

Využití ultrazvuku v potravinářství

Bronislava Hájková

Bakalářská práce
2017

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bronislava Hájková**
Osobní číslo: **T14192**
Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Využití ultrazvuku v potravinářství**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Principy vzniku ultrazvuku a jeho šíření v různých prostředích
2. Interakce ultrazvuku s potravinami
3. Využití ultrazvuku pro zajištění mechanických, chemických a biochemických změn v potravinách
4. Jiné způsoby využití v potravinářství

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] SUN, Da-Wen: *Emerging Technologies for Food Processing*. Elsevier, 2005.

[2] MOHD KHAIRI, M. T., S. IBRAHIM, M. A. MD YUNUS a M. FARAMARZI. Contact and non-contact ultrasonic measurement in the food industry: a review *Measurement Science and Technology*, 27(1), 2016.

[3] VIEIRA DA SILVA, B. J., C.M. BARREIRA a M. Beatriz P.P. OLIVEIRA. Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 144-158, 2016.

[4] SORIA ANNA CRISTINA, MAR VILLAMIEL. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review *Trends in Food Science & Technology*, 21, 323-331, 2010.

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Martina Bučková, Ph.D.

Ústav technologie potravin

Datum zadání bakalářské práce:

3. února 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

5. května 2017

Ve Zlíně dne 3. února 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Hájková Bronislava

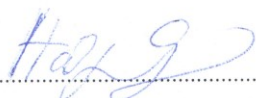
Obor: Chemie a technologie potravin

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 2. 5. 2017



.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo.

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k vyšší výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Ultrazvuk řadíme mezi moderní technologie, které napomáhají při výrobě zdravých a kvalitních potravin s vysokou nutriční hodnotou za současné úspory energie a dalších faktorů významných pro ekonomiku výroby a také ochranu životního prostředí. Tato bakalářská práce nastiňuje možnosti využití ultrazvukové energie v nejrůznějších odvětvích potravinářské výroby. Úvodní část je věnována principům vzniku ultrazvukového vlnění a jeho šíření různými prostředími. V dalších kapitolách jsou popsány rozmanité aplikace ultrazvuku zahrnující procesy extrakce, sušení, mražení, přípravu bioaktivních peptidů, stejně jako inaktivaci mikroorganismů nebo kontrolu technologických procesů.

Klíčová slova: ultrazvuk, potravinářství, homogenizace, extrakce, inaktivace mikroorganismů, sušení, mražení, bioaktivní peptidy, fermentace, čištění, krájení, kontaktní měření, bezkontaktní měření

ABSTRACT

Ultrasound is a modern technology, which can be helpful for production healthy and quality food with high nutritional values. Application of ultrasound in food technology decrease energy requirements and it has many other advantages that can be important for production economy and for protection of the environment. This Bachelor thesis outlines possibilities of using ultrasound in different branches of food industry. The first part of the thesis deals with principle of ultrasound wave formation and its transmission through different types of substances. In subsequent chapters there are many different applications of ultrasound discribed, for example extraction, drying, freezing, production of bioactive peptides as well as microorganism inactivation and proces control.

Keywords: ultrasound, food technology, homogenization, extraction, microorganism inactivation, drying, freezing, bioactive peptides, fermentation, cleaning, slicing, contact measurements, non-contact measurements

„Jediná omezení, která v lidských životech existují, si klademe my sami.“

Konfucius

Na tomto místě chci v první řadě poděkovat Mgr. Martině Bučkové, Ph.D. za odborné vedení, vstřícný přístup a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Poděkování rovněž patří mému manželovi, dcerám a ostatní rodině za podporu a velkou trpělivost během mého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
1 PRINCIPY VZNIKU ULTRAZVUKU A JEHO ŠÍŘENÍ V RŮZNÝCH PROSTŘEDÍCH.....	12
1.1 CHARAKTERISTIKA ZVUKU A ULTRAZVUKU.....	12
1.2 ZPŮSOBY VYTVOŘENÍ ULTRAZVUKU.....	13
1.2.1 Magnetostrikční jev.....	14
1.2.2 Piezoelektrický jev.....	14
1.3 CHOVÁNÍ ULTRAZVUKU V RŮZNÝCH PROSTŘEDÍCH.....	15
1.3.1 Chování ultrazvuku v kapalinách.....	15
1.3.2 Ultrazvuk v plynném prostředí.....	17
1.4 PRŮNIK ULTRAZVUKOVÉ VLNY MATERIÁLEM	18
2 MECHANICKÉ ZMĚNY V POTRAVINÁCH.....	22
2.1 EMULGACE A HOMOGENIZACE.....	22
2.1.1 Homogenizace mléka	23
2.2 ZMĚNY VIZKOZITY A TEXTURY	23
2.3 ODPĚŇOVÁNÍ A DEAERACE.....	24
3 CHEMICKÉ A BIOCHEMICKÉ EFEKTY V POTRAVINÁCH.....	26
3.1 EXTRAKCE.....	26
3.1.1 Extrakce z ovoce a zeleniny	27
3.1.2 Extrakce z bylin a koření.....	27
3.1.3 Extrakce inulinu	27
3.1.4 Extrakce z mikroorganismů	28
3.2 INAKTIVACE MIKROORGANISMŮ V POTRAVINÁCH	28
3.3 INAKTIVACE ENZYMŮ	29
3.4 SUŠENÍ ULTRAZVUKEM.....	30
3.5 MRAŽENÍ ZA POMOCI ULTRAZVUKU	30
3.5.1 Výroba zmrzliny.....	31
3.5.2 Zmrazování tekutých potravin.....	32
3.5.3 Sušení vymrazováním	32
3.6 PRODUKCE HYDROLYZOVANÝCH PROTEINŮ A BIOAKTIVNÍCH PEPTIDŮ.....	32
3.7 APLIKACE ULTRAZVUKU PŘI FERMENTACI POTRAVIN	33
3.7.1 Aplikace vysokofrekvenčního ultrazvuku.....	34
3.7.2 Aplikace nízkofrekvenčního ultrazvuku	34
4 JINÉ VYUŽITÍ ULTRAZVUKU V POTRAVINÁŘSTVÍ.....	36
4.1 MĚŘENÍ TECHNOLOGICKÝCH VELIČIN ULTRAZVUKEM.....	36
4.1.1 Měření hladiny ultrazvukem	37
4.1.2 Měření hustoty ultrazvukem.....	38

4.2	UZAVÍRÁNÍ OBALŮ ULTRAZVUKEM	38
4.3	ČIŠTĚNÍ ULTRAZVUKEM.....	39
4.4	KRÁJENÍ ULTRAZVUKEM	40
4.5	VYUŽITÍ ULTRAZVUKU PŘI ANALÝZE POTRAVIN	41
4.5.1	Masný průmysl	41
4.5.2	Ovoce a zelenina	41
4.5.3	Další aplikace	42
	ZÁVĚR	43
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	44
	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
	SEZNAM TABULEK.....	52

ÚVOD

V posledních letech spotřebitelé zvyšují nároky na potravinářské výrobky. Vyžadují zdravé a výživné potraviny s vysokou organoleptickou kvalitou. Nové technologie, jež jsou zajímavou alternativou ke klasickým postupům, proto upoutávají pozornost a vyvolávají zájem spotřebitelů. Je tomu tak z mnoha důvodů. Jedním z nich, který hraje nesporně velkou roli při výběru potravin, je fakt, že mají jen minimální vliv na senzorické a nutriční vlastnosti potravin. K těmto slibně se rozvíjejícím technologiím můžeme rozhodně zařadit právě ultrazvuk.

Objev ultrazvuku je datován do druhé poloviny 19. století, kdy Lord Raileigh uveřejnil svoji práci „The Theory of Sound“, ve které popisuje zvuk jako fyzikální jev. Z jeho díla pak vycházely všechny následující studie týkající se ultrazvuku. Ultrazvuk se postupně začal uplatňovat v medicíně či armádě a následně i v dalších sférách například ve farmaceutickém, kosmetickém a v neposlední řadě také potravinářském průmyslu.

Aplikace ultrazvuku v potravinářství je možné rozdělit do dvou kategorií: aplikace nahrazující tradiční technologie a aplikace, které tradičním technologiím napomáhají. V tomto druhém případě jde většinou o zefektivnění zpracování a odstranění některých nežádoucích jevů vyskytujících se u klasických technologických postupů.

Cílem této práce je zmapovat rozmanitost využití ultrazvukových technologií v oblasti potravinářské výroby.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PRINCIPY VZNIKU ULTRAZVUKU A JEHO ŠÍŘENÍ V RŮZNÝCH PROSTŘEDÍCH

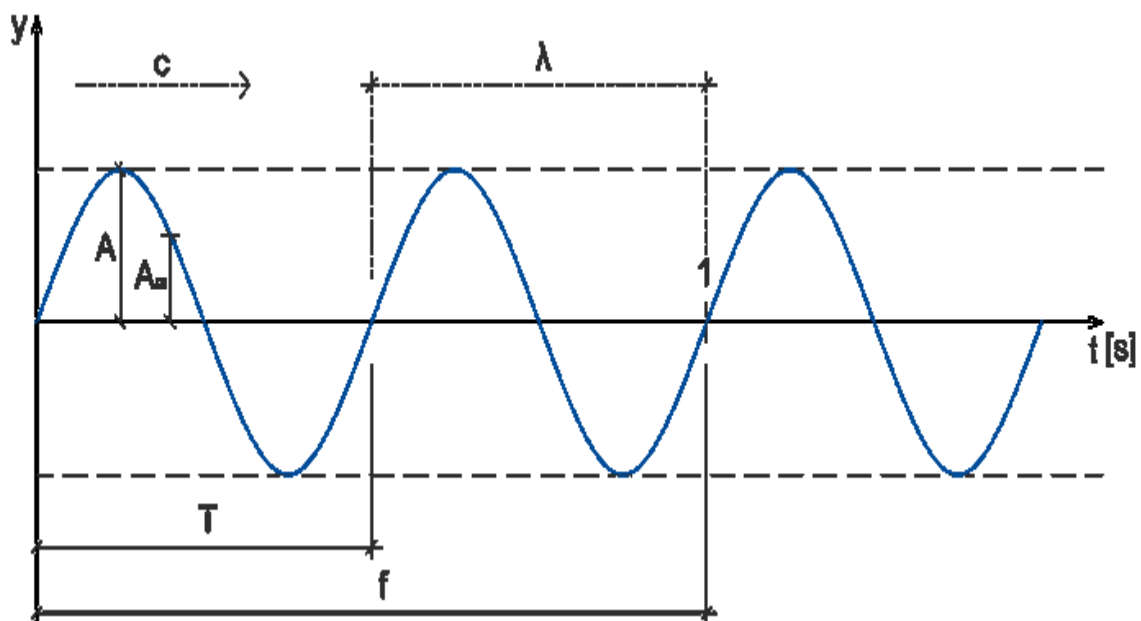
Šíření kmitů prostředím je označováno jako vlnění. Podle typu prostředí, ve kterém se šíří, se vlnění dělí takto:

- Mechanické vlnění
- Elektromagnetické vlnění
- Gravitační vlnění
- Zvukové vlnění [1]

1.1 Charakteristika zvuku a ultrazvuku

Mechanické vlnění, které se šíří v látkovém prostředí, jež je schopno vyvolat sluchový vjem, je nazýváno zvuk. Člověkem vnímatelné frekvence zvuku jsou silně individuální záležitostí a pohybují se přibližně v rozmezí 16 Hz – 20000 Hz. Každé mechanické vlnění včetně ultrazvuku lze popsat vlnovou délkou, frekvencí, periodou, amplitudou a rychlostí šíření viz obrázek 1 [1,2].

Obrázek 1: Vlnění [2]



- **t** čas – základní jednotkou je sekunda [s]
- **y** výchylka
- **f** frekvence – počet opakování (otáček) za jednotku času, základní jednotkou je Hertz [Hz], což je počet opakování za 1 s
- **T** perioda – doba jedné otočky, základní jednotkou je sekunda [s]
- **A** amplituda – maximální výchylka, energie ultrazvuku, udávaná v decibelech [dB]
- **Am** okamžitá amplituda – okamžitá výchylka
- λ vlnová délka – délka jedné vlny, udávaná v mm
- **c** rychlost šíření v m/s. Pro matematické vyjádření vlnění platí vztah:

$$c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T} \quad [m \cdot s^{-1}]$$

Ultrazvuk je mechanické vlnění pohybující se nad frekvencí vyšší než 20 kHz, což je nad hranicí slyšitelnosti lidského ucha. Nicméně někteří živočichové ultrazvuk vnímají, například psi nebo delfini [1,2,3].

Ultrazvuk lze rozdělit takto:

- Nízkofrekvenční: 20 – 100 kHz
- Vysokofrekvenční: od 100 kHz
- Hyperzvuk: větší než 1 GHz

Chování ultrazvuku v různých prostředích je možné pozorovat optickými metodami a určovat tak různé konstanty látek např. koeficient absorpce, rychlost zvuku, moduly pružnosti atd.

Pokud se ultrazvuk šíří v kapalině, nastává značný rozdíl tlaků mezi polohami zhuštění a zředění (v kapalině se šíří podélné vlnění) a proto se používá na tvorbu emulzí, na urychlení rozpouštění a na aktivaci chemických reakcí. Z dalších možností využití ultrazvuku lze zmínit např. určování kazů v materiálech [1,2,3,4].

1.2 Způsoby vytvoření ultrazvuku

Ultrazvukové vlnění je vysíláno a přijímáno za pomoci měničů, jejichž úkolem je převádět mechanickou energii ultrazvukové vlny na elektrickou energii a naopak.

Podle způsobu vytvoření ultrazvukového pole je rozeznáváno několik druhů zdrojů ultrazvuku. Nejpoužívanějšími jsou mechanické zdroje (sirény, píšťaly), které jsou schopny spojitě zvyšovat frekvenci nad 20 kHz a zdroje založené na magnetostrikčním a piezoelektrickém jevu [1,3,4].

1.2.1 Magnetostrikční jev

Magnetostrikční způsob vzniku ultrazvuku spočívá ve využití toho, že některá feromagnetika při zmagnetizování změni svoji délku. Tyč z feromagnetika se tedy ve střídavém elektromagnetickém poli periodicky zkracuje a prodlužuje. Největší intenzita vln vyzařovaných konci tyče bude při rezonanci mezi vlastními kmity tyče a kmity elektromagnetického pole. K látkám s magnetostrikčními vlastnostmi řadíme tedy některé feromagnetické materiály nebo keramické oxidy (ferity). Tímto způsobem je možno generovat ultrazvuk o nízké frekvenci, jen asi do 60 kHz. Magnetostrikční jev můžeme dále rozdělit na přímý a nepřímý [1,3,5].

Princip přímého magnetostrikčního jevu spočívá v tom, že při deformaci magnetostrikční látky dochází ke změně permeability a magnetizace dané látky.

Naproti tomu při nepřímém magnetostrikčním jevu způsobí vložení magnetostrikční látky do magnetického pole deformaci dané látky [1,6].

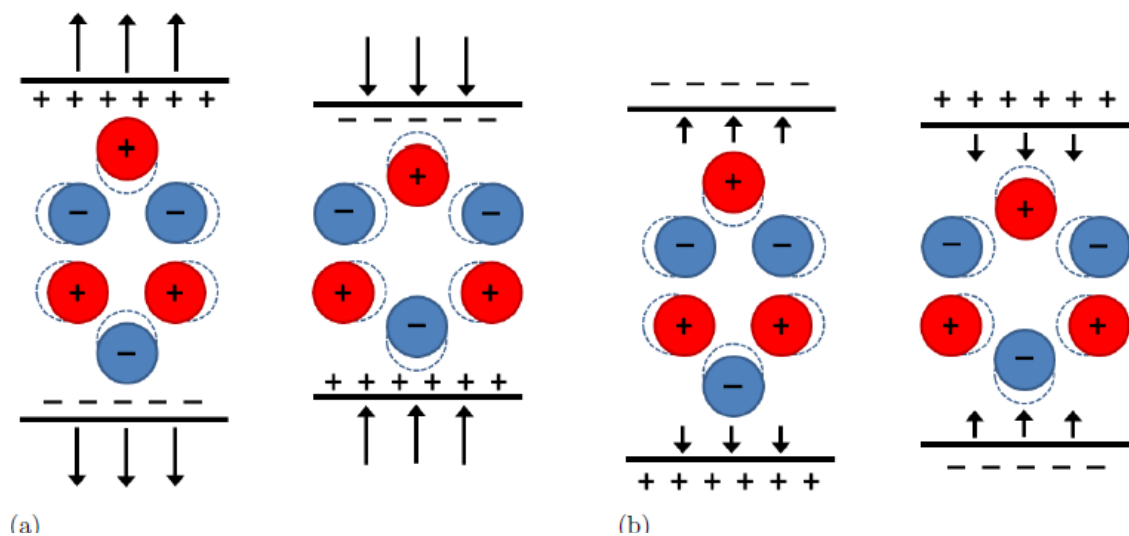
1.2.2 Piezoelektrický jev

Piezoelektrický způsob vzniku ultrazvuku spočívá v deformaci křemenného krystalu nebo krystalu titaničnanu barnatého nacházejícího se v proměnném elektrickém poli. Dalšími krystaly s piezoelektrickými vlastnostmi jsou například turmalín či lithiumsulfát. Během tohoto děje dochází k přeměně elektrické energie na energii mechanickou (vlnění). Generátory založenými na piezoelektrickém jevu dokážeme generovat ultrazvuk o frekvencích až desítek MHz. Rovněž piezoelektrický jev dělíme na přímý a nepřímý [1,3,5].

Přímý piezoelektrický jev je takový, kdy v krystalové mřížce piezokrystalu dochází při deformaci k posunu záporných a kladných iontů. Tímto se na povrchu krystalu vytvoří elektrický náboj, jehož velikost je přímo úměrná deformaci krystalu. Přímý jev je využíván k detekci ultrazvukových vln.

Při nepřímém piezoelektrickém jevu je na povrch piezokrystalu přivedeno elektrické napětí. Tímto dojde k posunu iontů v krystalové mřížce a krystal se deformuje. Velikost deformace je přímo úměrná přivedenému napětí. Nepřímý jev je využíván ke generaci ultrazvukových vln. Obrázek 2 zobrazuje vznik přímého a nepřímého piezoelektrického jevu [1,6].

Obrázek 2: Schematické znázornění piezoelektrického jevu, (a)přímý, (b)nepřímý [6]



1.3 Chování ultrazvuku v různých prostředích

Chování ultrazvukové vlny a následně vyvolané změny jsou dány charakterem prostředí, kterým ultrazvuková vlna prochází.

1.3.1 Chování ultrazvuku v kapalinách

Maximálního mechanického vlivu ultrazvuku na kapalinu lze dosáhnout při použití dostatečného množství energie, které dokáže vyvolat v kapalině kavitaci (vznik bublin). Jako každá zvuková vlna, i ultrazvuková vlna se médiem šíří jako série kompresí a prořídnutí molekul tohoto média. Při vyšších energiích pak dochází k tomu, že fáze prořídnutí přesahuje i do fáze komprese a následkem toho dochází ke vzniku kavit - bublin. Tyto bubliny se pak zvětšují při procesu známém jako korekční difuze, tj. malá množství páry (nebo plynu) z média vstupují do kavity v době, kdy probíhá její expanze a zároveň

dříve, než může dojít k její úplné kompresi. Bubliny prostoupí celým objemem kapaliny v průběhu několika cyklů získají vyváženou velikost odpovídající použité frekvenci. Pokud by byly bubliny ovlivněny pouze touto určitou frekvencí, jen by oscilovaly, nicméně akustické pole, které ovlivňuje každou bublinu mezi tisíci dalšími, není zcela homogenní. Každá z těchto bublin trochu lokálně ovlivní pole sousedních bublin. Tato skutečnost je příčinou vzniku nepravidelného pole, důsledkem čehož jsou kavity nestabilní a kolabují. V místě, kde dojde ke kolapsu, se pak uvolní energie, která zapříčiní chemické a mechanické změny. Pokud je například aplikován ve vodném prostředí ultrazvuk o frekvenci 20 kHz, pak se v místě kolapsu každé kavity vytvoří jakýsi hotspot - v tomto místě se uvolní energie v podobě teploty kolem 4000K a tlaku přesahujícího 1000 atmosfér. Smršťování kavit rozšířených po celém objemu média má za následek celou řadu efektů závislých na vlastnostech dané látky [4,5,7].

Homogenní kapalně systémy

Není zcela přesné popisovat jakýkoli systém, ve kterém vznikne kavitace, jako homogenní právě kvůli výskytu bublin. Nicméně výraz "homogenní" tento systém charakterizuje ve fázi před aplikací ultrazvuku. Kolaps kavity má enormní vliv ve dvou oblastech: v objemu tekutiny, která kavitu obklopuje, a ve které rychlý kolaps kavity generuje protichůdné mechanické síly; a pak také v kavitě samotné, protože při její formaci je její obsah vystaven extrémním teplotním podmínkám a při kolapsu pak zase vysokému tlaku, což má za následek chemické změny. Aby vůbec mohlo ke kavitaci dojít, je nutné molekuly kapaliny od sebe oddálit. Tím mezi nimi vznikne prostor - dutina. U čiré kapaliny bude pro vznik kavitace zapotřebí velkého množství energie - příliš velkého, aby ho bylo možno získat využitím běžných zdrojů ultrazvuku. Nicméně za normálních okolností kapaliny obsahují cizorodé látky, jako např. bublinky plynu nebo prachové částice, které umožní vznik bublin. Před použitím čistícího zařízení by se mělo provést odplynění, čímž se zvýší účinnost tvorby kavitace, vzduchové bubliny totiž absorbují akustickou energii a snižují sonikaci. Po odplynění bude sonikace účinnějším zdrojem kavitace, silnější kavitace má pak mnoho dalších efektů.

Kavitační dutina neobsahuje vakuum; do kavity jsou v průběhu procesu jejího růstu vtaženy výpary dané kapaliny nebo rozpuštěná těkavá činidla. Při kolapsu je pak obsah kavity vystaven extrémnímu zvýšení teploty a tlaku, což vede k fragmentaci molekul.

V případě vody za těchto podmínek zanikne vazba kyslíku a vodíku, a to je příčinou vzniku malých množství vzdušného kyslíku a peroxidu vodíku.

V případě systému dvou kapalin obecně platí, že kavitace na rozhraní dvou různých kapalin, či v blízkosti tohoto rozhraní, má za následek velmi účinnou homogenizaci (případně emulgaci) [4,5,7].

Systém kapalina – pevná látka

Na rozdíl od kolapsu bubliny obklopené pouze kapalinou probíhá kolaps bubliny v blízkosti či na povrchu pevné částice jinak - kavita je asymetrická, protože pevná částice klade odpor jejímu rozvinutí. Výsledkem pak je, že při kolapsu vniká do kavity kapalina převážně ze strany, která je od pevné částice odvrácená, a veškerá energie kapaliny při takovém kolapsu je pak nasměrovaná přímo na povrch pevné částice, která se stane jejím terčem. Výsledný efekt je podobný jako při použití tlakové trysky - na tomto principu je založeno čištění pomocí ultrazvuku. Tento efekt je také díky přenosu mezi vrstvami zodpovědný za jejich narušení a transfer hmoty a tepla.

Akustická kavitace má taky obrovský vliv na suspenzi prachových částic v kapalině. Nerovnosti nebo popřípadě vzduch na jejich povrchu funguje jako jádro, kolem něhož se vytvoří kavitační bublina, jejíž následný kolaps a uvolněná energie prachovou částici rozbije. Kolaps kavity v kapalině v blízkosti pevné částice předá této částici kinetickou energii a tato se začne rychle pohybovat. Za těchto podmínek dochází k masivnímu disperznímu efektu doprovázenému kolizemi částic, což je příčinou eroze, čištění povrchů, namočení pevných částic a redukce jejich velikosti [4,5,7].

1.3.2 Ultrazvuk v plynném prostředí

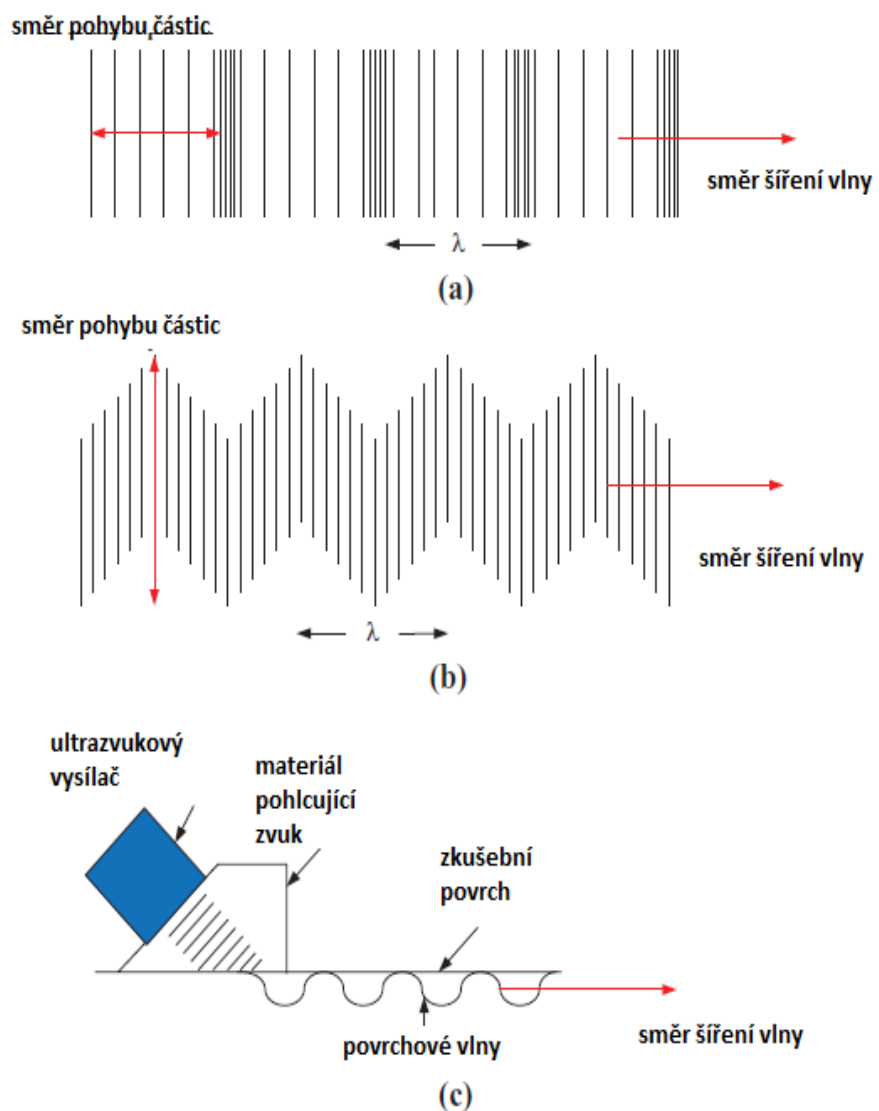
Využití ultrazvuku v plynném prostředí brání dvě skutečnosti. Tou první je fakt, že v plynném prostředí se ve srovnání s prostředím kapalným velmi rychle ztrácí energie přenosu mechanických zvukových vln. Druhou komplikací je velký rozdíl mezi impedancemi (schopností odrazit zvukovou vlnu) plynu vs. pevných či kapalných látek. Významným pokusem o řešení těchto problémů byl vývoj výkonného zdroje ultrazvuku přenosného vzduchem, který dokáže účinněji přenášet energii do látky. Systém je založen na využití speciálního převodníku, který generuje vzduchem přenášený ultrazvuk, jehož součástí je prodloužený titanový plát s drážkami. Ten umožňuje zaměřovat energii

ultrazvuku. Pokud je přivedena na generátor ultrazvuku maximální příkon 150W, pak lze ve vzdálenosti cca 330 mm od generátoru naměřit hladinu intenzity zvuku kolem 165dB . Tento typ zařízení lze využít při přípravě pudrů, při sušení a při eliminaci pěny [4,5,7].

1.4 Průnik ultrazvukové vlny materiálem

Ultrazvuk se šíří materiálem jako podélná, příčná nebo povrchová vlna (viz Obrázek 3) [8].

Obrázek 3: (a) Podélná, (b) příčná, (c) povrchová vlna [8]



Tyto typy vln jsou generovány různými způsoby a jejich produkce závisí na úhlu dopadu na povrch materiálu. Úhel, pod kterým ultrazvukové vlny vstupují do materiálu, určuje, zda se bude jednat o vlnění podélné, příčné nebo povrchové [5,8].

Pokud vlna vstupuje kolmo k povrchu, vznikne podélné vlnění (viz Obrázek 3a). Jestliže vstupuje souběžně s povrchem, pak vzniká vlna příčná (viz Obrázek 3b). V případě příčného vlnění se částice materiálu pohybují kolmo ke směru vlnění a mají nižší rychlost a kratší vlnovou délku než v případě podélného vlnění o stejné frekvenci. Povrchové vlnění, označované také jako Rayleighovo vlnění, představuje oscilační pohyb, který se šíří po povrchu testovaného kusu na šířku jedné vlnové délky. Povrchová vlna se vytvoří, když podélné vlnění vnikne do materiálu přibližně v kritickém úhlu 65° a více (viz Obrázek 3c) [5,8].

Účinků podélného vlnění se využívá u potravin pevných, tekutých a potravin, které obsahují pevné, tekuté i plynné složky. Naproti tomu příčné vlnění lze použít u pevných materiálech, protože vlnění postupuje příliš nízkou rychlostí. Amplituda se mění podle druhu materiálu, kterým ultrazvuk prochází, takže dokáže odlišit různé typy pevných, plynných i tekutých látek [5,8].

Při tvorbě akustického signálu se používá nízká nebo vysoká frekvence. Ultrazvuk o nízké frekvenci a vysoké intenzitě je používán při ovlivňování mechanických, chemických a biochemických vlastností potravin. Dokáže měnit strukturu a zlepšovat kvalitu potravin. Je s úspěchem používán při fermentaci, sušení, emulgaci či krystalizaci. Ultrazvuk o vysoké frekvenci a nízké intenzitě je používán při kontrole bezpečnosti a určování kvality potravin a při zjišťování vlastností potravin, jako například struktura nebo tloušťka a podobně [5,8].

Intenzita ultrazvukové vlny se zeslabuje při průchodu materiálem. Absorbce a rozptyl vln patří mezi hlavní faktory, které způsobují fenomén zeslabení ultrazvukové vlny. Podle typu rozptylu je možné rozeznat, zda vlna prochází nehomogenním materiálem, nebo naráží na pevné částice.

V tabulkách 1 a 2 jsou uvedeny příklady využití ultrazvuku o nízké frekvenci a ultrazvuku o vysoké frekvenci v potravinářském průmyslu [5,8,9].

Tabulka 1: Aplikace ultrazvuku o nízké frekvenci v potravinářském průmyslu [8]

Aplikace	Frekvence, intenzita	Typ potraviny
fermentace	20 kHz, 450 W	čerstvé syrové mléko
	20 kHz, 100 W	mléko
sušení	25 kHz, 4870 W.m ⁻²	ananas
	25 kHz, 4870 W.m ⁻²	banány
	20 kHz, 25 W a 50 W	jablka a brambory
emulgace	20 kHz, 400 W	palmový a slunečnicový olej
	20 kHz, 120 – 200 W	sýr
krystalizace	20 kHz, 50 W	mléčný tuk
	67 kHz, 450 W	led

Tabulka 2: Aplikace ultrazvuku o vysoké frekvenci v potravinářském průmyslu [8]

Aplikace	Frekvence	Typ potraviny
charakterizace	2 MHz	cukr, alkohol
	1 MHz	sýr
	1 MHz	suché fermentované salámy
	1 MHz	fermentované maso
kontrola	1 MHz	voda
	1 MHz	nápoje
	5 MHz	margarín, sýry, marmeláda
kontrola	100 kHz	mouka
	2 MHz	Fermentovaný cukr
	150 kHz	vejce
	100 kHz	jablka

2 MECHANICKÉ ZMĚNY V POTRAVINÁCH

Působení ultrazvukových vln v potravinách způsobuje mechanické změny, kterých je možné cíleně využít při předúpravě či zpracování surovin.

2.1 Emulgace a homogenizace

Ultrazvuk má široké využití při úpravě potravinářských koloidních systémů. Koloidní systém představuje velká část potravin s obsahem tuku. Jde buď o emulzi vody v oleji, nebo oleje ve vodě. Může se jednat o přirozenou emulzi (např. mléko), spousta potravin je však vyrobena uměle smícháním vodné a olejové fáze emulgací. Emulgace se často provádí dvojstupňově. Nejprve se při primární emulgaci vytvoří hrubá emulze s velkými částicemi fáze, ve druhém kroku pak dochází k úpravě velikosti částic. Tato úprava se nazývá homogenizace [8,9,10].

Ultrazvukový homogenizátor umožňuje jednostupňovou homogenizaci v kapalinách s nízkou viskozitou. Dále se používá k urychlení chemických reakcí, odplynění roztoků, narušení buněk a tkání. Obvykle se skládá z generátoru, ultrazvukového převodníku, hlavic a ultrazvukové sondy [8,9,11].

Přestože komerční vybavení produkující ultrazvukové vlnění jsou už dlouhou dobu používána v nejrůznějších odvětvích, teprve v posledních obdobích došlo k rozvoji aplikace ultrazvuku také v potravinářském průmyslu. Jako příklad lze uvést výrobu ovocných šťáv či majonéz. Emulze vyrobené za pomoci ultrazvuku bývají často stabilnější, než emulze vyrobené konvenčním způsobem. Například u již zmiňované majonézy je právě díky použití ultrazvuku dosaženo vynikající bílé barvy a velmi jemné a stabilní emulze [9,10,12].

Jako protiklad ke vzniku stabilních emulzí existuje také možnost použití ultrazvuku k separaci emulze, tj. oddělení vodné a olejové složky. V jedné z takových studií, která se zabývala separací emulze řepkového oleje a vody pomocí ultrazvuku, došlo k okamžité tvorbě olejových kapének a jejich oddělení z vodného prostředí. Separace probíhala lépe při vyšších energiích ultrazvuku a delší době působení. Při použití ultrazvuku tedy může dojít i k nežádoucím účinkům na emulzi a vzniku nestability emulze. Z výše uvedeného vyplývá, že aplikace ultrazvuku vyžaduje velmi pečlivé vyladění celého postupu tak, aby nedošlo k opačnému efektu, než který byl zamýšlen [10,13].

2.1.1 Homogenizace mléka

Mléko je emulze tukových částic rozpuštěných ve vodě. Příliš velké tukové kuličky způsobují oddělování smetany od mléka, čemuž je třeba u řady výrobků zabránit. Homogenizací mléka je dosaženo roztržštění tukových kuliček a rovnoměrného rozptýlení tuku v mléce [14].

Klasicky užívanou technologií je homogenizátor, což je vysokotlaké pístové čerpadlo, které protlačuje mléko štěrbinou homogenizační hlavy. Působením smykových sil se kuličky protahují do vláken, posléze se mění na řetízky a shluky kuliček. V důsledku poklesu tlaku za homogenizační hlavou se shluky kuliček rozpadnou a rozptýlí [11,14].

Další, dnes již dobře známou metodou pro ošetření mléka je právě homogenizace za pomoci ultrazvuku. Při zpracování mléka ultrazvukem o vysoké intenzitě bylo popsáno zmenšení tukových kuliček o 81,5%. Při nižších teplotách se mohou formovat shluky tukových kuliček, proto je lepší užití vyšších teplot, při kterých dochází k lepšímu narušení kaseinových micel [3,4,8,9,10].

Aplikace ultrazvuku při homogenizaci mléka určeného pro výrobu sýrů rovněž dokáže zlepšit výtěžnost sýra díky lepšímu navázání proteinů na membránu tukové kapénky. Během zkoumání vlivu ultrazvuku na fyzikální vlastnosti jogurtů byla prokázána lepší účinnost očkování, pokud byla předtím provedena homogenizace mléka ultrazvukem, při některých pokusech bylo prokázáno také zlepšení viskozity jogurtů [9,10,15,16].

2.2 Změny viskozity a textury

V závislosti na intenzitě ultrazvuku může docházet ke zvýšení nebo snížení viskozity potravin. Tento efekt může být jak dočasný, tak trvalý. Kavitace vyvolává smyk, který v případě tixotropních tekutin způsobuje dočasné snížení viskozity. Jestliže se použije dostatečná energie, může dojít až k poklesu molekulové hmotnosti makromolekulárních látek, což způsobí trvalé snížení viskozity [3,10].

Například ve studii zaměřené na ultrazvukové ošetření granulí kukuřičného škrobu bylo zjištěno snížení viskozity. Tento efekt je přisuzován degradaci způsobené částečným rozštěpením glykosidických vazeb, jehož výsledkem je snížení hmotnosti molekul škrobu. Nicméně v některých zeleninových pyré naopak aplikace ultrazvuku způsobuje vyšší pronikání vlhkosti do vláken, což vede ke zvýšení viskozity (např. u rajčatového pyré).

Některé studie také poukazují na změny struktury proteinů při ultrazvukovém ošetření, které souvisí se změnou schopnosti proteinu vázat vodu [10,17,18].

.Applikace ultrazvuku rovněž zjednodušuje uvolnění myofibrilárních proteinů, které jsou zodpovědné za spojování jednotlivých kousků masa v masných výrobcích. Při delším vystavení působení ultrazvukových vln tak dochází k výraznému zkrěhčení masa. U masných výrobků, jež byly ošetřeny ultrazvukem, bylo dosaženo zlepšení fyzikálních vlastností výrobků, jako je například lepší vaznost vody, jemnější textura a soudržnost [10,19,20].

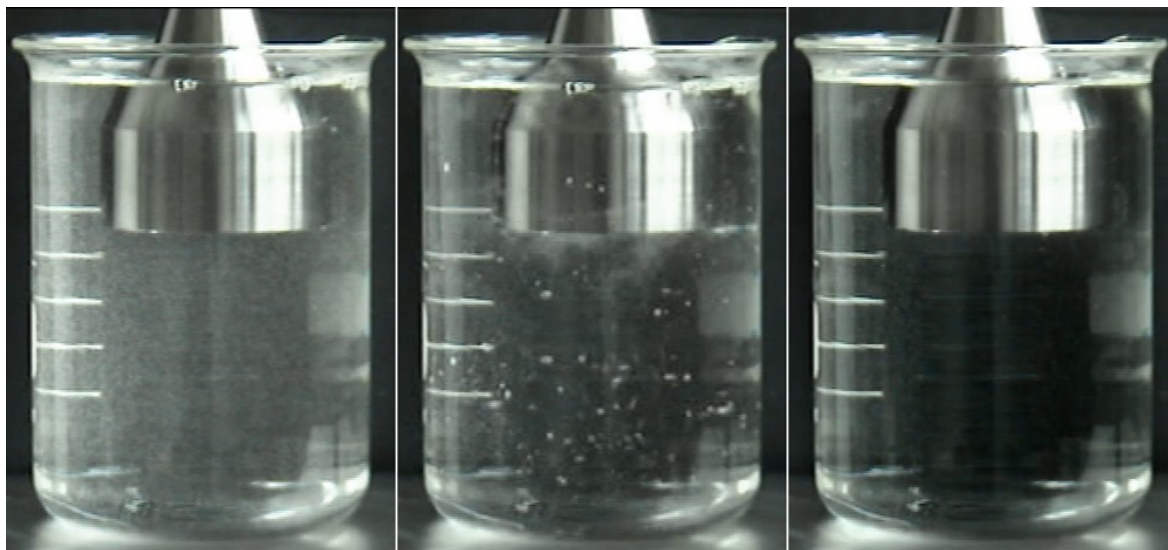
2.3 Odpěňování a deaerace

Pěny jsou termodynamicky nestabilní koloidní systémy, které jsou tvořeny bublinami plynu v kapalině. K jejich vzniku dochází například při šlehání, třepání či míchání.

Odpěnění a deaerace je proces odstranění bublin a vzduchu z tekutin. Při zpracování mléka a nápojů je velmi důležité odstranění vzduchu a kyslíku z těchto surovin. Hlavními důvody jsou především riziko oxidace a rozkladu některých složek potravin. Zároveň se takto výrazně prodlouží čerstvost, trvanlivost a zůstává zachována kvalita potravin. Odstranění pěny je rovněž důležité pro maximalizaci produkce a minimalizaci ztrát při procesu výroby. Jako velmi efektivní postup při odstranění pěny tvořené kyslíkem, byl popsán ultrazvuk o vysoké intenzitě. Pěna v mléce byla redukována o 80% a to při velmi nízké spotřebě energie [4,9,21].

V současné době byl vyvinut a komerčně se využívá deskový ultrazvukový odpěňovač. Je používán pro odstraňování pěny během plnění lahví a kanystrů v konzervářských linkách a ve fermentačních tancích [9,22].

Na obrázku č. 4 je znázorněn průběh ultrazvukového odplynění vody, kdy v průběhu pěti minut dochází působením ultrazvuku k odstranění vzduchových bublinek. Velký obsah vzduchových bublin je patrný v první části obrázku. Působením ultrazvuku postupně dochází k úplnému vyčiření vody.

Obrázek 4: *Ultrazvukové odplynění vody [23]*

3 CHEMICKÉ A BIOCHEMICKÉ EFEKTY V POTRAVINÁCH

Účinky ultrazvuku v potravinách mohou napomáhat vzniku chemických změn, kterých lze rovněž v potravinářských technologiích využít.

3.1 Extrakce

Extrakční procesy mají velmi dlouhou historii. Většina starých národů na všech světových kontinentech používala různé extrakční procesy k výrobě kosmetiky či potravin. V současné době je ve farmaceutickém, kosmetickém či potravinářském průmyslu využívána řada extrakčních procesů, jako jsou například: macerace, extrakce rozpouštědlem, párou, lisování za studena atd. S rostoucími náklady na energie a tlakem na snížení emisí skleníkových plynů vzrůstá poptávka po nových úsporných a šetrných technologiích, mezi které můžeme řadit právě také metodu ultrazvukových extrakcí [4,9,10,24,25,26].

Ultrazvuk o vysoké intenzitě je využíván jako jednoduchá a efektivní alternativní metoda pro zefektivnění procesu extrakce bioaktivních složek potravin. Všechny mechanické efekty, které ultrazvuk poskytuje, mohou urychlit pohyb částic a vnitřní difúzi, což zlepšuje proces přenosu hmoty a také umožňuje větší penetraci rozpouštědla do hmoty a účinnější uvolnění extrahovaných složek.

Postup ultrazvukové extrakce probíhá tak, že zdrojový materiál je ponořen do rozpouštědla, po danou dobu je aplikována ultrazvuková energie. Na závěr je extrakt od zbytků pevného materiálu oddělen centrifugací či filtrací [4,9,10,24,25,26].

Podmínky panující při tomto procesu navíc zajistí, že nedochází k významným změnám vlastností a funkčnosti většiny bioaktivních látek. Tento fakt hraje významnou roli zejména u složek potravin, které jsou citlivé na vyšší teploty. Další velkou výhodou ultrazvukové extrakce je fakt, že lze minimalizovat množství použitých rozpouštědel, což má také pozitivní dopad na životní prostředí, stejně jako zkrácení času potřebného k extrakci a tím také úspoře energie [4,24].

3.1.1 Extrakce z ovoce a zeleniny

Z ovoce a zeleniny je možno extrahovat různé druhy sloučenin, jako jsou například pigmenty, lipidy, antioxidanty, aromata a další látky, které jsou využívány ve farmaceutickém, kosmetickém a potravinářském průmyslu. Ovoce a zelenina obsahují širokou škálu sekundárních metabolitů.

Běžně používanými metodami pro extrakci jsou macerace a Soxhletova extrakce. Tyto klasické techniky jsou časově náročné a vyžadují použití velkého množství rozpouštědla.

Naopak při použití ultrazvuku dochází ke zkrácení doby extrakce, snížení energetické spotřeby a maximalizaci výnosu [25,27].

3.1.2 Extrakce z bylin a koření

Extrakce různých látek z bylin a koření je běžnou součástí farmaceutického, kosmetického a potravinářského průmyslu. Jsou zdrojem různých antioxidantů, chuťových a vonných látek. Ultrazvuk může být úspěšně aplikován při obnově aromatických molekul konvenčně extrahovaných vodní destilací [25,28].

3.1.3 Extrakce inulinu

Inulin představuje důležitou složku potravy. Je to polysacharid, který se neštěpí v tenkém střevě, proto jej živočišný organismus neumí využít. Chová se tedy ve střevě jako rozpustná vláknina, zároveň má probiotický efekt. Je sladký, ale má velmi nízkou kalorickou hodnotu. Je využíván při výrobě velkého množství potravinářských výrobků a to z důvodu snížení energetické hodnoty a ke zlepšení texturních vlastností výrobku [26,29,30].

Tradiční postup získávání inulinu založený na procesu difúze molekul v horké vodě vyžaduje vysokou teplotu (70 - 80°C) a dlouhou dobu (1 - 2 hodiny) nutnou k jeho extrakci. Nevýhodou konvenčního způsobu extrakce je vysoký podíl nečistot v získané šťávě, zejména v důsledku aplikace vysoké teploty, což vede k nutnosti produkt dále těchto nečistot zbavovat [25,26].

Z tohoto důvodu je snahou vyvíjet rychlejší a kvalitnější technologie, mezi které patří: extrakce pomocí enzymů, ultrazvuku, mikrovlnného záření nebo pulsního elektrického pole.

Bylo provedeno několik studií týkajících se extrakce inulinu ultrazvukem, které prokázaly nesporné výhody této metody, jako je výrazné zkrácení doby extrakce a zisk většího množství inulinu oproti konvenčním metodám. Zároveň bylo zjištěno, že výhodnější metodou se jeví nepřímá metoda, kdy je nádoba se vzorkem ponořena do ultrazvukové lázně. Přímá metoda, tzn. ponoření ultrazvukové sondy přímo do roztoku způsobuje nežádoucí degradaci částic inulinu.

Současně hraje roli také frekvence ultrazvuku, kdy při použití ultrazvuku s vyšší frekvencí byl zaznamenán významný nárůst zisku inulinu [26,31].

3.1.4 Extrakce z mikroorganismů

Mikroorganismy jako jsou bakterie, kvasinky, houby, mikrořasy jsou schopny produkovat množství primárních a sekundárních metabolitů, jež jsou zajímavé pro farmaceutický, potravinářský a kosmetický průmysl. V olejnatých mikroorganismech se tuky vyskytují ve formě neutrálních lipidů, fosfolipidů, glykolipidů a volných mastných kyselin. Některé kmeny při optimálních kultivačních podmínkách obsahují až 70% výše zmíněných látek ze své hmotnosti a jsou do budoucna slibným zdrojem pro výrobu biopaliv. Studie, které se zabývaly extrakcí lipidů z biologických materiálů za pomoci ultrazvuku, prokázaly vyšší výtěžnost lipidů a výrazně kratší dobu extrakce v porovnání s klasickými metodami.

Rovněž přírodní barviva jsou žádanou složkou hojně využívanou v potravinářství a kosmetickém průmyslu. Několik studií srovnávajících superkritickou fluidní extrakci a extrakci ultrazvukem prokázalo dosažení lepších výsledků ultrazvukové extrakce při získávání karotenoidů a chlorofylů [24,32].

3.2 Inaktivace mikroorganismů v potravinách

Inaktivace mikroorganismů je stále aktuálním problémem v potravinářství i dalších odvětvích průmyslu, ve zdravotnictví i v oblasti životního prostředí. K běžným technikám, které jsou používány k inaktivaci mikroorganismů v potravinách, patří například pasterace nebo sterilace. K tomu, aby byly tyto metody účinné, je zapotřebí dostatečně dlouhé působení vysokých teplot. Následkem toho však může dojít ke zhoršení sensorických vlastností a nutriční hodnoty potravin. Vývoj nových úsporných technologií, které mají zároveň minimální vliv na změnu vlastností potravin, je jedním z významných cílů v potravinářském odvětví [9,32, 33].

Fyzické a biologické účinky vysokofrekvenčních zvukových vln a jejich letální účinky na bakterie byly popsány už v roce 1920. Ultrazvuk je neúčinnější proti mikroorganismům v kapalně suspenzi, letální účinek je přičítán fyzickému zničení buněk pomocí kavitace, která vytváří extrémní kolísání tlaku a teploty uvnitř kapaliny. Na efektivitu ošetření má vliv spíše intenzita zvukové vlny než její frekvence.

Obecně vzato gram-negativní bakterie a bakterie typu tyčinky jsou citlivější k použití ultrazvuku, než gram-pozitivní a koky. Rovněž větší citlivost k působení ultrazvuku vykazují anaerobní organismy. Nicméně srovnání citlivosti jednotlivých druhů či dokonce v rámci jednoho druhu je velmi obtížné. Hlavním důvodem jsou různé typy ultrazvukových zařízení a různé fyzikální podmínky používané v jednotlivých studiích.

V neposlední řadě je třeba uvést, že ultrazvuk je kromě inaktivace mikroorganismů schopen inaktivovat také jejich toxiny [9,32,33,34].

Za účelem konzervace lze ultrazvuk využít samostatně nebo v kombinaci s jinými metodami. Nejčastěji zmiňovanou metodou je kombinace ultrazvuku a vysokého tlaku [35,36,37].

3.3 Inaktivace enzymů

Podobně jako v případě mikroorganismů, také enzymy vykazují různou míru senzitivity vůči působení ultrazvuku. Ovšem tato skutečnost je rovněž důvodem, proč je velmi obtížné porovnat výzkumy různých autorů. Obecným poznatkem získaným z řady studií je skutečnost, že tepelně nestabilní enzymy jsou citlivější na ošetření ultrazvukem než enzymy tepelně stabilní. Ukázalo se, že inaktivace ultrazvukem je rychlejší než působení vysokou teplotou. Mechanismus, který chrání enzymy před inaktivací vysokou teplotou, není účinný proti působení ultrazvuku, přičemž se zdá, že malé enzymy jsou mnohem odolnější oproti větším. Působením ultrazvuku při běžném tlaku byla úspěšně provedena inaktivace enzymů ovlivňujících kvalitu potravin. Například peroxidáza byla inaktivována kombinací ultrazvuku a neutrálního pH, enzym lipoxygenázu se úspěšně podařilo inaktivovat sonikací o nízké intenzitě. Rovněž bylo zjištěno, že endogenní mléčné enzymy dokáže ultrazvuk inaktivovat při současném působení zvýšené teploty (60 – 75°C) [4,9].

3.4 Sušení ultrazvukem

Sušení neboli dehydratace je nejstarším způsobem konzervace potravin, který je založen na využití tepelné energie. Nicméně působení tepla může vést ke zhoršení kvality konečného výrobku. Dochází k nežádoucím změnám chuti, barvy, degradaci vitamínů či ztráty esenciálních aminokyselin. Dehydratace za pomoci ultrazvuku je velmi slibnou metodou, při které se lze vyhnout působení vysokých teplot a tím minimalizovat vznik nežádoucích změn v průběhu sušení. Základním principem ultrazvukové dehydratace je kavitace. Závisí na efektu komprese a expanze indukované ultrazvukovými vlnami prostupujícími potravinou, což generuje velké síly a udržuje vlhkost uvnitř kapilár materiálu. Tento jev usnadňuje následné odstranění vlhkosti [4,8].

Výsledky výzkumů ukázaly, že efekt sušení přímo úměrně závisí na akustické intenzitě, i při zachování ostatních termomechanických parametrů jako jsou: teplota, rychlost proudění vzduchu a stupeň odsávání. Zapojení ultrazvuku do procesu sušení vedlo k významné redukci času nutného k usušení a ke konečnému obsahu vlhkosti menšímu než 1%. Kromě toho zůstala zachována kvalita takto ošetřených produktů. Dalším nesporným kladem je také velmi nízká spotřeba použité energie [4,8,9,38].

3.5 Mražení za pomoci ultrazvuku

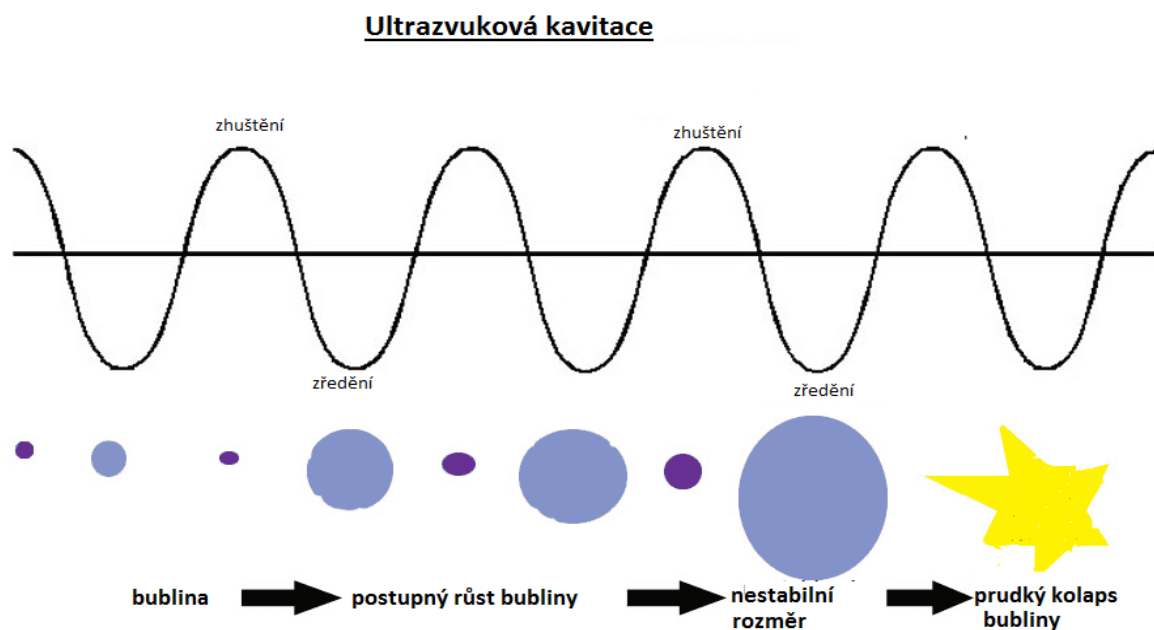
Mražení je jedním z významných technologických postupů používaných v potravinářství. Je to velmi šetrný způsob konzervace, který zachovává nutriční vlastnosti potravin i jejich chuť. Prodlužuje tak dobu trvanlivosti potravin, zároveň brání růstu nežádoucích mikroorganismů.

Při procesu zmrazování se voda v potravine transformuje do ledových krystalků, které chrání strukturu potraviny. Krystalizace vody probíhá ve dvou fázích. Nejprve dochází ke vzniku krystalizačních zárodků – tento proces nazýváme nukleace. V následné fázi se začínou na krystalizační zárodek nabalovat další molekuly – tato část procesu se označuje jako růst krystalů. Velikost a počet vzniklých krystalů je závislý na rychlosti zmrazení. Zatímco během velmi rychlého zmrazení dochází ke vzniku velkého množství drobných krystalů, pomalé zmrazení má za následek vznik velkých ledových krystalů, které narušují fyzikální strukturu a zhoršují tak kvalitu potraviny. Z těchto důvodů se stále hledají nové účinné metody mražení, díky nimž bude možno ovlivnit velikost ledových krystalů

v mražených potravinách. Mezi tyto metody lze zařadit proud vzduchu, kontaktní zmrazování, cirkulující solanku, tekutý dusík, mražení při vysokém tlaku a v neposlední řadě také mražení za pomoci ultrazvuku.

Nejdůležitějším jevem při ultrazvukovém zmrazování potravin je akustická kavitace. Kavítace způsobí vznik mikrobublin, které poslouží jako základ ledových krystalků a rovněž způsobí zlepšení přenosu tepla a hmoty v důsledku šíření akustické vlny (viz obrázek 5) [8,9,39,40,41].

Obrázek 5: Ultrazvuková kavitace [42]



Krystalizace za pomoci ultrazvuku umožňuje řízené nastavení všech důležitých parametrů. Na základě následné řízené nukleace probíhá růst krystalů o žádané jednotné velikosti.

3.5.1 Výroba zmrzliny

V současné době je ultrazvuk aplikován při výrobě ledňáčků a sorbentů. Mražení je nejdůležitějším krokem při výrobě zmrzliny. Krystalizace vody určuje výslednou kvalitu výrobku. Pro zajištění hladké textury a dalších žádoucích charakteristik zmrzliny je nutná rovnoměrná distribuce drobných ledových krystalků. Ošetření ultrazvukem indukuje rovnoměrné rozptýlení krystalků, tento jev také zlepšuje přilnutí ledňáčků ke dřívku.

Zároveň zabraňuje vzniku nežádoucího povlaku krystalů na povrchu výrobku a to díky rychlému odvodu tepla [9,43].

3.5.2 Zmrazování tekutých potravin

Technologie zmrazování potravin s velkým obsahem vody jako jsou ovocné džusy, mléko, pivo, víno, káva nebo čaj nabízí velký prostor pro další zdokonalování. Mražení za pomoci ultrazvuku zdokonaluje technologii mražení potravin za současného zachování aroma, barvy a chuti. Oproti ovocným džusům zpracovaným klasickou technologií zůstávají u ovocných šťáv zamražených pomocí ultrazvuku zachovány také nutriční vlastnosti [9].

3.5.3 Sušení vymrazováním

Sušení spočívá v sublimaci – odstranění obsahu vody ze zmražené potraviny. Proces dehydratace probíhá ve vakuu při procesu zmražení produktu rostlinného nebo živočišného původu. Srážení vlhkosti je eliminováno a výsledkem je téměř dokonalá konzervace. Potraviny sušené vymrazováním vydrží mnohem déle než potraviny konzervované běžným způsobem. Jejich hmotnost je navíc nízká, což je výhodné pro jejich přepravu. Ultrazvuk urychluje dobu mražení a zlepšuje kvalitu mražených potravinových produktů díky zlepšení přenosu tepla a hmoty [9,38].

3.6 Produkce hydrolyzovaných proteinů a bioaktivních peptidů

V současné době velké množství spotřebitelů vyhledává a preferuje potraviny, které poskytnou nejen základní výživové složky, ale zároveň obsahují substance, které mohou mít dlouhotrvající pozitivní vliv na zdraví. Koncept funkčních potravin vznikl počátkem 80. let minulého století v Japonsku a od té doby jeho popularita narůstá v celém světě. Funkční potravina je taková, která vykazuje příznivé vlivy na celkový stav organismu, což znamená zlepšení zdravotního stavu a snížení rizika některých chorob.

Vývoj funkčních potravin souvisí s vývojem specifických bioaktivních složek s pozitivními vlivy na stav organismu. V této souvislosti proběhly výzkumy proteinů jako zdroje bioaktivních peptidů. Tyto peptidy mají větší biologickou aktivitu než původní protein. Mohou proto snižovat rizika chronických onemocnění a pozitivně ovlivnit zdraví člověka [44,45,46].

Bioaktivní peptidy mohou být ze zdrojových proteinů uvolněny během zpracování potravin enzymatickou hydrolýzou nebo fermentací nebo se uvolní po konzumaci potravin v trávicím traktu. Jako slibné zdroje bioaktivních peptidů bylo prozkoumáno velké množství potravin živočišného i rostlinného původu například mléko, kukuřice nebo česnek.

K významným vlastnostem peptidů patří jejich antihypertenzní aktivita, antioxidační vlastnosti, schopnost redukce obsahu tuku v krvi, působí protizánětlivě, mají antimikrobní, anti karcinogenní a imunostimulační účinky [44,47].

Nejběžnější metodou získání peptidů je v současné době enzymatická hydrolýza. Zároveň se soustřeďuje zájem na využití nových technologií, které by dokázaly celý proces urychlit.

V posledních letech je předmětem výzkumu aplikace ultrazvuku o vysoké intenzitě pro zefektivnění enzymatické hydrolýzy při výrobě peptidů s funkčními vlastnostmi. Ultrazvuk se využívá při předošetření ale i v průběhu procesu hydrolýzy pro jeho schopnost modifikace struktury proteinů narušením vodíkových vazeb a hydrofobních interakcí a narušením terciální a kvartérní struktury proteinů v důsledku kavitace. Změna způsobená působením ultrazvuku závisí na povaze proteinu a na stupni jeho denaturace a agregace. Jako velmi účinná se ukázala metoda předošetření proteinů vaječného bílku ultrazvukem po dobu 1 hodiny při frekvenci 30 kHz a pH 8,3 a následná enzymatická hydrolýza pomocí alkalázy při 50°C a pH 8,0, což významně zvýšilo antioxidační aktivitu v získaném hydrolyzátu.

Využití ultrazvuku v procesu enzymatické hydrolýzy při výrobě bioaktivních peptidů je v současné době předmětem dalších výzkumů [44,48].

3.7 Aplikace ultrazvuku při fermentaci potravin

Fermentace potravin je souhrn chemických transformací komplexních organických složek na složky jednodušší pomocí působení enzymů a organických katalyzátorů produkovaných kvasinkami, plísněmi a bakteriemi. Moderní průmyslová fermentace využívá inovativní technologie a neustále se snaží nacházet další slibné metody pro zdokonalení fermentačních procesů a zvýšení kvality fermentovaných výrobků. Tyto nové technologie

musí samozřejmě splňovat požadavky spotřebitelů na kvalitu výrobku a rovněž požadavky výrobců na efektivní využití energie v procesu výroby [49].

Ultrazvuk o vysoké frekvenci skýtá možnosti využití při monitorování procesu fermentace, ultrazvuk o nízké frekvenci nabízí urychlení procesu fermentace, je aplikován při procesu pasterace, během zrání a stažení vína a odplynění alkoholických nápojů.

Studie prokázaly, že akustické měřicí systémy jsou neinvazivní, hygienické, přesné, rychlé, nízkonákladové a vhodné pro automatizovanou výrobu.

Průběžné měření může být použito k monitorování koncentrace v roztocích, složení potravin, její struktury, fyzikálních a molekulárních vlastností. Tradiční metodou monitorování v procesu fermentace je odběr vzorků v pravidelných intervalech pro určení klíčových parametrů, jako jsou: pomnožení mikroorganismů, pH, zakalení a chemické složení. Klasické analýzy jsou časově náročné a neumožňují kontrolu v reálném čase [49,50].

3.7.1 Aplikace vysokofrekvenčního ultrazvuku

Použití ultrazvuku o vysoké frekvenci poskytne tyto důležité parametry v reálném čase a může být aplikováno pro homogenní i heterogenní systémy. Nespornou výhodou je, že tato metoda nezpůsobí žádnou degradaci a chemické změny ve fermentačním médiu. Z rychlosti ultrazvukové vlny probíhající fermentační nádobou lze odhadnout koncentraci alkoholu a cukru v průběhu fermentačního procesu. Studie prokázaly, že lze empiricky vypočítat vztah mezi ultrazvukovými parametry a koncentrací alkoholu a rozpuštěných látek ve víně a mezi ultrazvukovými parametry a hustotou piva v průběhu fermentace [49,51].

3.7.2 Aplikace nízkofrekvenčního ultrazvuku

Aplikace ultrazvuku o nízké frekvenci skýtá možnosti zvýšení aktivity enzymů a mikroorganismů, dále může být použit k odstraňování pěny, k emulgaci a pro zdokonalení kvality a bezpečnosti konečného výrobku. [49,51]

Využití ultrazvuku o nízké frekvenci při zpracování mléka ať už samostatně, nebo v kombinaci s vnějším tlakem – manosonikace či vysokou teplotou – termosonikace nebo obojím – manotermosonikace se osvědčilo při zvýšení bezpečnosti mléčných výrobků.

Umožnilo snížení patogenních mikroorganismů včetně *Listeria innocua* a *Escherichia coli*. (o této problematice bylo rovněž pojednáno v kapitole 3.2) Dalším příkladem použití ultrazvuku při zpracování mléka je významné zkrácení fermentační doby jogurtů a zkvalitnění jejich reologických vlastností. Ošetření mléka ultrazvukem před naočkováním jogurtovou kulturou zvyšuje viskozitu a vaznost vody. Naproti tomu ošetření ultrazvukem po aplikaci kultur nemá žádný efekt na vaznost vody, pouze určitý přínos ve zkrácení doby fermentace [9,49,52].

Efektivita ultrazvuku je závislá na vnějších a vnitřních parametrech, které mohou být měněny v závislosti na konkrétní aplikaci během fermentace, chybí však standardizace provozních podmínek pro použití ultrazvuku (frekvencí a úrovní intenzity) což komplikuje možnost srovnání jednotlivých studií. Většina studií proběhla prozatím pouze v kontrolovaných laboratorních podmínkách. Průmyslové využití této aplikace je prozatím limitováno technickými problémy, přesto jsou už některé komerční aplikace publikovány.

Vliv ultrazvuku na mikroorganismy, obzvláště jeho subletální a stimulační účinky nejsou prozatím zcela prostudovány. Až budou tyto skryté mechanismy lépe prozkoumány, bude usnadněno další využití ultrazvuku v průmyslovém zpracování potravin. Díky prokázaným výhodám využití ultrazvuku při procesu fermentace se dalšími výzkumy na tomto poli zabývá mnoho vědeckých skupin [49].

4 JINÉ VYUŽITÍ ULTRAZVUKU V POTRAVINÁŘSTVÍ

Sledování potravinářského výrobního procesu je velmi důležité, protože pomáhá zajistit bezpečnost a kvalitu potravin, které mají přímý vliv na zdraví spotřebitelů. Pokud společnosti vyrábí vysoce kvalitní produkty, získají důvěru ze strany spotřebitelů. Použití účinných a vhodných senzorů pro monitorování výrobního procesu může také snížit výrobní náklady. Proces posuzování potravin pomocí ultrazvukových senzorů přitahuje zájem potravinářských podniků, vzhledem k možnosti jeho aplikace v různých oblastech. Využití ultrazvuku o nízké nebo vysoké frekvenci je aplikováno při analýze, úpravě a kontrole kvality potravin a to kontaktním i bezkontaktním způsobem ultrazvukového měření [8,11].

4.1 Měření technologických veličin ultrazvukem

Důležitou součástí technologického postupu je měření technologických veličin a to z důvodu zajištění správného průběhu technologického procesu. K dalším úkolům provozního měření patří kontrola funkce výrobního zařízení, kontrola kvality surovin, produktů a meziproduktů. Neméně důležitým úkolem je rovněž shromažďování informací například za účelem analýzy výrobního procesu [8,11].

Ultrazvukové měření může být prováděno průběžně, neinvazivním způsobem a velmi rychle, což je nespornou výhodou pro velkovýrobu. Principem této technologie je zachycení vlny, která se formuje při odrazení od zkoumaného materiálu. Takto lze zachytit různé akustické impedance, jež nám poskytnou důležité informace o průchodu vlny materiálem [8,9].

Kontaktní ultrazvukové měření

Metoda kontaktního ultrazvukového měření je používána v potravinářství při kontrole kvality potravin a také pro modifikaci jejich vlastností. Při kontaktním měření se ultrazvuková sonda přímo dotýká vzorku potravin, nebo je součástí povrchu nádoby, ve které se potravina nachází. Nicméně mezi vysílačem a potravinou se může vyskytnout malé množství vzduchu, které způsobí ztrátu akustického signálu. Tento problém se řeší použitím látky, která dokáže zprostředkovat přenos signálu. Běžně se používá olej, glycerin, ultrazvukový gel nebo voda. Nevýhodou však je možná kontaminace potravin ze sondy, navíc je nutno při tomto typu měření potravinu rozbalit [8,9,53].

Bezkontaktní ultrazvukové měření

Ultrazvukové měření za pomoci bezkontaktní technologie se zdá být efektivnější metodou. Liší se skutečností, že není zapotřebí použít spojovací medium, čímž je minimalizováno riziko kontaminace produktů. Jako medium pro přenos signálu v tomto případě slouží vzduch. Ultrazvuková vlna však musí projít třemi typy médií – vzduch, pevná látka (stěna nádoby) a potravina – než se dostane k přijímači signálu. Hlavním problémem této metody je tedy velké zeslabení ultrazvukového signálu kvůli nízké akustické impedanci vzduchu, k dalšímu zeslabení vlny dochází při jejím průniku stěnou nádoby a potravinou. Bezkontaktní ultrazvukové měření je využíváno při kontrole bezpečnosti potravin – např. detekce cizorodých látek v potravině [8,9,54].

4.1.1 Měření hladiny ultrazvukem

Metoda zjišťování polohy hladiny kapalin a sypkých hmot v zásobnících a provozních nádobách patří v provozní praxi k velmi často používaným. Tímto způsobem se poměrně často zjišťuje množství látky v nádrži - toto množství lze vypočítat na základě změřených údajů (záleží přitom na tvaru nádoby, ve které se kapalina nachází). Měření polohy hladiny kapalin, suspenzí a sypkých materiálů může probíhat ve velmi různorodých prostředích, například ve vakuu, při velkém tlaku a v širokém rozmezí teplot [11].

Zařízením pro měření hladiny pomocí ultrazvuku se nazývá ultrazvukový hladinoměr. Používá se pro bezdotykové, neinvazivní měření a to pro kapaliny, sypké i pastovité hmoty a agresivní média. Není vhodný pro měření za nízkých a vysokých tlaků, taktéž u tohoto typu měření vadí turbulence hladiny. Ultrazvukový snímač patří do skupiny fyzikálních snímačů. Princip ultrazvukového hladinoměru spočívá v měření doby šíření ultrazvukového impulzu.

Zařízení je tvořeno generátorem a vysílačem ultrazvukového signálu, přijímačem ultrazvuku a elektronickým vyhodnocovacím zařízením. Funkci tohoto zařízení řídí generátor pulzů. Po odrazu ultrazvukového impulzu, který byl vyslán z vysílače se tento vrací k přijímači. Elektronicky změří dobu, která závisí na délce dráhy impulzu a na poloze hladiny. Poloha hladiny se stanoví odečtem poloviny naměřené dráhy ultrazvukového impulzu od vzdálenosti ke dnu nádrže.

Jelikož rychlost ultrazvuku závisí na teplotě prostředí, je hladinoměr vybaven korekčním obvodem, jenž provádí korekci na základě výsledků měření teploty [11,55].

4.1.2 Měření hustoty ultrazvukem

Kontrola technologických procesů samozřejmě zahrnuje i nejrůznější přístroje vhodné ke zjišťování informací o složení výrobků, meziproductů či surovin. K těmto přístrojům patří i analyzátory fungující na fyzikálním principu. Výhodou těchto analyzátorů je, že nezpůsobí kvalitativní ani kvantitativní změnu analyzované směsi. Z fyzikálních veličin se pro analýzu využívá například tepelná vodivost, index lomu, absorpce záření.

Ultrazvuková technologie je v tomto případě v potravinářských výrobních procesech využívána k měření hustoty za pomoci ultrazvukového hustoměru. Ultrazvukové snímače hustoty jsou založeny na principu stanovení rychlosti šíření ultrazvukových vln v měřeném médiu. Snímač je tvořen vysílačem a přijímačem, dále je vybaven senzorem teploty, který zajišťuje automatickou korekci výstupního signálu. Signál je vyhodnocen převodníkem, jehož výstupní signál informuje o hustotě média, případně přímo o koncentraci sledované složky ve směsi [11,56].

Ultrazvukové hustoměry lze použít k měření koncentrace cukerných roztoků, měření hustoty či koncentrace při výrobě nealkoholických nápojů, měření hustoty v pivovarnictví, mlékárenství, ve fermentačních technologiích nebo měření hustoty médií při vakuovém odpařování [11].

4.2 Uzavírání obalů ultrazvukem

Využití ultrazvuku při balení potravin představuje řadu výhod, mezi které lze zařadit hygienu, rychlost a různé možnosti aplikace. Při tavení spojovaného povrchu ultrazvukem dochází k ovlivnění spojovaného materiálu jen místně, což znamená minimální ovlivnění obalového materiálu a také minimální zatížení potraviny vyzářeným a zbytkovým teplem.

Uzavírací zařízení je složeno s ultrazvukového generátoru a uzavíracího nástroje. Generátor tvoří vysokofrekvenční energii, jež se mění na mechanické vibrace. Tyto vibrace se následně mění na intenzivní tření mezi oběma povrchy. Toto tření během několika málo vteřin způsobí změkčení plastu. Po nějaké době je zastaven přívod ultrazvukové energie a nechá se působit jen tlak.

Balení ultrazvukem je možno využít také pro aseptické obaly spolu s aplikací vakua nebo inertního plynu, např. dusíku.

Výhodou této techniky je velmi krátká doba cyklu, což umožňuje dosáhnout vysokého výkonu. Další nespornou výhodou ultrazvukového balení je fakt, že zařízení nevyzařuje žádné teplo. Z tohoto důvodu nedochází k negativnímu ovlivnění obsahu obalu, což znamená vyloučení tvorby plynů a par [57].

4.3 Čištění ultrazvukem

Důležitým faktorem v potravinářském průmyslu je čistota nástrojů, částí zařízení a dalších komponentů. Dnes běžně používané ultrazvukové čištění má počátky sahající do 50. let minulého století. Čištění ultrazvukem dokáže odstranit například různé zbytky jídla, sirupy, oleje a další nečistoty běžně se vyskytující na zařízení v potravinářském průmyslu. Bez problémů také odstraní vodní kámen a tím zamezí zbytečnému používání chemických prostředků. Spolehlivě vyčistí jinak špatně přístupné otvory a štěrby [58].

Princip čištění spočívá v transformaci vysokofrekvenční ultrazvukové energie na akusticko-mechanické kmity. Tato energie způsobí střídání podtlaku a přetlaku v čistícím roztoku. Působením podtlaku pak vznikají v roztoku bubliny, které se poté stlačují. Ve středu těchto bublin vznikají kulové vlny, jejichž vlastností je vysoká mechanická energie. Tato energie poruší vazbu mezi nečistotou a čištěným předmětem. Opět, stejně jako u konzervace se jedná o děj zvaný kavitace. Vznikající bubliny jsou velmi malé a díky tomu lze snadno vyčistit jinak běžně špatně přístupná místa [58,59,60].

Ultrazvukové čištění je vhodné pro použití pro:

- části zařízení při zpracování potravin
- míchací zařízení a plničky
- čištění nožů, nerezových síťových zástěr a rukavic
- čištění forem
- dopravníky
- části zařízení při výdeji jídla
- pece a pekařské plechy

- dávkovače nápojů
- filtry a armatury
- láhve a sklenice [60]

4.4 Krájení ultrazvukem

K dalším způsobům využití ultrazvuku v potravinářské výrobě lze zařadit také proces krájení za pomoci ultrazvuku.

Krájecí nástroj je uváděn do pohybu při frekvencích 20, 30 nebo 35 kHz. To znamená, že krájecí nástroj se pohybuje 20 000, 30 000 nebo 35 000 krát za sekundu. Jako vlastní krájecí nástroj jsou používány lopatkové nože, které krájí výrobek v klidové poloze, nebo nože kotoučové aplikované pro krájení na pohybujícím se pásu. Velmi malá tloušťka nože cca 2 mm zaručuje, že krájený výrobek se téměř nedrobí. Krájecí nože jsou zároveň samočistitelné díky působení vibrací.

Na Obrázku 6 je znázorněn ultrazvukový kráječ.

Obrázek 6: Ultrazvukový kráječ [62]



Krájení ultrazvukem lze použít pro sýry, uzeniny, horké pečivo bezprostředně po upečení či lepkové nebo krémové cukrářské výrobky [61,62].

4.5 Využití ultrazvuku při analýze potravin

Ultrazvuk citlivě reaguje na uspořádání molekul a na mezimolekulární interakce, což lze využít např. při určení kompozice, struktury, fyzikálního stavu, různých molekulárních procesů. Dále je možné sledovat průběh krystalizace v tukových částicích, emulzích a pevných lipidových nanočásticích. Rovněž je možné za pomoci ultrazvuku detekovat cizorodé látky a vady v potravinách [5,9].

V homogenních materiálech probíhá absorpce a útlum ultrazvukových vln, zatímco v heterogenních materiálech nastává jejich rozptyl.

Zeslabení ultrazvukové vlny závisí na viskozitě, stlačitelnosti, materiálu obalu a na efektu rozptylu a adsorpce, což dává informaci o fyzikálně – chemických vlastnostech potravin, jako jsou vazby mezi molekulami, mikrostruktura, složení fází, viskozita, pružnost, kinetika chemických reakcí, velikost částic či stabilita emulzí. Koeficient zeslabení je silně závislý na způsobu, jakým byl materiál zpracován, což může být užitečné při kontrole kvality stejného typu produktu [5,9]

4.5.1 Masný průmysl

Ultrazvuk o různých frekvencích produkuje vibrace, které dokáží rozlišit jednotlivé typy tkání jako je svalovina, tuk a vnitřní orgány v živých organismech. Lze jej tedy použít pro odhad podílu tuku a svaloviny v tělesné stavbě, podílu intramuskulárního tuku, tělesných deformit například u skotu.

Dále lze zmínit možnost stanovení obsahu bílkovinných látek nebo podílu svaloviny, vody a tuku v mase [9].

4.5.2 Ovoce a zelenina

Ovoce a zelenina je materiál, který velmi zeslabuje ultrazvukové vlny. Obsahuje totiž velké množství pórů a dutin, které komplikují interpretaci dat získaných pomocí ultrazvuku. Jedny z prvních studií tedy vyhodnotily ultrazvuk jako nevhodný z hlediska vyhodnocení kvality potravin rostlinného původu.

Následné studie však nastínily některé možnosti využití ultrazvuku. Například byla prokázána korelace mezi akustickým zeslabením a zralostí, což umožňuje nepřímý odhad správné doby sklizně, životnosti a skladování ovoce a zeleniny.

Mezi další možnosti, které bezkontaktní ultrazvukový systém nabízí při analýze ovoce a zeleniny patří měření obsahu cukru v ovocných šťávách nebo vyhodnocení složení tuků [9,63].

4.5.3 Další aplikace

Využití ultrazvuku při analýze potravin nabízí řadu dalších aplikací, jako je například možnost odhalení falšování medu, detekci vlastností proteinů, sledování provzdušnění potravin nebo kontrolu kvality těsta [9].

ZÁVĚR

Neustálá snaha o vývoj nových moderních technologií v oblasti produkce potravin se orientuje také na možnosti využití ultrazvukového vlnění. Uplatnění ultrazvuku v potravinářství skýtá velkou řadu aplikací, které tato práce rozhodně neobsáhne všechny. Cílem práce bylo popsat základní principy vzniku a působení ultrazvuku, a poukázat na vybrané aplikace ultrazvuku v potravinářství.

Nízkofrekvenční ultrazvuk je používán při ovlivňování mechanických, chemických a biochemických vlastností potravin. Jeho účinků je využíváno při fermentaci, sušení, emulgaci či krystalizaci. Vysokofrekvenční ultrazvuk nachází uplatnění především při kontrole bezpečnosti a určování kvality potravin a při zjišťování vlastností potravin, jako například struktura, tloušťka a podobně.

Ultrazvuk bývá používán samostatně nebo v kombinaci s jinými metodami, jako například vysokou teplotou nebo zvýšeným tlakem. Může být používán jako samostatná metoda nahrazující dosavadní technologie, eventuálně je kombinován s klasickou technologií, kdy napomáhá například zefektivnění výroby či odstranění nežádoucích jevů během výrobního postupu.

Aplikace ultrazvuku v potravinářství je zajímavou alternativou k běžně využívaným procesům. Jeho využití nabízí množství výhod, mezi tyto lze zařadit např. omezení degradace potravinových složek, zachování biologické aktivity bioaktivních sloučenin a nízké náklady na spotřebu energie.

Obecně vzato existuje množství aplikací ultrazvuku běžně používaných v potravinářství řadu let, nicméně probíhají další studie k nalezení nových možností uplatnění ultrazvukového vlnění.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZÁMEČNÍK, Jozef, 1988. *Prehľad stredoškolskej fyziky*. 2. vyd. Bratislava: Alfa, 413 s.
- [2] Fyzika ultrazvuku, c2016. *Jtarchitekt* [online]. Ostrava: VŠB - TU Ostrava [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.jtarchitekt.cz>
- [3] PINGRET, Daniella, Anne-Silvie FABIANO-TIXIER a Farid CHEMAT, 2013. Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. *Food Control*. Elsevier, **2013**(31), 593-606.
- [4] SUN, Da-Wen., c2005. *Emerging technologies for food processing*. Boston: Elsevier Academic Press. ISBN 0126767572.
- [5] OLEG V. ABRAMOV., 1998. *High-intensity ultrasonics: theory and industrial applications*. Amsterdam, The Netherlands: Gordon and Breach Science Publishers. ISBN 9789056990411.
- [6] Ultrazvuková diagnostika, c2013. *Med.muni.cz* [online]. Brno [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.med.muni.cz/biofyz/zobrazovacimetody/files/Ultrazvuk.pdf>
- [7] TIMOTHY J. MASON., 2005. *Sonochemistry*. Repr. Oxford: Oxford Univ. Press. ISBN 0198503717.
- [8] MOHD KHAIRI, M. T., S. IBRAHIM, M. A. MD YUNUS a M. FARAMARZI. Contact and non-contact ultrasonic measurement in the food industry: a review. *Measurement Science and Technology*, **27**(1), 2016.
- [9] AWAD, T.S. et al., 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*. **2012**(48), 410 - 427.
- [10] SORIA, A.C. a M. VILLAMIEL, 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*. **2010**(21), 323 - 331.

- [11] KADLEC, Pavel, Karel MELZOCH a Michal VOLDŘICH, 2009. *Co byste měli vědět o výrobě potravin?: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing. Monografie (Key Publishing). ISBN 9788074180514.
- [12] O'SULLIVAN, Jonathan et al., 2015. Comparison of batch and continuous ultrasonic emulsification processes. *Journal of Food Engineering*. **2015**(167), 114–121.
- [13] PANGU, G. D. a D. L. FEKE, 2004. Acoustically aided separation of oil droplets from aqueous emulsions. *Chemical Engineering Science*. **2004**(59), 3183 - 3193.
- [14] BUŇKA, František. *Mlékárenská technologie I*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013, 258 s. ISBN 978-80-7454-254-1.
- [15] WU, H., G. J. HULBERT a J. R. MOUNT, 2001. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Elsevier, **2001**(1), 211-218.
- [16] VERCET, A. et al., 2002. Rheological properties of yoghurt made with milk submitted to manothermosonication. *Agricultural and Food Chemistry*. ACS Publications, **2002**(50), 6165 - 6167.
- [17] SESHADRI, R. et al., 2003. Ultrasonic processing influences rheological and optical properties of highmethoxyl pectin dispersions. *Food Hydrocolloids*. Elsevier, **2003**(17), 191-197.
- [18] KREŠIČ, G. et al., 2008. Influence of novel food processing technologies on the rheological and thermophysical properties of whey proteins. *Journal of Food Engineering*. Elsevier, **2008**(87), 64 – 73.
- [19] JAYASOORIYA, S. D. et al., 2004. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a review. *International Journal of Food Properties*. Marcel Dekker, **2004**(7), 301-319.
- [20] MCCLEMENTS, D. J., 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier, **1995**(6), 293-299.
- [21] VILLAMIEL, M. a P. DE JONG, 2000. Inactivation of *Pseudomonas fluorescens* and *Streptococcus thermophilus* in Trypticase® Soy Broth and total bacteria in

- milk by continuous-flow ultrasonic treatment and conventional heating. *Journal of Food Engineering*. Science Direct, **45**(3), 171-179.
- [22] VILLAMIEL, M., R. VERDURMEN a P. JONG, 2000. Degassing of milk by high-intensity ultrasound. *Milchwissenschaft*. Evisa, **55**(3), 123-125.
- [23] Degassing, In: <https://www.hielscher.com> [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: https://www.hielscher.com/cs/degassing_01.htm
- [24] CHEMAT, Farid et al., 2016. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. Elsevier, **2016**(34), 540-560.
- [25] BARBA, Francisco J. et al., 2016. Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*. Elsevier, **2016**(49), 96-109.
- [26] ZHU, Zhenzhou et al., 2016. Recent insights for the green recovery of inulin from plant foodmaterials using non-conventional extraction technologies: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Elsevier, **2016**(33), 1-9.
- [27] WANG, C. Y. a B. H. CHEN, 2006. Tomato pulp as source for the production of lycopene powder containing high proportion of cis-isomers. *European Food Research and Technology* [online]. **222**(3-4), 347-353 [cit. 2017-04-10]. DOI: 10.1007/s00217-005-0058-2. ISSN 14382377. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00217-005-0058-2>
- [28] LEOVKA, N. I., Eugène. VOROBIEV a Farid. CHÉMAT, 2012. *Enhancing extraction processes in the food industry*. Boca Raton: CRC Press. ISBN 9781439845936.
- [29] ZHU, Zhenzhou et al., 2016. Recent insights for the green recovery of inulin from plant foodmaterials using non-conventional extraction technologies: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Elsevier, **2016**(33), 1-9.
- [30] FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition* [online]. 2002, vol. 87, no. S2, pp. S287–S291. Retrieved z: doi:10.1079/BJN/2002550

- [31] MILANI, E., A. KOOCHEKI a Q. A. GOLIMOVAHHED, 2011. Extraction of inulin from Burdock root (*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound. *International Journal of Food Science and Technology*. Elsevier, **46**(8), 1699 - 1704.
- [32] ADAM, Fanny, Maryline ALBERT - VIAN, Gilles PELTIER a Farid CHEMAT. Solvent-free" ultrasound-assisted extraction of lipids from fresh microalgae cells: A green, clean and scalable process. *Bioresource Technology*. 2012, **2012**(114), 457-465.
- [33] KODA, Shinobu et al., 2009. Inactivation of *Escherichia coli* and *Streptococcus mutans* by ultrasound at 500 kHz. *Ultrasonics Sonochemistry*. Elsevier, **2009**(16), 655–659.
- [34] GAO, Shengpu et al., 2014. Inactivation of microorganisms by low-frequency high-power ultrasound: 1. Effect of growth phase and capsule properties of the bacteria. *Ultrasonics Sonochemistry*. Elsevier, **2014**(21), 446–453.
- [35] RASO, Javier a Gustavo V. BARBOSA - CÁNOVAS, 2003. Nonthermal Preservation of Food Using Combined Processing Techniques. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Taylor a Francis, **43**(3), 265-285.
- [36] ZINOVIADOU, Kyriaki G. et al., 2015. Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. *Food Research International*. Elsevier, **2015**(77), 743–752.
- [37] ŠMÍD, David, 2010. *Způsoby konzervace zemědělských produktů*. České Budějovice. Bakalářská práce. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Ing. Pavel Smetana.
- [38] CÁRCEL, J. A. et al., 2011. Improvement of convective drying of carrot by applying power ultrasound—Influence of mass load density. *Drying Technology*. Taylor & Francis, **2**(29), 174–182.
- [39] DALVI-ISFAHAN, Mohsen et al., 2017. Review on the control of ice nucleation by ultrasound waves, electric and magnetic fields. *Journal of Food Engineering*. Elsevier, **2017**(195), 222-234.
- [40] LI, Bing a Da-Wen SUN, 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods – a review. *Journal of Food Engineering*. Elsevier, **54**(3), 175–182.

- [41] XIN, Ying et al., 2015. Research trends in selected blanching pretreatments and quick freezing technologies as applied in fruits and vegetables: A review. *ScienceDirect*. Elsevier, **2015**(57), 11-25.
- [42] Ultrasonic-crystallization-and-precipitation, In: <https://www.hielscher.com> [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <https://www.hielscher.com/ultrasonic-crystallization-and-precipitation.htm>
- [43] MORTAZAVI, A. a F. TABATABAIE, 2008. Study of Ice Cream Freezing Process after Treatment with Ultrasound. *World Applied Sciences Journal*. IDOSI Publications, **2**(4), 188-190.
- [44] OZUNA, César et al., 2015. Innovative applications of high-intensity ultrasound in the development of functional food ingredients: Production of protein hydrolysates and bioactive peptides. *Food Research International*. Elsevier, **2015**(77), 685–696.
- [45] BIGLIARDI, Barbara a Francesco GALATI, 2013. Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. *Trends in Food Science & Technology*. Elsevier, **31**(2), 118-129.
- [46] DA SILVA, Beatriz Vieira et al., 2015. Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies. *Trends in Food Science & Technology*. Elsevier, **2015**(50), 144-158.
- [47] KATARÍNA, Jatzová, 2012. *Bioaktivní peptidy - nadějná složka kosmetických produktů*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Mgr. Tomáš Muthný, Ph.D.
- [48] LEI, Bo et al., 2011. Effect of sonication on thermolysin hydrolysis of ovotransferrin. *Food Chemistry*. Elsevier, **124**(3), 808–815.
- [49] SHIKHA OJHA, K. et al., 2016. Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics Sonochemistry*. Elsevier, **2016**(34), 410–417.
- [50] CHEMAT, Farid, Zill E-HUMA a Muhammed Kamran KHAN, 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*. Elsevier, **4**(18), 813–835.

- [51] HENNING, Bernd a Jens RAUTENBERG, 2006. Process monitoring using ultrasonic sensor systems. *Ultrasonics*. Elsevier, **2006**(44), 1395-1399.
- [52] NGUYEN, Thi My Phuc, Yuan Kun LEE a Weibiao ZHOU, 2012. Effect of high intensity ultrasound on carbohydrate metabolism of bifidobacteria in milk fermentation. *Food Chemistry*. Elsevier, **4**(130), 866–874.
- [53] THEOBALD, P., B. ZEQRIRI a J. AVISON. Couplants and their influence on AE sensor sensitivity. *Journal of Acoustic Emission*. 2008, **2008**(26), 91-97.
- [54] PALLAV, P., D. A. HUTCHINS a T. H. GAN, 2009. Air-coupled ultrasonic evaluation of food materials. *Ultrasonics*. Elsevier, **49**(2), 244–253.
- [55] KADLEC, Karel, 2017. Měření provozních veličin v cukrovarnictví. *Listy cukrovarnické a řepařské*. **133**(2), 74-78.
- [56] KADLEC, Karel, 2011. Provozní snímače hustoty kapalin. *AUTOMA*. **2011**(5), 42-43.
- [57] POHLOVÁ, 2001. Ultrazvuk při balení potravin. *Výživa a potraviny*. **56**(4), 102.
- [58] MASON, Timothy J., 2016. Ultrasonic cleaning: An historical perspective. *Ultrasonics Sonochemistry*. Elsevier, **2016**(29), 519–523.
- [59] CRAWFORD, Allan E., 1963. A practical introduction to ultrasonic cleaning. *Ultrasonics*. Elsevier, **2**(1), 65-69.
- [60] Využití ultrazvukového čištění v potravinářském průmyslu, In:
Http://www.notus-powersonic.cz [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z:
<http://www.notus-powersonic.cz/reseni/cisteni-v-udrzbe/vyuziti-ultrazvukoveho-cisteni-v-potravinarskem-prumyslu.html>
- [61] LIU, Li et al., 2015. Applications of Ultrasonic Cutting in Food Processing. *Food Processing and Preservation*. **39**(6), 1762–1769.
- [62] SUKOVÁ, Irena, 2010. Ultrazvuk pro krájení dortů. In:
Http://www.agronavigator.cz [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z:
<http://www.agronavigator.cz/service.asp?act=email&val=104994>

- [62] MIZRACH, A., 2008. Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. *Postharvest Biology and Technology*. Elsevier, **48**(3), 315–330.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Vlnění [2]</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 2: Schematické znázornění piezoelektrického jevu, (a)přímý, (b)nepřímý [6]</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 3: (a) Podélná, (b) příčná, (c) povrchová vlna [8].....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 4: Ultrazvukové odplynění vody [23]</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 5: Ultrazvuková kavitace [42]</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 6: Ultrazvukový kráječ [62].....</i>	<i>40</i>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Aplikace ultrazvuku o nízké frekvenci v potravinářském průmyslu [8].....20

Tabulka 2: Aplikace ultrazvuku o vysoké frekvenci v potravinářském průmyslu [8].....21