

# MOGUĆNOSTI PRIMJENE MIKROFILMOVA U U TEHNOLOGIJI PRERADE MLIJEKA\*

Nikola TABORŠAK, dipl. inž., mr Vera BAŠIĆ, Prehrambeno tehnološki  
institut, Zagreb

## Sažetak

*U radu su prikazani principi korištenja mikrovalova. Navedeni su podaci o djelovanju mikrovalova na pojedine sastojke namirnica. Obradeni su problemi efikasnosti primjene mikrovalova za zagrijavanje termolabilnih namirnica kao što je mlijeko i mlječni proizvodi. Upozoreno je na mogućnost produženja trajnosti proizvoda ako se tretiraju mikrovalovima. Opisani su neki uređaji koji se već uspješno primjenjuju u industrijskoj praksi.*

Poznato je da se zagrijavanje namirnica u industrijskoj praksi provodi vrlo često i u razne svrhe. U toku prerade provodi se da bi se postigli bolji kulinarski učinci, spriječila razgradnja namirnica djelovanjem mikroorganizama i enzima. Naročito se primjenjuje u proizvodnji polukonzervi i konzervi. Promjene sastojaka hrane termičkom obradom važne su i zbog organoleptičkih karakteristika, naročito pri proizvodnji gotovih jela. Termička obrada namirnica često uzrokuje nepoželjne organoleptičke promjene. To se posebno odnosi na termički osjetljive namirnice, kao što su mlijeko i mlječni proizvodi.

Poznato je da se mlijeko i mlječni proizvodi vrlo brzo kvare i da većinom imaju ograničenu trajnost, bez obzira što se u njihovoj distribuciji obavezno primjenjuje rashladni lanac. Trajnost mlječnih proizvoda vrlo je teško povećati toplinskom obradom već upakiranog proizvoda, a da se ne naruši njegova organoleptička i prehrambena vrijednost. Ovi su proizvodi skoro bez izuzetaka termolabilni. S druge strane, sanitarni i dijetetski razlozi ograničavaju upotrebu stabilizatora i konzervansa na najmanju mjeru. Povećana trajnost postignuta je u proizvodnji sterilnog mlijeka UHT postupkom. Ograničeni rezultati povećanja trajnosti primjenom klasičnih postupaka zagrijavanja postignuti su i pri proizvodnji nekih vrsta mlječnih descreta. Zbog toga je danas nedovoljan izbor mlječnih proizvoda s dužom trajnošću (sterilno mlijeko, sušeni mlječni proizvodi i oni dobiveni iz ugušćenog mlijeka).

## Dielektrično zagrijavanje

Klasične postupke zagrijavanja (parom, električnom strujom) karakterizira proces vođenja topline s površine zagrijavane namirnice prema unutrašnjosti. To je naročito izraženo kod namirnica čvrste ili pastozne konzistencije koje su općenito slabi vodiči topline. Toplina sporo prelazi u unutrašnjost namirnica, nejednoliko se raspoređuje, pregrijavaju se vanjske površine, nastaju gubici topline na zagrijavanje uređaja i okoline.

\* Referat je održan na XXII seminaru za mljekarsku industriju, Zagreb 1984.

Mlječni proizvodi su relativno slabi vodiči topline, a pregrijavanje vanjskih slojeva vrlo brzo uzrokuje razgradnju galertaste strukture, topljenje, izdvajanje masti i sirutke. Drugim riječima, potpuno se narušava karakteristična konzistencija, a intenzivne su i promjene okusa. Odmah zatim nastaje razgradnja osnovnih sastojaka, promjena konzistencije, posmeđivanje, uništenje vitamina i sl. U praksi je npr. poznato da se čvrsti jogurt i neke vrste svježeg sira uopće ne mogu termički obraditi.

Ovo se može izbjeći primjenom dielektričnog zagrijavanja, jer se namirnica brzo i jednakomjerno zagrijava. Toplinski učinak pri tom zagrijavanju bitno ovisi o dielektričnim karakteristikama namirnice ( $\epsilon$  i  $\text{tg } \delta$ ).

Uspješnost obrade nekog proizvoda na mikrovalovima ovisna je o dielektričnim svojstvima. Poznavanje dielektričnih svojstava je nužno za pravilno podešavanje postupka obrade mikrovalovima. Istovremeno je vrlo složeno mjerenje dielektričnih svojstava. Vrijednosti ovise o temperaturi, frekvenciji, a naročito o sastavu namirnice. Bitno se razlikuju i do sada objavljene vrijednosti dielektričnih konstanti.

Škabidova (1) je predložila analitičku metodu za izračunavanje i mjerenje dielektričnih konstanti mlijeka na osnovi nekih njegovih fizikalno-kemijskih svojstava. I ova je metoda dosta složena, a podaci u tablici 1 ipak pokazuju osnovne dielektrične karakteristike mlijeka. Konstante su mjerene pri frekvenciji 3000 MHz. Mjerenja su vršena na 4 uzorka mlijeka.

**Tablica 1**

**Vrijednosti dielektričnih konstanti mlijeka prema podacima Škabidove (1)**

**Table 1**

**The values of dielectric constants of milk according to the figures of Škabidova (1)**

Uzorak	‰ masti	‰ suha tvar	Temp. 20 °C			Temp. 50 °C		
			$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\text{tg } \delta \cdot 10^{-4}$	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\text{tg } \delta \cdot 10^{-4}$
I	3,35	9	68,5	17,2	2520	60,7	14,1	2314
II	3,2	11,5	65,2	15,9	2433	57,7	12,5	2170
III	3,1	12,8	63,5	15,5	2440	56,4	12,3	2186
IV	3,0	13,9	61,9	15,2	2460	55,0	12,1	2200

Kao što se vidi u tablici 1. vrijednosti dielektričnih konstanti zbog različitog sastava mlijeka također se razlikuju za  $\pm 10\%$ .

Klepacikij (2) je izvršio mjerenja dielektričnih svojstava maslaca. Mjerenje je izvodio s frekvencijama od 1 do 122 MHz pri temperaturama od  $-15^\circ\text{C}$  do  $+15^\circ\text{C}$ . Vrijednosti dielektrične probojnosti pri temperaturi  $-15^\circ\text{C}$  su od 4,33 pri 1 MHz do  $-3,18$  pri 122 MHz, a odgovarajuće vrijednosti pri temperaturi  $+15^\circ\text{C}$  iznose 5,10 i 3,95. Pri konstantnoj frekvenciji npr. 27 MHz vrijednosti rastu zajedno s porastom temperature, tako da pri temperaturi  $-15^\circ\text{C}$  iznosi 3,75 a pri  $+15^\circ\text{C}$  čak 5,04.

Vrijednosti dielektrične apsorpcije rastu sporije pri porastu frekvencije do 13 MHz, a mnogo jače rastu i postižu maksimum pri temperaturi ispod  $0^\circ$  uz frekvencije veće od 46 MHz. Zbog visoke vrijednosti dielektrične apsorpcije maslaca i njene spore promjene u rasponu temperature od  $-15^\circ\text{C}$  do  $0^\circ\text{C}$ ,

visoko-frekventno elektromagnetsko polje može se dobro primijeniti za odmrzavanje maslaca.

Klepac *kij* (2) preporučuje primjenu frekvencije od 63 MHz i odmrzavanje bloka maslaca od temperature  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $-5^{\circ}\text{C}$ . Trajanje postupka iznosi nekoliko minuta, dok klasični postupak traje približno 4 dana. Za industrijsku primjenu pogodna je frekvencija od 27,12 MHz, a za odmrzavanje bloka maslaca mase 10—15 kg od  $-18^{\circ}\text{C}$  do  $+2^{\circ}\text{C}$  potrebno je upotrebiti snagu 3 kW odnosno 300 V/cm pri čemu odmrzavanje traje 10—15 minuta.

Najčešće se kao osnovne karakteristike elektromagnetskih valova navode frekvencija i valna dužina. Svojestvo stvaranja topline suviše se dugo zane-marivalo, čak smatralo nedostatkom koji uzrokuje gubitke energije (dielektrični gubici). Upravo postojanje dielektričnih gubitaka omogućilo je razvoj uređaja za dielektrično zagrijavanje. Kako uređaji za telekomunikacije i radari koriste također valove visokih frekvencija, nužno je bilo donošenje međunarodnih i nacionalnih konvencija o raspodjeli radnih frekvencija.

Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC) izvršila je raspodjelu frekvencija za primjenu u elektrokemijskim postupcima, koju je preuzela i naša zemlja. U tablici 2 navedene su frekvencije mikrovalova koji se mogu koristiti u uređajima za dielektrično zagrijavanje.

**Tablica 2**

**Dopuštene frekvencije mikrovalova u uređajima za dielektrično zagrijavanje (3)**

**Table 2**

**The allowable frequencies of microwaves in the instruments for dielectric warming up (3)**

Frekvencija MHz	Mikrovalovi	Tolerancija
433,92		$\pm 0,2\%$
915,00		$\pm 25$ MHz
2450,00		$\pm 50$ MHz
5800,00		$\pm 75$ MHz
22120,00		$\pm 125$ MHz

Ako se materijali koji imaju dielektrična svojstva (mogućnost polarizacije molekula) podvrgnu djelovanju izmjeničnog elektromagnetskog polja, materijal apsorbira dio elektromagnetske energije i pretvara je u toplinsku energiju. Uzrok ove pojave su dielektrična svojstva materijala. Ova svojstva imaju materijali čije molekule, izložene djelovanju elektromagnetskog polja, postaju električno nabijene (polariziraju), premda nemaju mogućnost vođenja električne struje radi nedovoljne količine slobodnih elektrona. To se objašnjava strukturom ovih materijala koji sadrže elementarne električne dipole (molekule) zbog nesimetričnog rasporeda naboja u molekuli.

U prehrambenoj industriji mikrovalovi se mogu uspješno primijeniti u tehnološkim operacijama sušenja, uparavanja, sterilizacije, pasterizacije, liofilizacije, blanširanja, kuhanja, odmrzavanja i dr. Dielektričnim zagrijavanjem moguće je poboljšati kvalitetu pojedinih proizvoda, a može se olakšati kreiranje i uvođenje novih proizvoda. Postižu se bolja iskorištenja u tehnološkom procesu (4).

## Primjena mikrovalova u tehnologiji prerade mlijeka

Korištenjem električne energije za dielektrično zagrijavanje mlijeka pomoću visokofrekventnog elektromagnetskog polja postignuti su zadovoljavajući rezultati. J a y n e s (5) je npr. ispitivao primjenu mikrovalova za pasterizaciju mlijeka. Korišten je uređaj promjenjive snage od 0 do 1,6 kW frekvencije 2450 MHz. Mlijeko je protjecalo kroz cijev smještenu u elektromagnetsko polje. Tijekom ispitivanja mjerio je protok, temperaturu mlijeka na ulazu i izlazu i upotrebljenu snagu.

Kontrolni uzorak mlijeka pasteriziran je na temperaturi 62,8 °C u toku 30 minuta, a uzorak obrađen mikrovalovima zagrijan je na 72 °C. Učinak pasterizacije pratio je određivanjem fosfataze, ukupnog broja mikroorganizama, broja koliformnih bakterija i organoleptičkim ispitivanjem.

Tablica 3

Smanjenje broja bakterija pri pasterizaciji mlijeka mikrovalovima i konvencionalnim postupkom (5)

Table 3

The decrease in the number of bacteria during pasteurization of milk by means of microwaves and conventional treatment (5)

Protok ml/min	Broj bakterija	U z o r a k		
		Sirovo mlijeko	Pasterizacija mikrovalovima	Konvencionalna pasterizacija
200	A Ukupni broj			
	B broj koliformnih bakterija	1.000.000 20.000	4.000 1	3.500 1
200	A	45.000	94	460
	B	200	1	1
300	A	12.000	5.900	4.100
	B	30	1	1
300	A	84.000	90	120
	B	1.500	1	1
400	A	20.000	650	420
	B	70	1	1

Rezultati u tablici 3 upućuju na zaključak da se pasterizacija mlijeka mikrovalovima može uspješno primijeniti, tim više što ni organoleptička ispitivanja nisu utvrdila signifikantnu razliku između oba postupka.

Postupci pasterizacije i sterilizacije mlijeka mikrovalovima vjerojatno uskoro neće potisnuti usavršene oblike klasičnih načina, bilo zbog ekonomičnosti, bilo zbog nedovoljno velikih tehnoloških prednosti. Priroda tekućih proizvoda naime omogućila je da se klasični postupci tehnički toliko usavrše da su problemi vođenja topline i termolabilnosti sastojaka svedeni na najmanju mjeru. Sasvim je druga situacija npr. kod fermentiranih mlječnih proizvoda kao što su čvrsti jogurt, kiselo vrhnje i drugi. Pronalasci i praktična rješenja za termizaciju već se uvode u industrijsku praksu. Posebno se ističe rješenje koje je predložio B a c h (6).

On je konstruirao i uveo uređaj i postupak za zagrijavanje namirnica, kombinirajući pozitivna svojstva mikrovalova i visokofrekventnih (HF) valova. Mikrovalovi frekvencije 2450 MHz pogodni su za zagrijavanje površina,

naročito onih u kontaktu sa zrakom, jer energiju koncentriraju na malu dubinu dok se HF valovima (27,12 MHz) zagrijava središte namirnice. Međutim, primjena HF valova može stvarati teškoće, jer zbog razlika potencijala nastaje električno pražnjenje, oštećuje se proizvod. To se naročito može dogoditi ako je proizvod pakiran u posudice koje ispod poklopca imaju zračni sloj. U tom slučaju električna pražnjenja mogu izazvati i perforiranje stijenki posude. Da se zbog ove pojave ne bi morala smanjivati jačina električnog polja, pakovanje se uroni u tekućinu male vrijednosti  $\text{tg } \delta$ , i to tako da se rub tekućine nalazi nešto iznad ruba proizvoda u pakovanju. Pakovanje uronjeno u tekućinu smješteno je između dvije HF elektrode, a iznad pakovanja dovode se mikrovalovi. Obično se za to upotrebljava čista voda. Ovaj je postupak pogodan za obradu jogurta pakiranog u plastične čaše za zavarenim plastičnim poklopcem. U svakom pakovanju jogurta nalazi se zračni prostor ispod poklopca u kojem se najčešće nalaze saprofitni mikroorganizmi koji mogu uzrokovati naknadno kvarenje jogurta. Sadašnje su metode produženja trajnosti jogurta skupe (aseptično punjenje), a često uzrokuju denaturaciju. Osim toga, pri naknadnom zagrijavanju jogurt se mora miješati tako da se konzumira u tekućem obliku. Jogurt u čvrstom stanju nije bilo moguće pasterizirati dosadašnjim metodama.

Uređaj za obradu je zapravo tunel kroz koji se transportira jogurt uronjen u vodu do određene razine. Najprije se uvodi u sekciju u kojoj se obrađuje HF valovima što zagrijavaju masu u čašici. U idućoj sekciji jogurt se obrađuje mikrovalovima koji zagrijavaju površinu i zračni prostor u pakovanju. Temperatura odnosno snaga elektromagnetskih valova regulira se mikroprocesorom tako da temperatura odstupa u granicama  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Temperatura jogurta na izlazu mjeri se infracrvenim mjernim uređajem. Organoleptičkim ispitivanjem utvrđeno je da se obrađeni jogurt ne razlikuje od neobrađenog, a u toku čuvanja pokazuje bolju kvalitetu.

Bez većih teškoća riješeni su postupci zagrijavanja mekog sira mikrovalovima do  $100^\circ\text{C}$  u mekoj ambalaži. Kako se limenke pri tretmanu mikrovalovima ne mogu upotrebljavati, bilo je potrebno riješiti pribor odnosno ambalažu, u kojoj će se proizvod moći zagrijevati na temperature više od  $100^\circ\text{C}$ , što zahtijeva stvaranje protupritiska oko mekog pakovanja proizvoda. Ovaj je problem pokušao riješiti *Stenström* (7). Patentirao je uređaj što se između ostalog može koristiti i za sterilizaciju sira (7). Odresci sira pakiraju se u foliju uz istovremeno vakuumiranje. Pakovanje se stavlja u komoru za mikrovalni tretman, tako da naliježu u posebne utore. Time se mehanički sprečava pucanje pakovanja tijekom zagrijavanja. Za veće kapacitete predlaže se kontinuirani uređaj konstruiran tako da svako pakovanje ulazi u tijesni međuprostor između dvije beskončne trake gdje se zagrijava. Nakon toga se proizvod hladi, a zatim napušta uređaj. Sličan postupak patentirali su *Leon* i suradnici (8), koji omogućava da se trajnost mekih sireva produži na 10—15 dana. Postupak je podešen tako da mikrovalovi uspješno djeluju na mikrofloru površine i unutrašnjosti sira zapakiranog u odgovarajuću ambalažu. Sir od 250 g tretira se 40 sekundi u mikrovalnom uređaju snage 1500 W, frekvencije 2450 MHz. Pri tome temperatura u sredini sira ne prelazi  $35^\circ\text{C}$ .

Specifično djelovanje mikrovalova iskorišteno je također za proizvodnju topljenih sireva, liofilizaciju mlijeka, sprečavanje punjenja mlijeka, odmrzavanje mliječnih proizvoda i u analitičkim postupcima određivanja vlage.

## Zaključak

Izvršena istraživanja dala su ohrabrujuće rezultate naročito pri uklanjanju negativnih učinaka koje uzrokuju postupci klasičnog zagrijavanja. U nekim postupcima postignute su znatne uštede energije, povećana ekonomičnost procesa i produžena trajnost proizvoda.

## Summary

*The paper presents the principles of microwave utilization. The data specified are concerned with the microwave effects upon foodstuffs ingredients. The paper also deals with the problems of microwaves in heating of thermolabile foodstuffs, such as milk and milk products. Attention has been paid to the possibility of prolonging shelf-life of products if treated with microwaves. A description of some devices that are already being successfully applied in industry is given.*

## Literatura

- ŠKABIDOVA, R.A.; **Moločnaja promišlenost** 33 (3) 14—17 (1972).  
KLEPACKIJ, J.; **Roczniki Instytutu Przemysłu Mlekarckiego** 13 (3) 39—51 (1971).  
MLADENOVIĆ M.; **Elektronika** 1 (6) 41—46 (1981).  
PÜSCHNER H.A.; **Ernährungswirtschaft** 16 (1) 18—23 (1973).  
JAYNES H.D.; **Journal of Milk Food Technology** 38 (7) 386—387 (1975).  
BACH J.; **UK Patent** 2030038 (1980).  
STENSTRÖM L. A.; **UK Patent** 1269—606.  
LEON J. i sur.; **French Patent** 2321965.