

## A mikrohullámú technika alkalmazásának újabb lehetőségei az élelmiszer- és környezetiparban

László Zsuzsanna<sup>1</sup> – Simon Erika<sup>1</sup> –  
Hodúr Cecília<sup>1</sup> – Fenyvessy József<sup>2</sup>

Szegedi Tudományegyetem,  
Szegedi Élelmiszeripari Főiskolai Kar,

<sup>1</sup>Élelmiszeripari Műveletek és Környezettechnika Tanszék, Szeged

<sup>2</sup>Élelmiszertechnológia és Környezetgazdálkodási Tanszék, Szeged  
zsizsu@sol.cc.u-szeged.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

*A mikrohullámú kezelés során a hagyományos hőközléssel ellentétben az anyag egyenletesen, belülről melegszik. Ezt a tulajdonságát használják ki a gyors és hatékony mikrohullámú szárítási, vízelvonási eljárások. Az élelmiszeripari alapanyagok, termékek hőérzékenysége megköveteli a kíméletes, gyors és jól szabályozható technológiák kialakítását, ami a hagyományos és mikrohullámú technikák kombinációjával nagyon jól megvalósítható. Az élelmiszeripari gyakorlatban a mikrohullámú technika másik alkalmazási területe a termékek mikrobiológiai biztonságának növelése, elsősorban a pasztörözési eljárásokkal. Az utóbbi időben a szigorodó környezetvédelmi előírások megkívánják a keletkező hulladékok, szennyvizek és szennyvíziszapok gyorsabb és hatékonyabb kezelését lehetővé tevő eljárások fejlesztését. Mivel ezek egy része hő- és energiagényes eljárás, a mikrohullámú technika alkalmazása versenyképes eljárás lehet az iszapkondicionálás, szárítás vagy az iszapok gázosítása, illetve pirolízise során.*

**Kulcsszavak:** mikrohullám, élelmiszeripar, szárítás, pasztörözés, sterilizálás, hulladékkezelés, iszapkezelés, iszapkondicionálás, pirolízis

### SUMMARY

*During the microwave processing, despite the conventional heating, the material heats consistently inside. This property of microwave is utilized by drying and dehydration processes. The thermal sensitivity of raw materials of food industry requires development of gentle, fast and controllable technologies, which is realizable by means of combination of conventional and microwave techniques. The other important application area of the microwave technique is food industrial practice is enhancing the microbial safety of products, mainly by pasteurization processes. In recent time the strict environmental regulation necessitate developing more effective treatment of wastes, waste waters and sewage sludge. Because a part of these techniques are heat and power demanded, the microwave technique may be an alternative process in execution of sludge conditioning, drying or gasification and pyrolysis.*

**Keywords:** microwave, food industry, drying, pasteurization, sterilization, waste treatment, sludge treatment, sludge conditioning, pyrolysis

### BEVEZETÉS

Az utóbbi évtizedekben a mikrohullámú technika a háztartásokban való széleskörű elterjedése mellett az ipar számos területén komoly szerephez jutott.

Mikrohullámú sugárzásnak a 300 MHz -300 GHz frekvenciatartományba eső elektromágneses hullámokat nevezzük. Alkalmazásának két fő területe van attól függően, hogy a sugárzás milyen tulajdonságát használjuk ki. Eszerint használhatjuk információt továbbítására, pl. a földi és műholdas kommunikációs csatornákon, illetve energiaközlésre. Az élelmiszeripar számára a mikrohullámú hőközlés jelent sokoldalú alkalmazási lehetőséget. Jelen munkában röviden összefoglaljuk a mikrohullámú eljárások élelmiszeripari alkalmazásának lehetőségeit, illetve azokat az új környezetvédelmi feladatokat, amelyek megoldásában a mikrohullámú technika is komoly szerephez juthat.

### 1. A MIKROHULLÁMÚ TECHNIKA ELMÉLETI HÁTTERE

Az élelmiszeripari és biotechnológia műveletek hatékonyságának növelésére az elektromágneses hullámok két hullámhossztartományát alkalmazzák az ipari gyakorlatban: az infravörös sugarak tartománya  $10^{12}$ - $10^{14}$  Hz (*hevítés, infraszárítás*), illetve a mikrohullámok tartománya ( $10^8$ - $10^{12}$  Hz) (*dielektromos hevítés*) (Szabó, 1993; Szabó, 1998). A mikrohullámú eljárások során elsősorban a 2450 MHz, illetve néhány esetben a 915 MHz-es frekvenciát használják.

Az elektromágneses tér energiája felhasználható fiziko-kémiai és biológiai folyamatok befolyásolására (Szabó, 1991). Bár a mikrohullámok energiája a molekulák kötéseinek felbontására nem elegendő, bizonyos körülmények között képes a biológiai szerkezetek módosítására (Szabó és mtsai, 1987), sejt-membránok, molekulák közötti kötések elroncsolására (Rajkó és mtsai, 1996) a termikus műveletek (pl. sterilizálás, főzés, tartósítás, ipari sejt-bontás, fermentálás, enzim-átalakítás stb.) során (Szabó és Rajkó, 1995).

A mikrohullámú melegítés alapja, hogy az elektromos tér erőt fejt ki a töltött, vagy elektromos térben polarizálható, dipólussal rendelkező részecskére. Példaként a vízmolekula töltéeloszlását tekintve elektromos dipólus. Bár a molekula egészében véve elektromosan semleges, a nagyfrekvenciájú térben az elektromos mező polaritásával összhangban a dipólusos molekulák olyan gyorsan forognak, hogy a súrlódásuk végül hőmérsékletemelkedéshez vezet. A kezelt anyag hőmérsékletemelkedése függ a kezelés időtartamától, az anyag méretétől, térbeli elhelyezkedésétől (Szabó

és mtsai, 2002a), az összetételétől, a komponensek dielektromos tulajdonságától, víz- és sótartalmától (Szabó, 1994).

A mikrohullámú energiaközlés természete miatt lényeges különbség van a mikrohullámú és a hagyományos hőkezelés során kialakuló hőmérsékleteloszlási profilok között is. A hagyományos hőkezelés során a hő konvekcióval terjed, ami viszonylag lassú hőkiegyenlítődést eredményez. Ezzel szemben a mikrohullámú hőkezelés során az energia elnyelődése egyenletesebb az anyagban, így a hőkiegyenlítődés is gyorsabban játszódik le. A mikrohullámú hőkezelés számos előnye a **belső hőkeltéssel** kapcsolatos, ennek köszönhető, hogy mikrohullámú hőkezelés, szárítás esetén jelentéktelen a hőveszteség, mivel nem a környezet, hanem az anyag melegszik teljes térfogatában.

A számos előny mellett ki kell emelni az ún. „szelektív melegítés” lehetőségét is, ami azt jelenti, hogy összetett – több komponensből álló – anyagok eltérő dielektromos tulajdonságú komponensei különböző mértékben képesek abszorbeálni a mikrohullámú energiát, aminek következtében hőmérsékletük is eltérő lehet. Ezen előnynek különös jelentősége van, pl. élelmiszeripari, mezőgazdasági termékek (szemes termények, zöldségfélék, gyógynövények stb.) mikrohullámú hőkezelésénél.

## 2. A MIKROHULLAMÚ TECHNIKA ÉLELMISZERIPARI ALKALMAZÁSÁNAK TERÜLETEI

A mikrohullámú technika élelmiszeripari alkalmazásának ötlete a II. világháború idején a MIT Sugárzási Laboratóriumában merült fel először, ahol a radartechnológia alapján kifejlesztették az élelmiszerek kezelésére alkalmas első készülékeket. Az első folyamatos mikrohullámú berendezést Hollandiában helyezték üzembe az 1960-as években, majd ezután egyre elterjedtebben alkalmazták (Decreau, 1985) az élelmiszeripar területén.

Az élelmiszeripari technológiák sorában a hőkezelés célja szinte mindig az élelmiszer eltarthatóságának növelése. A romlást okozó mikroorganizmusok számának csökkentése kétféle módon valósítható meg, vagy az anyag víztartóviszonyának csökkentésével, tehát szárítással, víztelenítéssel, vagy a mikroorganizmusok magas hőmérsékleten való elpusztításával, sterilizálással, pasztőrözéssel. Mindkettő megvalósítható mikrohullámú berendezések segítségével is.

### 2.1. Szárítás, vízelvonás

Hagyományos, pl. konvekciós eljárással végzett **szárítás** rossz hővezetésű, vagy szigetelő anyagok esetén igen lassú folyamat. A hő ez esetben ugyanis a felületről az anyag belseje felé terjed. A hőkiegyenlítődés hővezetés útján megy végbe, aminek rossz hővezetésű anyagoknál (mint például az élelmiszereknél, mezőgazdasági termékeknél) jelentős az időszükséglete. Mikrohullámú energia hatására azonban ezen anyagfeleségek szárítása rövid idő alatt, előnyösen elvégezhető.

A **mikrohullámú szárítás** jellegzetessége, hogy az általa generált hőmérsékletgradiens a hagyományos melegítéshez képest eltérő nedvességeloszlást idéz elő a száradó anyagban, ugyanis ekkor a diffúziós nedvesség-áram sokkal nagyobb az anyag belsejében, mint felületközelben. Mivel a víz koncentrációgradiense a felület közelében nagyobb, a nedvességcsökkenés a halmaz teljes keresztmetszetére vonatkoztatva sokkal egyenletesebb lesz, mint a konvektív száradási folyamatban. A hagyományos és a mikrohullámú szárítás görbéi közötti különbséget mutatja be az *1. ábra*. A mikrohullámú szárítás nagyobb hatékonyságát nem csak az állandó sebességű szakasz nagyobb meredeksége mutatja, hanem, hogy ebben az esetben nem figyelhető meg a görbe konvektív szárításra nagyon is jellemző csökkenő száradási sebességet mutató elhúzódo szakasza.

1. ábra: Ideális száradási görbék

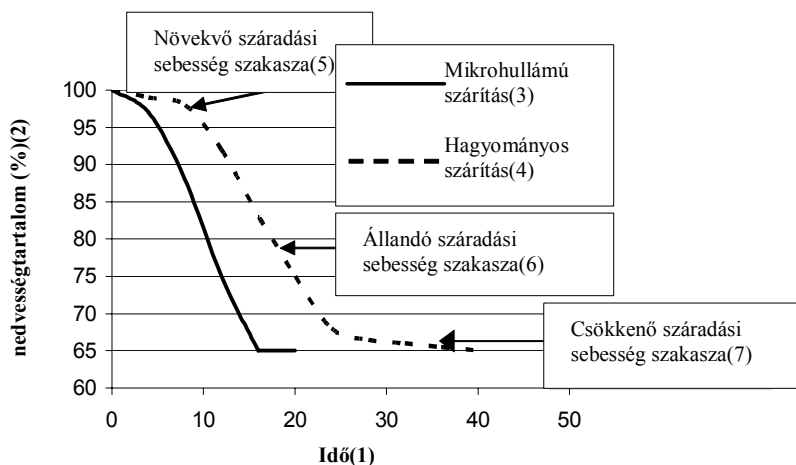


Figure 1: Idealized product drying curves (wet content vs. time)

Time(1), Wet content(2), Microwave drying(3), Conventional drying(4), Increasing rate region(5), Constant rate region(6), Falling rate region(7)

Az élelmiszeripar számára a nyersanyag eredeti biológiai íz- és tápértékének megtartása kulcsfontosságú, így egyre elterjedtebbé válnak a kíméletes, **váltakozó rendszerű** szárítási módszerek (Szabó és mtsai, 1998; Szabó és mtsai, 2001; Wang and Sheng, 2006). A mikrohullámú szárítás lehetőséget ad a nedvességátvitel mechanizmusának megváltoztatására, amellyel biztosítható kombinált konvektív és mikrohullámú eljárások esetében is az anyag belsejében lejátszódó folyamatok szabályozása, irányítása és így végeredményben a kívánt tulajdonságú termék előállítás (Szabó et al., 2002d).

A hatékonyság növelésére számos más módszert is kidolgoztak, így pl. az aero-vibrofluidizációs rétegben lejátszódó hő- és anyagtranszport folyamatok intenzifikálására is alkalmaznak mikrohullámú hőközlést (Ludányi és mtsai, 2002). Az aero-vibrofluidizációs rétegben megvalósított hibrid konvektív-mikrohullámú energiaközlés alacsony hőmérsékletű, kíméletes kezelést biztosít, és új lehetőséget teremt korszerű, környezetkímélő eljárások kidolgozására. Az egyik ilyen eljárás során a heterodiszperz szemesehalmaz újranedvesítéses agglomerálását követő mikrohullámú szárítás biztosítja a kezelt anyag összcsíraszámának csökkenését is (Hodúr és mtsai, 1998; Szabó és Rigó, 2000).

A mikrohullámú szárítás során mindenképpen vizsgálni kell a szárítmány beltartalmi értékét, a túl hosszú ideig, illetve túl nagy intenzitással kezelt anyag szárítmányok (pl. magok, gyümölcsök, tészta stb.) károsodásának kezelési határait, hiszen ezek a tényleges gyakorlati alkalmazást kizáró faktorok lehetnek (Szabó és mtsai, 2000; Kharisheh et al., 2004).

## 2.2. Pasztörözés, sterilizálás

Számos tanulmány foglalkozik a különböző élelmiszerekben előforduló mikroorganizmusok mikrohullámú kezeléssel történő elpusztításának lehetőségeivel. Megvizsgálták több élelmiszerben, így például pulykahúsban (Alexio et al., 1985), marhahúsban (Dahl et al., 1980; Lin and Sawyer, 1988), csirkehúsban (Blanco and Dawson, 1974), fagyasztott termékekben (Spite, 1984; Szabó és mtsai, 2002b) a mikrohullámú sugárzás mikrobaszám-csökkentő hatását. Ezen munkák eredménye az volt, hogy a mikrohullámú kezelés az élelmiszerekben található mikrobák elpusztításával megnöveli az élelmiszer eltarthatóságát.

A mikrohullámú **pasztörözés** (Rosenberg and Bogl, 1987) azért is ígéretes módszer, mivel a tapasztalatok szerint a rövid hőkezelési és besugárzási idő következtében az élelmiszerek kevésbé károsodnak a mikrohullámú kezelés hatására, mint a hagyományos hőkezelés hatására (Lau and Tang, 2002; Wang et al., 2003; Sun et al., 2006). Jelenleg is számos élelmiszer esetében alkalmazzák, pl. a tej (Valero et al., 2000), almálé (Gentry and Roberts, 2005) pasztörözésére.

A módszer egyik legnagyobb előnye a hagyományos hőkezeléssel szemben, hogy a termék a csomagolását, lezárását követően is kezelhető, így eltarthatósága lényegesen megnövelhető tartósítószerrel hozzáadása nélkül.

A pasztörözéssel kapcsolatos sikerek ellenére a mikrohullámú **sterilizálás** nem terjedt el a gyakorlatban. Ennek oka, hogy a sterilizáláshoz szükséges mikrohullámú berendezések kialakítása igen drága, mivel a szükséges magas nyomás, illetve a kívánt egyenletes hőmérséklet elérése bonyolult és drága berendezések fejlesztését igényli.

Bár a mikrohullámú energiaközlés igen hatékony energiaközlési forma (az anyagot érő energia nagyon jó hatékonysággal alakul hővé), a mikrohullámú energia előállításának hatékonysága csak kb. 50-70% körül van. Éppen ezért a mikrohullámú kutatások egyik kulcsfontosságú területe a nagy energiahatékonyságú mikrohullámú berendezések fejlesztése (Ku et al., 2002; Szabó és mtsai, 2002c; Cheng et al., 2006).

Az újabb, megfelelő hatékonysággal működő eljárások fejlesztéséhez a számítógépes modellezés és szimuláció értékes információkkal szolgálhat (Rajkó et al., 1997), hiszen az elektromágneses mező szerkezetének, az anyaggal való kölcsönhatásának, illetve az anyag- és hőátadási jelenségek pontos ismerete nélkül a mikrohullámú berendezések, technológiák tervezése elképzelhetetlen lenne (Szabó et al., 2003). Az utóbbi években számos munka látott napvilágot, amelyek különböző élelmiszeripari anyagok mikrohullámú térben való viselkedésének modellezésével foglalkozik (Romano et al., 2005; McMinn, 2006).

## 3. A MIKROHULLÁMÚ ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSA A KÖRNYEZETVÉDELMI TECHNIKÁBAN

A hagyományos, az élelmiszer-előállítást célzó feladatok mellett az élelmiszeripari vállalatoknak újabb, a korábban partikulárisan kezelt feladatokkal is meg kell birkóznuk, mint a keletkező hulladékok, szennyvizek, iszapok megfelelő kezelése. Mivel a hulladékok előírásoknak megfelelő kezelésére a legtöbb üzem nincs felkészülve, az erre szakosodott vállalkozásoknál történő külső megsemmisítés pedig igen drága, egyre inkább előtérbe kerülnek az üzemem belüli szennyvíztisztító, hulladékkezelő megoldások. Tekintettel a szigorodó előírások következtében egyre magasabb hulladékkezelési költségekre, viszonylagos költségigénye mellett is versenyképes technológiákat ígér a mikrohullámú alkalmazások fejlesztése.

Az élelmiszeripari szennyvizek jellemzője a nagy zsír-, fehérje és szerves anyag tartalom, illetve a nagy kémiai és biológiai oxigénigény. A szennyvízkezelés hagyományos lépései a mechanikai tisztítás, zsírelválasztás, fizikai-kémiai, illetve biológiai tisztítás. A biológiai tisztítóban keletkező iszapok kezelésének lépései az iszapsűrítés, stabilizálás, kondicionálás, víztelenítés, szárítás,

égetés/komposztálás. Az iszapkondicionálás egyik célja az iszap mikrobaszámának csökkentése, amelyet magas hőmérsékletre való emeléssel érnek el. Nagy energiaigényű eljárás a víztelenítés, illetve a szárítás is, amely a mikrohullámú technika alkalmazásával gyorsabbá és hatékonyabbá tehető.

### 3.1. Szennyvizek fázisszétválasztása mikrohullámú eljárással

A hagyományos szennyvízkezelési technológiában keletkező szennyvíz-felülúsó a korszerűtlen szennyvízkezelési eljárás miatt rendkívül változatos összetételű lehet. Folytak kísérletek a mechanikailag nehezen kezelhető szennyvíz-felülúsó a korábbiaknál hatékonyabb fázisszétválasztására. Az eredmények azt mutatják, hogy az alacsony energiájú mikrohullámú kezelés hatására a szennyvíz három fázisra bontható, amely nagy része a hatékony elválasztás következtében visszaforgatható (vizes fázis), illetve hasznosítható (olajos fázis) (Ország és Gyarmati, 2003).

### 3.2. Szennyvíziszapok kondicionálása

A mikrobaszám csökkentése mellett a kondicionálás célja a benne lévő szerves anyag stabilizálása, azaz az iszap rothadóképeségének csökkentése, illetve a vízteleníthetőség érdekében a szűrési ellenállás csökkentése. A folyamat minden esetben energiaköltséssel jár, ami megvalósítható mikrohullámú hőközlés formájában is. A szennyvíziszapok mikrohullámú kondicionálása során az iszapot 0,5-4 percig mikrohullámú térben kezelik, ezalatt hőmérséklete kb. 65-70°C-ra növekszik. Az ilyen módon kezelt szennyvíziszap vízteleníthetősége a hagyományos termikus kezeléshez képest jelentősen megnő (Wojciechowska, 2005), miközben az eljárás időigénye a hagyományos technológia időigényének csak töredéke. A tapasztalatok alapján a szennyvíziszap biológiai és kémiai oxigénigénye is jelentősen növekszik (Wojciechowska, 2005), ami azt jelenti, hogy a hagyományos kezelés során hozzáférhetetlen összetett szerves vegyületek könnyebben oxidálható formába kerülnek a mikrohullámú kezelés hatására.

### 3.3. Szennyvíziszapok szárítása

A víztelenítés után a szennyvíziszapok szárazanyag tartalma kb. 40-50%. A víztelenítést követő szárítás során a szennyvíziszapból a hőkezelés révén csíramentes, kb. 8% nedvességtartalmú, mezőgazdasági felhasználásra alkalmas termék válik (Gan, 2000). Amennyiben a szárítást mikrohullámú berendezésben végzik, a korábban bemutatott száradási görbéknek megfelelően a száradás sokkal gyorsabban megy végbe. A tömör, víztelenített szennyvíziszapok esetében a hagyományos szárításhoz képest a mikrohullámú szárítás energiaigénye kb. 15-20%-kal kisebb (Ország és Gyarmati, 2003; Barótfi, 2000).

### 3.4. Szennyvíziszapok pirolízise

Amennyiben a szárított szennyvíziszap nem hasznosítható, nagy energiataralma miatt égetéssel is megsemmisíthető, azonban az eljárás környezetterhelése a keletkező füstgázok és a hamu magas nehézfém-tartalma miatt igen nagy. Kevésbé környezetszennyező eljárásnak számít a pirolízis, amely során magas hőmérsékleten, oxigénszegény, vagy oxigénmentes környezetben következik be a szerves anyagok kémiai lebontása éghető gázokká, olajokká, illetve széntartalmú szilárd maradékká. Bár ez utóbbi nehézfém-tartalma is magas, azonban a nehézfémek kimosódása ebben az esetben kevésbé jellemző (Caballero et al., 1997).

A szerves anyagok, szerves hulladékok, biomassza mikrohullámú energiával történő pirolízisére történtek próbálkozások (Kriegerbrockett, 1994), azonban ezen anyagok csak kismértékben nyelik el a mikrohullámú sugárzást, így ahhoz, hogy a pirolízis lejátszódjon, mikrohullámot jól elnyelő segédanyagot, pl. csontszén, vagy éppen szilárd pirolízis-maradékot (Menéndez et al., 2005) adagolnak hozzá kb. 5-10 tf% arányban (Menéndez et al., 2002).

A mikrohullámú pirolízis során 70-80% nedvességtartalmú szennyvíziszapok is eredményesen kezelhetők. Az elérhető hőmérséklet kb. 900°C, felfűtési sebesség 3-4-szerese a hagyományos pirolízis során elérhető felfűtési sebességnek, az átalakuláshoz szükséges idő kb. tizede a hagyományos módszerhez képest. A mikrohullámú pirolízis esetében elsősorban szintézisgáz (CO és H<sub>2</sub>) keletkezik (kb. 60-65%), a hagyományos eljárás során keletkező gáz kb. 40-50%-ban tartalmaz szintézisgázt, és nagyobb mennyiségben metánt és szén-dioxidot (Menéndez et al., 2004).

### ÖSSZEGRZÉS

A mikrohullámú technikán alapuló eljárások az élelmiszeriparban jól ismertek. A mikrohullámú besugárzás következtében kialakuló belső hőmérsékletemelkedés igen hatékonyá teszi a szárítási, pasztörözési folyamatokat, más eljárásokkal kombinálva pedig gyors és kíméletes hőkezelést tesz lehetővé. Az élelmiszeripari üzemek számára új kihívást jelentő környezetvédelmi problémák, elsősorban a szennyvíz- és hulladékkezelés megoldásában is jelentős szerepet kaphat a mikrohullámú technika. A korábbi tapasztalatok felhasználásával kidolgozott új technológiák segítségével gyorsabb és hatékonyabb fázisszeparációt lehet elérni, de környezetkímélő és energiahatékony eljárásnak ígérkezik a mikrohullámú iszapkondicionálás, vagy a szennyvíziszapok mikrohullámú pirolízise is.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka a RET-07/2005 és az OMFB-00972/2005-GAK2-MEMBRAN5 pályázatok támogatásával jött létre.

IRODALOM

- Alexio, J. A. G.-Swaminathan, B.-Jamesen, K. S.-Pratt, D. E. (1985): Destruction of pathogenic bacteria in turkeys roasted in microwave oven. *J. Food Sci.*, 50. 873-880.
- Barótfi I. (2000): Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Blanco, J. F.-Dawson, L. E. (1974): Survival of *Clostridium perfringens* on chicken cooked with microwave energy. *Poult. Sci.*, 53. 1823-1830.
- Caballero, J. A.-Front, R.-Marcilla, A.-Conesa, J. A. (1997): Characterization of sewage sludges by primary and secondary pyrolysis. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 40-41. 433-450.
- Cheng, W. M.-Raghavan, G. S. V.-Ngadi, M.-Wang, N. (2006): Microwave power control strategies on the drying process I. Development and evaluation of new microwave drying system, *Journal of Food Engineering*, In Press, Corrected Proof, Available online 1 July, 2005
- Dahl, C. A.-Matthews, M. E.-Marth, E. H. (1980): Fate of *Staphylococcus aureus* in beef loaf, potatoes and frozen and canned green beans after microwave-heating in a simulated cook/chill food service system. *J. Food Prot.*, 44. 128-133.
- Decreau, R. (1985): *Microwaves in the Food Processing Industry*. Academic Press, New York
- Gan, Q. (2000): A case study of microwave processing of metal hydroxyde sediment sludge from printed circuit board manufacturing wash water. *Waste Management*, 20. 695-701.
- Gentry, T. S.-Roberts, J. S. (2005): Design and evaluation of a continuous flow microwave pasteurization system for apple cider. *LWT – Food Science and Technology*, 38. 3. 227-238.
- Hodúr, C.-Szabó, G.-Rajkó, R. (1998): Agglomeration-drying by microwave. *Bulletins for Applied Computer Mathematics, BAM – 1532/98 – LXXXVI – A*, 215-223.
- Khraisheh, M. A. M.-McMinn, W. A. M.-Magee, T. R. A. (2004): Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food Research International*, 37. 5. 497-503.
- Kriegerbrockett, B. (1994): Microwave pyrolysis of biomass. *Res. Chem. Intermed.*, 20. 1. 39-49.
- Ku, H. S.-Siores, E.-Taube, A.-Ball, J. A. R. (2002): Productivity improvement through the use of industrial microwave technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 42. 281-290.
- Lau, M. H.-Tang, J. (2002): Pasteurization of pickled asparagus using 915 MHz microwaves. *Journal of Food Engineering*, 51. 4. 283-290.
- Lin, W.-Sawyer, C. (1988): Bacterial survival and thermal responses of beef loaf after microwave processing. *Int. Microw. Power Inst.*, 23. 183-194.
- Ludányi L.-Szabó G.-Forgács E. (2002): Aero-vibrofluidizációs agglomeráló berendezés mikrohullámú szárító egysége. *Műszaki Kémiai Napok '02, Veszprém*, 262-271.
- McMinn, W. A. M. (2006): Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. *Journal of Food Engineering*, 72. 2. 113-123.
- Menéndez, J. A.-Domínguez, A.-Inguanzo, M.-Pis, J. J. (2004): Microwave pyrolysis of sewage sludge: analysis of the gas fraction. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 71. 657-667.
- Menéndez, J. A.-Domínguez, A.-Inguanzo, M.-Pis, J. J. (2005): Microwave-induced drying, pyrolysis and gasification (MWDPG) of sewage sludge: Verification of the solid residue. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 74. 406-412.
- Menéndez, J. A.-Inguanzo, M.-Pis, J. J. (2002): Microwave-induced pyrolysis of sewage sludge. *Water Research*, 36. 3261-3264.
- Ország I.-Gyarmati L. (2003): Baromfifeldolgozási szennyvíziszap környezeti ártalmának megszüntetése mikrohullámú energiaközléssel. *Műszaki Kémiai Napok '03, Konferencia Kiadvány*, 117-122.
- Rajkó R.-Szabó G.-Kovács E.-Papp G.-né-Hotyá L.-né (1996): Szójabab tripszinhibitor aktivitásának csökkentése mikrohullámú kezeléssel. *Élelmiszeripari Főiskola, Tudományos Közlemények*, 18. 45-57.
- Rajkó, R.-Szabó, G.-Vidal Valverde, C. (1997): Designed experiments for reducing antinutritive agents in soybean by microwave energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45. 9. 3565-3569.
- Romano, V. R.-Marra, F.-Tammara, U. (2005): Modelling of microwave heating of foodstuff: study on the influence of sample dimensions with a FEM approach. *Journal of Food Engineering*, 71. 3. 233-241.
- Rosenberg, U.-Bogl, W. (1987): Microwave pasteurization, sterilization, blanching, and pest control in the food industry. *Food Technol.*, 41. 92-99.
- Spite, G. T. (1984): Microwave-inactivation of bacterial pathogens in various controlled frozen food compositions and in a commercially available frozen food product. *J. Food Prot.*, 47. 458-462.
- Sun, T.-Tang, J.-Powers, J. R. (2006): Antioxidant activity and quality of asparagus affected by microwave-circulated water combination and conventional sterilization. *Food Chemistry*, In Press, Corrected Proof, Available online 20 December, 2005
- Szabó G. (1991): A mikrohullámú technika alkalmazása az élelmiszeripari és biotechnológiai gyakorlatban. *Szeszipar*, 4. 124-127.
- Szabó G. (1994): A mikrohullámú melegítés hőtranszport modelljének kidolgozása dimenzióanalízissel. *Élelmiszeripari Főiskola, Tudományos Közlemények*, 17. 23-29.
- Szabó G. (1998): Élelmiszer- és biotechnológiai műveletek intenzifikálása mikrohullámú energiával. *Vegyipari Gépészeti Konferencia, Budapest*, 2. kötet, 485-489.
- Szabó G.-Dörnyei J.-Szilágyi J. (1987): A mikrohullámú energia hatása vérplazma és szintelenített teljes vérpor diszperz szerkezetének alakulására az agglomerálási-szárítási folyamat során. *Élelmiszeripari Főiskola, Tudományos Közlemények*, 14. 81-87.
- Szabó G.-Hodúr C.-László Zs.-Fehér L.-Fekete M.-Horváthné A. K.-Baráné H. O. (2002a): A termékbiztonság növelése alternatív hőkezeléssel. *XXIX. ÓVÁRI Tudományos Napok, Mosonmagyaróvár, CD ROM*
- Szabó G.-Hodúr C.-László Zs.-Fehér L.-Halászné Fekete M.-Horváthné Almássy K.-Baráné Herczegh O. (2002b): Mikrohullámú hőkezelés hatásai húsipari termék esetében. *V. Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia, Szeged, CD*
- Szabó G.-Ludányi L.-Forgács E. (2002c): Egyenletes elektromágneses téreloszlású kombinált mikrohullámú meleg levegős vibrofluidizációs kísérleti szárító berendezés fejlesztése. In: Nagy J.: *EU konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság*. ISBN 963 472 695 X, 321-328.
- Szabó G.-Rajkó R. (1995): A mikrohullámú technika alkalmazása élelmiszeripari műveletekben-eljárásokban. *Élelmiszeripari és Vegyipari Gépek a Gyakorlatban '95 Konferencia és Kiállítás c. kiadvány, Gyula, 1995. október 10-11. 76-82.*

- Szabó G.-Rajkó R.-Hodúr C.-Papp G-né (2001): A váltakozó rendszerű kombinált szárítás elmélete és gyakorlata. Élelmiszeripari Főiskola, Tudományos Közlemények, 22. 122-135.
- Szabó, G. (1993): Intensification of Food and Biotechnological Operations by Microwave Energy. *Acta Alimentaria*, 22. 3. 264.
- Szabó, G.-Kovács, E. T.-Maráz-Szabó, L.-Varga, J. (2000): Influence of Variety Emulsifier and Microwave Heat Treatment for the Quality of Amaranth Based Pasta Products. 11th International Cereal and Bread Congress (CHL2000), 8-15 September, 2000, Greenacre Australia, Proceeding, 156-157.
- Szabó, G.-Ludányi, L.-Forgács, E. (2003): Recent Developments of Combined Microwave-Assisted Hot-Air Vibrofluidised Bed Drier with Homogeneous Distribution of Electromagnetic Field. The International Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids, Budapest, 27-30 May, 2003
- Szabó, G.-Rajkó, R.-Hodúr, C. (1998): Combined energy transfer (microwave-convective) by drying agriculture materials. *Hungarian Agricultural Engineering*, 11. 23-25.
- Szabó, G.-Rajkó, R.-Neményi, M.-Hodúr, C. (2002d): Modelling of combined hot-air convective and microwave drying of mushroom (*Agaricus Bisporus*). *Drying 2002-Proceedings of the 13th International Drying Symposium (IDS2002)*, Beijing, China, A. 319-326.
- Szabó, G.-Rigó, K. (2000): Agglomeration-drying of food powders by combined microwave/convective energy transfer in vibro-fluid layer. 3rd Israeli Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids. The Dead Sea, Israel, May 29-June 1, 2000, Proceeding, 1. 2.20-2.28.
- Valero, E.-Villamiel, M.-Sanz, J.-Martínez-Castro, I. (2000): Chemical and sensorial changes in milk pasteurised by microwave and conventional systems during cold storage. *Food Chemistry*, 70. 1. 77-81.
- Wang, J.-Sheng, K. (2006): Far-infrared and microwave drying of peach. *LWT – Food Science and Technology*, 39. 3. 247-255.
- Wang, Y.-Wig, T. D.-Tang, J.-Hallberg, L. M. (2003): Dielectric properties of foods relevant to RF and microwave pasteurization and sterilization. *Journal of Food Engineering*, 57. 3. 257-268.
- Wojciechowska, E. (2005): Application of microwaves for sewage sludge conditioning. *Water Research*, 39. 19. 4749-4754.