

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2009**

**Markéta HLAVÁČOVÁ**

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ**  
**KATEDRA ANALYTICKÉ CHEMIE**

**VLIV MIKROVLNNÉHO OHŘEVU NA KVALITU**  
**POTRAVIN**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

AUTOR PRÁCE: Markéta Hlaváčová

VEDOUCÍ PRÁCE: Doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D.

**2009**

**UNIVERSITY OF PARDUBICE**  
**FACULTY OF CHEMICAL TECHNOLOGY**  
**DEPARTMENT OF ANALYTICAL CHEMISTRY**

**EFFECT OF MICROWAVE HEATING ON FOOD  
QUALITY**

**BACHELOR WORK**

AUTHOR: Markéta Hlaváčová

SUPERVISOR: Doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D.

**2009**

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Katedra analytické chemie  
Akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Markéta HLAVÁČOVÁ**

Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**

Studijní obor: **Hodnocení a analýza potravin**

Název tématu: **Vliv mikrovlnného ohřevu na kvalitu potravin**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- 1) Vysvětlete fyzikální podstatu mikrovlnného záření.
- 2) Vypracujte rešerši s dostupné literatury na téma vlivu mikrovlnného ohřevu na kvalitu základních složek potravin (bílkoviny, sacharidy, tuky, voda).
- 3) Zhodnoťte použití mikrovlnného ohřevu z hlediska hygienického (vliv na přežívání mikroorganismů).

Rozsah grafických prací:  
Rozsah pracovní zprávy:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:


**Podle pokynů vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Červenka, Ph.D.**  
Katedra analytické chemie

Datum zadání bakalářské práce: **23. února 2009**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2009**

  
prof. Ing. Petr Lošťák, DrSc.  
děkan

L.S.

  
prof. Ing. Karel Vytřas, DrSc.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 23. února 2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 22. 06. 2009

.....  
Markéta Hlaváčová

Ráda bych poděkovala Doc. Ing. Liborovi Červenkovi, Ph.D. za zadání zajímavého tématu bakalářské práce, za vedení v průběhu vypracování bakalářské práce a za jeho rady a připomínky.

Chtěla bych poděkovat také rodině za umožnění studia na této vysoké škole a za jejich podporu během studia.

## **Souhrn**

Mikrovlinná trouba se stala součástí snad již každé domácnosti a potravinářského provozu. Díky vysoké rychlosti ohřevu a dalším výhodám, v porovnání s konvenčním ohřevem, je mikrovlinná energie využívána pro vaření, rozmrazování, předehřívání, sušení, pasteraci a sterilizaci.

Tato práce se zabývá účinky mikrovlinného záření na základní složky potravin, jako jsou bílkoviny, tuky a cukry, a také jejich působení na mikroorganismy.

## **Klíčová slova:**

- Mikrovlinné záření
- Základní složky potravin
- Mikroorganismy



## **Summary**

Microwave oven is part of each household and food processes in nowadays. Due to high rate heating and other advantages in comparison with conventional heating, microwave energy is exploited for cooking, thawing, blanching, dehydration, pasteurization and sterilization.

This work deals with effects of microwave radiation on major food constituents, such as proteins, lipids and saccharides, and describes the action of microwave on microorganisms in food.

## **Key words:**

- Microwave radiation
- Major food ingredients
- Microorganisms

## Obsah

1	ÚVOD .....	13
2	MIKROVLNY .....	15
2.1	Úvod do mikrovln .....	15
2.1.1	Co jsou mikrovlny.....	15
2.1.2	Historie objevu mikrovln .....	16
2.1.3	Jak mikrovlny vznikají.....	16
2.1.4	Konstrukce mikrovlnné trouby .....	18
2.1.5	Princip mikrovlnného ohřevu .....	19
2.1.6	Tepelná jednotnost.....	21
2.1.7	Mikrovlnné efekty.....	22
2.2	Mechanismus interakce.....	23
3	APLIKACE ELEKTROMAGNETICKÉ ENERGIE V POTRAVINÁŘSKÉM PRŮMYSLU.....	25
3.1	Vliv mikrovlnného ohřevu na kvalitu základních složek potravin .....	25
3.1.1	Bílkoviny.....	26
3.1.2	Sacharidy.....	28
3.1.3	Tuky .....	29
3.1.4	Voda.....	32
3.2	Vliv mikrovlnného ohřevu na další biologicky aktivní látky .....	34
3.2.1	Vitamíny .....	34
3.2.2	Enzymy .....	36
3.2.3	Imunitní faktory .....	37
3.3	Působení mikrovln na mikroorganismy.....	38
4	ZÁVĚR .....	44

## **Seznam obrázků**

Obr. 1 Elektromagnetické spektrum .....	15
Obr. 2 Konstrukce magnetronu.....	17
Obr. 3 Konstrukce mikrovlnné trouby.....	19
Obr. 4 Působení elektromagnetického vlnění na různé druhy materiálů.....	20
Obr. 5 Polarizace molekuly vody.....	20

### **Seznam zkratek**

AdoHcy hydroláza – S-adenosylhomocystein hydroláza

COP – produkty oxidace cholesterolu

DHA – kyselina dokosahexaneová

DMPO roztok – roztok 5,5-dimethyl-1-pyrrolin-N-oxid

EPA – kyselina eikosapentaneová

EVOo – extra panenský olivový olej

IgA – imunoglobulin A

MTA fosforyláza – 5P-methylthioadenosin fosforyláza

Oo – olivový olej

Po – lisovaný olivový olej

# 1 ÚVOD

Smyslem technologického zpracování a skladování potravin je vytvořit a udržet nutriční a senzorickou hodnotu potraviny.

Během celého cyklu zpracování podléhají potravinářské materiály komplexním změnám: fyziologickým, enzymovým, chemickým a mikrobiologickým.

**Fyziologické změny** se uplatňují zejména u čerstvého ovoce, zeleniny a u masa po porážce. Navazují na fyziologické procesy v živých rostlinných pletivech a živočišných tkáních během jejich zpracování a skladování. Jsou to posmrtné změny masa, anaerobní dýchání rostlinných produktů a poškození ovoce a zeleniny chladem.

**Enzymové změny** jsou dílčí reakce katalyzované přirozenými enzymy, případně extracelulárními enzymy produkovanými přítomnou mikroflórou. Náleží sem oxidace mastných kyselin, degradace pektinových látek, enzymové hnědnutí, hydrolyza kyanogenních glykosidů aj.

Obvykle se uplatňují po mechanickém porušení pletiva v důsledku technologických operací (loupání, dělení, lisování, pomalé zmrazování vlivem tvorby velkých krystalů ledu).

Enzymové procesy jsou přerušeny inaktivací enzymů, nejčastěji záhřevem.

Na změnách potravin se podílí také vzájemné **chemické reakce** všech složek potraviny, kterých se účastní také produkty fyziologických a enzymových procesů, látky přicházejí do potraviny zvenčí (kyslík, složky obalů, kontaminující látky apod.) a také produkty metabolismu přítomných mikroorganismů. Jsou to reakce neenzymového hnědnutí (Maillardovy reakce, degradace cukrů, aminokyselin, atd.), autooxidace tuků (hydrolytické žluknutí tuků), degradační reakce barviv, reakce fenolů a neenzymové pokračování reakcí enzymového hnědnutí.

**Mikrobiologické změny** jsou z hlediska důsledků nejvýznamnějšími změnami, ke kterým v potravinách během zpracování a skladování dochází.

Potravinářské suroviny, polotovary a výrobky obsahují mikroorganismy nebo jejich zárodky. Součástí každého technologického zpracování je vždy konzervační zákrok, který zastaví nebo zpomalí nežádoucí růst mikroorganismů, případně usmrtí ty formy, které by se za podmínek skladování mohly množit a potravinu kazit.

Změny, které jsou způsobeny činností mikroorganismů (bakterií, kvasinek a plísní) lze rozdělit podle důsledků na:

Produkce toxických metabolitů - mikroorganismy při napadení potraviny produkují zplodiny svého metabolismu, které se dostávají do potraviny. Řada mikroorganismů produkuje látky s toxickými účinky např. plísňové toxiny – mykotoxiny, bakteriální toxiny a také mikrobiální dekarboxylace aminokyselin obsažených v potravinách, při které vznikají biogenní aminy (látky s negativními fyziologickými účinky).

Snížení nutriční hodnoty - mikroorganismy spotřebovávají nutričně významné složky potravin.

Změny sensorických vlastností - extracelulární pektolytické a celulólytické změny konzistence napadené potraviny, povlak plísně obvykle negativním způsobem ovlivní sensorickou přijatelnost potraviny, většina mikroorganismů produkuje sensoricky významné látky, nebo takové vytváří změnou složek potraviny, tyto procesy mění potravinu nežádoucím a pro spotřebitele nepřijatelným způsobem.

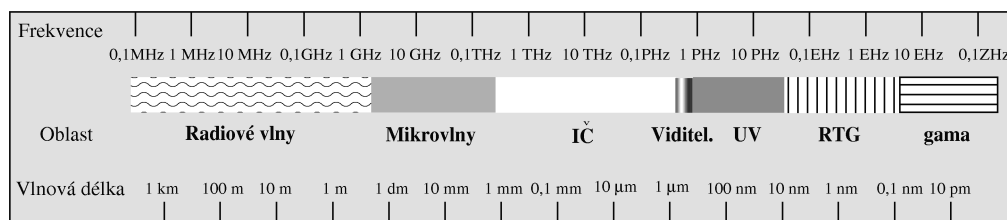
Smyslem konzervačního zákroku je vhodným způsobem uvedené změny ovlivnit - těm nežádoucím zabránit, ty žádoucí usměrnit. <sup>(1)</sup>

## 2 MIKROVLNY

### 2.1 Úvod do mikrovln

#### 2.1.1 Co jsou mikrovlny

Ve spektru elektromagnetických vln leží mikrovlny mezi radiovými vlnami (nižší frekvence) a infračerveným zářením (vyšší frekvence). Mikrovlnná energie patří k neionizujícím nedestruktivním druhům elektromagnetické energie.



Obr. 1 Elektromagnetické spektrum <sup>(2)</sup>

Mikrovlny zaujímají širokou škálu frekvencí od 300 MHz do 300 GHz (Obr. 1), což odpovídá vlnové délce mezi 1 metrem a 1 milimetrem podle rovnice: <sup>(3)</sup>

$$\text{Vlnová délka (cm)} = \text{rychlost světla (cm/s)} / \text{frekvence (Hz)} \quad [1]$$

Většina frekvencí v tomto intervalu se používá ke komunikačním účelům (rozhlasové a televizní vysílání, spojovací zařízení pro telefony, internet aj.), proto aby se zabránilo vzájemnému rušení, byly pro mikrovlnný ohřev určeny dané frekvence: všechny průmyslové aplikace jsou prováděny při 915 MHz v USA, 896 MHz v UK a 2450 MHz celosvětově. Veškeré komerční a spotřebitelské mikrovlnné trouby operují při 2450 MHz, což odpovídá délce vlny 12,2 cm.

Důvodem používání těchto frekvencí v potravinářském průmyslu je:

- dostupnost mikrovlnných generátorů v těchto frekvencích v užitečném výkonu a v rozumné ceně
- vlnová délka v těchto frekvencích se shoduje s vlnovou délkou oscilace vody, což má za následek účinnější teplo než by bylo získáno při vyšších nebo nižších frekvencích <sup>(3)</sup>

### 2.1.2 Historie objevu mikrovln

Z historického pohledu byly mikrovlny objeveny na počátku 40. let v Anglii na Univerzitě v Birminghamu. První využití mikrovln se uskutečnilo během 2. světové války ve formě radaru, což sehrálo významnou roli v bitvě o Británii.

V roce 1947 si všiml zaměstnanec americké firmy Raytheon (výrobce radaru), že se mu v blízkosti radaru roztavila teplem čokoláda. To ho přimělo k myšlence zkonstruovat mikrovlnnou troubu.

První patent se objevil v roce 1952 a první mikrovlnná trouba (zatím dosti primitivní) byla zkonstruována v roce 1961. Byla velká jako skříň a stála 5 000 dolarů. O rok později byla v New Yorku otevřena první restaurace, kde se podávala jídla připravená v mikrovlnné troubě. Pro domácnosti se mikrovlnné trouby začaly rozšiřovat až v 80. letech, a to díky sériové výrobě magnetronů.

Největšího uplatnění našly mikrovlny v komunikacích (radar, televize, mobilní telefony, satelitní vysílání atd.), dále při ohřevu a zpracování potravin (rozmrazování, pečení, ohřívání) a při sušení různých materiálů (keramika, dřevo, léčiva ap.). V chemii se uplatnění mikrovln rozvíjelo pomalu a výraznějšího rozvoje dosáhlo až v posledních letech. <sup>(4)</sup>

### 2.1.3 Jak mikrovlny vznikají

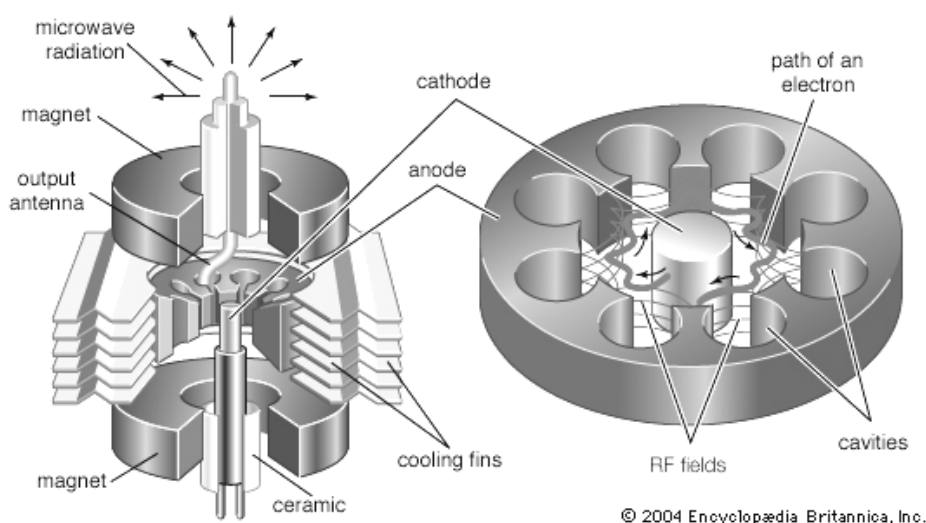
Mikrovlny jsou produkovány elektronkami nazývanými magnetrony a klystrony. Magnetrony jsou nyní dostupné ve výkonostních hladinách od několika set wattů po 50 kW, ačkoli na tento rozsah nejsou omezeny. Obecně jsou účinné přibližně jen



z 50%. Klystry byly také používány v mikrovlnných ohřívacích systémech, v současné době však nejsou komerčně využívány. <sup>(3)</sup>

Magnetron je zařízení zkonstruované poprvé ve čtyřicátých letech dvacátého století pro vojenské účely v radiotechnice. Jedná se o elektronku, která je schopna generovat elektromagnetické vlnění v oblasti mikrovln, které má v případě mikrovlnné trouby vlnovou délku přibližně 12 cm.

Konstrukce magnetronu (Obr. 2) je poměrně jednoduchá. Uvnitř vakuované trubice se nachází kovový váleček, sloužící jako katoda, obklopený kovovým blokem (anodou) s členitou strukturou, která vytváří sudý počet komor (štěrbín). Od anody vede k vršku trubice kovový pásek, sloužící jako anténa. K trubici jsou potom zvenku připevněna hliníková chladičí žebra a celá trubice je vložena mezi dva silné feritové magnety. <sup>(5)</sup>



Obr. 2 Konstrukce magnetronu <sup>(6)</sup>

Přesný princip funkce magnetronu je značně složitý. Váleček tvořící katodu je zahříván elektrickým proudem a díky tomu se z něj uvolňují elektrony, které jsou urychlovány připojeným elektrickým polem směrem k anodě. Feritové magnety vytvářejí v trubici magnetické pole, jehož indukční čáry jsou kolmé k dráze elektronů a ovlivňují tak jejich pohyb. Elektrony se v magnetickém poli nepohybují přímočaře od

středu k obvodu, ale stáčejí se směrem doleva. To znamená, že nedopadnou doprostřed nejbližšího kovového segmentu, ale na jeho levou část.

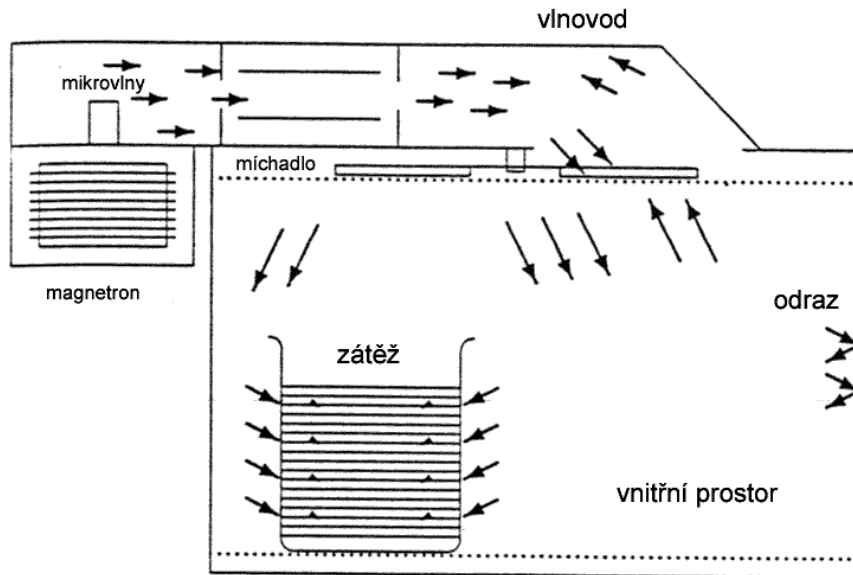
Jednotlivé komory anodového bloku se začnou chovat jako miniaturní oscilační obvody. Štěrbina mezi okraji komory hraje roli kondenzátoru, vodivý zbytek komory, který spojuje okraje štěrby, hraje roli miniaturní cívky. Elektronů nabijí jeden okraj komory (jednu desku kondenzátoru), takže začne okamžitě procházet proud kolem komory (cívkou) na druhý okraj komory.

Průchod tohoto proudu vytvoří malé magnetické pole, které potom ve druhé polovině cyklu indukuje opačný proud komorou. V komorách tak vzniká stejně jako v oscilačním obvodu střídavý proud vysoké frekvence (2,45 GHz), který vyvolává elektromagnetické vlnění vysílané anténou do prostoru trouby. Energie odnášená vyzařováním mikrovln způsobuje vybíjení oscilačních obvodů, které proto musí být neustále nabíjeny elektrony z katody.<sup>(5)</sup>

Účinnost magnetronů při přeměně elektrické energie na mikrovlnnou je maximálně 65-70 %. Většina ztrát připadá na uvolněné teplo v magnetronu, který se proto musí intenzivně chladit.<sup>(4)</sup>

#### **2.1.4 Konstrukce mikrovlnné trouby**

Místem, kde dochází k ozáření preparátu mikrovlnami a v důsledku toho k jeho ohřátí je mikrovlnná trouba. Jedná se o prostor ohraničený kovovými stěnami, v němž se šíří mikrovlny (Obr. 3). Ty produkuje magnetron, z něhož jsou vlnovodem vedeny do vnitřního prostoru trouby. Při svém šíření prostorem trouby se mikrovlny odráží od stěn a skládají se. Výsledkem je vznik míst s vyšší a nižší intenzitou záření v závislosti na geometrických parametrech vnitřního prostoru. Nebezpečným je vznik stojatého vlnění, pokud je mikrovlnná trouba zapnuta bez zátěže, kdy oproti místům s nulovou intenzitou mohou vzniknout místa s několikanásobnou intenzitou a rázy, které mohou mikrovlnnou troubu poškodit. Aby se minimalizovaly tyto jevy vedoucí k nerovnoměrnému ohřevu, je většina přístrojů vybavena míchadlem mikrovln buď v podobě otáčející se kovové tyče nebo otočného talíře.<sup>(7)</sup>

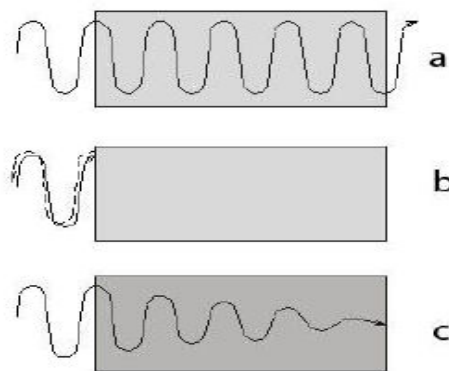


Obr. 3 Konstrukce mikrovlnné trouby<sup>(7)</sup>

### 2.1.5 Princip mikrovlnného ohřevu

Z hlediska materiálu a jeho interakce s mikrovlnami existují 3 možnosti (Obr. 4):

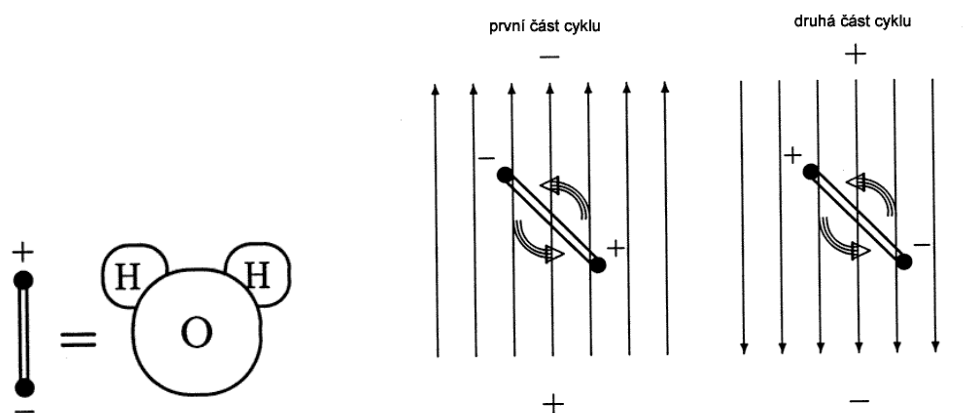
- Transparentní (např. vzduch, sklo, umělé hmoty, nepolární látky apod.) - mikrovlny jimi pronikají jako proniká světlo sklem
- Odrážející (např. kovy) - materiál mikrovlny nepohlcuje ani jím neproniká, tj. dochází k odrazu mikrovln
- Absorpční (např. voda, polární rozpouštědla) - materiál mikrovlny pohlcuje a mikrovlnná energie se přeměňuje na teplo<sup>(4)</sup>



Obr. 4 Působení elektromagnetického vlnění na různé druhy materiálů: a-vlny projdou (sklo, keramika, papír), b-odrazí se (kovy), c-absorbují (voda) <sup>(8)</sup>

Nejběžnější polární molekulou, jejíž permanentní dipólový moment vede k její rotaci při ozařování mikrovlnami je voda. Ta je zároveň ve značném množství přítomna v potravinových materiálech a způsobuje tak jejich ohřev v mikrovlnné troubě.

Permanentní dipóly se ve stejnosměrném elektrickém poli orientují do energeticky nepříjemnější polohy, tedy s elektrickým polem (obr. 5). Pokud dojde k přepólování pole, snaží se molekuly nesoucí náboj opět otočit do nejvhodnější polohy. Snaha vyrovnat se s měnícím se elektrickým polem mikrovln vede k rotačnímu pohybu, při němž dochází ke kolizím a tření se sousedními molekulami a tím ke vzniku tepla. <sup>(7)</sup>



Obr. 5 Polarizace molekuly vody <sup>(7)</sup>

Mechanismus přeměny mikrovlnné energie na teplo je dán vztahem: <sup>(4)</sup>

$$P = 2 \times \pi \times f \times e' \times e'' \times E^2 \quad [2]$$

P = energie absorbovaná v jednotce objemu (W/m<sup>3</sup>)

F = frekvence mikrovlnného pole (2450 MHz)

e' = permitivita (F/m)

e'' = dielektrický ztrátový faktor materiálu

E = intenzita elektrického pole uvnitř materiálu (V/m)

Rozhodující úlohu při přeměně mikrovlnné energie na teplo hraje ztrátový faktor (ostatní hodnoty jsou dány). <sup>(4)</sup>

### 2.1.6 Tepelná jednotnost

Z rovnice [2] jsou zřejmá základní fyzikální omezení homogenního ohřevu pro danou kombinaci frekvence a materiálu. Se zvyšující se frekvencí je příliš silně absorbována energie, což v některých případech může vést k velkým rozdílům teplot uvnitř produktu a na jeho povrchu. To se týká především nejdostupnější frekvence 2450 MHz, což omezuje maximální tloušťku ošetřovaných produktů na několik centimetrů.

V případě temperance zmrzlých bloků masa se používají nižší frekvence (např. 896 nebo 915 MHz), které potravinu zahřívají stejnoměrněji. Pro pasterizaci a sterilizaci se však komerčně využívá frekvence 2450 MHz.

K dalším potížím s nestejným ohřevem může přispívat také tvar obalu, například obal geometrického tvaru může vést ke zvýšení intenzity pole v rozích a okrajích. <sup>(3)</sup> Dále také válcovité nádoby způsobují nerovnoměrný ohřev, kdy se intenzita pole soustřeďuje do centrální osy válce. To způsobuje rychlejší ohřev materiálu v jeho středu oproti okrajům.

### 2.1.7 Mikrovlnné efekty

Mikrovlnný ohřev má některé vlastnosti, které neexistují u klasického ohřevu. Projevují se jako mikrovlnné efekty, což jsou takové efekty, které nelze dosáhnout klasickým ohřevem. Existují dva druhy mikrovlnných efektů:

- teplotní
- neteplotní

#### Teplotní efekty

Teplotní efekty jsou vyvolány přeměnou mikrovlnné energie na teplo. Rozeznáváme následující druhy teplotních efektů:

- přehřátí
- horké a studené zóny (tzv. hot spots)
- objemový ohřev
- selektivní ohřev
- teplotní úlet
- simultánní chlazení (při mikrovlnném ohřevu)
- ostatní efekty (i zábavného charakteru, např. jiskření tužky, vypalování CD, rozsvícení výbojky a další) <sup>(4)</sup>

Přehřátí může být celkové či lokální. Například polární rozpouštědla (aceton, propanol) vřou za atmosférického tlaku až o 30 až 50 °C nad bodem varu neboť dodaná mikrovlnná energie je mnohem vyšší, než odebraná energie reprezentovaná výparným teplem. Nejčastěji k přehřátí dochází v důsledku nehomogenity mikrovlnného pole.

Mikrovlnné pole rozptýlené v prostoru trouby není nikdy zcela homogenní, tj. existují místa s vyšší a nižší intenzitou, tzv. "hot spots", která mohou způsobit až místní přepálení zejména tuhých materiálů. V kuchyňských mikrovlnných troubách se tento jev potlačuje rotačním talířem, u průmyslových zařízení běžícím pásem.

Objemový ohřev – k ohřevu materiálu dochází v celém objemu, tj. zevnitř k povrchu a nikoliv přestupem tepla od povrchu dovnitř, jak je tomu u klasického ohřevu. To může přispívat k rovnoměrnosti ohřevu, avšak záleží na tvaru, velikosti a složení materiálu. Teplotní profil je opačný než u ohřevu klasického. Nejvyšší teplota

je uvnitř a klesá směrem k povrchu. Vzhledem k objemovému ohřevu je mikrovlnný ohřev několika násobně rychlejší než ohřev klasický a nezávisí na tepelné vodivosti materiálu. To znamená, že materiály s nízkou tepelnou vodivostí lze velmi rychle ohřát v celém objemu, což klasickým ohřevem není možné.

Selektivní ohřev – k ohřevu u více složkového materiálu dochází jen u složky, která absorbuje mikrovlny. Neadsorbující složka se neohřívá nebo jen vedením od ohřáté složky (např. směsi voda-tuk, voda-olej, voda-chlorid uhličitý atp.). V těchto případech se ohřívá jen voda. To má dalekosáhlý význam pro provádění chemických reakcí a v dalších procesech (sušení, katalýza).

Teplotní úlet – dochází k němu jen ve výjimečných případech, kdy schopnost absorpce mikrovln prudce stoupá s teplotou (např. u práškových kovů, či oxidů). U vody tento případ nehrozí, neboť absorpce mikrovln vodou s teplotou naopak klesá. Může však dojít k přehřátí vody nad 100 °C. <sup>(4)</sup>

### **Neteplotní efekty**

Neteplotní efekty jsou efekty vyvolané přímým účinkem mikrovlnné energie na chemickou vazbu, tj. které se nedají vysvětlit žádným z výše uvedených teplotních efektů. Jejich existence však nebyla dosud vědecky plně prokázána. <sup>(4)</sup>

## **2.2 Mechanismus interakce**

Interakce elektromagnetické energie s biologickým materiálem může být studovaná ve dvou úrovních:

- makroskopická úroveň: objekty, celé produkty (jídlo)
- mikroskopická úroveň: buňky, membrány a molekuly <sup>(9)</sup>

Účinky elektromagnetické energie jsou často označovány jako tepelné nebo neteplotní. Nicméně, toto dělení není charakteristické.

Interakce s elektromagnetickým polem vždy zahrnuje přenos energie a s tím obvykle (místní) zvýšení teploty. Proto tedy tepelné-neteplotní je v této souvislosti

matoucí. Nicméně, některé účinky mikrovlnné interakce nemohou být dosaženy prostřednictvím klasického ohřevu. Pro odhalení těchto specifických účinků mikrovln má primární význam dokonalá regulace teploty.

Také optické a geometrické efekty během mikrovlnného vystavení mohou mít za následek lokálně vysoké nebo nízké hladiny výkonu uvnitř objektu, např. v nádobách válcovitého nebo geometrického tvaru. <sup>(10)</sup>

### **Makroskopická úroveň:**

Způsob, jakým elektromagnetická energie působí na objekt závisí hlavně na distribučním poli uvnitř materiálu. Intenzita pole v místě interakce určuje profil ohřívání materiálu. Bylo provedeno několik výpočtových studií elektromagnetického tepla, aby vysvětlily a předpověděly energetické profily v různých objektech. Také byl studován prostup tepla v agarových válcích a popsán tak hlavní účinek zahřívání ve válcích při frekvenci 915 MHz způsobený soustředěním vln a také vnější ohřívání stejných válců při frekvenci 2450 MHz způsobené omezenou hloubkou penetrace. Podobné tepelné soustředění bylo nalezené při 2450 MHz ve středu koule a válcově tvarovaných jídlech s průměry mezi 20 a 60 mm pro koule a 18-35 mm pro válce. <sup>(10)</sup>

Jak již bylo řečeno, energetickou penetraci a rozptýlení v materiálu vystaveném mikrovlnnému poli do jisté míry značně ovlivňuje jeho velikost, tvar a složení. Pro studium přímé interakce se sloučeninami na molekulových nebo buněčných úrovních, je nezbytné znát a rozumět profilu ztrát energie rozptylem. V potravinářské technologii, to znamená, že pro studium interakce s potravinovým materiálem a jeho složkami je nutné znát teplotní distribuční vzory uvnitř produktu. S touto znalostí, mohou být studovány mechanismy interakce na nižších stupnicích. <sup>(10)</sup>



### **3 APLIKACE ELEKTROMAGNETICKÉ ENERGIE V POTRAVINÁŘSKÉM PRŮMYSLU**

V šedesátých a sedmdesátých letech znalosti odpovědí potravin na mikrovlny byly omezené, proto výzkumníci mohli používat jen přístupy založené na pozorování ve vývoji aplikací. Až v posledních letech potravinářský průmysl začal využívat mikrovlnnou techniku. Režimy mikrovlnného ohřevu jsou zajímavé pro potravinářský průmysl z různých důvodů. Může být dosaženo snížení zpracovávacích časů, energie a použití vody. Také může být dosaženo vyšší výstupní jakost výrobku díky tomu, že mohou být minimalizovány nežádoucí vedlejší reakce a ztráty produktu. Navíc mohou být vyvinuty nové produkty které by nemohly být nikdy získány na základě konvenčních tepelných metod.

Bylo by velmi zajímavé dosáhnout specifické (in)aktivace enzymů nebo mikroorganismů. Toto by předcházelo potřebě přehřívání a tepelné (in)aktivace enzymů, mikroorganismů a dalších reakcí ovlivňujících kvalitu takovým způsobem, že by se zlepšila kvalita potravin. Je těžké odhalit nějakou specifickou interakci mikrovln s molekulami nebo buňkami uvnitř potravinářského výrobku. Potravinové systémy jsou velmi komplexní systémy a odlišné vazby složek potravin by bylo těžké oddělit od celkového účinku. Navíc, při drastických podmínkách zpracování, například sterilizace, by byl specifický účinek mikrovln maskován účinkem zvýšení teplot. <sup>(10)</sup>

#### ***3.1 Vliv mikrovlnného ohřevu na kvalitu základních složek potravin***

Pokud sledujeme celkové vlastnosti jídel, k dielektrickému chování přispívají tři strukturální mechanismy v různých úrovních. První mechanismus je interakce s vodnou maticí obsahující koloidní nebo rozpuštěné soli, metabolity, enzymy, sacharidy, nukleové kyseliny a organely včetně zásobního materiálu jako škrob nebo glykogen. Druhým mechanismem jsou buněčné membrány a buněčná stěna. Ty jsou povrchově

ionizované a obklopené vrstvou opačných iontů. Membrány obsahují lipidy a proteiny a jejich propustnost podléhá biochemické kontrole. Třetím mechanismem je extracelulární celková voda, která obsahuje soli, živiny a odpadní látky. Obecně se pro potraviny předpokládá, že dielektrické chování v mikrovlnné frekvenci je stanovené hlavně volnou vodní fází a iontovou vodivostí. <sup>(10)</sup>

Mikrovlnná energie penetruje potravinovým materiálem a produkuje objemové rozložení vznikajícího tepla, díky molekulovému tření vyplývajícímu z dipólové rotace polárních rozpouštědel a z vodivé migrace rozpuštěných iontů. <sup>(10)</sup>

### **3.1.1 Bílkoviny**

Bílkoviny jsou nejvýznamnějšími deriváty aminokyselin. Jsou základními chemickými složkami všech živých buněk, a proto také součástí téměř všech potravin rostlinného, živočišného i jiného původu. V organismech plní řadu jedinečných a mimořádných funkcí:

- strukturní (stavební složky buněk, tkání a pletiv)
- katalytické (enzymy, hormony)
- transportní (umožňují přenos různých sloučenin)
- pohybové (svalové proteiny)
- obranné (protilátky, imunoglobuliny)
- zásobní (ferritin)
- senzorické
- regulační (histony, hormony)
- výživové (zdroj esenciálních aminokyselin, dusíku)

Spolu se sacharidy a lipidy se řadí k tzv. hlavním živinám. Ve výživě člověka jsou nezastupitelné, protože je není možné dlouhodobě nahrazovat jinými živinami. Interakce bílkovin zásadně ovlivňují organoleptické vlastnosti potravin, jejich vůni, chuť, barvu a texturu.

Bílkoviny (proteiny) jsou polymery aminokyselin, které vznikají procesem proteosyntézy. Obsahují v molekule obvykle více než 100 aminokyselin, které jsou vzájemně vázány peptidovou vazbou do nerozvětvených řetězců. Kromě peptidových vazeb se na vytváření struktury proteinů podílejí také jiné vazby, zejména disulfidové (-S-S-), esterové a amidové.

Podle struktury rozlišujeme bílkoviny:

- jednoduché (obsahují pouze aminokyseliny, dále se dělí podle tvaru molekuly)
  - globulární (sféroproteiny) mají tvar oblý až kulovitý, jsou vesměs rozpustné ve vodě nebo zředěných roztocích solí (např. albuminy, globuliny aj.)
  - fibrilární (skleroproteiny) mají tvar makroskopických vláken, jsou to prakticky nerozpustné strukturní proteiny (např. kolageny, keratiny, elastiny)
- složené (konjugované, rozdělují se podle typu kovalentně vázaného nebílkoviného podílu)
  - nukleoproteiny (obsahují esterově vázané nukleové kyseliny)
  - lipoproteidy (konjugované s neutrálními lipidy, fosfolipidy, steroly)
  - glykoproteidy (obsahují vázané sacharidy)
  - fosfoproteidy (obsahují vázanou kyselinu fosforečnou)
  - chromoproteidy (obsahují vázané deriváty porfyritu nebo flavinu)
  - metaloproteiny (obsahují koordinačně vázané kovy- Fe, Cu)

Organismus není schopen využít proteiny v jejich původní formě, a proto je musí nejprve procesem trávení rozložit na základní jednotky (aminokyseliny). Vlastní trávení je enzymová hydrolýza (proteolýza) katalyzovaná proteolytickými enzymy (proteasami). Proteasy jsou součástí trávicích šťáv: žaludeční šťávy, pankreatické šťávy a střevní šťávy. <sup>(11)</sup>

### **Proteiny mléka**

Syrové mléko bylo zahřáté v mikrovlnné troubě při frekvenci 2450 MHz proto, aby mohl být studován účinek na hlavní chemické změny, které se uskutečňují během ohřevu: isomerizace laktózy, Maillardovi reakce a denaturace proteinů. Jako ukazatelé tepelného zničení v mléce byli měřeny lactulosa, epilactosa, furosin a nedenaturované syrovátkové proteiny. Srovnání s kontrolními vzorky ošetřenými konvenčním ohřevem

ukázalo zvýšenou rychlost studovaných reakcí během mikrovlnného ošetření. Tyto rozdíly byly způsobeny do jisté míry nestejným rozložením teploty mléka ohřívaného v mikrovlnné troubě. <sup>(12)</sup>

Denaturace syrovátkových proteinů byla pozorovaná, když bylo mléko zahřáté na 70°C po dobu 10, 20 a 30 minut, a byla vyšší po mikrovlnném ošetření než po konvenčním ohřívání vzorků. Obojí, jak mikrovlnné tak i konvenční ohřívání mléka ve vyšších teplotách (100, 110 a 120°C po dobu 10, 20 a 30min) mělo za následek téměř kompletní denaturaci syrovátkových proteinů. <sup>(12)</sup>

### 3.1.2 Sacharidy

Názvem sacharidy se označují polyhydroxyaldehydy a polyhydroxyketony, které obsahují v molekule minimálně tři alifaticky vázané uhlíkové atomy, a také látky, ze kterých sacharidy vznikají hydrolýzou.

Podle počtu atomů uhlíku přítomných v molekule se rozeznávají triosy, tetrosy, pentosy, hexosy atd. Sloučeniny s aldehydovou funkční skupinou se nazývají aldosity a sloučeniny s keto- skupinou se nazývají ketosy.

Podle počtu cukerných jednotek vázaných v molekule se sacharidy dělí na: monosacharidy, oligosacharidy, polysacharidy neboli glykany a složené, také komplexní neboli konjugované sacharidy.

Z nutričního hlediska rozeznáváme polysacharidy:

- využitelné (rostlinné škroby, živočišný glykogen)
- nevyužitelné (rostlinné celulóza, hemicelulóza, pektin, polysacharidy používané jako aditivní látky, lignin a živočišný chitin)

Sacharidy mají v buňkách různé funkce: využívají se především jako zdroj energie, jsou základními stavebními jednotkami, chrání buňky před působením různých vnějších vlivů, jsou biologicky aktivními látkami nebo složkami mnoha biologicky aktivních látek, jako jsou glykoproteidy, některé koenzymy, hormony, vitamíny aj.

Sacharidy jsou značně reaktivní složky potravin. Mezi nejběžnější a současně nejvýznamnější reakce sacharidů probíhající při skladování a zpracování potravin se

řadí reakce s aminosloučeninami, pro které se vžil obecný název reakce neenzymového hnědnutí (Maillardovy reakce).<sup>(11)</sup>

### **Mléčné sacharidy**

Tepelným zpracováním mléka při 70°C po 30 minut se vytvořila lactulosa v množství nižším než 5 mg/100 ml, a to jak při mikrovlnném, tak i při konvenčním ohřevu. Při ošetření ve 100-120° C byla nalezená úroveň lactulosity v mikrovlně ošetřených vzorcích vyšší než ve vzorcích zahřátých konvenčně. Epilactosa se tvořila ve všech vzorcích, ovšem během mikrovlnného ošetření byl její obsah vyšší. Procento lactulosa/epilactosa bylo velmi podobné pro oba druhy ošetření.<sup>(12)</sup>

Tvorba furosínu během ošetření při teplotě 100-120°C se zvyšovala úměrně s časem. Hladina furosínu nalezená v mikrovlnně ošetřených vzorcích byla vyšší než v konvenčně zahřátých vzorcích.<sup>(12)</sup>

### **3.1.3 Tuky**

Lipidy patří k významným složkám potravin a ve výživě člověka tvoří jednu z hlavních živin nezbytnou pro zdraví a vývoj organismu. Lipidy nepředstavují jednotně definovanou skupinu sloučenin, protože hlavním kritériem zařazení sloučenin do této skupiny bývá jejich hydrofobnost a nikoli jejich chemické vlastnosti.

Lipidy se obvykle definují jako přírodní sloučeniny obsahující vázané mastné kyseliny o více než 3 atomech uhlíku v molekule. V praxi se většinou za lipidy považují také netěkavé lipofilní sloučeniny, které v přírodních i průmyslových produktech doprovázejí vlastní lipidy, tzv. doprovodné látky lipidů (steroidy, karotenoidy, lipofilní vitamíny, barviva, přírodní antioxidanty atd.)

Podle chemického složení se lipidy dělí do tří hlavních skupin:

- homolipidy (jen mastné kyseliny vázané na alkoholy)
- heterolipidy (obsahují další kovalentně vázané sloučeniny: kyselinu fosforečnou- fosfolipidy, cukry- glykolipidy, kyselinu sírovou- sulfolipidy)
- komplexní lipidy (lipoproteidy, mukolipidy)<sup>(11)</sup>

## Oleje

Byl vyšetřován vliv mikrovlnného ohřevu na termooxidační stabilitu běžných olejů a tuků používaných v domácnosti. Různé rostlinné oleje vystavené různým dobám ohřevu a síle mikrovlnného záření tvořili reaktivní volné radikály, které rychle reagovaly s atmosférickým kyslíkem a vytvářely peroxidy vodíku a sekundární produkty oxidace. Byly pozorované také další chemické účinky: obsah volných mastných kyselin se mírně zvýšil v mikrovlně zahřátých rostlinných olejích v důsledku hydrolýzy tuku a obsah tokoferolů se snížil. Hustota a viskozita olejů se zvýšila, přičemž vyšší viskozita přímo souvisela s tvorbou triacylglycerolu a dimerů mastných kyselin a polymerů, zatímco zvýšení hustoty bylo přisuzováno oxidaci sloučenin (oxidované triacylglyceroly). Vývoj žluknutí oleje a oxidační změny byly během mikrovlnného zahřátí rychlejší než při ohřátí v klasické troubě nebo při hlubokém smažení tuku. <sup>(13)</sup>

Výsledky ukázaly, že použití mikrovlnného ohřevu může navodit oxidační změny, zvláště v extra panenském olivovém oleji (EVOo) a olivovém oleji (Oo). Použití levnějšího olivového oleje, jako je lisovaný olivový olej (Po), může být doporučováno zvláště pro krátkodobé mikrovlnné zpracování (1,5–6 min), které je obvykle používáno v domácnostech. Lipolýza byla významná jen v nejdelších časech zpracování, zvláště v extra panenském olivovém oleji, což se zdá být přímo spjaté s obsahem vody v oleji. <sup>(13)</sup>

## Mléko

Mikrovlnné záření může být také použito pro extrakci lipidů ze vzorku. Např. extrakce lipidů ze vzorků mlék (a to kravské, kozí a ovčí) může být prováděna ozářením mikrovlnnou energií s kvantitativními výsledky podobnými postupu extrakce podle Weibulla a Berntropa, avšak mléčný tuk získaný mikrovlnně podporovanou extrakcí podléhá menší chemické transformaci triglyceridů během celého procesu. Značné snížení času postupu (50 min oproti 10 h) je dosažené s podobnou reprodukovatelností, kterou poskytuje konvenční metoda. Recyklující rozpouštědlo navíc dělá metodu environmentálně čistou.

Použití soustředěné mikrovlnné energie pro urychlení hydrolýzy a procesu extrakce celkového tuku z různých druhů mléka poskytuje následující výhody:

- dobrá výnosnost extrakce a reprodukovatelnost
- extrakce vyššího procenta triglyceridů s podobným výkonem (tento fakt ukazuje nižší transformaci)
- úspora extrahovadla (asi. 80% počátečního množství bylo obnoveno recirkulací)
- kratší čas celkového procesu (50 min oproti 10 h) <sup>(14)</sup>

## **Maso**

Byly analyzovány dva druhy komerčních masových placiček (drůbeží a hovězí) proto, aby byl ohodnocen efekt dvou aplikovaných zpracovávacích metod na lipidy a oxidaci cholesterolu během procesu ohřívání. Mikrovlnný ohřev změnil zastoupení obsahu mastných kyselin obou druhů masových placiček, zatímco smažení v olivovém oleji zvýšilo obsah kyseliny olejové a eikosapentaenové (EPA) a snížilo obsah kyselin linoleové a dokosaheptaenové (DHA) v obou druzích produktů. Mikrovlnné ošetření snížilo poměr nasycených/nenasycených (U/S) mastných kyselin v hovězích placičkách, zatímco v kuřecích placičkách se tento poměr nezměnil. Ve smažených vzorcích, především v kuřecích placičkách, se poměr U/S zvýšil z 1,64 na 2,11, což může být z výživového hlediska považováno za prospěšné. Smažením se zlepšil poměr  $\omega 6/\omega 3$  mastných kyselin v hovězích placičkách z 10,67 (syrové) na 5,37 (smažené). Celkové zvýšení produktů oxidace cholesterolu (COP) oproti syrovému masu bylo 5,3-6,1 krát vyšší s použitím mikrovlnného ohřevu a pouze 1,5-2,6 krát vyšší smažením. Kuřecí placičky, jak syrové, tak i vařené, měly COP obsah dvakrát vyšší, než hovězí. Jak mikrovlnný ohřev, tak i smažení významně snížily obsah vody v hovězích a kuřecích masových placičkách. U mikrovlnného ohřevu nebylo předpokládáno, že modifikuje celkový obsah lipidů v potravinách, zatímco při smažení by ke změnám docházet mohlo. Mikrovlnný ohřev nevyšil obsah lipidů, zatímco při smažení se mírně zvýšil jen v kuřecích placičkách. Účinky na množství cholesterolu byly významné, došlo k výraznému zvýšení obsahu jeho oxidačních produktů během obou způsobů zpracování. Co se týče druhu masa, tak nebyly průkazné rozdíly v lipidových procentech pro syrové ani pro vařené vzorky. <sup>(15)</sup>

### 3.1.4 Voda

V chemii potravin se voda spolu s bílkovinami, lipidy, sacharidy, vitamíny a minerálními látkami řadí mezi živiny, tedy mezi látky nezbytné pro normální fungování živých organismů. Všechny biochemické reakce probíhají ve vodném prostředí.

Obsah vody v potravinách je značně proměnlivý. Souvisí s chemickým složením potravinářských surovin, se způsobem jejich zpracování na konečné produkty a se skladováním těchto produktů. Množství vody v potravinách, resp. aktivita vody, zásadně ovlivňuje charakteristické organoleptické vlastnosti potravin (texturu, vůni, chuť, barvu) a také jejich údržnost, neboli odolnost vůči mikrobiálnímu ataku, enzymovým (biochemickým) a neenzymovým (chemickým) reakcím, ke kterým dochází během zpracování a při skladování.

Ke změnám v obsahu vody dochází v potravinářských surovinách a potravinách téměř při všech způsobech skladování a během všech způsobů technologického a kulinárního zpracování.<sup>(16)</sup>

Množství fyziologicky dostupné je obvykle vyjadřován jako vodní aktivita  $a_w$  (veličina, která charakterizuje množství vody využitelné mikroorganismy), závisí na obsahu vody v potravině a na jejím složení. Makromolekulární látky jako škrob a další polysacharidy, bílkoviny apod. a osmoaktivní látky, např. cukr, sůl snižují množství využitelné vody. Hodnota  $a_w$  se pohybuje od 0 do 1, vodní aktivita 1 odpovídá velmi zředěnému vodnému roztoku.<sup>(1)</sup>

Vztah mezi obsahem vody v potravině a aktivitou vody vyjadřuje tzv. sorpční izoterma.

Mikroorganismy potřebují pro růst vodu, čím méně vody potravina obsahuje, nebo čím pevněji je voda v potravině vázána, tím méně jí zbývá pro mikroorganismy, a tím hůře a pomaleji rostou. Pokud obsah dostupné vody klesne pod určitou mez, mikroorganismy přestávají růst, nejsou usmrceny, ale nerozmnožují se, ani netváří jedy. K opětovnému růstu dojde po přenesení do prostředí s vyšším obsahem dostupné vody, např. při přidavku koření do salátové zálivky.

Kromě mikrobiálních změn ovlivňuje aktivita vody v potravinách také rychlost mnoha důležitých enzymových i neenzymových reakcí. Rychlost Maillardovy reakce



roste při postupném snižování aktivity vody a maximální rychlostí probíhá při aktivitě vody (0,7-0,8).

Aktivita vody samozřejmě souvisí také s organoleptickými vlastnostmi potravin, zejména potravin s nízkým nebo středním obsahem vody. V oblasti aktivity vody 0,35-0,5 vykazuje řada potravin žáoucí organoleptické vlastnosti, jako je křehkost a křupavost ( např.:extrudované cereální výrobky)

Mezi potraviny nebo pokrmy s nízkým obsahem pro mikroorganismy dostupné vody (s nízkou aktivitou vody) patří sušené potraviny, produkty s vysokým obsahem tuku (majonézy, tukové krémy apod.).<sup>(1)</sup>

Mikrovlnné záření se používá pro sušení potravin. Mikrovlnné sušení je velmi efektivní, protože přes 90 % vstupující mikrovlnné energie se přemění na teplo. Podobnou účinnost nelze jiným způsobem ohřevu dosáhnout. Je to dáno tím, že voda, jako vysoce polární materiál, který velmi dobře absorbuje mikrovlnnou energii.

Při konvenčním ohřevu postupuje teplo z povrchu dovnitř a vlhkost vystupuje zevnitř na povrch, kde se odpařuje. Při hloubkovém působení mikrovln se ohřívá i vnitřek produktu a vlhkost přestupuje směrem k místu s nižším tlakem - tedy na povrch materiálu, který je chladný, protože okolní vzduch se mikrovlunami neohřívá. Touto vodní pumpou se dosáhne rychlého a efektivního odvodu vody.

Ze všech složek základního materiálu mikrovlny téměř výhradně působí na molekuly vody, a naopak vůbec neúčinkují na zcela suché oblasti produktu. Toho lze využít pro vyrovnání vlhkosti materiálu, pokud je před zpracováním nerovnoměrná. Také to umožňuje odstranění poslední kapalné složky a samoregulaci přehřevu na konci sušení.

Klasické sušení může na povrchu kusových produktů vytvořit suchou vrstvu, která přeruší kapilární tok zevnitř materiálu a začne produkt tepelně izolovat, čímž zhorší prostupnost vody materiálem. Naopak při mikrovlnném sušení se suchá vrstva nevytváří, protože voda, která je vypuzovaná z jádra materiálu, udržuje povrch vlhký. V řadě případů není nutné dosáhnout maximální rychlosti odpařování, ale je žádoucí, aby k sušení docházelo při poměrně nízkých teplotách. U potravin jsou při klasickém sušení

jako první degradovány důležité termolabilní složky (např. vitaminy, silice apod.), a rovněž dochází ke změnám organoleptických vlastností. <sup>(17)</sup>

Obsah vody před zahřátím v různých druzích olivového oleje byl následující: 786 mg/kg EVOo, 496 mg/kg Oo a 605 mg/kg oleje pro Po. Nižší obsah vody v Oo a Po je způsoben rafinací, zatímco rozdíl obsahu vod mezi Oo a Po může být přisuzován množství příměsí v EVOo. Ve všech olejích, zahřátých v mikrovlnné troubě, se obsah vody snížil. Při ohřátí po dobu 1,5-3 min byla ztráta vody značně vyšší pro EVOo a Po. Další ztráta vody v EVOo byla pozorována po 9 minutě, přičemž dosáhla asi 60%. V Oo byla ztráta vody téměř lineární až do 9 min ošetření, a dosáhla asi 52%, poté se obsah vody prakticky ustálil. Naopak, ztráta vody v Po dosáhla asi 55% a po 3 min zůstala podstatně nezměněná. <sup>(13)</sup>

## **3.2 Vliv mikrovlnného ohřevu na další biologicky aktivní látky**

### **3.2.1 Vitamíny**

Vitamíny jsou organické nízkomolekulární sloučeniny syntetizované autotrofními organismy. Heterotrofní organismy je syntetizují jen v omezené míře a získávají je jako exogenní látky především potravou a některé z nich prostřednictvím střevní mikroflóry.

Vitamíny jsou v určitém minimálním množství nezbytné pro látkovou přeměnu a regulaci metabolismu člověka. Nejsou zdrojem energie ani stavebním materiálem, ale vesměs mají funkci jako součást katalyzátorů biochemických reakcí.

Vitamíny jsou látky s různou chemickou strukturou. Dělí se na dvě velké skupiny:

- vitamíny rozpustné ve vodě (v polárním prostředí), tzv. hydrofilní: vitamíny skupiny B (thiamin, riboflavin, niacin, pantotenová kyselina, pyridoxin, kyselina listová, kobalamin), vitamín C (kyselina askorbová), vitamín H (biotin)
- vitamíny rozpustné v tucích (v nepolárním prostředí), tzv. lipofilní: vitamíny A (retinol), D (kalciferol), E (tokoferol), K (fylochinon)

V potravinách se vyskytují v proměnném množství zpravidla od  $\mu\text{g/kg}$  po stovky až tisíce  $\text{mg/kg}$  podle druhu vitamínu, druhu potraviny a způsobu jejího zpracování.

Vitamíny obecně patří mezi velmi labilní složky potravin. Během technologického zpracování i kulinární úpravy potravin dochází u většiny vitamínů k větším či menším ztrátám. U vitamínů rozpustných ve vodě dochází k největším ztrátám výluhem, u vitamínů rozpustných v tucích jsou největší ztráty způsobeny oxidací. Stabilita jednotlivých forem vitamínů je různá v závislosti na vnějších faktorech i na konkrétní potravine a na použité technologii. <sup>(16)</sup>

### **Vitamíny v kravském mléce**

Byl studován vliv mikrovlnného ohřevu na některé vitamíny kravského mléka <sup>(18)</sup>. V mikrovlnně pasterovaném mléce nebyly nalezeny žádné ztráty vitamínu A,  $\beta$ -karotenu, vitamínu B<sub>1</sub> nebo B<sub>2</sub>. Ztráty vitamínu E byly přibližně 17% a vitamínu C asi 36%. Vitamín A byl mírně snížený v mléce obsahujícím 1,5 nebo 3,5% mléčného tuku zahřátém na 80-90°C na stolním vařiči nebo v mikrovlnné troubě po 4,5 min, a to bez ohledu na tepelný zdroj. Ztráty vitamínu A byly nalezeny v různém mikrovlnně zpracovaném mléce: 27,1% (v syrovém), 6,8% (v pasterizovaném) a 9,8% (v UHT).

Obsah vitamínu B<sub>1</sub> byl výrazně nižší ve třech vzorcích mléka vystavených dvěma způsobům ošetření ve srovnání s kontrolou, ztráta více než 50% nastala při 4 minutovém ošetření. Tyto vysoké ztráty vitamínu B<sub>1</sub> kontrastují s mnoha daty pro pasterizované a UHT mléko, ve kterém jsou malé nebo téměř žádné ztráty vitamínu B<sub>1</sub>.

Byl také studován efekt mikrovlnného ohřevu mléka na uchování riboflavinu (vitamín B<sub>2</sub>), tokoferolu (vitamín E) a vitamínu A<sub>1</sub> použitím téměř stejného tepelného zpracování. Obsah riboflavinu se nezměnil, ale koncentrace tokoferolu a vitamínu A<sub>1</sub> byly významně nižší v nízkotučném mléce.

Obsah kyseliny listové v mikrovlnně ošetřeném mléce byl nižší ve srovnání se syrovým mlékem, ale jen nepatrně nižší než v mléce pasterovaném.

### **Vitamín B<sub>1</sub> a B<sub>6</sub> v mase**

Byly studovány efekty mikrovlnného a konvenčního zpracování vepřového a kuřecího masa na zadržení vitamínů B<sub>1</sub> (thiamin) a B<sub>6</sub> (pyridoxin). Rozsah ovlivnění obsahu vitamínů B<sub>1</sub> a B<sub>6</sub> mikrovlnným ohřevem byl měřený ve dvou druzích vepřového masa (mleté maso a plátek) a v kuřecím mase.

V syrovém mletém vepřovém mase byl obsah vitamínu B<sub>1</sub> v rozsahu 2,44-3,58 mg/100 g sušiny. Po konvenčním pečení se obsah snížil v průměru o 33%, zatímco v mikrovlnně zpracovaných vzorcích bylo snížení obsahu vitamínu B<sub>1</sub> jen nepatrné, 5-8%. V syrovém plátku vepřového masa byl obsah thiaminu 1,97-3,50 mg/100 g sušiny. Po konvenčním pečení se obsah snížil o 39,4%. Naopak mikrovlnné ošetření vyvolalo snížení thiaminu okolo 12%. V syrovém kuřecím mase bylo 0,24-0,28 mg thiaminu ve 100 g sušiny. Konvenčním pečením se snížil jeho obsah v průměru na 52%; ošetření v mikrovlnné peci způsobilo 10% snížení vitamínu B<sub>1</sub>.

Obsah vitamínu B<sub>6</sub> v syrovém vepřovém plátku masa se snížil po konvenčním pečení z původních 0,45-0,72 mg/100 g sušiny až o 56%, ošetření v mikrovlnné peci způsobilo snížení v průměru o 33%. V mletém vepřovém mase byl obsah vitamínu B<sub>6</sub> následující: 0,49 mg/100 g sušiny v syrovém mletém mase, po konvenčním pečení se jeho hodnota snížila o 51,5%, a po ošetření v mikrovlnné peci průměrně o 17%.

Naměřené údaje vitamínové retence jasně ukazují, že zpracování masa pomocí mikrovln je méně destruktivní k tepelně labilním vitamínům ve srovnání s konvenčním pečením, a proto může být mikrovlnné vaření a pečení doporučeno pro přípravu jídel v potravinářském průmyslu, domácnostech, restauracích a nemocnicích. <sup>(19)</sup>

### 3.2.2 Enzymy

Enzymy jsou to specifické katalyzátory biochemických reakcí v živých organismech. Jsou to většinou složené bílkovinné makromolekuly, které zvyšují rychlost reakce oběma směry, přičemž neovlivňují složení rovnovážné směsi.

V práci Porcelli a kol. <sup>(20)</sup> byl studován vliv mikrovlnného ohřevu na dva termostabilní enzymy izolované z *Sulfolobus solfataricus*, a to S-adenosylhomocystein hydroláza (AdoHcy hydroláza) a 5P-methylthioadenosin fosforyláza (MTA fosforyláza). Tyto enzymy byly vystaveny mikrovlnnému záření o frekvenci 10,4 GHz a rozsahu teplot 70-90°C proto, aby byly rozlišeny tepelné a netepelné mikrovlnné účinky. Mikrovlnné záření způsobilo netepelné, nezvratné a časově závislé inaktivace

obou enzymů. Poměr inaktivace souvisí s množstvím pohlcené energie a je nezávislý na koncentraci enzymu. Ozáření způsobilo ztrátu aktivity obou enzymů v experimentálních teplotách jako funkce doby expozice. Rozsah inaktivace je pro každý enzym jiný. V rozsahu studovaných teplot se AdoHcy hydroláza jeví citlivější než termostabilnější MTA fosforyláza. Při 90°C a 40 minutovém ozáření si AdoHcy hydroláza zachovala pouze 18% aktivity ve srovnání s kontrolní tepelnou inkubací bez ozáření. Za stejných podmínek si MTA fosforyláza ještě udržela 78% aktivity, ovšem po 90 minutách došlo k rozsáhlejší inaktivaci (58%).

### 3.2.3 Imunitní faktory

#### Mateřské mléko

Obvyklá pasterace nebo UHT tepelné zpracování kravského mléka inaktivuje nebo ničí různé mléčné enzymy a protilátky. Mateřské mléko se obvykle nezahřívá, s výjimkou mléka pro vysoce rizikové nedonošené děti. Pro poskytnutí nepřetržité zásoby mateřského mléka mnoho novorozeneckých oddělení pro řádné skladování zmrazí čerstvé mateřské mléko. Nedonošené děti potřebují mateřské mléko, protože jsou velmi náchylné k infekcím a mají relativně nezralou zažívací soustavu. Pro rychlejší dostupnost zmrazeného mateřského mléka se rozmrazuje použitím mikrovlnné trouby.

Byl studován vliv tohoto ošetření na imunitní faktory.<sup>(18)</sup> Vzorky mateřského mléka byly rozmrazené při pokojové teplotě, přičemž tyto sloužily jako kontrolní vzorky. Další vzorky ve skleněných zkumavkách byly vystaveny mikrovlnnému záření po dobu 30 s při nízkém nebo vysokém výkonu. V prvním případě, střední teplota byla 33.5°C (rozsah 20-53°C) a ve druhém, 90.5°C (rozsah 72-98°C). V mikrovlnně ošetřených vzorcích byla významně nižší aktivita lysozymu a imunoglobulinu A (IgA) proti *Escherichia coli* 0 sérotypu 06 než v kontrolních vzorcích. Celková aktivita IgA a IgA proti *E. coli* 0 sérotypu 01 a 04 byla ovlivněna jen při ošetření mikrovlnami s vysokým výkonem. Také bylo analyzováno zamrzlé mateřské mléko, které bylo ošetřené v mikrovlnné troubě po dobu 50 s při výkonu 70 W, a výsledky porovnány se vzorky

zamrzlého mléka umístěného v ledničce při 10°C přes noc po dobu 16-18 h, další vzorky byly rozmrazovány pod tekoucí vodou (44-49°C) dokud teplota nedosáhla 37°C, nebo umístěny ve vodní lázni (62,5°C) po dobu 30 min (upravená dlouhodobá pasterace). Mikrovlnné ošetření mateřského mléka ukázalo ztráty IgA až 30,5-32,6% ve srovnání s 16,2- 21,3% v mléce pasterovaném, zatímco rozmrazování v ledničce a pod tekoucí vodou neukázalo významné rozdíly od kontroly.

### **3.3 Působení mikrovln na mikroorganismy**

Potravinářské suroviny, polotovary a výrobky obsahují mikroorganismy nebo jejich zárodky. Součástí každého technologického zpracování je vždy konzervační zákrok, který zastaví nebo zpomalí nežádoucí růst mikroorganismů, případně usmrtí ty formy, které by se za podmínek skladování mohly množit a potravinu kazit.

Změny, které jsou způsobené činností mikroorganismů (bakterií, kvasinek a plísní) lze obecně podle důsledků rozdělit:

- produkce toxických metabolitů - vegetující mikroorganismy při napadení potraviny produkují různé zplodiny svého metabolismu, které se dostávají do potraviny.(řada mikroorganismů je schopna produkovat látky s toxickými účinky např. plísňové toxiny - mykotoxiny (patulin, kyselina byssochlamová, aflatoxiny apod.), bakteriální toxiny (botulotoxin). Do této skupiny je možné zařadit také mikrobiální dekarboxylaci aminokyselin obsažených v potravinách (je to aktuální zejména při zpracování ryb, výrobě některých sýrů, červeného vína, piva apod.), při které jsou tvořeny tzv. biogenní aminy, látky s významnými negativními fyziologickými účinky (histamin apod.)
- snížení nutriční hodnoty - mikroorganismy spotřebovávají nutričně významné složky potravin
- změny sensorických vlastností - povlak plísně obvykle negativním způsobem ovlivní sensorickou přijatelnost potraviny (s výjimkou uherského salámu a některých sýrů), extracelulární pektolytické a celulólytické změny konzistenci napadené potraviny (jahodový kompot napadený plísní *Byssochlamys fulva*).

Většina mikroorganismů také produkuje různé sensoricky významné látky, nebo takové vytváří změnou složek potraviny, obvykle s výjimkou klasických technologií zpracování potravin, které využívají mikroorganismy (kvasná technologie, mléčné kvašení zeleniny, startovací kultury v masné technologii, mikrobiální kultury v mlékařství apod.) mění tyto procesy potravinu nežádoucím a pro spotřebitele nepřijatelným způsobem

Mezi mikroorganismy patří bakterie, kvasinky a plísně. Mikroorganismy jsou všude kolem nás, v trávicím traktu člověka a dalších organismů množí se na povrchu těla, jsou ve vzduchu, ve vodě, jsou také přítomny v surovinách i pokrmech.

Pouhým okem lze přítomnost některých mikroorganismů rozpoznat teprve poté, kdy se silně pomnožily (z jedné buňky na několik miliónů). Pak mohou vytvářet tzv. kolonie (seskupení - skvrny - typického tvaru, někdy zbarvené). V tekutých potravinách se kolonie projevují jako zákal. Na povrchu masa může způsobit nežádoucí činnost mikrobů oslizlost, změnu barvy apod. V salátech může dojít k nadměrnému kvašení, které se projeví přítomností bublinek apod. Z kolonie plísní je prostým okem viditelná pouze svrchní část (fruktifikační mycelium) s rozmnožovacími částicemi (spóry) obecně se tato viditelná část označuje jako „plíseň“.

Mikroorganismy lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- mikroorganismy s žádoucím účinkem - při výrobě potravin (pivo, víno, některé mléčné výrobky apod.) se často k dosažení žádoucích vlastností produktů používají některé mikroorganismy (např.: pивní a vinné kvasinky, pekařské droždí, bakterie mléčného a octového kvašení, určité plísně dávají různým druhům sýrů typickou chuť)
- mikroorganismy s nežádoucím (škodlivým) účinkem:
  - mikroorganismy působící kažení potravin - tyto mikroorganismy se obvykle vyskytují ve velkém počtu. Způsobují změnu vůně, barvy nebo konzistence potravin, vedou ke kažení, ale nemusí být nutně škodlivé pro člověka
  - mikroorganismy jako původci onemocnění – k těmto mikroorganismům patří například takzvané patogenní bakterie (tj. bakterie, které jsou schopné vyvolat onemocnění). Tyto bakterie jsou pro člověka škodlivé

až na výjimky tehdy, je-li jich dostatečně velký počet (infekční dávka). Zpravidla nezpůsobují smyslové změny potravin. To znamená, že potraviny, obsahující tyto bakterie, nemusí nevykazovat žádnou změnu vůně, chuti nebo vzhledu

- mikroorganismy vytvářející toxiny (jedy) - celá řada mikroorganismů v potravinách roste a rozmnožuje se a produkuje přitom toxiny, které mohou poškodit zdraví člověka <sup>(1)</sup>

### **Vliv mikrovlnného ohřevu na mikroorganismy v ovoci**

Vystavení *Escherichia coli* mikrovlnnému ošetření mělo za následek snížení mikrobiální populace v jablečné šťávě. Pasterizace jablečné šťávy při výkonu 720–900 W po dobu 60–90 s měla za následek snížení mikrobiální populace o 2–4 logaritmické řády. S použitím těchto výkonů nebyly nalezeny průkazné rozdíly mezi konvenční pasterizací a mikrovlnným ošetřením. <sup>(21)</sup>

Další práce se zabývala sledováním bakterie *Saccharomyces cerevisiae* a *Lactobacillus plantarum* v jablečné šťávě. Jejich odolnost byla ohodnocená při nepřetržitém průtokovém mikrovlnném ohřevu ve srovnání s konvenčním ohřevem ve vodní lázni. Naočkovaná jablečná šťáva byla zahřátá v mikrovlnná peci (700 W, 2450 MHz) v nepřetržitém- průtokovém uspořádání na konečnou teplotu (52.5-65°C). Vzorky z naočkované šťávy byly také vystaveny teplotám 50-80°C v dobře míšené vodní lázni. Výsledky ukázaly, že inaktivace mikroorganismů nastala rychleji při mikrovlnném ohřevu než při konvenčním tepelném ošetření. <sup>(22)</sup>

Možným použitím mikrovlnné energie k regulaci posklizňových patogenů v broskvích se zabývali Karabulut a Baykal. V ovoci naočkovaném *Botrytis cinerea* a *Penicillium expansum* a mikrovlnně ošetřeném po dobu 2 min, se průměrné procento poranění a infikovaných zranění významně snížilo oproti kontrolnímu ovoci. Posklizňové skladovací experimenty také ukázaly, že použití mikrovlnné energie jako ošetření před uskladněním bylo velmi účinné v regulaci přirozené nákazy. Mikrovlnné ošetření nezpůsobilo žádné povrchové poškození plodů ani zhoršení kvality ovoce. <sup>(23)</sup>



## Vliv mikrovlnného ohřevu na mikroorganismy v mase

Čerstvá kuřecí prsíčka bez kůže byla naočkovaná bakteriemi *Escherichia coli* a *Campylobacter jejuni* ( $10^5$ - $10^6$  CFU/cm<sup>2</sup>) a vystavena mikrovlnnému záření o frekvenci 2450 MHz v experimentální mikrovlnné peci na plný výkon (1138,8 W) po dobu 10, 20 nebo 30 s. Všechny tři doby vystavení měly jen minimální účinky na počet bakterií, v některých případech byly dokonce počty vyšší po ošetření, bez ohledu na čas zpracování. Mikrovlnné ošetření po dobu 20 a 30 s mělo nějaké účinky na vzhled masa (byly pozorovány známky částečného vaření).

Další porovnání bylo provedené s použitím nenaokovaných kuřecích prsíček bez kůže proto, aby bylo určeno, zda 30 s vystavení mělo nějaký účinek na následný mikrobiální růst a tím i na skladovatelnost. Bylo zjištěno, že nejsou rozdíly ve skladovatelnosti mezi ošetřenými a neošetřenými vzorky uloženými ve  $3\pm 1^\circ\text{C}$ . Celkové výsledky ukazují, že krátkodobé vystavení mikroorganismů v kuřecím mase mikrovlnám není významné.

Krátkodobé vystavení (do 30 s) mikroorganismů v kuřecím mase mikrovlnám (o frekvenci 2450 MHz) nemá významné destruktivní účinky na bakterie a na následující růst mikroorganismů v nízkých teplotách. Výsledky této studie ukazují, že mikrovlnný ohřev je příliš nereprodukovatelný a nerovnoměrný pro povrchové zpracování drůbežního masa, aniž by způsobil jeho uvaření na povrchu.<sup>(24)</sup>

Další práce zkoumala efekty gama záření a mikrovlnného ošetření na různé produkty hovězího masa s ohledem na přežití a růst bakterií, skladovatelnost, chemický obsah a senzoryckou kvalitu. Vzorky hovězího masa s počátečním počtem bakterií  $4,9\cdot 10^6$  CFU/g byly vystaveny gama paprskům v úrovni dávky 5,0 kGy, počet bakterií byl snížen o 2-3 řády. Po zahřátí v mikrovlnné peci byl počet bakterií snížen o 1 řád po 20 s a o 2 řády po 30 s vystavení. Nezpracované vzorky měly skladovatelnost méně než 7 dní, zatímco vzorky které byly ozářené v úrovni dávky 3 kGy, a pak zahřáté v mikrovlnné peci po dobu 20 s měly skladovatelnost minimálně 2 týdny v  $5^\circ\text{C}$ . Ošetření vzorku gama paprsky mělo velmi malý vliv na vůni a chuť. Výsledkem je, že kombinované ošetření gama paprsky společně s krátkodobým mikrovlnným ošetřením může značně zvýšit mikrobiální bezpečnost hovězích produktů.<sup>(25)</sup>

Také byl vyšetřován efekt nově zkonstruovaného sterilizačního systému kombinujícího mikrovlnné a UV záření. Tento systém sterilizace má vysoce efektivní sterilizující účinek. Z vodného DMPO roztoku (5,5-Dimethyl-1-pyrrolin-*N*-oxid) jsou vygenerovány různé druhy aktivního kyslíku (např. hydroxylový nebo peroxidový radikál). Výsledky sterilizace *E. coli* ozářením mikrovlnami a UV světlem po dobu 10 s ukázaly 100% sterilizační účinek. Na druhé straně se ukázalo, že mnoho bakterií přežilo po ozáření pouze mikrovlnami. To znamená, že v těchto experimentálních podmínkách (2450 MHz, 10 s) nemá mikrovlnné záření žádné sterilizační účinky. V mikrovlnně–UV světlem systému sterilizace ozáření mikrovlnami může zapnout ultrafialový zářič bez další energie. Tato technologie je vhodná a ekonomicky výhodná pro sterilizaci mikroorganismů. <sup>(26)</sup>

### **Vliv mikrovlnného ohřevu na mikroorganismy v mléce**

Bylo publikováno mnoho zpráv o mikrovlnném ohřevu mléka. Tyto studie byly provedeny proto, aby zhodnotily pasteraci mléka s použitím mikrovlnné trouby. Byla zkoumána možnost prodloužení životnosti mléka pasterací v mikrovlnné troubě tím, že usmrcuje různé patogeny v mléce. Publikace se liší s ohledem na následující parametry: typ nádoby, objem, počáteční teplota, čas vystavení mikrovlnám a výkon pece. Také musí být vzaty v úvahu parametry jako je manipulace se zahřátým mlékem, minimální teplota po ohřevu a složení mléka.

Mikrovlnné tepelné zpracování kravského nebo mateřského mléka je účinné pro snižování počtů bakterií. Mikrovlnná pasterace mléka po dobu 2,5 min usmrtila 97,7% bakterií. Po 14 denním skladování při teplotě 8°C však celkový počet kolonií dosáhl více než  $10^4$  CFU/ml. Usmrčení více než 99.9% bakterií nastalo po mikrovlnném ošetření mléka trvajícím 12 s nebo 65 s.

Sterilizované plnotučné mléko bylo naočkované bakteriemi *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni* nebo *Listeria monocytogenes*. v koncentraci  $10^6$ - $10^7$  buňek/ml. Vzorky mléka ve skleněných ampulkách byly umístěny do vody a zahřáty po 1-20 min (*Y. enterocolitica*, *C. jejuni*) nebo 60 min (*L. monocytogenes*) v mikrovlnné troubě nastavené na 71,1°C. Bakterie *Y. enterocolitica* byla inaktivována úplně po 8 min

ohřevu a *C. jejuni* po 3 min. Ohřev po dobu 10 min usmrtil všechny buňky *L. monocytogenes* v mléce. <sup>(18)</sup>

## 4 ZÁVĚR

Tato práce hodnotila vliv ošetření mikrovlnným zářením na základní složky potravin a mikroorganismy.

Mikrovlnný ohřev způsobuje při vyšších zpracovávacích časech denaturaci proteinů mléka. Také navozuje oxidační změny lipidů v olejích a zvyšuje obsah produktů oxidace cholesterolu v mase. Použitím mikrovlnné energie se zlepšuje extrakce lipidů z mléka. Obsah vitamínu B<sub>1</sub> a B<sub>6</sub> v mikrovlnně zpracovaném mase je vyšší v porovnání s konvenčním pečením. Co se týče enzymů a imunitních látek, mikrovlnný ohřev způsobuje vyšší degradaci než ohřev konvenční.

Mikrovlnná energie se také s úspěchem používá při sušení potravin, např. koření a také pro ničení mikroorganismů, především v kombinaci s gama zářením a UV paprsky.

## Seznam použité literatury

- 1) Učební texty VŠCHT Základy konzervace potravin. Staženo 10.6.2009 z [http://www.vscht.cz/ktk/www\\_324/studium/KP.html](http://www.vscht.cz/ktk/www_324/studium/KP.html).
- 2) SEDLÁČEK J.: *Elektromagnetické spektrum*, Česká zemědělská Univerzita v Praze, Technická fakulta. Staženo 10.6.2009 z <http://tf.czu.cz/~sedlacek/Vyuka/Obrazky/ElmgSpektrum.png>.
- 3) MULLIN J. Microwave processing. In: GOULD G.W.(ed) *New Methods of Food Preservation*. Blackie Academic & Professional, London1995, p. 112-134.
- 4) HÁJEK M.: *Mikrovlny v akci*, Ústav chemických procesů AV ČR. staženo 31.5.2009 z <http://www.otvarena-veda.cz/ov/users/Image/default/C2Seminare/MultiObSem/112.pdf>.
- 5) ANONYMOUS: *Magnetron*, staženo 10.6.2009 z <http://fyzweb.cuni.cz/dilna/krouzky/mikrov/podr1.htm>.
- 6) *Konstrukce magnetronu*, Mainland High School staženo 10.6.2009 z <http://mainland.cctt.org/istf2008/images/magnetron.jpg>.
- 7) NEBESÁŘOVÁ J.: *Elektronová mikroskopie pro biology*, Parazitologický ústav, Biologické centrum AV ČR. staženo 2.6.2009 z <http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/5.2.html>.
- 8) BIOLEK M.: *Vývoj a konstrukce modelového zařízení mikrovlnné jednotky*, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, staženo 10.6.2009. z [https://www.stag.utb.cz/apps/stag/dipfile/index.php?download\\_this\\_unauthorized=2941](https://www.stag.utb.cz/apps/stag/dipfile/index.php?download_this_unauthorized=2941).
- 9) VELÍŠEK J.: *Chemie potravin 3*, 2. vyd. Tábor: OSSIS, 2002.
- 10) PONNE C.T., BARTELS P.V.: *Interaction of electromagnetics energy with biological material-relation to food processing*. Radiat. Phys. Chem., Vol. 45, No. 4, 1995, p. 591-607.
- 11) VELÍŠEK J.: *Chemie potravin 1*, 2. vyd. Tábor: OSSIS, 2002.
- 12) VILLAMIEL M. a kol.: *Chemical changes during microwave treatment of milk*. Food Chem., Vol. 56, No. 4, 1996, p. 385-388.

- 13) CERRETANI L. a kol.: *Microwave heating of different commercial categories of olive oil: Part I. Effect on chemical oxidative stability indices and phenolic compounds*. Food Chem., Vol. 115, 2009, p. 1381-1388.
- 14) GARCÍA-AYUSO L.E. a kol.: *Double use of focused microwave irradiation for accelerated matrix hydrolysis and lipid extraction in milk samples*. Int. Dairy J., Vol. 9, 1999, p. 667-674.
- 15) ECHARTE M., ANSOARENA D., ASTIASARÁN I., *Consequences of microwave heating and frying on the lipid fraction of chicken and beef patties*. J. Agric. Food Chem., Vol. 51, 2003, p. 5941-5945.
- 16) VELÍŠEK J.: *Chemie potravin 2*, 2. vyd. Tábor: OSSIS, 2002.
- 17) *Mikrovlonné sušení*, staženo 10.6.2009 z [http://www.romill.cz/index.php?lang=cze&show\\_dir=37](http://www.romill.cz/index.php?lang=cze&show_dir=37).
- 18) SIEBER R., EBERHARD P., GALLMANN P.U.: *Heat treatment of milk in domestic microwave ovens*. Int. Dairy J., Vol. 6, 1996, p. 231-246.
- 19) UHEROVÁ R., HOZOVÁ B., SMIRNOV V.: *The effect of microwave heating on retention of some B vitamins*. Food Chem., Vol. 46, 1993, p. 293-295.
- 20) PORCELLI M. a kol.: *Non-thermal effects of microwaves on proteins: thermophilic enzymes as model system*. FEMS Lett., Vol. 402, 1997, p. 102-106.
- 21) CANUMIR J.A. a kol.: *Pasteurisation of apple juice by using microwaves*. Lebensm. Wiss. U. Technik., Vol. 35, p. 389-392, 2002.
- 22) TAJCHAKAVIT S., RAMASWAMY H.S., FUSTIER P.: *Enhanced destruction of spoilage microorganisms in apple juice during continuous flow microwave heating*. Food Res. Int., Vol. 31, No. 10, 1998, p. 713-722.
- 23) KARABULUT O.A., BAYKAL N.: *Evaluation of the use of microwave power for the control of postharvest diseases of peaches*. Postharvest Biol. Tec., Vol. 26, 2002, p. 237-240.
- 24) GÖKSOY E.O., JAMES C., CORRY J.E.L.: *The effect of short-time microwave exposures on inoculated pathogens on chicken and the shelf-life of uninoculated chicken meat*. J. Food Eng., Vol. 45, 2000, p.153-160.

- 25) AZIZ N.H., MAHROUS S.R., ZOUSSEF M.Y.: *Effect of gamma-ray and microwave treatment on the shelf-life of beef products stored at 5°C*. Food Control, Vol. 13, 2002, p. 437-444.
- 26) IWAGUCH S. a kol.: *Sterilization system using microwave and UV light*. Colloid Surface B., Vol. 25, 2002, p. 299-304.

## ÚDAJE PRO KNIHOVNICKOU DATABÁZI

Název práce	Vliv mikrovlnného ohřevu na kvalitu potravin
Autor práce	Markéta Hlaváčová
Obor	Hodnocení a analýza potravin
Rok obhajoby	2009
Vedoucí práce	Doc. Ing. Libor Červenka, Ph. D.
Anotace	
Klíčová slova	Mikrovlnné záření Základní složky potravin Mikroorganismy