)$$

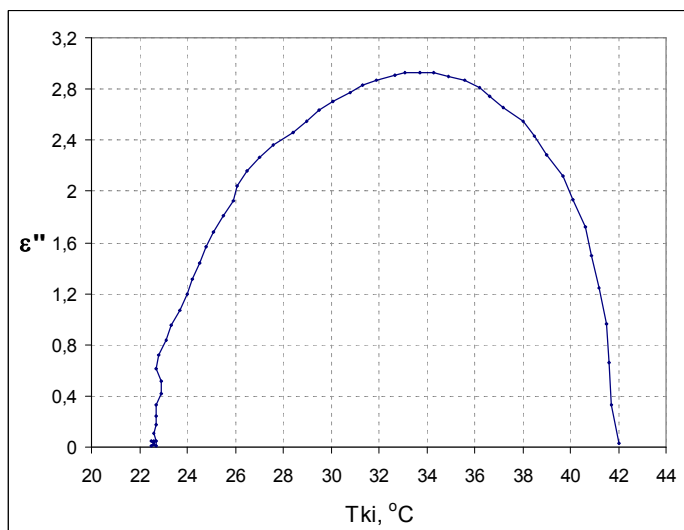
- $Z_0$  – hullámimpedancia [ $\text{V} \cdot \text{A}^{-1}$ ]  $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$  szerint (6)

$$\lambda_0 - \text{üzemi hullámhossz [m]} \quad \lambda_0 = \frac{c}{f} \text{ szerint} \quad (7)$$

Az (1) és (2) egyenletek felhasználásával, a fentiek alapján az adott elegyre vonatkozó dielektromos jellemző a kísérlet során folyamatosan meghatározható a hőmérséklet függvényében:

$$\varepsilon'' = \frac{c_p \cdot m \cdot \dot{T}}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot f \cdot E_{RMS}^2} \quad (8)$$

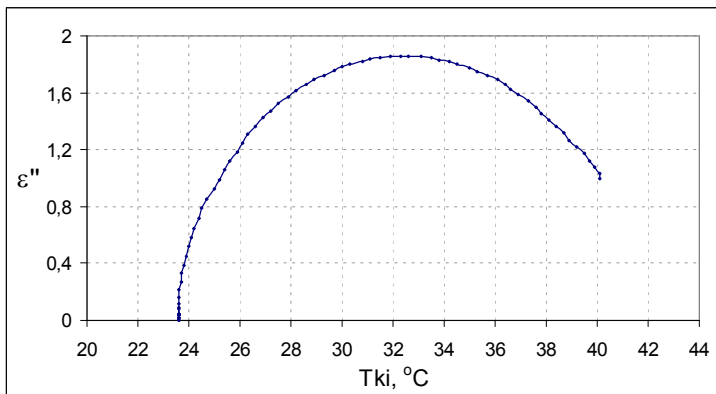
A dielektromos állandó értéke azt mutatja meg, hogy milyen mértékben hat az elektromos tér egy adott közegre (dielektrikumra). A vizsgált többkomponensű anyagok dielektromos állandója és a hőmérséklet között nemlineáris összefüggés van. A frekvencia, a hőmérséklet és a dielektrikum összetétele együttesen befolyásolják a dielektromos tulajdonságokat. Ebből adódóan az elegyet alkotó komponensek és ezek összetételi arányai befolyásolják az  $\varepsilon''$  értéket. A dielektromos jellemző értékeit, valamint a fajlagos elnyelési tényezőket a napraforgó olaj és a repceolaj mikrohullámú átészterezése során 418,1 W átlagos magnetron teljesítmény mellett a 2-5. ábrák szemléltetik. Megfigyelhető, hogy a napraforgó olaj esetében 300 s kezelési időintervallumot tekintve 33,7 °C-nál éri el a komplex dielektromos állandó képzetes része ( $\varepsilon''$ ) a maximális (2,93) értéket, ennek megfelelően a fajlagos elnyelési tényező 1,56 W·g<sup>-1</sup>. Míg repceolaj esetében 360 s kezelési időintervallumot tekintve 32,3 °C-nál adódik az  $\varepsilon''$  totális maximuma (1,86), amikor is a fajlagos elnyelési tényező 1,07 W·g<sup>-1</sup>.



2. ábra

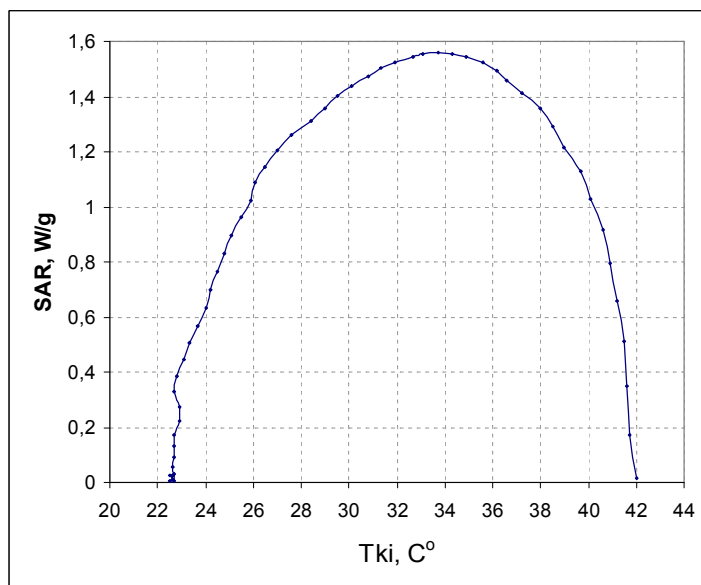
$\varepsilon''$  a kimeneti hőmérséklet függvényében napraforgó olaj átészterezése során





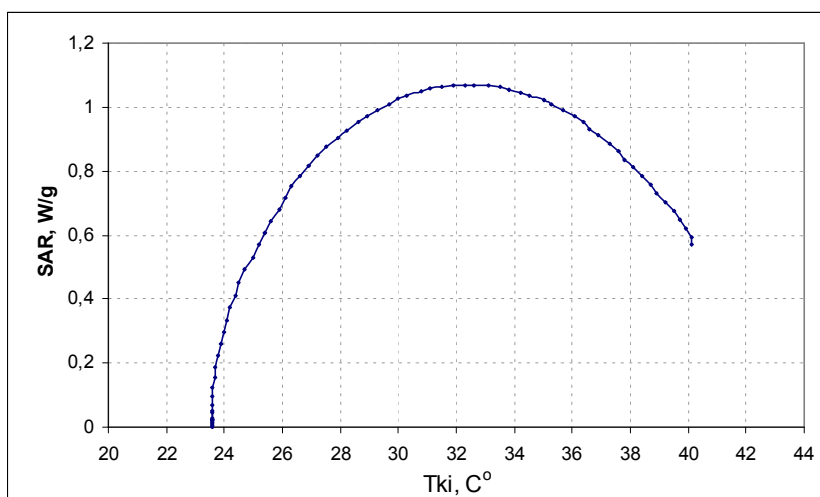
3. ábra

$\epsilon''$  a kimeneti hőmérséklet függvényében repceolaj átészterezése során



4. ábra

Fajlagos elnyelési tényező a kimeneti hőmérséklet függvényében napraforgó olaj átészterezése során



5. ábra

Fajlagos elnyelési tényező a kimeneti hőmérséklet függvényében repceolaj átészterezése során

A mikrohullámmal segített átészterezésnél mindenkor figyelembe kell venni, hogy az adott többkomponensű anyag dielektromos állandója az ún. multi-permittivitási elv alapján az eltérő dielektromos állandókkal rendelkező összetevők legkisebb és legnagyobb dielektromos állandói közé esik. A növekvő hőmérsékletű dielektrikum (növényolaj és metanol elegy) esetében a dielektromos tényező értéke a maximális érték után csökken, vagyis az anyag kevesebb mikrohullámú teljesítményt tud abszorbeálni. Ennek megfelelően kialakul egy önszabályozó és önkorlátozó folyamat, amely jól modellezhető.

A mikrohullámmal segített kezelés sarkalatos kérdése a teljes energiaigény meghatározása, különös tekintettel a berendezés energiaigényére: A 2. táblázat összefoglalóan tartalmazza a napraforgó olajjal, illetve a repceolajjal végzett mikrohullámmal segített átészterezési kísérletek mért és/vagy számított eredményeit, különös tekintettel az átészterezés hatékonyságát befolyásoló jellemzőkre.

2. táblázat

A mikrohullámmal segített átészterezés főbb jellemzői

Jellemzők	Mikrohullámú átészterezés	
	napraforgó olaj	repceolaj
átlagos magnetron teljesítmény [W]	418,1	418,1
hozam [%]	93,7-96,8	94,5-97,5

energiaigény [J/ml biodiesel]	390-403	387-400
fajlagos elnyelési tényező (SAR) [W/g elegy]	<1,56	<1,07
folyamat hatékonysága	magas	
módszer	folyamatos	

A technológiai fejlesztések során a költség- és energiahatékonyság mellett alapvető követelmény, hogy a biodiesel hajtóanyag minőségének csökkenése nélkül valósuljanak meg. Ez utóbbi ellenőrzése érdekében a mikrohullámmal segített eljárással előállított biodiesel hajtóanyagok főbb fizikai, kémiai és tüzeléstechnikai paramétereinek (kinematikai/dinamikai viszkozitás, nyílt téri lobbanáspont, I-Br szám, fűtőérték stb.) meghatározása is kívánatos.

### **Következtetések**

A közölt eredmények alapján a vizsgált növényi olajok (napraforgó olaj, repceolaj) tekintetében megállapítható, hogy a mikrohullámmal segített átészterezés energiahatékony és gyors folyamat, ezáltal csökkenti a termék költségét. A hagyományos melegítési módszer reakcióideje hosszú és nagy energia bevitellel jár. A kísérleti eredmények ismeretében a kutatások további iránya lehet a dielektromos viselkedés és a minőségi paraméterek (viszkozitás stb. közötti összefüggés(ek) vizsgálata, ezt követően pedig a dielektromos paraméterek folyamat közbeni nyomonkövetése és egy matematikailag jól kezelhető folyamatszabályozási és energetikai rendszermodell kidolgozása, amelyben az energetikai operátorokat befolyásoló valamennyi jellemzőt és paramétert figyelembe lehet venni, természetesen a felhasználás céljának megfelelő prioritási követelmények megtartásával.

### **Köszönetnyilvánítás**

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt Magyar Zoltán Posztdoktori Ösztöndíjának keretei között, továbbá az OTKA 105021 azonosítójú pályázat támogatásával valósult meg.

**Irodalom**

- [1] Carina T. Ponne, Paul V. Bartels: Interaction of electromagnetic energy with biological material. In: *Radiat. Phys. Chem.* Vol 45, No 4 (1995), pp. 591-607
- [2] Schuchardt U, Sercheli R, Vargas RM: Transesterification of vegetable oils: a review. In: *Brazil Chem Soc* 1998/9 (3), pp 199-210
- [3] De La Hoz A., Loupy A.: *Microwaves in Organic Synthesis*. Wiley – VCH, Weinheim, 2002.
- [4] Leadbeater NE, Stencel LM: Fast, easy preparation of biodiesel using microwave heating. In: *Energy Fuels* 2006;20(5) pp. 2281-2283
- [5] Al Zuhair S. Production of biodiesel: possibilities and challenges. In: *Biofuels Bioprod Bioref* 2007; 1(1):57–66.
- [6] Orliac O., Silvestre F.: Microwave esterification of sunflower proteins in solvent-free conditions. In: *Bioresource Technology* 87 (2007) pp. 63-68
- [7] Shakinaz A. El Sherbiny, Ahmed A. Refaat, Shakinaz T. El Sheltawy: Production of biodiesel using the microwave technique. In: *Journal of Advanced Research* 2010/1, pp. 309-314
- [8] Ozturk G., Kafadar A. B., Duz M. Z., Saydut A., Hamamci C.: Microwave assisted transesterification of maize (*Zea Mays L.*) oil as a biodiesel fuel. In: *Energy Exploration & Exploitation*, Vol. 28 (1), p 47-58, 2010
- [9] Motasemi F., F.N.Ani: A review on microwave-assisted production of biodiesel. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) pp 4719–4733
- [10] Kovács V. P., Beszédes S, Ludányi L, Hodúr C, Szabó G: Folytonos anyagtovábbítású mikrohullámú kezelőberendezés fejlesztése. XXXIV. Óvári Tudományos Nap: A magyar mezőgazdaság - lehetőségek, források, új gondolatok, Mosonmagyaróvár 2012., pp. 68-73
- [11] Beszédes, S., Tachon, A., Lemmer, B., Ábel M., Szabó G., Hodúr, C.: Bio-fuels from cellulose by microwave irradiation. *Annals of Faculty Of Engineering Hunedoara-International Journal Of Engineering* Vol. 10(2), 2012, pp. 43-48.
- [12] Zong, L., Ramanathan, S., Chen, C.C.: Fragment-Based Approach for Estimating Thermophysical Properties of Fats and Vegetable Oils for Modeling Biodiesel Production Process. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2010, 49, pp 876-886