

# Uplatnenie dielektrického a mikrovlnového ohrevu pri rozmrazovaní potravín

A. VAVRÍK

Obráteným procesom zmrazovania je rozmrazovanie, teda prívod potrebného množstva tepla do zmrazeného produktu, aby získal požadovanú teplotu na ďalšie spracovanie.

Doba rozmrazovania rozličných častí, napr. mäsa podľa empirického Planckovho—Christodulovho vzťahu je:

$$\tau = \frac{m}{tw + n} \cdot \frac{G_1}{G_2},$$

kde  $\tau$  je čas rozmrazovania,  $tw$  — teplota vo vnútri zmrazeného produktu,  $m$ ,  $n$  — číselné pokusné koeficienty pre rozličné rozmery mäsa,  $G_1$ ,  $G_2$  — váha mäsa pred zmrazením a po zmrazení.

Z uvedenej rovnice vyplýva, že čas pri rozmrazovaní je závislý predovšetkým od vnútornej teploty rozmrazovaného tovaru a koeficientov  $m$ ,  $n$ , ktoré vyjadrujú veľkosti rozmerov mäsa.

V súčasnosti sa používajú tieto konvektívne a vákuové rozmrazovania:

## 1. Pomalé rozmrazovanie vzduchom

Potravina sa vloží do komory a rozmrazuje sa cirkuláciou vzduchu o teplote 2—8 °C, pričom sa udržiava relatívna vlhkosť 65—90%. Proces rozmrazovania trvá napr. u mäsa 3—5 dní.

## 2. Rýchle rozmrazovanie vzduchom

Potravina vložená do komory vybavenej kalorifermi sa ohrieva cirkulujúcim vzduchom o teplote 12—20 °C, o relatívnej vlhkosti 55—60%. Rozmrazovanie mäsa trvá 15—25 hodín.

## 3. Rozmrazovanie vo vode teplej až 35 °C

Celý proces sa oproti predchádzajúcemu ešte skracuje, ale potraviny, najmä mäso sa značne vyluhujú a vznikajú straty bielkovín a minerálnych látok.

## 4. Vákuové rozmrazovanie

Je univerzálne a vhodné na rozmrazovanie mäsa, rýb, zeleniny a ovocia. Oproti predchádzajúcim spôsobom je čas rozmrazovania iba 3—7 hodín. Straty hmotnosti sa znižujú na minimum. Proces rozmrazovania prebieha v uzavretej tlakovej nádobe vo vákuu, kde pri zvyškovom tlaku 25—30 Torr, sa prítomná voda intenzívne odparuje pri teplote okolo 20—25 °C. Voda sa sústavne temperuje na teplotu okolo 25 °C. Vzniknutá para kondenzuje na

chladných plochách rozmrazovaných potravín a vzniknuté latentné teplo pri vysokom súčiniteli prestupu tepla pomerne rýchlo kvalitne rozmrazuje potraviny.

Všeobecne možno povedať, že tepelný tok všeobecných tvarov zmrazených potravín je:

$$Q_1 = \frac{\lambda}{\delta} F \cdot \Delta t,$$

kde  $\lambda$  je súčiniteľ tepelnej vodivosti potravín,  $\delta$  — hrúbka steny,  $F$  — povrchová plocha,  $t$  — tepelný spád zmrazeného bloku a teploty okolia.

Pri konvektívnom i vákuovom rozmrazovaní sa usilujeme proces zrýchliť, a to zlepšením prestupu tepla do obklopujúceho média, pričom tepelný tok je:

$$Q_2 = \alpha \cdot F(tp - tm) .$$

$\alpha$  je koeficient prestupu tepla, ktorý je funkciou rýchlosti pohybujúceho sa média, jeho teploty  $tm$  a fyzikálnych vlastností, ako tepelnej vodivosti, špecifického tepla, vlhkosti a i.  $t_p$  — teplota potraviny.

Z uvedených matematických vzťahov vyplýva, že rozhodujúcimi faktormi pre rýchlosť rozmrazovania je celková povrchová plocha, rozmery a vodivosť produktu, ďalej koeficient prestupu tepla a tepelné rozdiely. Keďže teplotu rozmrazovacieho média možno voľiť len primerane k potravine, tepelné spády sú malé a čas rozmrazovania je preto veľmi dlhý.

Vysokú hodnotu koeficientu prestupu tepla možno dosiahnuť pri vákuovom rozmrazovaní. Keďže teplota pary neprevyšuje teplotu 20—25 °C, je rozmrazovanie pomalé.

Na skrátenie procesu rozmrazovania sa hľadajú nové progresívne fyzikálne metódy premenou elektromagnetickej energie na teplo homogénne v celom bloku potraviny. Z nových metód sú vhodné dielektrický a mikrovlnový ohrev.

### Dielektrický a mikrovlnový ohrev pri rozmrazovaní

V posledných rokoch mikrovlnová elektromagnetická energia sa vo svete využíva nielen v gumárenskom, drevárskom a textilnom priemysle, ale aj v potravinárskom priemysle a v poľnohospodárstve. Jej uplatnenie sa využíva najmä tam, kde treba rýchlo nahrievať, resp. sušiť homogénny materiál v celom priereze približne rovnakou teplotou. Pod pojmom dielektrický ohrev alebo ohrev mikrovlnovou energiou sa rozumie ohrev elektricky nevodivého, nekovového materiálu v striedavom poli vyvolaný premenou elektrickej energie na tepelnú, rýchlou zmenou orientácie molekúl v materiáli v rytme použitého kmitočtu (frekvencie)  $\nu$  zdroja.

Tepelný výkon v materiáli je úmerný

$$P = K \cdot \varepsilon \operatorname{tg} \delta \frac{M}{\varrho} U^2 \cdot f$$

kde  $\varepsilon \operatorname{tg} \delta$  je faktor strát,  $M$  — hmotnosť materiálu,  $\varrho$  — špecifická hmotnosť materiálu,  $U$  — napätie,  $f$  — frekvencia.

Hlavné výhody ohrevu:

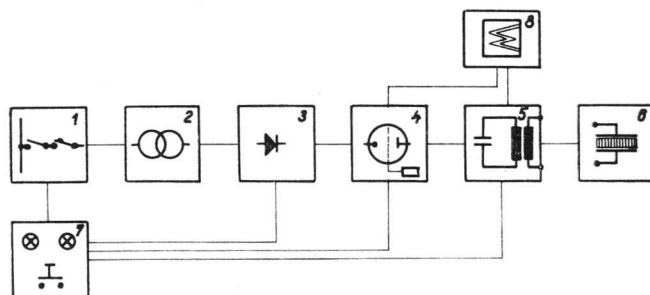
Premena energie prebieha v celej ohrievacej hmote takmer okamžite. Tepelný účinok pôsobí v celom materiáli časovo i miestne rovnomerne podľa dosiahnutej homogenity poľa. Keďže nedochádza k ohrievaniu okolia, dosahuje sa dobrá energetická účinnosť.

Druhou hlavnou výhodou uvedeného ohrevu je vysoká hustota výkonu, ktorým možno dosiahnuť rýchly a homogénny ohrev materiálu.

Výhody tohto rozmrazovania sú predovšetkým veľmi nízke straty hmotnosti produktu. Pri teplote okolo  $0^{\circ}\text{C}$  sa rýchlo menia dielektrické straty, preto tu treba zabezpečiť reguláciu privádzaného elektrického výkonu, aby prípadne nedochádzalo k miestnemu prehriatiu materiálu.

Vysokofrekvenčný ohrev sa uplatňuje v priemyselných tepelných procesoch, pretože jeho využitím nestúpa iba produktivita výroby, ale v mnohých prípadoch aj akosť. Doba rozmrazovania sa pohybuje podľa výkonu zdroja od 2 do 60 minút.

Základná schéma zapojenia pre vysokofrekvenčný dielektrický ohrev je na obr. 1.



Obr. 1

Základné súčiastky zariadenia vysokofrekvenčného generátora do 100 MHz:

1. prípojka siete,
2. transformátor vysokého napätia,
3. usmerňovač *vn*,
4. blok oscilačnej elektrónky *vf* (napr. s RD 18-AY),
5. oscilátor a pripojovacie zariadenia,
6. aplikačné zariadenie generátora na kapacitné použitie (resp. indukčné),
7. ovládanie a signalizácia,
8. chladiace zariadenie.

Významný pokrok vo výrobe výkonných elektrónok v rozsahu decimetrových vln odkryl nové možnosti na využitie tohto rozsahu v priemyselnom i spotrebnom zariadení. Vákuové, výkonné elektrónky umožňujú konštruovať vysokofrekvenčné zariadenia na frekvenciu do 100 MHz.

Dielektrický ohrev, ktorý sa robí frekvenciami od 100 do 1000 MHz, umožnil vývoj elektrónok koaxiálnej konštrukcie. Výstupný výkon, ktorý sa podarilo dosiahnuť v nepretržitom prevádzkovom režime týmito elektrónkami, je až 300 kW pri frekvencii 450 MHz. Využitie typu elektrónok koaxiálnej konštrukcie je však problematické pre ich vysokú cenu.

Nížšie výkony tohto typu elektrónok našli zatiaľ uplatnenie v diatermii.

Je možné, že oblasť frekvencií, pokrývaná koaxiálnymi elektrónkami, prednostne sa ponechá magnetrónom nepretržitého generovania, ktoré sú jednoduché a schopné pracovať aj s dobrými ekonomickými výsledkami. Niektoré magnetróny sa už skonštruovali a vyrobili na frekvenciu 915 MHz a dosiahli sa výkony až 50 kW.

Vysokofrekvenčný elektrónkový generátor býva v spojení s aplikačným zariadením kapacitného alebo induktívneho charakteru, v ktorom sa materiál tepelne spracúva, napr. suší, vytvrdzujú sa spoje lepidlami na odstraňovanie škodcov z obilia, rozmrazujú sa potravinárske výrobky a iné.

Regulácia výkonu vysokofrekvenčného elektrónkového generátora sa robí zmenou anódového jednosmerného napätia. Regulačný rozsah napätia s tyratronmi sa pohybuje v rozmedzí od 50—100%, regulačný rozsah výkonu v rozsahu 25—100%. Použitie polovodičovej a tyristorovej techniky zjednoduší a z hospodárni regulačný zdroj jednosmerného napätia, prípadne rozšíri regulačný výkonný rozsah aplikačného zariadenia oproti tyratronom.

Väzbu výstupného obvodu oscilátora možno meniť vykláňaním výstupnej cievky, čo umožňuje nastaviť optimálne zaťaženie generátora k pracovnej kapacite v aplikačnom stroji o činnej záťaži kondenzátora 1—10 k ohmov, ktorého dielektrikum tvorí materiál medzi doskami.

Dávkovanie do aplikačného zariadenia sa reguluje na základe výstupnej teploty spracúvaného materiálu. Pri diskontinuálnom nahrievaní blokov treba meniť pri každom spracúvanom kuse aj výkon, aby takto nedochádzalo k miestnemu prehriatiu.

Tepelný výkon premenenej, vysokofrekvenčnej energie v materiáli závisí, okrem iných faktorov, najmä od anódového napätia a frekvencie. Vzhľadom na to, že napätie z izolačných a prevádzkových dôvodov nemožno zvyšovať, pristúpilo sa ku zvyšovaniu frekvencie. Túto funkciu spĺňajú magnetróny nepretržitého generovania, ktoré predčia elektrónky tým, že sú jednoduché a ekonomicky výhodné.

Stredný pracovný čas (životnosť) pri veľkom počte cyklov zapnutia a vypnutia je okolo 3000 hodín. Magnetrón má aj vyššie elektrické a mechanické parametre.

Magnetrón pozostáva z dvoch hlavných častí: z valcovej, vysokovákuovanej diódy v anóde, v ktorej je zabudovaný rezonančný systém a elektromagnetu (prípadne permanentného magnetu).

V ČSSR sa zaoberá vývojom magnetrónov Výskumný ústav vákovej elektroniky v Prahe. Ich doteraz vyvinuté a používané magnetróny majú parametre uvedené v tabuľke 1.

Pracovnú charakteristiku magnetrónov vyjadrujú závislosti anódového napätia, výkonu, účinnosti a magnetickej indukcie.

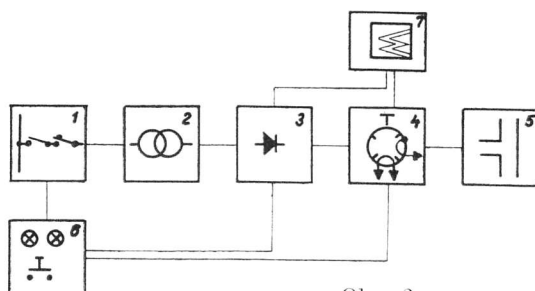
Základná vývojová schéma zapojenia magnetrónov je na obr. 2.

1. prípojka siete,
2. transformátor vysokého napätia,
3. usmerňovač vysokého napätia,
4. blok magnetrónu so žeraviacimi zdrojmi katódy,
5. vlnovod — ohrievací priestor,
6. ovládanie a signalizácia,
7. chladiace zariadenie.

Skúšobné zariadenie GU-25/a s magnetrónom typu 70-SA-51 o výkone 15

**Tabuľka 1.** Niektoré technické údaje magnetronov Výskumného ústavu vákuovej elektroniky v Prahe

Názov parametra	Typ magnetronu		
	50 SA-51	51 SA-52	70 SA-51
Žhaviace napätie katódy — striedavé	1,5—2 V	2,7—3,5 V	10 V
Žhaviaci prúd po ustálení	max. 65 A	max. 28 A	max. 38 A
Doba nažhavenia po ustálení	min. 7 sek.	1 min. 10 sek.	3 min.
Anódové napätie	max. 5,3 kV	2—3,5 kV	11,5 kV
Anódový prúd stredný — špičkový	0,4—0,65 A	0,4—0,8 A	2,4 A
Vysokofrekvenčný výkon do prispôsobenej záťaže	2 kW	700 W	1,5 kW
Účinnosť	60 %	55—60 %	70—75 %
Celková hmotnosť	4 kp.	1,65 kp.	6,6 kp.
Chladenie	voda	vzduchom	vodou
	60 l/hod.	/	8 l/min.
Zaručená životnosť	500 hodín	1000 hodín	/
	12 mesiacov	ca	max. pokles výkonu 20 %
Priemyselná aplikácia v pásme vln	12,5 cm	12,5 cm	/
Magnetický obvod	permanentný	2375 ± 20 MH elmagnet	1250 ± 30 MH elmagnet
			1,9 A



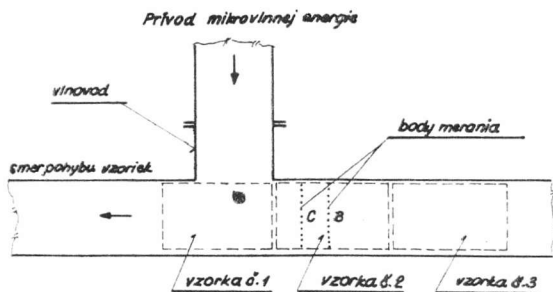
Obr. 2.

kW a frekvencie 1250 MHz sme vo Výskumnom ústave potravinárskom využili na laboratórne pokusy rozmrazovania blokov masla, aby sme zistili rozloženie teplôt a rýchlosti rozmrazovania pôsobením žiarenia mikrovln. Bloky masla o rozmeroch  $7 \times 21 \times 37$  cm zabalené v mastnom baliacom papieri a vložené do krabíc (bez vrchného príklopu) z vlnitej lepenky (hrúbky 4 mm) sa prispôbili existujúcemu vlnovodu tvaru na obr. 3. Vzorky 1 a 3 sme pokladali za pomocné na zabezpečenie záťaže magnetronu a vzorku 2 za hlavnú, na ktorej sme sledovali teplotné zmeny. Magnetron bol pripojený na maximálne napätie a magnetizačný prúd sa udržiaval na konštantnej hodnote.

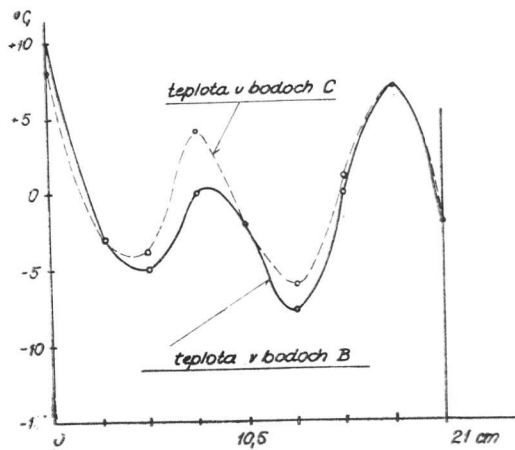
Vzorky sa pred vložením do vlnovodu zmrazili na  $-15^{\circ}\text{C}$ . Vzorky vo vlnovode sa pohybovali pomalou konštantnou rýchlosťou a vzorka 2 bola vystavená žiareniu počas 2 min. a 21 sek. Za tento čas sa oteplila a kontaktným teplomerom PĽ-390 sa na vzorke 2 namerali teploty, ktoré sú na obr. 4. Body merania vidieť na obr. 3.

## Diskusia

Mikrovlnové zariadenie pracovalo s magnetrónom pri frekvencii 1250 MHz. Z nameraných hodnôt teploty vidieť, že vo vlnovode elektromagnetické pole ohrieva hranol masla nerovnomerne a rozdiely nameraných teplôt sú pomerne značné. Nerovnomernosť teplôt sa prejavila i pohlcovaním energie v závislosti od hrúbky vrstvy a od zmeny dielektrickej konštanty v závislosti od teploty. Dielektrická konštantá sa mení najmä v okolí  $0^{\circ}\text{C}$ , keď vzniká v materiáli premena kryštálov ľadu na vodu.



Obr. 3.



Obr. 4.

Rýchlosť rozmrazovania je úmerná výkonu privádzanej „ $\nu f$  energie“. Na zrovnomenenie teploty rozmrazovaného materiálu bude potrebné výkon  $\nu f$  energie znížiť, a prípadne regulovať; pre technologický proces stačí pomalšie rozmrazovanie.

## Záver

Mikrovlnovou energiou možno potravinárske výrobky rozmrazovať veľmi intenzívne. Zmrazené bloky potravín možno rozmraziť za podstatne kratší čas ako u konvektívneho a vákuového rozmrazovania.

Treba však vyriešiť vhodné tvary ohrievacích priestorov, vypracovať vhodné technologické postupy na dosiahnutie čo najrovnomernejšieho ohrevu v celom rozsahu ohrievaného materiálu. Súčasne treba vyriešiť mikrovlnové zariadenie tak, aby pracovalo spoľahlivo s optimálnou účinnosťou, s dosiahnutím čo najdlhšej životnosti magnetronu.

### Literatúra

1. PÜSCHNER, H.: Heating with mikrowaves.
2. Technické podmínky magnetronů vyráběných v ČSSR. VÚVET, Praha.
3. Popis a návod k obsluze vysokofrekvenčního generátoru GU-25 z roku 1967. ZEZ-Praha.
4. МИЧЕЕВ, М. А.: Основы теплотереди.

### Применение диэлектрического и микроволнового нагрева при размораживании пищевых продуктов

#### Выводы

Размораживание пищевых продуктов с помощью микроволновой энергии можно проводить очень интенсивно. Замороженные блоки пищевых продуктов можно разморозить в более короткое время чем у конвекционного размораживания.

Однако необходимо искать новые формы волноводов, чтобы коэффициент стоячей волны был оптимален для данной нагрузки а магнетрон работал бы на характеристике с оптимальным действием. Действие сверхвысокой частоты можно повысить еще комбинацией применения теплового насоса. Эта комбинация приводит к экономии времени и энергии и к общему улучшению качества и снижению потерь.

### The application of the dielectric and microwave heating in food defrosting

#### Summary

An intensive food product defrosting can take place by the means of the microwave energy. The frozen food blocs can be defrosted in a very shorter time than by means of the convective method.

It is necessary to find the new wave guides so that the ration of the static walves would be optimal for the given change and so that the magnetron could work with parameters with optimal effectivness. The effect of the very high frequency is possible to rise more by combination of the use of the thermal pump.

This combination leads to time and energy savings and to the quality improvement and to losses lowering.