

Aplikace stres-testu v analýze textury u sýrů eidamského typu

Bc. Lenka Pernická

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav analýzy a chemie potravin

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lenka PERNICKÁ**
Osobní číslo: **T100076**
Studijní program: **N 2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**

Téma práce: **Aplikace stres-testu v analýze textury u sýrů eidamského typu**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Popsat technologii výroby přírodních sýrů se zaměřením na sýry holandského typu a na vlivy působící na texturní vlastnosti
2. Charakterizovat způsoby hodnocení textury potravin se zaměřením na polotuhé matrice

II. Praktická část

1. Založit zrcí pokus se sýry eidamského typu
2. Na odebírané vzorky aplikovat kompresní test a stres-test s využitím dvou sond
3. Výsledky statisticky vyhodnotit a interpretovat

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. FOX, P. *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg, MD: Aspen Pub., 2000, 587 s. ISBN 08-342-1260-9.
2. BOURNE, M. C. *Food texture and viscosity: concept and measurement*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, c2002, 427 s. ISBN 01-211-9062-5.
3. SINGH, H., ROCKALL, A., et al. *The analysis of stress relaxation data of some viscoelastic foods using a texture analyzer.. Journal of Texture Studies*, 2006, vol. 37, no. 4, p. 383-392.
4. McSWEENEY, P. L. H. *Biochemistry of cheese ripening*. *International Journal of Dairy Technology*, 2004, vol. 57, no. 2-3, p. 127-144.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

Ústav technologie a mikrobiologie potravin

Datum zadání diplomové práce:

6. ledna 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

21. května 2012

Ve Zlíně dne 15. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 24.2.2012

Paulína Leutka

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

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

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

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

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

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

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

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

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo 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 přihlíží k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Teoretická část práce je zaměřená na technologii výroby sýrů holandského typu a charakterizaci způsobů hodnocení textury potravin se zaměřením na polotuhé matrice.

Praktická část se zabývá sledováním vývoje texturních vlastností u sýrů eidamského typu v průběhu zrání s využitím kompresních testů. Dále studiem vlivu použití dvou sond (deskové a kulovité) na hodnocení texturních vlastností sýrů. Bylo aplikováno deset různých dob v poloze maximální deformace vzorku (30 – 300 s) u stres-testu a studován jejich vliv na hodnoty parametru a a b vypočtených na základě Pelegova modelu pro každou sondu. Ze získaných výsledků byla popsána korelace mezi tvrdostí (F_{\max}) a parametrů a a b pro každou sondu. Byly také sledovány změny pH a obsahu sušiny % (w/w) v průběhu zrání sýrů.

Pomocí kompresního testu s rozličnými sondami bylo zjištěno, že vzájemně korespondují při popisu texturních změn během zrání. Parametr a lépe popisuje viskoelastické vlastnosti sýru než parametr b , protože jeho interpretace je obtížná a nejednoznačná. V případě sledování změn pH a obsahu sušiny % (w/w) bylo zjištěno, že oba parametry v průběhu zrání postupně vzrůstají.

Klíčová slova: sýr eidamského typu; kompresní testy; Pelegův model

ABSTRACT

The theoretical part is focused on the technology of Dutch-type cheese production and characterization of food texture evaluation methods with a focus on semi-solid matrix.

The practical section on monitoring development of the textural properties of Edam-type cheese during ripening using compression tests. Further study of the impact of the use of two probes (plate and spherical) in the evaluation of textural properties of cheese. Was applied ten different times in the position of maximum deformation of the sample (30 - 300 s) at a stress-test and studied their influence on the parameter values a and b calculated based on Pelegova model for each probe. The obtained results have been reported correlation between hardness (F_{\max}) and the parameters a and b for each probe. Have also monitored the change in pH and solids content % (w / w) during cheese ripening.

With compression test with different probes, it was found that each correspond to describe the texture changes during ripening. Parameter a better describes the viscoelastic properties of cheese than the parameter b , because its interpretation is difficult and ambiguous. For monitoring changes in pH and solids content % (w / w), it was found that both parameters during ripening gradually increasing.

Keywords: Edam cheese type; compression tests; Peleg's model

Touto cestou bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Františku Buňkovi, Ph.D., především za trpělivost, odbornou pomoc a konzultaci při vypracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 PŘÍRODNÍ SÝRY	13
1.1 CHEMICKÉ SLOŽENÍ KRAVSKÉHO MLÉKA	14
1.1.1 Koagulace mléka syřidlem	17
1.2 TECHNOLOGIE VÝROBY SÝRŮ HOLANDESKÉHO TYPU	18
1.2.1 Příjem a skladování mléka	18
1.2.2 Úprava mléka před syřením	18
1.2.3 Vlastní syření.....	22
1.2.4 Zpracování syřeniny	23
1.2.5 Formování a lisování sýrů	24
1.2.6 Solení sýrů.....	25
2 ZRÁNÍ SÝRŮ	27
2.1.1 Metabolismus laktózy	30
2.1.2 Metabolismus kyseliny mléčné	30
2.1.3 Metabolismus citrátu.....	31
2.1.4 Lipolýza.....	31
2.1.5 Proteolýza.....	32
2.1.6 Metabolismus aminokyselin	34
3 HODNOCENÍ TEXTURNÍCH VLASTNOSTÍ POTRAVIN.....	36
3.1 SENZORICKÉ HODNOCENÍ	36
3.2 INSTRUMENTÁLNÍ HODNOCENÍ	37
3.2.1 Kompresní testy.....	39
3.2.2 Penetrometrické metody.....	42
3.2.3 Krájení.....	43
3.2.4 Kompresní-extruzní test	44
3.2.5 Natahování	45
3.2.6 Ohýbání, lámání	46
3.3 TEXTURA SÝRŮ HOLANDESKÉHO TYPU	47
II PRAKTICKÁ ČÁST	49
4 CÍL PRÁCE	50
5 MATERIÁL A METODY	51
5.1 SCHÉMA POKUSU	51
5.2 METODY HODNOCENÍ TEXTURY	52
6 VÝSLEDKY A DISKUZE	54
6.1 VÝSLEDKY CHEMICKÉ ANALÝZY	54
6.2 VÝSLEDKY TEXTURNÍ ANALÝZY	55
6.2.1 Výsledky hodnocení tvrdosti.....	55
6.2.2 Výsledky hodnocení parametru <i>a</i>	57

6.2.3	Výsledky hodnocení parametru b	65
6.3	DISKUZE	72
ZÁVĚR		74
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		75
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		82
SEZNAM OBRÁZKŮ		83
SEZNAM TABULEK		85
SEZNAM PŘÍLOH		86

ÚVOD

Sýry nabízejí různorodé texturní parametry, avšak pro každý typ sýru je očekáván dominantní texturní atribut. Například u sýru Mozzarella se očekává tažná či plastická textura. Naopak u sýru Parmazán je upřednostňována drolivá textura, která charakterizuje jeho zrállost. Nejčastější texturní parametr, který je hodnocen spotřebitelem, je tvrdost sýru. Tvrdost může být posuzována pomocí sensorické nebo instrumentální analýzy. Pro sensorické hodnocení sýrů je zapotřebí mít početnou skupinu vyškolených hodnotitelů. Avšak uspořádání sensorického panelu je nejen časově, ale i finančně náročné. Vzhledem k tomu, že je velmi obtížné tyto podmínky naplnit, je snaha sensorickou analýzu (tam kde je to možné) nahradit instrumentální. V případě sýrů neexistuje jednoznačné doporučení univerzální zkoušky pro hodnocení texturních vlastností. Pro hodnocení je tvrdosti sýrů je však vhodné používat kompresní testy. U relaxačních testů neboli stres-testů se výsledky vztahují k viskoelastickým vlastnostem sýrové hmoty a pevnosti vnitřních vazeb v kaseinové matici. Jako většina pevných biologických materiálů i sýry vykazují viskoelastické vlastnosti. Problematika celosvětového sjednocení metodiky pro hodnocení textury potravin je bohužel stále nevyřešená, většinou záleží na posouzení vědeckého pracoviště a výběru vhodných parametrů pro danou potravinu.

Teoretická část práce je zaměřená na technologii výroby sýrů holandského typu a charakterizaci způsobů hodnocení textury potravin se zaměřením na polotuhé matrice.

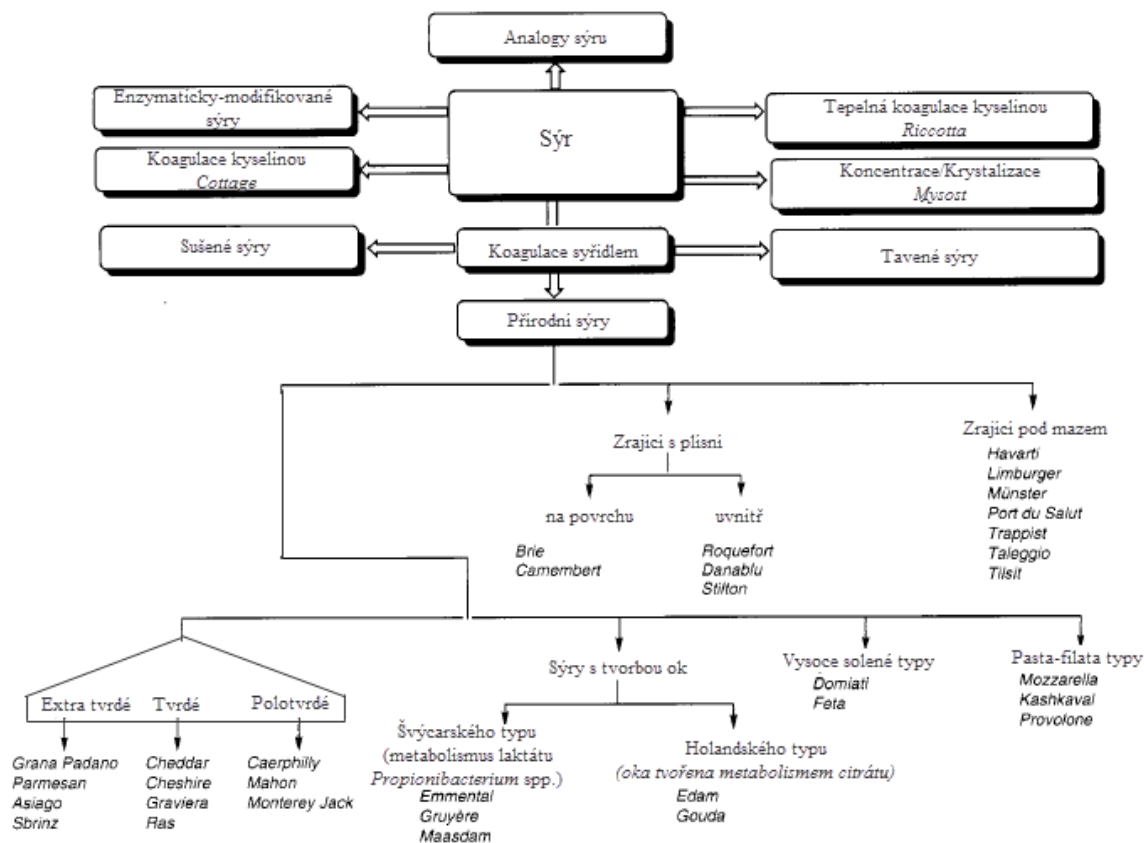
Praktická část práce je zaměřena na sledování vývoje texturních vlastností u sýrů eidamského typu v průběhu zrání s využitím kompresních testů. Dále studiem vlivu použití dvou sond (deskové a kulovité) na hodnocení texturních vlastností sýrů. Aplikaci deseti různých dob v poloze maximální deformace vzorku (30 – 300 s) u stres-testu a studiem jejich vlivu na hodnoty parametru a a b vypočtených na základě Pelegova modelu pro každou sondu. Sledování změn pH a obsahu sušiny % (w/w).

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PŘÍRODNÍ SÝRY

Sýry patří k potravinám s vysokou nutriční hodnotou. Jsou významným zdrojem bílkovin s vysokou biologickou hodnotou, vitaminů rozpustných ve vodě a v tuku u sýrů s vyšším obsahem tuku, minerálních látek (vápník, fosfor) [1]. Vyhláška Ministerstva zemědělství 77/2003 Sb. definuje sýr jako mléčný výrobek vyrobený vysrážením mléčné bílkoviny z mléka působením syřidla nebo jiných vhodných koagulačních činidel, prokysáním a oddělením podílu syrovátky.

Sýry patří mezi různorodou a relativně velkou skupinu mléčných výrobků, proto je lze klasifikovat z různých hledisek [2]. Rozdělení sýrů je znázorněno na Obr. 1.



Obr. 1. Rozdělení sýrů podle Fox et. al. 2000 [2]

Dále mohou být děleny například podle konzistence ve vztahu k obsahu vody v tukuprosté sušině sýru (% VVTPH)

- extra tvrdé (obsah VVTPH méně než 47,0 % včetně)
- tvrdé (obsah VVTPH 47,0 – 54,9 %)

- polotvrde (obsah VVTPH 55,0 – 61,9 %)
- poloměkké (obsah VVTPH 62,0 – 68,0 % včetně)
- měkké (obsah VVTPH více než 68,0 %)

Obsah vody v tukuprosté sušině sýry se stanoví podle následujícího vzorce:

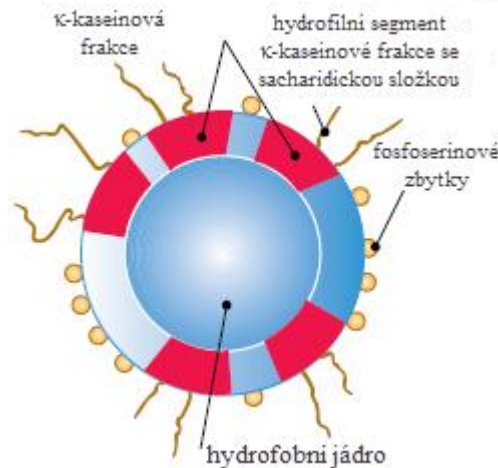
$$\%VVTPH = \frac{g \text{ vody}}{100 - g \text{ tuku}} \times 100 \quad [3]$$

1.1 Chemické složení kravského mléka

Základním požadavkem na mléko pro výrobu sýrů je jeho kvalita z pohledu jak mikrobiologického, tak i fyzikálně-chemického. Hlavními složkami mléka je voda, tuk, bílkoviny (kasein a syrovátkové bílkoviny), laktóza a minerální soli (vápník a fosforečnan) se stopovým množstvím vitamínů a enzymů [4]. Množství jednotlivých živin je značně proměnlivé, ale nejvíce kolísající složkou je tuk. Složení mléka je ovlivněno několika faktory, mezi něž patří dědičné vlastnosti plemena dojnic, sezónní vlivy, zdravotní stav dojnic, biologická hodnota a množství krmiv, doba laktace a stáří dojnic. Nejdůležitějšími složkami sýrařství jsou bílkoviny, tuk, laktóza a minerální látky, především vápník [5].

Z hlediska výroby sýrů jsou bílkoviny nejdůležitější složky. Na základě jejich rozpustnosti v pH 4.6 při 20 °C mohou být děleny na dvě hlavní kategorie. Do první kategorie jsou čázeny kaseiny, které za těchto podmínek koagulují. Druhou kategorií tvoří bílkoviny, které zůstávají v nedotčeném stavu, jsou známy jako sérové nebo syrovátkové proteiny [6].

Kazein je hlavní bílkovinou mléka. Hlavní složkou kaseinové frakce jsou α_S -kaseiny (α_{S1} - a α_{S2} -kaseiny), β -kasein, κ -kasein. Ostatní frakce kaseinu se považují za deriváty. Frakce označované jako λ -kasein jsou fragmenty α_{S1} -kaseinu a γ -kasein jsou produkty degradace β -kaseinu proteolytickými enzymy nativního mléka (nejčastěji plazmin). Kaseinové frakce mají společné to, že jedna ze dvou aminokyselin obsahující hydroxy skupiny jsou esterifikovány kyselinou fosforečnou, která váže vápník a hořčík. Některé z komplexních solí kyseliny fosforečné tvoří vazby mezi a uvnitř molekuly kaseinové micely (Obr. 3), které se skládají ze skupiny submicel (Obr.2) [4, 7].

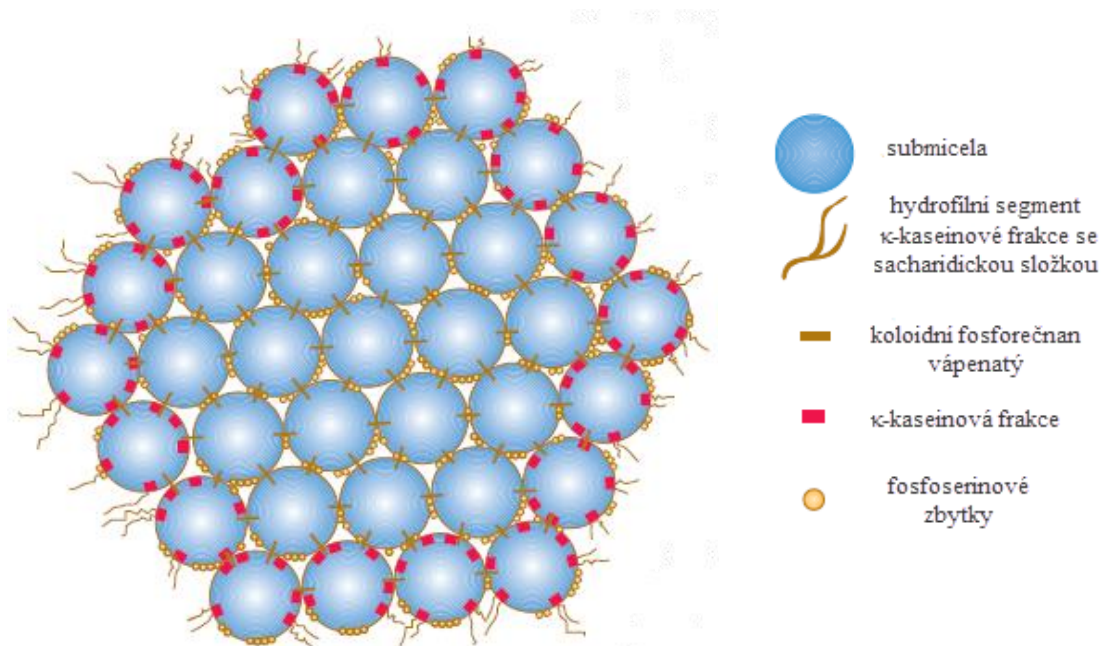


Obr. 2. Kaseinová submicela [7]

Vápenaté soli α_s - a β -kaseinu jsou téměř nerozpustné ve vodě, zatímco κ -kasein je rychle rozpustný. κ -kaseiny obsahují ve své molekule kromě fosforu také D-galaktopyranozu, N-acetyl-D-galaktosamin a N-acetylneuraminovou kyselinu. Na protein jsou cukry vázány glykosidickou vazbou prostřednictvím N-acetyl- β -D-galaktosaminu. Tato část dodává frakci hydrofilní charakter a je podstatou jeho stabilizační úlohy vzhledem k ostatním frakcím. Kvůli dominantnímu umístění κ -kaseinu k povrchu micel, rozpustnost κ -kaseinátu vápenatého převládá nad nerozpustností dvou kaseinů v micelách. Celá micela je rozpustná jako koloid. Koloidní fosforečnan vápenatý a hydrofóbní interakce mezi submicelami jsou odpovědné za integritu kaseinových micel. Hydrofilní c-terminální část κ -kaseinu obsahující skupinu přečnávající z komplexní molekuly stabilizuje micely, kvůli silnému zápornému náboji sacharidů. Velikost micel závisí na obsahu iontu vápníku. Středně velká micela se sestává ze 400 až 500 submicel, které jsou vázány společně výše zmíněnými vazbami. Jestliže hydrofilní konec c-terminálu κ -kaseinu na povrchu micel je rozštěpen (například syřidlovým enzymem), micely ztrácí svou rozpustnost a začínají se shlukovat a tvořit gel. Na povrchu nedotčených micel je přebytek záporných nábojů, proto se navzájem odpuzují [7].

Tuk přispívá k textuře a chuti sýrů, během lipolýzy v rozsahu závislé na variantě sýru [4].

Laktóza slouží jako substrát pro bakterie mléčného kvašení, produkty fermentace také přispívají k chuti během zrání [4].



Obr. 3. Seskupení a stabilizace kaseinových micel [7]

Minoritní, ale vysoce významnou frakcí mléka je směs minerálních látek. Některé jsou přítomny v mléce v různých fázích. Největší význam z minerálních látek pro sýrařství má vápník. Ten je rozdělen mezi koloidní fázi (uložen jako nanočástice fosforečnanu vápenatého uvnitř kaseinových micel) a rozpustnou fázi. Vápník je nezbytný pro první fázi sýření, jeho obsah ovlivňuje texturu finálního sýru. Tvorba koagulátu je závislá na dostupnosti dostatečně rozpustného vápníku, stejně jako na přiměřený obsah koloidního vápníku (bez kterých by micely nezůstaly nedotčeny). Ionty vápníku ovlivňují koagulaci neutralizací zápornými náboji na kaseinových micelách a pravděpodobně tvoří vazby (solné můstky) s negativně nabitými skupinami fosforečnanu na kaseinových micelách. Rozdělení vápníku je silně ovlivněno pH, koloidní vápník se postupně stává více rozpustný v důsledku snižování pH a jeho rozpustnost je kompletní v pH 4.6. To obzvláště ovlivňuje texturu sýru, protože množství zadržovaného vápníku v sýru závisí na pH v syrovátce, která je odpuštěna [4]. Přítomnost vápenatých iontů je nutná pro sýřitelnost mléka, tj. schopnost enzymového srážení [8].

Snížený obsah laktózy, kaseinu a narušená rovnováha solí jsou nepříznivé změny pro výrobu sýrů vyvolané zánětem mléčné žlázy (mastitidou). Produkty lipolytických změn, pří-

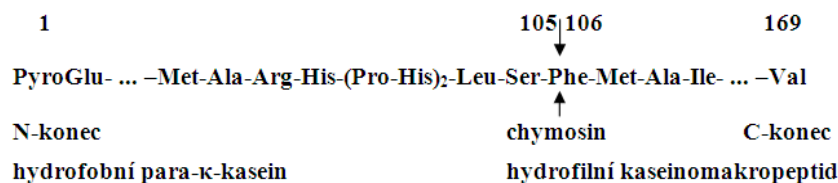
tomnost inhibičních látek, nedostatek některých iontů a volných aminokyselin v mléce zhoršuje kvasnost mléka a negativně ovlivňuje i zrání sýrů. Taková mléka musí být vyřazena z výběru [4].

1.1.1 Koagulace mléka syřidlem

Koagulace mléka syřidlem je založena na enzymovém štěpení specifické peptidové vazby v κ -kaseinu, který je soustředěn na povrchu kaseinové micely a chrání ostatní frakce citlivé na srážení vápenatými ionty [8]. Sýření mléka zahrnuje tři fáze:

První fáze

Řetězec molekuly κ -kaseinu je tvořen ze 169 aminokyselin (AMK). Z enzymatického hlediska je snadno přístupná vazba mezi AMK 105 (Phe) a 106 (Met), která je štěpena syřidlem (Obr. 4). N-konec obsahující AMK 106 až 169 je ovládán polárními AMK a sacharidem, tím získává hydrofilní vlastnosti. Tato část κ -kaseinu, nazývána jako makropeptid (glykomakropeptid, kaseinomakropeptid), odchází do syrovátky. Zbývající část řetězce κ -kaseinu je označován jako C-konec obsahující AMK 1 až 105, je nerozpustný a zůstává v koagulátu. Tato část je nazývána jako para- κ -kasein [7].



Obr. 4. Schematické štěpení κ -kaseinu [8]

Sekundární fáze

Po rozštěpení specifické vazby dochází k destabilizaci micel a následně k tvorbě vazeb mezi hydrofobními řetězci κ -kaseinu, které jsou vyztuženy vápníkovými můstky. Vlivem těchto reakcí se uvolňuje voda ze struktur micel spolu s makropeptidem (synereze). Vzniká trojrozměrná struktura gelu označovaná jako sýřenina [4,7].

Terciární fáze

Působení syřidla na kasein již nesouvisí s koagulací, ale s proteolytickým působením syřidla v průběhu zrání sýrů. V průběhu koagulace je třetí fáze nežádoucí [8].

1.2 Technologie výroby sýrů holandského typu

Schéma výroby sýrů holandského typu je znázorněno v Příloze I.

1.2.1 Příjem a skladování mléka

Vysoká nutriční hodnota mléka, dále pak obvyklá teplota ve vemeni 38 °C a jeho pH (kolem 6.6) jsou ideální podmínky pro růst mikroorganismů. Nicméně, mikrobiální růst nenačane, protože mléko ve vemeni je sterilní, jestliže není infikované. Bakterie mohou kolonizovat strukový kanálek, ale v první fázi dojení je tato bakteriální zátka odstříknuta. Během dojení mléka dochází ke kontaminaci mléka především z dojícího zařízení, a také pokud by bylo mléko skladováno nad teplotou 15 °C po dobu několika hodin. Mléko koaguluje vlivem produkce kyselin náhodnými bakteriemi, bakteriemi mléčného kvašení a kolidformními bakteriemi. Z tohoto důvodu je mléko ihned po nadojení zchlazeno na 8 °C a nižší. V případě, že svoz mléka není uskutečněn každý den, je zchlazeno na 6 °C a nižší. Během chlazení se mění mikroflóra z převládající grampozitivní na gramnegativní a psychrotrofních bakterie. Psychrotrofní organismy (může se jednat o některé kmeny mikroorganismů *Pseudomonas*, *Flavobacterium* a *Acinetobacter* apod) mají optimální teplotu růstu v rozsahu 20 – 30 °C, ale jsou schopny se rozmnožovat při chladirenských teplotách pod 7 °C. Většina těchto bakterií produkují extracelulární proteolytické a lipolytické enzymy, které mohou degradovat mléčný tuk a bílkoviny během skladování před výrobou sýrů. Navíc, většina těchto enzymů je tepelně stabilní a mohou být aktivní během zrání. Zejména u polotvrdých sýrů, které zrají dlouhou dobu (Gouda, Edam). Vlivem těchto reakcí dochází k vývoji nežádoucích cizích příchutí, jako je žluklá, ovocná nebo hořká. K zamezení růstu psychrotrofních mikroorganismů je důležité dodržovat hygienu nejen při získávání mléka, ale i během skladování a výrobního procesu. Doba od přijetí mléka po výrobní proces má být co nejkratší nebo je možné využít termizaci (57 – 68 °C, 15 s) při příjmu mléka, kdy dochází k redukci počtu mikroorganismů a tím prodloužit trvanlivost syrového mléka [4, 6, 9].

1.2.2 Úprava mléka před sýřením

Úprava mléka před sýřením zahrnuje zpravidla standardizaci, tepelné ošetření, přidavek CaCl_2 , barviva a startovacích kultur.

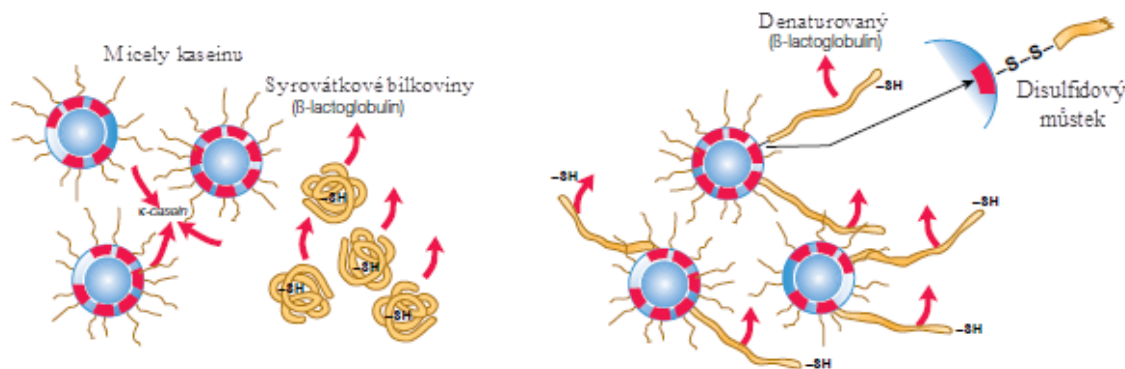
Standardizace

Složení mléka během roku se může měnit vlivem řady faktorů včetně výživy, ročního období a stupněm laktace dojnic. Obecně obsah bílkovin v mléce je relativně stabilní (mění se v omezeném rozsahu), ale obsah tuku je mnohem více proměnlivý. Standardizace zajistí výrobci obsah tuku v sušině a tukuprosté sušiny dle požadavků právních norem nebo standardů shodných pro jednotlivé varianty sýrů [4, 6].

Mléko může být standardizováno na základě poměru celkových bílkovin a tuku, nebo kaseinu a tuku. Poslední zmíněný způsob je přesnější. Tento poměr má důležitý význam pro výtěžnost a kvalitu finálních sýrů. Optimální poměr kaseinu a tuku se liší podle typu sýru (např. pro výrobu čedaru je 0,7:1). Zvýšení poměru kaseinu k tuku snížením obsahu tuku v mléce, má za následek vyšší obsah vlhkosti a rozpustných pevných látek v sýřenině. Snížení poměru kaseinu k tuku zvyšuje obsah tuku a snižuje obsah vlhkosti v sýru [4].

Tepelné ošetření

Další operací po příjmu mléka je pasterace, která zajišťuje zdravotní nezávadnost sýrů [8]. Pasterace probíhá při teplotách 72 – 75 °C po dobu 15 – 30 s, nazývaná jako šetrná, protože vyšší teploty mají za následek denaturaci syrovátkových bílkovin (zejména β -laktoglobulinu) a jejich interakci na κ -kaseinové frakce pomocí disulfidických můstků (Obr. 5) [7]. Blokování velkého množství κ -kaseinu má za následek zhoršení sýřitelnosti mléka a tím prodloužení doby sýření, vlivem negativního dopadu na funkčnost a kvalitu většiny syřidel. Denaturované komplexy syrovátkových bílkovin s κ -kaseinem jsou zadrženy v sýřenině, kde přispívají k zvýšení sýrašského výnosu, ale vytváří jemnou a slabou sýřeninu s nízkou synerezou. Výše zmíněné interakce probíhají při šetrné pasteraci v menším rozsahu [4, 7].



Obr. 5. Interakce denaturovaných syrovátkových bílkovin s κ -kaseinem [7]

Účelem pasterace je především usmrcení potenciálních patogenů, které mohou být přítomny v mléce. Řadu enzymů v mléce je inaktivována (laktoperoxidáza, fosfatáza, amyláza, lipáza, kataláza). Více než 99,9 % veškeré mikroflóry nalezených v syrovém mléce jsou usmrceny, ale spóry rodu *Clostridium* spp. a *Bacillus* spp. a mikroorganismy jako např. *Micrococcus*, *Enterococcus* spp. mohou odolat pasteraci [6]. Spóry *Clostridium tyrobutyricum*, *butyricum* mohou v průběhu zrání vyklíčit a dále se rozmnožovat v průběhu zrání sýru. Způsobují defekt nazývaný jako pozdní duření, který je způsoben anaerobním metabolismem laktátu na acetát, butyrát, CO_2 a H_2 . Defekt se projevuje vznikem velkých bublinek v sýru a vývoji cizí příchuti [2, 4]. Po sekundární kontaminaci nebo nedostatečné pasteraci mléka během zrání, obvykle 1 až 2 dny po výrobě, dochází k tvorbě velkého počtu malých bublinek [6]. Tento jev je nazýván jako skoré duření a je způsoben růstem kolidformních bakterií a kvasinek. Bakterie rozkládají produkty laktátového metabolismu na H_2 a kvasinky produkují CO_2 z laktózy nebo laktátového metabolismu [4].

Přídavek CaCl_2

Pro obnovení sýřitelnosti mléka se přidává tzv. rozpustný vápník ve formě CaCl_2 . Obvyklá dávka CaCl_2 je v rozsahu 5 – 20 g na 100kg mléka [8].

Zvýšení koncentrace Ca^{2+} mléka zlepšuje sekundární fázi koagulace mléka snížením elektrostatického odpuzování mezi kazeinovými micelami, které postupně podporuje v jejich agregaci za vzniku gelu (sýřeniny). Redukuje koagulační čas a zvyšuje pevnost sýřeniny. Reakcí iontů Ca^{2+} se solemi fosfátu sodíku má za následek zvýšení aktivity iontů vodíku, čímž se snižuje mírně pH mléka, které podporuje činnost syřidla. Koncentrace vápníku až do 4 mg/ml snižuje denaturaci syrovátkových proteinů [6, 4].

Přídavek KNO_3

Defektům (skoré a pozdní duření) lze předejít přidavkem KNO_3 nebo NaNO_3 v množství 15g/100 kg mléka, kde NO_3^- nezabrání růstu, ale vystupuje jako elektronový příjemce oxidující laktózu na CO_2 a H_2O [2]. Vysoké dávky NO_3^- mohou brzdit činnost startérových kultur, po redukcii na dusitany mohou reagovat např. tyrosinem za vzniku barevných vad a existuje také riziko tvorby karcinogenních nitrosaminů. Z těchto důvodů je snaha nahradit dusičnany použitím baktofugací, mikrofiltrací mléka nebo přidavkem lysozymu případně nisinu [4, 8].

Přídavek barviva

Nejběžnějším barvivem používaným v sýrařství je Annato. Připravuje se extrakcí ze semen tropické rostliny *Bixa orellana* L. Annato obsahuje dva apokarotenoidní pigmenty, norbixin (rozpustný ve vodě) a jeho methylester bixin (rozpustný v tuku). Dalším barvivem je β -karoten. Tyto barviva jsou přidávána v menších množstvích při výrobě holandských typů sýrů (Gouda, Edam), aby byl získán produkt s žádoucí mírně nažloutlou barvou [4, 10].

Přídavek zákysových kultur

Přídavek zákysových kultur bakterií mléčného kvašení je nezbytným předpokladem výroby všech sýrů [8]. V sýrařství jsou používány primární a sekundární kultury. Primární kultura je dále dělena na mezofilní a termofilní kultury. Mezofilní bakterie mají optimální růst při teplotě v rozsahu 26 až 30 °C, jsou používány při výrobě sýrů, kde maximální teplota nepřesahuje 40 °C (sýry s nízkodohřivanou sýřeninou). Mezofilní kulturu tvoří *Lactococcus lactis* subps. *lactis*, *Lactococcus lactis* subps. *cremoris*, které při homofermentativním rozkladu laktózy produkují L(+) izomer kyseliny mléčné. Druhou složkou mezofilních kultur tvoří tzv. aromatvorné (metabolizující citrát), které se kromě produkce kyseliny mléčné z laktózy vyznačují rozkladem citrátů v mléce, z nichž produkují CO_2 a směs čtyřuhlíkatých sloučenin, z nichž diacetyl je nositelem typického aromatu. Mezi aromatvorné se řadí *Lactococcus lactis* subps. *lactis* biovar. *diacetylactis* a *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris*. Podle podílu aromatvorných mikroorganismů se dělí na nearomatické (pouze kyselinotvorné koky) a aromatické. U výrobků kde není žádoucí produkce plynu a aromatických látek se používá nearomatická kultura (např. čedar) a naopak (sýry s tvorbou ok).

Sekundární (doplňkové) kultury nejsou považovány jako startérové kultury, protože neprodukují kyselinou mléčnou, ale jsou používány k vytvoření typických sensorických znaků daného druhu sýru. Mezi tyto kultury patří:

- *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus casei* – tvrdé a polotvrdé sýry,

Funkce zákysových kultur při výrobě lze shrnout následovně:

- Fermentace laktózy a tvorba kyseliny mléčné během koagulace a zpracování sýřeniny. Snížení pH má do jisté míry i konzervační účinek a brání rozvoji hnilobných, sporotvorných a patogenních mikroorganismů. Dále ovlivňuje aktivitu syřidla během výroby a zrání, uchovává aktivitu syřidla v sýřenině. Podporuje synerzi a tím ovlivňuje obsah vody v sýru.
- Mají vliv na texturu a konzistenci (především tvorba ok a proteolytické změny bílkovin). Kyselina mléčná rozpouští koloidní fosforečnan vápenatý, a tak ovlivňuje obsah vápníku v sýřenině a poměr rozpustného vápníku ke koloidnímu vápníku.
- Uplatňuje se proteolytická a lipolytická aktivita v průběhu zrání. Utváří se senzorické vlastnosti (tvorba kyseliny mléčné a dalších organických kyselin, aromatických sloučenin).

Vlastní přidavek kultur pro výrobu následuje po ohřátí mléka na teplotu sýření (obvykle 30 – 33 °C). Mezofilní kultura je dávkována 30 až 45 minut před sýřením v množství 0,5 až 2 % [2, 4, 6, 8, 9].

1.2.3 Vlastní sýření

Vlastní sýření probíhá u sýrů holandského typu v rozsahu 30 – 40 minut při teplotě 30 – 33 °C. Mechanismus koagulace mléka je popsán v kapitole 1.1.1. Koagulace mléka syřidlem [8].

Ke koagulaci mléka je používán chymozin, který se získává extrakcí telecích žaludků, ale vzhledem k jeho omezeným zdrojům suroviny se používají další enzymové preparáty s obdobným působením živočišného, mikrobiálního nebo rostlinného původu. Využívá se především hovězí pepsin, kuřecí (ačkoliv je velmi proteolytický) a vepřový, který je velmi nestabilní v hodnotách pH nad 6. Některé kvasinky a plísně produkují proteinázy, které jsou vhodné pro sýrařství. Nejpoužívanější jsou preparáty izolované z plísní *Rhizomucor meihei*, *Rhizomucor pusillus*. Fermentačně vyprodukovaný chymozin (nazývaný také jako rekombinovaný) získaný vnesením genu pro tvorbu chymozinu do produkčního mikroor-

ganismu (*Aspergillus niger* var. *awamori*, *Escherichia coli*, *Kluyveromyces lactis*) je v současné době řešením pro nedostatek syřidla [4, 8, 11].

1.2.4 Zpracování sýřeniny

Zpracování sýřeniny slouží k vytvoření sýrových zrn a k oddělení potřebného množství syrovátky ze struktury gelu. Při zpracování odtéká jednak volná voda a při smršťování (synerезi) i tzv. kapilární voda. Synerезe je podporována krájením, mícháním a dohříváním sýřeniny. Dále může odcházet i tzv. hydratační voda chemicky vázaná na částice kaseinu. Odstraňuje se při kysání sýrů a roztoky solí při solení, kdy dochází k snižování velikosti náboje kaseinu [6, 8].

Krájení

V okamžiku kdy je dosažena požadovaná tuhost gelu, je zahájeno krájení. Během tvorby koagulátu se jeho pevnost zvyšuje na počátku koagulace v důsledku agregace parakaseinových micel. Gel se nakonec stává pevnější dost na to, aby při krájení nedocházelo ke tříštění koagulátu. Krájením vzniká sýrové zrno, tj. částice o velikosti 3 – 15 mm [4, 6, 8].

Zrno je dále mícháno v uvolněné syrovátce. Míchání, zejména na počátku, musí být šetrné, protože je v této fázi křehké a hrozí nebezpečí jeho rozbití na jemné částice tzv. sýrový prach, který není zadržen v sýru, ale odchází do syrovátky a tím snižuje výtěžnost sýru. Současně nesmí docházet k sedimentaci a slepování zrna [8].

Dohřívání

U sýrů holandského typu (gouda, eidam) se provádí tzv. praní sýrového zrna, při kterém se snižuje obsah laktózy, současně se sýřenina dohřívá, protože k praní se používá teplá voda. Dohřívání je nejprve provedeno odpuštěním 35 % syrovátky a přidá se 50 – 80 % jejího objemu vody teplé 50 – 60 °C. Odčerpání syrovátky musí být dostatečně rychlé (5-6 minut), protože se provádí bez míchání a mohlo by docházet ke slepování zrna. Teplota dohřívání musí odpovídat tepelné stabilitě startérových kultur, protože inhibice kultur může mít negativní účinek na synerезi kvůli snížené rychlosti okyselení. Jestliže je ohřev příliš rychlý, zejména během počátečních stádií, vyskytne se nadměrná dehydratace na povrchu sýrových zrn, vedoucí k vytvoření příliš tuhé pokožky, která zpomalí synerезi a má za následek vyšší obsah vlhkosti uvnitř sýrového zrna [6, 8].

Dosoušení

Synereze je dále podpořena mechanickým zpracováním při tzv. dosoušení. Dosoušení je míchání sýřeniny v syrovátce po dosažení konečné teploty. U nízkodohříváných sýrů s obsahem t.v.s. 30 % je teplota dosoušení 36 – 37 °C, pro sýry se 45 % t.v.s. je vhodná teplota 39 – 40 °C. Účelem dosoušení je kromě zvyšování sušiny zrna také ovlivnění probíhajícího prokysávání, které rovněž upravuje konzistenci a jakost vyráběných sýrů. Díky snížené koncentraci laktózy klesne pH pouze na hodnotu 5,2 – 5,4, jinak by pokles pH pokračoval až na 4,6 – 4,8 [6, 8].

Doba dohřívání a dosoušení je závislá na požadované sušině a průběhu prokysávání. Operace při zpracování sýřeniny podporují synerezi, kdy dochází k smršťování a uvolňování syrovátky. Mechanické zpracování zkrátí dráhu, kterou musí syrovátka gelem proniknout a zvětší se i plocha, kterou prochází [4, 8].

1.2.5 Formování a lisování sýrů

Sýřenina je lisována ve formách, aby výsledný sýr získal typický tvar. Během tvarování probíhají mechanické procesy (např. uvolňování syrovátky, slepování zrn a tvorba pokožky na povrchu sýru) a pokračuje prokysávání [2, 4]. Současně probíhá třetí fáze sýření, účinkem syřidla se začínají štěpit kaseinové frakce. Formování je prováděno ve speciálních tvořítkách, která jsou nejčastěji kovová nebo plastová různých tvarů a velikostí. Plášť forem je perforovaný k usnadnění odtoku syrovátky [5]. U sýrů holandského typu je důležité, aby zrno při formování nepřišlo do styku se vzduchem, protože zrno by se pak úplně nespojilo. Sýřenina se tedy vypouští pod syrovátkou do forem a následně se lisuje [12].

Při lisování dochází k těsnějšímu slepování zrn, takže lisovaný sýr má kompaktní těsto, pravidelný tvar a dobře uzavřenou a pevnou pokožku. Sýry jsou méně kyselé a chuťově jemnější, protože v nich zůstává méně syrovátky, a tedy i méně kyseliny mléčné. Lisováním má být také dosaženo rovnoměrného rozdělení vody, a tím i stejného obsahu sušiny v celé hmotě sýra. V případě, že voda v těstě je rozptýlena nerovnoměrně, vznikají vady, které se projevují rozdílným prozráváním, nestejnou chutí a konzistencí výrobku. Lisování probíhá za tlaku vyššího než je tlak atmosférický. Sýry se lisují postupně narůstajícím tlakem 0,005 – 0,04 MPa, pod dobu 2 až 4 hodiny v závislosti na typu sýru. Počáteční tlaky se volí nižší, protože při předčasném použití vysokých tlaků se na povrchu sýra tvoří silná

kůra, která nepropustí syrovátku. Poté sýry nepravidelně zrají, často duří a uprostřed jsou překysané [2, 12].

1.2.6 Solení sýrů

Solení má vliv nejen na výslednou chuť sýru, ale zpevňuje i jeho povrch. Chuť bez soli je mdlá a vodová [4]. Výměna vápenatých iontů za sodíkové v parakaseinu zjemňuje konzistenci sýra. Zvýšení osmotického tlaku v prostoru mezi zrny a působením na bílkoviny se zvyšuje množství uvolněné syrovátky. Sůl ovlivňuje aktivitu mikroorganismů a usměrňuje průběh biochemických zracích pochodů i trvanlivost sýru. Množství soli v sýrech se značně liší podle typu sýru. Střední obsah NaCl mají sýry holandského (obecně 1,5 – 3,0 %)[12, 13].

Solení sýrů holandského typu probíhá v solné lázni. Patří mezi nejrozšířenější způsob solení. Sýry se ponoří do roztoku NaCl o koncentraci nejčastěji 18 – 22 %, její pH je 5,2 pro tvrdé sýry a pro měkké 4,8 – 5,0 %. Teplota solení je většinou mezi 12 a 22 °C. Doba solení je závislá na požadovaném obsahu soli, na velikosti a tvaru sýra [8]. Výměnou vápenatých za sodíkové ionty v para- κ -kaseinu dochází k jeho schopnosti vázat na sebe vodu a bobtnat. To se projevuje rozrušením povrchové blány na sýrových zrnech, takže původní zrnitá struktura křehkého a tuhého těsta přechází v jednotnou vláčnou a pružnou texturu [8, 12].

Při solení dochází k výměně látek mezi solným roztokem a sýrem, a to hlavně difúzí, při níž sůl a ostatní rozpuštěné látky pronikají do sýra pokožkou a uvnitř proudí kanálky mezi splepenými zrny. Rozdíl mezi koncentrací solí v solné lázni a ve vodní fázi sýra je nazýván jako koncentrační spád, který bývá největší na počátku solení, kdy se sýr nejrychleji prosoluje. Současně nastává opačné proudění, kdy ze sýra odchází syrovátka, která s sebou unáší zbytek laktózy, kyselinu mléčnou, kyselinu fosforečnou, rozpustné bílkoviny a jejich deriváty. Sýr však nesmí být o tyto látky příliš ochuzen, protože by neměl vhodný obsah kyselin a žádoucí pH pro zrání. Difúzní spád mezi kyselinami v sýru a v solené lázni musí být tedy v poměru 1:1, aby kyseliny difundovaly oběma směry. Proto je u každé solné lázně udržována určitá hodnota kyselosti [6, 12].

Spolu s difúzí se při solení uplatňuje také princip osmózy, a to zejména u tvrdých sýrů, jejichž zrna mají pevnější blánu slabě rozpustnou pro sůl, ale dobře propustnou pro vodu.

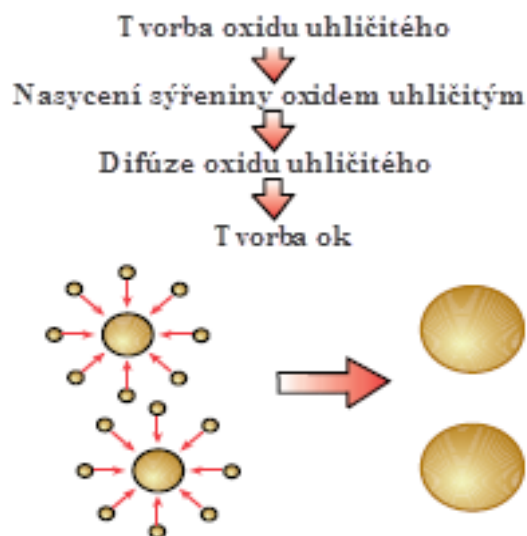
Na základě rozdílných osmotických tlaků uvnitř a vně zrna přechází část vody ze zrna do roztoku slané syrovátky a poté je odváděna difúzí. Sůl prostupuje od povrchu do středu zrna. V kůře a těsně pod ní (tzv. v solném kruhu či prstenci) se koncentruje nejvíce soli. Odtud sůl putuje do solného pásma a konečně do výměnného pásma, v němž dochází k výměně látek uvnitř sýra. Střed zůstává v době solení téměř bez soli. Až v průběhu zrání dochází k vyrovnání obsahu soli v celé hmotě, především difúzí [6, 12].

2 ZRÁNÍ SÝRŮ

Sýr zráním získává typicky vzhled, konzistenci, chuť a vůni. Primární reakce zodpovídající za texturní změny a vznik aromatických složek jsou metabolismus laktózy, proteolýza a lipolýza. Probíhají i sekundární reakce – např. metabolismus volných mastných kyselin nebo metabolismus volných aminokyselin [8].

Při zrání se výrazně mění konzistence sýrů. Během kysání se snižuje obsah vápníku, protože dochází k vytěsnění vápenatých iontů z parakaseinového komplexu ionty laktátu. Následně jsou vápenaté ionty nahrazeny ionty Na^+ . Vysolený sýr bobtná ve vodě a roztoku NaCl . Postupně se zvláčňuje konzistence sýru [8, 2, 12]. To způsobuje, že jednotlivá zrna, která byla dříve na řezu dobře rozeznatelná, navzájem spojují a vytvářejí jednotnou plastic-kou hmotu, příznivou pro vznik pravidelných ok [6, 8, 12].

Během zrání dochází k snížení kyselosti, jednak vazbou kyseliny mléčné, ale tak i její mikrobiální přeměnou. Vznikají tak další kyseliny (propionová, případně octová), oxid uhličitý, voda a případně jiné sloučeniny [8]. Vznikající CO_2 se nejdříve rozpouští ve vodě sýru na H_2CO_3 až do nasycení. Další se pak hromadí v dutinkách po vzduchu, ve vodních kapkách a v místech nejmenšího odporu těsta (pravděpodobně ve spojích zrn) a vytváří tu oka (Obr. 6). Tlakem plynného CO_2 se dutinka rozpíná a zvětšuje, vytvořený CO_2 blízko povrchu sýra uniká do ovzduší. Proto se nejvíce ok vyskytuje uprostřed hmoty sýru. Tvorba ok závisí na vlastnostech těsta a na aktivitě plynotvorných mikroorganismů (kmeny laktokoků a leukonostoků). V plastickém a pružném těstě jsou vytvářeny pravidelné lesklé kulaté otvory. U sýrů holandského typu jsou oka tvořena během 10 a 14 dnů. Oka jsou hladká, lesklá a drobná. Během praní zrna je snižován obsah laktózy, tudíž se vytváří méně kyseliny mléčné, a tedy i méně ok [12, 14].



Obr. 6. Schematické znázornění tvorby ok [7]

Rozkladem bílkovin se snižuje kyselost sýru, vytrácí se hořká chuť a vznikají pro daný druh sýra typické organoleptické vlastnosti - chuť, vůně a plastičnost těsta [12]. Míra degradace bílkovin je posuzována rozsahem a hloubkou zrání. Rozsah zrání je podíl obsahu rozpustného dusíku k celkovému obsahu dusíku. Hloubka zrání je definována jako podíl obsahu dusíku volných aminokyselin a amoniakálního dusíku k celkovému obsahu dusíku. Jestliže u sýrů holandského typu převládá rozsah zrání, sýry jsou chuťově lepší [8].

Před zráním povrch sýrů holandského typu je ošetřen různými materiály, které zabraňují rozvoji plísní, zamezují vysychání sýru během zrání a mohou zlepšovat vzhled finálního výrobku [8]. Tradičně se používají kopolymerové disperze, teplem smrštitelné fólie na bázi polyethylenu a polyvinylidenchloridu, kvalitní parafíny a mikrokrystalické vosky. U sýrů během zrání jsou produkovány plyny jako je CO_2 (způsobuje vyboulení obalu) a H_2S (nepříjemná vůně). Aby se předešlo zmíněným defektům, musí být ochranný obal sýru propustný pro tyto plyny a zároveň nepropustný pro kyslík z důvodu mikrobiálního růstu (především plísní na povrchu sýru). Dále musí mít nízkou propustnost pro vodu, aby nedocházelo ke ztrátě vlhkosti [6, 15]. Během zrání se již sýry neošetřují [12, 13].

Zrání sýrů probíhá ve zracích sklepech. Jedná se o prostory s vhodnými klimatickými podmínkami pro daný druh sýra (teplota, relativní vlhkost, přiměřená výměna vzduchu). Obecně platí, že je teplota vyšší na počátku zrání a nižší při dozrávání [13]. Zrání sýrů holandského typu probíhá ve zracích sklepech nejčastěji při teplotě 8 až 14°C.

Relativní vlhkost sklepů úzce souvisí s teplotou. Teplejší vzduch pojme více vodních par a naopak. Sýry zrající ve zracích fóliích nebo pod speciálními nátěry, se relativní vlhkost pohybuje v rozmezí 60 až 80 %. Dále je důležité proudění a výměna vzduchu, aby byly v celém prostoru sklepa zajištěny stejné klimatické podmínky [12].

Sýry holandského typu procházejí procesem zrání. Jedná se o velmi důležitou součást výroby, kdy dochází v průběhu zrání ke změnám, díky nimž sýr získává své typické vlastnosti (typický vzhled, konzistenci, chuť, vůni a složení) [9]. Uplatňují se chemické, fyzikální a biochemické reakce. Příkladem chemických reakcí je reakce kyseliny mléčné s vápníkem a následný vznik rozpustného monokalciium kaseinátu, který se podílí na vzniku celistvé hmoty. K typickým fyzikálním změnám patří například vyrovnání obsahu NaCl v sýru. Nejvýznamnější skupinou reakcí jsou mikrobiologické a biochemické procesy, které lze rozdělit do čtyř hlavních kategorií:

- Metabolismus zbytkové laktózy a kyseliny mléčné
- Metabolismus citrátu
- Lipolýza a katabolismus volných mastných kyselin
- Proteolýza a katabolismus aminokyselin [2]

Mikroflóra související se zráním sýrů přispívá pozitivním i negativním způsobem prostřednictvím jejich metabolickým systémem nebo nepřímo uvolňováním enzymů do sýru. Na zrání se podílí startérové (zákysové) bakterie mléčné kvašení (LAB) a nstartérové (nezákysové) bakterie mléčného kvašení (NSLAB) [2].

NSLAB se skládají z fakultativně heterofermentativních laktobacilů, pediokoků, enterokoků a leukonostoků. NSLAB jsou náhodné mikroorganismy, které se do sýru dostávají prostřednictvím přísad, pracovníků, prostředí a nástrojů používaných při výrobě sýrů. Zdroj enterokoků není jasně definován, ale předpokládá se, že mléko je kontaminováno během dojení. Kombinace pH, obsahu soli, vodní aktivity, teploty inhibují růst většiny mikroorganismů. NSLAB jsou k těmto podmínkám tolerantní a přežívají/rostou během zrání. Počet NSLAB během 2 až 3 měsíců zrání dosahuje 10^7 CFU/g. Zástupci mezofilních laktobacilů nalezených ve zralých sýrech jsou *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus rhamnosus* a *Lactobacillus curvatus*. Dominantními druhy z pediokoků jsou *Pediococcus pentosaceus* a *Pediococcus acidilactici*. Z enterokoků jsou

dominantní *Enterococcus faecium*, *Enterococcus faecalis* a *Enterococcus durans*. NSLAB významně přispívají k vývoji senzoryicky aktivních látek během zrání sýru a ovlivňují jak proteolytické tak lipolytické procesy [4, 2].

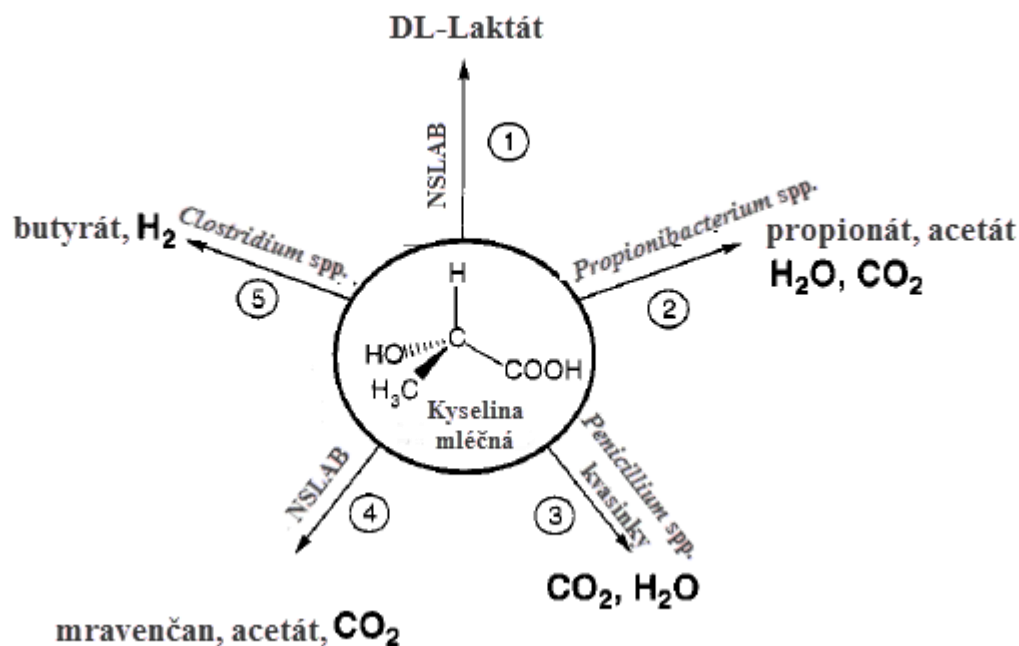
2.1.1 Metabolizmus laktózy

Většina laktózy odchází během výroby sýrů do syrovátky. Na konci výroby v sýřenině zůstává nízká obsah laktózy (0,8 až 1 %) [2]. Nejintenzivnější rozklad je v době odkapávání nebo lisování, poslední zbytky laktózy vymizí v počátku zrání (do 3 až 5 dnů) [8]. Sýrová hmota je vybavena tlumícím systémem, který přes narůstající koncentraci kyseliny mléčné udržuje pH v sýrů v mezích, z nichž přítomné bakterie mléčného kvašení mohou zfermentovat veškerou laktózu [12]. V případě, že laktóza není zcela zfermentována na L-kyselinu mléčnou pomocí LAB, mohou ji metabolizovat také NSLAB [2].

2.1.2 Metabolizmus kyseliny mléčné

Kyselina mléčná, konečný produkt metabolismu laktózy, je důležitým substrátem pro řadu reakcí, které nastanou během zrání, a přispívá k chuti sýru. Obsah kyseliny mléčné u sýrů holandského typu je 1,2 %. D-kyselina mléčná může být produkována přímo z laktózy pomocí startérovými laktobacily, NSLAB nebo racemizací L-kyseliny mléčné. Rychlost racemizace L-kyseliny mléčné závisí na složení NSLAB. Například *Pediococcus* racemizuje L-kyselinu mléčnou rychleji než laktobacily. Bylo zjištěno, že racemizace probíhá rychleji u sýrů vyrobených ze syrového mléka než z pasterovaného. Racemizace pravděpodobně zahrnuje oxidaci L-kyseliny mléčné působením L-laktátdehydrogenázou vytvořenou z pyruvátu, která je pak redukována na D-laktát pomocí D-laktátdehydrogenázy (Obr. 7, krok 1). Kyselina mléčná může být oxidována dále na kyselinu octovou, kyselinu mravenčí, ethanol či oxid uhličitý (Obr. 7, krok 4) [2, 4, 7].

Anaerobní metabolismus kyseliny mléčné například pomocí *Clostridium tyrobutyricum* na kyselinu máselnou a vodík (Obr. 7, krok 5) u sýrů holandského typu způsobuje vadu nazývanou pozdní duření. Metabolizmus kyseliny mléčné pomocí *Penicillium* spp. (Obr. 7, krok 3) je využíván při výrobě plísňových sýrů a *Propionibacterium* spp. (Obr. 7, krok 2) u sýrů s vysokohodřivanou sýřeninou [2].



Obr. 7. Metabolismus laktózy v průběhu zrání sýrů: 1 – racemizace, 2 – metabolismus způsobený *Propionibacterium* spp., 3 – oxidace, 4 – anaerobní metabolismus pomocí NSLAB, 5 – anaerobní metabolismus pomocí *Clostridium* spp [14]

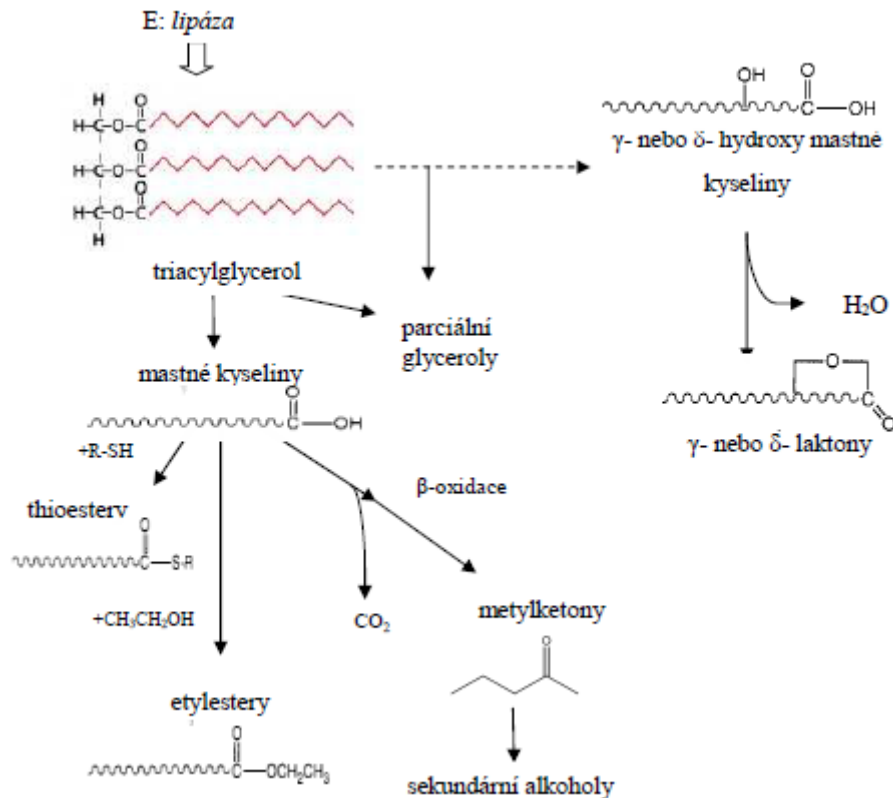
2.1.3 Metabolismus citrátu

Citrát je důležitým prekurzorem pro chuťové složky produkované mezofilními LAB. Citrát je metabolizován citrát pozitivními (Cit+) kmeny např. *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar *diacetylactis*. Produkty metabolismu citrátu zahrnují CO₂, který tvoří u sýrů holandského typu malá okrouhlá oka, dále acetaldehyd přispívající k chuti těchto sýrů. Citrát může být metabolizován některými druhy NSLAB mikroflóry za vzniku acetoinu, acetátu a pravděpodobně diacetylu [2, 4].

2.1.4 Lipolýza

Obecně lipidy mají vliv na texturu sýrů, působí jako zdroj mastných kyselin, které pak mohou být katabolizovány na další sensoricky aktivní látky a působí jako rozpouštědlo pro chuťové aktivní látky. Lipidy přítomné v sýrech mohou podléhat enzymatické hydrolyze triacylglycerolů na MK a glycerol, mono- nebo diacylglyceroly. Lipolytická činnost u sýrů holandského typu je nízká a jen málo ovlivní chuť sýru. Je způsobena vlivem intracelulárních lipolytických enzymů LAB a NSLAB, které jsou přítomné ve velkém počtu. Enzymy

těchto mikroorganismů jsou odpovědné za uvolnění významného množství mastných kyselin během zrání. Intracelulární enzymy LAB (do sýru se dostávají lýzou buněk) jsou nejvíce aktivní na substrátech obsahující krátké řetězce mastné kyseliny, které se na chuti sýru podílí přímo [2, 6, 7]



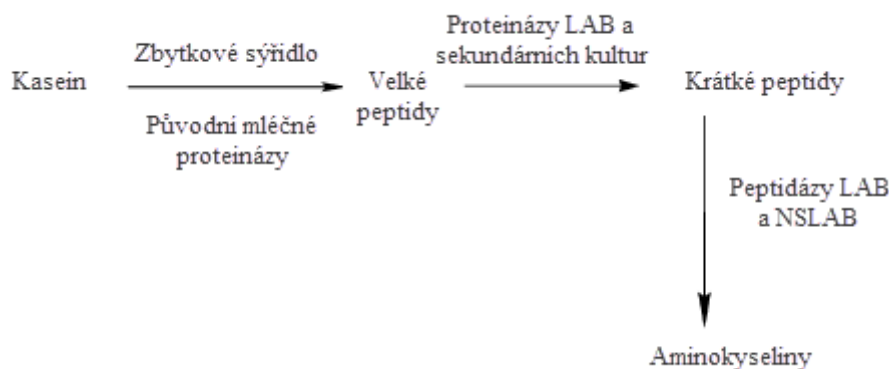
Obr. 8 Cesty katabolizmu volných mastných kyselin [2]

Volné mastné kyseliny (FFAs) přispívají k chuti sýru nepřímo jako prekurzory pro tvorbu významných aromatických látek, jako jsou methylketony, laktony, estery, alkany a sekundární alkoholy [14]. Na Obr. 8 je schematicky znázorněn katabolizmus volných mastných kyselin.

2.1.5 Proteolýza

Proteolýza je komplexní a nejdůležitější z primárních biochemických událostí, které nastanou v průběhu zrání. Přispívá k měknutí sýrů díky hydrolýze, kaseinové matrice a snížení vodní aktivity kvůli změnám ve vazbě vody nově vytvořenou kyselinou karboxylovou a aminoskupinami hydrolýzou. Proteinázy a peptidázy, které katalyzují proteolýzu během zrání, vznikají z primárních zdrojů a to: zbytková aktivita syřidla, původní enzymy mléka,

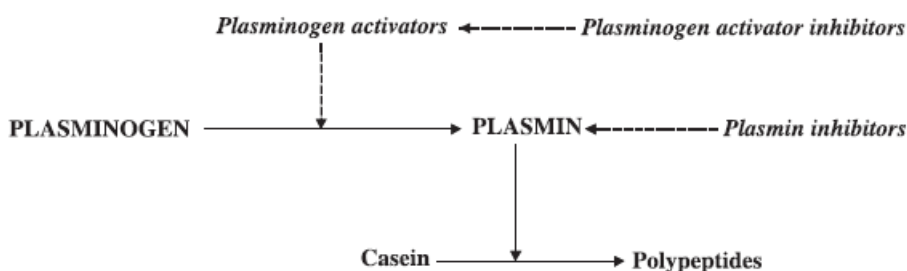
LAB, NSLAB, sekundární (doplňkové) kultury a exogenní proteinázy či peptidázy přidávané do mléka nebo sýřeniny za účelem urychlení zrání sýrů [2, 7]. Průběh štěpení kaseinu je schematicky znázorněno na Obr. 9.



Obr. 9. Schematické znázornění proteolýzy kaseinu [17]

Hlavním zdrojem proteolytických enzymů je zbytkové syřidlo, zejména chymozin. Až 30 % sýřící aktivity, která zůstává v sýřenině, závisí na dohřívací teplotě nebo pH při odtoku syrovátky. Primárním místem aktivity syřidla chymozinu je na α_{S1} -kaseinu vazba Phe₂₃-Phe₂₄, která má za následek produkci krátkých peptidů a ty jsou rychle hydrolyzovány bakteriemi mléčného kvašení (LAB). α_{S2} -kasein vůči aktivitě chymozinu je více odolný ve srovnání s α_{S1} -kaseinem. Štěpení α_{S2} -kaseinu je omezeno pouze na hydrofobní část molekuly (sekvence 90 – 120 a 160-207). Ačkoliv má para- κ -kasein má několik potenciálních míst ke štěpení chymozinem, tak nebylo doposud zjištěno, že by byl hydrolyzován v sýru [2, 14].

Mléko je také významným zdrojem proteolytických enzymů. Hlavní původní proteináza v mléce je plazmin, který urychluje proteolýzu. Plazmin (má původ v krvi) je vylučován do krve jako negativní plazminogen, který je nadále aktivován aktivátory (PAs) a plazmin (viz. Obr. 10). V mléce plazmin, plazminogen a PAs jsou asociovány především s kaseinovými molekulami. Inhibitory plazminu a aktivátoru odcházejí spolu se syrovátkou. Plazmin degraduje kaseiny v pořadí: β -kasein \approx α_{S2} -kasein $>$ α_{S1} -kasein. Vůči plazminu se zdá být odolný κ -kasein. Nejdůležitější substrát pro plazmin je β -kasein, který je hydrolyzován na třech místech (Lys₂₈-Lys₂₉, Lys₁₀₅-His₁₀₆, Lys₁₀₇-Glu₁₀₈). Činností plazminu vznikají středně-velké až velké peptidy [2, 17].



Obr. 10. Schematické znázornění systému plazminu v mléce [2]

Bakterie mléčného kvašení (LAB) vyžadují ke svému růstu mnoho AMK a z toho důvodu mají komplexní proteolytický systém. Tyto bakterie obsahují intracelulární proteinázy, které jsou vázané na buněčnou stěnu. Hydrolyzují středně-velké a velké peptidy uvolněné z kaseinu činností chymozinu a plazminu. Dále obsahují peptidázy, které jsou zodpovědné za hydrolýzu krátkých peptidů a uvolnění aminokyselin jako substrát pro katabolické děje [2, 14].

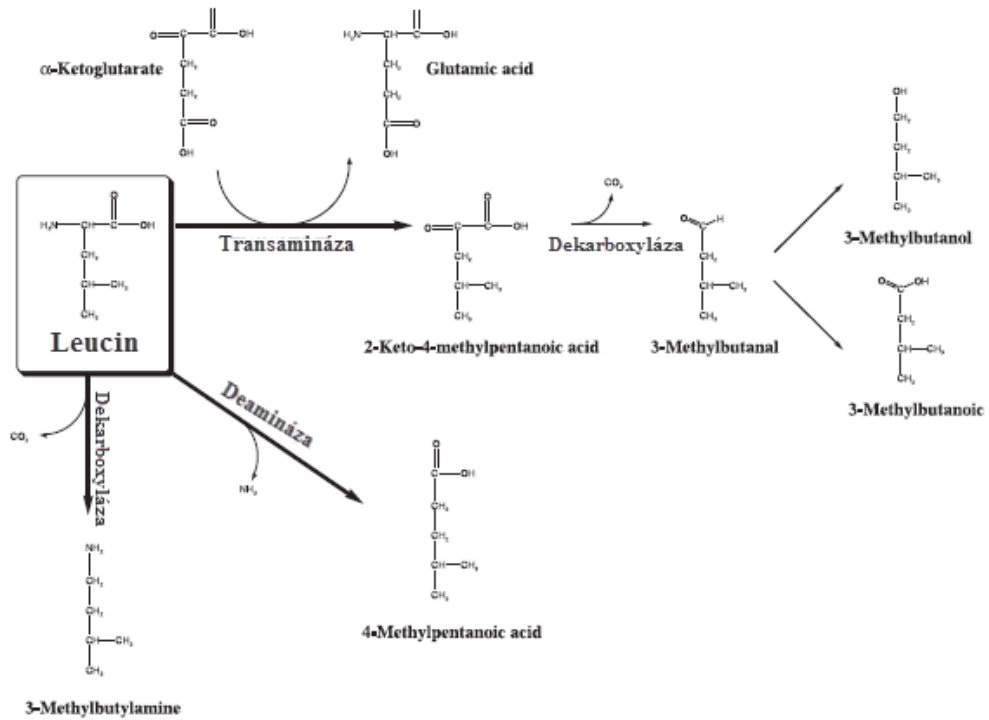
2.1.6 Metabolismus aminokyselin

Finálním produktem proteolýzy jsou aminokyseliny, které přispívají k chuti sýru přímo a nepřímo. Některé chutnají sladce (např. Gly, Ser, Thr, Ala, Pro), kyselě (např. His, Glu, Asp) nebo hořce (např. Arg, Met, Val, Leu, Phe, Tyr, Ile, Trp). Nepřímo přispívají aminokyseliny k chuti jako prekurzory pro komplexní katabolické děje, které produkují mnoho důležitých těkavých chuťových složek [2].

Katabolismus aminokyselin je zahájen dvěma hlavními metabolickými drahami. První je činností aminotransferázou, která přeměňuje aminokyselinu na odpovídající α -ketokyselinu (postupně přenáší aminoskupinu aminokyseliny k akceptoru molekuly, obvykle α -ketoglutarát). α -ketokyselina může být činností 2-hydroxykyselinydehydrogenázy na odpovídající hydroxykyselinu. Druhou je činností lyáz štěpící postranní řetězce aminokyselin. Tato metabolická dráha je především významná pro aromatické aminokyseliny a methionin, z jehož postranního řetězce vznikají sírné sloučeniny, které jsou významné z hlediska tvorby aroma sýru [2, 7, 14].

Vyskytují se i další metabolické dráhy, jako například deaminace nebo dekarboxylace. Deaminace je odstranění aminoskupiny z aminokyselin působením deaminázy za vzniku karboxylové kyseliny a amoniaku. Dekarboxyláza odstraňuje karboxylovou skupinu aminokyselin za vzniku biogenních aminů (histidin, tyramin, kadaverin a putrescin), které jsou to-

xickými zplodinami metabolismu aminokyselin. Dekarboxyláza může také působit na ketokyseliny a tvořit aldehydy, které mohou být postupně oxidovány karboxylovými kyselinami nebo redukovány na primární alkoholy [2, 14]. Na Obr. 11 je znázorněno schéma katabolizmu Leucinu.



Obr. 11 Schematické znázornění katabolizmu Leucinu [2]

3 HODNOCENÍ TEXTURNÍCH VLASTNOSTÍ POTRAVIN

Texturní vlastnosti potravin jsou prioritně sledovány jako ukazatel kvality potravin pro spotřebitele. Sledují se změny texturních vlastností ovoce při skladování nebo u zrání sýrů. Významné jsou i u zhodnocení odolnosti produktů proti mechanickým účinkům (poškození potravin případně při manipulaci). Významné jsou i při technologickém řešení výroby potravin, kdy je nutné potraviny mísit, čerpat, dávkovat a balit. Dalším důvodem sledování texturních vlastností je poznání jejich mechanického chování při konzumaci potravin [18].

Textura je definovaná jako souhrn všech mechanických, geometrických a povrchových vlastností výrobku vnímatelné prostřednictvím mechanických, hmatových, případně zrakových a sluchových receptorů [19]. Prakticky lze i instrumentálně měřit řadu mechanických, geometrických a povrchových vlastností potravin [20].

Složky texturních vlastností potravin se rozdělují do čtyř základních skupin.

1. Mechanické vlastnosti – jsou ty, které se vztahují k reakci výrobku na namáhání. Definice mechanických deskriptorů je popsána v Příloze II.
2. Geometrické vlastnosti – jsou ty, které se vztahují na rozměr, tvar a uspořádání částic výrobku.
3. Povrchové vlastnosti – jsou ty, které se vztahují na počítky vyvolané obsahem vlhkosti a/nebo tuku. V ústech se též vztahují na způsob, jakým jsou tyto složky uvolňovány [19].

Hodnocení texturních vlastností je děleno na nepřímé a přímé metody. Mezi nepřímé metody patří metody chemické a mikroskopické. Mezi přímé metody patří sensorické a instrumentální hodnocení textury potravin [18].

3.1 Sensorické hodnocení

Sensorické (primární) posuzování textury je objektivní hodnocení subjektivních vlastností. Texturní vlastnosti jsou projevem reakcí potraviny na namáhání. Měří se pomocí kinestéze a somastéze (taktilní smysl). Kinestéze zahrnuje počítky polohy, pohybu a napětí částí těla, vnímané prostřednictvím nervů a orgánům svalstva, šlach a kloubů. Somastéze zahrnuje počítky tlaku (dotyku) a bolesti, vnímané receptory, umístěnými v kůži a rtech, včetně sliznice úst, jazyka a periodontální membrány [20].

Senzorické hodnocení musí být prováděno v definovaném prostředí (senzorická laboratoř odpovídající ČSN ISO 8589), hodnocení dle definovaných deskriptorů a stupnic. Je nutné mít dostatečně velkou skupinku vhodných a především vyškolených hodnotitelů, kteří musí projít výcvikem. Výsledky musí být zpracovány pomocí vhodného statistického vyhodnocení. Senzorická analýza má řadu nevýhod, které vyplývají ze závislosti na smyslech člověka, jako například subjektivita hodnotitele, jeho znalosti a zkušenosti, ale stále je základním kamenem hodnocení textury potravin, protože lidské smysly jsou obtížně nahraditelné. Při hodnocení texturních vlastností je důležitý výcvik posuzovatelů. V důsledku finanční a časové náročnosti, častého nedostatku vhodných zkušených posuzovatelů a eliminaci subjektivního hodnocení, je snaha nahradit sensorickou analýzu instrumentálním měřením. Ovšem instrumentální hodnocení je bezvýznamné, pokud dobře nekoreluje se sensorickým posuzováním [21-23].

3.2 Instrumentální hodnocení

Instrumentální (sekundární) hodnocení textury potravin je rychlé, dobře opakovatelné a objektivní. Jedná se o metody, které měří pouze fyzikální a chemické vlastnosti výrobku, měření počítka a vjemu lze hodnotit pouze pomocí sensorické analýzy. Tudíž instrumentální metody je vhodné použít, pokud známe vztah mezi intenzitou podnětu a charakterem vjemu. V případě, že je zapotřebí vyjádřit sensorickou jakost pomocí instrumentálních metod, musí být přístroj kalibrován pomocí vzorků ohodnocených sensorickou analýzou. Instrumentální měření je bezvýznamné, pokud dobře nekoreluje se sensorickým posuzováním textury. Častou příčinou špatné korelace sensorického a instrumentálního hodnocení je nesprávné provedení sensorického hodnocení, nedostatečná znalost toho, co instrumentální testy skutečně měří, chyba ve vzorkování nebo heterogenita vzorku. Přítomnost složek, jako je například tuk nebo šťáva, mají větší vliv na sensorické vnímání než na objektivní hodnocení. To znamená, že šťavnatý výrobek může být sensoricky hodnocen jako měkčí než suchý, ačkoliv oba vzorky mohou vykazovat stejnou tvrdost měřenou mechanickým testem [24-25].

Žvýkání je proces destrukce potravin, při kterém konzument vnímá texturu a chuťové složky výrobku. Proto se zdá být logické, že textura by měla být měřena destruktivním způsobem, proto i většina instrumentálních metod vychází z tohoto způsobu měření. V současné

době se do popředí dostávají i nedestruktivní instrumentální metody, které by měly být porovnány se standardními destruktivními metodami [26].

Instrumentální metody studia reologického chování potravin lze rozdělit do 3 skupin:

Fundamentální (základní) testy

Základní metody používají validované reologické testovací techniky a stanovují dobře definovatelné reologické veličiny (např. viskozita, modul pružnosti, relaxační čas...). Mezi fundamentální metody patří například relaxační, creepové a dynamické testy [27, 28].

Empirické testy

Jedná se o nejpoužívanější typy zkoušek v potravinářském průmyslu. Jsou rychlé, jednoduché a vhodné pro rutinní kontrolu. Stanovují mechanické veličiny (síla, rozměr, rychlost, deformace) za definovaných podmínek. Obvykle měří jen jednu veličinu a na její hodnotě se podílí kombinace fyzikálních vlastností. Metody dobře korelují se senzorickou analýzou, ale získá se neúplná charakterizace textury. Příkladem empirických testů jsou ohýbání, lámání, protlačování [27-29].

Imitativní testy

Jedná se o metody, které měří mechanické veličiny za podmínek imitujících namáhání vzorku při konzumaci a manipulaci. Měřené veličiny nemají fyzikální ekvivalent, ale výsledky dobře korelují se senzorickou analýzou a charakterizují texturu. Příkladem imitativních testů je texturní profilová analýza (TPA), která napodobuje činnost zubů při žvýkání a rozměňování potravy. Dále do této skupiny metod patří Farinograf, Mixograf, Extensograf, Alveograf a Amylograf, které jsou využívány při hodnocení těsta (funkčních vlastností mouky). Napodobují manipulaci s těstem v průběhu výroby [27-29].

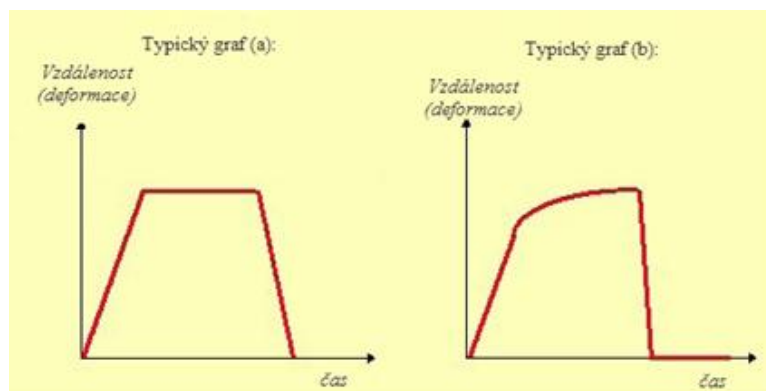
Žádná z výše uvedených kategorií metod nemusí být dostatečně vhodná pro měření textury. Ideální testovací zařízení měření textury by mělo zahrnovat některé aspekty empirických, fundamentálních a imitativních metod. Výběr vhodného postupu závisí na povaze výrobku, na přesnosti (velikost a počet vzorků, síly, rychlosti, rozměry sondy), na účelu testu (destruktivní nebo nedestruktivní metody, způsob deformace), na korelaci se senzorickým hodnocením a na podmínkách při měření (teplota, počet opakování, příprava vzorku, rychlost deformace a sběru dat). Přesnost měření ovlivňuje citlivost přístroje (potřebná síla),

přesně definované podmínky, čistota a neporušenost sondy, homogennost vzorku a teplota [27-29].

3.2.1 Kompresní testy

Creepový test

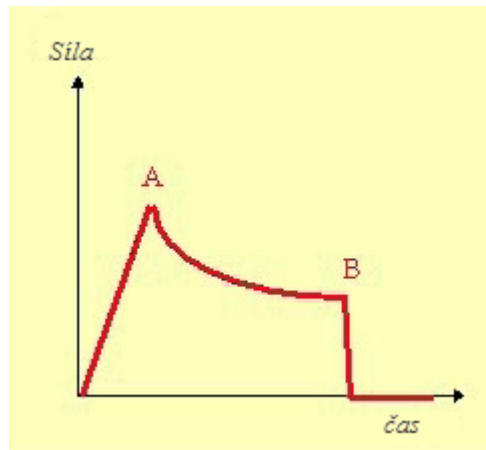
Tento typ testu zpravidla používá sondy a aplikuje určitou sílu (napětí vyvíjené na vzorek) a výsledná deformace nebo vzdálenost je zaznamenávána. U materiálů, které jsou dokonale pružné, při aplikaci síly (napětí) nastane okamžitá elastická deformace a v průběhu zvolené doby nenastane žádná další změna. Po odstranění síly, vzorek okamžitě obnovuje svou původní výšku. Nicméně, většina potravin není dokonale pružná, ale viskoelastická. Na rozdíl od dokonale pružných materiálů se po odstranění síly vzorek potravin nikdy nenavrátil do jeho původní výšky, ale následuje dopružování a další obnova v závislosti na čase nazývaná zotavení [27-29]. Průběh křivek pro dokonale pružné a viskoelastické materiály jsou znázorněny na Obr. 12. V Příloze III je znázorněn průběh testu.



Obr. 12. Průběh křivek pro dokonale pružné (vlevo) a viskoelastické (vpravo) materiály [28]

Relaxační test

Napětíová relaxace, je definována jako snížení napětí v materiálu v závislosti na čase, který je deformován. Jedná se o jednoduchou metodu, která je označována jako jednoosá tzn., že vzorek je deformován v jednom směru. Principem testu je zaznamenávání změny (pokles) síly po dosažení maximální deformace vzorku, kdy je sonda držena v konstantní výšce (vzdálenosti) po zvolenou dobu [28, 29]. Relaxační test je také označován jako stres-test.



Obr. 13 Průběh křivky u relaxačního testu [28]

Průběh testu je znázorněn v Příloze IV. Síla se zvyšuje strmě a téměř lineárně od 0 do bodu A, kdy vzorek je deformován. V bodě A je deformace zastavena a produkt je držen v konstantní výšce (tj. sonda dosáhla konstantní vzdálenosti specifikované deformace). Síla klesá zpočátku rychle a poté pomaleji. Toto snížení napětí pod konstantní zátěží je znám jako relaxace. V bodu B je zatížení uvolněno zvedáním sondy do výchozí polohy (Obr. 13). Pružná tuhá látka má stejný průběh deformace od bodu 0 k A jako viskoelastická látka, ale při deformaci zůstává síla v bodě A nezměněna a vygeneruje horizontální křivku, až do doby kdy je zatížení uvolněno [28].

Bod, v kterém klesne napětí na 36,8 % původní hodnoty, se nazývá čas relaxace. Deformace probíhá do meze pevnosti mezi dvěma paralelními deskami. Průměr sondy by měl být větší nebo stejný než průměr vzorku (v závislosti na rozsahu deformace). Jestliže vzorek má větší povrchovou plochu než průměr sondy, tak může docházet k penetraci nebo vtlačení sondy do zkušebnímu materiálu [28, 30]. Avšak některé studie uvádí, že ke kompresi jsou použity válcové nebo kulovité sondy s průměrem menším než vzorek, ale deformace musí být taková, aby nedošlo k lomu vzorku [31-36]. Další parametry relaxačního testu (deformace, doba umístění sondy v poloze maximální deformace) se u různých autorů liší. Míra deformace se v různých studiích pohybuje od menších deformací 5 – 25 % [32, 37, 38-40] až po vyšší deformace 30 – 75 % [31, 41-43]. Doba výdrže sondy v poloze maximální deformace je nejvíce variabilní, pohybuje se v rozsahu 30 – 100s [32 - 34, 36, 39, 41, 43-49], 120 – 300s [38, 42, 50-54] až po 420 – 900 s [35, 37, 39-40, 55-56, 58-60].

Texturní profilová analýza (TPA)

Texturní profilová analýza imituje pohyb čelisti při žvýkání potraviny. Jedná se o opakované stlačování mezi deskami, v případě polotuhých materiálů je pohyb modifikován vtlačováním sondy. Během měření je zachována konstantní rychlost pohybu křížové hlavy. Postup měření TPA je zobrazen v Příloze V. První fází průběhu měření je záběr desky směrem dolů, následuje návrat desky do původní pozice a následuje prodleva. Druhá fáze zahrnuje opětovné stlačení vzorku a návrat desky do původní pozice. Pro imitaci činnosti čelisti při žvýkání by měla být použita vysoká komprese (deformace nad 80 %). Byla dokonce navržena deformace 90 % a více [28, 29, 61].

Z výsledné křivky (Obr. 14) lze přímo odečíst 6 základních parametrů a dva druhotné parametry je nutno dopočítat [27].

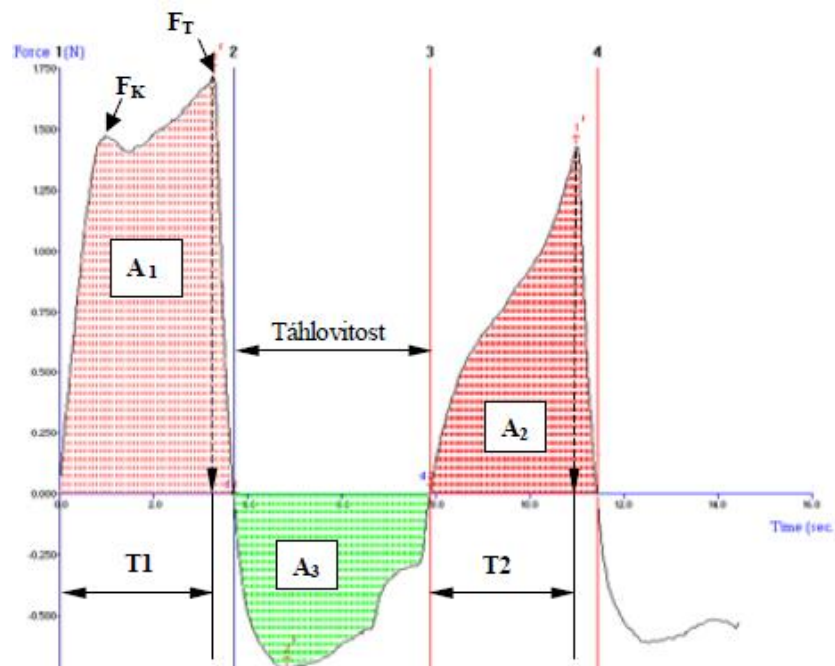
Základní parametry:

- 1) **Tvrдост** - je definována jako maximální hodnota píku síly během prvního kompresního cyklu (na Obr. 14 je označena jako F_T). Jednotkou je kg, g nebo N.
- 2) **Pružnost** – dříve nazývána jako elasticita, je bezrozměrný poměr deformace při druhém stlačení a původní výšky vzorku. Z výsledné křivky (Obr. 14) lze pružnost odvodit jako T_2/T_1 .
- 3) **Soudržnost** – vyjadřuje sílu vnitřních vazeb tvořící texturu produktu. Lze ji vypočítat jako bezrozměrný poměr ploch A_2/A_1 (Obr. 14).
- 4) **Přilnavost** – je práce potřebná k překonání přitažlivých sil mezi povrchem potravin a čidlem přístroje. Na Obr. 14 je označena jako plocha A_3 a jednotkou je Joule.
- 5) **Lámavost (křehkost)** – definuje sílu při prvním zlomu na křivce. Na Obr. 14 je značena jako F_K . Jednotkou je kg, g nebo N.
- 6) **Táhlovitost** – je rozdíl v poloze sondy při nulové síle mezi oběma cykly (Obr. 14).

Druhotné parametry:

- 1) **Žvýkatelnost** – je definována jako bezrozměrný součin tvrdosti, soudržnosti a pružnosti.

2) **Gumovitost** – vyjádřena jako bezrozměrný součin tvrdosti a soudržnosti [27, 28].



Obr. 14. Průběh křivky u texturní profilové analýzy [27]

Tuhá látka přechází do polotuhé formy během žvýkání a lze tedy odvodit dva parametry jak žvýkatelnost tak gumovitost. Tento přechod nelze uskutečnit během instrumentálního hodnocení TPA. Z toho důvodu stejný vzorek nemůže vykazovat oba parametry současně. Žvýkatelnost je vhodnější termín pro tuhé a gumovitost pro polotuhé látky [28, 61].

3.2.2 Penetrometrické metody

Představují nejstarší a nejdéle používanou skupinu přístrojů na hodnocení textury. Jak už z názvu vyplývá, jedná se o metodu založenou na pronikání penetrační sondy. Tvary sond mohou být různé. Jehlou se měří tvrdost, kužel je používán pro měření meze toku u viskoelastických látek (např. roztíratelnost pomazánek), koule imituje vtláčování palce a válec je používán jako náhrada stlačování mezi deskami. Kulovité sondy je možné také využít pro kompresi. Používají se v podstatě dva způsoby:

- Penetrace řízená silou (penetration test) – síla je často určená hmotností sondy, měří se hloubka průniku sondy např. po 5s. Hodnotí se tvrdost, tuhost a u viskoelastických látek mez toku.

- Vtlačování, penetrace řízená rychlostí (puncture tests) – kdy sonda proniká definovanou rychlostí do zvolené hloubky. Měří se síla v závislosti na čase (hloubce) [27-28].

3.2.3 Krájení

Množství empirických předmětů představuje jednotlivá ostří nebo řadu ostří, které krájí/smýkají vzorek potravin za předepsaných podmínek. Maximální síla potřebná nebo práce nezbytná k dosažení destrukce vzorku (tj. oblast pod křivkou) je ukazatelem pevnosti, tuhosti nebo vláknitosti vzorku. Výsledky nemohou být vyjádřené v rámci modulu pružnosti, mohou pouze poskytovat empirické porovnání odporu vzorku k deformaci za předepsaných podmínek. Tyto metody jsou obvykle aplikovány na potraviny s výraznou vláknitou strukturou (např. chřest, maso a masné výrobky).

Obvyklé nástroje používané u této metody zahrnují:

- Warner – Bratzler ostří (Obr. 15)
- Volodkevichovo zařízení (Obr. 15) – nástroj určený k simulaci žvýkání. Zkouška spočívá ve stlačování mezi dvěma tupými klíny, přičemž se zaznamenává rychlost průniku klínem za současného měření tlaku. Tato činnost dobře koreluje s tuhostí, která se hodnotí například u vařeného masa, vařené a syrové zeleniny.
- Kramerovu celu (Obr. 16) – hodnocení drobných potravin (např. cereálie, ovocné kompoty, maso). Kombinuje stlačení, smyk a extruzi.
- Struny (Obr. 16) – používá se pro měření vláknitosti v chřestu a rebarboře, pevnosti u másla, konzistence sýru a pevnosti Cottage sýru [27-29].



Obr. 15. Warner-Bratzler ostří (vlevo) a Volodkevichovo zařízení (vpravo)[28]



Obr. 16. Struna (vlevo) a Kramerova cela (vpravo)[28]

3.2.4 Kompresní-extruzní test

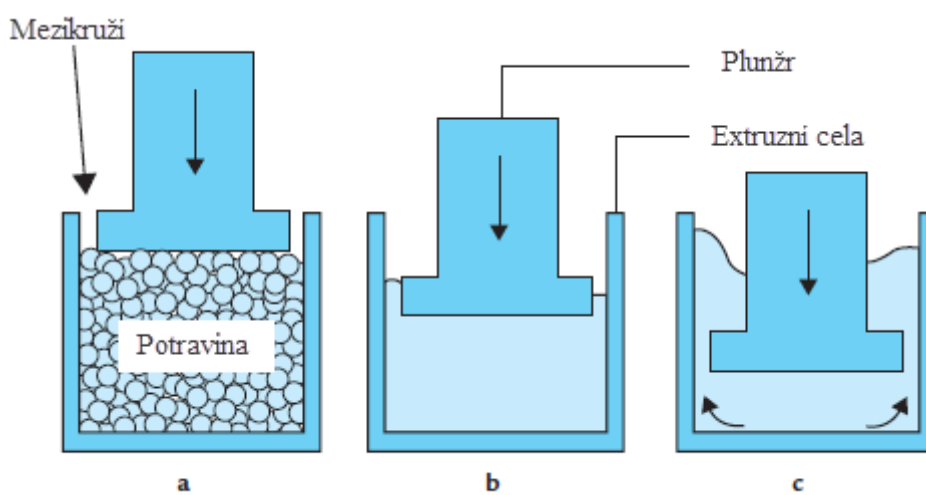
Kompresní test extruze spočívá v působení síly na potravinu, dokud neprotéká skrz otvor, který může být ve formě štěrbiny nebo dírek, které jsou ve zkušební cele. Komprese probíhá, dokud struktura potraviny není rozrušena a protlačena skrze otvory. Obvykle je měřena maximální síla požadovaná k výkonu extruze a je používána jako index texturní kvality potraviny. Měřená síla je mírou viskozity.

Existují dva typy extruze:

- Vytlačování (forward extrusion) – vzorek je kompresován plunžrem, dokud nevyteče nahoru otevřeným prostorem mezi plunžrem a stěnou cely/mezikruží (Obr. 17).

- Protlačování (back extrusion) – vzorek je stlačován, jako v předchozím případě, plunžrem v uzavřené nádobě. Rozmělněná potravina je kompresována směrem ke dnu nádoby a štěrbinou (dírkami) odchází z měřicí cely.

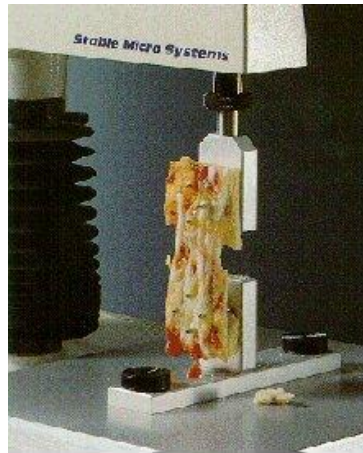
Testy se používají pro hodnocení pevnosti a roztíratelnosti margarínů a ostatních tuků. Dále mohou být využívány k hodnocení ovoce, zeleniny a gelů. Také mohou být využívány pro hodnocení některých viskózních kapalných výrobků [27-29].



Obr. 17. Schématické znázornění vytlačování (forward extrusion)[29]

3.2.5 Natahování

Pevnost v tahu materiálu je definována jako maximální dosažitelné zatížení, působící na vzorek ve zkoušce tahem, dělené původní průřezovou plochou vzorku. Maximální síla je pevností v tahu materiálu. Mnoho potravin namáhaných v tahu se nepřetrhnou náhle. Lom začíná malou trhlinou, která se pomalu rozšiřuje napříč vzorkem za poměrně dlouhou dobu. Trhlinka může a nemusí být kolmá k rovině aplikovaného napětí. Několik trhlin se může objevit a rozšířit současně. Díky tomuto typu lomu je obtížné získat smysluplný výklad pro měření síly v tahu. Zkouška tahem je preferovaná metoda pro měření přilnavosti nebo lepkavosti potravin k povrchu. Tento parametr, ale lze získat i z texturní profilové analýzy, kde se měří síla potřebná k odtažení kompresního povrchu od zkušební vzorku po první kompresi. Dalším příkladem může být hodnocení pružnosti špaget, pevnost v tahu u vařeného masa nebo u pizzy (Obr. 18) [28, 29].



*Obr. 18 Zkouška pevnosti
v tahu u pizzy [28]*

3.2.6 Ohýbání, lámání

Lámavost je parametrem, který byl dříve označován jako křehkost. Je to síla, se kterou se vzorek drolí nebo tříští. Potraviny vykazující lámavost jsou produkty, které vlastní vysokou míru tvrdosti a nízkou míru přilnavosti [28, 29].



*Obr. 19. Tříbodová
zkouška ohybem [28]*

Ohýbání je kombinace komprese, napětí a stříhu. Tříbodová zkouška ohybem (Obr. 19) je považována za hodnocení textury ohýbáním klínku sýru až do bodu zlomu. Hodnotí se lámavost (síla potřebná k ukousnutí sýru). U sušenek a sucharů se touto metodou taktéž hodnotí lámavost (křehkost) [28, 61-62].

3.3 Textura sýrů holandského typu

Jako většina pevných biologických materiálů i sýry vykazují viskoelastické vlastnosti. To znamená, že při mechanickém namáhání se chovají jako pevné látky i jako kapaliny. Během a po deformaci sýrů část dodané mechanické energie je uložena v sýru (elastická složka) a částečně rozptýlena (viskózní část) [63].

Textura polotvrdých sýrů (holandského typu) je v první řadě určena pH a poměrem nerozštěpeného kaseinu k obsahu vlhkosti, dále obsahem NaCl, tuku a dobou zrání sýrů. Základní hmota je složená z bílkovin, tuku a minerálních látek, obsahuje 39 – 45 % vody. Tukové kuličky jsou zachyceny v kaseinové síti, část vody je vázána na kasein a další část vyplňuje mezery v síti [61]. Toto uspořádání je důsledkem toho, že voda působí jako změkčovač dlo nízkou viskozitou mezi tukem a kaseinem. Čím více je zde vody, tím je nižší odolnost sýru vůči deformaci a větší míra zpětného navrácení do původního stavu [64].

Rychlost okyselení během výroby a množství promývací vody má nepřímý vliv na texturu určující pufrční kapacitou sýru. Mezi složky podílející se na pufrční kapacitě sýru patří kationty (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), anionty (fosforečnan, laktát, citronan), proteiny s postranními řetězci AMK (Glu, His, Ser, Asp), iontové komplexy kovu (fosforečnan, citronan a laktát v komplexu s kovy Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) a koloidní fosforečnan vápenatý. Mírný stupeň okyselení (lisovaný sýr má mít pH 5,7 po 4 hodinách po sýření) a mírné množství promývací vody by mělo být použito při výrobě, aby byla udržena požadovaná úroveň pufrčních látek sýřenině [65]. Během metabolismu laktózy LAB se zvyšuje pH sýrů v důsledku tvorby kyseliny mléčné. Pufrční kapacita sýru i přes narůstající koncentraci kyseliny mléčné udržuje pH sýru v mezích, aby došlo k fermentaci veškeré přítomné laktózy. Obsah laktózy v sýřenině je regulován přidávkem promývací vody. Sýry s nízkým pH při solení v solné lázni absorbují více soli a jejich textura je poté tuhá a křehká [8, 12].

Při zrání se výrazně mění konzistence sýrů. Kysáním klesá obsah vápníku v parakaseinovém komplexu v důsledku jejich vytěsnění ionty laktátu a nahrazení ionty Na^+ . Vysolený sýr bobtná ve vodě a roztoku NaCl. Postupně se zvláčňuje textura sýru. V přebytku kyseliny mléčné tato reakce nenastává a textura sýru je tuhá [8, 12]

Textura sýru se dále značně mění v první fázi (7 – 14 dní) zrání. Působením zbytkové syřidla v sýřenině dochází nejprve k štěpení α_{S1} -kaseinu na α_{S1} -I a má za následek oslabení kaseinové sítě. Gumovitá textura mladého sýru se rychleji stává hladší a homogenní [66].

Množství nerozloženého kaseinu má vztah k tvrdosti sýru, protože většina rozkladných produktů kaseinu jsou rozpustná ve vodě a nemohou se tedy zapojit do proteinové sítě. Druhá fáze zahrnuje postupné změny, které jsou určeny rychlostí proteolýzy a zvýšením pH [61]

Tuhost holandských sýrů je spojená s pevností a „dlouhou“ (elastickou) texturou. Příliš nízký obsah vody, zvláště v kombinaci s vysokým pH finálního produktu, může vést k příliš tuhé struktuře. Tuhost může být redukována prodlouženým zráním, proteolýzou, která vytvoří více hladkou texturu. Nižší obsah vody a nízká zraací teplota zpomaluje proteolýzu. Texturní vlastnosti sýru vlivem stáří mají za následek drolivou, méně soudržnou a více křehkou (lámavou) texturu. Křehkost a pevnost je pravděpodobně spojena se ztrátou obsahu vody během zrání [4, 67].

Jak už bylo zmíněno, obsah tuku také ovlivňuje texturu. Nízkotučné sýry jsou pružnější než sýry s vysokým obsahem tuku. Sýry se sníženým obsahem tuku se vyznačují sníženou přilnavostí, soudržností a rozpadavostí. Ve shrnutí lze říct, že souběžně se snížením obsahu tuku se snižuje soudržnost, přilnavost, hladkost těsta a zároveň se zvyšuje pružnost, pevnost. Sýr s vysokým obsahem tuku se vyznačuje vyšší soudržností, přilnavostí, hladkostí těsta, je měkký a méně křehký (lámavý) [67].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Úkolem diplomové práce bylo založit zrací pokus s modelovým vzorkem. Jako modelový vzorek byl použit sýr eidamského typu v různé zralosti (1 – 84 dnů) u něhož se mění v průběhu zrání texturní vlastnosti. Na odebírané vzorky aplikovat kompresní test (TPA) a stres-test s využitím dvou sond (deskové a kulovité) s cílem:

- Studovat vliv použití deskové sondy o průměru 100 mm a kulovité sondy o průměru 5 mm u kompresních testů na hodnocení texturních vlastností modelového vzorku sýru.
- Aplikovat deset různých dob výdrže sondy v poloze maximální deformace vzorku (30 – 300 s) a studovat jejich vliv na hodnoty parametru a a b vypočtených na základě Pelegova modelu pro každou sondu.
- Popsat korelaci mezi tvrdostí (F_{\max}) a parametrů a a b pro každou sondu.
- Monitorovat vývoj pH a obsahu sušiny % (w/w) v průběhu zrání modelového vzorku.

5 MATERIÁL A METODY

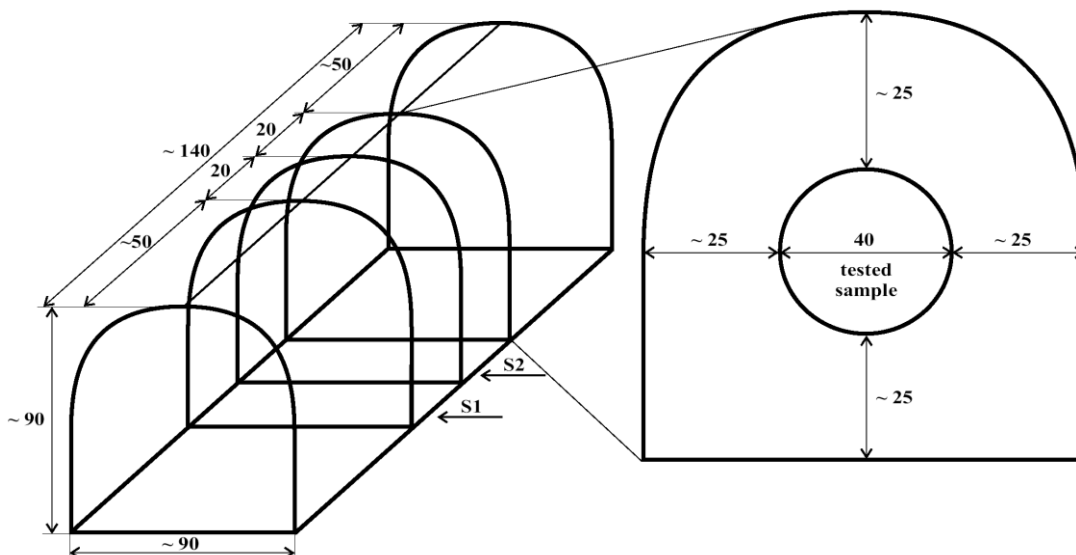
5.1 Schéma pokusu

Byla vyrobena šarže eidamských cihel (obsah tuku v sušině 30 % w/w), ze které bylo odebráno cca 24 kusů. Průměrná hmotnost jednotlivých cihel byla $1,5 \pm 0,09$ kg, přibližná šířka 90 mm, 90 mm vysoká a 140 mm dlouhá. Po ukončení výroby byly tyto cihly vyňaty ze solné lázně, zabaleny do kryovakové fólie a uloženy ve zracím sklepě při teplotě 10 ± 2 °C. Cihly byly k analýzám odebírány postupně. Ve dnech 1, 3, 7, 14, 28, 56 a 84 bylo prováděno hodnocení vybraných texturních parametrů, měření pH a obsah sušiny.

Stanovení obsahu sušiny bylo provedeno gravimetrickou metodou dle normy ČSN EN ISO 5534. Měření pH bylo u vzorků sýrů provedeno v průběhu zrání pomocí vpichového pH metru (pH Sper, Eutech Instruments, Oakton, Malajsie) při teplotě 20 ± 2 °C jako u hodnocení textury.

Pro texturní analýzu byly odebrány vždy 3 eidamské cihly a dané místo bylo analyzováno pouze jednou, protože další komprese by poskytla jiný výsledek, který by předchozí deformace ovlivnila. Každá eidamská cihla byla rozpůlena na dvě části. Z každé půlky byly odkrojeny dva pláty (výška 90 mm, šířka 90 mm a tloušťka 20 mm) ze střední části cihly. Celkem bylo odkrojeno 12 plátů o dané velikosti, které byly následovně zabaleny v kryovakové fólii (jako prevence ztráty vlhkosti) a temperovány při teplotě 20 ± 2 °C po dobu 3 hodin v temperační komoře. Pro texturní analýzu byly použity vytemperované pláty, z kterých byly vykrojeny válcové vzorky o průměru 40 mm ze středu plátu. Vykrojení probíhalo těsně před vlastním měřením. Příprava vzorků je schematicky znázorněna na Obr. 20.

Texturní analýzy byly provedeny na analyzátoru textury TA.XT Plus (Stable Micro Systems, UK) vybavený 30 kg měřicí celou. Pro detailnější texturní analýzu každého testovaného válcového vzorku byla provedena texturní profilová analýza (TPA) a tzv. relaxační testy. S použitím kulovité sondy o průměru 5 (P5S) a desky o průměru 100 mm pro každý test.



Obr. 20. Schematické znázornění přípravy vzorků pro texturní analýzu.

5.2 Metody hodnocení textury

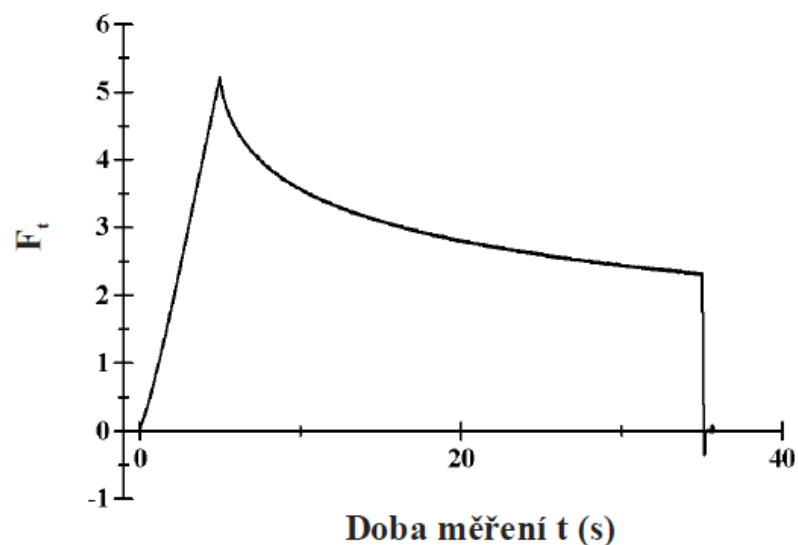
Při relaxačním testu byly vzorky kompresovány do 25 % počáteční výšky vzorku, rychlostí $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ (aktivační síla 5g) Obě sondy byly drženy v maximální silové pozici po dobu 300s a pokles v síle byla zaznamenán v časech 30s, 60s, 90s, 120s, 150s, 180s, 210s a 300s. Pro každou analýzu s použitím obou sond byly použity 4 válcové vzorky. Jak už bylo zmíněno výše, ke kompresi byla použita kulovitá sonda o průměru 5 (P5S) a deska o průměru 100 mm. Ze zátěžové křivky byla odečtena maximální síla F_{\max} (N), která je ukazatelem tvrdosti (pevnosti). Zátěžová křivka je grafickým znázorněním závislosti síly F_t (N) na čase t (s) viz Obr. 21. Data z relaxačního testu byla podrobena další analýze, ke které byla použita pouze část zátěžové křivky počínaje maximální silou (F_{\max}) a konče okamžikem zahájení vytahování sondy ze vzorku (cca 300s analýzy). Část této křivky byla podrobena matematické analýze s využitím Pelegova modelu. Analýza spočívala v normalizaci hodnot F_t (naměřená síla F v čase t) podle vztahu:

$$Y(t) = \frac{F_{\max} - F_t}{F_{\max}}$$

Následně normalizované hodnoty byly linearizovány podle vztahu:

$$\frac{t}{Y(t)} = \frac{1}{ab} + \frac{t}{a}$$

Hodnoty parametrů a a b byly odhadovány metodou nelineární regrese. Parametr a reprezentuje asymptotické zbytkové hodnoty $Y(\infty)$. Jestliže $a = 0$, napětí nerelaxuje vůbec (ideálně elastické pevné látky) a pokud je $a = 1$, úroveň napětí může dosáhnout nuly (kapaliny). Konstanta b představuje počáteční rychlost, v které napětí relaxuje. Jestliže $b = 0$ napětí se vůbec neuvolní (ideální elastické pevné látky) [56]. Parametry a a b byly podrobeny statistické analýze pomocí Mann-Whitneyovým U testem. Vztahy mezi tvrdostí (F_{\max}) a parametrů a a b pro každou sondu byly hodnoceny pomocí Pearsonova korelačního koeficientu (r). Pro výpočet výše uvedených parametrů byl použit statistický software Unistat 5.5 (Unistat Ltd., London, UK)



Obr. 21. Typická zátěžová křivka závislosti síly F_t na čase t získaná z relaxačního testu [68]

Při texturní profilové analýze byly vzorky kompresovány rovněž do 25 % počáteční výšky, ale rychlost komprese i návratu sondy byla 2 mm/s (aktivační síla 5g). Pomocí softwaru Texture Exponent Lite (Stable Micro System, Ltd., UK) byly zjištěny hodnoty tvrdosti (pevnosti).

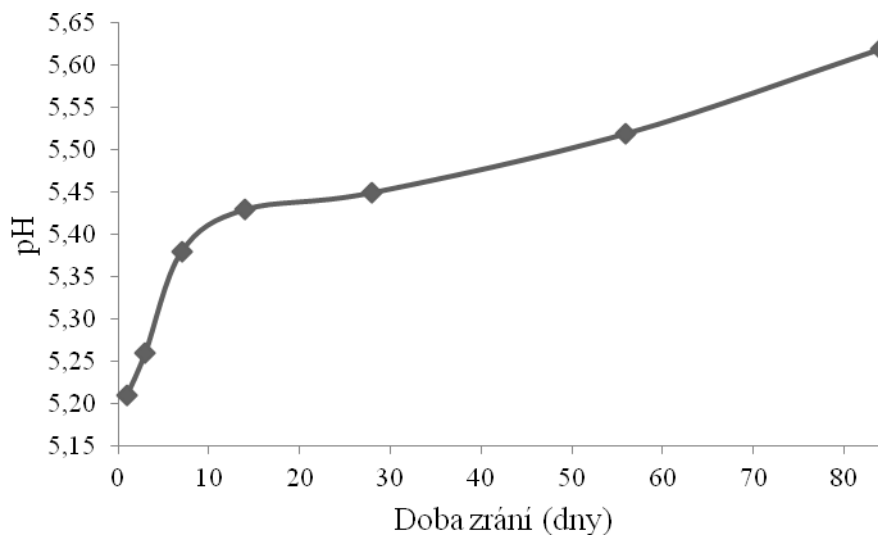
6 VÝSLEDKY A DISKUZE

Cílem chemické analýz bylo sledovat změnu pH a sušiny % (w/w) v průběhu zrání. Vzorčky eidamské cihly k analýze byly odebírány ve dnech 1, 3, 7, 14, 28, 56 a 84.

Cílem texturních analýz bylo studovat texturní změny ve středu eidamské cihly (viz Obr. 20) v průběhu zrání při teplotě 20 ± 2 °C. Texturní vlastnosti byly studovány pomocí kompresních testů (texturní profilové analýzy a relaxačního testu), ze kterých byla odečtena F_{\max} (N), kterou lze považovat za ukazatel tvrdosti. Byl studován vliv použití deskové sondy o průměru 100 mm a kulovité o průměru 5 mm pro kompresní testy. Dále bylo aplikováno deset různých dob výdrže sondy v poloze maximální deformace vzorku (30 – 300 s) u relaxačního testu (tzv. stres-testu) na hodnoty parametru a a b vypočtených na základě Pelegova modelu. Analýzy byly provedeny ve dnech 1, 3, 7, 14, 28, 56 a 84.

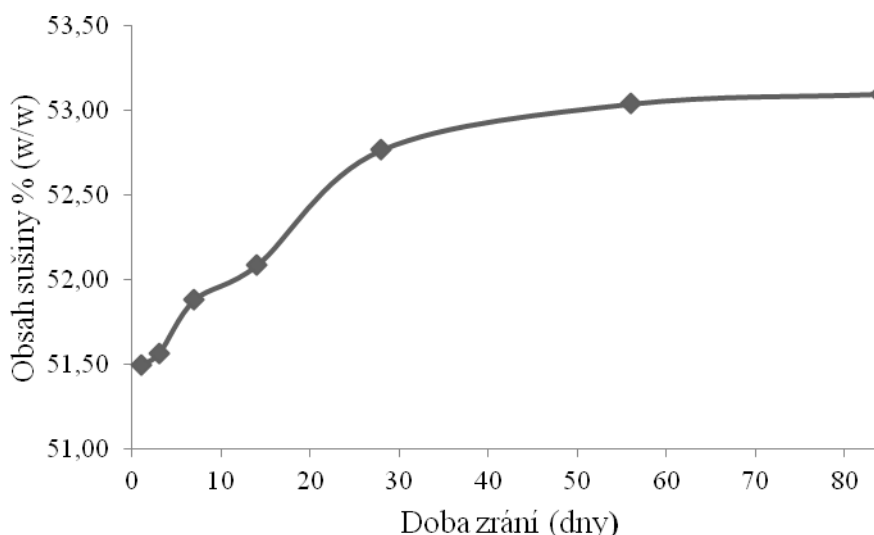
6.1 Výsledky chemické analýzy

Průběh změny pH v průběhu zrání eidamské cihly je zaznamenán na Obr. 22.



Obr. 22. Grafické znázornění změny pH v průběhu zrání sýru eidamského typu

Při měření pH byla sonda vložena do šesti míst ve středu eidamské cihly. V první den analýzy bylo pH $5,21 \pm 0,01$, které se následně během jednoho týden výrazně zvýšilo. V 7. den pH bylo $5,38 \pm 0,06$. V průběhu 7. a 28. dne pH mírně narůstalo do hodnoty pH $5,45 \pm 0,04$. Výrazný nárůst hodnot pH byl opět zaznamenán od 28. dne analýzy až do konce ukončení experimentu, kdy pH bylo v rozmezí 5,52 – 5,62.



Obr. 23. Grafické znázornění změny obsahu sušiny % (w/w) v průběhu zrání sýru eidamského typu

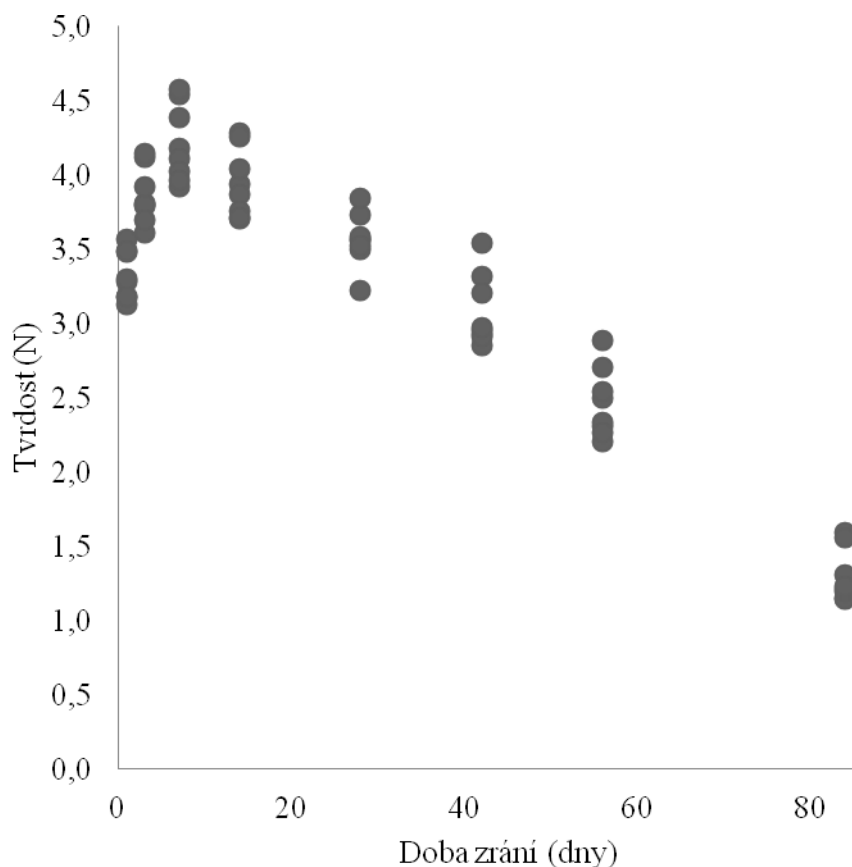
Na Obr. 23 je zaznamenán průběh změny obsahu sušiny během zrání sýrů. V první den byl obsah sušiny 5,50 % (w/w). Obsah sušiny se mírně zvyšoval až do 14. dne zrání až na hodnotu 52,09 % (w/w). Stav se od 28. dne do konce experimentu se prakticky již neměnil.

6.2 Výsledky texturní analýzy

6.2.1 Výsledky hodnocení tvrdosti

Pro hodnocení vybraných texturních vlastností byl použit analyzátor textury TA.XT Plus (Stable Micro Systems, UK). Z grafického znázornění závislosti síly F_t na čase t kompresního testu (TPA) byla odečtena F_{max} (N), tj. maximální hodnota píku síly během prvního kompresního cyklu (viz. Obr. 14 - je značena jako F_t). Tato hodnota je považována za ukazatel tvrdosti. K analýze byla použita desková sonda o průměru 100 mm a kulovitá o průměru 5 mm.

Na Obr. 24 je grafické znázornění změny tvrdosti v průběhu zrání sýrů eidamského typu s použitím kulovité sondy o průměru 5 mm. V první den byla zaznamenána průměrná tvrdost vzorků $3,32 \pm 0,16$ N, která se zvyšovala až do 7. dne zrání. Sýr v tu dobu vykazoval nejvyšší tvrdost, tj. $4,21 \pm 0,24$ N. Od 7. dne zrání docházelo k výraznému postupnému snižování tvrdosti. V 14. dnu sýr vykazoval tvrdost $3,94 \pm 0,22$ N, v 28. dnu $3,57 \pm 0,17$ N, v 56. dnu $2,47 \pm 0,22$ N a v poslední den měření (84. den) došlo ke snížení tvrdosti až na hodnotu $1,30 \pm 0,17$ N.

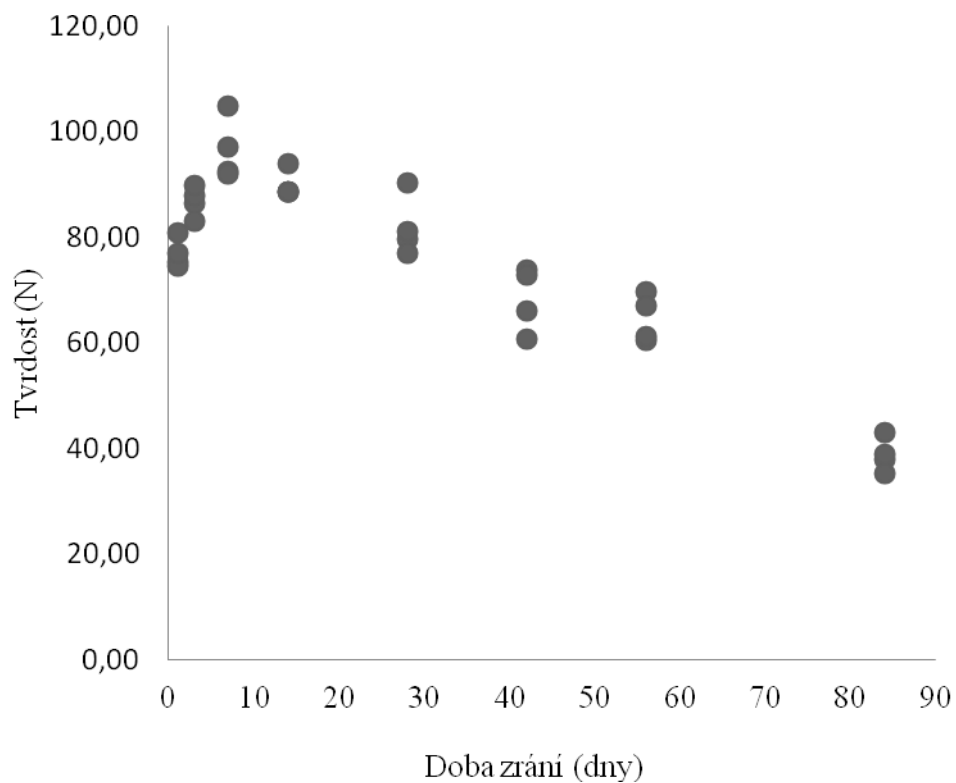


Obr. 24. Grafické znázornění změny tvrdosti během zrání sýru eidamského typu metodou TPA s použitím kulovité sondy o průměru 5 mm

U kompresního testu, s využitím deskové sondy o průměru 100 mm, byla zaznamenána průměrná tvrdost sýru v 1. dnu zrání $76,84 \pm 2,40$ N, která se významně zvyšovala až do 7. dne zrání. V 7. den zrání byla tvrdost sýru $6,62 \pm 5,11$ N. Poté tvrdost klesala až do konce experimentu. V 14. a 28. dnu zrání měla průměrná tvrdost klesající trend $9,94 \pm 2,31$ až $82,05 \pm 5,06$. Výraznější pokles tvrdosti byl zaznamenán v 56. dnu ($64,55 \pm 3,91$ N). Tvr-

dost klesla v 84. dnu zrání až na hodnotu $38,78 \pm 2,84$ N. Průběh změny tvrdosti je graficky znázorněn na Obr. 25.

Desková sonda o průměru 100 mm i kulovitá sonda o průměru 5 mm zaznamenala obdobný průběh změny tvrdosti v průběhu zrání sýrů (viz. Obr. 24 a 25). Úroveň tvrdosti na konci zrání byla nižší než začátku v obou způsobech měření. Vztah tvrdosti, hodnocené sondou, lze vyjádřit pomocí vysokého korelačního koeficientu 0,9967. Získaný korelační koeficient vypovídá o tom, že použité odlišné sondy velmi obdobně popisují změnu vybraných texturních vlastností.



Obr. 25. Grafické znázornění změny tvrdosti během zrání sýru eidamského typu metodou TPA s použitím deskové sondy o průměru 100 mm

6.2.2 Výsledky hodnocení parametru a

Ze zátěžové křivky relaxačního testu (tzv. stres-testu) byla odečtena maximální síla F_{\max} (N), která je ukazatelem tvrdosti (pevnosti). Data ze stres-testu byla podrobena další analýze, ke které byla použita pouze část zátěžové křivky počínaje maximální silou (F_{\max}) a konče okamžikem zahájení vytahování sondy ze vzorku (cca 300s analýzy). Část této křivky

byla podrobena matematické analýze s využitím Pelegova modelu. Získané hodnoty parametru a v deseti různých dobách výdrže sondy v poloze maximální deformace vzorku (30 – 300 s) jsou zaznamenány v Tab. 1. I pro stres-test byly použity dvě rozdílné sondy (desková sonda o průměru 100 mm a kulovitá o průměru 5 mm).

Tab. 1. Hodnoty parametru „ a “ vypočtené podle Pelegova modelu ze zátěžové křivky relaxačního testu ze středu sýru eidamské cihly. *

Doba zrání	Čas	Sonda 5 mm		Sonda 100 mm	
1	30	0,665	±0,019 ^a A _a	0,648	±0,017 ^a A _b
	60	0,731	±0,017 ^b A _a	0,724	±0,016 ^b A _a
	90	0,768	±0,024 ^c A _a	0,767	±0,016 ^c A _a
	120	0,792	±0,029 ^d A _a	0,796	±0,020 ^d A _a
	150	0,810	±0,020 ^e A _a	0,818	±0,021 ^e A _a
	180	0,825	±0,032 ^f A _b	0,835	±0,016 ^f A _b
	210	0,834	±0,016 ^g A _b	0,843	±0,023 ^g A _b
	240	0,844	±0,024 ^{g,h} A _a	0,854	±0,024 ^{g,h} A _b
	270	0,855	±0,030 ^{h,i} A _a	0,861	±0,026 ^{h,i} A _a
	300	0,863	±0,021 ⁱ A _a	0,869	±0,024 ⁱ A _a
3	30	0,657	±0,021 ^a B _a	0,629	±0,015 ^a B _b
	60	0,724	±0,021 ^b B _{,C_a}	0,704	±0,027 ^b B _b
	90	0,762	±0,023 ^c A _{,B_a}	0,748	±0,024 ^c B _b
	120	0,787	±0,023 ^d A _{,B_a}	0,779	±0,022 ^d B _b
	150	0,807	±0,018 ^e A _a	0,803	±0,026 ^e B _a
	180	0,823	±0,022 ^f A _b	0,823	±0,018 ^f B _a
	210	0,833	±0,029 ^g A _b	0,831	±0,031 ^g B _a
	240	0,841	±0,026 ^{g,h} A _a	0,840	±0,017 ^{g,h} B _a
	270	0,853	±0,029 ^{h,i} A _a	0,849	±0,024 ^{h,i} B _a
	300	0,860	±0,024 ⁱ A _a	0,855	±0,040 ⁱ B _a

(Tab. 1 – pokračování)

Doba zrání	Čas	Sonda 5 mm		Sonda 100 mm	
7	30	0,658	±0,025 ^a B _a	0,621	±0,018 ^a B _b
	60	0,720	±0,025 ^b B _a	0,697	±0,018 ^b B _b
	90	0,754	±0,019 ^c B _a	0,735	±0,020 ^c C _b
	120	0,777	±0,018 ^d B _a	0,761	±0,026 ^d C _b
	150	0,795	±0,023 ^e B _a	0,784	±0,024 ^e C _b
	180	0,809	±0,030 ^f B _b	0,801	±0,022 ^f C _a
	210	0,821	±0,030 ^g B _b	0,824	±0,022 ^g B _a
	240	0,831	±0,027 ^{g,h} B _a	0,832	±0,032 ^{g,h} B,C _a
	270	0,840	±0,019 ^{h,i} B _a	0,842	±0,029 ^{h,i} B,C _a
	300	0,848	±0,024 ⁱ B _a	0,847	±0,027 ⁱ B,C _a
14	30	0,659	±0,020 ^a B _a	0,637	±0,017 ^a C _b
	60	0,724	±0,020 ^b B,C _a	0,700	±0,017 ^b B _b
	90	0,756	±0,017 ^c B _a	0,737	±0,022 ^c C _b
	120	0,778	±0,027 ^d B _a	0,763	±0,027 ^d C _b
	150	0,795	±0,024 ^e B _a	0,788	±0,025 ^e C _b
	180	0,818	±0,022 ^f A,B _b	0,804	±0,023 ^f C _b
	210	0,820	±0,023 ^g B _b	0,823	±0,031 ^g B _a
	240	0,831	±0,026 ^{g,h} B _a	0,825	±0,032 ^{g,h} C _a
	270	0,847	±0,027 ^{h,i} A,B _a	0,835	±0,024 ^{h,i} C _a
	300	0,855	±0,029 ⁱ C _a	0,843	±0,030 ⁱ C _a
28	30	0,677	±0,024 ^a C _a	0,654	±0,017 ^a A _b
	60	0,730	±0,022 ^b C _a	0,714	±0,014 ^b C _b
	90	0,761	±0,033 ^{c,B} A _a	0,745	±0,020 ^c B _b
	120	0,782	±0,023 ^d C _a	0,770	±0,028 ^d B,C _b
	150	0,798	±0,026 ^e B _a	0,789	±0,023 ^e C _a
	180	0,811	±0,020 ^f B _b	0,803	±0,027 ^f C _a
	210	0,822	±0,017 ^g B _b	0,828	±0,024 ^g B _a
	240	0,838	±0,027 ^{g,h} A _a	0,830	±0,026 ^{g,h} C _a
	270	0,847	±0,029 ^{h,i} A,B _a	0,846	±0,026 ^h B _a
	300	0,856	±0,029 ⁱ C _a	0,845	±0,028 ⁱ C _a

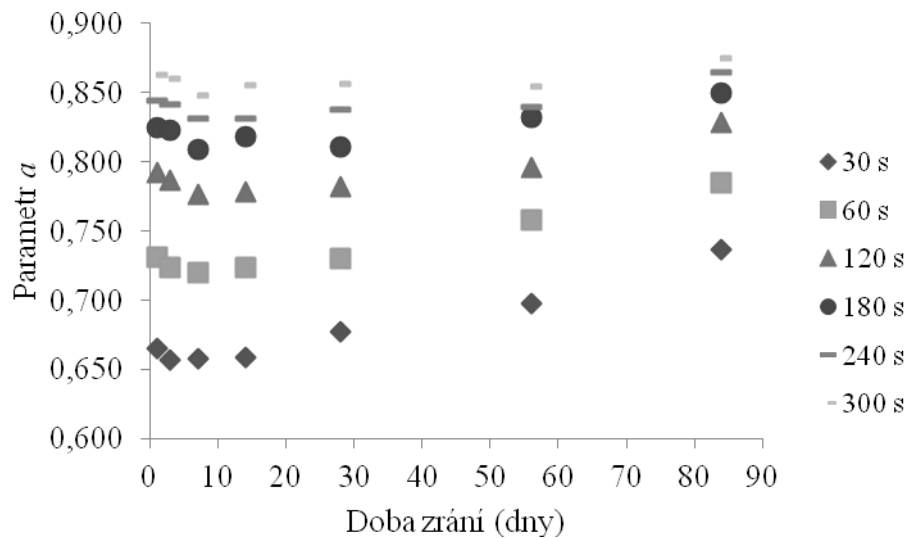
(Tab. 1 – pokračování)

Doba zrání	Čas	Sonda 5 mm		Sonda 100 mm	
56	30	0,698	±0,018 ^a D _a	0,661	±0,015 ^a D _b
	60	0,758	±0,024 ^b D _a	0,718	±0,017 ^b A _{,C_b}
	90	0,786	±0,018 ^c C _a	0,751	±0,019 ^c B _b
	120	0,796	±0,026 ^d D _a	0,774	±0,018 ^d B _b
	150	0,818	±0,025 ^e A _a	0,793	±0,021 ^e B _{,C_b}
	180	0,832	±0,027 ^f C _b	0,808	±0,029 ^f C _b
	210	0,838	±0,019 ^g A _b	0,829	±0,021 ^g B _b
	240	0,840	±0,028 ^{g,h} A _a	0,831	±0,019 ^{g,h} C _a
	270	0,848	±0,021 ^{h,i} A _{,B_a}	0,840	±0,027 ^{h,i} B _{,C_a}
	300	0,854	±0,024 ⁱ C _a	0,849	±0,021 ⁱ B _{,C_a}
84	30	0,737	±0,021 ^a E _a	0,698	±0,022 ^a E _b
	60	0,785	±0,027 ^b E _a	0,750	±0,026 ^b D _b
	90	0,811	±0,016 ^c D _a	0,778	±0,020 ^c C _b
	120	0,828	±0,018 ^d E _a	0,797	±0,028 ^d A _b
	150	0,840	±0,024 ^e C _a	0,811	±0,023 ^e A _b
	180	0,850	±0,029 ^f D _b	0,823	±0,022 ^f B _b
	210	0,858	±0,029 ^g C _b	0,832	±0,025 ^g B _b
	240	0,865	±0,031 ^{g,h} C _a	0,840	±0,022 ^{g,h} B _b
	270	0,870	±0,024 ^{h,i} C _a	0,847	±0,026 ^{h,i} B _b
	300	0,875	±0,030 ⁱ D _a	0,853	±0,024 ⁱ B _b

* Hodnoty parametru *a* byly podrobeny statistické analýze pomocí Mann-Whitneyovým U testem. Průměry ve sloupci (rozdíly mezi jednotlivými relaxačními dobami v daném dnu) s odlišnými písmeny v horním indexu se statisticky odlišují ($P < 0,05$). Hodnoty byly srovnávány u každé sondy zvlášť. Průměry v řádku (rozdíly mezi sondami pro danou relaxační dobu v daném dnu) s odlišnými písmeny v dolním indexu se statisticky odlišují ($P < 0,05$). Hodnoty byly srovnávány mezi kulovitou sondou o průměru 5 mm a deskovou o průměru 100 mm. Průměry v sloupci (rozdíly mezi jednotlivými relaxačními dobami v průběhu zrání) s odlišnými velkými písmeny se statisticky odlišují ($P < 0,05$). Hodnoty byly srovnávány u každé sondy zvlášť.

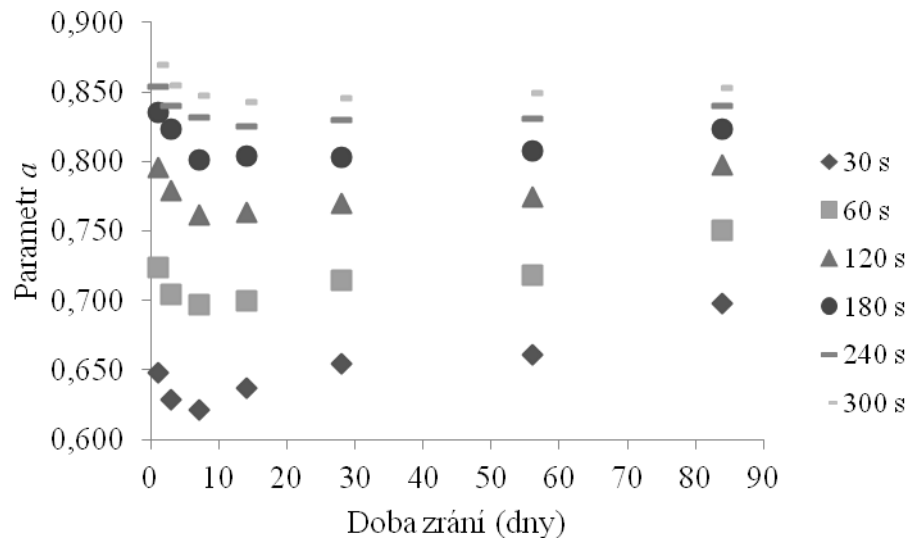
Z hodnocení parametru a (s využitím kulovité sondy o průměru 5mm) vyplývá, že v průběhu zrání (velké písmeno) docházelo během 1. a 3. dne k mírnému nárůstu elasticity eidamské cihly. Hodnoty parametru a v 7. a 14. dnu se výrazně neodlišovaly od předchozího měření. Výraznější pokles elasticity byl, zaznamenan mezi 28. až 84. dnem, což platí do doby 30 s relaxačního testu. V době 60 s relaxačního testu platí, že během 1. a 3. dne se elasticita mírně zvýšila. Poté se hodnoty parametru a neodlišovaly od předchozího měření. Od 56. dne bylo zaznamenáno výrazné snížení elasticity až do konce experimentu. V době 90 s a 120 s relaxačního testu docházelo k zvýšení elasticity do 7. dne, ale hodnoty se statisticky významně nelišily. To platí i pro hodnotu v 14. dnu zrání. Až od 28. dne zrání sýry vykazovali nižší elasticitu, která se nadále výrazně snižovala. Vývoj trendu parametru a v době od 150 s do 210 s relaxačního testu byl velmi podobný. Hodnoty do 3. dne se statisticky významně nelišily. Změna nastala v 7. den analýzy, kdy sýry vykazovali nejvyšší elasticitu, která statisticky stagnovala do 28. dne. Následně se velmi výrazně snižovala až do konce experimentu. V době od 240 s do 300 s relaxačního testu se parametry hodnoty a do 3. dne zrání statisticky významně neodlišovaly. Výraznější nárůst elasticity byl zaznamenán v 7. dnu zrání. Hodnoty parametru a od 7. do 56. dne se statisticky významně neodlišovaly. Sýry na konci experimentu vykazovaly nižší elasticitu než na začátku.

Vývoj trendu křivek hodnoty parametru a v průběhu zrání pro lepší viditelnost jsou graficky znázorněny na Obr. 26.



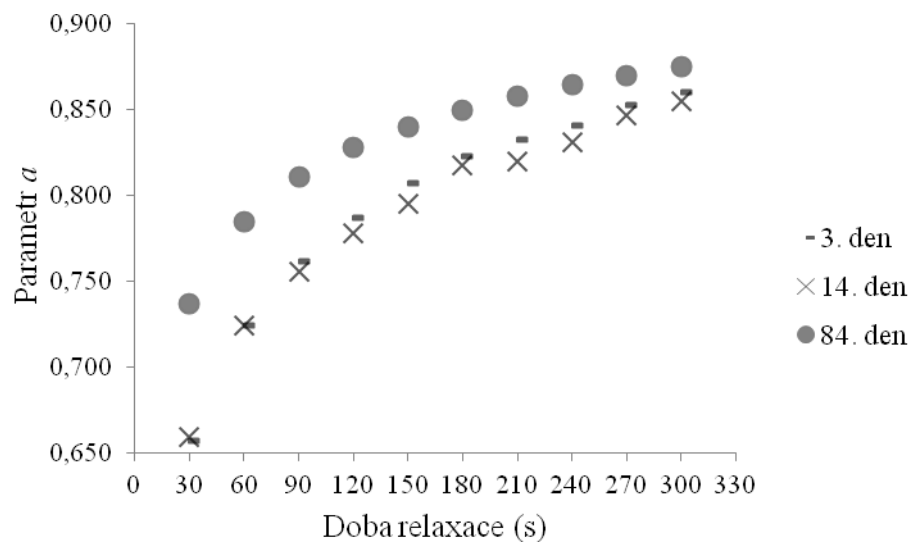
Obr. 26 Grafické znázornění vývoje trendu křivek hodnoty parametru „a“ v průběhu zrání s použitím kulovité sondy o průměru 5 mm; doba relaxačního testu – symbol ◆ 30 s ■ 60 s ▲ 120 s ● 180 s — 240 s - 300 s

V době 30 s relaxačního testu s použitím deskové sondy o průměru 100 mm byl zaznamenán výraznější nárůst elasticity sýrů během 1. a 3. dne, která se výrazně neměnila do 7. dne zrání. Výraznější pokles elasticity byl sondou zaznamenán od 14. dne zrání až do konce experimentu, kdy elasticita byla mnohem nižší než na začátku. V době 60 s relaxačního testu platí, že hodnoty na začátku zrání se výrazně odlišovaly mezi 1. a 3. dnem zrání, docházelo k zvýšení elasticity sýru. Do 14. dne zrání se hodnoty statisticky významně neodlišovaly. Od 28. dne zrání se elasticita sýrů pozvolna snižovala. Na konci zrání byla elasticita také výrazně nižší než na začátku experimentu. Měření v době 90 s relaxačního testu ukázalo, že od začátku zrání po 7. den se elasticita zvyšovala. Až do 28. dne hodnoty parametru a nebyly statisticky významně odlišné. Od tohoto dne docházelo ke snížení, ale na konci experimentu nebyla elasticita tak výrazně odlišná jako u předchozích případů. V době od 120 s do 150 s relaxačního testu platí, že v 7. dnu zrání byla zaznamenána nejnížší elasticita, která se nadále snižovala. Dle statistického hodnocení bylo zjištěno, že na konci experimentu byla elasticita stejná jako na začátku. V době od 180 s do 300 s relaxačního testu byl vývoj trendu elasticity mírný ve srovnání s předchozími případy. Parametr a na konci experimentu, dle statistického vyhodnocení, nabýval stejných hodnot jako v 3. dnu zrání. Obr. 27, pro lepší viditelnost, vystihuje grafické znázornění vývoje trendu křivek parametru a .

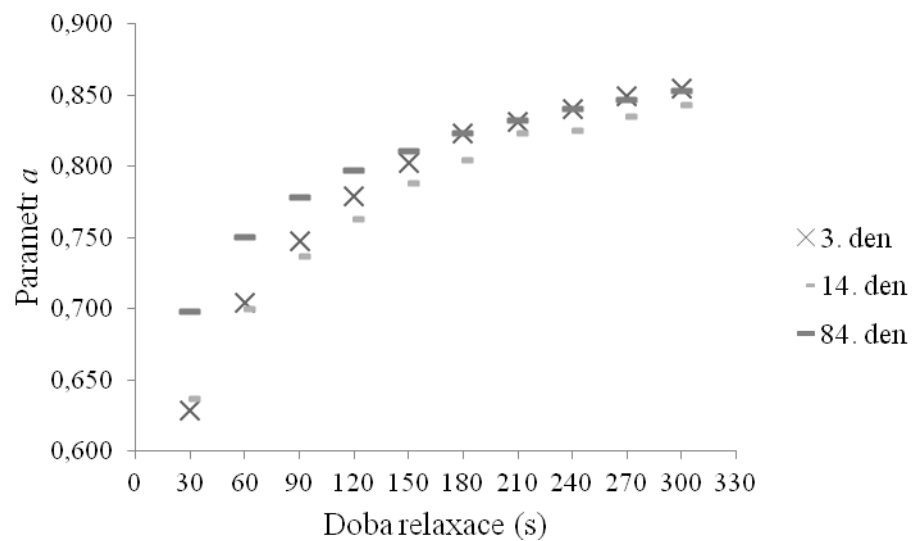


Obr. 27 Grafické znázornění vývoje trendu hodnoty parametru „a“ v průběhu zrání s použitím deskové sondy o průměru 100 mm; doba relaxačního testu – symbol ◆ 30 s ■ 60 s ▲ 120 s ● 180 s — 240 s — 300 s

Hodnoty parametru a mezi jednotlivými relaxačními dobami v daném dnu byly také porovnávány. Z hodnocení plyne, že hodnoty daného parametru s rostoucí dobou relaxace stoupaly, tzn., že se snižovala elasticita sýrů. Avšak v době od 210 s do 300 s relaxačního testu byly rozdíly mezi hodnotami statisticky nevýznamné a to ve všech dnech měření. Pro lepší viditelnost vývoje trendu křivek parametru a v daných dnech je znázorněno na Obr. 28. Stejných poznatků bylo dosaženo pro hodnoty parametru a měřených pomocí deskové sondy (Obr. 29).



Obr. 28 Grafické znázornění hodnoty parametru „a“ vypočítaného podle Pelegova modelu u kulovité sondy o průměru 5 mm; doba zrání (dny) – symbol \times 3. den \square 14. den \bullet 84. den



Obr. 29. Grafické znázornění hodnoty parametru „a“ vypočítaného podle Pelegova modelu u deskové sondy o průměru 100 mm; doba zrání (dny) – symbol \times 3. den \square 14. den $—$ 84. den

Hodnoty parametru a mezi kulovitou a deskovou sondou v průběhu zrání, dle hodnocení pomocí Pearsonova korelačního koeficientu, vykazovaly velmi těsný vztah. Avšak v době od 150 s relaxačního testu hodnoty parametru a vykazovaly velmi slabou těsnot. Pearsonův korelační koeficient měl kladný směr a nabýval hodnot v rozmezí 0,7832 – 0,4711.

Vztah mezi tvrdostí a parametru a , měřené pomocí kulovité sondy o průměru 5 mm, byl velmi těsný (interval hodnot byl od - 0,9743 do - 0,7704).

U vztahu mezi tvrdostí a parametru a , měřeného pomocí deskové sondy o průměru 100 mm, vykazoval korelační koeficient také záporný směr a s dobou relaxace se výrazněji odlišoval. Velmi těsný vztah byl pozorován pouze do 120 s zatížení. Od 120 s korelační koeficient nabýval hodnot od - 0,5550 do - 0,2191.

6.2.3 Výsledky hodnocení parametru b

Hodnoty parametru b získané za stejných podmínek jako hodnoty parametru a (viz. kapitola 6.2.2) jsou uvedeny v Tab. 2.

*Tab. 2. Hodnoty parametru b vypočtené podle Pelegova modelu ze zátěžové křivky relaxačního testu ze středu sýru eidamské cihly.**

Doba zrání	Čas	Sonda 5 mm		Sonda 100 mm	
1	30	0,351	$\pm 0,017$ ^a A _a	0,310	$\pm 0,012$ ^a A _b
	60	0,217	$\pm 0,009$ ^b A _a	0,190	$\pm 0,009$ ^b A _b
	90	0,164	$\pm 0,005$ ^c A _a	0,142	$\pm 0,006$ ^c A _b
	120	0,135	$\pm 0,008$ ^c A _a	0,116	$\pm 0,004$ ^d A _b
	150	0,117	$\pm 0,005$ ^d A _a	0,099	$\pm 0,003$ ^e A _b
	180	0,103	$\pm 0,005$ ^e A _a	0,087	$\pm 0,004$ ^f A _b
	210	0,091	$\pm 0,005$ ^f A _a	0,077	$\pm 0,004$ ^g A _b
	240	0,080	$\pm 0,004$ ^{f,g} A _a	0,069	$\pm 0,003$ ^{g,h} A _b
	270	0,071	$\pm 0,003$ ^{g,h} A _a	0,060	$\pm 0,003$ ^{h,i} A _b
	300	0,065	$\pm 0,003$ ^h A _a	0,055	$\pm 0,002$ ⁱ A _a

(Tab. 2 – pokračování)

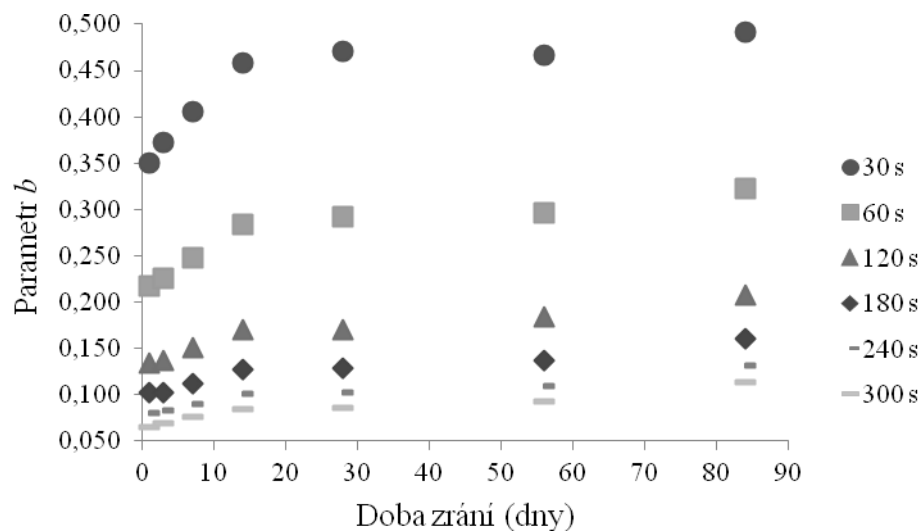
Doba zrání	Čas	Sonda 5 mm		Sonda 100 mm	
3	30	0,372	±0,013 ^a B _a	0,329	±0,014 ^a B _b
	60	0,226	±0,007 ^b A _a	0,196	±0,006 ^b A _b
	90	0,169	±0,007 ^c A _a	0,143	±0,005 ^c A _b
	120	0,137	±0,005 ^d A _a	0,115	±0,005 ^d A _b
	150	0,116	±0,003 ^e A _a	0,097	±0,004 ^e A _b
	180	0,102	±0,004 ^f A _a	0,085	±0,003 ^f A _b
	210	0,095	±0,004 ^f A _a	0,075	±0,003 ^g A _b
	240	0,083	±0,003 ^g A _a	0,067	±0,003 ^{g,h} A _b
	270	0,075	±0,003 ^{g,h} A _a	0,061	±0,003 ^{h,i} A _b
	300	0,069	±0,003 ^h A _a	0,054	±0,002 ⁱ A _a
7	30	0,406	±0,018 ^a C _a	0,388	±0,015 ^a C _b
	60	0,248	±0,010 ^b B _a	0,235	±0,006 ^b B _b
	90	0,186	±0,007 ^c B _a	0,173	±0,007 ^c B _b
	120	0,151	±0,005 ^d B _a	0,139	±0,008 ^d B _b
	150	0,129	±0,003 ^c B _a	0,117	±0,005 ^e B _b
	180	0,112	±0,004 ^f B _a	0,102	±0,004 ^f B _b
	210	0,100	±0,004 ^g A _a	0,091	±0,004 ^g B _b
	240	0,090	±0,003 ^h A _a	0,082	±0,003 ^{g,h} B _b
	270	0,083	±0,002 ^{h,i} B _a	0,076	±0,003 ^{h,i} B _b
	300	0,076	±0,003 ⁱ B _a	0,070	±0,002 ⁱ B _a
14	30	0,458	±0,013 ^a D _a	0,398	±0,014 ^a C _b
	60	0,284	±0,011 ^b C _a	0,241	±0,008 ^b B _b
	90	0,212	±0,007 ^c C _a	0,176	±0,008 ^c B _b
	120	0,171	±0,010 ^d C _a	0,141	±0,005 ^d B _b
	150	0,145	±0,006 ^e C _a	0,118	±0,005 ^e B _b
	180	0,128	±0,004 ^f C _a	0,102	±0,006 ^f B _b
	210	0,112	±0,004 ^g B _a	0,090	±0,005 ^g B _b
	240	0,101	±0,004 ^h B _a	0,081	±0,004 ^{g,h} B _b
	270	0,092	±0,004 ^{h,i} C _a	0,074	±0,003 ^{h,i} B _b
	300	0,085	±0,004 ⁱ C _a	0,068	±0,003 ⁱ B _{,C_b}

(Tab. 2 – pokračování)

Doba zrání	Čas	Sonda 5 mm		Sonda 100 mm	
28	30	0,471	±0,025 ^a E _a	0,440	±0,012 ^a D _b
	60	0,292	±0,012 ^b D _a	0,266	±0,016 ^b C _b
	90	0,218	±0,009 ^c D _a	0,192	±0,008 ^c C _b
	120	0,171	±0,007 ^d C _a	0,152	±0,007 ^d C _b
	150	0,149	±0,007 ^e C _a	0,127	±0,005 ^e C _b
	180	0,129	±0,007 ^f C _a	0,109	±0,002 ^f B _b
	210	0,115	±0,007 ^g B _{,C_a}	0,096	±0,003 ^g B _{,C_b}
	240	0,103	±0,005 ^h B _{,C_a}	0,087	±0,002 ^{g,h} B _{,C_b}
	270	0,094	±0,004 ^{h,i} C _a	0,079	±0,004 ^{h,i} B _b
	300	0,086	±0,003 ⁱ C _a	0,073	±0,003 ⁱ C _b
56	30	0,467	±0,019 ^a F _a	0,440	±0,016 ^a D _b
	60	0,297	±0,011 ^b E _a	0,271	±0,012 ^b C _b
	90	0,225	±0,007 ^c E _a	0,200	±0,009 ^c C _b
	120	0,184	±0,009 ^d D _a	0,160	±0,006 ^d C _b
	150	0,156	±0,006 ^e C _a	0,134	±0,006 ^e C _b
	180	0,137	±0,005 ^f C _a	0,116	±0,004 ^f B _{,C_b}
	210	0,122	±0,006 ^g C _a	0,102	±0,003 ^g C _b
	240	0,110	±0,005 ^h C _a	0,092	±0,003 ^{g,h} C _b
	270	0,101	±0,004 ^{h,i} D _a	0,084	±0,003 ^{h,i} C _b
	300	0,093	±0,004 ⁱ D _a	0,077	±0,003 ⁱ C _b
84	30	0,492	±0,020 ^a G _a	0,461	±0,022 ^a E _b
	60	0,322	±0,012 ^b F _a	0,296	±0,010 ^b D _b
	90	0,250	±0,011 ^c F _a	0,226	±0,013 ^c D _b
	120	0,208	±0,008 ^d E _a	0,185	±0,009 ^d D _b
	150	0,180	±0,006 ^e D _a	0,159	±0,006 ^e D _b
	180	0,160	±0,008 ^f D _a	0,140	±0,006 ^f D _b
	210	0,144	±0,005 ^g D _a	0,125	±0,005 ^g D _b
	240	0,132	±0,004 ^h D _a	0,114	±0,004 ^{g,h} D _b
	270	0,122	±0,005 ^{h,i} E _a	0,105	±0,004 ^{h,i} D _b
	300	0,114	±0,005 ⁱ E _a	0,097	±0,004 ⁱ D _b

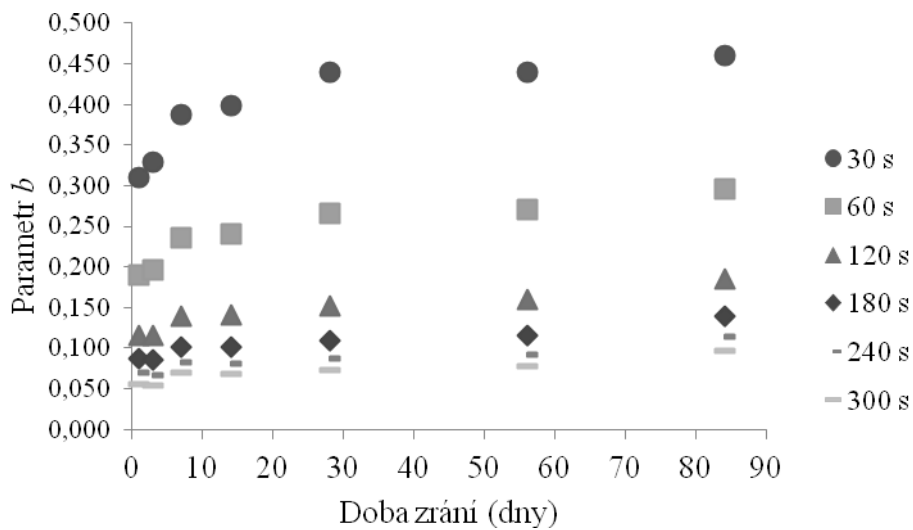
* Hodnoty parametru b byly také podrobeny statistické analýze pomocí Mann-Whitneyovým U testem. Průměry ve sloupci (rozdíly mezi jednotlivými relaxačními dobami v daném dnu) s odlišnými písmeny v horním indexu se statisticky odlišují ($P < 0,05$). Hodnoty byly srovnávány u každé sondy zvlášť. Průměry v řádku (rozdíly mezi jednotlivými relaxačními dobami v daném dnu) s odlišnými písmeny v dolním indexu se statisticky odlišují ($P < 0,05$). Hodnoty byly srovnávány mezi kulovitou sondou o průměru 5 mm a deskovou o průměru 100 mm. Průměry v sloupci (rozdíly mezi jednotlivými relaxačními dobami v průběhu zrání) s odlišnými velkými písmeny se statisticky odlišují ($P < 0,05$). Hodnoty byly srovnávány u každé sondy zvlášť.

V době 30 s relaxačního testu, s použitím kulovité sondy o průměru 5 mm, bylo zaznamenáno rapidní snižování elasticity. V 56. den zrání vykazoval sýr mírný nárůst elasticity, ale poté se opět elasticita snížila, ale nedosahovala hodnot jako na začátku experimentu. V době 60 s a 90 s relaxačního testu průběh vývoje trendu křivky byl obdobný. Docházelo k postupnému snižování elasticity. V 1. a 3. den hodnoty parametru b nevykazovaly statisticky významnou odlišnost. To samé platilo i v době 120 s, 270 s a 300 s relaxačního testu. V 14. a 28. Dnu zrání se hodnoty statisticky významně neodlišovaly. Až do 300 s relaxačního testu byl průběh křivky obdobný, docházelo k snižování elastické složky sýru. V době 150 s a 180 s relaxačního testu byl rozdíl v hodnotách parametru b statistický nevýznamný v 1. a 3. dnu zrání, dále v 14. až 56. dnu. V době 210 s a 240 s relaxačního testu se hodnoty nelišily do 7. dne měření, poté od 14. do 56. dne. Vývoj trendu křivek hodnoty parametru b v průběhu zrání, pro lepší viditelnost, je graficky znázorněn na Obr. 30.



Obr. 30 Grafické znázornění vývoje trendu hodnoty parametru b v průběhu zrání s použitím kulovité sondy o průměru 5 mm; doba relaxačního testu - symbol ● 30 s ■ 60 s ▲ 120 s ◆ 180 s ◻ 240 s ◻ 300 s

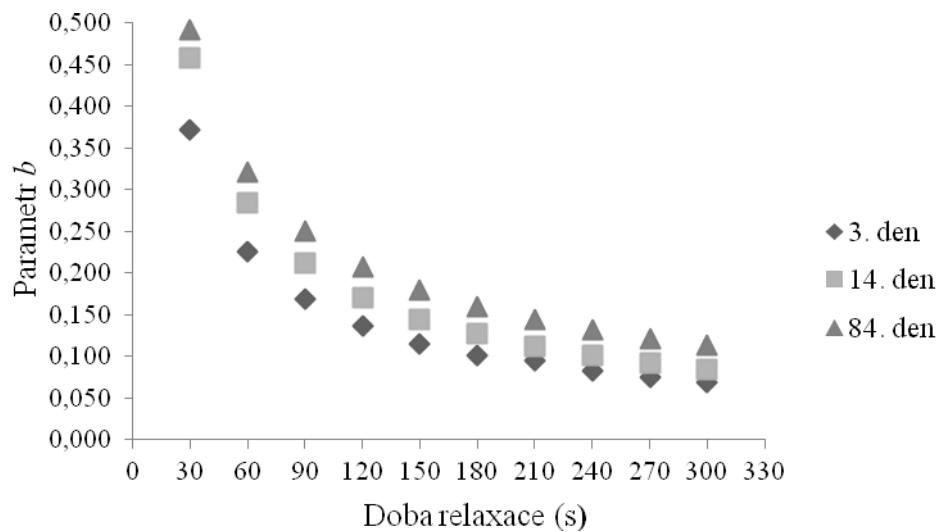
Hodnoty parametru b , měřené pomocí deskové sondy o průměru 100 mm, se zvyšovaly s dobou zrání. Z toho vyplývá, že elasticita se postupně snižovala. To platí do doby 30 s relaxačního testu. Klesající tendence elasticity v průběhu zrání byla zaznamenána až do doby 300 s relaxačního testu. Avšak v době od 60 s do 150 s a 300 s relaxačního testu, rozdíly v hodnotách parametru b se statisticky významně neodlišovaly mezi 1. a 3. dnem zrání, dále mezi 7. a 14. dnem a 28. a 56. dnem. Vývoj trendu křivek parametru b v průběhu zrání, pro lepší viditelnost, je graficky znázorněn na Obr. 31.



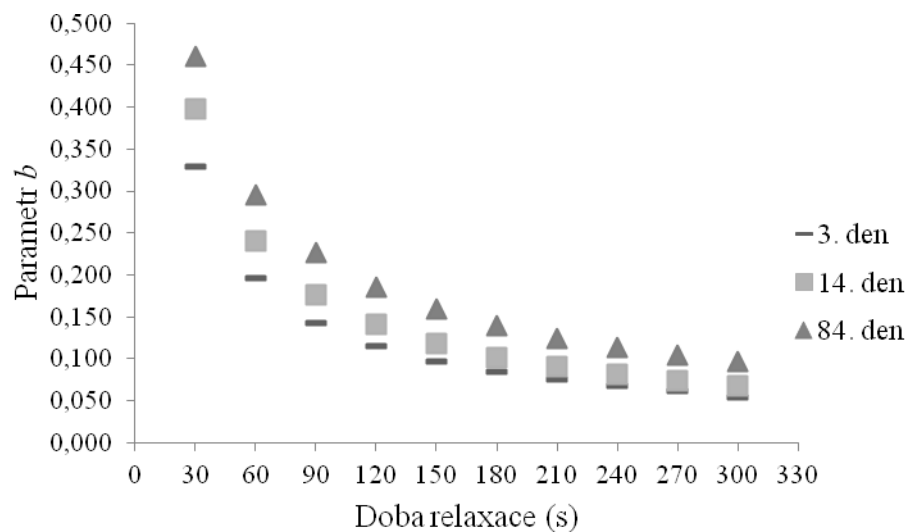
Obr. 31 Grafické znázornění vývoje trendu hodnoty parametru b v průběhu zrání s použitím deskové sondy o průměru 100 mm; doba relaxačního testu – symbol ● 30 s ■ 60 s ▲ 120 s ◆ 180 s - 240 s – 300 s

Hodnoty parametru b mezi jednotlivými relaxačními dobami v daném dnu měření byly také porovnávány. Z hodnocení plyne, že se zvyšující dobou relaxace se snižovala hodnota parametru b , tj. elasticita vzrůstala. Od doby 210 s relaxačního testu, rozdíly v hodnotách parametru b se statisticky významně neodlišovaly a to ve všech jednotlivých dnech zrání. S výjimkou 3. dne měření, kdy se hodnoty statisticky neodlišovaly až od 240 s zatížení. Pro lepší viditelnost vývoje trendu křivek parametru b (pro kulovitou sondu) v daných dnech je znázorněno na Obr. 32.

Hodnoty parametru b , měřené pomocí deskové sondy o průměru 100 mm, se také snižovaly s dobou relaxace v daném dnu zrání, tj. elasticita se zvyšovala. Ve všech daných dnech se od 210 s relaxačního testu rozdíly hodnoty parametru b statisticky významně nelišily. Pro lepší viditelnost, vývoj trendu křivek parametru b v daných dnech je znázorněno na Obr. 33.



Obr. 32. Grafické znázornění hodnoty parametru b vypočítaného podle Pelegova modelu u kulovité sondy o průměru 5 mm; doba zrání (dny) - symbol \blacklozen 3. den \blacksquare 14. den \blacktriangle 84. den



Obr. 33. Grafické znázornění hodnoty parametru b vypočítaného podle Pelegova modelu u deskové sondy o průměru 100 mm; doba zrání (dny) - symbol $-$ 3. den \blacksquare 14. den \blacktriangle 84. den

Hodnoty parametru b mezi kulovitou a deskovou sondou v průběhu zrání byly statisticky odlišné. Avšak hodnoty dle Pearsonova korelačního koeficientu vykazují velmi těsný vztah a kladný směr ($r \geq 0,97$) po celou dobu relaxace.

Vztah mezi tvrdostí a parametru b , měřené pomocí kulovité sondy o průměru 5 mm, byl středně těsný od 90 s relaxačního testu. V tomto případě měl korelační koeficient záporný směr a hodnoty se pohybovaly od - 0,5419 do - 0,8125 (od 30 s do 300 s relaxačního testu).

U vztahu mezi tvrdostí a parametru b , měřeného pomocí deskové sondy o průměru 100 mm, vykazoval korelační koeficient také záporný směr a hodnoty se pohybovaly od - 0,5300 do - 0,7526. Středně těsný vztah byl pozorován pouze od doby 90 s relaxačního testu. Do doby 90 s relaxačního testu byl vztah mezi parametrem b a tvrdostí nepříliš těsný.

Vztah mezi parametry a a b byl také posuzován dle Pearsonova korelačního koeficientu pro kulovitou a deskovou sondu zvlášť. Pro kulovitou sondu platilo, že vztah mezi parametry nebyl příliš těsný a nabýval kladný směr. Se zvyšující dobou relaxace se korelační koeficient snižoval. S výjimkou v 60 s relaxačního testu, kdy vztah byl středně těsný ($r = 0,7061$). Vztah mezi parametry u deskové sondy se odlišoval. Do 120 s relaxačního testu nabýval korelační koeficient kladné hodnoty, avšak vztah byl nepříliš těsný. Se zvyšující se dobou se zvyšovala hodnota korelačního koeficientu, ale v záporném směru a vztah byl opět nepříliš těsný.

6.3 Diskuze

V průběhu zrání eidamské cihly docházelo k postupnému zvyšování pH. Tyto poznatky jsou v souladu s Lawrence et. al [66]. Počáteční nízké pH je způsobeno rozkladem laktózy na kyselinu mléčnou. Následné zvyšování pH v následujících dnech je nejspíš zapříčiněno metabolismem kyseliny mléčné např. za vzniku acetátu a CO_2 pomocí NSLAB [70]. Dále mohou k zvýšení pH přispívat látky zásadité povahy, které mohou být uvolňovány vlivem proteolýzy [6].

Vývoj tvrdosti sýru v průběhu zrání byl popsán pomocí kulovité sondy (o průměru 5 mm) a deskové (o průměru 100 mm) sondy velmi obdobně. Pearsonův korelační koeficient v tomto případě byl 0,9967. Získaný korelační koeficient vypovídá o tom, že použité odlišné sondy velmi obdobně popisují změnu vybraných texturních vlastností. Od začátku zrání docházelo k výraznému nárůstu tvrdosti. V 7. dnu zrání dosáhla tvrdost nejvyšších hodnot (u deskové 96,62 N a u kulovité 4,21 N). To lze pravděpodobně vysvětlit procesem bobtnání bílkovin [6, 8]. Poté následovalo postupné snižování tvrdosti. Na konci experimentu

sýr vykazoval mnohem menší tvrdost než na začátku. Desková sonda zaznamenala snížení tvrdosti o cca 51 % a kulovitá sonda o cca 40 % z původní hodnoty na začátku experimentu. Tento fakt lze vysvětlit zejména proteolytickou činností, kdy dochází k oslabení kaseinové sítě vlivem zbytkové syřidla, plazminu a poté především enzymy LAB, ale i NSLAB (66, 23). Pokles tvrdosti v průběhu zrání popisují také Bertola *et. al.* [71] a Delgado *et. al.* [72].

Výsledky tvrdosti dobře korelují s parametrem a , který byl měřen pomocí kulovité sondy o průměru 5 mm. U deskové sondy o průměru 100 mm, parametr a korespondoval s tvrdostí pouze do doby 120 s relaxačního testu. V obou případech měl vztah mezi tvrdostí a parametrem a záporný směr. Vývoj hodnot parametru b velmi slabě korespondoval se změnami parametru a především pro kulovitou sondu, pro deskovou sondu pouze do jisté míry. Dle korelačních koeficientů parametr b dobře koreloval s tvrdostí, avšak jeho interpretace je podle Peleg [55], Singh *et. al.* [38] a Hatcher *et. al.* [47] obtížná a nejednoznačná. Jeho definice a způsob výpočtu ukazuje, že je více ovlivněno experimentálními chybami než parametr a [55].

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřená na sledování vývoje texturních vlastností u sýrů eidamského typu v průběhu zrání s využitím kompresních testů. Dále studiem vlivu použití dvou sond (deskové a kulovité) na hodnocení texturních vlastností sýrů. Bylo aplikováno deset různých dob v poloze maximální deformace vzorku (30 – 300 s) u stres-testu a studován jejich vliv na hodnoty parametru a a b vypočtených na základě Pelegova modelu pro každou sondu. Ze získaných výsledků byla popsána korelace mezi tvrdostí (F_{\max}) a parametrů a a b pro každou sondu. Byly také sledovány změny pH a obsahu sušiny % (w/w) v průběhu zrání sýrů.

Byly zjištěny následující výsledky:

- tvrdost a elasticita sýrů se v průběhu zrání značně měnila; na začátku docházelo k zvýšení těchto texturních parametrů až do 7. dne zrání, kdy tvrdost a elasticita vykazovali nejvyšší hodnoty; postupně s dobou zrání, vlivem proteolýzy, tyto texturní parametry klesaly až na hodnoty nižší než počátku zrání,
- průběh změn tvrdosti během zrání, získaný pomocí kulovité sondy, velmi dobře korespondoval s hodnotami naměřenými pomocí deskové sondy ($r = 0,9967$),
- parametr a dobře koresponduje s vývojem tvrdosti v průběhu zrání; korelační koeficient v tomto případě má záporný směr a se zvyšující se dobou relaxace těsnost vztahu klesá; uvedené výsledky platí pro kulovitou sondu;
- pro deskovou sondu platí, že těsnost vztahu mezi parametrem a a tvrdostí sýru také klesá s dobou relaxace a nabývá záporného směru; velmi těsný vztah je zaznamenán jen do 120 s daného zatížení,
- hodnoty parametrů a , získané pomocí kulovité a deskové sondy, spolu korespondují pouze do 120 s daného zatížení,
- během zrání docházelo k postupnému zvyšování pH i obsahu sušiny % (w/w).

Závěrem diplomové práce lze říci, že pro měření tvrdosti sýrů je možné aplikovat jak deskovou sondu, tak i kulovitou sondu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PACHLOVÁ, V., BUŇKA, F., BUŇKOVÁ, L., WEISEROVÁ, E. Je každý kousek sýra stejný?. *Potravinářská Revue*, 2011, vol. 7, no. 1, p. 29–32.
- [2] 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.
- [3] Vyhláška 77/2003 Sb., kterou se stanoví požadavky pro mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje, v platném znění. *Sbírka zákonů*, 2003.
- [4] McSWEENEY, P. L. H. *Cheese problems solved*. 1st ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2007. ISBN 978-1-84569-060-1.
- [5] HRABĚ, J., BŘEZINA, P., VALÁŠEK, P. *Technologie výroby potravin živočišného původu*. Zlín: UTB, 2008. ISBN 978-80-7318-405-6.
- [6] 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. text
- [7] BYLUND, G. *Dairy processing handbook*. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB, 2003.
- [8] KADLEC, P., et al. *Technologie potravin II*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2002. 236 p. ISBN 80-7080-510-2.
- [9] HUI, Y. H. *Dairy science and Technology Handbook*. John Wiley & Sons, 1993. 1304 p. ISBN 978-1-56081-078-0.
- [10] KANG, E. J., CAMPBELL, R. E., BASTIAN, E., DRAKE, M. A. Invited review: Annatto usage and bleaching in dairy foods. *Journal of Dairy Science*, 2010, vol. 93, no. 9, p. 3891–3901.
- [11] FARKYE, N. Y. Cheese technology. *International Journal of Dairy Technology*, 2004, vol. 57, no. 2/3, p. 91–98.
- [12] ZIMÁK, E. *Technologie pro 4. ročník SPŠ studijního oboru zpracování mléka*. 1st ed. Praha: SNTL, 1988. 362 p.

- [13] *Mlékárenská technologie II* [online]. 2007 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: http://utb-fles.cepac.cz/moduly/M0029_mlekarenska_tecnologie/distancni_text_II/M0029_mlekarenska_tecnologie_distancni_text_ii.pdf
- [14] McSWEENEY, P. L. H. Biochemistry of cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 2004, vol. 57, no. 2/3, p. 127–144.
- [15] GOULAS, A. E., ANIFANTAKI, K. I., KOLIOULIS, D. G., KONTOMINAS, M. G. Migration of di-(2-ethylhexylexyl)Adipate Plasticizer from Food-Grade Polyvinyl Chloride Film into Hard and Soft Cheeses. *Journal of Dairy Science*, 200, vol. 83, no. 8, p. 1712–1718.
- [16] COGAN, T. M., et al. Invited Review: Advances in Starter Cultures and Cultured Foods. *Journal of Dairy Science*, 2007, vol. 90, no. 9, p. 4005–4021.
- [17] SOUSA, M. J., ARDÖ, Y., McSWEENEY, P. L. H., et al. Advances in the study of proteolysis during cheese ripening. *International Dairy Journal*, 2001, vol. 11, p. 327–345.
- [18] NEDOMOVÁ, Šárka. *Texturní vlastnosti potravin* [online]. 2012 [cit. 2012-05-28]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/texturni-vlastnosti-potravin>
- [19] ČSN ISO 5492. *Senzorická analýza - Slovník*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 36 p.
- [20] BUŇKA, F., HRABĚ, J., VOSPĚL, B. *Senzorická analýza potravin I*. 1st ed. Zlín: UTB, 2008. 145 p. ISBN 978-80-7318-628-9.
- [21] ROSENTHAL, A. J. *Food Texture: Measurement and Perception*. Gaithersburg: Aspen Publishers, Inc., 1999. 311 p. ISBN 0-8342-1238-2.
- [22] BOURNE, H. C. Texture profile analysis. *Food Technology*, 1978, vol. 32, p. 652–666.
- [23] XIONG, R., MEULLENET, J. F., HANKINS, J. A., CHUNG, W. K. Relationship between Sensory and Instrumental Hardness of Commercial Cheeses. *Journal of Food Science*, 2002, vol. 67, no. 2, p. 877–883.

- [24] KINCLOVÁ, JAROŠOVÁ a TREMLOVÁ. *Senzorická analýza potravin* [online]. 2004 [cit. 2012-06-28]. Dostupné z: http://www.vetweb.cz/Senzoricka-analyza-potravin__s1496x51217.html
- [25] *Měření textury potravinářských materiálů: Hodnocení textury masných výrobků* [online]. 2 Apr 2012 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/ktk/www_324/lab/navody/oborI/textura02.pdf
- [26] KILCAST, D. *Texture in Food: Volume 2 - Solid Foods*. Woodhead Publishing, 2004. 571 p. ISBN 978-1-85573-724-2.
- [27] ŠTĚTINA, Jiří. *Fyzikální vlastnosti potravin* [online]. 2007 [cit. 2012-08-14]. Dostupné z: http://eso.vscht.cz/cache_data/1201/www.vscht.cz/tmt/studium/FVP/pFVP05_Textura_print.pdf
- [28] *Texture Exponent Lite*. Stable Micro Systems Ltd., 2007.
- [29] BOURNE, M. C. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. 2nd ed. Elsevier, 2002. 448 p. ISBN 978-0-12-119062-0.
- [30] KRKOŠKOVÁ, B. *Textúra potravin*. 1st ed. Bratislava: SNTL, 1986. 200 p. ISBN 63-003-86.
- [31] SALDO, J., SENDRA, E., GUAMIS, B. Hard cheese structure after a high hydrostatic pressure treatment at 50 MPa for 72 h applied to cheese after brining. *Lait*, 2011, vol. 81, p. 625–635.
- [32] SALDO, J., SENDRA, E., GUAMIS, B. Stress Relaxation Test for Monitoring Post Mortem Textural Changes of Ice-stored Cod (*Gadus morhua* L.). *Journal of Food Science*, 2004, vol. 69, no. 4, p. 178–182.
- [33] HERRERO, A. M., CARECHE, M. Stress-relaxation test to evaluate textural quality of frozen stored Cape hake (*M. capensis* and *M. paradoxus*). *Food Research International*, 2005, vol. 38, p. 69–76.
- [34] HERRERO, A. M., REQUENA, T. The effect of supplementing goats milk with whey protein concentrate on textural properties of set-type yoghurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 2006, vol. 41, p. 87–92.

- [35] HEE, L. L. Y., JACQUOT, M., HARDY, J., DESOBRY, S. Formulating polymeric gels simulating soft cheeses' texture. *Food Hydrocolloids*, 2008, vol. 22, p. 925–933.
- [36] CAMPUS, M., et al. Stress relaxation behaviour and structural changes of muscle tissues from Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.) following high pressure treatment. *Journal of Food Engineering*, 2010, vol. 96, p. 192–198.
- [37] ROJAS, A. M., DELBON, M., MARANGONI, A. G., GERSCHENSON, L. N. Contribution of Cellular Structure to the Large and Small Deformation Rheological Behavior of Kiwifruit. *Journal of Food Science*, 2002, vol. 67, no. 6, p. 2143–2148.
- [38] SINGH, H., et al. The analysis of stress relaxation data of some viscoelastic foods using a texture analyzer. *Journal of Texture Studies*, 2006, vol. 37, p. 383–392.
- [39] MORALES, R., SERRA, X., GUERRERO, L., GOU, P. Softness in dry-cured porcine biceps femoris muscles in relation to meat quality characteristics and processing conditions. *Meat Science*, 2007, vol. 77, p. 662–669.
- [40] DIMITRELI, G., THOMAREIS, A. S. Instrumental textural and viscoelastic properties of processed cheese as affected by emulsifying salts and in relation to its apparent viscosity. *International Journal of Food Properties*, 2009, vol. 12, p. 261–275.
- [41] JOSHI, N. S., et al. Textural and rheological properties of processed cheese. *International Journal of Food Properties*, 2004, vol. 7, no. 3, p. 519–530.
- [42] RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E., et al. Effect of cooking time and storage temperature on the textural properties of cassava dough. *Journal of Texture Studies*, 2008, vol. 39, p. 68–82.
- [43] MICHALCZYK, M., SURÓWKA, K. Microstructure and instrumentally measured textural changes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gravads during production and storage. *J. Sci. Food Agric.*, 2009, vol. 89, p. 1942–1949.
- [44] SIRISOMBOON, P., TANAKA, M., AKINAGA, T., KOJIMA, T. Evaluation of the textural properties of japanese pear. *Journal of Texture Studies*, 2000, vol. 31, p. 665–677.

- [45] VENUGOPAL, V., MUTHUKUMARAPPAN, K. relaxation characteristics of cheddar cheese. *International Journal of Food Properties*, 2001, vol. 4, no. 3, p. 469–484.
- [46] GOU, P., et al. Effect of a 10-day ageing at 30°C on the texture of dry-cured hams processed at temperatures up to 18°C in relation to raw meat pH and salting time. *Meat Science*, 2008, vol. 80, p. 1333–1339.
- [47] HATCHER, D. W., BELLIDO, G. G., DEXTER, J. E., ANDERSON, M. J., FU, B. X. Investigation of uniaxial stress relaxation parameters to characterize the texture of yellow alkaline noodles made from durum and common wheat. *Journal of Texture Studies*, 2008, vol. 39, p. 695–708.
- [48] MORALES, R., GUERRERO, L., SERRA, X., GOU, P. Instrumental evaluation of defective texture in dry-cured hams. *Meat Science*, 2007, vol. 76, p. 536–542.
- [49] COSTA-CORREDOR, A., SERRA, X., ARNAU, J., GOU, P. Reduction of NaCl content in restructured dry-cured hams: Post-resting temperature and drying level effects on physicochemical and sensory parameters. *Meat Science*, 2009, vol. 83, p. 390–397.
- [50] PAVIA, M., GUAMIS, B., TRUJILLO, A. J., CAPELLAS, M., FERRAGUT, V. Changes in microstructural, textural and colour characteristics during ripening of Manchego-type cheese salted by brine vacuum impregnation. *International Dairy Journal*, 1999, vol. 9, p. 91–98.
- [51] SOLOMON, W. K., JINDAL, V. K. Comparison of mechanical test for evaluation textural changes in potatoes during thermal softening.. *Journal of Texture Studies*, 2003, vol. 33, p. 529–542.
- [52] ZAIDUL, I. S. M., et al. Stress Relaxation Test for Sago–Wheat Mixtures Gel. *International Journal of Food Properties*, 2003, vol. 6, no. 3, p. 431–442.
- [53] MARKOWSKI, M., et al. Rheological behavior of hot-air-puffed amaranth seeds. *International Journal of Food Properties*, 2003, vol. 9, p. 195–203.
- [54] DI MONACO, R., CAVELLA, S., MASI, P. Predicting sensory cohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 2008, vol. 39, p. 129–149.

- [55] PELEG, M. Characterization of the stress relaxation curves of solid foods. *Journal of Food Science*, 1979, vol. 44, p. 277–281.
- [56] BLAHOVEC, J., ESMIR, A. A. S. Stress relaxation in cooked potato tubers expressed by improved rate controlled model. *International Journal of Food Properties*, 2001, vol. 4, p. 485–499.
- [57] BLAHOVEC, J. Activation volume from stress relaxation curves in raw and cooked potato. *International Journal of Food Properties*, 2003, vol. 6, p. 183–193.
- [58] ANGIOLONI, A., COLLAR, C. Bread crumb quality assessment: a plural physical approach. *European Food Research and Technology*, 2009, vol. 229, p. 21–30.
- [59] SADOWSKA, J., BIALOBRZEWSKI, I., JELIŃSKI, T., MARKOWSKI, M. Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese. *Journal of Food Engineering*, 2009, vol. 94, p. 254–259.
- [60] ALVIS, A., VILLAMIEL, M., RADA-MENDOZA, M. Mechanical properties and viscoelastic characteristics of two varieties of yam tubers (*Dioscorea alata*). *Journal of Texture Studies*, 2010, vol. 41, p. 92–99.
- [61] GUNASEKARAN, S., MEHMET AK, M. *Cheese Rheology and Texture*. 1st ed. CRC Press, 2002. 456 p. ISBN 978-1-58716-021-9.
- [62] EVERARD, C. D., et al. A three-point bending test for prediction of sensory texture in processed cheese. *Journal of Texture Studies*, 2007, vol. 38, p. 438–456.
- [63] NĚMCOVÁ, L., ŠTĚTINA, J., VALENTOVÁ, H. Proteolysis and Consistency of Gouda and Eidamský Blok Cheeses During Ripening. *Czech Journal of Food Science*, 2001, vol. 19, no. 2, p. 67–72.
- [64] NUATH, K. R., HINES, J. T., HARRIS, R. D. Cheese rheology. In FRANCIS, F. J. (ed.). *Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology (2nd Edition) Volumes 1-4*. 2nd ed. John Wiley & Sons, 1999, p. 315–335. ISBN 978-0-471-19285-5.
- [65] UPRETI, T., BÜHLMANN, P., METZGER, E. Influence of Calcium and Phosphorus, Lactose, and Salt-to-Moisture Ratio on Cheddar Cheese Quality: pH Buffering Properties of Cheese. *Journal of Dairy science*, 2006, vol. 89, no. 3, p. 938–950.

- [66] LAWRENCE, R. C., CREAMER, L. K., GILLES, J. Texture Development During Cheese Ripening. *Journal of Dairy science*, 1987, vol. 70, p. 1748–1760.
- [67] YATES, M. D., DRAKE, M. A. Texture Properties of Gouda Cheese. *Journal of Sensory Studies*, 2007, vol. 22, no. 5, p. 493–506.
- [68] PACHLOVÁ, V. *Distribuce vybraných složek v přírodním sýru v průběhu jeho zrání: Disertační práce*. Zlín: UTB, 2011. 121 p.
- [69] MILAN, Houška. *Reologické vlastnosti a textura potravin* [online]. 2010 [cit. 2012-07-27]. Dostupné z: <http://www.primat.cz/vscht/predmety/vybrane-procesy-potravinarskych-a-biochemickych-vyrob-q20029/vybrane-procesy-potravinarskych-a-biochemickych-vyrob-m89650/>
- [70] McSWEENEY, P. L. H., SOUSA, M. J. Biochemical pathway for the production of flavor compounds in cheese during ripening. *Le Lait*, 2000, vol. 80, p. 293–324.
- [71] BERTOLA, N. C., CALIFANO, A. N., BEVILACQUA, A. E., ZARITZKY, N. E. Effects of ripening conditions on the texture of Gouda cheese. *International Journal of Food Science and Technology*, 2000, vol. 35, p. 207–214.
- [72] DELGADO, F., RODRÍGUEZ-PINILLA, J., GONZÁLEZ-CRESPO, J., RAMÍREZ, R., ROA, I. Proteolysis and texture changes of a Spanish soft cheese ('Torta del Casar') manufactured with raw milk and vegetable rennet during ripening. *International Journal of Food Science and Technology*, 2010, vol. 45, p. 512–519.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

VVTPH Obsah vody v tukuprosté sušině

LAB Startérové bakterie mléčného kvašení

NSLAB Nestartérové bakterie mléčného kvašení

FFAs Volné mastné kyseliny

TPA Texturní profilová analýza

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Rozdělení sýrů podle Fox et. al. 2000 [2]</i>	13
<i>Obr. 2. Kaseinová submicela [7]</i>	15
<i>Obr. 3. Seskupení a stabilizace kaseinových micel [7]</i>	16
<i>Obr. 4. Schematické štěpení κ-kaseinu [8]</i>	17
<i>Obr. 5. Interakce denaturovaných syrovátkových bílkovin s κ-kaseinem [7]</i>	20
<i>Obr. 6. Schematické znázornění tvorby ok [7]</i>	28
<i>Obr. 7. Metabolismus laktózy v průběhu zrání sýrů: 1 – racemizace, 2 – metabolismus způsobený <i>Propionibacterium spp.</i>, 3 – oxidace, 4 – anaerobní metabolismus pomocí NSLAB, 5 – anaerobní metabolismus pomocí <i>Clostridium spp</i> [14]</i>	31
<i>Obr. 8 Cesty katabolizmu volných mastných kyselin [2]</i>	32
<i>Obr. 9. Schematické znázornění proteolýzy kaseinu [17]</i>	33
<i>Obr. 10. Schematické znázornění systému plazminu v mléce [2]</i>	34
<i>Obr. 11 Schematické znázornění katabolizmu Leucinu [2]</i>	35
<i>Obr. 12. Průběh křivek pro dokonale pružné (vlevo) a viskoelastické (vpravo) materiály [28]</i>	39
<i>Obr. 13 Průběh křivky u relaxačního testu [28]</i>	40
<i>Obr. 14. Průběh křivky u texturní profilové analýzy [27]</i>	42
<i>Obr. 15. Warner-Bratzler ostří (vlevo) a Volodkevichovo zařízení (vpravo)[28]</i>	44
<i>Obr. 16. Struna (vlevo) a Kramerova cela (vpravo)[28]</i>	44
<i>Obr. 17. Schématické znázornění vytlačování (forvard extrusion)[29]</i>	45
<i>Obr. 18 Zkouška pevnosti v tahu u pizzy [28]</i>	46
<i>Obr. 19. Třibodová zkouška ohybem [28]</i>	46
<i>Obr. 20. Schematické znázornění přípravy vzorků pro texturní analýzu</i>	52
<i>Obr. 21. Typická zátěžová křivka závislosti síly Ft na čase t získaná z relaxačního testu [68]</i>	53
<i>Obr. 22. Grafické znázornění změny pH v průběhu zrání sýru eidamského typu</i>	54
<i>Obr. 23. Grafické znázornění změny obsahu sušiny % (w/w) v průběhu zrání sýru eidamského typu</i>	55

- Obr. 24. Grafické znázornění změny tvrdosti během zrání sýru eidamského typu metodou TPA s použitím kulovité sondy o průměru 5 mm 56
- Obr. 25. Grafické znázornění změny tvrdosti během zrání sýru eidamského typu metodou TPA s použitím deskové sondy o průměru 100 mm 57
- Obr. 26 Grafické znázornění vývoje trendu křivek hodnoty parametru „a“ v průběhu zrání s použitím kulovité sondy o průměru 5 mm; doba relaxačního testu – symbol $\blacklozenge 30s$ $\blacksquare 60s$ $\blacktriangle 120s$ $\bullet 180s$ $-240s$ $-300s$ 62
- Obr. 27 Grafické znázornění vývoje trendu hodnoty parametru „a“ v průběhu zrání s použitím deskové sondy o průměru 100 mm; doba relaxačního testu – symbol $\blacklozenge 30s$ $\blacksquare 60s$ $\blacktriangle 120s$ $\bullet 180s$ $-240s$ $-300s$ 63
- Obr. 28 Grafické znázornění hodnoty parametru „a“ vypočítaného podle Pelegova modelu u kulovité sondy o průměru 5 mm; doba zrání (dny) – symbol $-3. den$ $\times 14. den$ $\bullet 84. den$ 64
- Obr. 29. Grafické znázornění hodnoty parametru „a“ vypočítaného podle Pelegova modelu u deskové sondy o průměru 100 mm; doba zrání (dny) – symbol $\times 3. den$ $-14. den$ $-84. den$ 64
- Obr. 30 Grafické znázornění vývoje trendu hodnoty parametru b v průběhu zrání s použitím kulovité sondy o průměru 5 mm; doba relaxačního testu - symbol $\bullet 30s$ $\blacksquare 60s$ $\blacktriangle 120s$ $\blacklozenge 180s$ $-240s$ $-300s$ 69
- Obr. 31 Grafické znázornění vývoje trendu hodnoty parametru b v průběhu zrání s použitím deskové sondy o průměru 100 mm; doba relaxačního testu – symbol $\bullet 30s$ $\blacksquare 60s$ $\blacktriangle 120s$ $\blacklozenge 180s$ $-240s$ $-300s$ 70
- Obr. 32. Grafické znázornění hodnoty parametru b vypočítaného podle Pelegova modelu u kulovité sondy o průměru 5 mm; doba zrání (dny) - symbol $\blacklozenge 3. den$ $\blacksquare 14. den$ $\blacktriangle 84. den$ 71
- Obr. 33. Grafické znázornění hodnoty parametru b vypočítaného podle Pelegova modelu u deskové sondy o průměru 100 mm; doba zrání (dny) - symbol $-3. den$ $\blacksquare 14. den$ $\blacktriangle 84. den$ 71

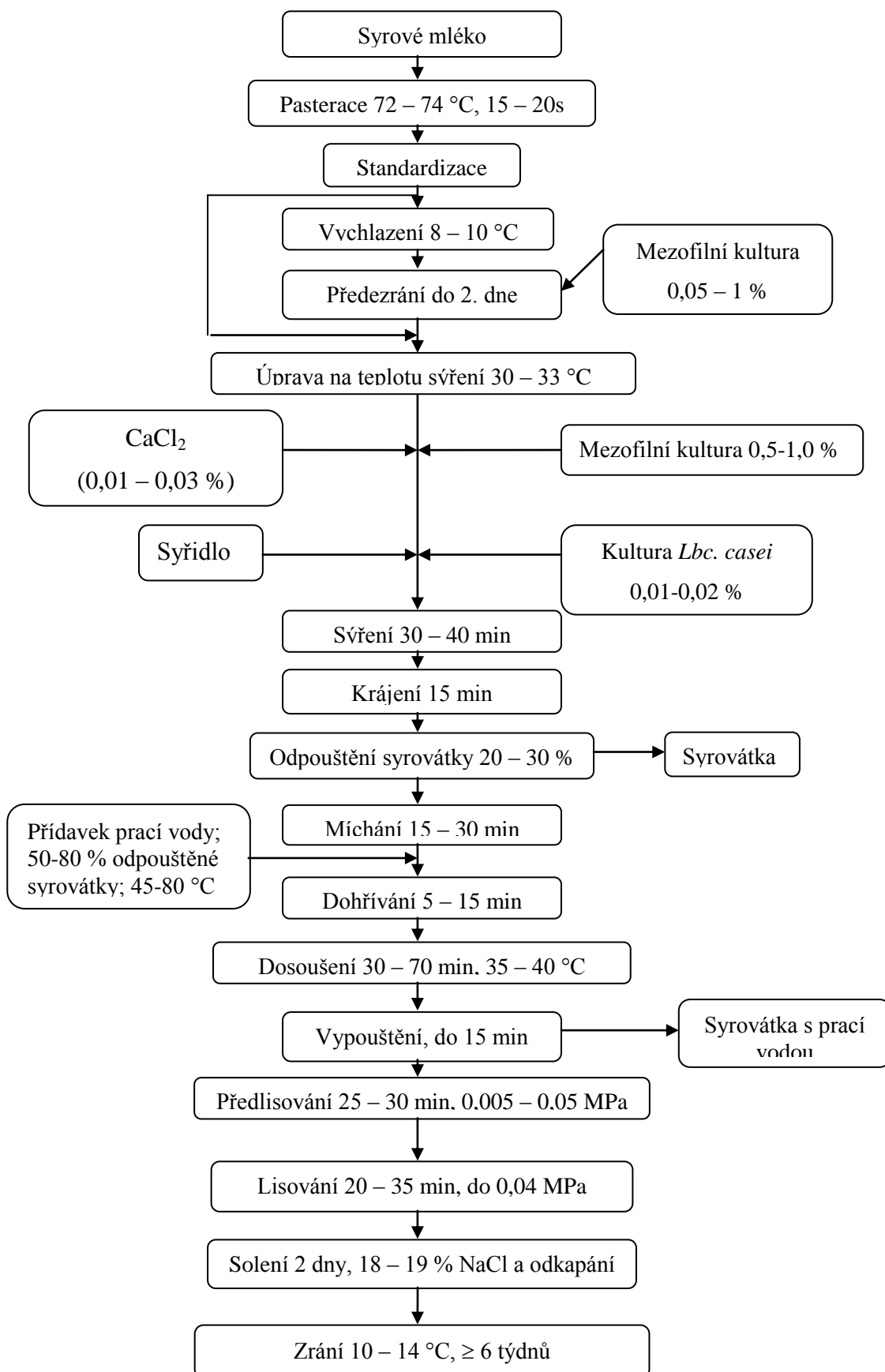
SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Hodnoty parametru „a“ vypočtené podle Pelegova modelu ze zátěžové křivky relaxačního testu ze středu sýru eidamské cihly. *</i>	58
<i>Tab. 2. Hodnoty parametru b vypočtené podle Pelegova modelu ze zátěžové křivky relaxačního testu ze středu sýru eidamské cihly. *</i>	65

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Schéma výroby sýrů holandského typu [8]
- PII Definice mechanických deskriptorů [69]
- PIII Průběh creepového testu [28]
- PIV Průběh stres-testu [28]
- PV Průběh testu texturní profilové analýzy [28]

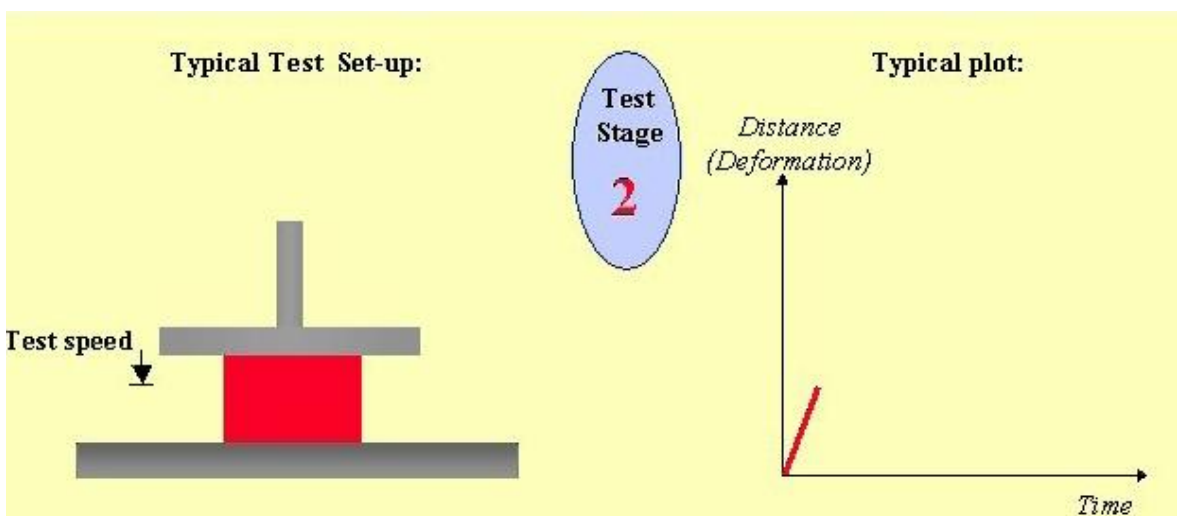
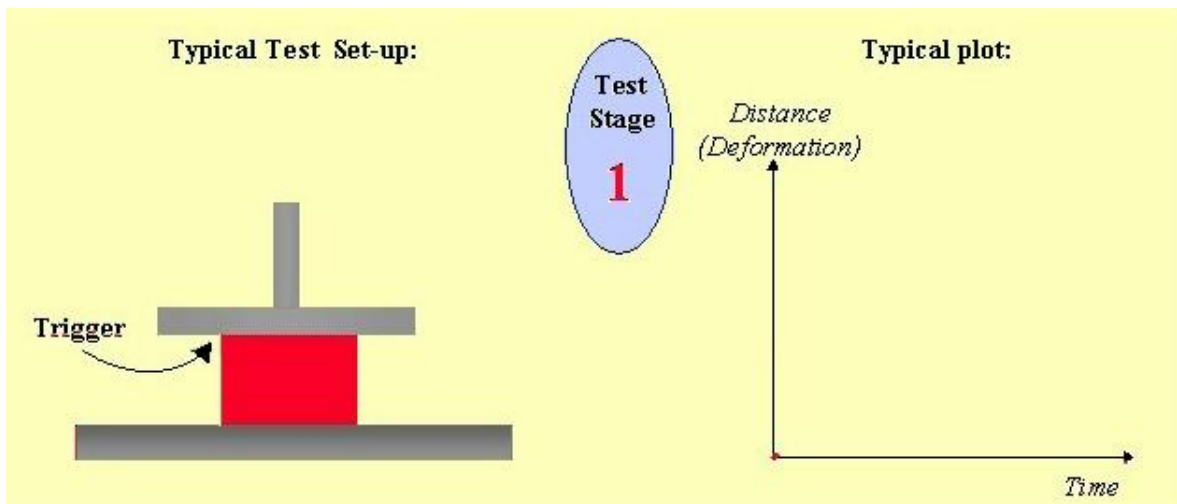
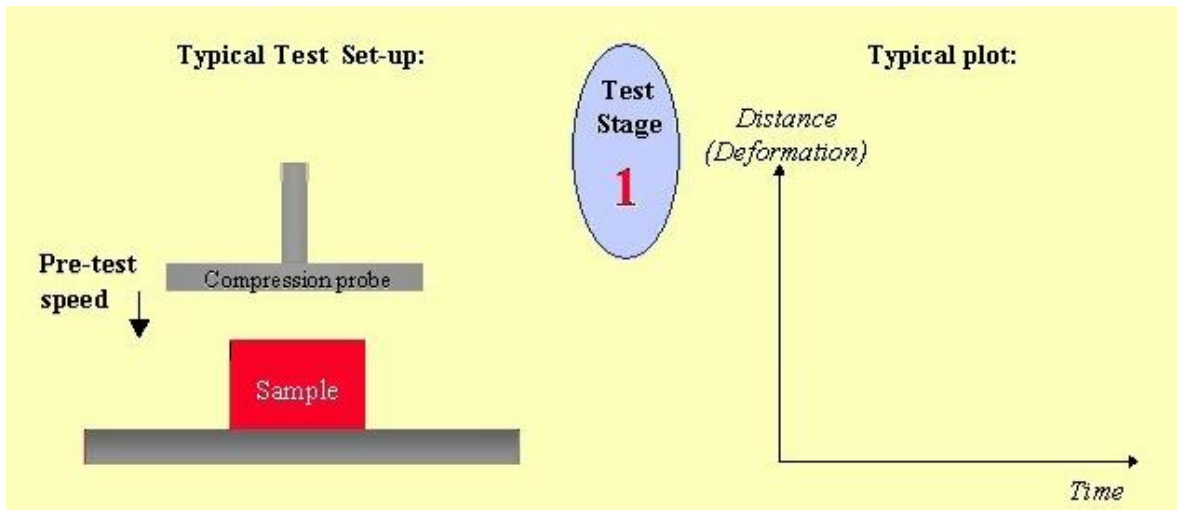
PŘÍLOHA P I: OBECNÉ SCHÉMA VÝROBY SÝRŮ HOLANDSKÉHO TYPU [8]

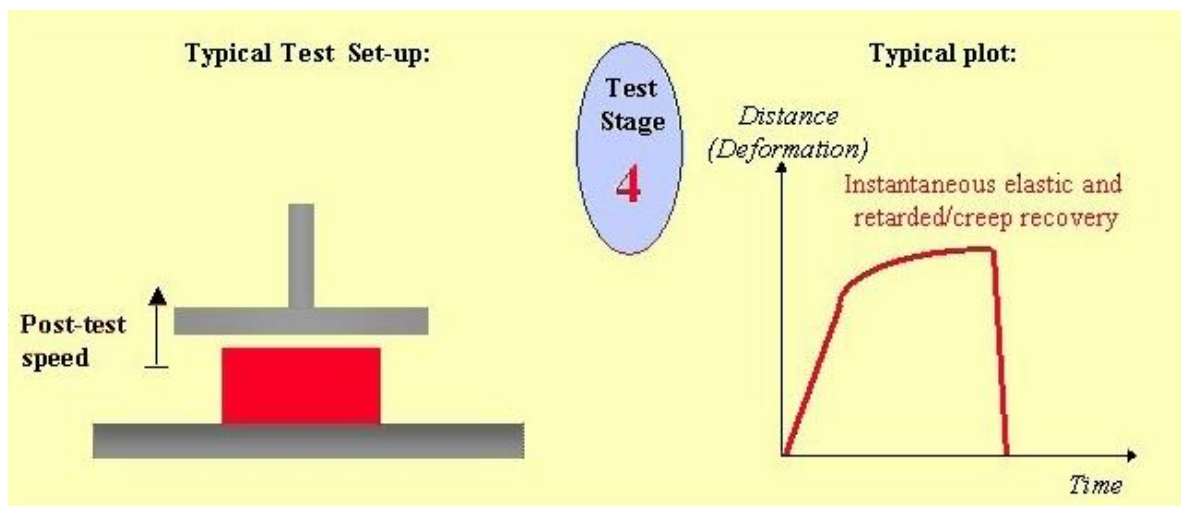
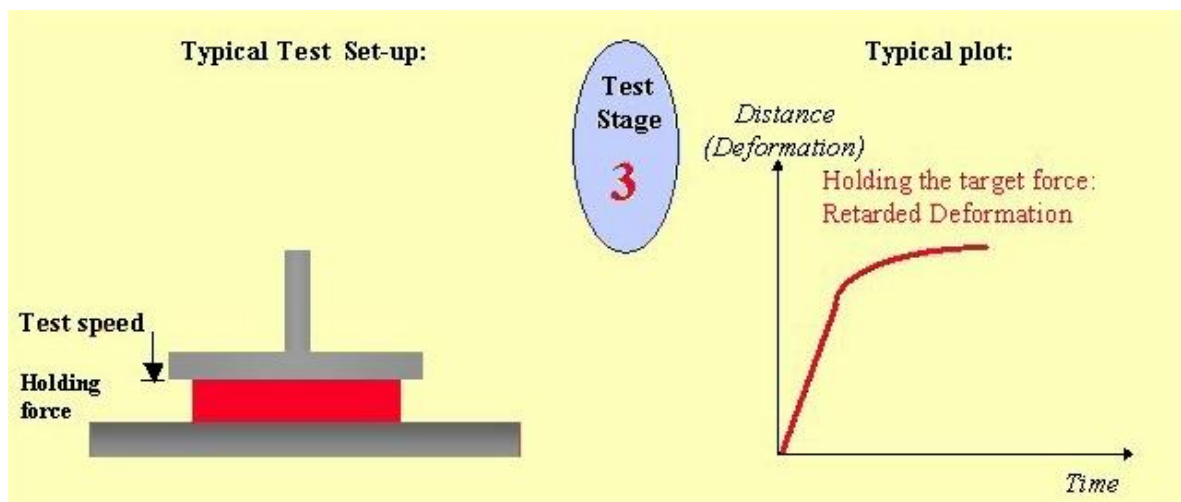
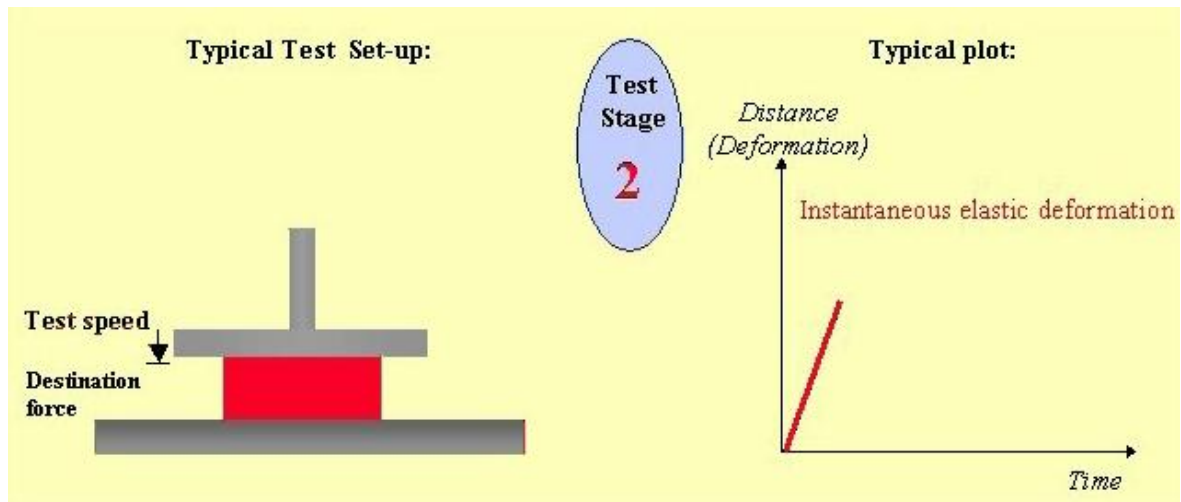


PŘÍLOHA P II: DEFINICE MECHANICKÝCH DESKRIPTORŮ [69]

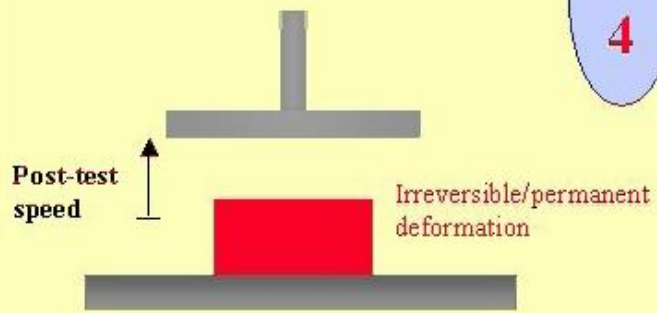
Mechanický deskriptor	Mechanické vlastnosti texturního profilu dle Bourneho	Senzorické hodnocení textury dle ISO 11036
Tvrдость (hardness)	Jednotka N. 1. maximum síly při prvému stlačení.	Síla potřebná ke stlačení mezi stoličkami nebo mezi jazykem a patrem.
Křehkost (fracturability)	Jednotka N. Síla při prvému zlomu na křivce.	Síla, při níž se vzorek rozpadne.
Lepivost/Přilnavost (adhesiveness)	Jednotka N. m. Práce potřebná k překonání síly mezi povrchem vzorku a sondou přístroje.	Síla potřebná k odstranění vzorku jazykem z patra.
Pružnost (springiness)	Bezrozměrný poměr deformace při druhém stlačení a původní výšky vzorku.	Posuzuje se stupeň a rychlost návratu po částečném stlačení mezi jazykem a patrem nebo mezi stoličkami.
Soudržnost (cohesiveness)	Poměr ploch prvního a druhého zatěžovacího cyklu.	Posuzuje se míra deformace, kterou vzorek vydrží, než praskne při stlačování mezi stoličkami. Poznámka: Zde nejde o přímou podobnost provedení obou zkoušek.
Žvýkatelnost (chewiness)	Definovaná jako součin gumovitosti a pružnosti.	Posuzuje se námaha nebo počet žvýknutí potřebný do úpravy vzorku do stavu vhodného k polknutí.
Gumovitost (gumminess)	Definovaná jako tvrдость krát soudržnost.	Posuzuje se rozsah manipulací, potřebných k rozmělnění vzorku stlačováním jazykem proti patru. Poznámka: Zde nejde o přímou podobnost provedení obou zkoušek.

PŘÍLOHA P III: PRŮBĚH CREEPOVÉHO TESTU [28]



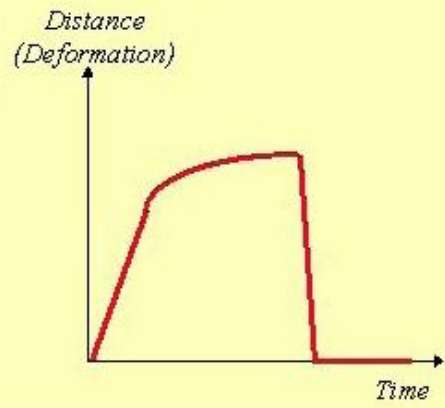


Typical Test Set-up:

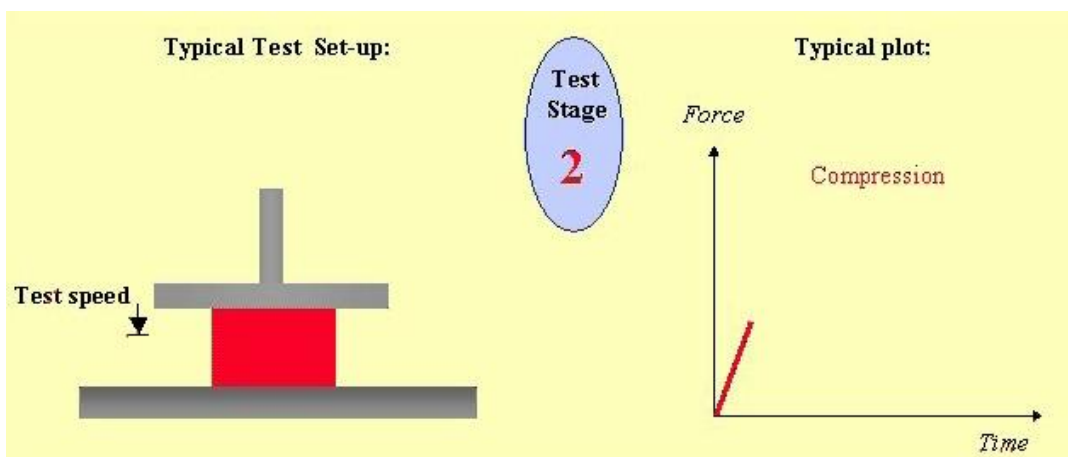
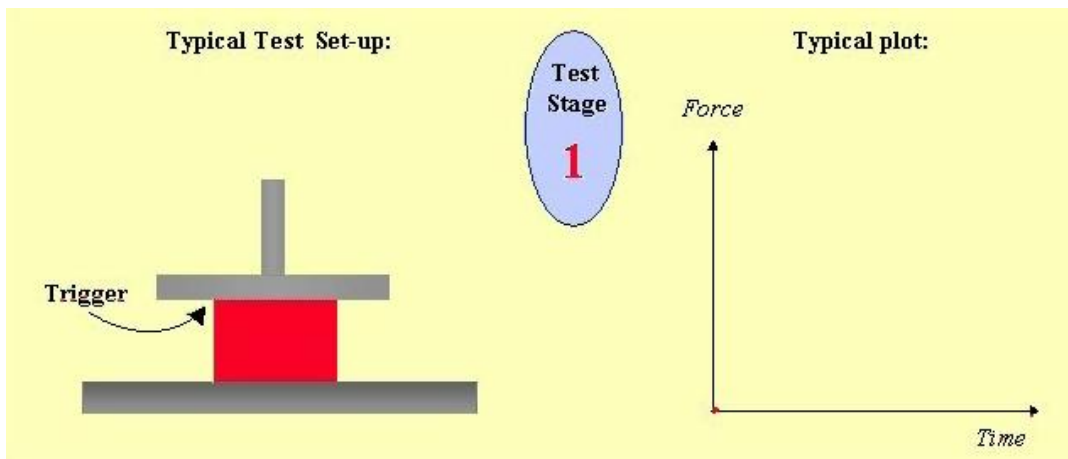
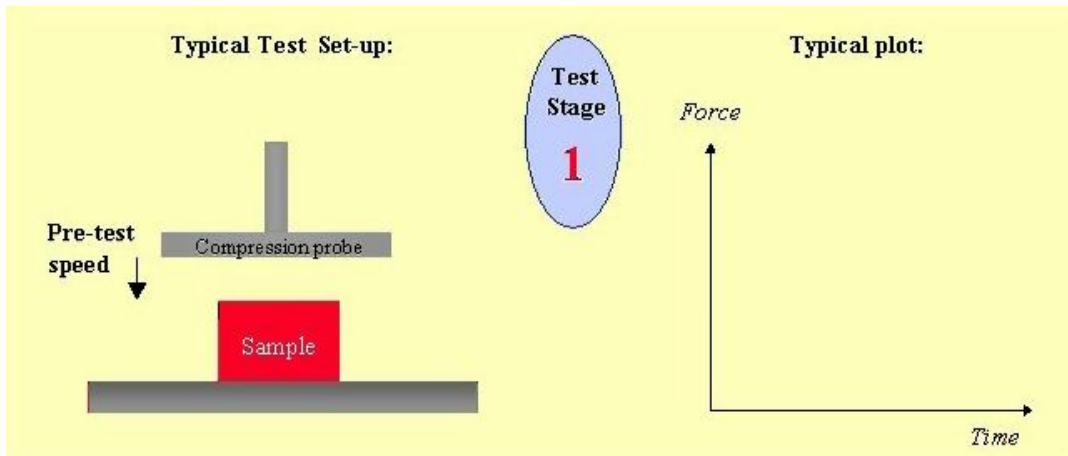


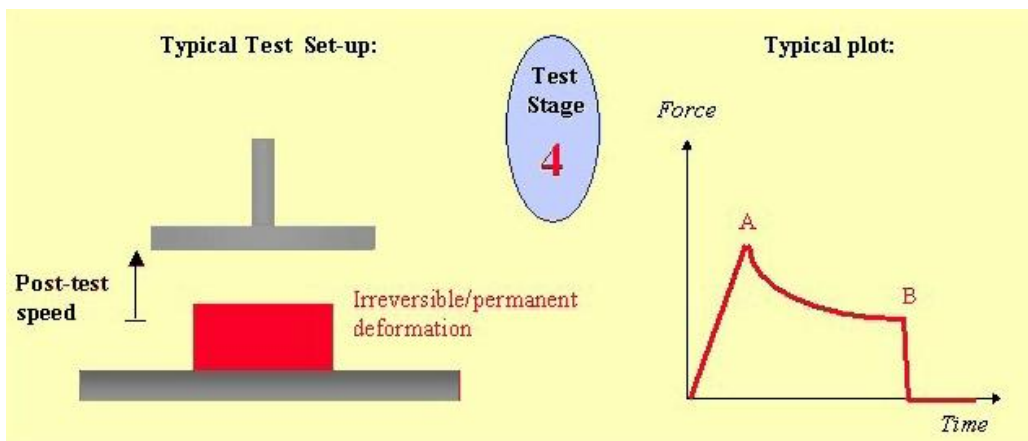
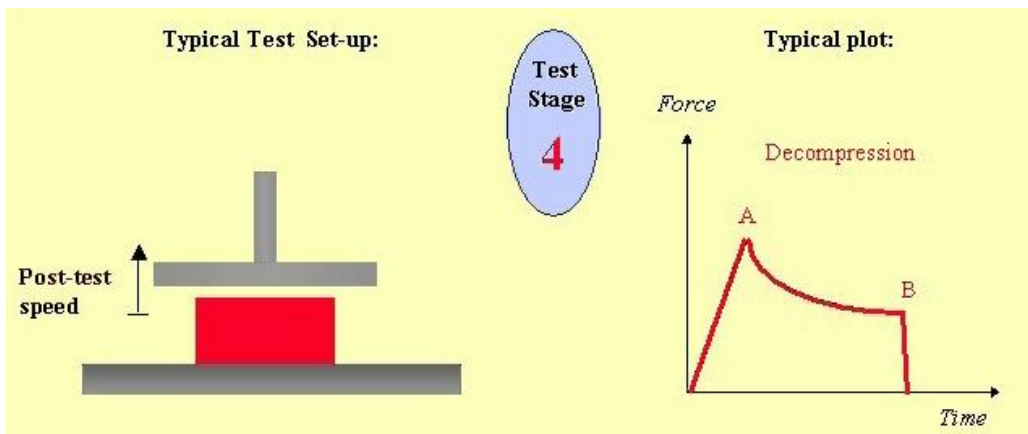
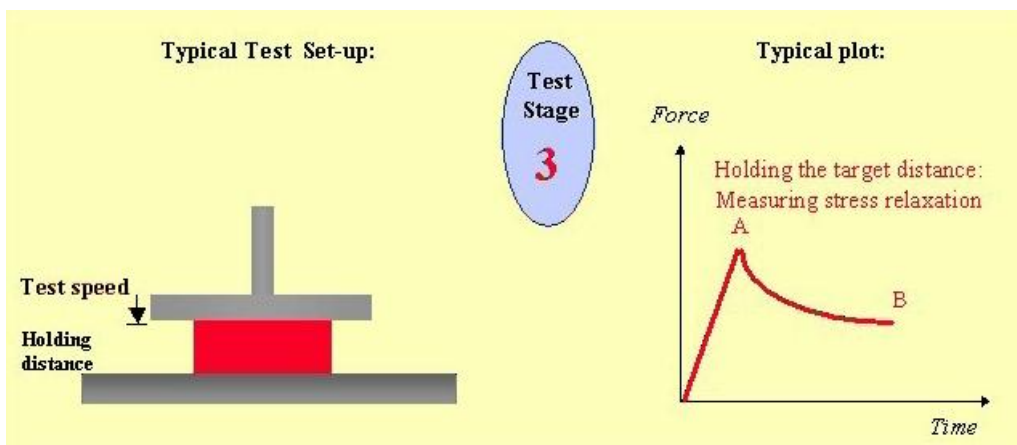
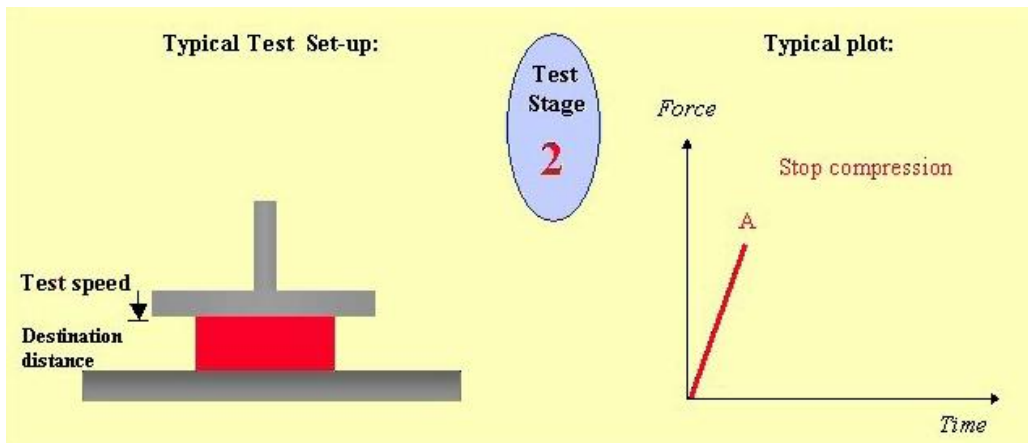
Test Stage
4

Typical plot:



PŘÍLOHA P IV: PRŮBĚH STRES-TESTU [28]





PŘÍLOHA V: PRŮBĚH TESTU TEXTURNÍ PROFILOVÉ ANALÝZY

[28]

