

# **Vliv zrání na mechanické vlastnosti sýrů eidamského typu**

Bc. Romana Zderčíková

---

Diplomová práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav technologie potravin  
akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Romana Zderčíková**  
Osobní číslo: **T15527**  
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie potravin**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv zrání na mechanické vlastnosti sýrů eidamského typu**

Zásady pro vypracování:

### I. Teoretická část

1. Sýry a jejich dělení.
2. Technologie výroby a zrání sýrů eidamského typu.
3. Mechanické a texturní vlastnosti sýrů.
4. Metody měření vlastností sýrů.

### II. Praktická část

1. Příprava vzorků sýrů o různém procentu tuku v sušině.
2. Měření vybraných vlastností vzorků v průběhu procesu zrání.
3. Zpracování a hodnocení experimentů.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] FOEGEDING E.A., BROWN J., DRAKE M., DAUBERT Ch.R. Sensory and mechanical aspects cheese texture. *International Dairy Journal*.2003,13,585.

[2] LAPČÍK Lubomír, RAAB Miroslav. *Nauka o materiálech II*. Zlín:UTB,2004. ISBN 80-7318-229-7.

[3] GAJDŮŠEK, Stanislav. *Mlékařství II*.Brno: MZLU v Brně,1998.ISBN 80-7157-342-6.

[4] PACHLOVÁ,V.: *Distribuce vybraných složek v přírodním sýru v průběhu zrání*. Disertační práce, FT UTB ve Zlíně,2011.

[5] NEHODOVÁ I.: *Mechanické vlastnosti sýrů eidamského typu*. Bakalářská práce. FT UTB ve Zlíně,2014.

Vedoucí diplomové práce:

**RNDr. Marta Sližová, CSc.**

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**3. února 2017**

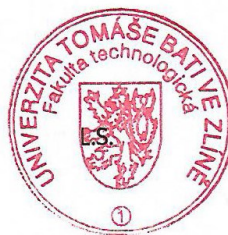
Termín odevzdání diplomové práce:

**28. dubna 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: Zderoňkova Romana

Obor: 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 <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> 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 <sup>3)</sup> 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 10.5.2017

Romana Zderoňková

<sup>1)</sup> 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 nevdělečně 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.

<sup>2)</sup> 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).

<sup>3)</sup> 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Teoretická část diplomové práce je zaměřena na technologii výroby sýrů eidamského typu. Dále jsou stručně charakterizovány texturní vlastnosti potravin, metody jejich měření a stav řešené problematiky v posledních letech. Praktická část je zaměřena na výrobu sýrů eidamského typu s obsahem 25 % a 40 % tuku v sušině, texturní profilovou analýzu a tahovou zkoušku, pomocí kterých byly sledovány texturní a mechanické vlastnosti sýrů eidamského typu v průběhu zrání.

Klíčová slova: sýr eidamského typu, tuk, texturní profilová analýza, tahová zkouška

## **ABSTRACT**

The theoretical part is focused on the production technology of Edam cheese. The following are briefly described textural properties of foods, methods of measurement and status of solved problems in recent years. The practical part is focused on the production of cheese of Edam type containing 25% and 40% fat in dry matter, texture profile analysis and a tensile test by with the textural and mechanical properties of Edam cheese were observed during ripening.

Keywords: Edam cheese, fat, texture profile analysis, tensile test

Tímto bych chtěla poděkovat paní RNDr. Martě Sližové, CSc. za odborné vedení, trpělivost, rady a připomínky při zpracování DP.

Dále bych chtěla poděkovat Ing. Ludmile Zálešákové za rady a pomoc při provedení praktické části.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 MLÉKO A JEHO SLOŽENÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 SLOŽENÍ KRAVSKÉHO MLÉKA.....	12
1.1.1 Dusíkaté látky.....	12
1.1.1.1 Kaseinové bílkoviny.....	13
1.1.1.2 Sérové bílkoviny.....	13
1.1.2 Sacharidy.....	14
1.1.3 Mléčný tuk.....	14
1.1.4 Vitamíny, minerální látky, enzymy, hormony a plyny.....	15
1.2 POŽADAVKY NA JAKOST MLÉKA PRO VÝROBU SÝRŮ.....	17
<b>2 SÝRY A JEJICH ROZDĚLENÍ</b> .....	<b>19</b>
2.1 DĚLENÍ SÝRŮ.....	19
<b>3 SÝRY EIDAMSKÉHO TYPU</b> .....	<b>20</b>
3.1 TECHNOLOGIE VÝROBY SÝRŮ EIDAMSKÉHO TYPU.....	20
3.1.1 Úprava mléka.....	20
3.1.1.1 Standardizace, tepelné ošetření.....	20
3.1.1.2 Přídavek $\text{CaCl}_2$ , $\text{KNO}_3$ .....	20
3.1.1.3 Přídavek zákysových kultur.....	21
3.1.2 Srážení mléka.....	21
3.1.3 Zpracování vzniklé sýřeniny.....	22
3.1.4 Formování, lisování, solení sýrů a balení.....	23
3.1.4.1 Formování a lisování.....	23
3.1.4.2 Solení.....	24
3.1.5 Zrání.....	25
3.1.5.1 Metabolizmus laktózy.....	26
3.1.5.2 Metabolizmus kyseliny mléčné.....	26
3.1.5.3 Metabolizmus citrátu.....	26
3.1.5.4 Lipolýza a metabolizmus volných MK.....	27
3.1.5.5 Proteolýza a metabolizmus AMK.....	28
<b>4 TEXTURNÍ VLASTNOSTI POTRAVIN</b> .....	<b>30</b>
4.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	30
4.1.1 Deformace.....	30
4.1.2 Primární texturní vlastnosti potravin.....	32
4.1.3 Sekundární texturní vlastnosti potravin.....	33
4.2 GEOMETRICKÉ VLASTNOSTI.....	33
4.3 POVRCHOVÉ VLASTNOSTI.....	33
<b>5 METODY MĚŘENÍ TEXTURNÍCH VLASTNOSTÍ</b> .....	<b>35</b>
5.1 TAHOVÁ ZKOUŠKA.....	36
5.2 TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA.....	38
<b>6 PROBLEMATIKA MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ U SÝRŮ EIDAMSKÉHO TYPU V SOUČASNOSTI</b> .....	<b>39</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>47</b>



<b>7</b>	<b>CÍL PRÁCE .....</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>MATERIÁL A METODY .....</b>	<b>49</b>
8.1	VÝROBA SÝRŮ EIDAMSKÉHO TYPU .....	49
8.1.1	Použité pomůcky a materiál .....	49
8.1.2	Postup výroby sýrů.....	49
8.2	ANALÝZA VLASTNOSTÍ SÝRŮ .....	50
8.2.1	Chemická analýza .....	51
8.2.1.1	Obsah sušiny .....	51
8.2.1.2	Aktivní kyselost – pH .....	51
8.2.1.3	Obsah soli .....	51
8.2.1.4	Obsah tuku .....	51
8.2.2	Texturní profilová analýza .....	52
8.2.3	Tahová zkouška.....	53
<b>9</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>	<b>54</b>
9.1	CHEMICKÁ ANALÝZA .....	54
9.1.1	Stanovení sušiny.....	54
9.1.2	Stanovení obsahu tuku v sušině .....	55
9.1.3	Stanovení obsahu soli.....	57
9.1.4	Stanovení pH .....	57
9.2	TEXTURNÍ ANALÝZA .....	59
9.2.1	Tvrdost .....	59
9.2.2	Soudržnost.....	60
9.2.3	Relativní lepivost .....	61
9.3	TAHOVÁ ZKOUŠKA .....	62
9.3.1	Závislost síly a deformace.....	62
9.3.2	Deformace při přetržení .....	63
9.3.3	Parametr viskozity.....	65
9.3.4	Modul pružnosti v tahu .....	67
9.3.5	Maximální napětí .....	69
<b>10</b>	<b>SROVNÁNÍ MECHANICKÝCH A CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ U SÝRŮ S ODLIŠNÝM OBSAHEM TUKU .....</b>	<b>71</b>
10.1	SROVNÁNÍ TEXTURNÍCH A MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ .....	71
10.2	KORELACE MEZI MECHANICKÝMI A CHEMICKÝMI VLASTNOSTMI SÝRŮ.....	74
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>93</b>

## ÚVOD

Sýry jsou neodmyslitelnou součástí našich jídelníčků zejména proto, že patří do skupiny plnohodnotných potravin obsahujících všechny esenciální aminokyseliny. Zdrojem využitelné energie jsou zejména bílkoviny a mléčný tuk. Velký význam má ale i přítomnost vápníku, jehož obsah závisí na druhu sýra. Sýry můžeme charakterizovat jako mléčný výrobek vyrobený srážením mléčné bílkoviny z mléka působením syřidla, prokysáním a oddělením určitého podílu syrovátky. Kdy a kde byl vyroben úplně první sýr, není známo, ale objev je přisuzován kočovným kmenům jižní Asie a středního východu, které přenášely mléko v kožených vacích a zjistily, že se jim mléko mění na bledou tekutinu nakyslé chuti s kousky sýřeniny. Největší přínos je přisuzován Římanům, kteří již v době císařství znali přes 12 druhů sýrů. V současnosti existuje široký sortiment sýrů, z nichž jsou v České republice preferovány zejména sýry holandského (eidamského) typu, jejichž zástupci jsou zejména Gouda nebo Eidam [7, 79-81].

Diplomová práce se zabývá mechanickými vlastnostmi sýrů eidamského typu. Teoretická část je věnována zejména složení mléka a výrobě sýrů, ale i texturním vlastnostem a zkouškám, pomocí kterých je lze sledovat. Praktická část je zaměřena na výrobu sýrů eidamského typu, tahovou zkoušku a texturní profilovou analýzu, pomocí které byly sledovány mechanické vlastnosti v průběhu zrání.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 MLÉKO A JEHO SLOŽENÍ

Mléko je jednou z hlavních surovin pro výrobu sýrů, proto je nutné stručně charakterizovat jeho složení a vlastnosti. Je to tekutý sekret samic savců, který slouží zejména pro zabezpečení výživy mláďat. Mléko by mělo mít sladkou chuť s mírně slaným nádechem, bez cizích pachutí. Základním dělením skupin mlék jsou mléka kaseinová, produkovaná přežvýkavci a mléka albuminová, produkovaná všežravci, masožravci a savci s jednoduchým žaludkem. Průmyslové využití mají zejména mléka kaseinová. V našem případě je charakterizováno složení mléka kravského. Pro kravské mléko je charakteristická bílá barva se smetanovým nádechem, který je způsoben karotenoidními barvivy [1,2].

### 1.1 Složení kravského mléka

Zralé kravské mléko obsahuje 86-88 % vody a 12-14% sušiny, která má následující složení:

- dusíkaté látky 3,1-3,8 %,
- sacharidy 4,5-5 %,
- tuk 3,5-5,5 %,
- vitamíny, minerální látky, enzymy, hormony, plyny atd. [1].

Jednotlivé složky jsou dispergované ve vodném roztoku ve třech fázích. Vitamíny rozpustné v tucích a mléčný tuk se nachází ve fázi disperzní, laktóza, vitamíny rozpustné ve vodě, kationty a anionty se nachází ve fázi pravého roztoku a bílkoviny a enzymy ve fázi koloidní [3].

#### 1.1.1 Dusíkaté látky

Dusíkaté látky tvoří nejkompexnější složku mléka, z toho 93-95 % z celkového obsahu dusíku je obsaženo v mléčných bílkovinách. Zbylých 5-7 % je obsaženo v nebílkovinných dusíkatých látkách, tedy v močovině, amoniaku, kreatinu apod. Čisté bílkoviny jsou zastoupeny kaseiny v množství 80 % a syrovátkovými bílkovinami z 20 %. Každá molekula bílkovin je tvořena několika polypeptidovými řetězci, které mají určitou strukturu a prostorové uspořádání. Jsou schopny vytvářet sekundární a terciární struktury, které lze působením vnějších vlivů trvale narušit, a může dojít k denaturaci bílkovin. Denaturované bílkoviny vážou velké množství vody, čímž jsou zlepšovány funkční

vlastnosti některých mléčných výrobků, zejména jogurtů apod., jsou dobře stravitelné, a zachovávají si nutriční hodnotu [1,3,4].

### **1.1.1.1 Kaseinové bílkoviny**

Kaseinové bílkoviny, na rozdíl od bílkovin sérových, nepodléhají při tepelném ošetření denaturaci, jelikož jejich uspořádání neobsahuje velké množství sekundárních a terciárních struktur. Mezi základní frakce kaseinů se řadí  $\alpha_{s1}$ -kasein,  $\alpha_{s2}$ -kasein,  $\beta$ -kasein a  $\kappa$ -kasein. 95 % z nich se v mléce nachází v podobě kaseinových micel. Existuje několik modelů micel, první z nich vypovídá o tom, že jsou nejdříve vytvořeny submicely, které se následně spojují do micelárních útvarů. Druhý, tzv. Holtův model udává, že se kaseinové frakce spojují pomocí hydrofobních interakcí a nanoklastrů fosforečnanu vápenatého přímo do micel. Ty lze vysrážet, tedy převést kaseinové bílkoviny z roztoku do polotuhého koagulátu. Vysrážení kaseinových bílkovin se využívá zejména při výrobě sýrů. Rozeznáváme dva druhy srážení: sladké, které je uskutečňováno za pomoci proteolytického enzymu, nebo srážení kyselé, které se provádí snížením pH do izoelektrického bodu kaseinu, tedy  $\text{pH} \approx 4,6$ .  $\kappa$ -kasein plní stabilizační funkci kaseinových micel před vysrážením. V případě jeho hydrolýzy působením enzymů dojde k ztrátě ochranné funkce a v přítomnosti vápenatých iontů dochází k propojování kaseinových micel a tvorbě gelu [1,4,5].

### **1.1.1.2 Sérové bílkoviny**

Sérové bílkoviny jsou globulární proteiny, které se nesráží v přítomnosti syřidla, ani při  $\text{pH} \approx 4,6$ , ale zůstanou v koloidním roztoku, a odchází do syrovátky. Při tepelném záhřevu mají díky velkému zastoupení sekundárních a terciárních struktur vysokou schopnost denaturovat, nedojde tedy k vysrážení, ale spojí se s  $\kappa$ -kaseinem a podílí se na změnách kaseinových micel, což může být nežádoucí při výrobě sýrů eidamského typu. Vysoké dávky tepelného ošetření mléka mohou také vyvolat vznik vařivé příchuti, která je způsobena reakcemi thiolových skupin, tedy funkčních skupin aminokyselin, které jsou odkryty po rozbalení globulární struktury bílkovin. Thiolové skupiny působí jako antioxidační činidlo, což zabraňuje žluknutí mléčného tuku. Mezi sérové bílkoviny se řadí  $\beta$ -laktoglobulin (50 %),  $\alpha$ -laktalbumin (25 %), imunoglobuliny, sérum-albumin, laktoferin, nebo *protézo-peptony*. Imunoglobuliny jsou vysokomolekulární glykoproteiny, které zajišťují přenos imunitního systému z matky na mládě. Jejich vyšší množství se vyskytuje v kolostru. Jsou inhibitory bakterií mléčného kvašení (BMK), proto z technologického

hlediska nejsou vhodné. Vyšší množství jak imunoglobulinů, tak sérového albuminu v zralém mléce může znamenat výskyt zánětlivého onemocnění. Proteózo-peptony jsou nízkomolekulární proteiny obsahující fosfor. Jsou to hydrolytické štěpy  $\beta$ -kaseinu, které jsou při  $\text{pH} \approx 4,6$  rozpustné, proto se řadí do skupiny sérových bílkovin [1,4,5].

### 1.1.2 Sacharidy

Hlavním zástupcem je disacharid laktóza složená z monosacharidu D-glukózy a D-galaktózy, spojených  $\beta$  (1-4) glykosidickou vazbou. Vyskytuje se ve dvou anomerech, které se od sebe liší rozpustností, hygroskopicitou, sladivostí, a dalšími vlastnostmi. Laktóza je v těle využívána jako zdroj energie, její příjem ale vede k zvyšování hladiny glukózy v krvi. Způsobuje nasládlou chuť mléka a je substrátem pro BMK, čehož se využívá u kysaných mléčných výrobků a sýrů [1]. U lidské populace je známá snížená vstřebatelnost a nesnášenlivost sacharidů, která se vyskytuje poměrně často. Nastává v případě nedostatečné aktivity enzymu laktázy, kdy není mléčný cukr plně štěpen. Při nedostatečném štěpení cukru dojde k růstu jeho koncentrace za vzniku vysokého osmotického tlaku, který zapříčiní přechod vody do střeva, což vyvolá symptomy jako průjem, větry apod. [4]. K minoritním sacharidům mléka patří zejména D-glukóza, D-fruktóza, *D-galaktóza*, L-fukóza, laktulóza, *N-acetyl-D-galaktózamin*, N-acetyl-D-glukózamin a *kyselina N-acetyl-neuraminová*. Vyznačené mohou být součástí sacharidické složky  $\kappa$ -kaseinu [1].

### 1.1.3 Mléčný tuk

Tuky mléka lze charakterizovat jako látky rozpustné v organických rozpouštědlech, ale nerozpustné ve vodě. Jsou to sloučeniny obsahující estericky vázanou mastnou kyselinu s minimálně 4 atomy uhlíku. Základními složkami mléčného tuku jsou tri-, di-, monoacylglyceroly, volné mastné kyseliny, steroly a jejich estery, nebo vitamíny rozpustné v tucích. Největší podíl, tedy 98 %, tvoří triacylglyceroly (TAG), které mají v molekule glycerolu vázané tři mastné kyseliny ve specifických polohách sn-1, sn-2 a sn-3. Rozmístění v jednotlivých specifických polohách má vliv na chuťové, fyzikální i nutriční vlastnosti.

Mezi základní vlastnosti mléčného tuku se řadí bod tání a tuhnutí, který se mění zejména zastoupením jednotlivých mastných kyselin v TAG a zastoupením krystalických modifikací. Součástí mléčného tuku jsou zastoupeny jak mastné kyseliny nasycené, tak ty

nenasyčené. Čím kratší je řetězec, a čím vyšší počet dvojných vazeb, tím nižší je bod tání. Z nasycených mastných kyselin převládá kyselina palmitová, stearová, nebo myristová. Nenasycené se vyskytují v menších koncentracích, a jsou zastoupeny zejména kyseliny linolová, linolenová, nebo olejová. Specifickou vlastností mléčných lipidů je to, že se nevyskytují volně, ale ve formě tukových kuliček. Tukové kuličky jsou obaleny protein-fosfolipidovou trojvrstvou, tedy membránou, která chrání TAG proti působení enzymů a koalescenci [1,3,4].

#### 1.1.4 Vitamíny, minerální látky, enzymy, hormony a plyny

Význam *vitamínů* v mléce je především výživa sajících mláďat, proto se jejich zvýšené množství vyskytuje právě v mlezivu. Ve zralém mléce se vyskytují téměř všechny vitamíny, ale některé ve stopových množstvích. Jejich koncentrace jsou ovlivňovány stravou dojnice, tedy i ročním obdobím a jejím zdravotním stavem [4].

Vitamíny rozpustné v tucích, tedy A, E, D a K jsou lokalizované v tukových kuličkách, zatímco vitamíny rozpustné ve vodě se nachází v pravém roztoku mléka [3].

Z technologického hlediska jsou nejvýznamnější karotenoidy, které způsobují nažloutlou barvu mléka, nebo riboflavin, který se podílí na vzniku nazelenalé barvy syrovátky. Vitaminu C se vyskytuje velmi málo, jelikož velmi rychle na světle, nebo při tepelném záhřevu oxiduje, ale je významným antioxidantem. Funkci antioxidantu zastává také skupina tokoferolů. Z vitamínů rozpustných ve vodě se vedle již zmíněných ve významném množství vyskytuje zejména tiamin, niacin, nebo kyselina pantotenová [1,3].

*Minerální látky* jsou do mléka přenášeny z krve. Do skupiny převažujících minerálních látek v mléce patří zejména vápník, fosfor, sodík, draslík, chlór a hořčík. V mléku se vyskytují ve formě anorganických a organických solí, které významně ovlivňují jejich absorpci, mechanismus přenosu, přeměnu na biologickou formu. Některé ze solí se vyskytují v podobě iontů rozpustných ve vodě. Fosforečnan vápenatý je mírně rozpustný, ale existuje i ve formě nerozpustné vázaný na kaseinové micely. Každá minerální látka má v organismu svoji funkci, pro správný metabolismus není důležité jejich zastoupení, ale jejich správný poměr. Optimální poměr mezi vápníkem a fosforem je 1:1.

Mléko obsahuje řadu stopových prvků, mezi které se řadí zejména železo (Fe), zinek (Zn), měď (Cu), které jsou vázány na membrány tukových kuliček. K dalším stopovým prvkům

patří jód (I), mangan (Mn), kobalt (Co), chrom (Cr) a řada dalších. Vliv na složení a množství minerálních látek v mléce mají zejména stádium laktace, zdravotní stav dojnice či vliv savce. Nemění se pouze množství minerálních látek, ale je rozdílný i obsah popelovin, který souvisí s obsahem bílkovin. [ 1,3,4,6].

V mléce se může vyskytovat až 100 různých *enzymů*, ať už nativních, pocházejících z mléka, nebo mikrobiálních, které mohou pocházet z mikroflóry kontaminující, nebo přidávané v průběhu technologického procesu. Vyskytují se obvykle v množství několika mikrogramů až miligramů ve 100 ml mléka. Rozdíly v aktivitě a zastoupení jednotlivých enzymů se liší v mlécích různých savců. Výrazně vyšší aktivita byla zjištěna v mlezivu. Reakce enzymu probíhá tak, že se nejprve v tzv. aktivním místě vytvoří komplex enzym – substrát, který se následně rozpadne na enzym a produkt. Aktivní místo má tvar přizpůsobený substrátu. Čím líp zapadne substrát do aktivního místa, tím větší specifitu k substrátu enzym má. Za substrátovou specifitu zodpovídá apoenzym – bílkovinná část enzymu. Enzymy mohou vykazovat funkční specifitu, tedy schopnost enzymu katalyzovat danou reakci. Za funkční specifitu zodpovídá kofaktor, tedy nízkomolekulární nebílkovinná část. Stanovení enzymů v mléce je využíváno k rozlišení jednotlivých druhů mlék, k odlišení zralého mléka od mleziva, k diagnostice zdravotního stavu dojnice, k hodnocení nebezpečí rozkladu složek mléka působením enzymů a ke kontrole správnosti provedení tepelného ošetření. Význam nejvýznamnějších enzymů v mléce je uveden v Tab. 1 [1,3,4].

*Hormony jsou produkovány žlázami s vnitřní sekrecí. V mléce jsou obsaženy ve velmi nízkých koncentracích. Jsou považovány za regulátory specifických funkcí při vývoji intestinálního a imunitního systému a regulaci funkce mléčných žláz [3,4]. Mléko po nadojení obsahuje asi 6-9 % obj. plynů, z toho převážná část tvoří CO<sub>2</sub>. Jeho koncentrace se ale během stání snižuje v důsledku ustavení rovnováhy mezi mlékem a okolním prostředím. To zapříčiní také snížení titrační kyselosti [7].*



Tab. 1: Význam některých nativních enzymů [3]

Enzym	Reakce	Význam
<b>Lipáza</b>	$\text{TAG} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MK} + \text{parciální acylglycerol} + \text{glycerol}$	nežádoucí chuť a vůně
<b>Proteináza (Plazmin)</b>	hydrolýza peptidové vazby ( $\beta$ -kaseinu)	zrání sýrů, snížení stability UHT produktů během skladování
<b>Kataláza</b>	$2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	indikace mastitidy, podpora oxidace
<b>Lysozym</b>	hydrolýza mukopolysacharidů	antibakteriální efekt
<b>Laktoperoxidáza</b>	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{AH}_2 \rightarrow \text{A} + 2\text{H}_2\text{O}$	indikace pasterace a mastitidy, podpora oxidace, antibakteriální efekt
<b>Alkalická fosfatáza</b>	hydrolýza esterů kyseliny fosforečné	indikace pasterace
<b>Kyselá fosfomonoesteráza</b>	hydrolýza esterů kyseliny fosforečné	snížení termostability mléka, zrání sýrů

## 1.2 Požadavky na jakost mléka pro výrobu sýrů

Základním požadavkem výrobců sýrů je velká výtěžnost. Proto je důležité chemické složení mléka. Pro výtěžnost je důležitý obsah kaseinových bílkovin, které při zpracování zůstávají v sýřenině, neboli ve vzniklém pevném koagulátu [5].

Sýry by měly být vyrobeny ze surovin mikrobiálně kvalitních. Počet a druhové zastoupení MO v mléce kolísá v závislosti na hygieně při zisku mléka, rychlosti zchlazení po nadojení, nebo použitím krmivu. Mikroorganismy mohou způsobovat degradaci složek

mléka, zejména sacharidů, mohou zvyšovat kyselost, což výrazně ovlivní technologické procesy. Na kažení mléka se mohou podílet psychrotrofní, termorezistentní, sportující, a koliformní bakterie [1].

Mezi další parametry, které by měly být sledovány, patří titrační kyselost mléka, která by se měla pohybovat v rozmezí 6,2-7,8 ° SH. Její zvyšování může vyvolat srážení při vyšších teplotách, naopak nízká kyselost může být známkou zánětlivého onemocnění. U mléka pro výrobu sýrů je důležitá sýřitelnost a jeho kysací schopnost. Sýřitelnost lze chápat jako schopnost mléka reagovat se syřidlem a podílet se tím na vzniku gelu, tedy koagulátu požadovaných vlastností. Pro vznik koagulátu je třeba, aby mléko obsahovalo dostatečné množství vápenatých iontů, fosforu, hořčíku a kaseinu. Při nedostatečném zastoupení se může doba sýření výrazně prodloužit a tím může dojít k vzniku tvarohovité konzistence s nepříjemným zápachem. Kysací schopnost, nebo též kvasnost mléka, je podmíněna přítomností látek, které umožňují rozvoj mlékařských kultur. Lze ji definovat jako schopnost mléka umožnit mléčným bakteriím metabolizovat laktózu za vzniku kyseliny mléčné. Kysací schopnost může být ovlivněna především přítomností inhibičních látek, zejména rezidui léčiv, čisticích prostředků, nebo produkty lipolytických změn, či nedostatečným množstvím iontů v mléce, což značně ovlivní především zrání sýrů [1,5,6].

## 2 SÝRY A JEJICH ROZDĚLENÍ

Sýry jsou tradičním výrobkem, který se začal vyrábět z mléka pro jejich delší trvanlivost. Hlavním cílem při výrobě je oddělení části syrovátky ze sraženiny mléka dané tučností. Do syrovátky přechází větší část vody, sérové bílkoviny, laktóza a část solí. Sýrem se dle vyhlášky 77/2003 Sb. rozumí mléčný výrobek vyrobený vysrážením mléčné bílkoviny z mléka působením syřidla, nebo jiných vhodných koagulačních činidel, prokysáním a oddělením podílu syrovátky [5, 7, 8].

### 2.1 Dělení sýrů

Kritéria, dle kterých lze sýry rozdělit jsou uvedeny v Tab. 2. [6,7].

Tab. 2: Dělení sýrů dle různých kritérií

Kritérium	Druhy	Parametry
<b>Druh použitého mléka</b>	kozí, kraví, ovčí, apod.	
<b>Obsah sušiny</b>	extra tvrdé	max. 47 % vody
	tvrdé	47-54,9 % vody
	polotvrdé	55 - 61,9 % vody
	poloměkké	62 - 68 % vody
	měkké	víc než 68 % vody
<b>Způsob srážení mléka</b>	sýry kyselé	
	sýry sladké	srážení syřidlem
	sýry se smíšeným srážením	srážení kyselinou mléčnou a syřidlem
<b>Obsah tuku v sušině</b>	vysokotučné	více než 60 % hm. včetně
	plnotučné	více než 45 % hm. včetně
	polotučné	více než 25 % hm. včetně
	nízkotučné	více než 10 % hm. včetně
	odtučněné	méně než 10 % hm.
<b>Způsob zrání</b>	zrající	aerobně - povrchová mikroflóra anaerobně - v celé hmotě sýra
	nezrající	
<b>Použité suroviny</b>	sýry přírodní	z mléka
	sýry tavené	z přírodních sýrů
	imitace sýrů	rekonstituce jednotlivých složek
	sýrové analogy	mléčný tuk nahrazen rostlinným

### 3 SÝRY EIDAMSKÉHO TYPU

Skupina sýrů eidamského typu pochází z Holandska. Barva je smetanová, až sýrově žlutá. Konzistence sýru je celistvá bez dutinek a ok. Chuť je ve většině případů lahodná, až mírně pikantní. Obsah soli se pohybuje v rozmezí 2-2,5 %. Řadí se do skupiny sýrů zrajících anaerobně – v celé hmotě. Jsou to sýry s nízkodohřívanou sýřeninou, které se vyrábí v různých tvarech, o různých hmotnostech, s různým obsahem tuku v sušině. Řadí se do skupiny sýrů sladkých. Sýrařská zrna se u sýrů eidamského typu dohřívají teplou vodou do teploty 40°C. Zrno se propírá vodou pro snížení množství laktózy. Pro sýry eidamského typu je typická velikost zrna 3-4 mm [5,6].

#### 3.1 Technologie výroby sýrů eidamského typu

##### 3.1.1 Úprava mléka

###### 3.1.1.1 Standardizace, tepelné ošetření

Mléko na výrobu sýrů může být před tepelným ošetřením a standardizací podrobeno filtraci, nebo centrifugaci pro odstranění mechanických nečistot. Následně dochází k tepelnému ošetření. K výrobě tvrdých a polotvrdých sýrů se využívá pasteračních teplot. Během pasterace dochází kvůli obsahu terciárních struktur u sérových bílkovin, zejména  $\beta$  – laktoglobulinu, k denuraci. Výsledkem je vznik komplexu  $\beta$ -laktoglobulinu s  $\kappa$ -kaseinem prostřednictvím disulfidického můstku, což může způsobit zhoršení syřitelnosti mléka, jelikož dojde k zamezení přístupu enzymu chymozinu a tím k zpomalení srážení mléka při výrobě sýrů. Pokud by daná reakce vzniku tohoto komplexu proběhla ve větším rozsahu, docházelo by také k velké vazbě vody, což by ovlivnilo výsledný obsah sušiny sýrů. U sýrů nízkodohřívaných je tedy využívána šetrná pasterace a teploty 74 – 78 °C s výdrží několik sekund.

Každý druh sýra je charakterizován obsahem sušiny, tuku, případně tuku v sušině, proto je nutné standardizovat obsah tuku v mléce v závislosti na obsahu kaseinu, aby bylo dosaženo požadované hodnoty tuku v sušině [1, 9, 10].

###### 3.1.1.2 Přídavek $\text{CaCl}_2$ , $\text{KNO}_3$

Při tepelném ošetření mléka šetrnou pasterací dochází ke změnám v poměru koloidní a rozpustné formy vápníku a zhoršení syřitelnosti mléka. K obnovení syřitelnosti se tedy

přidává rozpustný vápník ve formě chloridu vápenatého. Jeho přídavek obvykle činí 20 g chloridu vápenatého na 100 l mléka [10].

Do mléka se přidává také dusičnan draselný, aby se zamezilo duření sýrů, zejména působením koliformních bakterií a bakterií máselného kvašení. Přídavek činí obvykle 15 g na 100 kg mléka. Jeho vysoké dávky mohou brzdit činnost i zákysových kultur, po redukci na dusitany mohou reagovat například s tyrozinem za vzniku barevných vad. Proto se jejich použití omezuje [9].

### 3.1.1.3 Přídavek zákysových kultur

Před zasýřením se přidávají čisté mlékařské kultury. Jejich úkolem je především snížení kyselosti, což ovlivní rychlost sýření i kvalitu sýřeniny [10]. Mezi funkce kultur se tedy řadí fermentace laktózy na kyselinu mléčnou, čímž je ovlivněn nejen proces sýření, ale také zpracování sýřeniny. Uplatňována je také jejich lipolytická a proteolytická aktivita v průběhu zrání, mají tedy vliv nejen na konzistenci a texturu sýrů, ale také na sensorické vlastnosti [5]. Mezi primární kultury zajišťující prokysání mléka a uvolňují enzymy, patří především bakterie rodů *Lactococcus*, *Lactobacillus* a *Streptococcus*. U tvrdých sýrů mají využití i sekundární kultury, z nichž se uplatňuje především *Lbc .helveticus* a *Lbc. casei* [7]. Při skladování pasterovaného, standardizovaného mléka se osvědčilo předzrání mezofilní kulturou, ve většině případů kulturou, která je použita pro vlastní výrobu. Mléko se vytemperuje na 5-12°C, zaočkuje se 0,01-0,05 % kultury, promíchá se a nechá se do druhého dne předzrát. Tento krok slouží k obnovení fyzikálně chemických a mikrobiálních vlastností a dojde ke zlepšení syřitelnosti. [5]

### 3.1.2 Srážení mléka

Pod pojmem sýření si lze představit přídavek vypočteného množství syřidla do upraveného mléka, jeho promíchání a ponechání v klidu do vzniku bílkovinného gelu – sýřeniny. Mléko se sýří v sýrařské vaně, nebo v sýrařském kotli [6]. Syřidlo se přidává se formě zředěného roztoku, dávka se zpravidla pohybuje v rozmezí 30 ml na 100 kg mléka [5]. Využívají se zejména chymozin získaný z telecích žaludků, v důsledku jejich nedostatku jsou nahrazována jinými typy proteináz produkovanými mikroorganismy přirozeně, nebo geneticky modifikovanými mikroorganismy (*Escherichia coli*, *Kluyveromyces lactis* nebo *Aspergillus niger var. awamori* ). Základním požadavkem na syřidlo je úzká substrátová specifita. Chymosin je specifický pro srážení mléka a obecně se vyznačuje nízkou

proteolytickou aktivitou. Mezi faktory ovlivňující sýření patří zejména teplota, kde optimum se pohybuje v rozmezí 30-33 °C. Dalším faktorem je koncentrace syřidlových enzymů a kyselost mléka. Při sýření by mělo být pH 6,2-6,5, se zvyšující se kyselostí by docházelo k rychlejšímu uvolňování syrovátky, což by bylo žádoucí pro vysokou sušinu sýra [1, 10, 11].

Sýření, nebo též srážení, je založeno na štěpení peptidové vazby mezi 105. a 106. aminokyselinou (Phe-Met)  $\kappa$ -kaseinu za vzniku hydrofilního  $\kappa$ -kaseinmakropeptidu, který obsahuje sacharidickou složku a odchází do syrovátky, a para- $\kappa$ -kaseinu, který je hydrofobní a zůstává v sýřenině. Odštěpením  $\kappa$  – kaseinmakropeptidu ztrácí obal kaseinových micel stabilizační vrstvu před vysrážením. Tento proces je označován jako primární fáze srážení. V sekundární fázi dochází k spojování destabilizovaných kaseinových micel prostřednictvím vápenatých iontů, které se váží přes fosfoserinové zbytky jednotlivých kaseinových frakcí. Postupně dochází k spojování do trojrozměrné struktury – sýřeniny [1].

### 3.1.3 Zpracování vzniklé sýřeniny

Hlavním úkolem zpracování sýřeniny je vytvoření sýrašského zrna požadované velikosti a odtok přebytečné vody, respektive syrovátky. Během zpracování odtéká voda volná, která odtéká samovolně při zpracování, voda kapilární, která je ze zrna vylučována při smršťování neboli synerezi a voda hydratační, která je vázána na částice kaseinu [6]. U tvrdých sýrů zpracování vyžaduje následující operace – krájení, drobení, míchání, odpouštění syrovátky, dohřívání a dosoušení.

Vzniklá sýřenina se tedy zpracovává tak, že se po dosažení požadované tuhosti sýřenina prokrojí. Krájení probíhá asi 15 minut bez odpočinku a vede k vzniku sýrového zrna o velikosti 3-15 mm. Po prokrojení se vzniklé zrno v syrovátce míchá, a to velmi šetrně, aby nedošlo k rozbití zrn a nedocházelo k vzniku sýrašského prachu – jemné částice vzniklé rozbitím sýrašských zrn. Zrno je v této fázi velmi křehké. Současně musí být zrno mícháno tak, aby nedocházelo k sedimentaci a slepování zrna [5,10].

U polotvrdých a tvrdých sýrů dál dochází k praní zrna, které vede k snížení obsahu laktózy a současně se sýřenina dohřívá teplou vodou, která se k promývání používá. Dohřívání je proces, kdy je zrno ponecháno v teplé vodě a přihřívá se z teploty sýření na teplotu dosoušení. Při dosoušení dochází k míchání sýřeniny, které také podporuje proces synereze. Voda k ohřevu by měla mít teplotu přibližně 50-60 °C. Nejprve dojde

k odpuštění části syrovátky asi 35 %, poté se přilije 50–80 % jejího objemu vody. U sýrů s nízkodohřivanou sýřeninou se dle obsahu tuku v sušině dohřívá na teploty v rozmezí 36 – 40 °C. Teploty během dosoušení je třeba hlídat, protože jsou schopny inhibovat růst většiny mikroorganismů, což v případě starterových kultur může vést k zhoršení synereze důsledku zpomaleného okyselování. Kromě synereze je účelem dosoušení také podpora prokysání sýrů. Díky snížené koncentraci laktózy dojde k snížení pH na 5,2-5,4. Pokud by nebylo zrno propíráno vodou a tím nedošlo k snížení obsahu laktózy, došlo by k poklesu pH až k hodnotám 4,6-4,8. Dohřívání je možné i mezipláštěm výrobniku, nebo kombinací obou. Doba dohřívání je závislá na požadované sušině a průběhu prokysání [9, 10, 12, 13, 14].

### **3.1.4 Formování, lisování, solení sýrů a balení**

#### **3.1.4.1 Formování a lisování**

Formování začíná oddělením syrovátky od sýrového zrna. Způsob formování je závislý na typu a tvaru sýra. Platí, že při vytužení musí být zrno co nejrychleji zpracováno, udává se čas do deseti minut. Formování je prováděno ve speciálních tvořítkách. Tato tvořítka mohou být kovová, plastová či s kovovou výztuží, a mohou být používány různé tvary i velikosti. Plášť tvořítek je perforovaný pro snadný odtok syrovátky. Do tvořítek se sýřenina nalévá spolu se syrovátkou, nebo se po odtoku syrovátky sýřenina do formiček plní. Samovolný odtok syrovátky se používá u sýrů měkkých [7, 15].

U sýrů tvrdých a polotvrdých je formování spjata s předlisovací vanou, do které je sýrařské zrno napuštěno pod vrstvou syrovátky. Víkem dojde mírným tlakem k předlisování a tím k odtoku podílu syrovátky. Plát sýřeniny je rozkrájen a dopraven do nerezových forem, v kterých jsou poté lisovány. Je důležité, aby při formování nedošlo k provzdušnění sýřeniny, to by mohlo vést k tomu, že se sýřenina nespojí a vytvoří se v ní nežádoucí dutinky, v kterých by se hromadila syrovátka, v ní by mohlo docházet k produkci CO<sub>2</sub> kyselými kulturami a následné tvorbě ok [5,7].

Lisování, které se využívá zejména u tvrdých a polotvrdých sýrů, má několik funkcí. Nejen, že umožňuje rychlejší odtok syrovátky, ale udává sýrům finální tvar, zajišťuje texturu a podílí se na vzniku povrchové kůrky. Počáteční tlak se volí nižší, poté se zvyšuje. Při volbě vysokého tlaku hned v počátku lisování by došlo k vytvoření kůrky na povrchu. V důsledku toho by došlo k zamezení odtoku syrovátky a nedošlo by tedy k dosažení požadované sušiny. U předlisování se volí tlak 0,002MPa, u samotného lisování tlak 0,005-0,04 MPa. Doba lisování

se uvádí 60 minut, je ale ovlivněna typem sýra. Během lisování dochází také k prokysávání sýrů. Pokud není doba lisování dostačující, je nutné pro prokysání potřebný čas zajistit [5].

#### 3.1.4.2 Solení

Solení sýrů je nezbytná operace všech druhů sýrů. Solení nejenže zpevňuje povrch sýra, ale reguluje i obsah vody v těstě sýra, což souvisí s konzistencí těsta, ale i s potlačením činnosti nežádoucí mikroflóry. Zvýšením osmotického tlaku mezi zrny a působením na bílkoviny se uvolňuje více syrovátky. Dále může ovlivnit průběh kysání a zrání [10, 12, 16, 17].

Mezi základní způsoby solení patří:

1. *Solení do mléka* – sůl se do mléka aplikuje již před přidáním syřidla. Výhodou tohoto způsobu je rovnoměrné rozptýlení soli v celé hmotě sýra už během výroby. Nevýhodou solení do mléka je problematické srážení slanečného mléka, špatná synerese a velké ztráty soli do syrovátky s následným problematickým využitím syrovátky.
2. *Solení do těsta* – jde o přidání a vmíchání suché soli do rozkrájené sýřeniny na konci zpracování před formováním. Tímto způsobem dochází k rychlému rovnoměrnému prosolení sýra v krátké době, 10-20 minut.
3. *Solení na sucho* – se provádí po formování sýrů roztíráním suché soli, nebo kaše na povrch. Několikrát se opakuje.
4. *Solení v solné lázni* – nejvyžívanější způsob solení, kdy koncentrace solné lázně se pohybuje v rozmezí 18-22 %, její pH je u tvrdých sýrů 5,2. Teplota solné lázně by se měla pohybovat v rozmezí 10-14 °C, doba solení je závislá na velikosti a tvaru sýra a na požadovaném obsahu soli. Sýry pro solení v solné lázni by měly být dobře prokysané a mít pH přibližně 5,4, pokud by byla aktivní kyselost větší, došlo by k nižšímu stupni absorpce soli, sýry by byly měkké, zatímco u sýrů s nízkým pH by byla konzistence naopak příliš tuhá a křehká [5, 18].



### 3.1.5 Zrání

Čerstvě vyrobená sraženina má neurčité aroma a texturu. Zrání je proces, při kterém textura, chuť, vůně a vzhled charakteristická pro daný sýr vzniká. Sýr je po celou dobu výroby, zrání a skladování mikrobiologicky a biochemicky dynamickým systémem, u kterého je třeba průběh změn regulovat s cílem vyrobit produkt požadovaných vlastností. Jakékoliv změny ve složení mléka, odchylky ve výrobním procesu a lišící se podmínky zrání mohou mít významný vliv na vlastnosti a kvalitu vyrobených sýrů. Většina sýrů je po výrobě uložena do zracích sklepů, kde po různě dlouhou dobu zrají. [10, 19, 20].

Zrání sýrů je děj, který zahrnuje biochemické pochody, mezi které se řadí

1. Metabolizmus laktózy a kyseliny mléčné
2. Metabolizmus citrátu
3. Lipolýza a metabolizmus volných MK
4. Proteolýza a metabolizmus AMK

Tyto biochemické procesy lze rozdělit do tří fází. V *první fázi* vzniká působením BMK z laktózy kyselina mléčná, která reaguje s uvolněným vápníkem z kaseinu a vzniká mléčnan vápenatý. Rychlost fermentace laktózy je závislá na obsahu soli. Z kaseinu se vytvoří monokalciumposeinát, který ve vodě a v roztoku soli bobtná. Vzniklá vápenatá sůl se podílí na slepování sýřeniny a vzniku celistvé hmoty sýra. Kyselina mléčná se podílí také na přeměně anorganických solí na rozpustné, které ovlivňují výslednou kyselost sýrů. Kyselina mléčná je prekurzorem pro řadu reakcí v průběhu zrání. Při *druhé fázi* dochází k jejímu rozkladu na kyselinu propionovou, octovou, oxid uhličitý, vodu, případně další sloučeniny. Oxid uhličitý se podílí na tvorbě ok. Poslední, *třetí fáze* zahrnuje proteolýzu bílkovin, během které dochází k jejich štěpení na vysokomolekulární peptidy, a proces dále pokračuje na nízkomolekulární peptidy, až na dipeptidy a aminokyseliny. AMK mohou být degradovány až na sirovodík, amoniak, kyselinu máselnou, biogenní aminy a další. Proteolýza je katalyzována proteinázami pocházejícími z 5 zdrojů, mezi které patří syřidlo – nejčastěji chymozin, mléko – zejména plazmin, nebo proteinázy somatických buněk, primární a sekundární zákysové kultury a nezákysové bakterie mléčného kvašení (NSLAB). Zrání je charakterizováno hloubkou a rozsahem zrání, kde hloubkou zrání rozumíme podíl aminokyselin a produktů jejich rozkladu k celkovému dusíku. Rozsah zrání je pak chápán jako podíl ve vodě rozpustných dusíkatých látek [5, 7, 13, 15, 20, 21, 22 ].

### 3.1.5.1 *Metabolismus laktózy*

Metabolismus laktózy na kyselinu mléčnou je základním faktorem výroby sýrů. Laktóza z mléka odchází do syrovátky, buď jako laktóza nebo kyselina mléčná. Na konci výroby zůstává v sýřenině asi 0,8-1 % laktózy. Nejintenzivnější rozklad laktózy nastává ještě v době odkapávání a lisování a je dokončeno v prvních dnech zrání v závislosti na teplotě. Rychlost a rozsah okyselení závisí na výchozí textuře a pH sýřeniny. Faktor pH ovlivňuje texturu sýřeniny a má vliv na rozpustnost kaseinů. Při vyšším pH mají sýry jemnější strukturu, než sýry s nižším pH. Nedochozí k ovlivnění pouze textury, ale i chuti sýrů a aktivity enzymů v průběhu zrání. Její rozklad je důležitý zejména pro zamezení vývoje nežádoucí sekundární mikroflóry [9, 12, 20, 23, 24].

### 3.1.5.2 *Metabolismus kyseliny mléčné*

Kyselina mléčná je významný prekurzor pro řadu reakcí v průběhu zrání sýrů a podílí se tak na vzniku jejich chuti. Metabolizmem laktózy působením ČMK nebo NSLAB, vzniká D-kyselina mléčná, která může vznikat i racemizací L-kyseliny mléčné. L-kyselina mléčná podléhá racemizaci za vzniku DL-kyseliny mléčné, která je spojována s vývojem krystalů pentahydrátu mléčnanu vápenatého, které vznikají na povrchu tvrdých sýrů. K racemizaci může u sýrů holandského typu docházet zejména působením *pediokoků*, nebo *laktobacilů*. Další reakcí kyseliny mléčné je její oxidace, při které dochází k vzniku kyseliny octové, mravenčí, etanolu, nebo CO<sub>2</sub>. Z důvodu nedostatku kyslíku u zabalených sýrů k oxidaci dochází jen v omezené míře.

Kyselina mléčná může být působením bakterií rodu *Clostridium* anaerobním metabolizmem rozložena na produkty, které mohou u sýrů holandského typu způsobovat trhliny a nepříjemnou chuť. Tato vada je označována jako pozdní duření sýrů. Působením těchto bakterií je kyselina mléčná metabolizovaná na kyselinu máselnou, CO<sub>2</sub> a vodík [12, 20, 24, 25].

### 3.1.5.3 *Metabolismus citrátu*

Mléko obsahuje relativně malou koncentraci citrátu, jehož větší část odchází do syrovátky při zpracování sýřeniny a v sýrařském zrnu je zachyceno jen malé množství citrátu. Citrát je metabolizován pomocí citrát-pozitivních kmenů *laktokoků*, které se podílejí na vzniku chuťových složek sýrů. Mezi tyto kmeny lze zařadit zejména *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* var. *diacetylactis*, nebo kmeny *Leuconostoc spp.*. Mezi produkty metabolismu citrátu lze

zařadit CO<sub>2</sub>, který tvoří u sýrů malá oka u sýrů holandského typu a acetaldehyd přispívající k chuti těchto sýrů. Citrát může být metabolizován pomocí NSLAB na butanol, kyselinu octovou, nebo diacetyl [13, 14, 20, 24, 26].

#### 3.1.5.4 Lipolýza a metabolismus volných MK

Degradace lipidů v potravinách s vysokým obsahem tuku probíhá oxidativními nebo hydrolytickými drahami. Oxidace lipidů je u sýrů omezena kvůli nízkému oxidačně-redukčnímu potenciálu a nízkému obsahu polynenasycených mastných kyselin v mléčném tuku. Proto jsou lipidy v průběhu zrání degradovány hydrolytickými drahami. TAG jsou hydrolyzovány na glycerol a volné mastné kyseliny, mono nebo diacylglyceroly.

Lipolytické enzymy mohou být klasifikovány jako esterázy nebo lipázy. Lipázy mohou být endogenní, pocházející přímo z mléka – lipoproteinová lipáza (LPL), nebo mikrobiální lipázy - *Lactococcus* spp. a *Lactobacillus* spp.

LPL je spojena s kaseinovými micelami a má takovou aktivitu, že může způsobit uvolnění takového množství mastných kyselin, které může být příčinou vzniku žluklé chuti. Tuk je však proti činnosti enzymů chráněn membránami tukových kuliček, proto by k rozsáhlé lipolýze došlo v případě, že by došlo k porušení této membrány. LPL přechází do mléka z krve dojnice a lze ji inaktivovat pasteračním záhřevem. Význam tohoto enzymu je tedy přisuzován zejména při výrobě sýrů ze syrového mléka. Při výrobě sýrů s nízkodohřivanou sýřeninou z pasterovaného mléka jsou hlavními činiteli lipázy a esterázy laktokoků a laktobacilů, které mohou v případě delší doby zrání vykazovat vyšší lipolytickou aktivitu [13, 20, 24, 27, 28].

Volné mastné kyseliny vyskytující se v sýrech se podílí na vzniku aroma sýrů. Mastné kyseliny s krátkým i delším řetězcem podléhají metabolismu, za vzniku celé řady sensoricky aktivních látek, zejména esterů, které vznikají reakcemi mastných kyselin s alkoholem, který v sýrech vzniká v průběhu zrání například při fermentaci kyseliny mléčné, nebo při katabolizmu aminokyselin. Dalšími významnými složkami jsou zejména laktony, které vznikají intramolekulární esterifikací hydroxyderivátů mastných kyselin. Dalšími složkami, které mohou vznikat metabolismem volných mastných kyselin, jsou metylketony, alkany a sekundární alkoholy [12, 20, 24].

### 3.1.5.5 *Proteolýza a metabolismus AMK*

Nejdůležitějším biochemickým dějem probíhajícím při zrání sýrů je hydrolyza kaseinových bílkovin na významné množství velkých či středně velkých peptidů, které jsou dále hydrolyzovány na kratší peptidy, či aminokyseliny. Pomocí těchto produktů se proteolýza podílí na vzniku chuti sýrů. Přispívá také ale k zjemnění textury sýrů v průběhu zrání, což je zapříčiněno právě hydrolyzou kaseinové matrice a snížením vodní aktivity syřeniny. Proteolýza může být katalyzována enzymy z 5 zdrojů. Mezi nejvýznamnější patří syřidlo, které po odtoku syrovátky zůstane v syřenině. Nejčastěji je jím chymozin. Dalšími zástupci jsou enzymy mléka, zejména plazmin a proteinázy somatických buněk. Do této řady enzymů řadí také primární a sekundární zákysové kultury a s neposlední řadě nezákysové bakterie mléčného kvašení [13, 20, 24, 29, 30].

Významným syřidlem, jehož část zůstává syřenině je chymozin, který štěpí  $\beta$ -kasein za vzniku krátkých hydrofobních peptidů, které mohou být hořké. Primární aktivita chymozinu na  $\alpha_{s1}$ -kasein je zaměřena na vazbu mezi Phe<sub>23</sub>-Phe<sub>24</sub>, která má za následek produkci krátkých peptidů a zapříčiňuje počáteční měknutí textury sýrů.  $\alpha_{s2}$ -kasein je vůči aktivitě chymozinu odolnější, než  $\alpha_{s1}$ -kasein a jeho štěpení je omezeno pouze na hydrofobní oblasti molekuly. Přestože para- $\kappa$ -kasein obsahuje několik míst, které by mohl chymozin štěpit, tak doposud nebylo zjištěno, že by byl hydrolyzován, což může být způsobeno vysoce uspořádanou sekundární strukturou  $\kappa$ -kaseinu.

Základní nativní proteinázou mléka je plazmin, který urychluje proteolýzu a jehož aktivita je optimální v alkalickém prostředí při pH 7,5 a teplotě 37 °C. Plazmin je vylučován do krve jako negativní plazminogen, který musí být aktivován aktivátory plazminu. Plazminové inhibitory a inhibitory aktivátorů plazminogenu odcházejí do syrovátky, kdežto plazmin, plazminogen a aktivátory plazminogenu jsou spojovány s kaseinovými micelami. Plazmin degraduje kaseiny v pořadí:  $\beta$ -kasein  $\approx$   $\alpha_{s1}$ -kasein  $>$   $\alpha_{s2}$  kasein.  $\kappa$ -kasein je odolný. Působením plazminu dochází k vzniku středně velkých až velkých peptidů, které se nepodílí na vzniku typické chuti, ale mohou být dále hydrolyzovány za vzniku aminokyselin, které jsou důležitými prekurzory chuťových látek [12, 13, 20, 24, 26, 31].

Bakterie mléčného kvašení mají vysoký proteolytický aparát. Mají proteinázy asociované s buněčnou stěnou, během růstu buněk hydrolyzují peptidy na kratší peptidy. Mají také intracelulární peptidázy, které štěpí peptidy na volné AMK. Ty ale působí až po rozpadu buněk a jejich uvolnění do hmoty sýra. Kaseiny obsahují ve své struktuře velké množství

prolinu, proto je potřeba k jejich štěpení speciálních prolinových peptidáz BMK. Z NSLAB se na zrání podílí především heterofermentativní laktobacily s podobnými systémy jako laktokoky [20].

Aminokyseliny jsou konečnými produkty proteolýzy a přispívají k chuti sýrů. Některé jsou sladké, kyselé a některé hořké. Mezi sladké patří zejména lyzin, alanin, prolin, serin, nebo treonin. Z kyselých lze jmenovat například histidin, nebo glutamin a z hořkých například valin, tryptofan, nebo arginin. Některé mají funkci prekurzorů pro vznik řady těkavých chuťových složek katabolickými reakcemi. Aminokyseliny podléhají transaminaci, deaminaci, a dekarboxylaci [20, 26].

Katabolické reakce jsou nejprve uskutečňovány pomocí aminotransferáz, které svou činností přesunou aminoskupinu na vhodný akceptor. Touto reakcí vznikají  $\alpha$ -ketokyseliny, které i přesto, že jsou stabilní, podléhají dalším reakcím za vzniku sensoricky aktivních látek.  $\alpha$ -ketokyseliny mohou být redukovány na hydroxykyseliny. AMK mohou být dále působením lyáz štěpeny na aromatické sloučeniny, zejména sirné sloučeniny a metionin [12, 20, 32].

$\alpha$ -ketokyseliny mohou vznikat spolu s amoniakem deaminací AMK, která je uskutečňována působením dehydrogenáz, které využívají  $\text{NAD}^+$  jako akceptor elektronu [33].

Dekarboxylací dochází k odstranění karboxylové skupiny za vzniku biogenních aminů, které jsou toxickými zplodinami metabolismu AMK. Dekarboxylace AMK se podílí na vzniku aminosloučenin, které vykazují nepříjemný fyziologický účinek. Dekarboxylací tyrozinu, tryptofanu a histidinu vznikají tyramin, tryptamin a histamin [20, 32, 33].

## 4 TEXTURNÍ VLASTNOSTI POTRAVIN

Texturní vlastnosti jsou mechanické, geometrické a povrchové vlastnosti výrobku, vnímatelné prostřednictvím mechanických, dotykových, případně zrakových a sluchových receptorů [34]. Jiná definice textury říká, že textura je způsob uspořádání strukturních komponent potravin v mikro- a makrostruktuře a vnější projevy této struktury.

1. **Mechanické vlastnosti** - reakce potravin na silové působení.
2. **Geometrické vlastnosti** - zejména velikost a tvar částic, orientaci částic.
3. **Povrchové vlastnosti** - vjemy vyvolané vlhkostí potravin, příp. obsahem tuku.

Textura je dána především obsahem vody, tuku, polysacharidů a bílkovin. Dochází-li k jejich změně, ať už vlivem mikrobiálního rozkladu, chemických reakcí, nebo technologickým opracováním, dochází také k změně texturních vlastností [35, 36, 37].

### 4.1 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti potravin jsou ukazatelem jejich užité kvality. Představují významnou část vjemu, podle něhož je vyhodnocována spotřebitelská přijatelnost potraviny [36]. Mechanické vlastnosti zahrnují ty veličiny, které charakterizují chování materiálu v jednotlivých oblastech deformace. Mechanické chování charakterizuje vztah mezi vnější silou a odezvou materiálu na ni. Při tomto působení dochází k deformacím [36, 38, 39].

#### 4.1.1 Deformace

Působením vnějších sil na těleso dochází k deformaci, která se projevuje zejména změnou jeho tvaru, rozměrů či úhlu vztahujícího se na jednotku délky [40].

Rozdělení:

- *vrátne* – těleso po odlehčení získá původní tvar i rozměr. Rozeznáváme dva druhy vratné deformace:

Pružná (elastická) deformace představuje okamžitou odezvu materiálu na zatížení.

U izotropních materiálů je vztah mezi napětím a deformací popsán pomocí Hookova zákona, který má v případě jednoosého namáhání tvar

$$\sigma = E\varepsilon,$$

kde  $\sigma$  je napětí,  $E$  je Youngův modul (materiálová konstanta) a  $\varepsilon$  je deformace. Pružná deformace je popisována pomocí *Youngova modulu pružnosti* a *Poissonovy konstanty*, která udává poměr mezi podélnou a příčnou deformací.

Vazkopružná (viskoelastická) deformace je časově zpožděná a napětí je závislé na rychlosti deformace. Vazkopružné deformaci odpovídá model Newtonovy kapaliny

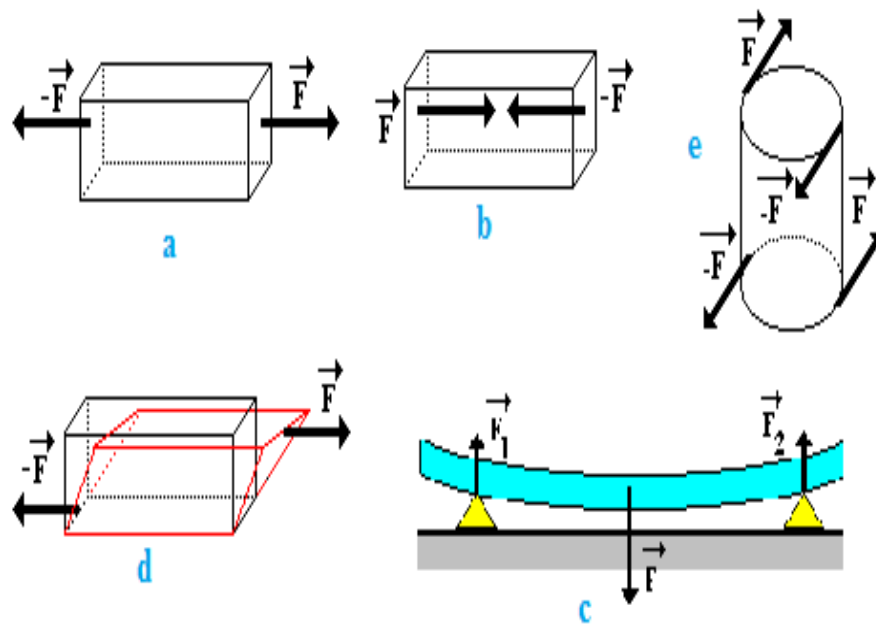
$$\sigma = \eta \, d\varepsilon/dt,$$

kde  $\eta$  je dynamická viskozita.

- *nevratné* – lze uvést trhliny, či dutiny [38, 40].

Rozdělení dle působení vnějších sil:

- *Deformace tahem* – na těleso působí dvě stejně velké síly ve směru ven z tělesa, které leží na téže vektorové přímce (Obr. 1a).
- *Deformace tlakem* – na těleso působí dvě síly, ale ve směru do tělesa (Obr. 1b).
- *Deformace ohybem* - na těleso působí síla kolmo k jejich podélné ose. Dolní vrstvy tělesa jsou deformovány tahem, horní vrstvy tlakem a střední vrstva zachovává svou délku (Obr. 1c).
- *Deformace smykem* - na obě dvě podstavy tělesa působí tečné opačně orientované síly v jejich rovinách. Síly způsobují vzájemné posunutí jednotlivých vrstev tělesa, přičemž se nemění jejich vzdálenost (Obr. 1d).
- *Deformace kroucením* - je způsobena dvěma silovými dvojicemi, jejichž momenty jsou stejně velké, ale mají opačný směr (Obr. 1e) [41].



Obr. 1: Typy deformací dle působení vnějších sil [41]

Pomocí mechanických vlastností lze stanovit i podmínky přechodu mezi vratnou a nevratnou deformací. [36, 38, 39].

#### 4.1.2 Primární texturní vlastnosti potravin

**Tvrдость** je mechanická texturní vlastnost, která udává sílu potřebnou k deformaci výrobku. U tuhých látek je vnímána jako stlačení produktu mezi zuby, u látek polotuhých je chápána jako stlačení mezi patrem a jazykem. Dle tvrdosti lze výrobky charakterizovat jako měkké, tuhé či tvrdé.

**Soudržnost** vyjadřuje sílu vnitřních vazeb, které tvoří texturu výrobku. Lze ji charakterizovat také jako vlastnost vztahující se k míře deformace materiálu, než dojde k rozlomení.

**Viskozita** je mechanická texturní vlastnost vztahující se k odporu toku. Odpovídá potřebné síle k rozliti na podložku [42, 37].

**Pružnost** se rozumí mechanická texturní vlastnost vztahující se k rychlosti znovunabytí tvaru po odstranění deformující síly a ke stupni, do něhož se deformovaná látka vrací do svého nedeformovaného stavu po odstranění deformující síly. Síla způsobující deformaci



tělesa vztažená na jednotku plochy se nazývá napětí. Výrobek z hlediska pružnosti může být plastický, polopružný, nebo elastický.

**Přilnavost, lepivost** je charakterizována jako mechanická texturní vlastnost, která se vztahuje k síle potřebné k odstranění ulpívající látky v ústech nebo k podkladu. Z fyzikálního hlediska ji lze brát jako práci potřebnou pro překonání přitažlivých sil mezi povrchem potraviny a povrchem dalšího materiálu, se kterým přichází potravina do styku. [42, 37, 43].

#### 4.1.3 Sekundární texturní vlastnosti potravin

**Žvýkatelnost** je z fyzikálního hlediska označována jako energie potřebná ke žvýkání pevné potraviny na stav vhodný k polknutí. Žvýkatelnost je pojem, který spojuje tři základní mechanické vlastnosti – soudržnost, tvrdost a pružnost.

**Gumovitost** nebo též **rozpadavost** lze chápat jako energii potřebnou k rozrušení polotuhých potravin na stav vhodný k polknutí. Je to mechanická texturní vlastnost vztahující se k soudržnosti křehkých výrobků, výsledek nízkého stupně soudržnosti.

**Křehkost, lámavost**, je mechanická texturní vlastnost vztahující se k soudržnosti a tvrdosti a k síle potřebné k rozlomení výrobku na drobky, nebo kousky. Je výsledkem vysoké tvrdosti a nízké soudržnosti. [42, 37, 43, 44].

## 4.2 Geometrické vlastnosti

Geometrické vlastnosti jsou vnímány zrakem případně v ústech a vztahují se především na rozměr, tvar a uspořádání výrobku.

**Zrnitost** je vjem na velikost a tvar částic ve výrobku. V souvislosti se zrnitostí můžeme potravinu charakterizovat jako *hladkou*, kdy se zrnitost nevyskytuje, *písčitou*, kterou lze chápat jako nízkou úroveň a *zrnitou*, tedy střední úroveň nebo vysokou úroveň, *hrubou*. **Uspořádání částic** je vlastnost vztahující se k vnímání tvaru a orientaci částic. Z jejího hlediska lze potravinu charakterizovat jako vláknitou, krystalickou, pufovanou, provzdušněnou nebo buněčnou [42].

## 4.3 Povrchové vlastnosti

Povrchové vlastnosti jsou ty, které se vztahují na počítky vyvolané obsahem vlhkosti, nebo tuku.

*Vlhkost* je vlastnost charakterizující vnímání vody absorbované, nebo uvolněné výrobkem. Mezi přídatná jména používající v souvislosti této vlastnosti patří: suchý (sušenka), vlhký, mokrá, šťavnatý, nebo vodnatý (meloun).

*Tučnost* je vlastnost, která patří mezi povrchové texturní vlastnosti potravin, dle které lze potravinu charakterizovat jako olejnatou (vjem prosakujícího oleje), mastnou (vjem uvolněného oleje z hranolek), tučnou neboli mazlavou (vjem vysokého podílu tuku bez uvolňování) [42].

## 5 METODY MĚŘENÍ TEXTURNÍCH VLASTNOSTÍ

**1. Senzorická analýza** měří, analyzuje, interpretuje reakce, neboli vjemy na vlastnosti potravin, které lze postřehnout prostřednictvím lidských smyslů, tedy chutí, čichem, zrakem, hmatem a sluchem. Vlastnosti potravin lze stanovit pomocí fyzikálních či chemických metod a nelze je s vjemy srovnávat. Měření musí být objektivní, přesné a reprodukovatelné. Hodnotitelé musí být školení a s dostatkem zkušeností. Je nutné dodržovat přesné zásady pro přípravu a odběr vzorků. Vzorky se většinou podávají bez jakýchkoliv úprav, po porcování a při pokojové teplotě. Sýry je nutné pro sensorické hodnocení vytemperovat na 10 - 15,5 °C v celém jeho objemu. Musí být nakrájeny, v případě velkých bochníků se používá speciální sýrařský vrták [37, 42, 43, 44].

**2. Instrumentální analýza** je využívána k měření mechanických podnětů. Analýza textury potravin instrumentálními metodami je založena na napodobení podmínek, kterým je potravina vystavena v ústech. Má tedy destruktivní charakter, protože síla přesahuje hranice pevnosti testované potraviny, která se v procesu poruší. Mezi výhody patří zejména jednoduché provedení testů, rychlost a reprodukovatelnost a jednoduché vyhodnocení testů. Základní nevýhodou je nutná kalibrace a nutnosti stanovení více parametrů pro posouzení sensorické jakosti [48].

*Základní (fundamentální) metody* stanovují dobře definované reologické veličiny, jako jsou zejména modul pružnosti, nebo viskozita. Nejsou u nich přesně definované parametry vzorku, plocha, ani směr působení síly. Nevýhodou je, že jsou pomalé a neúplně charakterizují texturu [49, 50, 51].

*Imitativní testy* - při imitativních testech dochází k měření mechanických veličin za napodobujících podmínek namáhání vzorku v ústech. Pro tento typ testů stačí velmi malý vzorek [49].

*Empirické testy* jsou využívány k měření vždy jen jedné mechanické veličiny, např. síla, rozměr nebo rychlost deformace. Jsou to testy, které korelují se sensorickou analýzou [49, 50, 51].

Existují i nedestruktivní metody, u kterých je nutné, aby vzorek nebyl ničen v průběhu měření, proto musí být velikost síly taková, aby nepřekročila hranici, která by způsobila trvalou změnu potraviny. Využívají se pro měření mechanických vlastností potravin při zjišťování změn na strukturní úrovni [49, 50, 51, 52].

## 5.1 Tahová zkouška

Tahová zkouška je nejdůležitější metodou hodnotící pevnost materiálu. Dochází k namáhání materiálu silou tak, že dojde k jeho porušení. Jelikož účinek síly závisí na rozměrech tělesa, vztahuje se tato síla na jednotku plochy, ve většině případů se tedy vyjadřuje jako *napětí*. Jestliže působíme silou  $F$  na průřez tělesa  $S$ , pak osově napětí působící v průřezu zkušební tělesa je  $\sigma = \frac{F}{S}$ . Jelikož v průběhu zkoušky tahem dochází

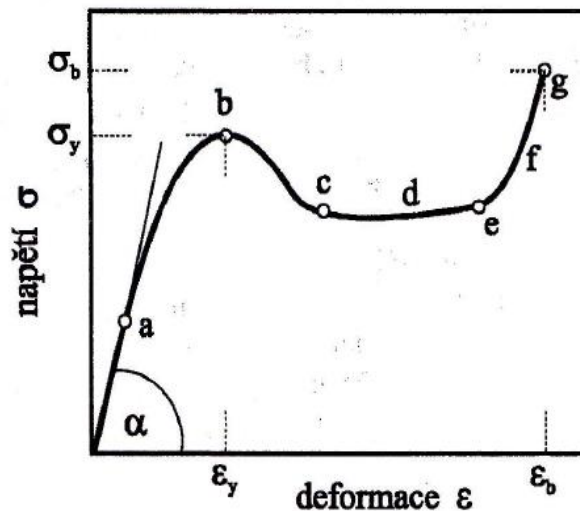
k změně průřezu, vyjadřuje se osově napětí jako napětí smluvní  $\sigma = \frac{F}{S_0}$ . Smluvní napětí je

vyjádřeno jako síla vztažená na počáteční průřez  $S_0$  zkušební tělesa [39, 53].

Při dalším působení síly dochází k přetržení.

Tahová zkouška pro vztah *napětí – deformace* je ve většině případů uspořádána tak, že trhací stroj deformuje těleso konstantní rychlostí. Stroj má dvě čelisti, mezi které je upnutý měřený materiál. Jedna upínací čelist se posouvá stálou rychlostí a snímá se průběh síly a závislosti na čase – tedy deformaci.

Při tahové zkoušce získáme charakteristické závislosti napětí a deformace (Obr. 2). [39].

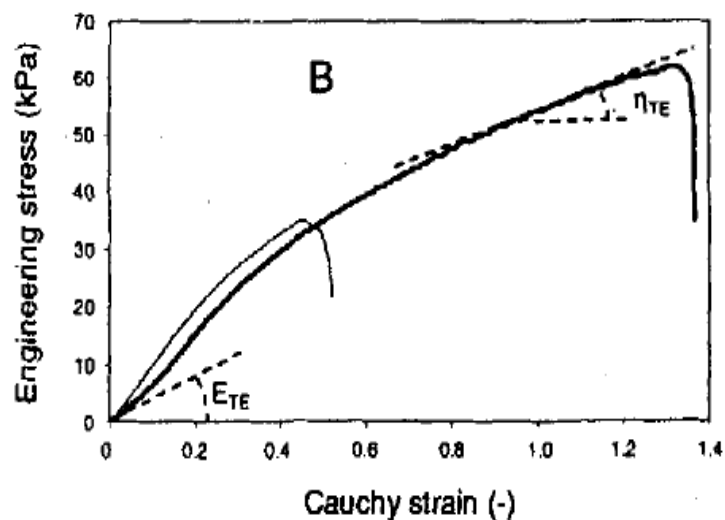


Obr. 2: Diagram tahové zkoušky polymerního materiálu [39]

Bod **a** znázorňuje mez úměrnosti v tahu, což je mezní napětí, do kterého je deformace úměrná napětí. Až do meze úměrnosti je diagram tahové zkoušky prakticky přímkový a v této oblasti platí Hookův zákon. Konstantou úměrnosti je Youngův modul pružnosti  $E$

v tahu. Bod **g** diagramu odpovídá bodu přetržení tělesa. Bod **b** je bod, v kterém se křivka začíná zřetelně odchylovat od lineární oblasti a nazývá se horní mez kluzu. Mez kluzu je napětí, při kterém se začínají objevovat první trvalé deformace. Pokud nedojde k mírnému poklesu napětí na dolní mez kluzu a napětí stále roste, nebo zůstává konstantní, pak se dolní mez kluzu stanovuje smluvně a jedná se o tzv. smluvní mez kluzu. Stanovuje se z tahového diagramu pomocí rovnoběžky s lineární částí diagramu ve vzdálenosti odpovídající předepsané hodnotě trvalé deformace. Smluvní mez kluzu je pak dána průsečíkem křivky diagramu a rovnoběžky. Bod **c** je pak dolní mez kluzu. Míra deformace v bodu přetržení  $\varepsilon_b$  odpovídá tažnosti zkoušeného materiálu, pevnosti materiálu v tahu odpovídá napětí  $\sigma_b$ . Bod **d** odpovídá dloužicímu poměru, v bodu **e** dochází k vyčerpání plasticity a oblast **f** diagramu tahové zkoušky je oblast zpevnění – druhá lineární oblast. Plocha pod křivkou udává deformační práci potřebnou až do přetržení tělesa a je rovna houževnatosti [39, 53, 54, 55].

Průběh závislosti napětí - deformace závisí především na kohezních silách v sýrové hmotě [56]. V obr. 3 je znázorněn diagram tahové zkoušky pro sýry, na kterém je zobrazeno vyhodnocování modulu pružnosti  $E_{TE}$  a parametru viskozity  $\eta_{TE}$ . Modul pružnosti je definován jako směrnice lineární části od počátku deformační křivky. Jeho hodnoty rostou s rostoucí soudržností a jsou úměrné pevnosti a počtu chemických vazeb v sýrových zrnech.



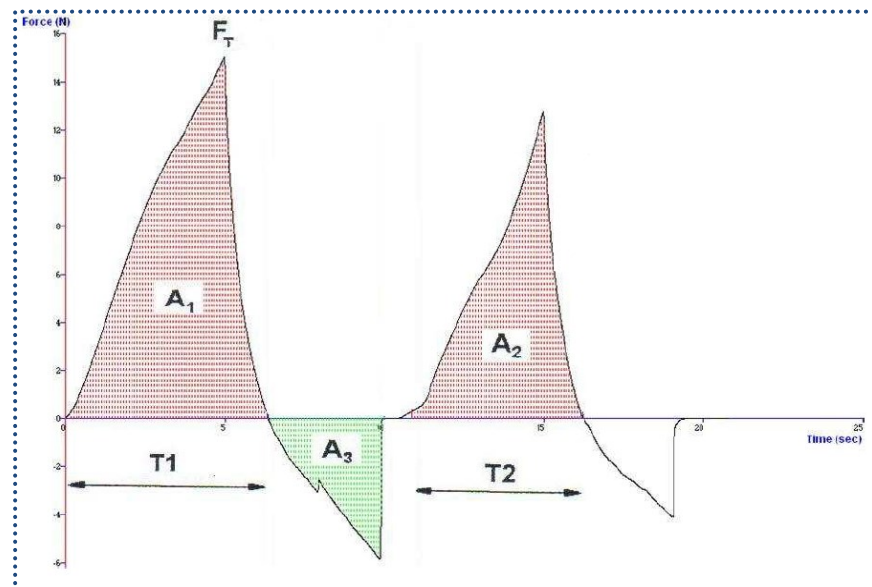
Obr. 3: Diagram tahové zkoušky sýrů [56]

Parametr viskozity je naopak definován jako směrnice kvazi-lineární oblasti křivky, která vede k bodu přetržení (Obr. 3). Pokud mají sýry nízkou kohezi, pak dochází těsně před přetržením k malé deformaci zrn a parametr viskozity je určen počtem nebo pevností vazeb

mezi zrny. U sýrů s vysokou kohezí jsou zrna protažena a parametr viskozity ukazuje na pevnost vazeb uvnitř zrn [56].

## 5.2 Texturní profilová analýza

Texturní profilová analýza (TPA) je instrumentální metoda, využívající se k hodnocení texturních vlastností potravin a patří mezi nejvyužívanější metody pro hodnocení textury sýrů. Při TPA je zkoušený vzorek ve tvaru válce vystavený dvěma krokům komprese. Každá z nich napodobuje skousnutí vzorku. TPA tedy napodobuje žvýkání, může dojít k stlačení až o 70 %. Tyto dvě komprese mohou být odděleny určitou dobou čekání. Pomocí TPA je získána závislost času a síly, kdy čas může být přepočítán na deformaci [37, 57, 58].



Obr. 4: Křivka texturní profilové analýzy [59]

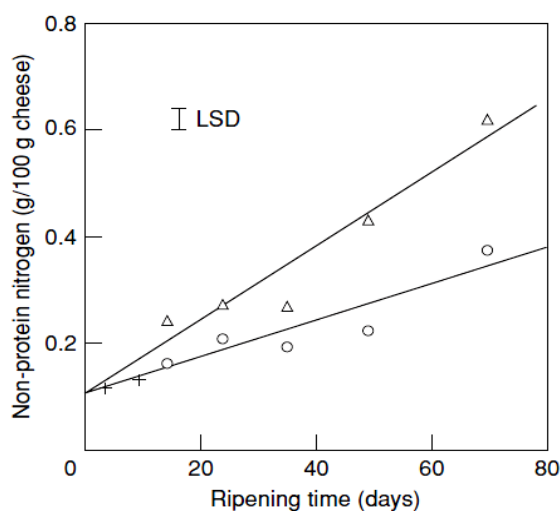
Z Obr. 4 lze získat hodnoty sledovaných parametrů:

- Maximální síla prvního stlačení produktu  $F_T$  odpovídá **tvrdosti**.
- Poměr plochy druhého píku penetračního cyklu k ploše píku prvního penetračního cyklu  $A_2/A_1$  odpovídá **soudržnosti** testovaného materiálu.
- Plocha negativní oblasti prvního penetračního cyklu neboli hodnota  $A_3$ , je rovna parametru **lepivosti**, která je definována jako práce potřebná k překonání přitažlivé síly mezi povrchem potravin a povrchem jiného materiálu. [60].

## 6 PROBLEMATIKA MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ U SÝRŮ EIDAMSKÉHO TYPU V SOUČASNOSTI

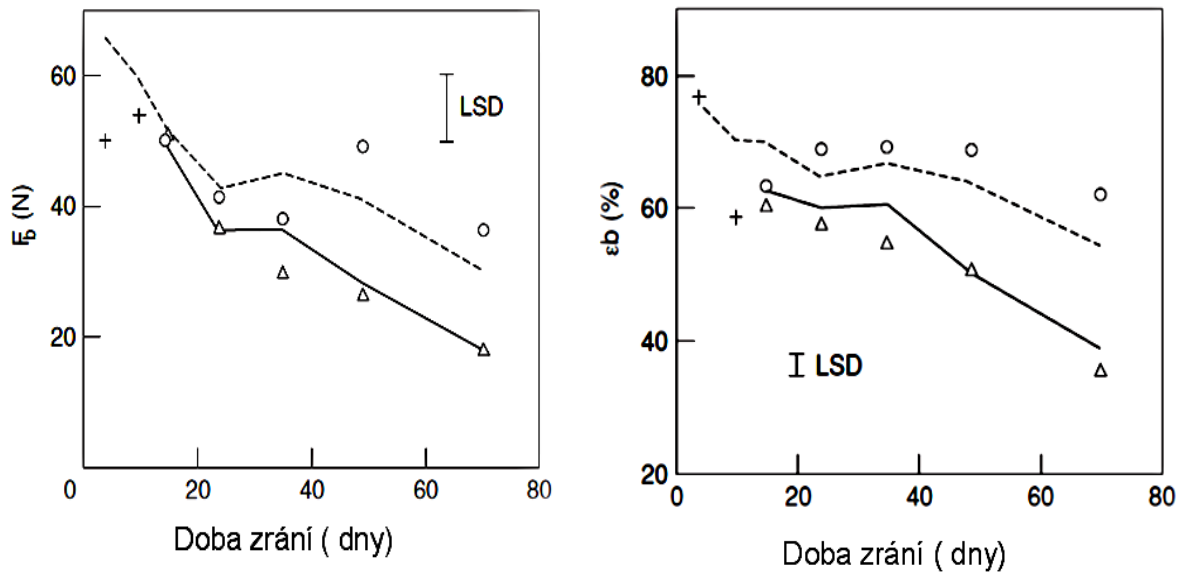
Pesenti a kol. [56] zkoumal soudržnost u mladých tvrdých sýrů typu Gruyer pomocí mechanických experimentů a to jednoosým tahem, tlakem, ohybem i ořezem, a reologickými experimenty. Diagram tahové zkoušky sýrů je zobrazen na (Obr. 3). Dle autorů je jednoosý tah vhodný pro zkoušení míry koheze tvrdých a polotvrdých sýrů. Bylo zjištěno, že deformace při přetržení, pevnost, deformační práce i modul pružnosti v tahu rostly s rostoucí soudržností. U vzorků s nízkou kohezí sýrových byl zjištěn vyšší parametr viskozity.

Bertola a kol. [61] zjišťovali, jaký účinek má teplota zrání, typ obalového materiálu a doba skladování před balením na stupeň proteolýzy a texturu sýrů Gouda. Byly stanoveny obsah vody a pH. Texturní vlastnosti byly testovány pomocí kompresních a relaxačních testů. Pomocí Kjeldhalovy metody byl stanoven neproteinový dusík. Výsledky výzkumu ukázaly, že pH faktor a obsah vody v sýrech, které dozrávaly při 20 ° C, byly nižší než ty, které zrály při 10 ° C. Texturní vlastnosti sýru Gouda, které zrály v plastových foliích s nízkou plynovou propustností, jsou podobné těm, které zrály tradičně. Vývoj textury byl ovlivněn zvýšením skladovací teploty (Graf 2). Doba zrání a teplota byly významnými faktory pro neproteinový dusík, zatímco typ obalu a doba skladování před balením nebyly významné. Degradace bílkovin koagulačními enzymy při 20 ° C byly výrazně rychlejší než při 10 ° C (Graf 1).



Graf 1: Tvorba neproteinového dusíku během zrání [61]

(10 °C, Δ 20 °C, + nezabalený sýr, - linear fit)

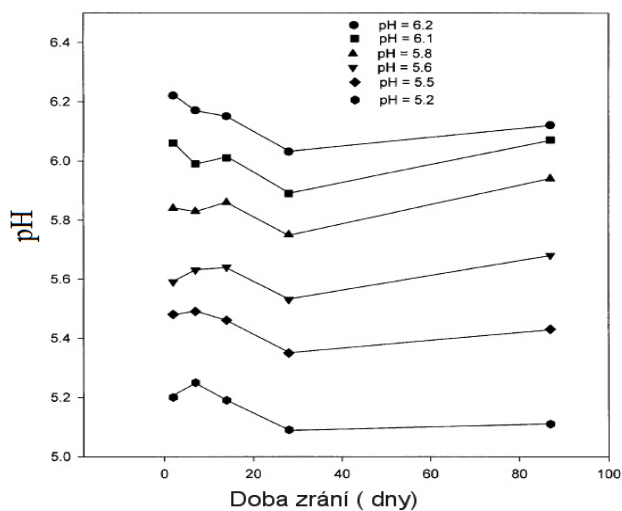


Graf 2: Vliv délky zrání při různých teplotách na texturní vlastnosti [61]

(vlevo na sílu při přetržení, vpravo na kompresní deformaci při přetržení

(○10 °C, Δ 20 °C))

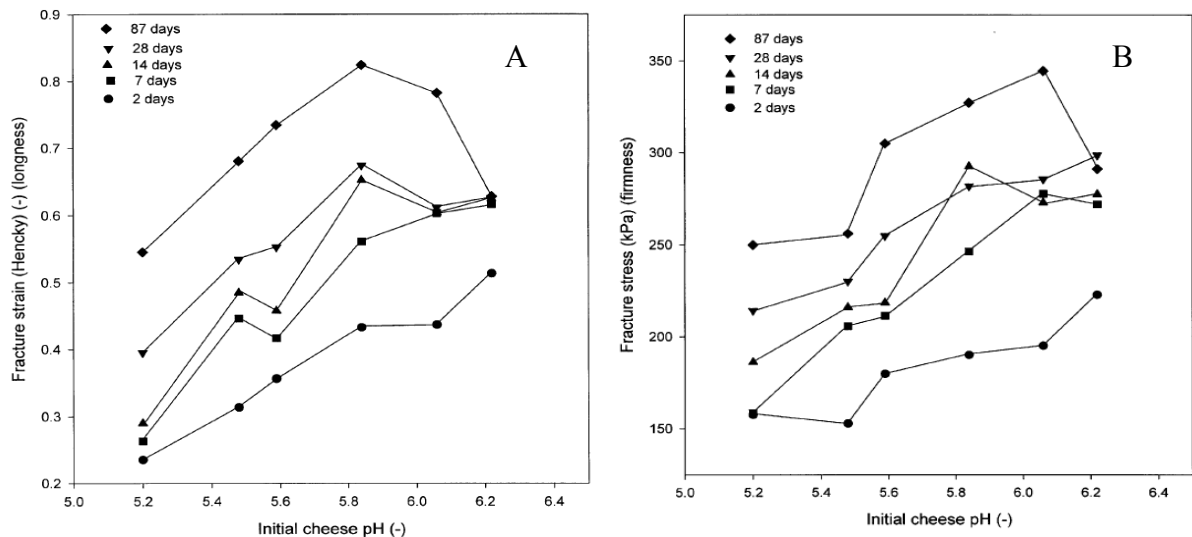
Vliv pH faktoru a vlhkosti na reologické vlastnosti a proteolýzu polotvrdých sýrů v průběhu zrání studovali P. Watkinson a kol. [62]. Zjistili, že aktivní kyselost mění se během zrání (Graf 3), má vliv na všechny reologické vlastnosti odpovídající texturním vlastnostem. Podle autorů deformační práce, deformace při porušení (Graf 4 A) a napětí při porušení (Graf 4 B) s rostoucím pH rostou, zatímco adhezivita (lepivost) a deformační modul s rostoucím pH klesají.



Graf 3: Vliv doby zrání na pH faktor [62]



Z uvedených vlastností byl při konstantním pH modul pružnosti citlivý i na vlhkost. Distribuce tukových zrn se v průběhu zrání neměnila, takže neměla vliv na reologické vlastnosti.

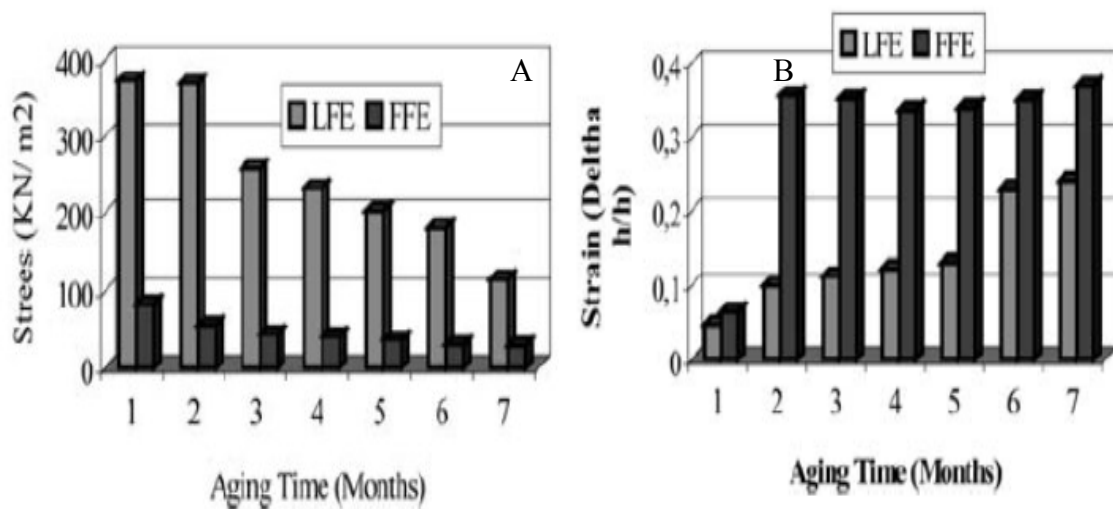


Graf 4: Vliv počátečního pH na deformaci při přetržení (A) a napětí při přetržení (B) [62]

Vztahy mezi senzoricou a instrumentální tvrdostí zkoumali Xiong a kol. [63]. Testovali vliv deformace (10 a 90 %) a rychlosti deformace od 0,2 do 10 mm/s na maximální sílu v tlaku. Korelace mezi senzoricým a instrumentálním měřením tvrdosti byly zkoumány u 26 komerčních sýrů.

Velikost deformace měla velký vliv na korelaci senzoricé a instrumentální tvrdosti, kdežto vliv deformační rychlosti byl malý. U 26 sýrových produktů bylo dosaženo maximální korelace při kombinaci deformace mezi 70 % a 90 % a rychlosti deformace 1mm/s.

Fyzikálně-chemickými a reologickými vlastnostmi sýrů s nižším a vyšším obsahem tuku (17 % a 27 %) se zabýval i Küçüköner a Haque [64], kteří Kjedahovou metodou stanovovali hodnoty celkového rozpustného, proteinového a peptidového dusíku ve vodném extraktu. Zrání nízkotučného a plnotučného sýru typu Edam probíhalo 6 měsíců při teplotě 5 °C. Byla provedena texturní analýza v tlaku. Napětí při přetržení s dobou zrání u obou tučností klesalo, jak je zobrazeno v grafu 5 A. Výraznější pokles byl zaznamenán u plnotučného Edamu. Deformace při přetržení (Graf 5 B) je naopak u tohoto vzorku vyšší a nezávislá na době zrání. Plnotučný Edam má celkově jemnější a měkčí a méně rozpadavou strukturu. Deformace u nízkotučného sýra v posledních měsících zrání výrazně rostla.



Graf 5: Vliv doby zrání na napětí při přetržení (A) a deformaci při přetržení (B) [64]

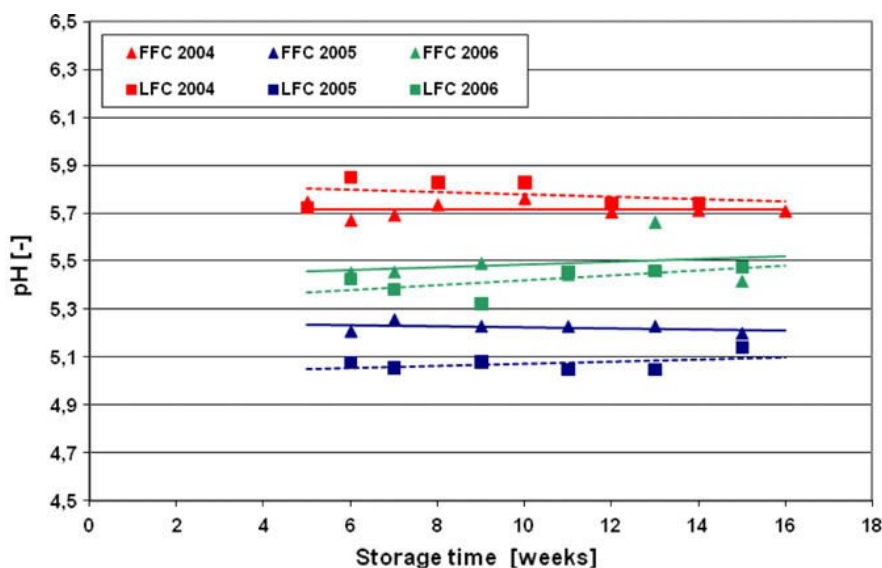
Bylo zjištěno, že na začátku zrání je celkový obsah dusíku nižší v nízkotučném sýru, po třech měsících je naopak vyšší a do konce zrání dojde k růstu. Gumovitá textura během doby přechází v jemnější hmotu. Tvrdost nízkotučných sýrů výrazně klesá až po čtvrtém měsíci zrání, kdy zároveň výrazně roste hodnota peptidového dusíku, což odpovídá rostoucí proteolýze. To ukazuje na zlepšování textury sýrů během zrání.

Banks [65] přezkoumával způsob, jak zlepšit chuť, texturu i funkčnost sýrů se sníženým obsahem tuku. Pro manipulaci s chutí a texturou upravoval parametry zpracování za účelem zvýšení hladiny vlhkosti, regulace laktózy, zvýšení plochy povrchu tukových kuliček homogenizací. Ke zlepšení struktury měnil i startovací kultury, zkoumal použití stabilizátorů a tuková mimetika. Tuková mimetika se skládají převážně ze syrovátkových proteinů nebo látek na bázi sacharidů. Jejich funkce spočívá v napodobení vlastnosti tuku v zachycení vody, čímž poskytují smysl pro mazanost a krémovitost. Nemohou ale plně nahradit nepolární funkční vlastnosti tuku při tvorbě chuti sýrů. Přidání proteinů nebo mimetik na bázi syrovátky neposkytuje dostatečné zlepšení v proteinové matici nízkotučného sýra. Nicméně mimetika na bázi sacharidů zlepšilo reologické vlastnosti, ale nedošlo k dokonalé imitaci proteinové matrice plnotučných sýrů.

Yates a kol. [66] zkoumali vliv obsahu tuku a stáří sýrů na texturu sýrů Gouda. Byly zkoumány sýry stáří 3 měsíce až 5 let, s 12,2 - 33,9 % tuku. Byly zaznamenány rozdíly u texturních vlastností, které byly způsobeny enzymatickým rozpadem kaseinové matrice během zrání. Kaseinová matrice u sýrů s nižším obsahem tuku byla méně rozrušena. Gouda se sníženým obsahem tuku byla pružnější a měla vyšší rychlost relaxace, nižší

přilnavost a soudržnost. Gouda s vysokým obsahem tuku byla měkčí a měla vyšší soudržnost i přilnavost. Spotřebitelé upřednostňovali mladší sýry, protože měly měkčí a jemnější texturu.

Sadowska a Jadwiga [67] studovali vliv tučnosti a zrání sýrů na viskoelastické vlastnosti sýrů holandských sýrů typu Edam. Byl zjištěn významný vliv roku výroby sýrů na viskoelastické vlastnosti. Také byl zaznamenán rozdíl vlastností mezi sýry s nízkým a vysokým obsahem tuku. V grafu 6, kde je zobrazen vliv doby zrání a roku výroby sýrů na pH u vzorků obou tučností, je vidět, že větší vliv na pH měl rok výroby sýrů.



Graf 6: Vliv doby zrání a roku výroby na pH sýrů různých tučností [67]

Vliv skladovací teploty na texturní vlastnosti, vyrovnávání koncentrace soli a změnu sušiny ve vzorcích holandského sýru typu Edam porovnávala Pachlová a kol [68]. Bylo zjištěno, že teplota zrání ovlivňuje texturní vlastnosti sýrů, zejména tvrdost, která při předčasném umístění do chladírenských boxů nabývala vyšších hodnot, než u sýrů skladovaných po celou dobu ve zracím sklepě. Snížení skladovací teploty nemělo výrazný vliv na obsah sušiny ani na difúzi NaCl vrstvami sýru. Avšak u všech vzorků byla zaznamenána odlišnost v obsahu sušiny v nejsvrchnější vrstvě sýru, což poukazovalo na vysoušení i přes cryovakový obal.

Testováním nových probiotických bifidobakterií a laktobacilů lidského původu pro výrobu nízkodohříváných sýrů se zabývala Havlíková a Kvasničková [69]. Chtěly ověřit vliv výroby eidamských sýrů na probiotické bakterie v průběhu zrání. Fyzikálně chemické hodnoty se u jednotlivých výrob lišily jen málo. Pro využití ve výrobě eidamských sýrů byly proto navrženy kmeny laktobacilů. Bylo zjištěno, že po 90 dnech zrání obsahovaly

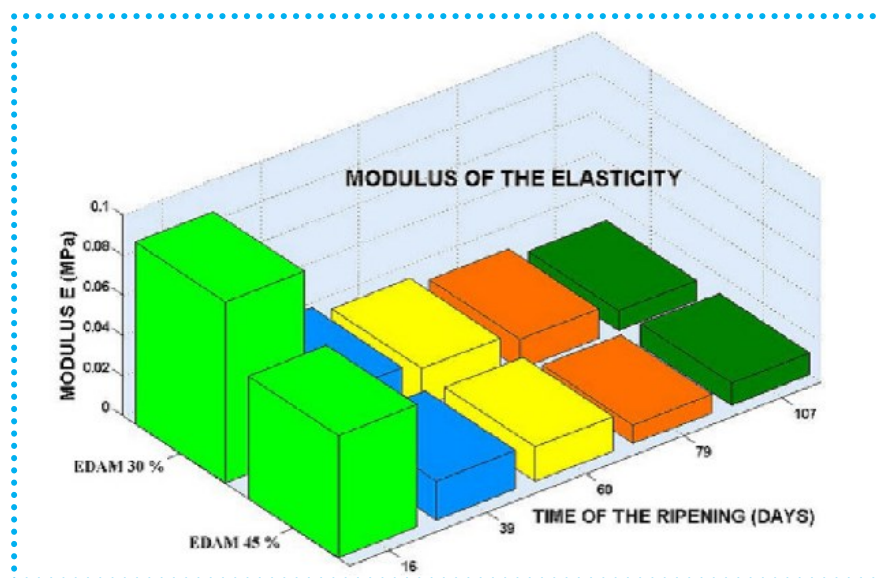
sýry  $10^6$  živých buněk, mohly by tedy být označovány jako probiotické. U sýrů s bifidobakteriemi počet živých buněk klesal až pod požadované hodnoty a vzhledem k nežádoucím sensorickým vlastnostem se u sýrů s nízkodohřívanou sýřeninou nejevil jako žádoucí.

Mechanickými vlastnostmi sýrů eidamského typu se zabývala Nedomová [70]. Zkoumala vliv obsahu tuku a doby zrání na změny viskoelastických vlastností na základě relaxačních testů. Byly testovány sýry eidamského typu o tučnosti 30 a 40 % tuku v sušině vyrobené za průmyslových podmínek. Zkoušky byly provedeny na zařízení TIRATEST v tlaku při různých rychlostech zatěžování. Zrání probíhalo 107 dnů. Ukázalo se:

- rychlost zatěžování, obsah tuku i doba zrání ovlivnily závislost napětí-deformace;
- úroveň napětí s rostoucím obsahem tuku klesala.

Relaxační křivka představující časový průběh síly popisovala míru viskózního a elastického chování sýrů eidamského typu. Výsledky byly interpretovány pomocí Maxwellova modelu, který umožňoval získat časovou závislost modulu pružnosti. Získané výsledky ukázaly:

- testované sýry se chovají jako lineární viskoelastická tělesa;
- modul pružnosti v průběhu zrání klesal;
- elasticita i viskozita eidamských sýrů v průběhu zrání klesaly, ale u jednotlivých tučností rozdíly pozorovány nebyly.



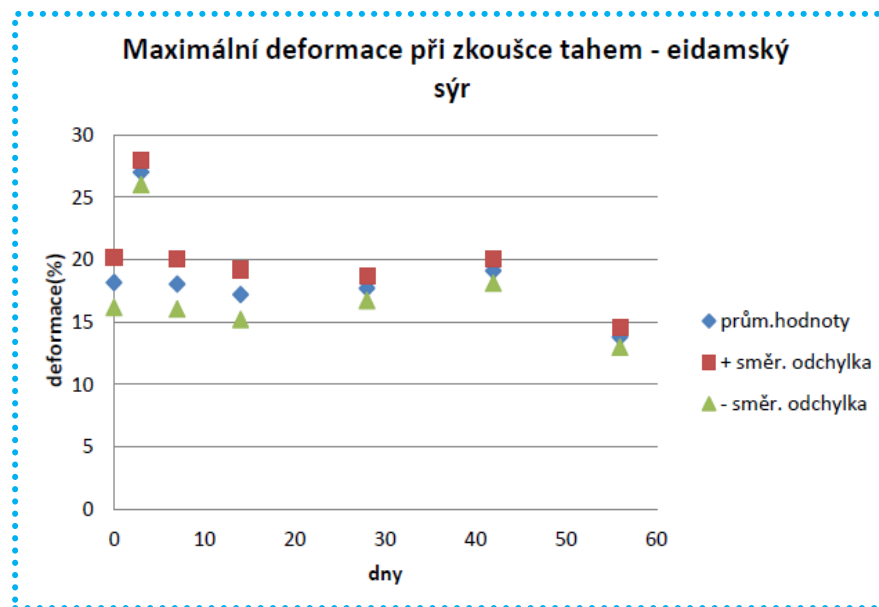
Graf 7: Modul pružnosti u sýrů s rozdílným obsahem tuku v sušině [70]

Podobnou problematikou se zabývala Nehodová v bakalářské práci [71]. Pro experiment použila průmyslově vyrobené sýry s obsahem 30 % tuku v sušině. Mechanické vlastnosti zkoumala pomocí tahové a relaxační zkoušky v tlaku. Pomocí relaxační zkoušky byla sledována tvrdost a tuhost sýrů v průběhu zrání, které probíhalo 56 dnů. Byly popsány i parametry  $a$  a  $b$  vypočítané z Pelegova modelu.

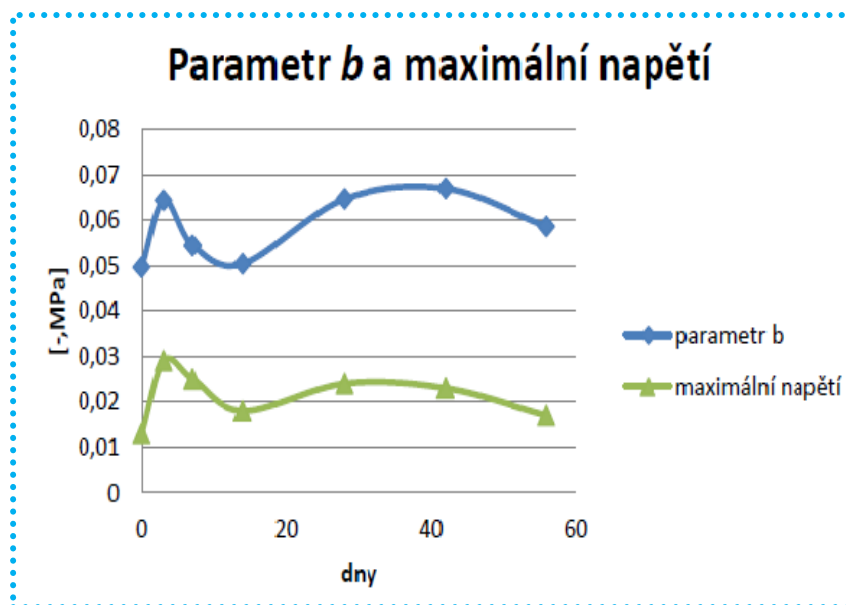
Tahovou zkouškou bylo zjištěno:

- modul pružnosti a parametr viskozity měl po dobu zrání stejný průběh – do 7. dne zrání veličiny narůstaly, poté docházelo k poklesu, který byl výraznější na konci doby zrání,
- maximální deformace odpovídající tažnosti měla po 3. dnu zrání po celou dobu kolísavý charakter (Graf 8),
- maximální napětí mělo složitý průběh. Maxima nabývalo 3. den zrání (Graf 9).

Porovnáním výsledků z relaxačních testů a tahové zkoušky bylo zjištěno, že parametr  $b$  měl stejný průběh jako maximální napětí a maximální deformace.



Graf 8: Maximální deformace při zkoušce tahem [71]



Graf 9: Parametr  $b$  a maximální napětí v tahu v průběhu zrání [71]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo sledovat vliv rozdílného obsahu tuku v sušině v průběhu zrání sýrů eidamského typu na jejich mechanické vlastnosti.

K dosažení cíle vedlo několik kroků:

- Stanovení výrobního postupu modelových vzorků sýrů dvou tučností
- Výroba dvou šarží každé tučnosti
- Sledování změn základních chemických parametrů
- Měření mechanických veličin rozdílnými metodami
- Sledování odlišnosti mechanických vlastností u vyrobených šarží sýrů
- Sledování vlivu rozdílného obsahu tuku v sušině na mechanické vlastnosti sýrů eidamského typu.



## 8 MATERIÁL A METODY

Praktická část práce byla rozdělena na dvě základní fáze. První z nich byla výroba sýrů eidamského typu daných parametry, druhou fází provedení analýz v daných dnech během doby zrání a jejich vyhodnocení.

### 8.1 Výroba sýrů eidamského typu

Pro provedení experimentu byly vyrobeny sýry eidamského typu s obsahem sušiny přibližně 50 % a obsahem tuku v sušině (t. v s.) kolem 25 % a 40 %. Během dvou výrobních dnů po sobě jdoucích byly vyrobeny celkem čtyři šarže sýrů, kdy jednotlivé výrobní dny byla zhotovena vždy jedna šarže každé tučnosti. Jednu šarži tvořilo 24 malých bočníků, které byly vloženy do zrací komory, odkud byl v daný odběrový den odebrán stanovený počet bočníků pro provedení experimentů. Výroba byla prováděna za laboratorních podmínek.

#### 8.1.1 Použité pomůcky a materiál

Pro výrobu sýrů byl použit chlorid vápenatý 36 %, syřidlo CHYMAX M, potravinářská sůl, zákysová kultura FLORA DANICA, antimykotikum DEVLVOCID, mléko zakoupeno v tržní síti. Pro sýry s 25 % tuku v sušině bylo použito Čerstvé mléko polotučné vysoce pasterované s nejméně 1,5 % tuku hm., OLMA. Pro sýry s 40 % tuku v sušině bylo použito mléko vysoce pasterované s nejméně 3,5 % tuku hm., Milkin a Čerstvé biomléko bez standardizace s nejméně 3,5 % tuku hm. OLMA.

#### 8.1.2 Postup výroby sýrů

Nejprve byly všechny použité pomůcky vloženy do předem připravené dezinfekce. Před samotným použitím byly vždy řádně opláchnuty pitnou vodou. 20 litrů mléka bylo předeřháto na  $32 \pm 1$  °C a přelito do předem vyhřátého výrobku na 32 °C, kde bylo při dané teplotě inokulováno zákysovou kulturou za současného přidavku  $\text{CaCl}_2$  v množství 10 ml. Mléko bylo dostatečně promícháno a za dalšího občasného promíchávání bylo ponecháno 30 minut pro pomnožení zákysové kultury. Následně bylo přidáno 640  $\mu\text{l}$  syřidla zředěného s 10 ml vody. Po dostatečném promíchání a ustálení hladiny se mléko ponechalo 30 minut sýřit. Na vařiči byla mezitím ohřátá voda na  $60 \pm 2$  °C potřebná pro dohřívání během dalšího zpracování. Během stanovené doby sýření vznikla sýřenina, která byla nožem rozkrájena na 2 x 2 cm a ponechána 10 minut k vtužování. Poté docházelo 20

minut k opatrnému míchání sýřeniny pomocí velké lžice. Za stálého míchání bylo z výrobníku odebráno 6 litrů syrovátky a teplota termosu byla zvýšena na 35 °C. Poté se přidaly 4 l ohřáté vody pro dosažení teploty  $37 \pm 1$  °C a do výrobníku bylo zabudováno míchací zařízení a teploměr pro kontrolu teploty dosoušení. Nadcházejících 30 minut probíhalo dosoušení za stálého míchání míchadlem. V dalším kroku byl vypnut termos a sýřenina se za stálého míchání lžicí slila do připravených velkých forem opatřených plachetkou, kde se nechala 10 minut vlastní tíhou předlisovat za současného odkapávání syrovátky. Poté se plachetka se sýřeninou otočila a nechala zase 10 minut odležet. To se po 10i minutách opakovalo, takže celková doba předlisování byla 30 minut.

Sýřenina se z forem vyjmula a rozkrojila na rovnoměrných 24 dílů (z každé formy 12 dílů). Ty byly napěchovány do předem připravených formiček a pokryty plachetkou. Vždy tři napěchované formičky byly rovnoměrně rozloženy na táč, na kterých docházelo k lisování. Na jednotlivé formičky pokryté plachetkou byly umístěny lisovací sklenice s lisovací deskou. Během doby lisování byla postupně zvyšována lisovací zátěž, která v poslední fázi lisování činila na tři bochníky 24 kg. Lisování bylo dokončeno po 2 hodinách. Poté byly sýry uloženy do zracích nádob, které byly do druhého dne uloženy ve zrací komoře pro prokysání ( $14 \pm 2$  °C 12 hodin). Po prokysání byly sýry vyjmuty z nádob a soleny v solné lázni. Solení probíhalo za chladírenské teploty ( $8 \pm 2$  °C) 30 minut v solném roztoku o koncentraci 20 %. Pro zatížení byla do nádob umístěna zátěžová mřížka. Po nasolení se sýry ponořily na 4 s do antimykotického roztoku a nechaly se oschnout. Poté proběhlo balení do kryovakových folií, označení jednotlivých bloků a uložení do zrací komory, ve které probíhalo zrání, po celou dobu experimentu, při teplotě  $12 \pm 2$  °C.

## 8.2 Analýza vlastností sýrů

Po vyrobení sýrů byly v dané odběrové dny prováděny analýzy vyrobených vzorků, a to 1., 7., 15., 35. a 56. den po výrobě, kdy den 1. je chápán jako den po výrobě ihned po prokysání před uložením do solné lázně. Byla prováděna analýza chemická, při které byl stanovován obsah sušiny, tuku v sušině, soli a byla sledována i změna hodnot aktivní kyselosti. Dále byla prováděna texturní profilová analýza, tedy stanovení relativní lepidlosti, soudržnosti, pevnosti, a zkouška tahová, u které byla stanovena maximální deformace, maximální napětí, parametr viskozity a modul pružnosti v tahu.

Z každé šarže sýrů byly odebrány vždy čtyři bochníky. Dva bochníky byly použity na texturní a chemickou analýzu a dva bochníky na tahovou zkoušku. Nejprve byla provedena

analýza texturní, poté se sýry použily na chemická stanovení. Následně se prováděla tahová zkouška. Veškeré analýzy byly provedeny za laboratorních podmínek bezprostředně po vyjmutí ze zračí komory.

### **8.2.1 Chemická analýza**

Pro provedení chemických analýz byly použity bochníky, které byly již rozkrojeny a použity na analýzu texturních vlastností. Nejprve bylo změřeno pH, poté byl materiál nastrouhán a použit k provedení stanovení obsahu sušiny, soli a tuku, který byl poté přepočítán na obsah tuku v sušině.

#### **8.2.1.1 Obsah sušiny**

Stanovení obsahu sušiny bylo provedeno dle ČSN EN ISO 5534 sušením do konstantního úbytku hmotnosti při  $102 \pm 2$  °C. Do předem vysušených a zvážených misek s křemičitým pískem bylo naváženo a vmícháno 3 g vzorku jednotlivých bochníků sýru. Z obou bochníků každé šarže byly naváženy tři vzorky. Misky byly označeny a uloženy do sušárny, kde byly sušeny do konstantní hmotnosti. Po zchlazení byly misky zváženy a z naměřených hodnot byl stanoven obsah sušiny [72].

#### **8.2.1.2 Aktivní kyselost – pH**

Aktivní kyselost byla provedena pomocí vpichového pH metru. Hodnoty byly měřeny vždy třikrát z každého odebraného bochníku jednotlivých šarží. Vpichy byly provedeny do různých bochníkových částí. Získané hodnoty byly statisticky zpracovány.

#### **8.2.1.3 Obsah soli**

Stanovení obsahu soli bylo provedeno dle ČSN EN ISO 5943. Vzorek byl tedy převeden do suspenze, která byla okyselena kyselinou dusičnou, a poté byly chloridové ionty titrovány potenciometricky standardním odměrným roztokem dusičnanu stříbrného. Stanovení bylo prováděno ve třech opakováních ze dvou bochníků každé šarže. Stanovení bylo provedeno za laboratorních podmínek [73].

#### **8.2.1.4 Obsah tuku**

Obsah tuku byl stanoven dle ČSN ISO 3433. Po rozpuštění bílkovin kyselinou sírovou byl tuk oddělen ve Van Gulikově butyrometru odstředěním za přídavku malého množství iso-

amylalkoholu. Stanovení bylo prováděno ve třech opakováních ze dvou bochníků každé šarže. Stanovení proběhlo za laboratorních podmínek [74].

### 8.2.2 Texturní profilová analýza

Texturní profilová analýza (TPA), pomocí které byly vyhodnocovány texturní vlastnosti, byla prováděna pomocí TA-XT Plus (Stable Micro Systém, V. B.). TPA byla provedena vždy na dvou bochnících každé výrobní šarže. Pro provedení texturní profilové analýzy byl ze středové části bochníku vykrojen válec o výšce 1,5 cm a průměru 4 cm. Pro analýzu byla použita sonda o průměru 5 cm (P/50). Připravený vzorek byl vložen mezi desky přístroje a dvakrát po sobě stlačen o 25% z původní výšky vzorku. Prostřednictvím softwaru Texture Exponent Lite (Stable Micro Systems Ltd) byly získány zátěžové křivky, z nichž byly vyhodnoceny parametry, mezi které patří tvrdost, lepivost a soudržnost. Ukázkou zátěžové křivky lze vidět na Obr. 4.



Obr. 5: Texturní analyzátor TA-XT Plus

### 8.2.3 Tahová zkouška

Pro zhodnocení mechanických vlastností, zejména maximálního napětí, maximální deformace, modulu pružnosti a parametru viskozity, byla použita zkouška v tahu při rychlosti 5 mm/minutu., kdy zkoušený materiál byl uchycen mezi dvě čelisti, přičemž jedna z čelistí byla pohyblivá a namáhala materiál směrem nahoru.

Pro tahovou zkoušku byl použit japonský trhací stroj SHIMADZU, AG-X s řídicím programem TRAPEZIUM.



Obr. 6: Čelisti trhacího stroje Shimadzu, AG-X

Experiment se prováděl vždy na dvou bochnících každé výrobní šarže ve stanovené odběrové dny v průběhu zrání. Z každého bochníku byly pomocí kuchyňského a vysekávacího nože vyřezány kvádry o rozměrech 7 x 10 x 50 mm. Na širší straně přesně v polovině byl vytvořen 1 mm široký zářez z každé strany. Vzorky byly vyráběny ze všech částí bochníku. Takto připravené vzorky byly, uchyceny mezi čelisti, vždy 10 mm od okraje z každé strany, takže pracovní délka namáhaného materiálu odpovídala 30 mm. Po přetržení vzorku byly získány tahové křivky závislosti síly a deformace, ze kterých byly vyhodnocovány stanovené parametry.

## 9 VÝSLEDKY A DISKUZE

Všechny zjištěné výsledky byly zpracovány a podrobeny párovému testu pro vyhodnocení významnosti rozdílů mezi jednotlivými šaržemi.

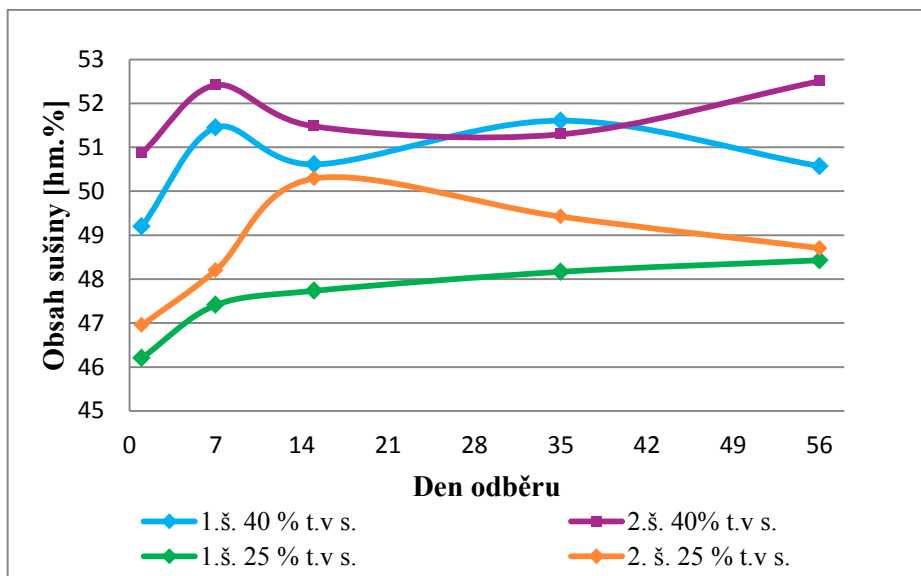
### 9.1 Chemická analýza

#### 9.1.1 Stanovení sušiny

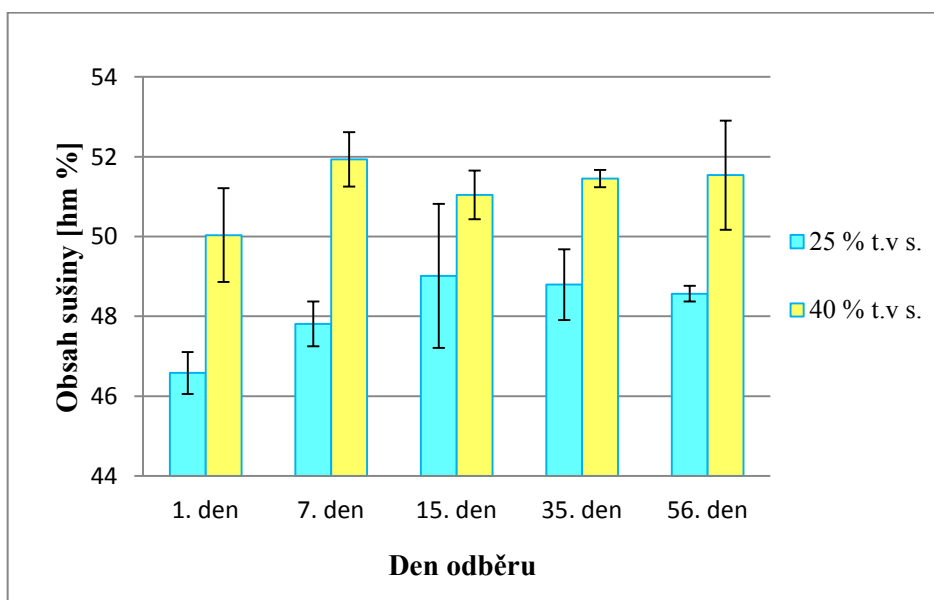
V průběhu skladování byla sledována sušina modelových vzorků. Vývoj sušiny jednotlivých šarží lze vidět v grafu 10, nebo v příloze PI. U sýrů s 25 % t. v s. měl obsah sušiny podobný vývoj jak u 1. tak u 2. šarže. Obsah sušiny 1. šarže sýrů s 25 % t. v s. po celou dobu rostl z počáteční hodnoty 46 % až na hodnotu 48,4 %. Počáteční hodnota sušiny 2. šarže méně tučných sýrů byla 47 % a konečná 48,7 %. K vychýlení došlo pouze u 2. šarže, kdy mezi 7. a 15. odběrovým dnem došlo k vzrůstu obsahu sušiny až na hodnotu 50,3 %. Poté ale opět klesal a v posledním dnu zrání byla sušina obou šarží téměř vyrovnaná. Na hladině významnosti 0,05 byl shledán významný rozdíl mezi jednotlivými šaržemi.

U modelových vzorků sýrů s 40 % t. v s. měl obsah sušiny do 15. dne zrání stejný vývoj. Po tomto dnu byl vývoj sušiny u jednotlivých šarží přímo opačný. U 1. šarže došlo nejdříve k růstu a následně k poklesu, kdežto u 2. šarže sušina klesla a následně stoupala. Těmto rozdílům není ze statistického hlediska přisuzována žádná významnost.

V případě hodnocení celkového obsahu sušiny sýrů dané tučnosti, který je zobrazen v grafu 11 je vidět, že do 7. dne zrání byl vývoj obsahu sušiny podobný. Po tomto dnu obsah sušiny u sýrů s nižším obsahem tuku v sušině rostl až do 15. dne zrání, poté došlo k mírnému snížení obsahu sušiny, kdežto u sýrů s vyšším obsahem tuku v sušině kolísavý a po 15. dnu zrání mírně rostl. Z grafů 10 a 11 je vidět, že nízkotučné sýry měly obsah sušiny nižší. Na hladině významnosti 0,01 byl shledán významný rozdíl mezi obsahem sušiny u sýrů s 25 % a 40 % tuku v sušině. Tento rozdíl je způsoben právě vyšším obsahem tuku, který je zabudován v bílkovinné matici.



Graf 10: Vývoj obsahu sušiny jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání

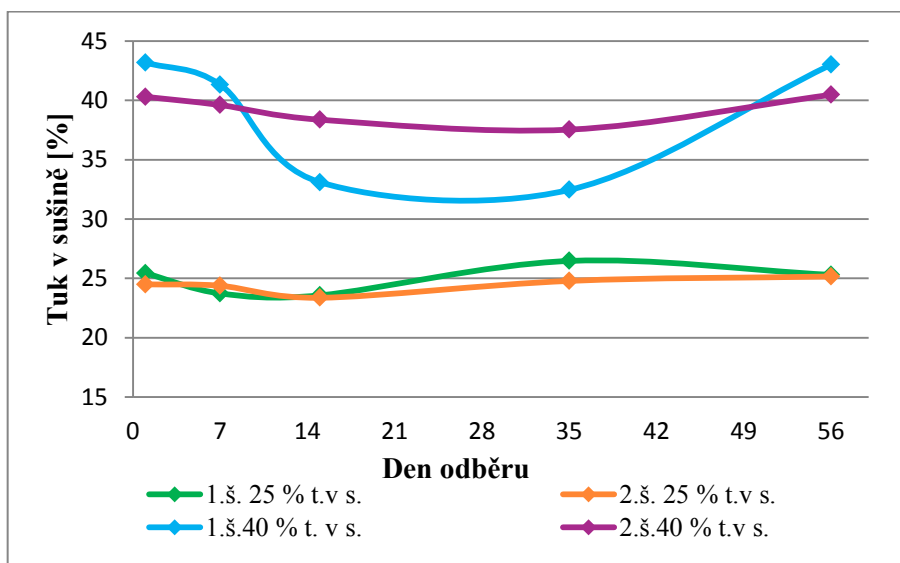


Graf 11: Vývoj obsahu sušiny sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání

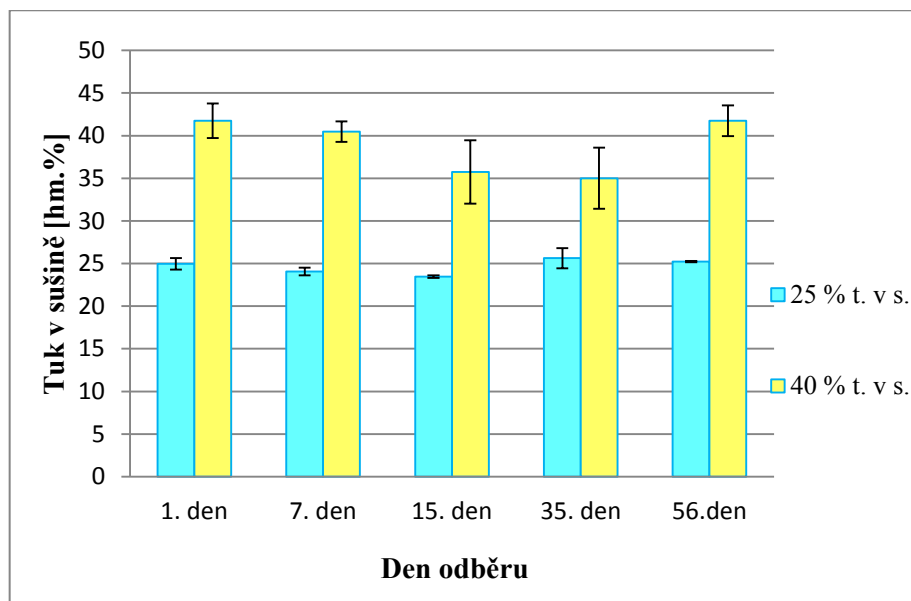
### 9.1.2 Stanovení obsahu tuku v sušině

Pro experiment byly vyrobeny sýry s 25 a 40 % tuku v sušině. Celý vývoj obsahu tuku jak u jednotlivých šarží, tak u sýrů s různým podílem tuku v sušině lze pozorovat v grafech 12 a 13. Podíl tuku během prvních dnů klesal až do 15. dne, kdy byl v obou šaržích sýrů s nižším tukovým podílem jejich rozdíl zanedbatelný. Během dalšího zrání tukový podíl v 1. šarži nejprve rostl a poté klesal až na konečnou hodnotu, v 2. šarži docházelo pouze k zvýšení tukového podílu. U sýrů s vyšším podílem tuku docházelo během zrání k poklesu obsahu tuku v sušině až do 35. dne zrání, po kterém podíl tuku stoupl. Rozdíl

vývojového trendu byl zaznamenán u 1. šarže mezi 1. a 7. dnem zrání, kdy došlo k prudkému snížení obsahu tuku v sušině. V grafu 12 je vidět, že i když se u jednotlivých šarží obsah tuku v sušině v průběhu zrání měnil, změny u sýrů s nižší tučností nebyly tak výrazné, jako u sýrů s vyšším podílem tuku v sušině. Lze také říct, že obsah tuku v sušině u obou tučností v 1. a 56. den zrání byl přibližně stejný. Párový test neprokázal rozdíl v obsahu tuku v sušině u jednotlivých šarží dané tučností, ale prokázal předpokládaný významný rozdíl mezi obsahem tuku v sušině u sýrů s různou tučností na hladině významnosti 0,01.



Graf 12: Vývoj obsahu tuku v sušině jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání



Graf 13: Vývoj obsahu tuku v sušině u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání



### 9.1.3 Stanovení obsahu soli

Během experimentu byl v dané odběrové dny stanoven obsah soli pomocí potenciometrické titrace. Vývoj množství soli u jednotlivých šarží během zrání je zaznamenán v Tab. 3. Před nasolením se obsah sušiny pohyboval pod 1 %. Mezi 1. a 7. dnem zrání došlo k největšímu růstu obsahu soli u všech vyrobených šarží, což bylo způsobeno nasolením v solné lázni. Po tomto dnu obsah soli u sýrů s nižším obsahem tuku mírně rostl až do 15. dne zrání, po kterém až do konce zracího pokusu klesal. U sýrů s vyšším obsahem tuku v sušině měl obsah soli kolísavý průběh. Po sedmém dnu zrání nejdříve klesl, poté rostl a opět klesal až na konečnou hodnotu. Změny v obsahu soli byly po 7. dnu zrání u všech šarží malé, proto lze říct, že po 7. dnu zrání se obsah soli v sýrech začal ustalovat. Tento jev souhlasí s Pachlovou a kol.[68], které se obsah soli v sýrech začal vlivem difúze ve všech vrstvách vyrovnávat po 34 dnech zrání, poté už k výrazným změnám nedocházelo. U sýrů s nižším obsahem tuku v sušině byl celou dobu zracího pokusu vyšší obsah soli, než v sýrech tučnějších. Tento rozdíl byl ze statistického hlediska na hladině významnosti 0,05 shledán jako významný.

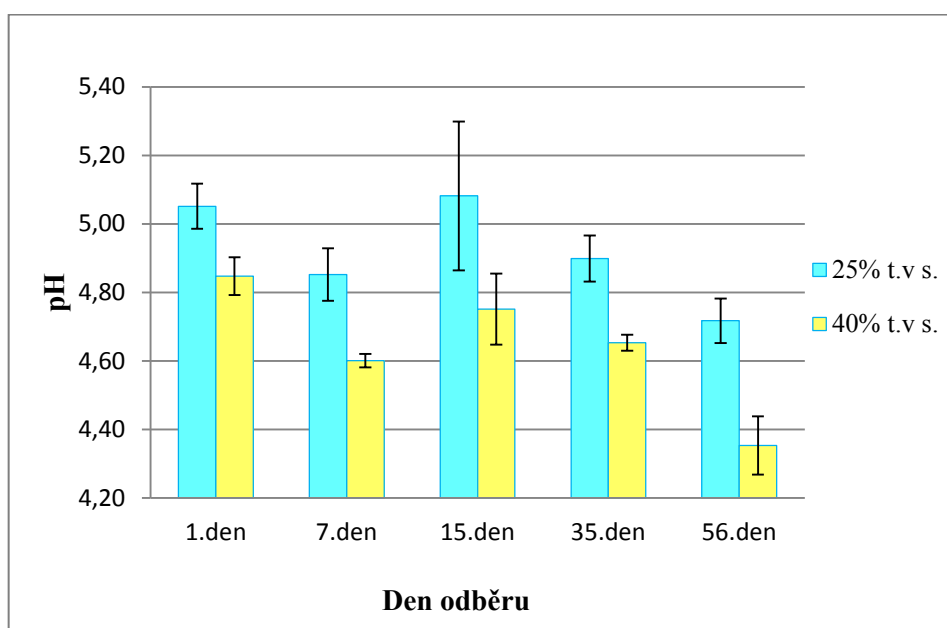
Tab. 3: Vývoj obsahu soli jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání [ % ]

Tuk v sušině	Výrobní šarže	Den odběru během zrání				
		1. DEN	7. DEN	15. DEN	35. DEN	56. DEN
25%	1. šarže	0,91	2,40	2,47	2,46	2,42
	2. šarže	0,81	2,44	2,45	2,40	2,37
40%	1. šarže	0,82	2,28	2,17	2,19	2,22
	2. šarže	0,85	2,09	2,06	2,14	2,10

### 9.1.4 Stanovení pH

Během zrání byla pomocí vpichového pH metru měřena hodnota aktivní kyselosti, neboli pH. Vývoj hodnot pH je zaznamenán v Tab. 4, graficky je znázorněn v grafu 14. Průběh hodnot pH byl u všech vyrobených šarží stejný. Nejdříve, tedy mezi 1. a 7. dnem zrání se aktivní kyselost snížila. Poté, až do 15. dne zrání docházelo k růstu, po tomto dnu ale pH už jen klesalo. Rozdíl v průběhu pH jednotlivých tučností byl zaznamenán v 15. dnu zrání, kde sýry s nižším obsahem tuku nabývaly vyšších hodnot, než na začátku zrání, kdežto u sýrů tučnějších tomu bylo naopak. Mezi 35. a 56. dnem zrání došlo u sýrů s 40 % tuku

v sušině k většímu poklesu pH, než u sýrů s 25 % tuku v sušině. U sýrů s 25 % tuku v sušině byly hodnoty pH po celou dobu zrání vyšší, než u sýrů s 40 % tuku v sušině. Tento fakt souhlasí se Sadowskou a kol.[67], u které byla zjištěna vyšší hodnota pH u nízkotučných sýrů vyrobených v roce 2004. Mezi hodnotami sýrů s 25 % t. v s. a 40 % t. v s. byl shledán statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 0,01. Vývoj pH faktoru není v souladu s Pachlovou [76], kde pH nejprve kleslo, poté se až do konce experimentu zvyšovalo, kdežto v našem experimentu sice došlo nejprve k poklesu, a následnému zvýšení, ale poté aktivní kyselost až do konce zračního pokusu klesala.



Graf 14: Vývoj pH u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání

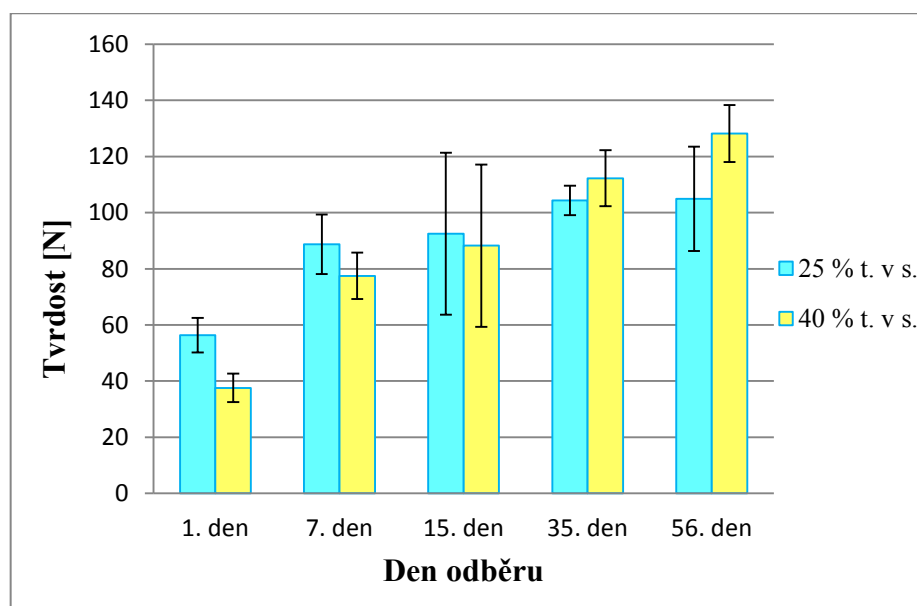
Tab. 4: Vývoj aktivní kyselosti jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání

Tuk v sušině	Výrobní šarže	Den odběru během zrání				
		1. DEN	7. DEN	15. DEN	35. DEN	56. DEN
25 %	1. šarže	5,10 ± 0,03	4,80 ± 0,06	4,93 ± 0,03	4,85 ± 0,05	4,67 ± 0,04
	2. šarže	5,01 ± 0,10	4,91 ± 0,06	5,24 ± 0,04	4,95 ± 0,04	4,76 ± 0,04
40 %	1. šarže	4,89 ± 0,05	4,59 ± 0,07	4,68 ± 0,04	4,64 ± 0,03	4,29 ± 0,02
	2. šarže	4,81 ± 0,04	4,62 ± 0,09	4,83 ± 0,02	4,67 ± 0,05	4,41 ± 0,08

## 9.2 Texturní analýza

### 9.2.1 Tvrdość

Z grafického znázornění získaného při texturní profilové analýze byla ze závislosti síly  $F_T$  na čase  $t$  kompresního testu odečtena hodnota  $F_{max}$ , která odpovídá *tvrdosti* a je zaznamenána v grafu 15 a Tab. 5. U první šarže sýrů s 25 % t. v s. docházelo tedy po celou dobu zrání k růstu tvrdosti, kromě doby mezi 7. a 15. dnem, kdy došlo k jejímu poklesu. U šarže druhé docházelo od počátku zrání do 15. dne k zvyšování tvrdosti, poté až do 56. dne zrání tvrdost klesala. U první šarže sýrů s 40 % t. v s. se tvrdost zrání neustále zvyšovala, pouze mezi 7. a 15. dnem zrání docházelo k jejímu poklesu. U 2. šarže téže tučnosti byl nepatrný pokles tvrdosti zaznamenán o něco později, tedy mezi 15. a 35. dnem zrání. Při srovnání výsledných hodnot sýrů s 25 a 40 % t. v s., které je uvedeno v grafu 15, je vidět, že průběh tvrdosti byl podobný a tvrdost se po celou dobu zrání zvyšovala. V 1., 7. a 15. den zrání vykazovaly vyšší tvrdost sýry s 25 % t. v s. Po 15. dnu zrání měly vyšší tvrdost sýry s 40 % t. v s. K tomuto zlomu došlo mezi 15. a 35. dnem zrání. Z výsledků lze říct, že k největšímu změně tvrdosti sýrů u jednotlivých šarží došlo vždy mezi 7. a 35. dnem zrání. I přes mírné odchylky ve vývoji tvrdosti u jednotlivých šarží v průběhu zrání lze říct, že se tvrdost u sýrů s rozdílným obsahem tuku v sušině významně nelišila. Výsledky tvrdosti našeho experimentu jsou v souladu s Lawrence a kol [77], který uvádí, že tvrdost sýra se s dobou zrání zvyšuje. Tyto změny jsou způsobeny probíhající proteolýzou, která společně s obsahem soli a vlhkostí vzorku má vliv na texturní vlastnosti sýrů [77].



Graf 15: Vývoj tvrdosti u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání

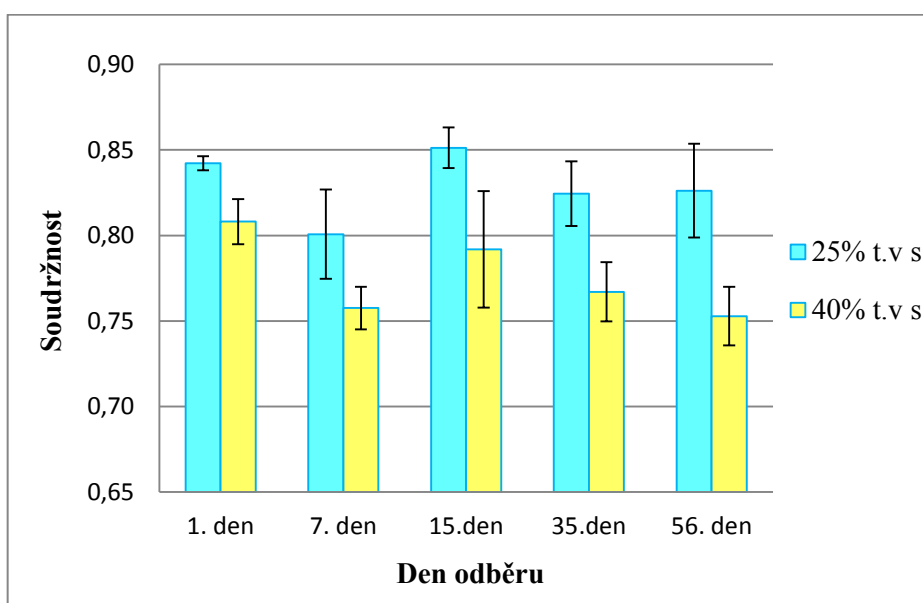
Tab. 5: Tabulka naměřených hodnot tvrdosti

ODBĚR	25 % tuku v sušině		40 % tuku v sušině		Průměrné hodnoty	
	1. šarže	2. šarže	1. šarže	2. šarže	25 % t. v s.	40 % t. v s.
1. den	52 ± 6	60 ± 5	33 ± 3	42 ± 1	56 ± 6	38 ± 5
7. den	80 ± 4	97 ± 7	81 ± 3	74 ± 12	89 ± 11	77 ± 8
15. den	71 ± 11	113 ± 25	65 ± 17	112 ± 5	92 ± 29	88 ± 29
35. den	109 ± 2	100 ± 3	113 ± 14	112 ± 10	104 ± 5	112 ± 10
56. den	121 ± 8	89 ± 1	134 ± 13	123 ± 4	105 ± 19	128 ± 10

### 9.2.2 Soudržnost

Průběh soudržnosti u sýrů s rozdílnou tučností je zaznamenán v grafu 16. Celkově dosažené hodnoty a hodnoty u jednotlivých výrobních šarží jsou uvedeny v Tab. 6.

Průběh soudržnosti všech vyrobených šarží byl během zrání přibližně stejný, do sedmého dne docházelo k snižování, mezi 7. a 15. dnem zrání se soudržnost sýrů zvyšovala a dosahovala vyšších hodnot, než v 1. den zrání. Výjimkou byla 2. šarže sýrů s 40 % tuku v sušině, u které byl růst soudržnosti malý, ale stoupal až do 35. dne zrání, po kterém soudržnost klesala. U ostatních šarží docházelo po 15. dnu až do konce zračího pokusu k poklesu soudržnosti, pouze u sýrů 2. šarže s 25 % tuku v sušině došlo po 35. dnu zrání k jejímu zvyšování.



Graf 16: Vývoj soudržnosti u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání

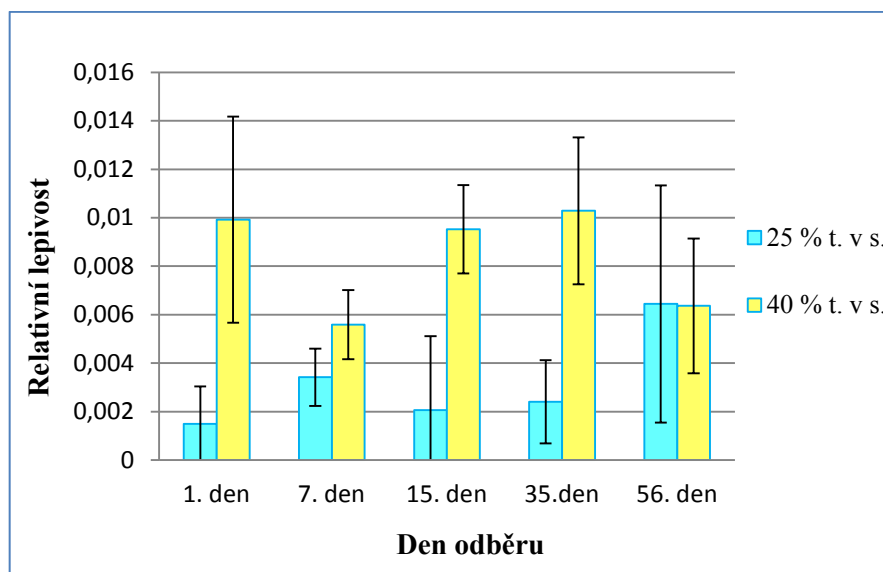
Průběh soudržnosti v sýrech s 25 % t. v s. se od sýrů s 40 % t. v s. lišil pouze mezi 35. a 56. dnem zrání, kdy došlo k nepatrnému zvýšení soudržnosti, zatímco u sýrů s 40 % tuku v sušině došlo k jejímu snížení. Mezi soudržností sýrů s nižším a vyšším obsahem tuku byl na hladině významnosti 0,01 zjištěn významný rozdíl. Sýry s 25 % tuku v sušině vykazovaly po celou dobu zrání vyšší soudržnost.

Tab. 6: Tabulka naměřených hodnot soudržnosti

ODBĚR	25 % tuku v sušině		40 % tuku v sušině		Průměrné hodnoty	
	1. šarže	2. šarže	1. šarže	2. šarže	25 % t. v s	40 % t. v s.
1. den	0,84	0,84	0,80	0,82	0,84	0,81
7. den	0,82	0,78	0,76	0,76	0,80	0,76
15. den	0,86	0,84	0,82	0,76	0,85	0,79
35. den	0,83	0,82	0,76	0,77	0,82	0,77
56. den	0,80	0,85	0,75	0,75	0,83	0,75

### 9.2.3 Relativní lepivost

Při sledování *relativní lepivosti*, která také byla sledována pomocí texturní profilové analýzy a která je zobrazena v Tab. 7 je vidět, že lepivost šarží sýrů s 25 % tuku v sušině měla přímo opačný průběh, než sýry s 40 % tuku v sušině. U jednotlivých šarží dané tučnosti, ať už u sýrů s 25 % tuku v sušině, nebo se 40 % tuku v sušině, změny lepivosti v průběhu zrání byly podobné. To znamená, že u obou šarží s 25 % tuku v sušině od 1. do 56. dne zrání docházelo k zvyšování, poté k snižování a opětovnému růstu. U sýrů s vyšší tučností tomu bylo právě naopak. Docházelo nejdříve k snižování relativní lepivosti, po poklesu následoval růst a poté se opět začala lepivost sýrů snižovat. U 1. šarže byl počáteční pokles výrazný, naopak u 2. šarže téměř zanedbatelný. Při srovnání lepivosti sýrů s odlišnou tučností z grafu 17 je vidět, že průběh lepivosti u jednotlivých tučností byl právě opačný. Mezi prvním a sedmým dnem zrání došlo u tučnějších sýrů k poklesu relativní lepivosti a u sýrů s nižší tučností naopak lepivost rostla. V 15. a 35. den zrání byla lepivost téměř srovnatelná s 1. dnem. V 56. dnu zrání došlo k vyrovnání lepivosti obou tučností sýrů. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 7. Pomocí párového testu byla na hladině významnosti 0,05 prokázána rozdílnost relativní lepivosti mezi sýry s 25 a 40 % tuku v sušině. Sýry s 40 % tuku v sušině vykazovaly vyšší lepivost do 35. dne zrání. Tento fakt souhlasí s Yatesem [66], který říká, že se snižujícím se obsahem tuku dochází i ke snižování lepivosti.



Graf 17: Vývoj lepivosti u sýrů s 25 a 40 % t. v s. průběhu zrání

Tab. 7: Tabulka naměřených hodnot lepivosti

ODBĚR	25 % tuku v sušině		40 % tuku v sušině		Průměrné hodnoty	
	1. šarže	2. šarže	1. šarže	2. šarže	25 % t. v s.	40 % t. v s.
1. den	$2,6 \times 10^{-3}$	$23,5 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-2}$	$6,7 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-3}$	$9,9 \times 10^{-3}$
7. den	$3,8 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-3}$	$4,6 \times 10^{-3}$	$6,6 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-3}$	$5,6 \times 10^{-3}$
15. den	$3,2 \times 10^{-3}$	$8,5 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$9,0 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-3}$	$9,5 \times 10^{-3}$
35. den	$2,3 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$	$9,0 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-3}$	$10,3 \times 10^{-3}$
56. den	$6,6 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$	$4,4 \times 10^{-3}$	$8,3 \times 10^{-3}$	$6,4 \times 10^{-3}$	$6,4 \times 10^{-3}$

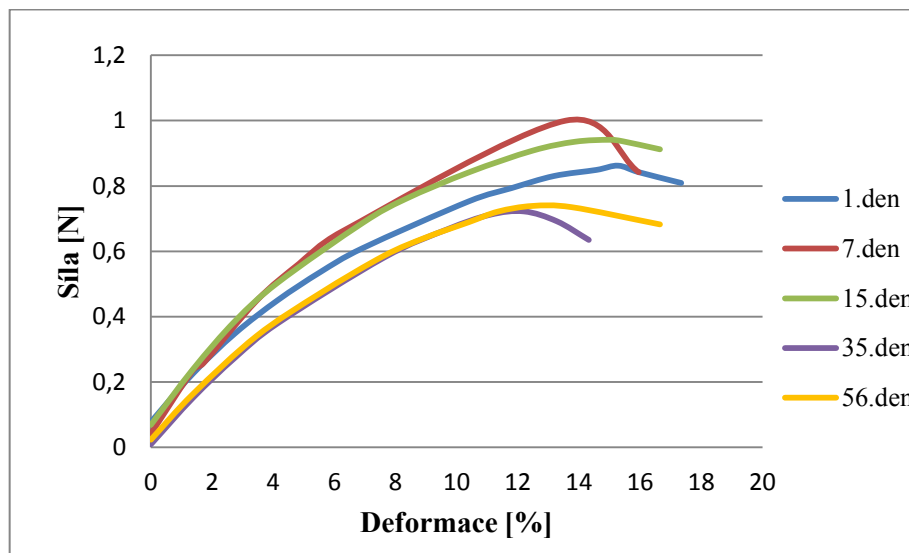
### 9.3 Tahová zkouška

V průběhu zrání byla pomocí tahové zkoušky sledována závislost síly a deformace, deformace při přetržení, parametr viskozity, modul pružnosti v tahu a maximální napětí.

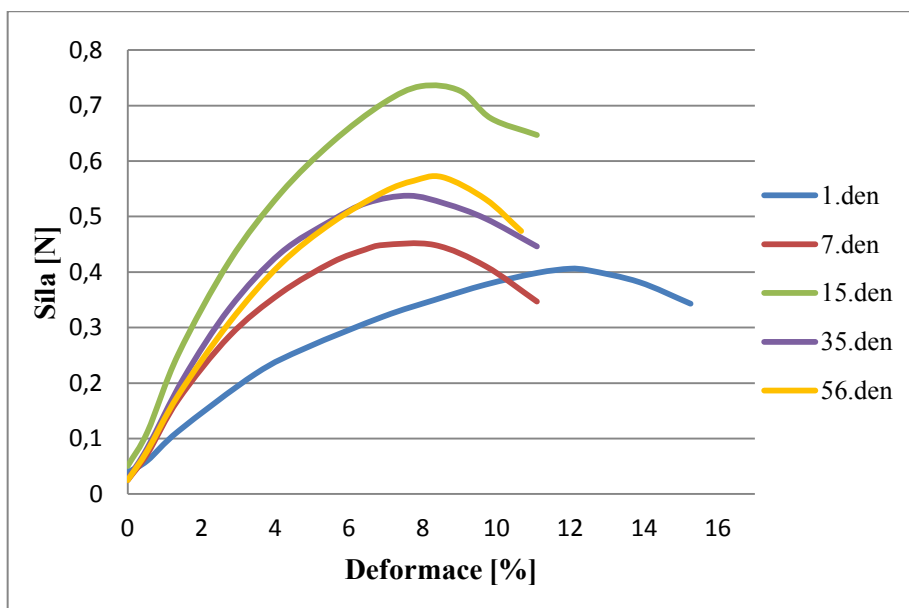
#### 9.3.1 Závislost síly a deformace

Jak již bylo uvedeno, mechanické chování materiálu lze charakterizovat jako deformační odezvu materiálu na působení vnějších sil. U sýrů s 25 % t. v s. byla nejmenší deformace zaznamenána 35. den zrání, naopak největších hodnot dosahovala 1. den zrání. Závislost vztahu potřebné síly pro dosažení deformace při přetržení u ostatních odběrových dnů je zaznamenán v grafu 18. Deformace při přetržení u sýrů s nižším obsahem tuku v sušině byla v porovnání se sýrem s 40 % tuku v sušině výrazně vyšší. V grafu 19 je vidět, že u

sýrů s vyšším obsahem tuku vykazoval modelový vzorek vyšší hodnoty deformace pouze první den zrání před vložením do solné lázně. V tento den bylo ale potřeba pro dosažení přetržení vynaložit nejmenší hodnoty síly.



Graf 18: Průběh vztahu síly a deformace při přetržení v průběhu zrání u sýrů s 25 % t. v s.

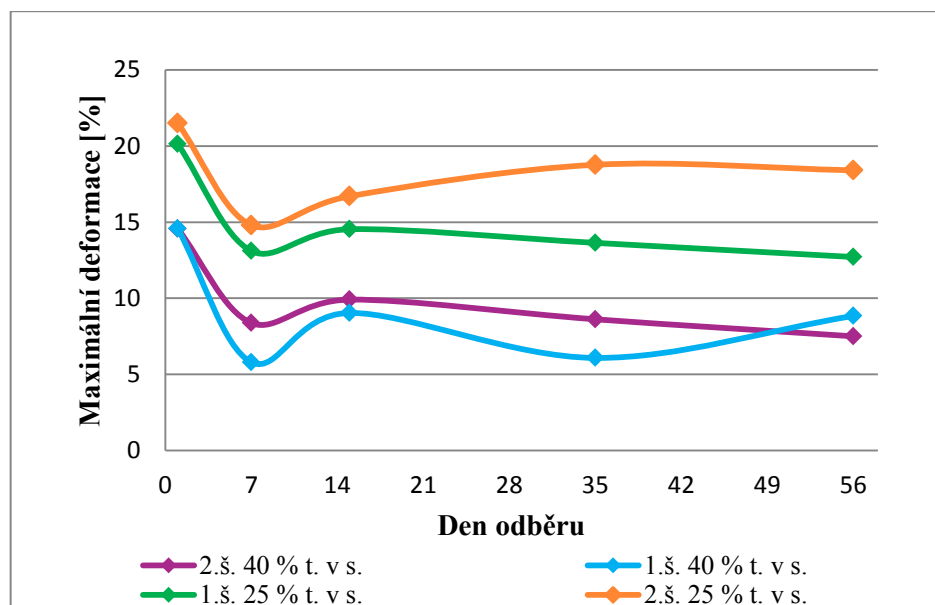


Graf 19: Průběh vztahu síly a deformace při přetržení v průběhu zrání u sýrů s 40 % t. v s.

### 9.3.2 Deformace při přetržení

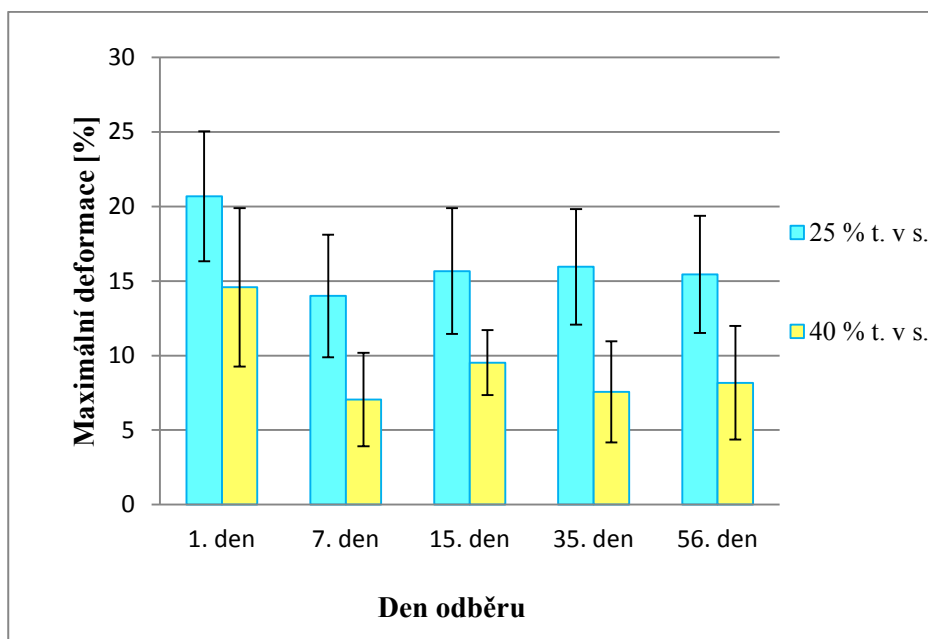
Deformace při přetržení měřená v tahu je zobrazena v grafu 20 a 21. V grafu 20 je vidět, že průběh maximální deformace obou šarží sýrů s 25 % tuku v sušině byl do 15. dne zrání stejný. Po tomto dnu hodnoty deformace u první šarže klesaly, kdežto u druhé šarže se maximální deformace zvyšovala až do 35. dne zrání a teprve poté docházelo k poklesu.

Mezi dvěma šaržemi sýrů s 25 % tuku v sušině byl na hladině významnosti 0,05 shledán rozdíl. Průběhy deformace korelují záporně s vývojem sušiny v těchto dvou šaržích, jak je vidět v grafu 10 a 20. U šarži sýrů s 40 % tuku v sušině se maximální deformace vyvíjela do 15. dne zrání podobně, po tomto dnu došlo u první šarže k poklesu, kdežto u šarže druhé byl trend deformace kolísavý. Ze statistického hlediska nebyl mezi 1. a 2. šarží sýrů s 40 % tuku v sušině shledán rozdíl. Sýry s 25 % tuku v sušině nabývaly po celou dobu zrání vyšších hodnot, než sýry s vyšším obsahem tuku v sušině. Dle grafu 21, kde je tažnost odpovídající deformaci při přetržení srovnávána mezi výslednými hodnotami jednotlivých tučností, lze říct, že k největším změnám dochází v prvních patnácti dnech zrání, poté hodnoty sice kolísaly, ale v úzkém rozpětí hodnot, proto lze konstatovat, že deformace sýrů se po patnáctém dnu zrání začne ustalovat. Na základě párového testu lze říct, že rozdíl mezi sýry s 25 a 40 % tuku v sušině je na hladině významnosti 0,01 statisticky významný, který je přisuzován tomu, že u sýrů s 25 % tuku v sušině dosahuje maximální deformace po celou dobu zrání vyšších hodnot, než u sýrů s 40 % tuku v sušině. Průběh maximální deformace během zrání byl u sýrů obou tučností podobný, jako v práci Nehodové. [71].



Graf 20: Vývoj deformace při přetržení v tahu jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání





Graf 21: Vývoj maximální deformace v tahu u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání

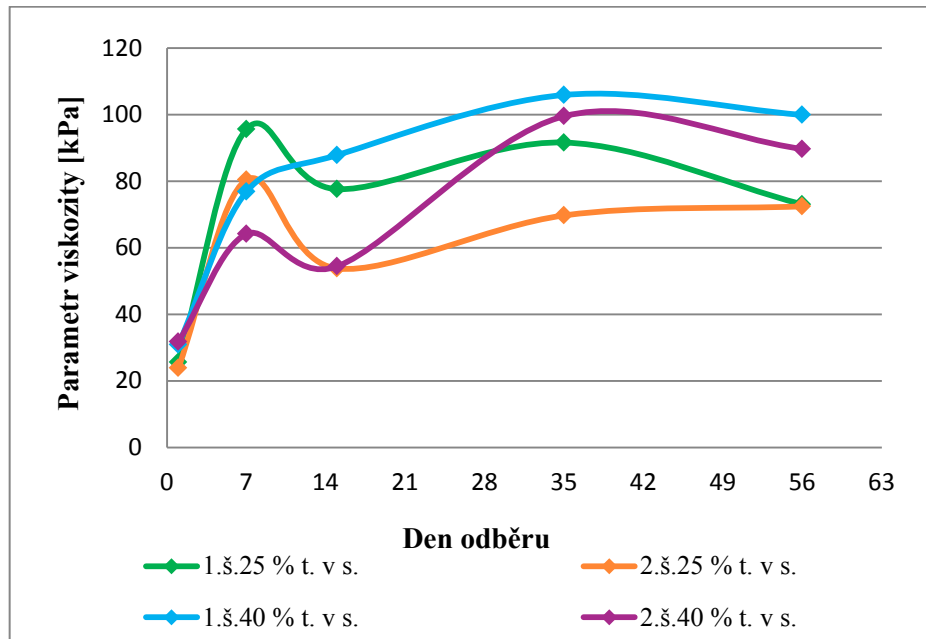
Tab. 8: Hodnoty maximální deformace jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání

Maximální deformace [%]						
Tuk v sušině	Výrobní šarže	Den odběru v průběhu zrání				
		1. den	7. den	15. den	35. den	56. den
25%	1. šarže	20 ± 5	13 ± 5	15 ± 3	14 ± 3	13 ± 3
	2. šarže	22 ± 4	15 ± 3	17 ± 5	19 ± 3	18 ± 3
40%	1. šarže	15 ± 5	6 ± 3	9 ± 2	6 ± 1	9 ± 3
	2. šarže	15 ± 5	8 ± 3	10 ± 2	9 ± 4	8 ± 4

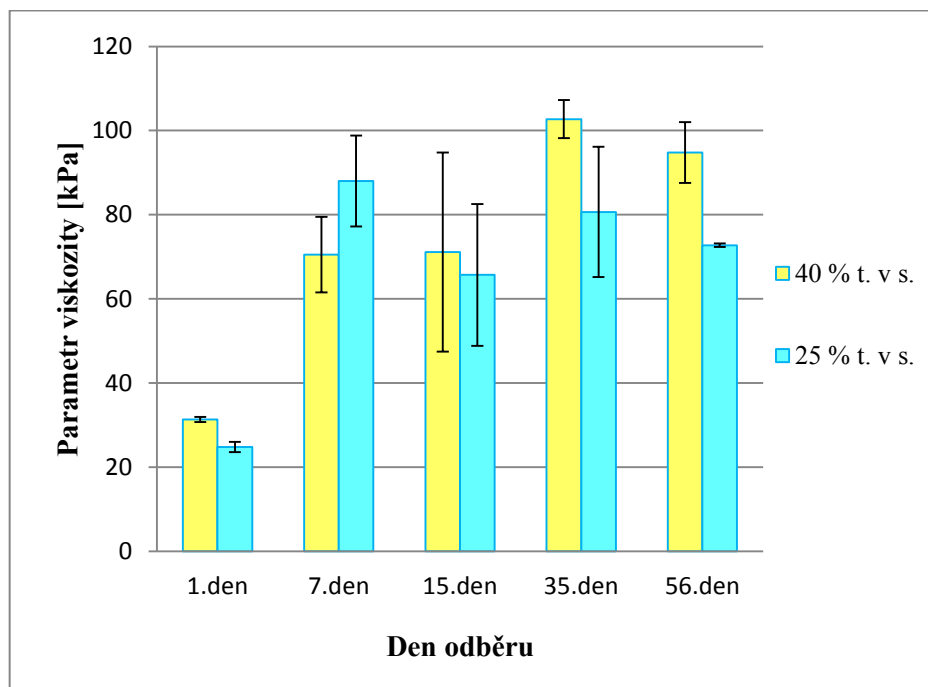
### 9.3.3 Parametr viskozity

Z výše uvedených závislostí byl po přepočtu síly a deformace vyhodnocen *parametr viskozity*. Změny parametru viskozity u jednotlivých šarží jsou zobrazeny v Tab. 9 a grafu 22. U jednotlivých šarží sýrů s 25 % tuku v sušině se vývoj parametru viskozity lišil pouze po 35. dnu zrání, a to tak, že u 1. šarže poklesl, kdežto u 2. šarže od 15. dne zrání stále rostl až do konce zračího pokusu. Při srovnání šarží sýrů s 40 % tuku v sušině byla odlišnost pouze mezi 7. a 15. dnem zrání, kdy u druhé šarže došlo k poklesu parametru viskozity, po 15. dnu zrání byl průběh obou šarží stejný. V grafu 22 je vidět, že parametr viskozity se u sýrů s nižším obsahem tuku zvyšoval do 7. dne zrání, s následným poklesem do 15. dne zrání. Po tomto dnu se již parametr viskozity pouze zvyšoval, kdežto u sýrů s vyšším obsahem tuku docházelo do 35. dne zrání k zvyšování tohoto parametru, až poté k poklesu.

K největšímu zvýšení parametru viskozity došlo u sýrů obou tučností po prosolení, tedy mezi 1. a 7. dnem zrání. I když je rozdíl absolutních hodnot parametru viskozity pro různé tučnosti statisticky méně významný, parametr citlivě reaguje na změny kohezních sil v průběhu zrání.



Graf 22: Vývoj parametru viskozity jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání



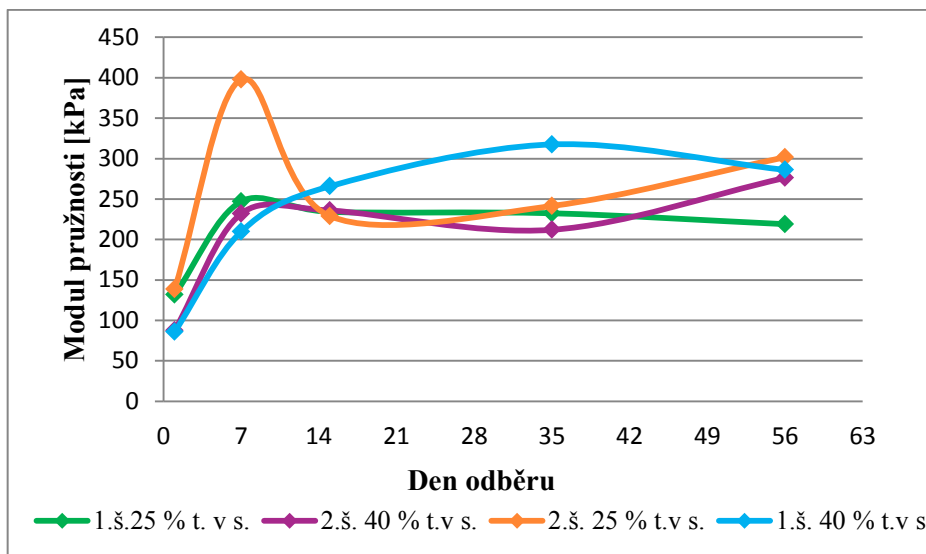
Graf 23: Vývoj parametru viskozity u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání

Tab. 9: Hodnoty parametru viskozity jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání

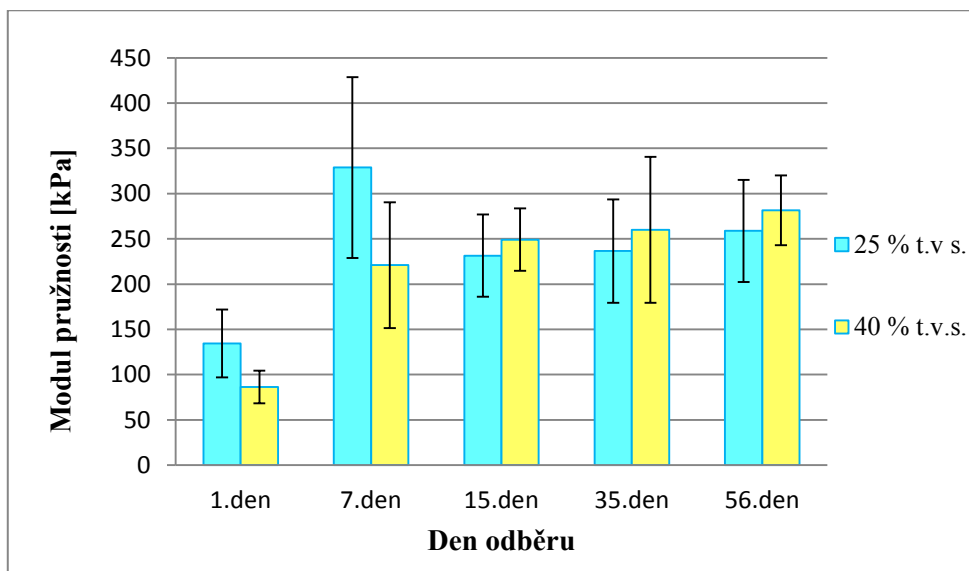
Parametr viskozity [kPa]						
		1. den	7. den	15. den	35. den	56. den
25 % t. v s.	1. šarže	26	96	78	92	73
	2. šarže	24	80	54	70	72
	Ø	25	88	66	81	73
40 % t. v s.	1. šarže	31	77	88	106	100
	2. šarže	32	64	54	100	90
	Ø	31	70	71	103	95

### 9.3.4 Modul pružnosti v tahu

Průběh změn modulu pružnosti je zaznamenán v grafu 24, 25 a v Tab. 10. Při porovnání vývoje modulu pružnosti u jednotlivých vyrobených šarží sýrů bylo zjištěno, že do 15. dne zrání byl průběh podobný, docházelo do 7. dne zrání k růstu a následně do 15. dne zrání klesal. Modul pružnosti u jednotlivých šarží sýrů o nižší tučnosti byl po 15. dnu zrání vždy opačný, tedy u první šarže sýrů klesal, kdežto u druhé šarže stoupal. U sýrů s vyšší tučností došlo k rozdílu hned po 7. dnu zrání, kde docházelo u první šarže k růstu modulu pružnosti až do 35. dne zrání s následným poklesem. U 2. šarže došlo ve stejném časovém období nejprve k poklesu modulu pružnosti, s následným růstem. V grafu 25 lze pozorovat rozdíl modulu pružnosti mezi sýry s různou tučností. K největší změně došlo u sýrů obou tučností mezi 1. a 7. dnem zrání, kde došlo k rapidnímu zvýšení modulu pružnosti. U sýrů s nižším obsahem tuku v sušině po nasolení nejdříve došlo k výraznému růstu a následnému mírnému poklesu modulu pružnosti. Po 15. dnu došlo opět k jeho růstu. U sýrů s vyšším obsahem tuku v sušině se modul pružnosti po celou dobu zrání zvyšoval. Od počátku zrání měly sýry s nižším obsahem tuku vyšší modul pružnosti, mezi 7. a 15. dnem zrání modul tučnějších sýrů nabyl vyšších hodnot než modul sýrů s nižším obsahem tuku v sušině, které si udržel až do konce zracího pokusu. Dle statistiky nebyl u sledovaného parametru shledán významný rozdíl ani mezi sýry s odlišným obsahem tuku ani mezi jednotlivými šaržemi. Modul pružnosti se na rozdíl od Nedomové [70] téměř po celou dobu zrání u obou tučností sýrů mírně zvyšoval.



Graf 24: Vývoj modulu pružnosti v tahu jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání



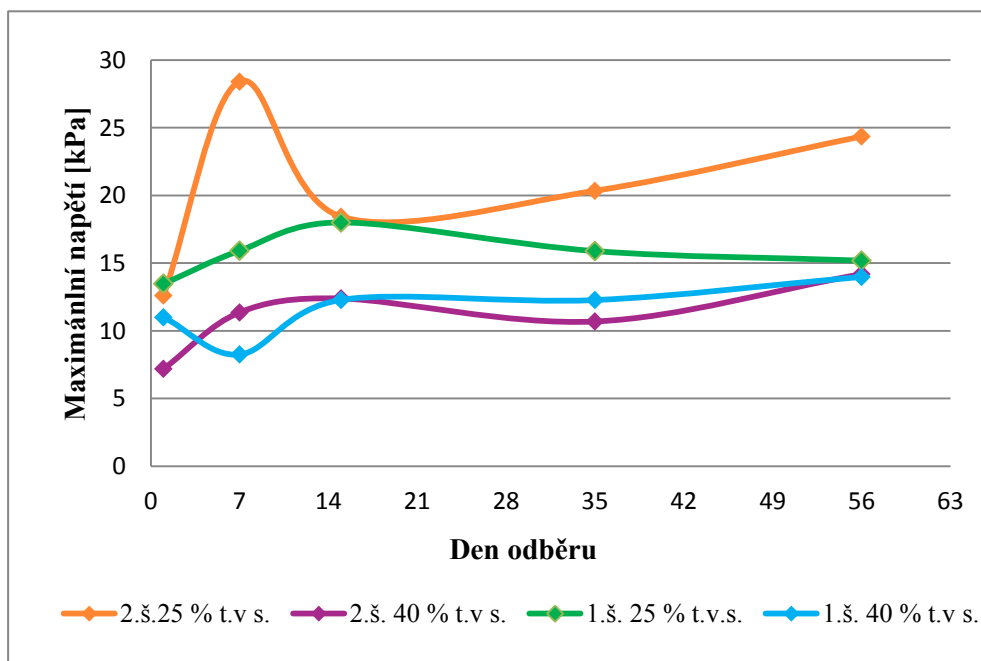
Graf 25: Vývoj modulu pružnosti v tahu u sýrů s 25 a 40 % t. v. s. v průběhu zrání

Tab. 10: Hodnoty modulu pružnosti v tahu jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání

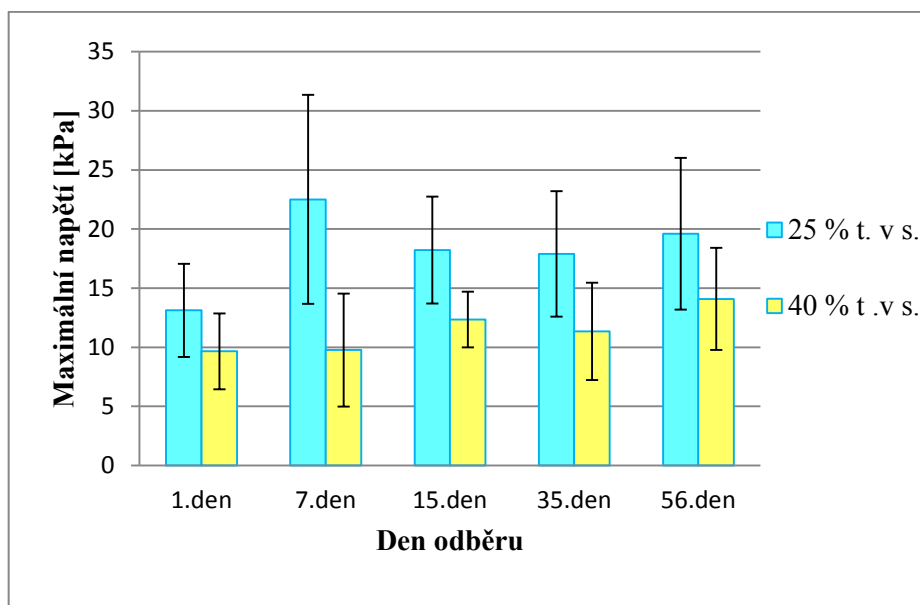
Modul pružnosti v tahu [kPa]						
Tuk v sušině	Výrobní šarže	Den odběru v průběhu zrání				
		1. den	7. den	15. den	35. den	56. den
25 %	1. šarže	132 ± 47	247 ± 41	234 ± 40	232 ± 46	219 ± 40
	2. šarže	139 ± 17	398 ± 81	229 ± 52	241 ± 70	302 ± 36
40 %	1. šarže	86 ± 17	210 ± 76	266 ± 19	318 ± 59	286 ± 44
	2. šarže	87 ± 23	232 ± 64	236 ± 39	212 ± 64	276 ± 35

### 9.3.5 Maximální napětí

U jednotlivých šarží nebyl u maximálního napětí zaznamenán žádný jednoznačný společný trend. K největším změnám došlo u druhé šarže sýrů s 25 % tuku v sušině mezi 1. a 7. dnem zrání, kdy došlo k prudkému růstu maximálního napětí s následným poklesem. Vývoj napětí u jednotlivých šarží je zaznamenán v Tab. 11 a grafu 26. Z pohledu vlivu rozdílného obsahu tuku v sýrech, jak je zobrazeno v grafu 27, bylo zjištěno, že maximální napětí bylo u sýrů s nižším obsahem tuku po celou dobu zracího pokusu vyšší. U sýrů s 25 % tuku v sušině byl vývoj kolísavý, k největší změně došlo mezi 1. a 7. dnem zrání, kde došlo k výraznému růstu. U sýrů s 40 % tuku v sušině se maximální napětí po celou dobu zvyšovalo, pouze v 35. dnu zrání došlo k poklesu. Mezi 15. a 56. dnem zrání se maximální napětí měnilo u obou tučností jen nevýznamně. Mezi maximálním napětím sýrů s různým podílem tuku byl zaznamenán statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 0,01. Maximální napětí, neboli pevnost, je u sýrů s nižším obsahem tuku vyšší, což souhlasí s Mistry [78]. Průběh maximálního napětí ale nesouhlasí s průběhem pevnosti u Nehodové [71], které pevnost po 15. dnu zrání nejdříve rostla s následným poklesem, kdežto u obou tučností sýrů ke konci zracího pokusu spíše vzrostla.



Graf 26: Vývoj maximálního napětí jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání



Graf 27: Vývoj maximálního napětí v tahu u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání

Tab. 11: Hodnoty maximálního napětí jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání

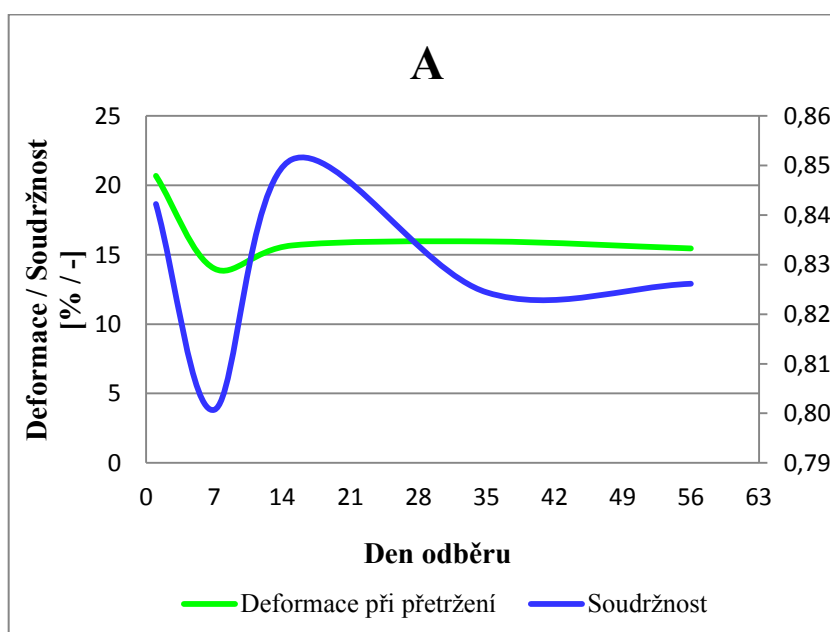
Maximální napětí [%]						
Tuk v sušině	Výrobní šarže	Den odběru v průběhu zrání				
		1. den	7. den	15. den	35. den	56. den
25 %	1. šarže	13 ± 5	16 ± 6	18 ± 4	16 ± 5	15 ± 5
	2. šarže	13 ± 3	28 ± 6	18 ± 5	20 ± 5	24 ± 4
40 %	1. šarže	11 ± 2	8 ± 5	12 ± 2	12 ± 4	14 ± 6
	2. šarže	7 ± 4	11 ± 4	12 ± 3	11 ± 4	14 ± 3

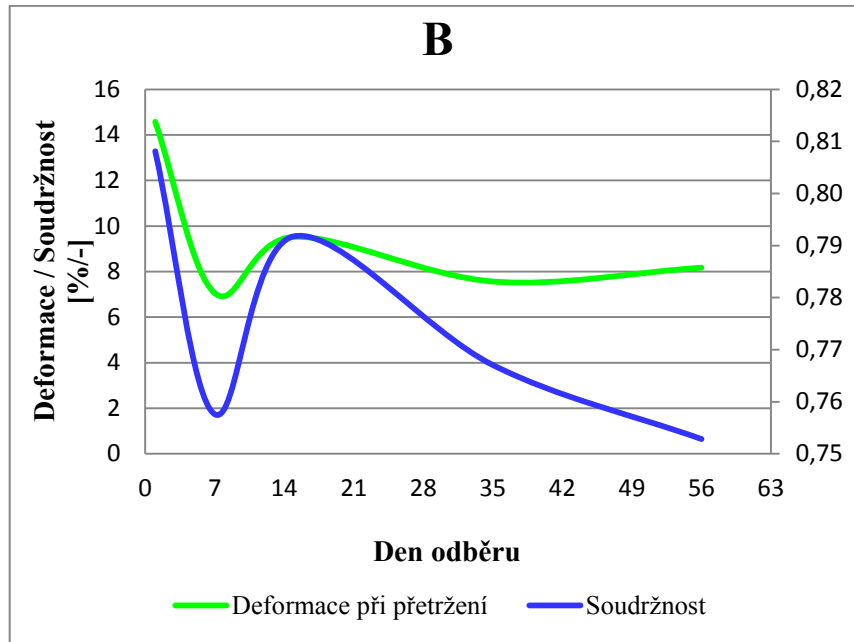
## 10 SROVNÁNÍ MECHANICKÝCH A CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ U SÝRŮ S ODLIŠNÝM OBSAHEM TUKU

Na začátku experimentu byly vyrobeny sýry dvou tučností, s 25 % a 40 % tuku v sušině. Před uložením do solné lázně měly nižší pH, než je obvyklé, což se projevilo i na jejich chuti. V průběhu experimentu se do 15. dne zrání vyvíjelo vzhledem k pH klasicky [76], tedy docházelo nejprve k snížení s následným růstem, poté se pH ještě snižovalo. Sýry od počátku zrání měly kyselejší chuť. První den zrání nebyla hmota homogenní, u sýrů s nižším obsahem tuku docházelo k přetrhávání vzorků ještě před upevněním do čelistí testovacích zařízení, většinou již při vysekávání vzorku. Tento problém se s dalšími odběry vytrácel. V poslední odběrový den byla konzistence tvrdá, ale mazlavá. U sýrů s 40 % tuku v sušině byla zpočátku konzistence o něco lepší, k přetrhávání vzorků z důvodu nekonzistentnosti docházelo až v 7. den zrání. Poté se ale konzistence i chuť zlepšovala.

### 10.1 Srovnání texturních a mechanických vlastností

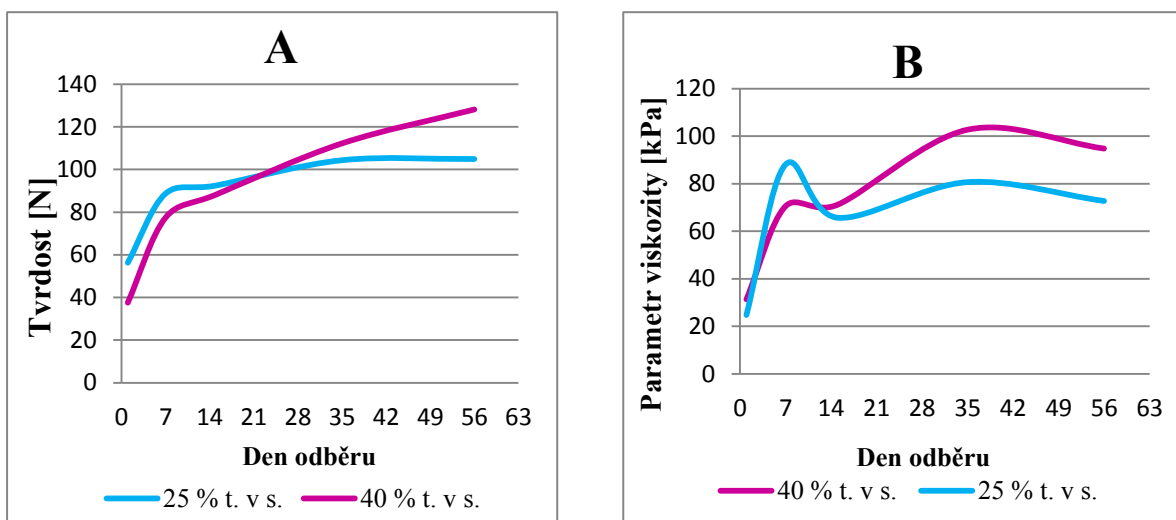
Při srovnání výsledků z tahové zkoušky a TPA bylo zjištěno, že **deformace při přetržení a soudržnost** měly v průběhu zrání podobný průběh. U obou parametrů došlo k největším změnám mezi 1. a 15. dnem zrání. Srovnávané parametry jsou zobrazeny v grafu 28 A a B. Z grafů je vidět, že do 15. dne zrání měly jak deformace, tak soudržnost stejný vývojový trend nezávisle na obsahu tuku v sušině sýrů. S klesající soudržností klesala i deformace při přetržení. U deformace ale změny nenabývaly takových rozsahů, jako u soudržnosti.





Graf 28: Srovnání deformace při přetržení a soudržnosti u sýrů s 25 % (A) a 40 % t. v s. (B) v průběhu zrání

Při srovnání **parametru viskozity s tvrdostí**, jak je vidět v 29 A a B, bylo zjištěno, že parametr viskozity i tvrdost mají u sýrů s 25 % tuku v sušině podobný trend. Tvrdost, stejně jako parametr viskozity a modul pružnosti nabyly vyšších hodnot u sýrů s 40 % tuku v sušině, než sýry s 25 % tuku v sušině po 15. dnu zrání.

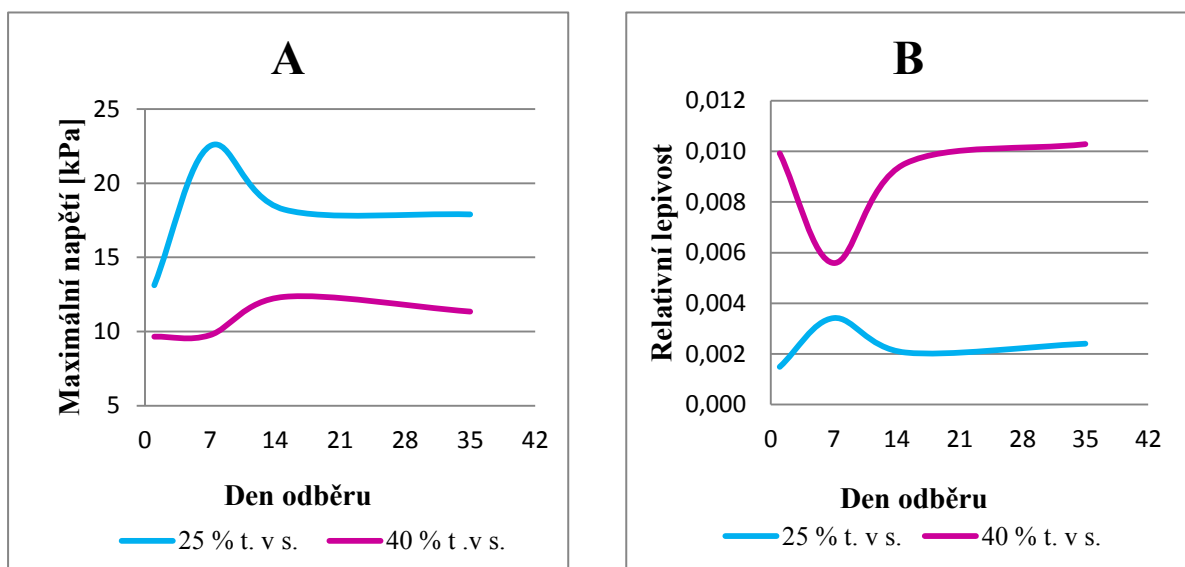


Graf 29: Srovnání tvrdosti (A) a parametru viskozity (B)

Ačkoliv charakterizují poněkud odlišné texturní vlastnosti, podobný trend v prvních dvou týdnech zrání měly **maximální napětí a relativní lepivost**. V grafu 30 A a B je vidět, že u

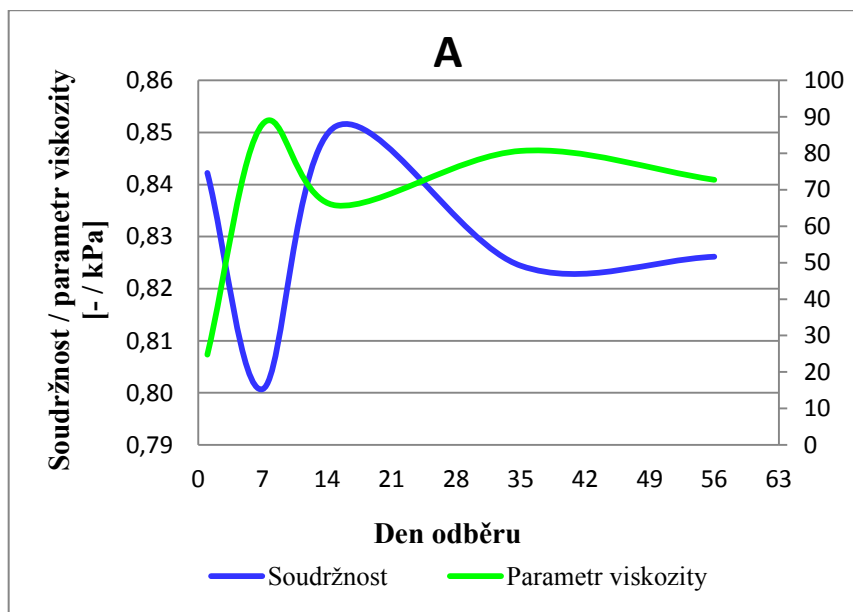


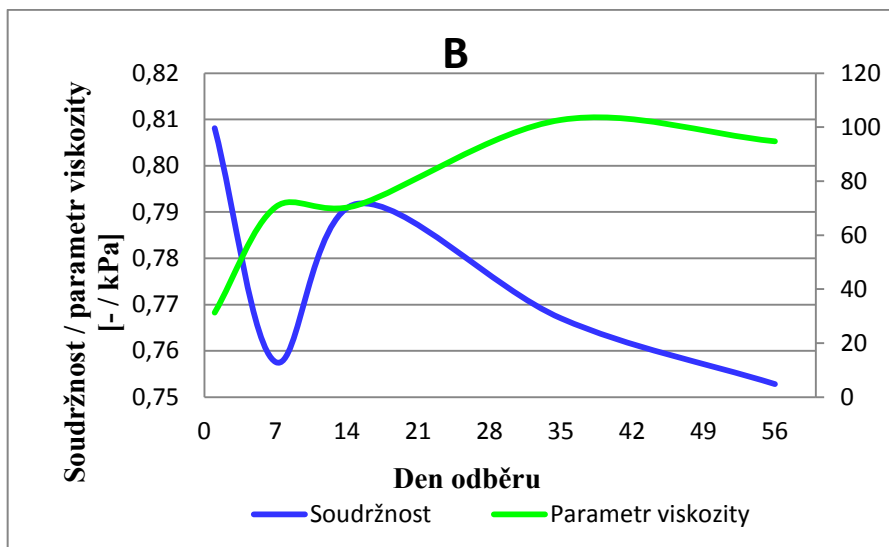
sýrů s 25 % tuku v sušině se trendy se do 15. dne zrání podobaly. U sýrů s vyšším podílem tuku je trend podobný především mezi 7. a 15. dnem zrání.



Graf 30: Srovnání maximálního napětí (A) a relativní lepivosti (B)

Dle Pesentiho a kol.[56] by měl **parametr viskozity** růst s klesající kohezí. Jak je vidět z grafu 31 A a B, roste podobně tento parametr s klesající **soudržností**. Tento fakt odpovídá našim výsledkům do 35. dne zrání u obou tučností. Po tomto dnu zrání docházelo k mírným odchylkám.

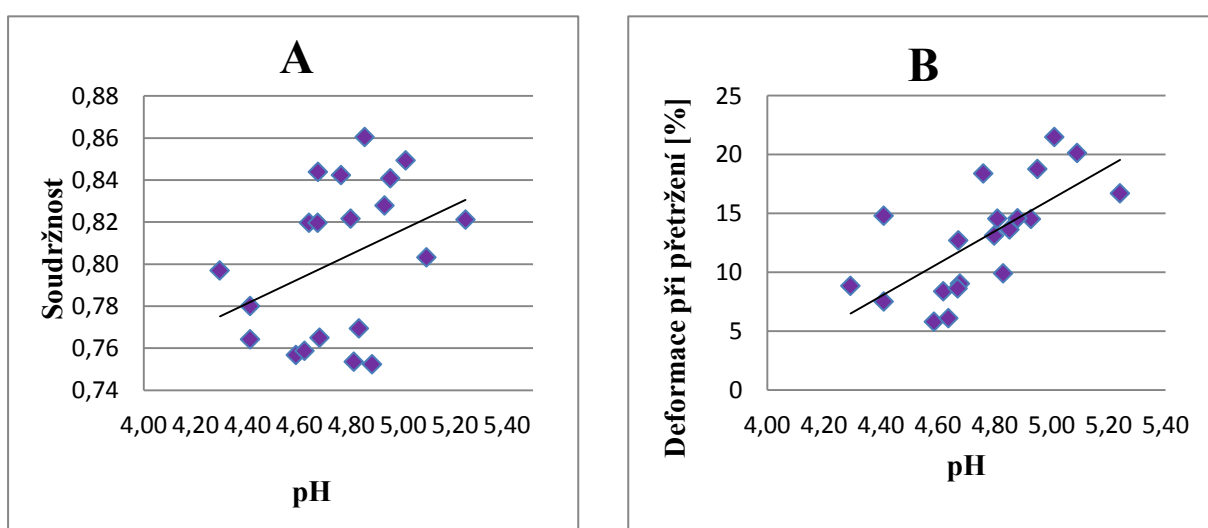




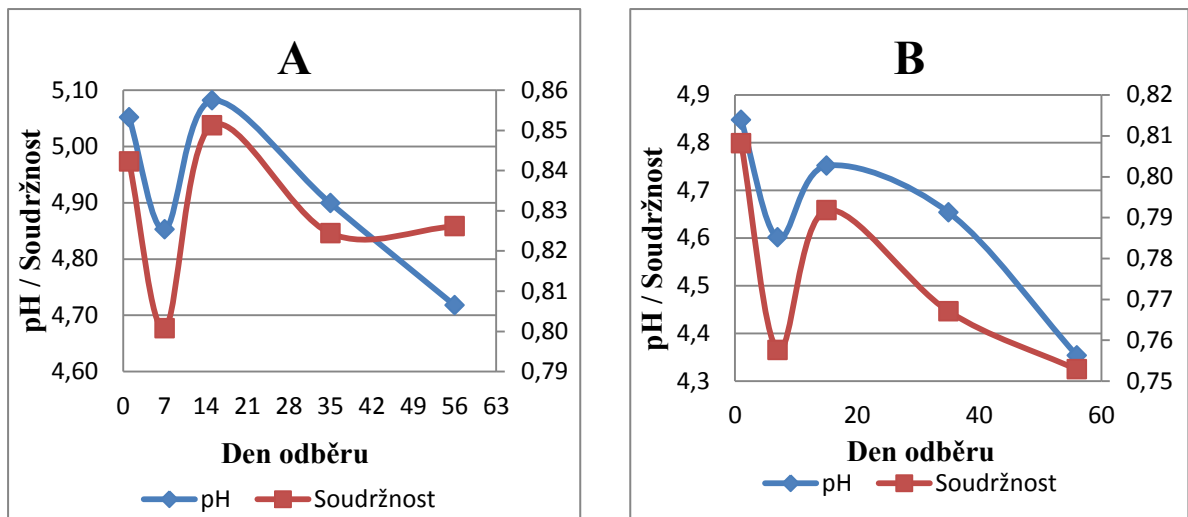
Graf 31: Srovnání soudržnosti a parametru viskozity u sýrů s 25 % (A) a 40 % t. v s. v průběhu zrání

## 10.2 Korelace mezi mechanickými a chemickými vlastnostmi sýrů

Trendy **deformace při přetržení** i **soudržnosti** do 15. dne zrání odpovídaly trendům vývoje pH u daných tučností tak, že s klesajícím pH klesaly a s rostoucím pH stoupaly hodnoty obou těchto parametrů. Závislost pH a obou těchto parametrů u všech vyrobených šarží je zobrazena v grafu 32 A a B. Pearsonův koeficient pro deformaci při přetržení byl 0,67, u soudržnosti 0,37. Srovnání vývoje soudržnosti a pH v průběhu zrání dokumentuje graf 33 A a 33 B.

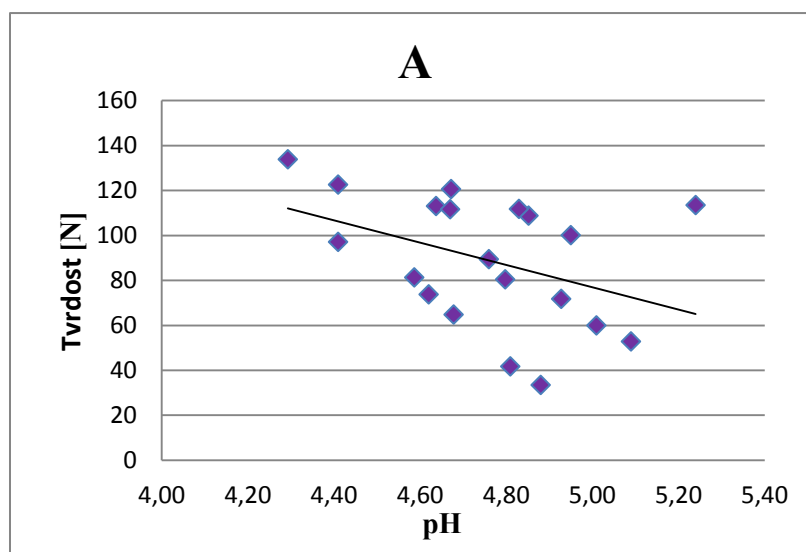


Graf 32: Korelace pH a soudržnosti (A) a pH s deformací při přetržení (B) všech vyrobených šarží v průběhu zrání



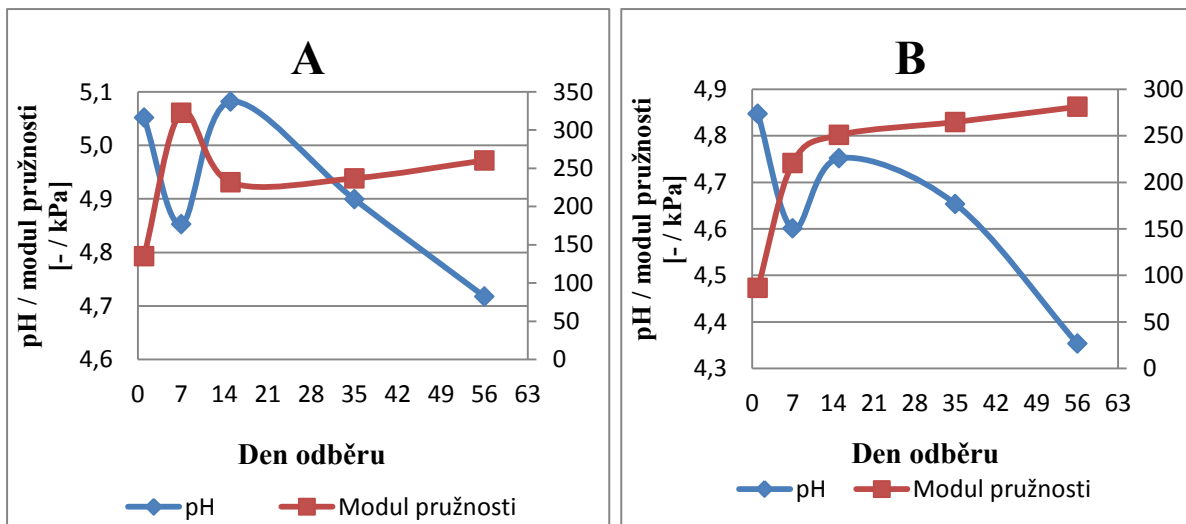
Graf 33: Srovnání soudržnosti a pH u sýrů s 25 % (A) a 40 % t. v s. (B) v průběhu zrání

V grafu 34 A je zobrazena závislost **tvrdosti** na pH faktorem, která ukazuje, že s rostoucím pH se tvrdost sýrů snižuje. Průběh tohoto parametru ukázal, že tato korelace byla prokázána jednoznačně do 35. dne zrání. Pearsnův koeficient byl pro tvrdost -0,41.

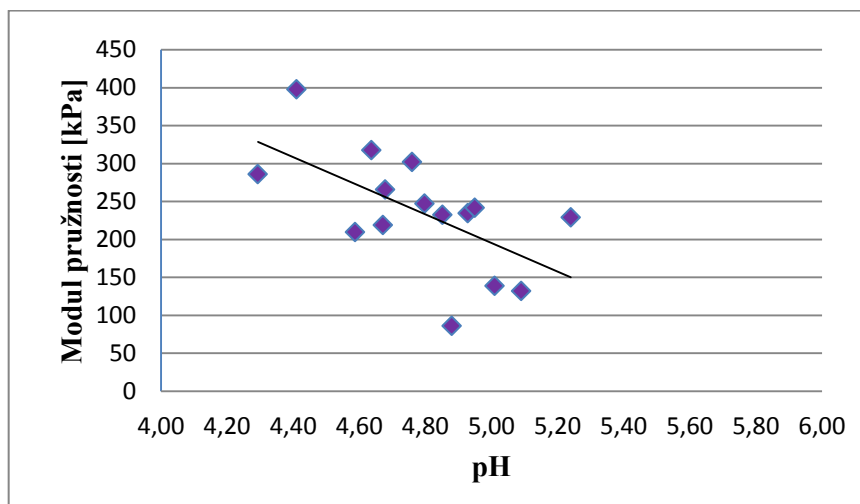


Graf 34: Korelace pH s tvrdostí (A) všech vyrobených šarží v průběhu zrání

V grafu 35 je zobrazena korelace **modulu pružnosti** na pH všech vyrobených šarží. Lze pozorovat, že s rostoucím pH dochází k snižování modulu pružnosti. Při srovnání grafů 35 A a B průběhu modulu pružnosti a hodnot pH z celkových hodnot dané tučnosti, bylo zjištěno, že v průběhu zrání u sýrů s 25 % tuku v sušině při poklesu aktivní kyselosti došlo k zvyšování modulu pružnosti a naopak. U sýrů s vyšším podílem tuku v sušině byl tento trend podobný, pouze mezi 7. a 15. dnem zrání byl trend pH a modulu pružnosti rostoucí. Pearsnův koeficient byl - 0,55.

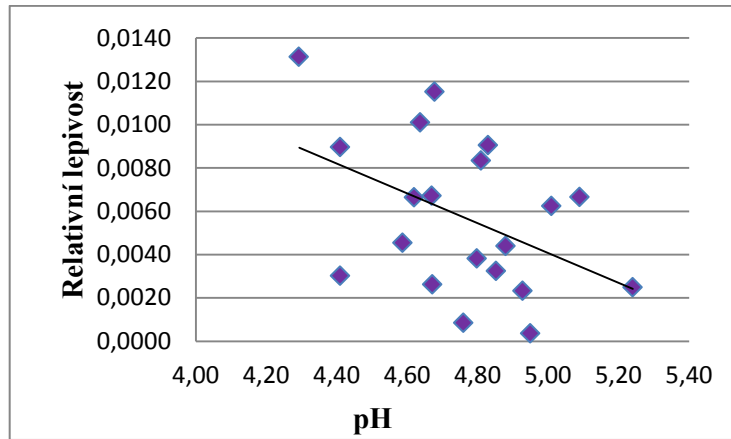


Graf 35: Srovnání vývoje pH a modulu pružnosti u sýrů s 25 % (A) a 40 % (B) t. v s. v průběhu zrání

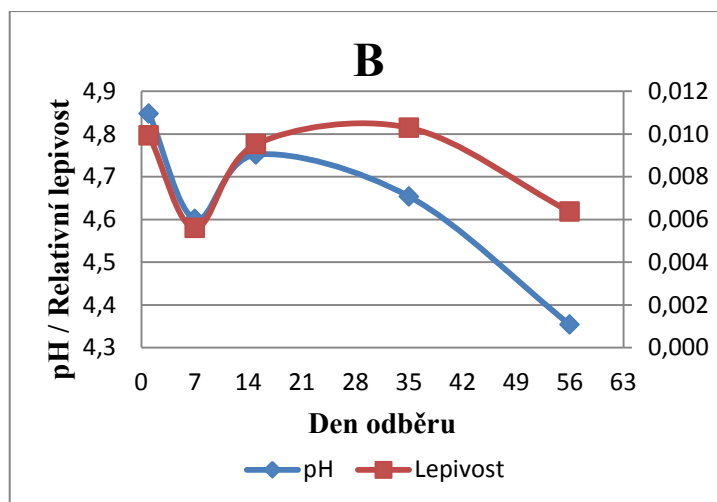
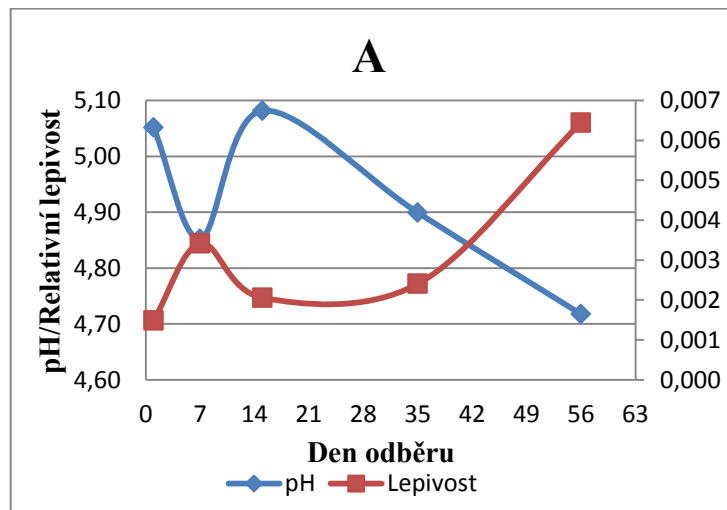


Graf 36: Závislost pH a modulu pružnosti všech vyrobených šarží v průběhu zrání

V grafu 37 je zaznamenána korelace pH a **relativní lepivosti**, kde se zvyšujícím pH dochází k snižování relativní lepivosti. V grafu 36 A a B je vidět, že u sýrů s 25 % tuku v sušině byla tato korelace v průběhu zrání prokázána, kdežto u sýrů s 40 % tuku v sušině byla opačná. U sýrů s vyšší tučností s rostoucím pH lepivost rostla. Proto nelze říct, že je pH směrodatným parametrem ovlivňujícím relativní lepivost sýrů, i přes to, že byl Pearsoův koeficient -0,45.



Graf 37: Závislost pH a relativní lepivosti všech vyrobených šarží v průběhu zrání



Graf 38: Srovnání vývoje pH a relativní lepivosti u sýrů s 25 % (A) a 40 % (B) t. v. s. v průběhu zrání

## ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na zkoumání vlivu zrání na mechanické vlastnosti sýrů eidamského typu odlišné tučnosti. Byly vyrobeny sýry s 25 % a 40 % tuku v sušině.

Z výsledků práce plyne následující:

**Tvrдость, modul pružnosti a parametr viskozity** vykazovaly vyšší hodnoty přibližně do 15. dne zrání u sýrů s nižším obsahem tuku, po tomto dnu vyšších hodnot nabývaly sýry s vyšším tukovým podílem. Statisticky významný rozdíl mezi sýry s 25 a 40 % tuku v sušině u těchto vlastností shledán nebyl.

- **Tvrдость** se po celou dobu zrání zvyšovala.
- **Modul pružnosti** u sýrů s 25 % tuku v sušině v prvních dnech stoupal s následným poklesem do 15. dne zrání, po kterém opět rostl. U sýrů s 40 % tuku v sušině stále rostl.
- **Parametr viskozity s tvrđostí** měl podobný vývoj v průběhu zrání u sýrů s 25 % tuku v sušině, u sýrů s 40 % tuku v sušině toto prokázáno nebylo.

**Soudržnost, maximální napětí, deformace při přetržení i relativní lepivost** vykazovaly u sýrů s rozdílným podílem tuku statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 0,01. Sýry s 25 % tuku v sušině u všech parametrů kromě relativní lepivosti vykazovaly po celou dobu zrání vyšších hodnot.

- U **soudržnosti a deformace při přetržení** byl mezi prvním a posledním dnem měření zaznamenán pokles, který byl výraznější u sýrů s 40 % tuku v sušině.
- **Maximální napětí** bylo na konci zračího pokusu u sýrů obou tučností vyšší, než na začátku, u sýrů s 25 % tuku v sušině byly zaznamenány větší změny ve vývoji.
- **Relativní lepivost** byla po celou dobu zrání nižší u sýrů s nižším obsahem tuku. I přes odlišný vývoj, kdy lepivost u sýrů s 25 % tuku v sušině během doby zrání rostla a u sýrů s 40 % tuku v sušině klesala, byla v poslední den zrání u obou tučností téměř vyrovnána.

Při zjišťování korelací mezi mechanickými a chemickými parametry v průběhu zrání sýrů bylo zjištěno:

- Soudržnost a deformace při přetržení s rostoucím pH rostly. Nejtěsnější korelace se projeví u deformace s hodnotou Pearsonova koeficientu 0,67.
- Tvrdost, parametr viskozity a modul pružnosti s klesajícím pH stoupaly. Hodnoty Pearsonova koeficientu jsou nejvyšší pro modul pružnosti (-0,55), parametr viskozity (-0,52) a nakonec pro tvrdost (-0,41).
- Nejvyšší stupeň korelace s pH faktorem byl z texturních parametrů zaznamenán u relativní lepivosti, Pearsonův koeficient pro relativní lepivost byl stanoven na -0,45 u sýrů s 25 % tuku v sušině, která s rostoucím pH klesala, u sýrů s 40 % tuku v sušině naopak rostla.

Při srovnání mechanických vlastností sýrů eidamského typu s 25 % a 40 % tuku v sušině bylo zjištěno, že ve vývoji jednotlivých vlastností měly mechanické charakteristiky nejčastěji podobné průběhy do 15. dne zrání. Po tomto dnu docházelo k odchýlkám ve vývoji, ať už u jednotlivých šarží, nebo daných tučností.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BUŇKA, František. *Mlékárenská technologie I*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013, 258 s. ISBN 978-80-7454-254-1.
- [2] DOSTÁLOVÁ, Jana, Pavel KADLEC. *Potravinářské zbožíznalství: technologie potravin*. Vyd. 1. Ostrava: Key Publishing, 2014, 425 s. ISBN 978-80-7418-208-2.
- [3] ŠNIRC, Július, Jozef GOLIAN, Karol HERIAN, František BUŇKA, Leona BUŇKOVÁ a Margita ČANIGOVÁ. *Mlieko a mliečne výrobky*. Vydanie prvé. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2015, 221 stran. ISBN 978-80-552-1311-8.
- [4] GAJDŮŠEK, Stanislav. *Laktologie*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003, 78 s. ISBN 80-7157-657-3.
- [5] KADLEC, Pavel, Karel MELZUCH, Michal VOLDŘICH. *Co byste měli vědět o výrobě potravin?: Technologie potravin*. Vyd. 1. Ostrava: Key Publishing, 2010, 536 s. ISBN 978-80-7418-051-4.
- [6] ŠUSTOVÁ, Květoslava, Vladimír SÝKORA. *Mlékárenské technologie*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita, 2013, 223 s. ISBN 978-80-7375-704-5.
- [7] HRABĚ, Jan. *Technologie výroby potravin živočišného původu pro kombinované studium*. Vyd.1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 185 s. ISBN 978-80-7318-521-3.
- [8] Česká republika. Vyhláška č. 77/2003 Sb., kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. In: 2003. 2003. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-77>.
- [9] Kadlec, P., et al. *Technologie potravin II*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2002. 236p. ISBN 80-7080-510-2.
- [10] BŘEZINA, P., KOMÁR, A., HRABĚ, J.: *Technologie, zbožíznalství a hygiena potravin, část II.*, Vysoká škola pozemního vojska, Vyškov, 2001, ISBN 80-7231-079-8.
- [11] LAW, Barry A. a A. Y. TAMIME. *Technology of cheesemaking*. 2nd ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010, 1 online zdroj (xxv, 482 s.). Society of Dairy Technology book series. DOI: 978-1-4443-2374-0. Dostupné také z: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781444323740>



- [12] FOX, P. F., McSWEENEY, P.L.H., COGAN, T. M., GUINEE, T.P.: *Cheese Chemistry, Physics and Microbiology*, London: Champan & Hall.
- [13] FOX, P. F., GUINEE, T. P., COGAN, T. M., McSWEENEY, P. L. H. *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 2000. ISBN 0-8342-1260-9.
- [14] McSWEENEY, P. L. H. *Cheese problems solid*. 1st ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2007. ISBN 978-1-84569-060-1.
- [15] DRDÁK, M. *Základy potravinářských technologií*, 1. vydání. Bratislava: Malé centrum 1996. 495 s. ISBN – 8096706411.
- [16] HRABĚ, J., BŘEZINA, P., VALÁŠEK, P.: *Technologie výroby potravin živočišného původu*, UTB, Zlín, 2006, ISBN 80-7318-405-2.
- [17] ICMSF *Microorganisms in foods*. 2nd ed. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, c2005. ISBN 030648675X.
- [18] GUINEE, T. P. (2004). *Salting and the role of salt in cheese*. *International Journal of Dairy Technology*, 57, 99-109.
- [19] WEIMER, Bart C. (2007). *Improving the Flavour of Cheese*. Woodhead Publishing. Do stupné z:  
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIFC00002/improving-flavour-cheese/improving-flavour-cheese>.
- [20] MCSWEENEY, Paul L.H., 2014. SOUHRN PŘEDNÁŠKY O ZRÁNÍ PŘÍRODNÍCH SÝRŮ. *Mlékárenské listy*. (141).
- [21] Požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2003, částka 32, s. 2488 - 2498. Dostupný také z:  
<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=4116>.
- [22] FORMAN, L. *Mlékárenská technologie II*. 2. vydání. Praha: VŠCHT 1996. 228 s. ISBN 80-7080-250-2.
- [23] GARNOT, P., MOLLE, D., PIOT, M.: Influence of pH, type of enzyme and ultrafiltration on the retention of milk clotting in Camembert cheese, *Journal of Dairy Research*, 1987.
- [24] McSWEENEY, P.L.H. Biochemistry of cheese ripening, *International Journal of Dairy Technology*. Vol. 57, no. 2/3. 127 – 144 s, 2004.
- [25] McSWEENEY, P.L.H. Biochemistry of cheese ripening: Introduction and

- overview, *In Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Vol 1: General Aspects, 3rd ed. 347 – 360 s, 2004.
- [26] FOX, P. F., McSWEENEY, P. L. H., COGAN, T. M., GUINEE, T. P. *Cheese - Chemistry, Physics and Microbiology*. 3rd ed. Elsevier, 2004. 466 p. ISBN 978-0-12-263651-6.
- [27] COLLINS, Y.F., McSWEENEY, P.L.H., WILKINSON, M.G. Lipolysis and catabolism of fatty acids in cheese, *In Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Vol.1: General Aspects, 3rd ed. 373 – 389 s, 2004.
- [28] COLLINS, Y.F., McSWEENEY, P.L.H., WILKINSON, M.G. Lipolysis and free fatty acid catabolism, *In cheese: a review of current knowlege, International Dairy Journal*. 13. 841 – 866 s, 2003.
- [29] KOMPRDA, T.: *Obecná hygiena potravin*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 2004, ISBN 978-80-7157-757-7.
- [30] STANDAROVÁ, E., BORKOVCOVÁ, I., VORLOVÁ, L.: Obsah biogenních aminů v sýrech z české obchodní sítě, *Veterinářství*, 2008, č. 58, 735-739 s.
- [31] UPADHYAY, V.K. et al. Proteolysis in cheese during ripening, *In Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Vol.1: General Aspect, 3rd ed. 391 – 434 s, 2004.
- [32] HEMME, D., BOUILLANE, C., METRO, F.: Microbial catabolism of amino acids during cheese ripening, *Science des Aliments*, 2, 113 – 123 s., 1982.
- [33] CURTIN, A.C., McSWEENEY, P.L.H.: Catabolism of amino acids in cheese during ripening, *In: Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology, Vol 1: General Aspects*, 3rd edn, 435 – 454 s., 2004.
- [34] ČSN EN ISO 11036: *Senzorická analýza - Metodologie - Profil textury*, 1997.
- [35] Texturní vlastnosti potravin [cit. 2017-04-05]. Dostupné z www: <http://www.chempoint.cz/texturni-vlastnosti-potravin>.
- [36] KADLEC, Pavel, Karel MELZOCH a Michal VOLDŘICH. *Procesy a zařízení potravinářských a biotechnologických výroby*. Ostrava: KEY Publishing, 2012, 494 s. Monografie. ISBN 978-80-7418-086-6.
- [37] SCZESNIAK, A. S. (2002): Texture in a sensory property. *Food Quality and preference*, 13 (4): 215-225. ISSN 0950-3293.

- [38] SEVERA, Libor a Šárka NEDOMOVÁ. *Fyzikální a mechanické vlastnosti potravin*. V Brně: Mendelova univerzita, 2011, 116 s. ISBN 978-80-7375-521-8.
- [39] LAPČÍK, Lubomír a Miroslav RAAB. *Nauka o materiálech II*. Vyd. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2004, 133 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-7318-229-7.
- [40] OLIVA, Josef. *Pružnost a pevnost*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 234 s.
- [41] *Encyklopedie fyziky: Deformace pevného tělesa* [online], 2006. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/629-deformace-pevneho-telesa>.
- [42] BUŇKA, František, Jan HRABĚ a Bohumír VOSPĚL. *Senzorická analýza potravin I*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008, 145 s. ISBN 978-80-7318-628-9.
- [43] CIVILLE, G. V., SZCZESNIAK, A. S. (1973): Guidelines to training a texture profile panel. *Journal of Texture Studies*, 4 (2): 204 – 223. ISSN 0022 – 4901.
- [44] VÁLKOVÁ, V. (2004): Senzorické hodnocení potravin – cvičení. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno Fakulta hygieny a ekologie, Brno., 84.
- [45] POKORNÝ, J., VALENTOVÁ, H., PUDIL, F. *Senzorická analýza potravin – laboratorní cvičení*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1997. 60 s. ISBN 80-7080-278-2.
- [46] FOX, P.F. et al. *Cheese: chemistry, physics and microbiology*. 3. vyd. Amsterdam: Elsevier, 2004. s. 617. ISBN 0-12-263651-1.
- [47] ŠUSTOVÁ, K. *Senzorická analýza sýrů*. In KUCHTÍK, J. *Farmářská výroba sýrů a kysaných mléčných výrobků*. Brno: MZLU v Brně, 2004, s. 14 – 17. ISBN 80-7157-771-5.
- [48] *Senzorická analýza potravin: Instrumentální hodnocení senzorických parametrů potravin* [online], 2012. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.vfu.cz/inovace-bc-a-navmgr/pub-files/realizovane-klicove-aktivity/2012-2013/h3sa/index/h3sa-instrumentalni-analyza-cv.-11-zs-12-13.pdf>
- [49] ŠTĚTINA, J. (2007): *Fyzikální vlastnosti potravin*. online, [cit. 2012-08-14].

Dostupné na:

[http://eso.vscht.cz/cache\\_data/1201/www.vscht.cz/tmt/studium/FVP/pFVP05\\_Texture\\_print.pdf](http://eso.vscht.cz/cache_data/1201/www.vscht.cz/tmt/studium/FVP/pFVP05_Texture_print.pdf).

- [50] *Texture Exponent Lite*. Stable Micro Systems Ltd., 2007.
- [51] BOURNE, M. C. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. 2nd ed. Elsevier, 2002. 448 p. ISBN 978-0-12-119062-0.
- [52] SZCZESNIAK, A. S. (1967): Correlating sensory with instrumental texture measurements – an overview of recent developments. *Journal of Texture Studies*, 18 (1):1-15. ISSN 1745-4603.
- [53] JARUŠEK, Jaroslav. *Metody zkoumání polymerů*. 2. vyd. Pardubice: VŠCHT, 1984, 105 s.
- [54] ZÁŠKODA, David, 2008. *ZJIŠŤOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ TVÁŘENÝCH MATERIÁLŮ*. Brno. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Kamil Podaný.
- [55] *Mechanické zkoušky: Tahová zkouška* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: [http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/tahova\\_zkouska.pdf](http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/tahova_zkouska.pdf)
- [56] PESENTI V., LUGINBUHL W. Assessment of cohesion in gruyere-type cheese by rheological methods. *Journal of Texture Studies*.1998, 30, 1-16.
- [57] Cheese-Ripening and Cheese Flavour Technology, 2010. LAW, B.A. *Technology of Cheesemaking*. Blackwell Publishing, s. 232-259. ISBN 978-1-405-18298-0.
- [58] WIUM, H, M GROSS a K.B QVIST. Uniaxial compression of UF-Feta cheese related to sensory texture analysis. *Journal of Texture Studies* [online]. Food Nutrition Press, 1997, **28**(4), 455-476 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1111/j.1745-4603.1997.tb00128.x. ISSN 00224901.
- [59] LIU, He, Xue Ming XU a Shi Dong GUO. Comparison of full-fat and low-fat cheese analogues with or without pectin gel through microstructure, texture, rheology, thermal and sensory analysis. *International Journal of Food Science* [online]. Blackwell Publishing, 2008, **43**(9), 1581-1592 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2007.01616.x. ISSN 09505423.
- [60] LOURY, Juliane, Bénédicte CAMIER, Florence ROUSSEAU, Christelle LOPEZ, Jean-Pierre TISSIER a Marie-Hélène FAMELART. Reducing salt level in food.

- LWT - Food Science and Technology* [online]. Elsevier, 2009, **42**(10), 1611-1620 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.05.026. ISSN 00236438.
- [61] BERTOLA, Nora C, Alicia N CALIFANO, Alicia E BEVILACQUA a Noemi E ZARITZKY. Effects of ripening conditions on the texture of Gouda cheese. *International Journal of Food Science* [online]. Blackwell Science, 2000, **35**(2), 207-214 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1046/j.1365-2621.2000.00347.x. ISSN 09505423.
- [62] WATKINSON, Philip et al., 2001. Effect of cheese pH and ripenin gtime on model cheese textural properties and proteolysis. *International Dairy Journal 1*. New Zealand, 10.
- [63] XIONG, R, J-F MEULLENET, J.A HANKINS a W.K CHUNG. Relationship between Sensory and Instrumental Hardness of Commercial Cheeses. *Journal of Food Science* [online]. Blackwell Publishing, 2002, **67**(2), 877-883 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb10693.x. ISSN 00221147.
- [64] KÜCÜKÖNER,E., HAQUE, Z. U.: Physico-chemical and Rheological Properties of Full Fat and Low Fat Edam Cheeses, *European Food Research Technology*, 2003, 217:281-286.
- [65] BANKS, JEAN M. Technology of low-fat cheese manufacture. *International Journal of Dairy Technology* [online]. Blackwell Science, 2004, **57**(4), 199-207 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1111/j.1471-0307.2004.00136.x. ISSN 1364727X.
- [66] YATES, M.D a M.A DRAKE. TEXTURE PROPERTIES OF GOUDA CHEESE. *Journal of Sensory Studies* [online]. Blackwell Publishing, 2007, **22**(5), 493-506 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1111/j.1745-459X.2007.00124.x. ISSN 08878250.
- [67] SADOWSKA, Jadwiga, Ireneusz BIAŁOBRZEWSKI, Tomasz JELIŃSKI a Marek MARKOWSKI. Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese. *Journal of Food Engineering* [online]. Elsevier, 2009, 94(3), 254-259 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.03.015. ISSN 02608774.
- [68] PACHLOVÁ, Vendula et al., 2010. Změny vybraných jakostních parametrů u přírodních sýrů v průběhu půlročního zrání/skladování za různých teplot. *Potravinářstvo*. **4**, 217-223.

- [69] HAVLÍKOVÁ, Š A KVASNIČKOVÁ, E. Testování nových probatických druhů bifidobakterií a laktobacilů lidského původu pro výrobu nízkodohříváných sýrů [online], 2015. Výzkumný ústav mlékárenský [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.mlekarskelisty.cz/upload/soubory/pdf/2015/151-xx-xxiv.pdf>
- [70] NEDOMOVÁ, Š.: *Changes in the force relaxation of Edam cheese during ripening*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2010, LVIII, No. 5, pp. 271–280.
- [71] NEHODOVÁ, I., *Mechanické vlastnosti eidamského typu: Bakalářská práce*. Zlín: UTB, 2014. 121 p.
- [72] ČSN EN ISO 5534: *Sýry a tavené sýry - Stanovení obsahu celkové sušiny (Referenční metoda)*, 2005.
- [73] ČSN EN ISO 5943: *Sýry a tavené sýrové výrobky - Stanovení obsahu chloridů - Potenciometrická titrační metoda*, 2007.
- [74] ČSN ISO 3433: *Sýry - Stanovení obsahu tuku - Van Gulikova metoda*, 2010.
- [75] ILLESCAS-CHAVEZ, E a J.F VÉLEZ-RUIZ. Effect of the Salting Process on the Mass Transfer Kinetics of Manchego-type Cheese. *International Journal of Food Properties* [online]. Taylor, 2009, 12(4), 791-807 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1080/10942910802072983. ISSN 10942912.
- [76] PACHLOVÁ, V. *Distribuce vybraných složek v přírodním sýru v průběhu jeho zrání: Disertační práce*. Zlín: UTB, 2011. 121 p.
- [77] LAWRENCE, R.C, L.K CREAMER a J GILLES. Texture Development During Cheese Ripening. *Journal of Dairy Science* [online]. Elsevier, 1987, 70(8), 1748-1760 [cit. 2017-04-22]. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(87)80207-2. ISSN 00220302.
- [78] MISTRY, Vikram V. Low fat cheese technology. *International Dairy Journal* [online]. Elsevier, 2001, 11(4), 413-422 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1016/S0958-6946(01)00077-2. ISSN 09586946.
- [79] *SÝRY DELUXE: Malá encyklopedie sýrů* [online], [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.syry-deluxe.cz/info/mala-encyklopedie-syru>
- [80] *Tradice výroby sýrů a naše současnost* [online], 2014. Praha [cit. 2017-05-10].
- [81] Finance: *Spotřeba sýrů v ČR roste, přibývá specializovaných obchodů s nimi* [online], 2014. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z:

<https://www.finance.cz/zpravy/finance/411729-spotreba-syru-v-cr-roste-pribyva-specializovanych-obchodu-s-nimi/>

- [82] LU, Yanjie, Nobuaki SHIRASHOJI a John A LUCEY. Rheological, textural and melting properties of commercial samples of some of the different types of pasteurized processed cheese. *International Journal of Dairy Technology* [online]. Blackwell Publishing, 2007, 60(2), 74-80 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1111/j.1471-0307.2007.00314.x. ISSN 1364727X.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

BMK	Bakterie mléčného kvašení
TAG	Triacylglyceroly
T. v s.	Tuk v sušině
Fe, Mn	Železo, Mangan
Zn, Cu, I	Zinek, Měď, Jód
Co, Cr	Kobalt, Chrom
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
H <sub>2</sub> O	Význam druhé zkratky
MK	Význam třetí zkratky
UHT	Ultra high temperature
MO	Mikroorganismy
°SH	Stupeň Soxhlet Henkela
°C	Stupeň Celsiův
$\varepsilon$	Deformace
$\sigma$	Napětí
$\eta$	Dynamická viskozita
LAB	Starterové bakterie mléčného kvašení
NSLAB	Nestarterové bakterie mléčného kvašení
F/ F <sub>max</sub>	Síla / tvrdost
S	Průřez tělesa
TPA	Texturní profilová analýza
N	Newton



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1: Typy deformací dle působení vnějších sil .....	32
Obr. 2: Diagram tahové zkoušky polymerního materiálu .....	36
Obr. 3: Diagram tahové zkoušky sýrů .....	37
Obr. 4: Křivka texturní profilové analýzy .....	38
Obr. 5: Texturní analyzátor TA-XT Plus.....	52
Obr. 6: Čelisti trhacího stroje Shimadzu, AG-X.....	53

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1: Význam některých nativních enzymů .....	17
Tab. 2: Dělení sýrů dle různých kritérií .....	19
Tab. 3: Vývoj obsahu soli jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání .....	57
Tab. 4: Vývoj aktivní kyselosti jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání .....	58
Tab. 5: Tabulka naměřených hodnot tvrdosti .....	60
Tab. 6: Tabulka naměřených hodnot soudržnosti .....	61
Tab. 7: Tabulka naměřených hodnot lepivosti.....	62
Tab. 8: Hodnoty maximální deformace jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání.....	65
Tab. 9: Hodnoty parametru viskozity jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání.....	67
Tab. 10: Hodnoty modulu pružnosti v tahu jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání.....	68
Tab. 11: Hodnoty maximálního napětí jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání.....	70

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1: Tvorba neproteinového dusíku během zrání [61].....	39
Graf 2: Vliv délky zrání při různých teplotách na texturní vlastnosti [61].....	40
Graf 3: Vliv doby zrání na pH faktor [62].....	40
Graf 4: Vliv pH na deformaci při přetržení (A) a napětí při přetržení (B) [62].....	41
Graf 5: Vliv doby zrání na napětí při přetržení (A) a deformaci při přetržení (B) [64] .....	42
Graf 6: Vliv doby zrání a roku výroby na pH sýrů různých tučností [67].....	43
Graf 7: Modul pružnosti u sýrů s rozdílným obsahem tuku v sušině [70].....	44
Graf 8: Maximální deformace při zkoušce tahem [71].....	45
Graf 9: Parametr b a maximální napětí v tahu v průběhu zrání [71] .....	46
Graf 10: Vývoj obsahu sušiny jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání.....	55
Graf 11: Vývoj obsahu sušiny sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání .....	55
Graf 12: Vývoj obsahu tuku v sušině jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání.....	56
Graf 13: Vývoj obsahu tuku v sušině u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání .....	56
Graf 14: Vývoj pH u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání.....	58
Graf 15: Vývoj tvrdosti u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání .....	59
Graf 16: Vývoj soudržnosti u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání .....	60
Graf 17: Vývoj lepivosti u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání.....	62
Graf 18: Průběh vztahu síly a deformace při přetržení v průběhu zrání u sýrů s 25 % t. v s. ....	63
Graf 19: Průběh vztahu síly a deformace při přetržení v průběhu zrání u sýrů s 40 % t. v s. ....	63
Graf 20: Vývoj deformace při přetržení v tahu jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání.....	64
Graf 21: Vývoj maximální deformace v tahu u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání.....	65
Graf 22: Vývoj parametru viskozity jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání.....	66
Graf 23: Vývoj parametru viskozity u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání.....	66
Graf 24: Vývoj modulu pružnosti v tahu jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání .....	68
Graf 25: Vývoj modulu pružnosti v tahu u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání.....	68
Graf 26: Vývoj maximálního napětí jednotlivých šarží sýrů v průběhu zrání.....	69
Graf 27: Vývoj maximálního napětí v tahu u sýrů s 25 a 40 % t. v s. v průběhu zrání.....	70

Graf 28: Srovnání deformace při přetržení a soudržnosti u sýrů s 25 % (A) a 40 % t. v s. (B) v průběhu zrání .....	72
Graf 29: Srovnání tvrdosti (A) a parametru viskozity (B).....	72
Graf 30: Srovnání maximálního napětí (A) a relativní lepivosti (B).....	73
Graf 31: Srovnání vývoje soudržnosti a parametru viskozity u sýrů s 25 % (A) a 40 % t. v s. v průběhu zrání .....	74
Graf 32: Korelace pH a soudržnosti (A) a pH s deformací při přetržení (B) všech vyrobených šarží v průběhu zrání .....	74
Graf 33: Srovnání vývoje soudržnosti a pH u sýrů s 25 % (A) a 40 % t. v s. (B) v průběhu zrání.....	75
Graf 34: Korelace pH s tvrdostí (A) všech vyrobených šarží v průběhu zrání.....	75
Graf 35: Srovnání vývoje pH a modulu pružnosti u sýrů s 25 % (A) a 40 % (B) t. v s. v průběhu zrání .....	76
Graf 36: Závislost pH a modulu pružnosti všech vyrobených šarží v průběhu zrání.....	76
Graf 37: Závislost pH a relativní lepivosti všech vyrobených šarží v průběhu zrání.....	77
Graf 38: Srovnání vývoje pH a relativní lepivosti u sýrů s 25 % (A) a 40 % (B) t. v s. v průběhu zrání .....	77

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha P I: Specifikace použité kultury .....	94
Příloha P II: Chemická analýza .....	95

## **Příloha P I: Specifikace použité kultury**

### **Flora Danica**

**Dodavatel:** CHR HANSEN

#### **Charakteristika:**

- mezofilní aromatická kultura, typ LD
- podílí se na tvorbě chuti a CO<sub>2</sub>
- ve formě granulí, lyofilizovaná

**Kmeny:** *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis*, *Leuconostock*.

## Příloha P II: Chemická analýza

### 1. OBSAH SUŠINY V % JEDNOTLIVÝCH ŠARŽÍ V PRŮBĚHU ZRÁNÍ

Tuk v sušině	Výrobní šarže	Den odběru během zrání				
		1. DEN	7. DEN	15. DEN	35. DEN	56. DEN
25%	1. šarže	46,2 ± 1,0	47,4 ± 0,1	47,7 ± 0,1	48,2 ± 0,3	48,4 ± 0,8
	2. šarže	47,0 ± 0,3	48,2 ± 1,6	50,3 ± 0,1	49,4 ± 0,2	48,7 ± 0,6
	ø	<b>46,6 ± 0,5</b>	<b>47,8 ± 0,6</b>	<b>49,0 ± 1,8</b>	<b>48,8 ± 0,8</b>	<b>48,6 ± 0,2</b>
40%	1. šarže	49,2 ± 0,7	51,5 ± 0,5	50,6 ± 0,1	51,6 ± 1,3	50,6 ± 0,7
	2. šarže	50,9 ± 0,2	52,4 ± 1,2	51,5 ± 0,2	51,3 ± 0,7	52,5 ± 0,2
	ø	<b>50,0 ± 1,2</b>	<b>51,9 ± 0,7</b>	<b>51,0 ± 0,6</b>	<b>51,5 ± 0,2</b>	<b>51,5 ± 1,4</b>

### 2. OBSAH TUKU V SUŠINĚ [%] JEDNOTLIVÝCH ŠARŽÍ V PRŮBĚHU ZRÁNÍ

Tuk v sušině	Výrobní šarže	Den odběru během zrání				
		1. DEN	7. DEN	15. DEN	35. DEN	56. DEN
25%	1. šarže	25,43	23,73	23,57	26,47	25,29
	2. šarže	24,49	24,38	23,37	24,79	25,16
	ø	<b>24,96</b>	<b>24,06</b>	<b>23,47</b>	<b>25,63</b>	<b>25,23</b>
40%	1. šarže	43,19	41,31	33,10	32,46	43,02
	2. šarže	40,3	39,61	38,37	37,54	40,47
	ø	<b>41,75</b>	<b>40,46</b>	<b>35,74</b>	<b>35,00</b>	<b>41,75</b>