

Elektrické vlastnosti mléka a mléčných výrobků a možnosti jejich využití

Martina Šopíková

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: **Martina Šopíková**

Osobní číslo: **T15463**

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

Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Elektrické vlastnosti mléka a mléčných výrobků a možnosti jejich využití**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Přehled a popis elektrických parametrů používaných pro potraviny.
2. Složky mléka a mléčných výrobků ovlivňující elektrické vlastnosti.
3. Využití elektrických parametrů pro sledování kvality mléka a mléčných výrobků.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] SEVERA, L., NEDOMOVÁ, Š. Fyzikální a mechanické vlastnosti potravin. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. 116 s. ISBN 978-80-7375-521-8.

[2] FOX, P. F., McSWEENEY, P.L.H. Dairy Chemistry and Biochemistry. Blackie Academic and Professional, 1998, 478 p.

[3] BANACH, J. K., ZYWICA, R., SZPENDOWSKI, J., KIEŁCZEWSKA, K. Possibilities of Using Electrical Parameters of Milk for Assessing its Adulteration with Water. International Journal of Food Properties. 2012, vol. 15, issue 2, 274-280.

[4] ZHU, X., GUO, W., LIANG, Z. Determination of the Fat Content in Cow's Milk Based on Dielectric Properties. Food and Bioprocess Technology [online]. 2015, vol. 8, issue 7, 1485-1494.

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Martina Bučková, Ph.D.

Ústav technologie potravin

Datum zadání bakalářské práce:

3. února 2017

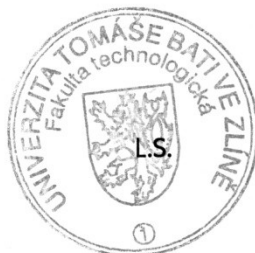
Termín odevzdání bakalářské práce:

5. května 2017

Ve Zlíně dne 3. února 2017



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



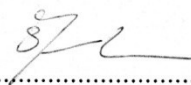
doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
ředitel ústavu

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 užít 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 13.3.2017



.....

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 vzdělávacího 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). Odpírá-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 užit 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 přihledne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na elektrické vlastnosti mléka a mléčných výrobků. Pro zpracování této problematiky jsou zde popsány základní elektrické veličiny, které lze v potravinářských matricích měřit. Pozornost je také věnována jednotlivým složkám mléka a jejich vlivu na tyto elektrické parametry. Poslední kapitola je věnována studiím, kde bylo elektrických vlastností mléka využito pro sledování změn obsahu vybraných složek v mléku, pro rychlou detekci odhalení falšování mléka přidávkem vody a pro zachycení ukazatelů indikujících přítomnost mikroorganismů v mléce.

Klíčová slova: mléko, elektrická vodivost, elektrické vlastnosti, konduktivita, dielektrická konstanta, ztrátový faktor

ABSTRACT

The thesis focuses on the electrical properties of milk and dairy products. The basic electrical quantities that can be measured in the food matrices are described here. Attention is also paid to the individual components of milk and their influence on these electrical parameters. The last chapter is dedicated to studies where the electrical properties of milk were used to monitor changes in the content of selected ingredients in milk, to quickly detect detection of falsification of milk by the addition of water and to capture indicators indicating the presence of microorganisms in milk.

Keywords: milk, electrical conductivity, electrical properties, electrical conductivity, dielectric constant, dielectric loss factor

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Mgr. Martině Bučkové, Ph.D. za cenné rady a připomínky, za ochotu a odbornou pomoc během vypracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 PŘEHLED A POPIS ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ POUŽÍVANÝCH PRO POTRAVINY	12
1.1 ELEKTRICKÁ VODIVOST.....	12
1.2 KONDUKTIVITA	13
1.3 ELEKTRICKÁ KAPACITA.....	14
1.4 INTENZITA ELEKTRICKÉHO POLE	15
1.5 DIELEKTRICKÉ VLASTNOSTI	15
1.5.1 Dielektrická konstanta.....	16
1.5.2 Dielektrický ztrátový faktor	17
2 SLOŽKY MLÉKA A MLÉČNÝCH VÝROBKŮ OVLIVŇUJÍCÍ ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI	18
2.1 SUŠINA	19
2.1.1 Mléčný tuk.....	19
2.1.2 Mléčné bílkoviny.....	20
2.1.3 Mléčný cukr.....	22
2.1.4 Nebílkovinné dusíkaté látky.....	22
2.1.5 Minerální látky a soli.....	23
2.1.6 Biokatalyzátory	24
2.2 VODA	25
3 VYUŽITÍ ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ PRO SLEDOVÁNÍ KVALITY MLÉKA A MLÉČNÝCH VÝROBKŮ	26
3.1 SOUHRN ZÁKLADNÍCH FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ MLÉKA	26
3.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ DIELEKTRICKÉ VLASTNOSTI A VODIVOST MLÉKA.....	26
3.2.1 Vliv obsahu tuku na elektrické vlastnosti	27
3.2.2 Vliv obsahu proteinů na elektrické vlastnosti	28
3.2.3 Vliv obsahu solí na vodivost	29
3.2.4 Vliv teploty na elektrické vlastnosti.....	30
3.2.5 Vliv obsahu laktózy na vodivost	30
3.3 VYUŽITÍ ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ K ODHALENÍ FALŠOVÁNÍ MLÉKA VODOU	31
3.3.1 Využití změn dielektrických vlastností.....	31
3.3.2 Využití změn vodivosti a elektrické kapacity	32
3.4 DETEKCE MIKROORGANISMŮ V MLÉCE.....	32
3.4.1 Detekce subklinické mastitidy	32
3.5 VYUŽITÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ V TECHNOLOGII.....	33
3.5.1 Ohmický ohřev.....	33
3.5.2 Mikrovlnný ohřev.....	34
ZÁVĚR	35

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	36
SEZNAM OBRÁZKŮ	40
SEZNAM TABULEK.....	41

ÚVOD

Mléko je nutričně významná potravina, která patří mezi hlavní složky potravy. Obsahuje rozmanitou skupinu složek, jejichž obsah v mléce může být ovlivňován řadou faktorů, nicméně nejvíce jsou mléko a mléčné produkty vyzdvihovány jako vhodné zdroje bílkovin a vápníku.

Pro kontrolu nutričních parametrů mléka jako vstupní suroviny, ale také z důvodu monitoringu při technologických úpravách, je potřeba stanovovat množství jednotlivých složek mléka, příp. detekovat jejich změny. K tomuto účelu se dnes používá celá řada analytických metod, které vykazují poměrně vysokou přesnost stanovení, ale jejich provedení obvykle vyžaduje použití chemických činidel a rozpouštědel, často předúpravu vzorku, náročné přístrojové vybavení a delší čas na provedení analýzy. Z toho důvodu jsou vyhledávány metody jednoduché, rychlé, bez nutnosti předúpravy vzorku. Měření elektrických vlastností potravin je způsob získávání informací o vzorku, který je velmi rychlý a poměrně nenáročný na provedení. Výhodou je, že sledování změn elektrických parametrů potravin lze obvykle provádět “v reálném čase“, což by mohlo umožnit propojení výsledků měření s dalšími regulačními prvky v technologii.

Elektrickým vlastnostem potravin není věnováno tolik pozornosti, ale možnosti jejich využití zasahují do řady potravinářských technologií.

Cílem této práce bylo nastínit možnosti využití elektrických parametrů ke sledování kvality mléka a mléčných výrobků.

TEORETICKÁ ČÁST

1 PŘEHLED A POPIS ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ POUŽÍVANÝCH PRO POTRAVINY

Elektrické vlastnosti potravin určují chování potravin v elektrickém poli, obecněji v elektromagnetickém poli. Závisí především na chemickém složení potravin, teplotě a frekvenci elektrického pole. Mezi základní elektrické veličiny patří elektrický náboj, elektrický proud, napětí a odpor. Pro měření elektrických vlastností potravin jsou pak obvykle používány elektrická vodivost (konduktance), měrná elektrická vodivost (konduktivita) a dielektrické vlastnosti (dielektrická konstanta a ztrátový faktor) [1].

1.1 Elektrická vodivost

Elektrická vodivost potravin je mírou schopnosti vést elektrický proud mezi dvěma body (složkami potravin). Hodnota elektrické vodivosti je především dána chemickým složením potravin a tvarem jednotlivých částic, čímž se podmiňuje průchod elektrického proudu.

Potraviny, které obsahují kladně nabitě nebo záporně nabitě elektrolyty, či nabitě molekuly nebo makromolekuly, jsou schopné přenášet elektrický proud, přičemž kladně nabitě ionty se nazývají kationty a záporně nabitě ionty anionty [2].

Elektrická vodivost G je definována jako převrácená hodnota elektrického odporu:

$$G = \frac{l}{R}$$

l = délka v cm, R = odpor v Ω

Hodnota je udávána v jednotkách Siemens (S).

Elektrickou vodivost vyjadřuje závislost na koncentraci iontů rozpuštěných látek. Měření probíhá pomocí dvou elektrod, které jsou ponořené do roztoku. Vodivost G je nepřímo úměrná vzdálenosti elektrod L a přímo úměrná jejich ploše S a měrné elektrické vodivosti (konduktivitě) γ . Její hodnoty jsou udávány v jednotkách Siemens a je dána vztahem:

$$G = \gamma \cdot \frac{S}{L}$$

Koncentrace iontů měřeného roztoku udává míru hodnoty měrné vodivosti. Vodivost je dána počtem iontů v objemové jednotce tedy koncentrací iontů v roztoku. Principem měření je migrace iontů, které jsou přítomny v roztoku k elektrodám, a velikost proudu je dána nábojem přenášeným ionty za časovou jednotku.

Vodivost tedy ovlivňuje množství disociovaných solí, kyselin či zásad přítomných v roztoku. Jejich zvýšené hodnoty v roztoku vykazují vyšší vodivost.

Elektrická vodivost potravin se s rostoucím obsahem vody a rostoucí teplotou zvyšuje a to z důvodů špatné vodivosti ledu ve srovnání s vodou [2].

Měření vodivosti potravin je možno využívat pro hodnocení potravin:

- ✓ monitorování mikrobiálního růstu a metabolické aktivity
- ✓ měření obsahu vody, tuků a proteinů
- ✓ detekce mastitidy
- ✓ vývoj kvality ovoce a zeleniny během zrání a skladování [3]

Měření elektrické vodivosti se provádí metodou konduktometrie nebo indikátory elektrické vodivosti.

1.2 Konduktivita

Konduktivita neboli **měrná elektrická vodivost** κ je schopnost látky vést elektrický proud. Je dána aktivitou rozpuštěných složek, teplotou a stupněm disociace. Měrná elektrická vodivost je převrácená hodnota odporu Ω v roztoku. Její hodnoty jsou udávány v jednotkách Siemens na metr (S/m) a je vyjádřena vztahem:

$$\kappa = K \cdot G$$

kde κ = konduktivita, K = odporová konstanta vodivostní měřicí sondy v m^{-1} , G = vodivost vzorku v mS

K měření se využívá střídavého proudu o frekvenci řádově kHz až MHz, aby se zamezilo elektrolýze roztoku. Elektrolýza je redoxní děj, který probíhá na elektrodách průchodem stejnosměrného elektrického proudu elektrolytem a tím dochází k jeho rozkladu na ionty, což by ovlivnilo výslednou vodivost [2, 4, 5, 6].

Pomocí konduktivity lze charakterizovat pevnou látku, kdy převládá vodivost elektronová, či látku kapalnou, kde převládá vodivost iontová. Rozhodující je tedy zejména složení, struktura látky a teplota.[3, 5].

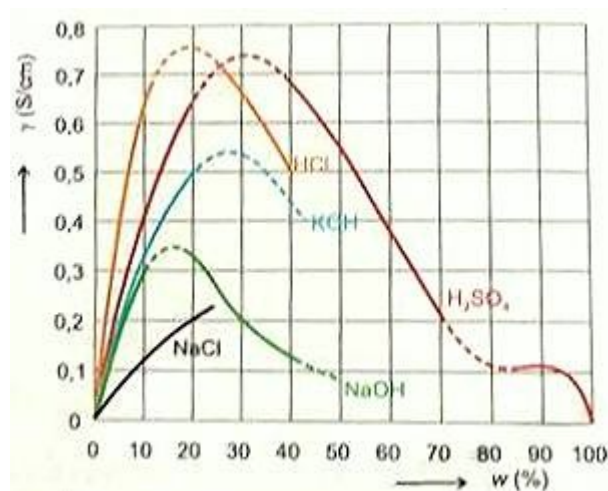
V Tabulce 1. je zaznamenána konduktivita roztoku KCl o koncentraci 0,01 mol/l měřena při různé teplotě.

Tabulka 1: Vliv teploty na konduktivitu roztoku KCl [5]

Teplota °C	20	21	22	25
κ mS/m	127,8	130,5	133,2	141,3

Z Tabulky 1 vyplývá, že je důležitá teplota vzorku před i během měření [5].

A naopak, z naměřené hodnoty konduktivity lze pomocí kalibračních grafů vyjádřit koncentraci látky viz Obrázek 1.



Obrázek 1: Kalibrační graf konduktivity [4]

Kapaliny s hodnotami měrné vodivosti více jak $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ jsou označovány jako elektricky vodivé. Nevodivé kapaliny mají nízkou hodnotu permitivity, vodivé kapaliny mají její hodnotu vysokou. U hodnoty permitivity $\epsilon \geq 10$ jsou materiály obvykle elektricky vodivé [4].

Znalostí hodnoty měrné elektrické vodivosti lze hodnotit odporový (ohmický) ohřev potravin, čehož je možné využít pro určení změny elektrického výkonu na teplo (Joulův efekt) [3].

1.3 Elektrická kapacita

Elektrická kapacita C vyjadřuje konstantní úměrnost mezi nábojem a potenciálem vodiče a je vyjádřena vztahem:

$$Q = C \cdot V$$

kde C = elektrická kapacita, Q = elektrický náboj (coulomb), V = vodič

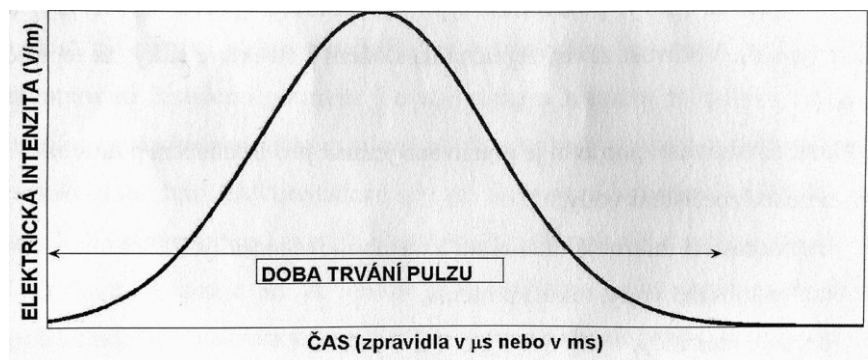
Jednotkou elektrické kapacity je 1 farad [7].

Kapacita se dá vyjádřit jako schopnost látky ukládat a rozptýlit elektrickou energii. Jedná se o faktor elektrické permitivity, což je dielektrická vlastnost použita k vysvětlení interakcí potravin s elektrickým polem [2].

1.4 Intenzita elektrického pole

Elektrická intenzita neboli intenzita elektrického pole (kV/cm) vyjadřuje směr a velikost elektrického pole. Této veličiny se využívá i při uplatnění tzv. pulzního elektrického pole, kterého se častěji využívá ke sterilizaci potravin než Ohmického ohřevu.

Časová závislost proudu na čase má povahu osamělého pulzu, což znázorňuje Obrázek 2.



Obrázek 2: Schéma elektrického pulzu [3]

Jak plyne z Obrázku 2, důležitá je maximální hodnota intenzity a doba trvání pulzu.

Této metody lze využívat pro tekuté potraviny a pevné částice v kapalině. Hlavním plusem metody je prodloužení trvanlivosti potravin [3].

1.5 Dielektrické vlastnosti

Dielektrické vlastnosti určují interakci elektrického pole a elektromagnetických vln s látkou, čímž určuje hustotu náboje v elektrickém poli. Tyto vlastnosti popisují, jak materiál interaguje s elektromagnetickým zářením. Díky tomu pomáhají při navrhování mikrovlnných a radiofrekvenčních topných zařízení. Mimo to, určení dielektrických vlastností napomáhá při výběru vhodných obalových materiálů [4].

Dielektrické vlastnosti potravin jsou ovlivněny řadou faktorů jako např. teplota, vlhkost, složení, zejména obsah solí a tuků a tyto faktory jsou dále využívány v oblasti hodnocení kvality potravin [3].

V pevných látkách, kapalinách i plynech jsou dielektrické vlastnosti závislé na dielektrické konstantě a na ztrátovém faktoru [4].

1.5.1 Dielektrická konstanta

Dielektrické konstanta neboli permitivita je veličina, která vyjadřuje vliv prostředí na intenzitu elektrického pole a souvisí se schopností látky ukládat elektrickou energii nebo i vytvářet elektrické dipóly (polarizovat se) [3, 4, 8].

Relativní permitivita charakterizuje vlastnost látky v elektrickém poli a je dána podílem permitivity daného materiálu ε a permitivity vakua ε_0 :

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

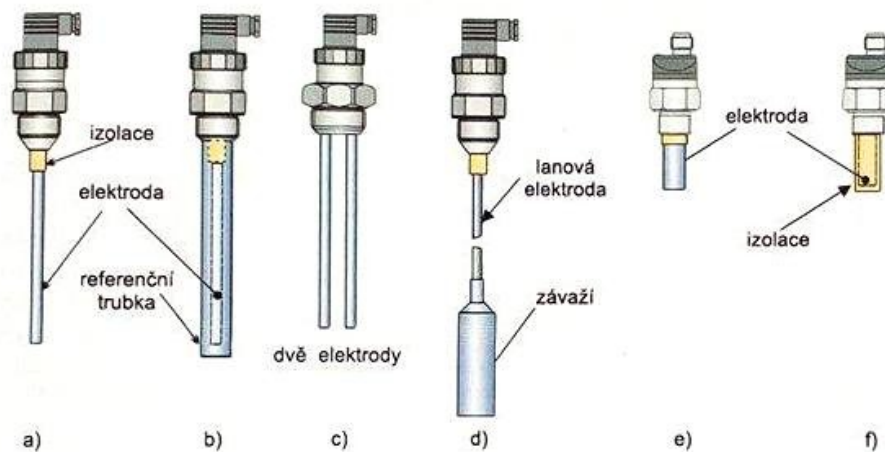
Výsledná hodnota permitivity je interpretována jako bezrozměrné číslo.

Hodnota relativní permitivity závisí na vlastnosti daného materiálu především jeho složení a teplotě, kdy s rostoucí teplotou permitivita klesá.

Vliv obsahu vody a solí, do značné míry závisí na způsobu, jakým jsou vázány, nebo omezeny v pohybu ve složkách potravin. Volná voda a disociované soli mají vysokou dielektrickou aktivitu, zatímco voda vázaná a asociované soli a koloidní pevné látky mají nízkou aktivitu [2, 4].

Měření probíhá pomocí kapacitních snímačů, kde referenční hladinu určuje hodnota permitivity vzduchu a to = 1. Jestliže jsou hodnoty rozdílu permitivity menší než 1, je nutno použít snímače s vyšší citlivostí. Naopak, jestliže jsou rozdíly permitivity větší, tím snadněji probíhá měření [4].

Pro stanovení permitivity se používají kapacitní snímače, což jsou sondy, které využívají elektrod, které mohou být tyčové, lanové či speciálně tvarované.



Obrázek 3: Kapacitní snímače [4]

Na Obrázku 3 jsou znázorněny kapacitní snímače a) – d); e), f) jsou kapacitní spínače, které mají tvar tyče nebo válce. Pro měření jsou vždy nutné dvě elektrody, u nevodivých materiálů se využívá sonda se dvěma elektrodami, kdy druhá elektroda je tvořena děrovanou trubicí, která obklopuje tyčovou elektrodu, nebo se může využít paralelní tyčová elektroda – obrázek c). Tento snímač se používá jen tehdy, jestliže měření probíhá v nádobě z nevodivého materiálu. V případě měření vodivých materiálů, se využívají elektrody izolované, což je vidět na obrázku a), b), d). Obrázek e) znázorňuje neizolovaný spínač, f) spínač izolovaný [4].

1.5.2 Dielektrický ztrátový faktor

Ztrátový faktor se váže k energetickým ztrátám v případech, kdy je potravina vystavena střídavému elektrickému poli, tedy se týká schopnosti materiálu absorbovat energii z pole. Fyzikálně je tento pojem vysvětlen jako podíl proudu činného k proudu kapacitnímu. Veličina charakterizuje izolant z hlediska jeho dielektrických ztrát.

Obecně platí, čím je vyšší obsah vody v potravíně, tím vyšší je jeho hodnota a tím bude i rychlejší ohřev potraviny, např. v mraženém materiálu je znalost dielektrických vlastností rozhodující pro použití mikrovlnného ohřevu k rovnoměrnému rozmrazování [2, 8, 9, 10].

Znalostí závislosti frekvence můžeme předvídat dielektrické chování potravin. Vodivost se zvyšuje s rostoucí frekvencí, ale závisí také na ztrátovém faktoru [2].

2 SLOŽKY MLÉKA A MLÉČNÝCH VÝROBKŮ OVLIVŇUJÍCÍ ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI

Mléko je bílá tekutina pocházející z mléčné žlázy savců. Jeho fyzikálně- chemické vlastnosti vyplývají z přítomnosti široké škály rozdílných molekul v různém stavu disperze [11].

Složky mléka mají důležitou nutriční hodnotu pro člověka, ale jsou zde přítomny i takové složky, které nejsou žádoucí a to složky cizorodé. Tyto látky se do mléka mohou dostat krevní cestou či se mohou syntetizovat přímo v buňkách mléčné žlázy, popřípadě sekundárně a to při dojení a následné manipulaci s mlékem [12, 13].

Většinu nutričních vlastností určuje přítomnost proteinů a peptidů jako např. imunoglobuliny [14].

Složení mléka všech druhů savců je v podstatě podobné, ale existují i významné rozdíly druhově specifické [13].

Níže v Tabulce 2 je uvedeno průměrné složení nejdůležitějších druhů mlék (v %)

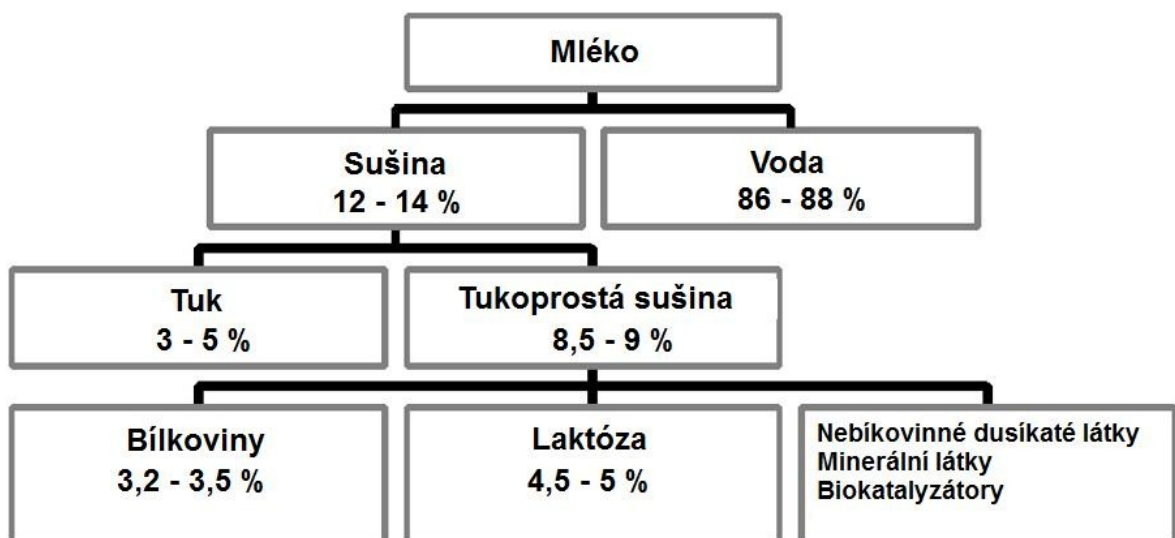
Tabulka 2: Průměrné složení mléka dle druhu [15]

Druh mléka	Voda	Bílkoviny	Tuk	Mléčný cukr	Minerální látky
Kravné mléko	87,5	3,3	3,8	4,7	0,7
Kozí mléko	86,6	3,6	4,2	4,8	0,8
Ovčí mléko	83,9	5,2	6,2	4,2	0,9
Kobylí mléko	90,0	2,0	1,1	7,0	0,4
Buvolí mléko	82,7	4,5	8,0	4,7	0,8
Mateřské mléko	87,6	1,2	4,1	7,1	0,2
Velbloudí mléko	86,2	3,6	4,5	5,0	0,7

Vzhledem k tomu, že nejvyšší podíl produkce mléka a výrobků z něj zaujímá mléko kravné, v této práci budou veškeré informace vztahovány k němu.

Zralé kravské mléko tedy obsahuje průměrně:

- 86-88 % (hmot.) vody
- 12-14 % (hmot.) sušiny, která obsahuje:
 - ✓ 3-5 % (hmot.) tuky
 - ✓ 3,2-3,5 % (hmot.) dusíkaté látky, z toho 3,0-3,3 % (hmot) tvoří čistá bílkovina, zbytek připadá na látky obsahující dusík
 - ✓ 4,5-5 % (hmot.) mléčný cukr- laktóza
 - ✓ 0,7 % (hmot.) popeloviny [16]



Obrázek 4: Schéma složení mléka [16]

2.1 Sušina

Sušina v mléce zaujímá 12 – 14 %, jak vyplývá ze schématu na Obrázku 4. Jsou zde soustředěny všechny důležité složky, které se podílí na vlastnostech mléka a mléčných výrobců. Z nejdůležitějších složek obsažených v sušině jsou především mléčný tuk, proteiny a sacharidy.

2.1.1 Mléčný tuk

Mléčný tuk je v mléce přítomen ve formě tukových kuliček, které jsou jemně rozptýleny ve formě emulze typu olej ve vodě. Povrch tukových kuliček tvoří povrchově aktivní látky, zejména fosfolipidy a membránové lipoproteiny, které jednak udržují integritu a kompatibilitu tukových kuliček s vodným prostředím mléka a zároveň zabraňují jejich spojování a tak slévání mléčného tuku.

Při porušení membrány tukových kuliček ať už enzymy či mechanickými vlivy dochází k uvolnění tuku z tukových kuliček, který snáze podléhá rozkladu a oxidaci, což vede k sensorickým vadám a takto “vadné” mléko je dále technologicky i spotřebně nevhodné. [13, 11, 17].

Převážnou část mléčného tuku tvoří triacylglyceroly (až z 98 %) a zbytek tvoří mono- a diacylglyceroly spolu se steroly, fosfolipidy, volnými mastnými kyselinami a ve stopovém množství jsou přítomny i vitamíny rozpustné v tucích [11].

2.1.2 Mléčné bílkoviny

Mléčnou bílkovinu kravského mléka tvoří heterogenní skupina složek se širokou možností struktur a vlastností molekul. Po chemické stránce jsou bílkoviny řetězce aminokyselin spojené peptidickými vazbami, kdy každý protein má ve svém řetězci charakteristickou sekvenci aminokyselin. Podle rozpustnosti při pH 4,6 a teplotě 20°C dělíme proteiny do dvou hlavních skupin a to:

- Nerozpustné kaseiny
- Rozpustné syrovátkové bílkoviny

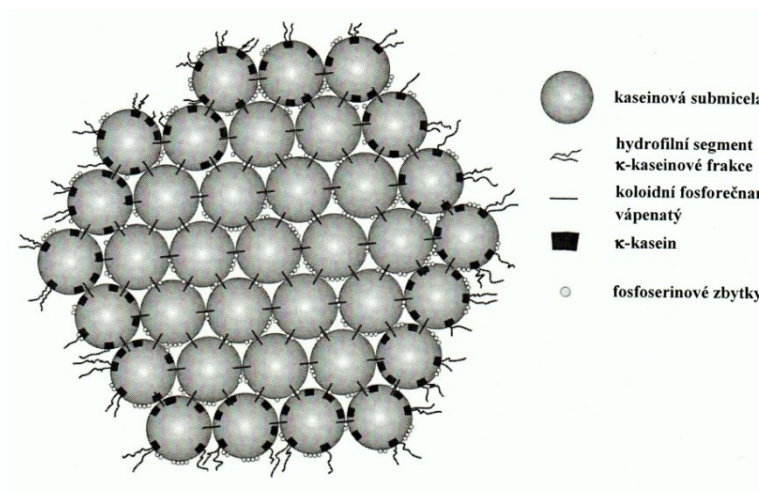
Podle sekvence aminokyselin se kaseinová frakce skládá ze čtyř typů kaseinů a syrovátková bílkovina obsahuje čtyři typy syrovátkových proteinů. Mimo tyto zmiňované dvě hlavní skupiny proteinů mléko obsahuje i proteiny tukových kuliček, proteiny jako součást enzymů či hormonů a různé minoritní proteiny.

Kaseinové proteiny

Kaseinové proteiny tvoří 80 % čistých bílkovin.

Všechny kaseinové proteiny jsou fosforylované a tím jsou řazeny do skupiny fosfoproteinů. V proteinovém řetězci se na fosfátové skupiny navazují rezidua serinu a váží množství vápníku, který je důležitý ve struktuře kaseinových micel a sehrává tak důležitou úlohu při jejich následném srážení u výroby řady mléčných výrobků.

Kaseinové proteiny jsou v mléce agregovány do kulovitých útvarů označovaných jako kaseinové micely, které se soustřeďují ve vodné fázi mléka. Micely jsou složeny z několika jednotek tzv. submicel, které se vzájemně spojují prostřednictvím fosfoserinových zbytků a vápenatých iontů. [13, 11].



Obrázek 5: Kaseinová micela [13]

Kaseinová micela

Kaseinová micela se skládá z disperzních částic (submicel, viz Obrázek 5), díky nimž nese elektrický náboj, kdy k povrchu micely jsou díky tomuto náboji přitahovány ionty s opačným elektrickým nábojem a díky tomu se kolem micely vytvoří elektrická dvojrstva. V případě, že dojde k přibližování dvou stejně nabitých micel, nastane vzájemné prostupování jejich elektrické dvojrstvy. Mezi povrchy dvou takto prostoupených micel vznikají mezery, kde se při přibližování částic mění prostorové uspořádání a tím i elektrický potenciál. Při stálém přibližování dochází ke zmenšování mezer, desorpci iontů a tím vzrůstá Gibbsova energie, což vede ke vzniku odpudivé síly mezi částicemi a dochází k oddalování těchto částic [13].

Kaseinové proteiny jsou rozděleny do několika frakcí podle složení, sekvence aminokyselin a funkčních vlastností:

- α_{S1} – kasein v přítomnosti Ca^{2+} tvoří nerozpustnou sůl
- α_{S2} - kasein v přítomnosti Ca^{2+} tvoří nerozpustnou sůl
- β – kasein v přítomnosti Ca^{2+} tvoří nerozpustnou sůl
- κ – kasein v přítomnosti Ca^{2+} tvoří rozpustnou sůl, stabilizuje kaseinové micely před precipitací vápníkem

Působením proteolytických enzymů mléka, zvláště pak plasminu vznikají γ – kaseiny [11].

Vlivem proteolytických enzymů (sladké srážení) či snížením hodnoty pH (kyselé srážení) se kaseiny sráží a vytváří sraženinu, která je základem řady mléčných výrobků [13].

Syrovátkové proteiny

Syrovátkové (sérové) proteiny tvoří 20 % čistých bílkovin.

Syrovátkové proteiny jsou označovány jako globulární proteiny, kdy jejich disulfidické vazby umožňují vytvářet řetězce charakteristického tvaru.

Skupina syrovátkových bílkovin:

- α – laktalbumin
- β – laktoglobulin
- sérový albumin
- imunoglobuliny – zabezpečují imunologickou ochranu

Syrovátkové proteiny jsou méně stabilní než kaseiny, při teplotách nad 75°C nevratně denaturují. Při vysokých teplotách β – laktoglobulin vytváří povrchovou vrstvu nad micelami kaseinu, která brání tvorbě sraženin.

Proteiny skupiny syrovátkových bílkovin obsahují zvýšené hladiny sirných aminokyselin a neobsahují fosfor [11].

2.1.3 Mléčný cukr

Mléčný cukr neboli laktóza je disacharid složený z glukózy a galaktózy. V mléce má úlohu substrátu pro rozvoj řady bakterií především bakterií mléčného kvašení, čehož se využívá u fermentovaných mléčných výrobků a výrobě sýrů. Je zdrojem energie pro sající mláďata, dodává mléku jemně nasládlou chuť a spoluurčuje osmotický tlak v mléce [12, 13, 17].

Mimo laktózy se v mléce mohou vyskytovat ve stopovém množství monosacharidy, oligosacharidy, glykoproteiny [11].

2.1.4 Nebílkovinné dusíkaté látky

Jedná se produkty metabolismu, kdy největší podíl těchto látek tvoří močovina a to až 50%. Dále jsou zde přítomny volné aminokyseliny (volné peptidy), kyselina močová, kreatin, kreatinin, nukleotidy, amoniak. Do této skupiny patří prakticky všechny složky obsahující ve své molekule dusík.

Jejich obsah je dán výživou dojnice, plemenem, dojivostí, sezónou, stadiem laktace či pořadím laktace [18].

2.1.5 Minerální látky a soli

Minerální látky v mléce jsou přítomny v různých formách a to v koloidní formě, vázané na některé organické molekuly a v roztoku v mléčném séru [18].

Anorganické prvky mléka jsou zde přítomné ve formě anorganických nebo organických solí. Z anorganických solí jsou zastoupeny hlavně chloridy, fosforečnany, sírany, citráty a uhličitany vápníku, hořčíku, fosforu a sodíku. Některé soli jsou rozpustné a v mléce jsou přítomny jako ionty rozpuštěné ve vodě [11].

Zastoupení minerálních látek v mléce a jejich množství je popsáno v Tabulce 3.

Tabulka 3: Obsah minerálních látek v mléce [14]

Prvek	Rozpětí
Sodík	350-900 mg/l
Draslík	1100-1700 mg/l
Chlor (chloridy)	900-1100 mg/l
Vápník	1100-1300 mg/l
Hořčík	90-140 mg/l
Fosfor	900-1000 mg/l
Železo	300-600 µg/l
Zinek	2000-6000 µg/l
Měď	100-600 µg/l
Mangan	20-50 µg/l
Jod	200-300 µg/l
Fluor (fluoridy)	30-220 µg/l
Selen	5-67 µg/l
Křemík	750-7000 µg/l
Cín	40-500 µg/l
Molybden	18-120 µg/l

Jejich významnou rolí v mléce je regulace acidobazické rovnováhy (udržení pH mléka) pomocí iontů sodíku, draslíku a vápníku a udržení osmotického tlaku [18].

Nejvýznamnější minerální látkou v mléce jsou vápenaté ionty, které ovlivňují stabilitu kaseinu a tím i termostabilitu mléka, sladké srážení a vlastnost sýřeniny při výrobě sýrů. Hladina vápníku a taky i fosforu je v mléce poměrně stálá, hladina stopových prvků je závislá na potravě dojnice [12, 17].

2.1.6 Biokatalyzátory

Mezi biokatalyzátory, přirozeně se vyskytující v mléce lze zařadit enzymy, vitamíny a hormony, což jsou látky, které jsou schopné i při nízkých koncentracích ovlivňovat metabolické procesy.

Enzymy

Enzymy jsou po chemické stránce bílkoviny, které mají katalytický účinek, tedy katalyzují chemické reakce. Vykazují substrátovou specifitu, tzn. katalyzují pouze určitou reakci daného substrátu nebo funkční specifitu, kdy enzym katalyzuje pouze jednu z několika možných reakcí substrátu. Čerstvě nadojené mléko je poměrně chudé na obsah enzymů. Jsou citlivé na teplotu, při zvýšené teplotě dochází k jejich nevratnému poškození. Díky jejich citlivosti na teplotní záhřev se některé enzymy, př. alkalická fosfatáza, laktoperoxidáza, staly kvalitativními ukazateli správnosti tepelného ošetření syrového mléka. Rizikem je přítomnost bakteriálních enzymů, které pochází z kontaminující mikroflóry [12, 17].

Vitamíny

V mléce jsou obsaženy vitamíny jak rozpustné ve vodě, tak rozpustné v tucích. Jsou důležité pro optimální růst a vývoj organismu. Konzumací jednoho litru mléka je pokrytý doporučený denní příjem vitamínu B₁₂ více než z poloviny, který hraje důležitou roli v metabolismu sacharidů a bílkovin, čtvrtinu doporučené denní dávky vitamínu A, především v plnotučném mléce, důležitého pro ochranu zraku, sliznic a zabezpečuje odolnost proti infekcím.

Vitamín D podporuje vstřebatelnost vápníku a je důležitý pro jeho ukládání v kostech. Vitamín B₂ riboflavin se podílí na zbarvení mléčného séra žlutozelenou fluorescencí, vitamín C je důležitým antioxidantem.

Při absenci některého z vitamínů (tzv. avitaminose) dochází ke zhoršení tělesného stavu, případně až k rozvoji některých chorob [12, 19].

Hormony

Hormony přítomny v mléce jsou obvykle přítomny i v organismu, popřípadě se do mléka mohou dostat exogenní cestou a to například při jejich využití k léčbě [20].

2.2 Voda

Obsah vody v mléce závisí na syntéze laktózy. Bez vody by bylo mléko viskózní sekret složený převážně z lipidů a proteinů a byla by velmi obtížná jeho sekrece z mléčné žlázy. Poskytuje tedy vodné medium pro organické složky mléka, má vliv na jejich vlastnosti a stabilitu a pro novorozence/ mláďata je mléko jediným zdrojem vody. Snižováním aktivity vody (aktivita vody v mléce = 0,993), např. dehydratací či přidáním laktózy nebo solí, dochází k prodloužení doby údržnosti řady mléčných výrobků. Stabilita a kvalita mléčných výrobků je tak ovlivněna jejím obsahem a i malé rozdíly tak mohou způsobovat závažné problémy stability výrobku [11, 21].

Mléko lze považovat za vysoce hodnotnou potravinu vzhledem k tomu, že obsahuje nezbytné složky pro lidský organizmus. Konzumací jednoho litru mléka je možné pokrýt denní požadavek živin takto:

Tabulka 4: Doporučená denní dávka živin v 1l mléka [22]

Vápník	Až 100%	Vitamín A	Až 30%
fosfor	Až 67%	Vitamín B ₁	Až 27%
Vitamín B ₁₂	Až 66%	Vitamín C	Až 19%
bílkoviny	až 49%	železo	Až 3%

3 VYUŽITÍ ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ PRO SLEDOVÁNÍ KVALITY MLÉKA A MLÉČNÝCH VÝROBKŮ

3.1 Souhrn základních fyzikálních vlastností mléka

Fyzikální vlastnosti mléka jsou uvedeny níže v Tabulce 5.

Tabulka 5: Fyzikální vlastnosti mléka [23]

pH	6,5-6,7
Titrační kyselost	0,14-0,16%
Hustota	1030kg/m ³
Tepelná kapacita	3880-4000 J/KgK
Tepelná vodivost	0,548 W/mK
Povrchové napětí	52m N/m
Elektrická měrná vodivost	0,460 S/m
Dielektrická konstanta	67,9
Ztrátový faktor	17,6
Bod mrznutí	-0,512-(-0,550)°C
osmolalita	0,285 osm/Kg

3.2 Faktory ovlivňující dielektrické vlastnosti a vodivost mléka

Na elektrickou vodivost mléka má značný vliv jeho složení, kdy závisí především na stádiu laktace, na ročním období a zejména taky složení potravy. Vodivost je dána nabitými částicemi solí a výsledná vodivost pak závisí na rozdělení částic v kapalně a koloidní fázi [2].

Vliv složení mléka na jeho vodivost byla zkoumána metodou za použití techniky infračervené spektroskopie, kdy měření probíhalo při 100kHz a 8°C. Výsledky pozorování ukazují, že vodivost mléka je určena převážně zastoupením iontů soli zejména ionty sodíku, draslíku a chlóru, zatímco laktóza má velmi malý vliv na vodivost, což také dokumentují data v tabulce 6.

Na snížení hodnoty vodivosti se podílejí zejména tukové kuličky a kasein, v souvislosti s vyšším obsahem těchto složek v mléce tak zvyšují viskozitu a tím se snižuje rychlost iontů. Celkovou vodivost mléka může také ovlivnit povaha kaseinových micel, kdy kaseinát sodný má velmi nízkou vodivost [22, 24].

3.2.1 Vliv obsahu tuku na elektrické vlastnosti

Vliv obsahu tuku na vodivost

Co se týče obsahu tuku v mléce, níže v Tabulce 6 jsou zaznamenány rozdíly vodivosti u mléka o různé tučnosti [3].

Tabulka 6: Vodivost mléka dle obsahu tuku [3]

Vzorek	Obsah tuku [w%]	Obsah laktózy [w%]	Vodivost G [mS]
Plnotučné mléko	3,6	4,9	5,05±0,03
Nízkotučné mléko	1,6	4,9	5,23±0,03
Odstředěné mléko	0,1	4,9	5,40±0,03
Syrové mléko	3,6	Není známo	4,85±0,03
Mléko s redukováným obsahem laktózy	3,6	0	5,00±0,03

Vztah popisující vliv obsahu tuku (v) na elektrickou vodivost mléka:

$$G = G_S(1 - v)^n$$

$$G_S = 5,4 \text{ mS}, n \approx 1,7$$

Tuk je v mléce obsažen ve formě granulí, kdy povrch tukových kuliček tvoří nevodivé rozhraní, což způsobuje sníženou vodivost s rostoucím obsahem tuku [3].

Vliv obsahu tuku na dielektrické vlastnosti

Studie se zabývala vztahem mezi dielektrickými vlastnostmi mléka (dielektrická konstanta, dielektrický ztrátový faktor) a obsahem tuku, což by v budoucnu mohlo být využito jako rychlá (a přenosná) metoda ke stanovení obsahu tuku v mléce.

Zhu et al. provedli výzkum vlivu obsahu tuku na dielektrické vlastnosti. Mléko s různým obsahem tuku v rozmezí 0,06 – 4,04 %, za frekvencí 20 – 4500MHz a při teplotě 25 – 45°C podrobili mnoha zkouškám s různou kombinací teploty, frekvence a obsahu tuku. Závěrem studie je, že dielektrická konstanta i dielektrický ztrátový faktor negativně reagují na zvýšený obsah tuku při jakékoli teplotě v rozmezí 25 - 45°C a tak i s frekvencí v rozmezí 20 – 4500MHz.

V porovnání naměřených hodnot obsahu tuku za použití standardní metody a absolutní chybou výpočtu obsahu tuku z naměřených hodnot dielektrické konstanty a ztrátového faktoru při 41MHz a 25°C byly hodnoty velmi podobné. Získané hodnoty -0,17 přibližně s 0,18 % a -0,24 přibližně 0,43 % v uvedeném pořadí.

Studie ukazují, že obsah tuku v kravském mléce by mohl být stanovený za použití měření hodnot permitivity za definované frekvence a teploty.

Výhodou takového stanovení je především rychlost získání výsledku a eliminace chemických činidel a rozpouštědel ve srovnání s běžně používanými laboratorními metodami pro stanovení tuku v mléce [25].

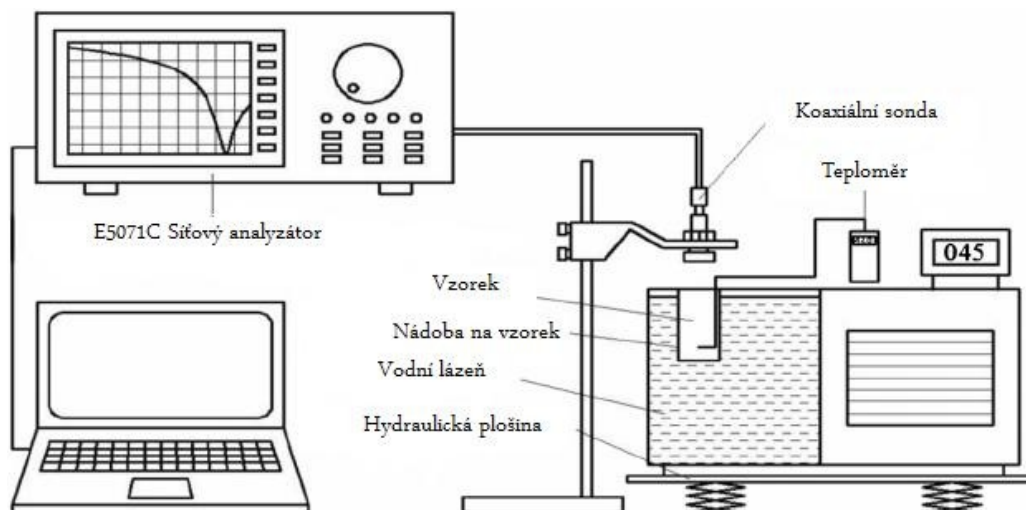
3.2.2 Vliv obsahu proteinů na elektrické vlastnosti

Vliv obsahu proteinů na dielektrické vlastnosti

Aby bylo možné zkonstruovat senzor pro rychlé stanovení množství bílkovin přímo v mléku, je nutné nejprve znát vliv obsahu bílkovin na dielektrické vlastnosti mléka (dielektrická konstanta ϵ' a dielektrický ztrátový faktor ϵ'' - popsány výše kapitola 1.5.1 a 1.5.2.). Takových studií nebylo prozatím publikováno mnoho. V jedné z takových studií autoři popisují vliv obsahu bílkoviny na dielektrické vlastnosti v syrovém mléce, kde se obsah bílkovin pohyboval v rozmezí 3,21 – 7,12 %. Za použití síťového analyzátoru a koaxiální sondy byly stanoveny dielektrická konstanta a dielektrický ztrátový faktor za použití frekvencí 10 – 4500 MHz a při rozsahu teplot 25 – 75°C. Výsledky ukázaly, že dielektrická konstanta se lineárně zvyšuje s nárůstem obsahu bílkovin při hodnotách frekvence nižší než 150MHz a lineárně se snižuje při frekvencích nad 600MHz. Dielektrický ztrátový faktor se lineárně zvyšuje s rostoucím obsahem bílkovin v celém frekvenčním rozsahu (tj. 10 – 4500MHz). Důvodem, proč se dielektrický ztrátový faktor zvyšuje s nárůstem obsahu bílkovin, by mohl spočívat v přidaných iontech pocházející z přidané bílkoviny.

Jestliže budou známy hodnoty dielektrických vlastností mléka při dané teplotě, je možné získat hodnotu bílkovin obsažených v mléce [1].

Síťový analyzátor s koaxiální sondou



Obrázek 6: Síťový analyzátor [26]

3.2.3 Vliv obsahu solí na vodivost

Proud prochází mlékem na základě pohybu iontů, kdy chloridové ionty nesou 60-68 % proudu. Obsah chloridů tudíž úzce souvisí s elektrickou vodivostí. Vodivost mléka odpovídá přibližně 0,25 % roztoku NaCl a pohybuje se od $45-55 \times 10^{-4}$ mS. Měření vodivosti mléka se stalo základem nového ohmického procesu sterilizace mléka, viz kap. 3.5.1 [26].

Menší částice iontů jako H_3O^+ , OH^- , K^+ a Cl^- jsou pohyblivější, a proto je vodivost vyšší. Naopak u molekuly vody je vodivost menší. Důležitá je tedy i povaha rozpouštědla. Polární rozpouštědla mají za následek vyšší ionizaci sloučenin, které se v nich rozpouštějí. U alkoholů ionizace klesá s délkou uhlíkového řetězce a nepolární rozpouštědla mají ionizaci téměř nulovou. Ideálním rozpouštědlem je tedy voda. Vodivost ovlivňuje i viskozita roztoku, kdy viskóznější kapaliny brání pohybu iontů [4].

Stanovením měrné elektrické vodivosti (konduktometricky) lze odhadnout koncentraci iontově rozpuštěných látek v roztoku [5].

Pomocí měřiče vodivosti je možné sledovat i demineralizaci syrovátky, kdy dochází ke ztrátě iontových minerálů tzv. odsolování. Využívá se procesu elektrodialýzy - působení stejnosměrného elektrického pole na pohyb disociovaných solí ve vodném roztoku [27, 28].

Závěrem kapitoly 3.2.3. je tedy fakt, že s rostoucím obsahem solí roste i vodivost mléka.

3.2.4 Vliv teploty na elektrické vlastnosti

Vliv teploty na vodivost

Jedním z faktorů ovlivňující vodivost je teplota. Závislost teploty na vodivosti je velmi výrazná, proto se při stanovení elektrických vlastností klade velký důraz na temperaci vzorku. Již nepatrné zvýšení teploty cca o 1°C může znamenat 2% nárůstu hodnoty vodivosti [5].

Vliv teploty na dielektrické vlastnosti

Vliv teploty na dielektrické vlastnosti- dielektrickou konstantu, dielektrický ztrátový faktor byl pozorován u mléka s obsahem tuku 2,05%. Při zvýšení teploty z 25°C na 45°C hodnota dielektrických vlastností rapidně klesla a to až na polovinu. Při pomalém růstu teploty dochází k úměrnému poklesu hodnoty dielektrických vlastností.

Obecně tedy platí, že s nárůstem teploty hodnoty dielektrické konstanty a dielektrického ztrátového faktoru klesají [25].

3.2.5 Vliv obsahu laktózy na vodivost

Fermentací laktózy vzniká kyselina mléčná a další složky, které vedou elektrický proud a tím hodnoty elektrické vodivosti budou vyšší.

Kyselina mléčná se v průběhu fermentace při výrobě jogurtů a kysaných mléčných výrobků hromadí, dochází ke změně vápníku a hořčíku na iontové formy a tím se zvyšuje vodivost. Z toho plyne, že v průběhu fermentace dochází ke zvyšování hodnoty elektrické vodivosti. Díky této změně na iontové formy se zhoršuje sýřitelnost mléka, kdy mléko obsahuje kaseinové micely, které obtížně vytváří s ionty vápníku strukturu a dochází ke špatnému srážení a tím i zadržování vody v sýřenině [29, 27].

3.3 Využití elektrických parametrů k odhalení falšování mléka vodou

Kvalita mléka je ve vyspělých zemích pečlivě kontrolována, nicméně falšování mléka je v některých oblastech stále aktuální téma. Nejčastěji je k mléku přidávána voda, mohou být ale také přidány roztoky škrobu nebo chemických látek, které mohou mít negativní dopad na zdraví konzumentů. Takovou největší kauzou falšování mléka s velmi vážným dopadem na zdraví konzumentů bylo přidávání melaminu do mléčných kojeneckých výživ za účelem maskování nižšího obsahu mléčných bílkovin. Výsledkem bylo poškození ledvin u tisíců dětí, u šesti z nich pak s následkem smrti.

Z toho důvodu je velmi důležité rozvíjet metody pro odhalení falšování mléka. Nejčastěji používanými metodami jsou spektroskopické nebo chromatografické techniky, s rozvojem molekulární genetiky souvisí také stále rozšířenější použití metod založených na analýze DNA nebo rozvíjející se proteomické techniky využívající detekci specifických peptidových markerů. Ačkoliv jsou tyto metody velmi přesné a citlivé, jsou náročné na provedení, vybavení laboratoře a odborné znalosti personálu, což s sebou nese také finanční náročnost, stanovení trvá delší dobu a obvykle vyžaduje použití chemických činidel. Možnost využití metod založených na měření změn elektrických parametrů mléka by v této souvislosti mohlo přinést řadu benefitů především v rychlosti a jednoduchosti měření [30, 31].

3.3.1 Využití změn dielektrických vlastností

Nejčastějším způsobem falšování mléka je přidavek vody. Dielektrické vlastnosti spolu s vodivostí a pH byly měřeny při laboratorních podmínkách, pomocí koaxiální sondy, při frekvenci v rozsahu od 10 do 4500 MHz u vodou zředěného kravského mléka. Koncentrace zředěného mléka se pohybovala v rozmezí hodnot 70-100 % a mléko bylo skladováno za podmínek 36 hodin při teplotě 22°C a 144 hodin při 5°C. Výsledky odhalily, že syrové mléko má nejnižší hodnoty dielektrické konstanty při frekvenci vyšší než 20 MHz a hodnoty ztrátového faktoru jsou vysoké při jakékoli hodnotě frekvence.

Ztrátový faktor může být tedy kvalitativním indikátorem, co se týká koncentrace mléka a jeho čerstvosti [30].

3.3.2 Využití změn vodivosti a elektrické kapacity

Pro stanovení stupně ředění mléka vodou byl sledován vztah mezi přidavkem destilované vody a elektrickými parametry takto upraveného mléka. Hodnota vodivosti v souvislosti s velikostí přidavku destilované vody klesala a to z hodnoty 10,8 mS na 7,8 mS. Hodnota elektrické kapacity se s rostoucím obsahem destilované vody snížila z 1,4 μF na 0,65 μF . V případě přidání destilované vody nad 15 % celkového objemu hodnota kapacity zůstala nezměněná. Statistické vyhodnocení výsledků této studie prokázalo významnou korelaci mezi množstvím přidané vody a hodnotami elektrické kapacity a vodivosti [32].

Změny v hodnotách elektrické vodivosti mléka byly použity také pro kontrolu čerstvosti mléka. V souvislosti s rostoucím stářím mléka dochází ke zvyšování jeho kyselosti. Tato změna pH je detekovatelná vzrůstem hodnot elektrické vodivosti. Z toho tedy plyne, že růst vodivosti mléka, může být indikátorem růstu jeho kyselosti a tak může napomoci odhalení záměny mléka čerstvého za mléko staré [30].

3.4 Detekce mikroorganismů v mléce

Přenosný přístroj pro měření elektrické vodivosti je užitečným nástrojem i pro sledování výskytu množství somatických buněk, což umožňuje podniknout zavčas určité kroky proti intramamárním infekcím.

Ke stanovení se využívá fluoro-opto-elektronické metody, kdy somatické buňky jsou barveny fluorescenčním barvivem a odnášeny do měrné cely, kde jsou analyzovány. Detekce probíhá pomocí tzv. Coulterova principu, kdy průchod měrnou celou je zaznamenán jako změna vodivosti [33].

Stanovení vodivosti mléka se často využívá pro identifikaci subklinické mastitidy [34].

3.4.1 Detekce subklinické mastitidy

Mastitida je zánětlivé onemocnění vemene vyvolané nejčastěji *Streptococcus agalactiae* popřípadě *Streptococcus dysagalactiae*. V případě, že nedošlo k bakteriologickému vyléčení, zárodky onemocnění stále přežívají, ale příznaky onemocnění již nejsou zjevné, dochází k přechodu klinické mastitidy na subklinickou mastitidu.

Pro člověka jsou zejména škodlivé toxiny mikroorganismů, které jsou odolné teplotnímu záhřevu a jsou původci otrav lidí [35, 36].

Subklinická mastitida je tedy onemocnění bez zjevných klinických příznaků, kdy mléko je nezměněné a počet somatických buněk převyšuje hodnotu 100 000 KTJ/ml a často je způsobena neefektivní léčbou klinické mastitidy [37, 29].

Stanovení se využívá k identifikaci u dobytka a je měřena jednak pomocí sond integrovaných do dojícího zařízení, anebo prostřednictvím přenosných zařízení. Přenosné zařízení umožňuje rychlou zkoušku přijatelnosti mléka z hlediska přítomnosti mikroorganismů [34].

V důsledku onemocnění mléčné žlázy se vodivost mléka zvyšuje a to z důvodu zvýšení obsahu chloridů [35].

3.5 Využití elektrických vlastností v technologii

Vodivost potravin či jejich dielektrické vlastnosti napomáhají konstrukci ohřevných zařízení. Znalostí vodivosti se využívá u Ohmického ohřevu potravin a znalost dielektrických vlastností potravin je možné aplikovat tzv. mikrovlnného ohřevu

3.5.1 Ohmický ohřev

Ohmický ohřev nebo taky odporový ohřev je změna elektrického výkonu na teplo (Joulův efekt). Je charakterizován průchodem střídavého elektrického proudu přímo elektricky vodivou potravinou v důsledku jejího odporu. Metoda je podstatně rychlejší než při použití konvenčních metod ohřevu a dochází k nepatrnému poškození s tím, že potraviny zachovávají. Při využití metody se nejčastěji používá proud o frekvenci 50 a 60Hz.

V důsledku velkého rozdílu mezi elektrickou vodivostí pevných látek a kapalin dochází k nerovnoměrnému ohřevu potravin, což patří k nevýhodám metody.

Této metody se využívá k pasterizaci mléka, ale i převážně ke sterilaci potravin [3].

3.5.2 Mikrovlnný ohřev

Mikrovlnný ohřev využívá znalostí dielektrických vlastností pro popis přeměny energie elektromagnetické v teplo. K přeměně se využívá rozsahu frekvencí záření $10^8 - 10^{10}$ Hz.

Při mikrovlnném záření je využíván oscilátor, který emituje mikrovlny do kovové komory, kde je vložena potravina. Pro rovnoměrnost ohřevu je v kovové komoře umístěn otočný podnos, kdy otáčení zajišťuje průchod kmitu do potraviny různými místy. Nevýhodou ohřevu je, že při ohřevu dochází k degradaci vitamínů či aminokyselin [3].

ZÁVĚR

Znalosti elektrických parametrů mléka a jejich změn v závislosti na obsahu hlavních komponent mléka (tuku, bílkovin a laktózy) mohou být využity pro konstrukci detektorů kvality mléka. Nejčastěji bylo použito měření elektrické vodivosti, dielektrické konstanty a dielektrického ztrátového faktoru. V předložené bakalářské práci byly nastíněny hlavní zákonnosti, které byly k této problematice publikovány. Závěry těchto studií lze shrnout do několika bodů:

- Zvýšený obsah tuku a bílkovin, stejně jako vyšší viskozita mléka, má za následek pokles elektrické vodivosti mléka. Naopak zvýšený obsah iontů, především Na^+ , K^+ a Cl^- vede ke zvýšení elektrické vodivosti mléka.
- Množství laktózy v mléce hodnoty vodivosti neovlivňuje. Ale v případě fermentace laktózy při výrobě mléčných produktů dochází k významnému zvýšení elektrické vodivosti.
- Zvyšující se podíl tuku, bílkovin a rostoucí teplota způsobují pokles hodnot dielektrických vlastností mléka.
- Dalším využitím stanovení elektrických parametrů je odhalení falšování mléka vodou, kdy hodnoty vodivosti s rostoucím přídatkem destilované vody klesají.
- Změny elektrických parametrů mohou být použity pro detekci mikroorganismů v mléce, což umožňuje brzké odhalení zánětlivého procesu - detekci subklinické mastitidy.

V technologii znalost elektrických parametrů napomáhá ke konstrukci ohřívacích zařízení s využitím ohmického ohřevu, kdy především dochází k zachování vlastností potravin. Ohmického ohřevu lze využít k pasteraci či sterilaci potravin.

Výhody využití elektrických parametrů pro kontrolu kvality mléka spočívají především v rychlosti měření, jednoduchosti provedení a v eliminaci chemických činidel.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZHU, X.H, GUO, W.C., JIA, Y.P., KANG, F. *Dielectric Properties of Raw Milk as Function of Protein Content and Temperature*. Food and Bioprocess Technology. 2015, vol. 8, issue 3, 670-680.
- [2] ARANA, Ignacio J. *Physical properties of foods: novel measurement techniques and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, c2012, xiv, 406 s. Contemporary food engineering. ISBN 978-1-4398-3536-4.
- [3] SEVERA, Libor a Šárka NEDOMOVÁ. *Fyzikální a mechanické vlastnosti potravin*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova univerzita, 2011, 116 s. ISBN 978-80-7375-521-8
- [4] KADLEC, Karel, Miloš KMÍNEK a Pavel KADLEC. *Měření a řízení v potravinářských a biotechnologických výrobcích: technologie potravin*. Vydání: první. Ostrava: Key Publishing s.r.o., 2015, 804 s. Monografie. ISBN 978-80-7418-232-7
- [5] Stanovení konduktivity, pH a oxidačně-redoxního potenciálu, *Dostupné na: uiozp.ft.utb.cz [on-line 2017-21-04]*.
- [6] KLOUDA, Pavel. *Fyzikální chemie: studijní text pro SPŠCH. 2.*, upr. a dopl. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2002, 139 s. ISBN 80-86369-06-4.
- [7] Přehled jednotek elektrické kapacity, *Dostupné na: www.prevod.cz [on-line 2017-29-04]*.
- [8] ICIER, F., BAYSAL, T. *Dielectrical properties of food materials- 2: Factors affecting and industrial uses*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2004, vol. 44, issue 6, 465-471.
- [9] Základy uchování potravin, *Dostupné na: www.uniconsulting.cz [on-line 2017-28-04]*.
- [10] Dielektrické vlastnosti tuhých látek, *Dostupné na: martin.feld.cvut.cz [on-line 2017-28-04]*.
- [11] ŠNIRC, Július, Jozef GOLIAN, Karol HERIAN, František BUŇKA a Margita ČANIGOVÁ. *Mlieko a mliečne výrobky*. I. diel, Štruktúra, bioaktívne zložky a

- spracovanie mlieka. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2015, 221 s. ISBN 978-80-552-1311-8.
- [12] MAŠEK, Jaroslav. *Mlékařství*. Praha: Spolek posluchačů zemědělského a lesního inženýrství za podpory fondu mléčného v Praze, 1947, 214 s.
- [13] BUŇKA, František. *Mlékárenská technologie I*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013, 258 s. ISBN 978-80-7454-254-1.
- [14] FOX, P. F., P. L. H. MCSWEENEY a J. A. O'MAHONY. *Dairy chemistry and biochemistry*. First edition. London, Blackie Academic and Professional, 1998, 478 s. ISBN 978-3-319-14891-5.
- [15] KOPÁČEK, Jiří. *Mléko a mléčné výrobky: jak poznáme kvalitu?* 1. vyd. Praha: Sdružení českých spotřebitelů, Potravinářská komora ČR. 2014, 31 s. Jak poznáme kvalitu? sv. 9. ISBN 978-80-87719-18-3.
- [16] Odborníci o mléce, *Dostupné na: www.mlekarna-valmez.cz, [on-line 2017-18-04]*.
- [17] KADLEC, Pavel, Karel MELZOCH a Michal VOLDŘICH. *Přehled tradičních potravinářských výrob: technologie potravin*. Vyd. I. Ostrava: Key Publishing. 2012, 569 s. Monografie . ISBN 978-7418-145-0.
- [18] Zpracování mléka, *Dostupné na : web2.mendelu.cz [on-line 2017-25-02]*.
- [19] VORLOVÁ, Lenka. *Nutriční aspect konzumace mléčných výrobků*. Mlékařské listy. 2013, r. 24, č. 140, s. VII-IX.
- [20] INGR, Ivo *Zpracování zemědělských produktů, 2.*, nezměn. vyd. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001, 249 s. ISBN 80-7157-520-8
- [21] Milk composition – water, *Dostupné na: ansci.illinois.edu [on-line 2017-16-03]*.
- [22] KOPÁČEK, Jiří a Oldřich OBERMAIER. *Vápník - Důvod proč pít mléko*. Mlékařské listy. 2007, r. 18, č. 100, s. 30-35.
- [23] SINGH, Harjinder, Mike BOLAND a Abby. THOMPSON. *Milk proteins: from expression to food*. 2nd edition. Amsterdam: Academic Press, 2014. Food science and technology international series. ISBN 978-0-12-405171-3.
- [24] Mabrook, M.F., Petty, M.C., *Effect of composition on the electrical conductance of milk*. International Journal of Food Engineering.2003, vol. 60, issue 3, 321-325

- [25] ZHU, X.H., GUO, W.C., LIANG, Z. *Determination of the Fat Content in Cow's Milk Based on Dielectric Properties*. Food and Bioprocess Technology [online]. 2015, vol 8, issue 7, 1485-1494.
- [26] Dielectric properties of Pistachio Kernels as Influenced by Frequency, Temperature, Moisture and Salt Content, *Dostupné na: www.researchgate.net [on-line 2017-07-04]*.
- [27] Properties of Milk and Its Components, *Dostupné na: accipublications.accnet.org [on-line 2017-10-04]*.
- [28] Elektrodialýza, *Dostupné na: www.membrain.cz [on-line 2017-30-04]*.
- [29] ŠUSTOVÁ, Květoslava, KUČTÍK, Jan a Libor KALHOTKA. *Vliv zvýšeného počtu somatických buněk na kvalitu mléka*. Mlékařské listy. 2016, r. 27, č. 154, s. 13-16.
- [30] GUO, W.C., ZHU, X.H., LIU, H., YUE, R. *Effects of milk concentration and freshness on microwave dielectric properties*. Journal of Food Engineering. 2010, vol. 99, issue 3, 344-350
- [31] ČÍŽKOVÁ, Alena, ŠEVČÍK, Rudolf, RAJCHL, Aleš, PIVOŇKA, Jan a Michal VOLDŘICH. *Trendy v autenticitě a v přístupech k detekci falšování*. Chemické listy. 2012, č. 106, s. 903-910
- [32] BANACH, J.K., ŻYWICA, R., SZPENDOWSKI, J., KIEŁCZEWSKA, K. *Possibilities of Using Electrical Parameters of Milk for Assessing its Adulteration with water*. International Journal of Food Properties. 2012, vol. 15, issue 2, 274-280.
- [33] Detekce živých a mrtvých buněk, *Dostupné na: dspace.upce.cz [on-line 2017-30-04]*.
- [34] CARIA, M., CHESSA, G., MURGIA, L., TODDE, G. *Development and test of portable device to monitor health status of Sarda breed shhep by the measurement of the milk electrical conductivity*. Italian Journal of Animal Science. 2016, vol. 15, issue 2, 275-282.
- [35] ŠEBELA, František, PAVEL, Jiří a Bohumil DUŠEK. *Mlékařství*. Vyd. I.Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, 328 s.

- [36] Problematika buněčných element v chovech skotu, *Dostupné na: www.virbac.cz [on-line 2017-27-04].*
- [37] ŠTOSOVÁ, Jana. *Mastitidy*, *Dostupné na: www.eurofarm.cz [on-line 2017-20-03].*

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1:Kalibrační graf konduktivity [4]</i>	14
<i>Obrázek 2:Schéma elektrického pulzu [3]</i>	15
<i>Obrázek 3:Kapacitní snímače [4]</i>	17
<i>Obrázek 4:Schéma složení mléka [16]</i>	19
<i>Obrázek 5:Kaseinová micela [13]</i>	21
<i>Obrázek 6:Síťový analyzátor [26]</i>	29

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Vliv teploty na konduktivitu roztoku KCl [5]</i>	<i>14</i>
<i>Tabulka 2: Průměrné složení mléka dle druhu [15]</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 3: Obsah minerálních látek v mléce [14]</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 4: Doporučená denní dávka živin v 1l mléka [22]</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 5: Fyzikální vlastnosti mléka [23]</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 6: Vodivost mléka dle obsahu tuku [3]</i>	<i>27</i>