

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Výzkumné centrum DRIFT-FOOD



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Mléčné výrobky pro konzumenty se specifickými
potřebami**

Bakalářská práce

Tranová Thi Phuong Thanh

Výživa a potraviny

Ing. Iveta Klojdová, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Mléčné výrobky pro konzumenty se specifickými potřebami" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 24. 4. 2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala své vedoucí bakalářské práce, paní Ing. Ivetě Klojdové, Ph.D., za její odborné vedení, cenné rady a povzbuzení, které byly během celého procesu zpracování práce nenahraditelné.

Mléčné výrobky pro konzumenty se specifickými potřebami

Souhrn

Stále více lidí se potýká s alergiemi a intolerancí některých složek potravin. Mléčné výrobky jsou skupinou, na kterou se nežádoucí reakce mohou objevit celkem často, a to především u citlivých jedinců. Nejběžnější intolerancí je intolerance laktózy. Především novorozenci trpí též alergiemi na mléčné bílkoviny a jejich strava pak musí být upravena. Hlavním cílem této bakalářské práce je zhodnocení současného stavu této problematiky, experimentální příprava mléčných výrobků vhodné pro osoby s laktózovou intolerancí a zhodnocení fyzikálních vlastností připravených výrobků.

Klíčová slova: intolerance, alergie, mléčné výrobky, funkční výrobky, lactose-free

Dairy products for people with specific needs

Summary

More and more people are struggling with allergies and intolerances to certain food components. Dairy products are a group to which adverse reactions can occur quite frequently, especially in sensitive individuals. The most common intolerance is lactose intolerance. Newborn babies in particular also suffer from milk protein allergies and their diets must then be modified. The main aim of this bachelor thesis is to evaluate the current state of the issue, experimental preparation of dairy products suitable for people with lactose intolerance and evaluation of physical properties of the prepared products.

Keywords: intolerances, allergies, dairy products, functional products, lactose-free

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce.....	9
3	Literární rešerše.....	10
3.1	Mléko a mléčné výrobky.....	10
3.1.1	Složení mléka a jeho význam ve výživě.....	10
3.1.2	Vybrané druhy mléčných výrobků a jejich význam ve výživě.....	10
3.1.2.1	Fermentované mléčné výrobky	11
3.1.2.2	Sýry	11
3.1.2.3	Máslo.....	11
3.2	Problematika konzumace mléčných výrobků	12
3.3	Alergie na mléčné bílkoviny	12
3.3.1	Potravinová přecitlivělost	12
3.3.2	Patogeneze	12
3.3.3	Historie.....	13
3.3.4	Projevy alergie na mléčné bílkoviny	13
3.3.5	Nejčastější alergeny	14
3.3.5.1	Kasein.....	15
3.3.5.2	Syrovátkové bílkoviny	15
3.3.6	Prevalence	16
3.3.7	Metody diagnostiky alergie na bílkoviny kravského mléka	17
3.4	Alergie na mléčné bílkoviny u dětí a kojenců.....	17
3.4.1	Management.....	17
3.4.1.1	Hydrolyzované formule z kravského mléka.....	18
3.4.1.2	Sójové formule	18
3.5	Laktózová intolerance.....	19
3.5.1	Definice.....	19
3.5.2	Laktóza a laktáza	20
3.5.3	Typy laktázové deficience	20
3.5.3.1	Primární deficience laktázy	20
3.5.3.2	Sekundární deficience laktázy.....	20
3.5.3.3	Kongenitální deficience laktázy	21
3.5.3.4	Vývojová deficience laktázy	21
3.5.4	Prevalence	21
3.5.5	Diagnóza	21
3.5.6	Rozdíly mezi intolerancí laktózy a alergií na kravské mléko	22

3.5.7	Management	23
3.5.7.1	Bezlaktózové mléčné produkty.....	24
3.5.7.2	Potravinové doplňky s obsahem enzymu laktáza	24
3.5.7.3	Fermentované mléčné výrobky a probiotika	24
3.5.8	Zdravotní aspekty bezlaktózových mléčných výrobků	25
4	Metodika.....	26
4.1	Příprava jogurtů ze standardního a bezlaktózového mléka	26
4.2	Měření texturních vlastností	26
4.3	Synereze a měření pH	26
4.4	Měření reologických vlastností	26
4.5	Měření velikosti částic	26
5	Výsledky	28
5.1	Vyhodnocení texturních vlastností	28
5.2	Synereze a pH	28
5.3	Vyhodnocení viskozitní křivky	29
5.4	Vyhodnocení velikosti částic	32
5.5	Vyhodnocení komerčních jogurtů	32
6	Diskuze	35
7	Závěr.....	37
8	Literatura.....	38

1 Úvod

V posledních letech se stále více lidí potýká s alergiemi a intolerancí na různé složky potravin. Mezi potraviny, které poměrně často vyvolávají nežádoucí reakce, patří mléčné výrobky, a to především u citlivých jedinců. Nejčastějším problémem je intolerance laktózy, která se může projevovat u osob všech věkových kategorií, nejčastěji však u dospělých. U novorozenců se pak můžeme setkat s alergiemi na mléčné bílkoviny, které vyžadují specifickou úpravu stravy.

Tato práce obsahuje teoretickou a experimentální část. V teoretické části je provedena rešerše dostupných informací o problematice intolerance laktózy a alergie na mléčné bílkoviny. Zaměřuje se na příčiny, symptomy, diagnostiku a možnosti stravování osob s těmito potížemi. V experimentální části jsou připraveny klasické jogurty a bezlaktózové jogurty z kravského mléka. Jsou zde hodnoceny fyzikální vlastnosti těchto jogurtů jako je pH, viskozita, textura a velikost částic. Kromě výroby a hodnocení vlastních jogurtů se tato práce zabývá i měřením fyzikálních vlastností komerčních jogurtů.

Výsledky práce by mohly přispět k rozšíření nabídky mléčných výrobků pro osoby s intolerancí na laktózu a tímto způsobem zlepšit jejich kvalitu života.

2 Cíl práce

Intolerance laktózy je stále častějším problémem, který postihuje osoby všech věkových kategorií. Pro osoby s intolerancí na laktózu může být konzumace běžných jogurtů ve větším množství obtížná, jelikož obsahují laktózu, která u nich vyvolává nepříjemné symptomy.

Na fyzikální vlastnosti bezlaktózových jogurtů není příliš mnoho studií, a proto jsem se rozhodla pro toto hodnocení v experimentální části bakalářské práce.

Cílem této práce bylo zhodnocení současného stavu problematiky intolerance laktózy a alergie na mléčné bílkoviny. Porovnání vlastností jogurtů ze standardního mléka, jogurtů z bezlaktózového mléka a komerčních jogurtů, které by byly vhodné pro osoby s intolerancí na laktózu.

3 Literární rešerše

3.1 Mléko a mléčné výrobky

Mléko je produktem mléčné žlázy samic savců. V prvních fázích života savců představuje nejdůležitější zdroj všech potřebných živin pro jeho správný vývoj. Obsahuje nutričně významné látky, kterými jsou bílkoviny, lipidy, vitaminy, vápník a další minerální složky. Nejrozšířenějším druhem mléka v kontextu lidské spotřeby je mléko kravské (Cimmino et al. 2023).

3.1.1 Složení mléka a jeho význam ve výživě

Největší zastoupení má voda, která tvoří 87,5 % a 12,5 % připadá na sušinu. Kromě vody obsahuje mléko mnoho živin, včetně bílkovin, tuků, laktózy, minerálů a vitamínů.

Významnou složkou mléka jsou bílkoviny. Typický obsah bílkovin je 3,2–3,4 %. Tento obsah lze rozdělit na dvě hlavní skupiny bílkovin, kterými jsou kasein a syrovátkové bílkoviny. Kasein tvoří asi 80 % bílkovin v mléce, zatímco syrovátkové proteiny jsou odpovědné za zbývajících 20 %. Mléko je považováno za potravinu s vysokou biologickou hodnotou. Biologická hodnota bílkovin v mléce znamená, že mléko poskytuje kompletní soubor esenciálních aminokyselin, které jsou nezbytné pro syntézu proteinů v lidském těle. To činí mléko i mléčné výrobky významným zdrojem kvalitních bílkovin a často jsou doporučovány pro výživu dětí a mládeže, těhotných a kojících žen a dalších skupin s vysokými potřebami bílkovin (Comerford et al. 2024).

Hlavním zdrojem energie v mléce je disacharid laktóza složená z jedné molekuly glukózy a jedné molekuly galaktózy. Obsah laktózy se pohybuje okolo 4,8 %. Významné využití laktózy se nachází u bakterií mléčného kvašení, které jsou základním technologickým procesem výroby fermentovaných mléčných výrobků a sýrů (Huppertz 2017).

V mléce je mléčný tuk obsažen v rozmezí 3,7–4 % a je dispergován ve formě tukových kuliček. Mléčný tuk hraje významnou roli v lidské výživě a poskytuje několik důležitých živin. Je nositelem vitamínů rozpustných v tucích (A, D, E, K). Obsahuje nezbytné mastné kyseliny. Mléčný tuk přispívá k chuti a textuře mléčných výrobků, což může zvyšovat atraktivitu potravin a zlepšovat jejich chuťové vlastnosti.

Mléko je přirozeně bohatým zdrojem minerálních látek. Je známý hlavně díky značnému množství vápníku a jeho vysoké využitelnosti (až 30 %) (Kaushik et al. 2014). Kromě vápníku jsou v mléce též přítomny ve větším či menším množství další minerály nebo stopové prvky.

3.1.2 Vybrané druhy mléčných výrobků a jejich význam ve výživě

Mléčné výrobky hrají důležitou roli v lidské výživě, protože poskytují nejen základní živiny, jako jsou vysoce kvalitní bílkoviny, tuk, laktóza a minerální látky, ale také různé fyziologicky aktivní sloučeniny, jako jsou vitaminy, bioaktivní peptidy a antioxidanty (Paszczyk 2022).

3.1.2.1 Fermentované mléčné výrobky

Mezi nejčastější fermentované mléčné výrobky patří jogurt, zakysaná smetana, podmásli a kefir (Savaiano & Hutkins 2021). Fermentace je pravděpodobně jednou z nejstarších metod konzervace (Bintsis & Papademas 2022). Dle Savaiano & Hutkins (2021) je konzumace jogurtů a dalších fermentovaných produktů spojena s kladným efektem na lidské zdraví. Bylo popsáno, že fermentované mléčné výrobky mají pozitivní vliv na lidský trávicí systém a podílejí se také na kontrole hladiny sérového cholesterolu.

Dnes jsou fermentované potraviny obecně definovány jako potraviny nebo nápoje vyrobené řízeným mikrobiálním růstem a enzymatickou přeměnou hlavních a vedlejších složek potravin. Ve fermentovaných mléčných produktech jsou bílkoviny částečně degradovány působením bakteriálního proteolytického systému. Obsah laktózy je mikrobiálně přeměněn na kyselinu mléčnou a další látky. Mléčná bílkovina i laktóza jsou tedy ve fermentovaných mléčných produktech stravitelnější (Savaiano & Hutkins 2021).

3.1.2.2 Sýry

Sýry mají dlouhou historii v lidské stravě. Přispívají podstatným množstvím důležitých živin, zejména proteiny, bioaktivní peptidy, aminokyseliny, tuky a mastné kyseliny. (Walther et al. 2008).

Hlavním krokem při výrobě sýra je koagulace kaseinu působením vhodného koagulačního činidla a poté oddělení sraženého mléka od syrovátky. Henning et al. (2006) uvádí, že postupné odbourávání kaseinu během zrání sýru zvyšuje jeho stravitelnost. Sýr je dobrým zdrojem vitaminů rozpustných v tucích a některých stopových prvků, zejména vápník, fosfor a hořčík. Jejich obsah se však liší na druhu sýra a použitím způsobu výroby (M. Zhang et al. 2023).

Sýry jsou mléčné výrobky s přirozeně nízkým obsahem laktózy. Většina laktózy se vyloučí se syrovátkou během zpracování a přípravy sýra. U tvrdých a polotvrdých sýrů se zbývající laktóza během procesu zrání sýrů nadále přeměňuje na kyselinu mléčnou, jsou tak vhodnými zdroji vápníku pro konzumenty s intolerancí na laktózu (Li et al. 2023).

3.1.2.3 Máslo

Máslem se rozumí emulze mléčného tuku a vody, která se získává stloukáním smetany. Máslo je jedním z významných zdrojů tuků ve výživě člověka. Klasické máslo obsahuje minimálně 80 % mléčného tuku, zbytek tvoří voda (do 16 %) a mléčná sušina (bílkoviny, laktóza).

Máslo má vysoký obsah nasycených tuků, což je spojováno se zvýšeným rizikem kardiovaskulárních onemocnění a dalších zdravotních problémů při nadměrné konzumaci. Vědecké poznatky o vlivu konzumace másla na zdraví ukazují, že jeho spojení s úmrtností na srdeční choroby a cukrovku 2. typu je spíše malé nebo žádné (Pimpin et al. 2016). Je důležité vzít v úvahu, jak a v jakém množství se máslo konzumuje. Je dobrým zdrojem vitaminů rozpustných v tucích, jako je vitamin A, D, E a K, a také esenciálních mastných kyselin.

3.2 Problematika konzumace mléčných výrobků

Potravinové intolerance a alergie jsou čím dál rozšířenější, tudíž i intenzivně diskutovaným tématem v nutričním a potravinářském odvětví. Potravinovou intoleranci, což je souhrnné označení pro všechny nežádoucí reakce na určité složky potravin, je třeba odlišovat od alergie, imunitní reakce na bílkoviny v potravinách.

Kravné mléko je jednou z nejčastějších příčin potravinových alergií a intolerancí, zejména u malých dětí. První potravinovou alergií pozorovanou u dětí je obvykle alergie na bílkovinu kravného mléka a její výskyt se pohybuje od 2 % do 7,5 %. Více než 70 % dospělé světové populace trpí intolerancí laktózy v důsledku nízké hladiny střevní laktázy (Karunakaran 2024).

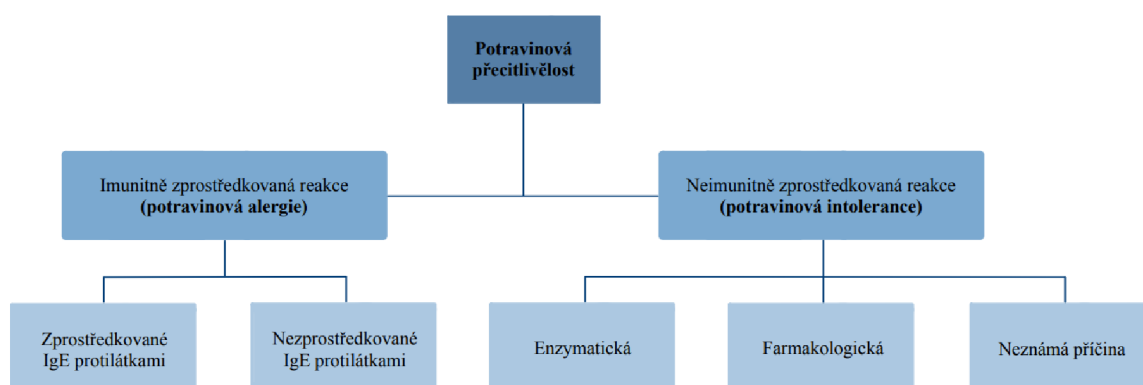
3.3 Alergie na mléčné bílkoviny

3.3.1 Potravinová přecitlivělost

Johansson et al. (2001) definovali jakoukoli nežádoucí reakci na potraviny jako přecitlivělost na potraviny, kterou lze rozdělit na imunitně zprostředkované reakce (potravinová alergie) a neimunitně zprostředkované reakce (potravinová intolerance).

Alergické reakce na potraviny lze obecně rozdělit na reakce zprostředkované IgE protilátkami (s okamžitým nástupem) a reakce nezprostředkované IgE protilátkami (s opožděným nástupem). Reakce zprostředkované IgE protilátkami jsou většinou velmi prudké a vyvolány již malým množstvím kravného mléka. U reakcí nezprostředkovaných IgE protilátkami většinou nemá reakce tak prudký nástup. Přehledná klasifikace potravinové přecitlivělosti je znázorněna na Obrázku 1.

Mnoho lidí označuje opožděné, non-IgE zprostředkované reakce na kravné mléko jako intoleranci kravného mléka, což mylně naznačuje neimunitně zprostředkovaný mechanismus a také představuje riziko záměny s intolerancí laktózy.



Obrázek 1: Nomenklatura potravinové přecitlivělosti.

Zdroj: upraveno podle Vandenplas et al. 2024.

3.3.2 Patogeneze

Alergické reakce dle převažujícího mechanismu dělíme na IgE zprostředkované a non-IgE. U IgE zprostředkovaných reakcí dochází po opakovaném setkání s alergenem

k senzibilizaci a produkci specifických IgE protilátek. Ty po vazbě na Fc receptor (Epsilon) aktivují efektorové buňky, zejména žírné buňky, které uvolňují různé bioaktivní látky, jako je histamin, serotonin a další, což vede k charakteristickým projevům alergického zánětu. Tyto reakce obvykle probíhají během několika desítek minut po kontaktu s alergenem.

Specifické IgE protilátky se mohou detekovat v lidském séru alergických pacientů, což je využíváno při diagnostice. Nejčastěji se stanovují protilátky proti kaseinu a syrovátkovým proteinům (α -lactalbumin a β -lactoglobulin), přičemž protilátky proti kaseinu jsou často spojovány s horší prognózou a závažnějšími reakcemi.

Přestože patofyziologie non-IgE alergických reakcí nebyla zcela objasněna, předpokládá se centrální úloha T lymfocytů. Pro diagnostiku non-IgE alergických reakcí nejsou k dispozici specifická laboratorní vyšetření. K definitivnímu potvrzení obou typů alergických reakcí je často nutné provést expoziční test (Martorell-Aragonés et al. 2015).

3.3.3 Historie

Kravské mléko jako součást výživy člověka má velmi dlouhou tradici. Uvádí se, že živočišné mléko bylo zařazeno do lidské stravy přibližně před 9000 lety. Domestikace skotu poskytla maso a mléko jako důležité složky naší stravy (McGee 2004).

S výrobou sýrů začali již starověcí Řekové a Římané (du Toit et al. 2010). První nežádoucí reakce na kravské mléko, které byly popsány Hippokratem (před rokem 370 př. n. l.), byly kožní a gastrointestinální příznaky po konzumaci kravského mléka (Cantani 2008).

Ve 30. a 40. letech 20. století byla alergie na kravské mléko považována za vzácné onemocnění, ale s poklesem kojení ve většině vyspělých zemí se alergie na kravské mléko stala podstatnou příčinou onemocnění kojenců a jedním z nejznámějších a nejčastěji se vyskytujících problémů v současné praxi kojenecké výživy (Savilahti 1981).

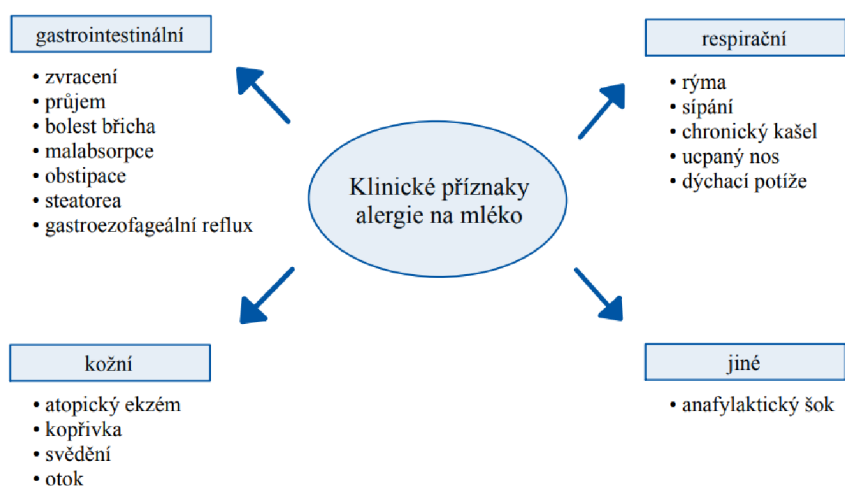
3.3.4 Projevy alergie na mléčné bílkoviny

Alergie na bílkovinu kravského mléka je považována za nejčastější potravinovou alergii v raném věku a může v těžkých případech způsobit anafylaktické reakce. Kravské mléko obsahuje více než 20 bílkovin (alergenů), které mohou způsobit alergické reakce (Gjesing et al. 1986). K takové reakci může dojít při kontaktu mezi cizím proteinem „alergenem“ a tělesnými tkáněmi, které jsou na to citlivé. Alergie může proniknout do tkání přímým stykem s kůží nebo sliznicemi, nebo se může dostat do krevního oběhu po absorpci. Alergické reakce mohou vyvolat různé symptomy, jako jsou kožní vyrážky, respirační problémy, gastrointestinální obtíže nebo dokonce vážné systémové reakce, jako je anafylaxe (Sicherer 2000). Tyto reakce se mohou lišit v závislosti na typu alergenu a citlivosti jednotlivce. Alergie jsou klasifikovány do různých typů podle imunitních mechanismů a časování reakce. El-Agamy (2007) je klasifikuje do dvou typů – typ okamžité reakce a typ opožděné reakce. Při typu okamžité reakce se alergické projevy objevují během několika hodin od kontaktu pacienta s alergenem a často i během několika sekund nebo minut. Projevy typu opožděné reakce se nemusí objevit po mnoha hodin nebo dokonce po dvou nebo třech dnech.

Dle Taylor (1986) se mohou běžné klinické příznaky alergie na mléko u kojenců a dospělých lišit a mohou zahrnovat:

1. Gastrointestinální příznaky: Mohou zahrnovat bolest břicha, průjem, zvracení a gastrointestinální potíže.
2. Respirační příznaky: Mohou se objevit příznaky jako sípání, kašel, ucpaný nos a dýchací potíže.
3. Kožní příznaky: Mohou se objevit kožní reakce jako kopřivka, ekzém, svědění nebo otok.
4. Systémové anafylaktické příznaky: V závažných případech mohou jednotlivci zaznamenat systémové reakce, jako je anafylaxe, která může zahrnovat potíže s dýcháním, otok hrdla, pokles krevního tlaku, a dokonce ztrátu vědomí.

Je důležité si uvědomit, že závažnost a kombinace příznaků se může u jedinců s alergií na mléko lišit. Příznaky přehledně znázorňuje Obrázek 2 níže.



Obrázek 2: Klinické příznaky alergie na mléčné bílkoviny.

Zdroj: upraveno podle Taylor 1986.

3.3.5 Nejčastější alergeny

Kravné mléko obsahuje mnoho různých bílkovin, které mohou vyvolat alergické reakce, v Tabulce 1 a na Obrázku 1 je uveden stručný přehled alergenů. Kravné mléko obsahuje dvě hlavní skupiny bílkovin: kasein a syrovátkové bílkoviny. Kasein, který tvoří asi 80 % celkového obsahu bílkovin v mléce, se skládá ze čtyř proteinových frakcí: α_{s1} - (32 %), α_{s2} - (10 %), β - (28 %) a κ -kasein (10 %). Sirovátkové bílkoviny, zahrnující α -laktalbumin a β -laktoglobulin, pak tvoří zbývající podíl bílkovin v mléce (du Toit et al. 2010).

Tabulka 1: Významné alergeny vyskytující se v kravném mléku.

	Biochemický název	Označení alergenu	Koncentrace (g/l)	Výskyt (%)	Teplotní stabilita
Sirovátkové bílkoviny (20 %) (~5 g/l)	α -laktalbumin	Bos d 4*	1–1,5	0–67	(+)
	β -laktoglobulin	Bos d 5*	3–4	13–62	–
	sérový albumin	Bos d 6*	0,1 – 0,4	0–76	–
	imunoglobuliny	Bos d 7*	0,6 – 1	12–36	(+)
	laktoferin	Bos d lactoferrin*	0,09	0–35	–

	Biochemický název	Označení alergenu	Koncentrace (g/l)	Výskyt (%)	Teplotní stabilita
Kasein (80 %) (~30 g/l)	α S1-kasein	Bos d 9*	12–15	65–100	+
	α S2-kasein	Bos d 10*	3–4		+
	β -kasein	Bos d 11*	9–11	35–44	+
	κ -kasein	Bos d 12*	3–4	35–41	+

+ vysoká, (+) nepatrná, – nízká

*Označení alergenu je odvozeno od *Bos taurus domesticus* (tur domácí).

Zdroj: upraveno podle Hochwallner et al. 2014; Jäger et al. 2008.

3.3.5.1 Kasein

Kasein se seskupuje do tzv. kaseinových micel, kulových částic o velikosti 50-300 nm. Spojování kaseinových micel zabraňuje κ -kasein, který není citlivý na vápenaté ionty a nachází se v povrchové vrstvě micely (Kadlec et al. 2009). Kasein slouží k ukládání a transportu vápníku a fosfátů v mléce (Reese & Lange 2017). Kasein má v mléce několik důležitých funkcí. Jednou z nich je poskytovat zdroj bílkovin pro rostoucí mláďata, která jsou nezbytná pro jejich růst a vývoj. Kromě toho má kasein vlastnosti, které umožňují jeho koagulaci nebo srážení za určitých podmínek, což je klíčový proces při výrobě sýrů a dalších mléčných výrobků. Je málo rozpustný ve vodě a má tendenci tvořit gelovité struktury, což ovlivňuje texturu a konzistenci potravin. Kasein se běžně používá v potravinářském průmyslu jako zahušťovadlo nebo stabilizátor. Všechny frakce kaseinu sdílejí společné biofyzikální vlastnosti, příkladem je odolnost vůči tepelnému záhřevu (Jäger et al. 2008).

Pro konzumenty je kasein také zajímavý jako zdroj bílkovin v potravinách a doplňcích stravy. Je známý svou pomalou absorpcí, což může vést k dlouhodobému zásobování a udržení svalové hmoty (Antonio et al. 2017). Kasein obsahuje všechny esenciální aminokyseliny, vyjma cysteinu, což mu dává vysokou biologickou hodnotu (McGregor & Poppitt 2013; Kim 2020).

3.3.5.2 Syrovátkové bílkoviny

Mezi významné syrovátkové bílkoviny patří α -laktalbumin a β -laktoglobulin. Kromě těchto látek se zde vyskytují i minoritní bílkoviny, kterými jsou například sérový albumin, imunoglobuliny a laktoferin.

Na rozdíl od kaseinu jsou termolabilní, tzn. při tepelném ošetření mléka nad 60 °C dochází k jejich denaturaci (Kadlec et al. 2009).

Syrovátkové bílkoviny jsou obecně rychleji stravitelné než kasein, což znamená, že se rychleji vstřebávají do krevního oběhu a poskytují tělu rychlý zdroj aminokyselin (Lacroix et al. 2006). Syrovátkové bílkoviny jsou často izolovány z mléka a používají se jako ingredience ve sportovní výživě, potravinářských doplňcích a jako proteiny v prášku. Jsou běžně používány v potravinářském průmyslu pro zvýšení obsahu bílkovin v potravinách a nápojích.

β -laktoglobulin je hlavní syrovátkovou bílkovinou většiny savců, ale v mléce člověka se nenachází. Tato mléčná bílkovina patří do skupiny lipokalinů, která váže hydrofobní ligandy, jako je cholesterol a vitamin D₂ (Kontopidis et al. 2004). Alergení potenciál této molekuly se

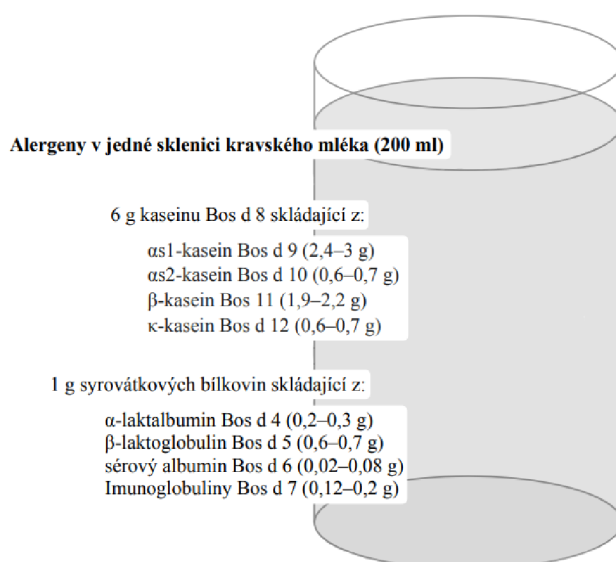
přisuzuje její vysoké stabilitě a skutečnosti, že β -laktoglobulin není přítomen v lidském mléce (Hochwallner et al. 2014).

α -laktalbumin je hlavním alergenem mléka, který způsobuje alergické reakce u kojenců (Hochwallner et al. 2010). Tento protein váže vápenaté kationty a je stabilizován disulfidovými můstky. Hraje důležitou roli při produkci laktózy (Permyakov & Berliner 2000). Hochwallner a kol. (2010) prokázali dobrou termostabilitu α -laktalbuminu, kterou přisuzovali jeho vlastnostem vázat vápník.

Sérový albumin je významný díky transportu, metabolismu a distribuci ligandů, a prevenci volných radikálů (Farrell et al. 2004). Tento alergen se vyskytuje jak v kravském mléce, tak i v hovězím masu. Martelli et al. (2002) uvádí, že většina dětí s alergií na hovězí maso je také alergická na kravské mléko a měla by se tedy vyhýbat konzumaci mléčných výrobků.

V mléce jsou také přítomny imunoglobuliny. Vyskytují se v pěti třídách: A, G, M, E a D. Během prvních dnů po porodu u savců obsahuje mateřské mléko bohaté množství imunoglobulinů. Tyto imunoglobuliny jsou přenášeny z matky na novorozence a poskytují jim pasivní imunitu, chrání je před infekcemi v době, kdy jejich vlastní imunitní systém ještě není plně vyvinutý. Jsou to jedna z mnoha složek, které činí mateřské mléko ideálním zdrojem výživy pro novorozence a kojence. Kravské mléko produkované v prvních dnech po otelení se označuje jako mlezivo či kolostrum.

U některých pacientů s alergií na kravské mléko byly zjištěny alergické reakce na laktoferin (Taylor 1986). Laktoferin je glykoprotein vázající železo (Fe^{3+}) a náleží do skupiny transferinů. Kromě funkce vycytávače volných radikálů a antioxidantu má také antimikrobiální vlastnosti a představuje obranu proti infekcím (Zhang et al. 2021).



Obrázek 3: Alergeny v jedné sklenici kravského mléka (200 ml).

Zdroj: upraveno podle Reese & Lange 2017.

3.3.6 Prevalence

Kravské mléko dnes patří mezi prvotní potraviny, které se zařazují do dětské výživy, a proto je jednou z prvních a nejčastějších příčin potravinové alergie v raném dětství. Její výskyt

se pohybuje od 2 % do 7,5 % (Karunakaran 2024). Prevalence alergie na kravské mléko se zvyšuje, což lze vysvětlit poklesem kojení a zvýšeným užíváním kojeneckých formulí na bázi kravského mléka. Je známo několik faktorů, které mohou zvyšovat riziko vzniku této alergie, tím jsou genetická predispozice k alergii (tj. atopie), časně přijímání malých množství kravského mléka a také faktory související se střevním mikrobiomem. Zajímavé však je, že u většiny kojenců alergie na kravské mléko vymizí. U dětí ve věku šesti let je prevalence méně než 1 % a u dospělých pouze 0,1–0,5 % (Verduci et al. 2019).

3.3.7 Metody diagnostiky alergie na bílkoviny kravského mléka

Klinická diagnóza alergie na mléko se značně liší vzhledem k četnosti příznaků. Diagnózu lze provést buď kožními, nebo krevními testy, případně oběma. Pozitivní krevní nebo kožní test se dosáhne pouze při okamžité alergické reakci na mléko, které se rozvinou po několika minutách. Tyto testy totiž detekují IgE, které se podílejí na reakci okamžitého typu.

Kožní prick test je považován za nejpřesnější test u malých dětí vykazující alergické symptomy (Majamaa et al. 1999). Pro provedení kožních prick testů neexistuje žádná konkrétní věková hranice. Tato flexibilita umožňuje poskytovatelům zdravotní péče používat jej napříč různými věkovými skupinami, včetně kojenců a malých dětí. Aby byl test klinicky spolehlivý, je nutné, aby pacient vykazoval silnou alergickou reakci (Majamaa et al. 1999). Během testu jsou pacientovi na předloktí umístěny kapky alergenních látek, jako jsou mléčné bílkoviny. Test detekuje protilátky IgE umístěné na povrchu žírných buněk, které jsou součástí imunitního systému a podílejí se na alergických reakcích. Po několika minutách v místě, kde byl aplikován alergen, se začne objevovat svrbivý pupínek. Tato reakce ukazuje na pozitivní výsledek, což v tomto případě naznačuje přítomnost alergie na bílkoviny kravského mléka.

K diagnostice se také používá eliminačně-expoziční test. V tomto testu je alergie na mléko potvrzena ve dvou krocích. Vyřazením mléka a mléčných výrobků z každodenní stravy se zlepšují klinické příznaky. Opětovným zařazením mléčné stravy se klinické příznaky znovuobjeví.

3.4 Alergie na mléčné bílkoviny u dětí a kojenců

3.4.1 Management

Základní léčba alergie na mléčné bílkoviny spočívá v přísné eliminaci mléka a mléčných výrobků ze stravy. V případě náhodné expozice lze použít různé možnosti léčebných postupů v závislosti na závažnosti klinických příznaků. Nicméně vyřazení mléka a mléčných výrobků z dětské stravy zvyšuje nutriční riziko u dětí, neboť mléko a mléčné výrobky mají význam jako plnohodnotné potraviny, hlavní zdroj bílkovin, tuků, vápníku, fosforu a vitamínu B₁₂ (Verduci et al. 2019).

Dle Fiocchi et al. (2016) je kojení matky nejlepší volbou, pokud se v tomto období vyskytne alergie na mléčné bílkoviny, poněvadž je mateřské mléko považováno za optimální zdroj výživy kojence. Dále uvádějí, že matky by měly být povzbuzovány ke kojení a není zapotřebí omezovat mléčné výrobky ve stravě, pokud se během kojení nevyskytnou příznaky. Pokud však kojení není možné nebo je nedostatečné, je u dětí mladších dvou let povinná náhrada vhodnou hypoalergenní mléčnou výživou.

3.4.1.1 Hydrolyzované formule z kravského mléka

Lze se setkat se dvěma hlavními skupinami hydrolyzovaných formulí z kravského mléka. První skupinou jsou extenzivně hydrolyzované formule (EHF) na bázi bílkovin kravského mléka, které jsou získány z kaseinu nebo syrovátkových bílkovin, a toleruje je přibližně 95 % pacientů s alergií na mléko. Druhou skupinu tvoří formule na bázi aminokyselin (AAF) a skládá se ze syntetizovaných volných aminokyselin, které jsou tolerovány většinou alergických pacientů (Bahna 2008).

EHF jsou hypoalergenní formule, kde jsou bílkoviny enzymaticky rozštěpeny na menší peptidy, které imunitní systém hůře rozpoznává. EHF se vyrábí především pomocí proteáz z různých zdrojů. Mezi ně patří trávicí enzymy jako pepsin, trypsin a chymotrypsin, dále rostlinné enzymy jako papain a bromelain, a mikrobiální zdroje proteáz jako alkaláza a subtilizin (Abd El-Salam & El-Shibiny 2021).

V současné době se pro výživu kojenců s diagnostikovanou alergií na mléčné bílkoviny doporučuje jako preferovaná formule EHF. Tyto formule jsou nejen dobře snášeny kojenci, ale rovněž poskytují dostatečnou výživu (Lajnaf et al. 2023).

Navzdory svým nesporným výhodám mají EHF i nevýhody. Jedním z hlavních problémů je jejich hořká chuť, která může být pro kojence nepříjemná. Hořkost je způsobena přítomností peptidů, které jsou menší než 1000 daltonů. Tyto peptidy obsahují hydrofobní aminokyseliny, a když se jejich aminoskupiny a karboxylové skupiny zapojí do peptidových vazeb, přispívají k nepříjemné chuti přípravku (Carvalho et al. 2019). Tato hořkost způsobuje, že formule EHF dětem nechutnají a mohou je i odmítat. Další nevýhodou přípravků EHF je jejich vysoká cena, která může představovat finanční zátěž pro rodiny, které je musí pravidelně nakupovat (Bahna 2008). EHF mohou v 5–10 % případů vyvolat alergické reakce v důsledku přítomnosti krátkých peptidových sekvencí s potenciálním rizikem nežádoucí imunopatologické reakce. Proto se nedoporučují dětem s těžkými alergickými reakcemi na bílkoviny kravského mléka nebo s anamnézou anafylaxe (Verduci et al. 2019).

Aminokyselinové preparáty poskytují zdroj bílkovin ve formě volných aminokyselin, a proto jsou považovány za zcela nealergenní mléčné formule. Dle Miraglia Del Giudice et al. (2015) jsou AAF vhodnými formulami pro kojence, které svými závažnými symptomy netolerují EHF. Nevýhodou opět je vysoká cena a hořká chuť (Bahna 2008). Miraglia Del Giudice et al. (2015) sensoricky hodnotili EHF, ze syrovátky a z kaseinu, a AAF. Tito autoři uvedli, že EHF ze syrovátkových bílkovin byly hodnoceny jako chuťově lepší než EHF z kaseinu a AAF. Jejich výsledky rovněž nasvědčovaly tomu, že se zvyšujícím se obsahem laktózy a alfa linolenové kyseliny se zlepšovala chutnost.

3.4.1.2 Sójové formule

Sójové formule mají stejné nutriční účinky jako EHF, ale jsou chutnější. Sójové formule se nedoporučují pro všechny případy alergie u kojenců, protože 17-47 % z nich mohou mít na sóju nežádoucí alergické reakce. Přibližně 53-83 % dětí s alergií na mléko je však schopno tolerovat formule na bázi sóji (Jaiswal & Worku 2022).

Kromě alergických reakcí obsahují sójové formule izoflavony, které se vyznačují estrogenním působením v těle dítěte či kojenců, což vede k vážným následným zdravotním

problémům, jako je např. snížení plodnosti u mužů a dřívější puberta u žen (Souroullas et al. 2018). Sójové formule mají také nutriční nevýhody, neboť vstřebávání minerálních látek a stopových prvků v nich může být nižší kvůli obsahu fytátů. Dnes jsou však fytáty ze sójových formulí téměř zcela odstraněny (Verduci et al. 2019).

V důsledku toho směrnice Evropské společnosti pro dětskou gastroenterologii, hepatologii a výživu (ESPGHAN) navrhuje sójové formule jako možnost druhé volby, dále je nedoporučuje podávat během prvních šesti měsíců života (Koletzko et al. 2012). U kojence s alergií na mléčné bílkoviny staršího šesti měsíců lze zvážit sójovou formuli, pokud EHF nepřijímá nebo netoleruje, nebo pokud existují silné preference rodičů (např. veganská strava). Kojenecká výživa na bázi sóji může být užitečnou alternativou v chudých zemích díky nižším nákladům a lepší chuťové přijatelnosti (Vandenplas, Meyer, et al. 2024).

3.5 Laktózová intolerance

3.5.1 Definice

Laktózová intolerance je stav, při kterém se po požití potravin obsahujících laktózu objevují gastrointestinální příznaky, jako je nadýmání, plynatost, křeče a bolesti břicha, často doprovázené průjmem a někdy i nevolností a zvracením. U dospělých se často zaměňuje s termínem laktózová maldigestce, avšak není vždy nutně spojena s tímto stavem (Szilagyi & Ishayek 2018). V tabulce 2 jsou uvedeny termíny, které se používají k popisu stavu trávení laktózy. Množství laktózy, které vyvolá příznaky, se u jednotlivých jedinců liší v závislosti na množství požití laktózy, stupni deficitu laktázy a formě potravinové látky, v níž je laktóza požitá (Heyman 2006).

Tabulka 2: Termíny používané pro popis stavu trávení laktózy.

Termín	Definice
Hypolaktázie	Nízká aktivita enzymu laktázy ve sliznici tenkého střeva.
Laktázová perzistence	Schopnost některých jedinců produkovat enzym laktázu i v dospělosti. Tato schopnost je podmíněná geneticky.
Laktázová non-perzistence	Stav, kdy se u jedince po kojeneckém věku snižuje produkce enzymu laktázy. Též je podmíněna geneticky.
Laktázová deficiencie	Snížení enzymu laktázy z jakékoli příčiny, ať už genetické nebo sekundární, jako je onemocnění nebo poranění sliznice tenkého střeva.
Laktázová malabsorpce	Nedostatečné vstřebávání laktózy v důsledku jejího špatného trávení, poněvadž laktózu nelze vstřebat v nestrávené formě.
Laktázová maldigestce	Neschopnost trávit laktózu z jakéhokoli důvodu, primární, ale i sekundární příčiny.
Laktázová intolerance	Nežádoucí příznaky vyplývající z požití laktózy, včetně plynatosti, nadýmání, křečí, průjmu a vzácně i zvracení. Laktázová intolerance se může vyskytnout i bez laktázové maldigestce.

Zdroj: upraveno podle Szilagyi & Ishayek 2018.

3.5.2 Laktóza a laktáza

Laktóza, mléčný disacharid složený z glukózy a galaktózy (Rosensweig 1969), se nachází především v mléce savců. O jejím výskytu v rostlinách se diskutuje (Toba et al. 1991). Vstřebávání laktózy vyžaduje aktivitu laktázy v tenkém střevě, která štěpí vazbu spojující dva monosacharidy. Laktáza se nachází v tenkém střevě a je lokalizována na koncích klků. Aktivita laktázy je nejvyšší při narození a po ukončení kojení klesá (Li et al. 2023).

Kdykoli požitá laktóza přesáhne schopnost střevní laktázy rozštěpit ji na jednotlivé monosacharidy, glukózu a galaktózu, přechází nestrávená laktóza do tlustého střeva. Nestrávená laktóza je metabolizována střevní mikrobiotou a přeměněna na mastné kyseliny s krátkým řetězcem (acetát, propionát, butyrát, laktát a mravenčan) a plyny (vodík, metan a oxid uhličitý), což způsobuje gastrointestinální potíže, jako jsou průjem, nadýmání a další příznaky.

3.5.3 Typy laktázové deficience

Existují čtyři kategorie deficience laktázy, které mohou vést k intoleranci laktózy. Jímž jsou primární deficience laktázy, sekundární deficience laktázy, kongenitální deficience laktázy a vývojová deficience laktázy.

3.5.3.1 Primární deficience laktázy

U primární deficience laktázy dochází k prudkému poklesu aktivity střevní laktázy, což ztěžuje trávení mléčných výrobků v pozdějším dětství nebo dospívání, a je tedy nejčastější příčinou laktózové intolerance (Heyman 2006). Primární deficience laktázy se také označuje jako hypolaktázie dospělého typu, laktázová non-perzistence nebo dědičný nedostatek laktázy. Odhaduje se, že primárním nedostatkem laktázy trpí 70 % světové populace (Di Costanzo & Berni Canani 2018). K této postupné ztrátě funkční laktázy dochází u většiny lidí mezi 3. a 5. rokem života (Heyman 2006). Dle McBean & Miller (1998) by tento stav neměl být považován za poruchu, ale za normální fyziologický vzorec u všech savců.

3.5.3.2 Sekundární deficience laktázy

Sekundární deficience laktázy je přechodný nedostatek laktázy, ke kterému dochází v důsledku poškození sliznice tenkého střeva způsobeného léky, nemocí, operací nebo radioterapií enterocytů (Savaiano & Levitt 1987). Všechny patologické stavy, které způsobují poškození tenkého střeva, mohou vyvolat snížení laktázové aktivity určující sekundární a přechodný nedostatek laktázy. Mezi onemocnění spojená se sekundární deficiencí laktázy patří například celiakie nebo Crohnova choroba. K sekundární deficienci může vést také radioterapie břicha nebo chemoterapie (Savaiano & Levitt 1987).

Heyman (2006) uvádí, že terapie sekundárního nedostatku laktázy způsobená onemocněním obvykle nevyžaduje vyloučení laktózy ze stravy, ale spíše léčbu příslušného onemocnění. Jakmile je primární problém vyřešen, lze výrobky obsahující laktózu normálně konzumovat.

3.5.3.3 Kongenitální deficiencie laktázy

Kongenitální (vrozená) deficiencie laktázy, je vzácná porucha, která byla zaznamenána pouze u několika kojenců (Lifshitz 1966). Postižení novorozenci trpí neřešitelným průjmem, jakmile je jim zavedeno mateřské mléko nebo kojenecká formule obsahující laktózu. Tato vrozená deficiencie je charakteristická nízkou, nebo zcela chybějící koncentrací enzymu laktázy v tenkém střevě (Gatti et al. 2008). Pokud není tento stav rychle rozpoznán a léčen, ohrožuje život novorozence kvůli dehydrataci. Řešení spočívá v jednoduchém odstranění laktózy ze stravy a nahrazení komerční bezlaktózovou formulí (Heyman 2006).

3.5.3.4 Vývojová deficiencie laktázy

Předčasně narození novorozenci mohou mít tzv. vývojovou deficienci laktázy, a to z důvodu ne plně vyvinuté střevní laktázy (Szilagyi & Ishayek 2018). Weaver et al. (1986) uvádějí, že do pěti dnů po narození je enzym plně k dispozici.

3.5.4 Prevalence

Nesnášenlivost laktózy je rozšířeným celosvětovým problémem. Schopnost dospělých trávit laktózu se stala důležitým tématem v genetice, lékařství a evoluci (Li et al. 2023). Geneticky podmíněná laktázová non-perzistence má proměnlivou prevalenci, která silně závisí na etnické skupině, jelikož je mnohem častější v jihoevropské populaci než v severoevropské. V severní a střední Evropě se fenotyp laktázové non-perzistence vyskytuje u 2–20 % celkové populace, zatímco ve středomořských zemích představuje přibližně 40 % populace, na většině území Afriky 65–75 % a až více než 90 % v Asii (Fassio et al. 2018).

Vzhledem k vysoké prevalenci laktázové deficiencie u dospělých osob představuje intolerancie laktózy v současnosti nedostatečně diagnostikovaný problém, který je často vyšetřován s výrazným zpožděním oproti nástupu příznaků. Tato skutečnost je ještě více zarážející ve srovnání s pozorností věnovanou jiným stavům zahrnující nežádoucí reakce na potraviny, jako je celiakie a potravinové alergie, které kumulativně postihují celkově pouze 5 % dospělé populace (Fassio et al. 2018).

Předpokládá se, že přetrvávání laktázy u laktázově perzistentní populace je důsledkem genetických mutací, ke kterým došlo před 3000–5000 lety v oblastech, kde mléko a mléčné výrobky tvořily významnou součást celkové stravy (Simoons 1978). Tato mutace mohla působit jako evoluční výhoda těchto ras, která umožnila lidem spoléhat se na mléko v dobách neúrody, a tak ho účinně trávit (Brown-Esters et al. 2012).

3.5.5 Diagnóza

Vzhledem k tomu, že při hydrolyzaci nevstřebané laktózy bakteriemi tlustého střeva vzniká vodík, se stal dechový vodíkový test nejpoužívanější metodou pro diagnostiku malabsorpce laktózy (Casellas et al. 2009). Test je založen na principu, že nevstřebaná laktóza v tlustém střevě je detekovatelná v plicním vylučování vodíku a dalších plynů (Arola 1994). Nadměrný nárůst vylučování vodíku v dechu po perorálním podání mléka nebo laktózy tak ukazuje na existenci laktázové intolerance. Použití dechového vodíkového testu v diagnostice malabsorpce laktózy je podporováno díky jeho jednoduchosti a nízké ceně a díky tomu, že

kvantifikuje množství nevstřebané laktózy v tenkém střevě (Bond & Levitt 1976). Falešně negativní nebo falešně pozitivní výsledky se mohou objevit v důsledku změn střevní mikrobioty, které souvisejí např. s užíváním antibiotik, bakteriálním přerůstáním tenkého střeva, poruchami střevní motility nebo nedostatkem bakterií produkujících vodík (Heyman 2006). Výsledky může ovlivnit také užívání aspirinu, kouření, spánek a cvičení (Swagerty et al. 2002).

Další metodou je laktózový toleranční test, který spočívá v měření glykémie před a po podání laktózy. Trávení laktózy způsobuje zvýšení glykémie a nepřítomnost tohoto zvýšení ukazuje na nedostatečné vstřebávání laktózy (Swagerty et al. 2002). Tento test se provádí zřídka kvůli nízké citlivosti a specifčnosti. Tyto chybné výsledky lze přisoudit době vyprazdňování žaludku, která se u jednotlivých pacientů liší, a metabolismu glukózy, který je rovněž subjektivní (Catanzaro et al. 2021; Domínguez Jiménez & Fernández Suárez 2014). Podle Goshal et al. (2009) by se laktózový toleranční test mohl používat spolu s dechovým vodíkovým testem. Mezi výhody laktózového intolerančního testu patří možnost diagnostikovat intoleranci laktózy i u osob, které mají střevní mikrobiotu, jež neprodukuje vodík, a které jsou proto negativní při dechovém vodíkovém testu. Důležité omezení však představuje diabetes mellitus. U pacientů s diabetem může po požití laktózy dojít ke zvýšení hladiny glukózy v krvi, a to i v případě intolerance (Catanzaro et al. 2021).

Existují i další testy jako je střevní biopsie, která provádí měření střevních enzymů. Pro hodnocení široké populace je však příliš invazivní. U dětí lze jako nepřímé ukazatele malabsorpce sacharidů použít test na nízké pH stolice značící acidifikaci. Další diagnostickou metodou mohou být i genetické testy (Szilagyi & Ishayek 2018).

3.5.6 Rozdíly mezi intolerancí laktózy a alergií na kravské mléko

U lidí často dochází k záměně intolerance laktózy a alergie na kravské mléko. Jak bylo vysvětleno výše, intolerance laktózy jsou nežádoucí příznaky vyplývající z požití laktózy, zatímco alergie na kravské mléko je jednou z nejčastějších forem potravinové alergie zejména v prvních letech života, jedná se tedy o odpověď imunitního systému. Hlavní rozdíly mezi intolerancí laktózy a alergií na kravské mléko jsou shrnuty v Tabulce 3.

Tabulka 3: Hlavní rozdíly mezi intolerancí laktózy (dospělého typu) a alergií na kravské mléko.

	Intolerance laktózy	Alergie na kravské mléko
Mechanismus	Nízká aktivita enzymu	Imunitně zprostředkovaná reakce
Nástup příznaků	5-6 let	Vrcholí během prvního roku života
Rozlišení	Nevratné	Tendence k ústupu v dětství (2-5 let)
Příslušná složka potravin	Laktóza, hlavní sacharid obsažený v mléce savců	Bílkoviny kravského mléka
Dávka vyvolávající symptomy	Gramy	Od nanogramů k miligramům
Gastrointestinální příznaky	Bolesti břicha, nevolnost, nadýmání, plynatost a průjem (méně často: zácpa, zvracení).	<i>IgE zprostředkované:</i> kopřivka; angioedém rtů, jazyka a patra; pruritus v ústech; nevolnost; kolikovitě bolesti břicha; zvracení; průjem. <i>Non-Ig zprostředkované:</i> zvracení, průjem, krev nebo hlen ve stolici, bolesti břicha, malabsorpce často spojená se špatným přibýváním na váze.
Extraintestinální příznaky	Bolesti hlavy, závratě, poruchy paměti a letargie.	<i>IgE zprostředkované:</i> kůže (akutní kopřivka nebo angioedém); dýchací systém (svědění nosu, kýchání, rýma, zánět spojivek, kašel, tlak na hrudi, sípání nebo dušnost); jiné (příznaky anafylaxe) <i>Non IgE zprostředkované:</i> atopický ekzém.
Dietní léčba	Dieta s nízkým obsahem laktózy	Dieta bez mléčných bílkovin

Zdroj: upraveno podle Di Costanzo & Berni Canani 2018.

3.5.7 Management

Nesnášenlivost laktózy může způsobovat nepříjemnosti, ale ve společnostech, kde strava obsahuje relativně málo mléčných výrobků, není považována za stav vyžadující lékařskou léčbu. V současné době jsou na trhu dostupné mléčné výrobky, které poskytují řešení tohoto problému. Přední zdravotnické instituce, jako je americký Národní institut zdraví (NIH), se obávají především toho, že intolerance laktózy může mít vliv na zdraví lidí, pokud jim brání v konzumaci dostatečného množství základních živin, jako je vápník a vitamin D. Vápník je nezbytný v každém věku pro růst a udržení kostí. Nedostatečný příjem vápníku u dětí a dospělých může vést k osteoporóze a dalším nepříznivým zdravotním důsledkům (Suchy et al. 2010).

Většina lidí s laktózovou intolerancí toleruje určité množství laktózy, a proto se nemusí mléku nebo mléčným výrobkům zcela vyhýbat. Mezi jednotlivci s intolerancí laktózy existují značné rozdíly v množství tolerované laktózy. Členové odborného týmu NIH uvádějí, že dospělí a dospívající s poruchou vstřebávání laktózy by mohli přijmout nejméně 12 g laktózy (množství laktózy v jedné sklenici mléka) bez příznaků nebo jen s mírnými příznaky (Hertzler et al. 1996, Suchy et al. 2010).

Postupné zavádění malého množství mléka nebo mléčných výrobků může některým lidem pomoci přizpůsobit se laktóze s menšími příznaky (Hertzler & Savaiano 1996). Lidé s intolerancí laktózy obecně lépe snášejí tvrdé sýry, jako jsou čedar nebo švýcarské sýry. Porce

43 g vyzrálého tvrdého sýra obsahuje méně než 1 g laktózy (Silanikove et al. 2015). Obsah laktózy v některých mléčných produktech lze porovnat v Tabulce 4.

Tabulka 4: Obsah laktózy v běžných mléčných produktech.

Produkt	Obsah laktózy (g/100 g produktu)
Mléko plnotučné	4,5
Mléko bezlaktózové	0,5
Jogurt	3,2
Máslo	4,0
Cottage	2,6
Mozzarella	1,5–2,0
Ricotta	4,0
Parmagiano Reggiano	0–0,9
Gorgonzola	0

Zdroj: upraveno podle Di Costanzo & Berni Canani 2018.

3.5.7.1 Bezlaktózové mléčné produkty

V současné době jsou na trhu dostupné bezlaktózové mléčné výrobky. Z výživového hlediska jsou totožné s běžným mlékem a mléčnými produkty. K docílení mléka bez laktózy výrobci ošetřují mléko enzymem laktázou, přičemž se jeho skladovatelnost nemění. Tento enzym rozkládá laktózu v mléce na dva stravitelné monosacharidy, tj. glukózu a galaktózu, a tím vytváří sladší chuť než běžné mléko.

3.5.7.2 Potravinové doplňky s obsahem enzymu laktáza

Pro osoby s intolerancí laktózy je možné použít potravinové doplňky ve formě tablet nebo kapek obsahující enzym laktáza, který zlepšuje trávení mléčných výrobků. Enzym laktáza obsažený v tabletách tráví laktózu v potravinách, čímž snižuje pravděpodobnost vzniku zažívacích příznaků.

3.5.7.3 Fermentované mléčné výrobky a probiotika

Jogurt je nejvíce konzumovaným fermentovaným mléčným výrobkem. Lze ho popsat jako hustý gelový produkt s nakyslou příchutí, který obsahuje všechny složky mléka se sníženým obsahem laktózy. Vyrábí se bakteriálním kvašením mléčné laktózy na kyselinu mléčnou, čímž dochází ke snížení pH. Tradičně se mléčný jogurt vyrábí za použití bakteriální kultury *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* a *Streptococcus thermophilus*. Jogurt je nutričně bohatý na bílkoviny, vápník, vitamin D, riboflavin, vitamin B6 a B12. Kromě typických startovacích kultur *Streptococcus thermophilus* a *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* mohou některé jogurty obsahovat další prospěšné bakterie známé jako probiotika. Bakterie *Bifidobacterium*, *Lactococcus lactis* a *Lactobacillus acidophilus* patří mezi probiotické druhy běžně používané ve fermentovaných mléčných výrobcích (Pachekrepapol et al. 2021).

Rozdílná intenzita laktózové intolerance u jedinců je způsobena jejich různorodou mikrobiotou tlustého střeva při fermentaci laktózy (Arola & Tamm 1994). V důsledku toho lze ke zmírnění příznaků intolerance použít mléčné výrobky, které obsahují aktivní kultury. Konzumace aktivních a živých kultur spolu s užíváním enzymu laktázy a probiotik by mohla být pro jedince s intolerancí na laktózu prospěšná (Ibrahim et al. 2021).

Probiotika obsahují laktázu a konzumace probiotik může být prospěšná při různých onemocněních včetně intolerance laktózy. Nejčastěji používanými probiotiky jsou laktobacily přítomné v jogurtech (Ouwehand et al. 2002). Zmírnění laktózové intolerance užíváním probiotik je všeobecně uznávaným zdravotním tvrzením (Ibrahim & Gyawali 2013). Ve studii Gilliland & Kim (1984) bylo pozorováno lepší trávení laktózy po požití jogurtu obsahující živé bakterie než po požití ohřátého jogurtu.

Montalto et al. (2006) uvádějí, že komerčně dostupný jogurt je účinný při snižování příznaků laktózové intolerance díky přítomnosti endogenní laktázové aktivity především dvou druhů bakterií mléčného kvašení (*Lactobacillus bulgaricus* a *Streptococcus thermophilus*).

Konzumace jogurtu u jedinců s laktózovou intolerancí vyvolá mírnější příznaky než konzumace mléka, a to především díky částečné hydrolýze laktózy, vysoké aktivitě laktázy v jogurtu a pomalejšímu střevnímu průchodu (Ibrahim et al. 2021). Ibrahim & Gyawali (2013) uvádějí, že během fermentace bakteriemi mléčného kvašení dochází ke snížení obsahu laktózy přibližně o 20–40 %.

3.5.8 Zdravotní aspekty bezlaktózových mléčných výrobků

Bezlaktózové mléčné výrobky mohou přinést výhody lidem s intolerancí laktózy, protože jim umožňují dopřát si chuť mléčných výrobků bez nepříjemných střevních příznaků způsobených požitím laktózy. Kromě výhod sníženého příjmu laktózy pro osoby s intolerancí na laktózu není pravděpodobné, že by bezlaktózové mléčné výrobky měly na lidský organismus odlišné nutriční účinky ve srovnání s běžnými mléčnými výrobky (Dekker et al. 2019). Ve studii Ercan et al. (1993) nebyl shledán žádný rozdíl v glykemické odpovědi pacientů s diabetem při konzumaci laktózy v porovnání s produkty trávení laktózy, tj. glukózou a galaktózou, avšak je důležité zvážit konzumované množství.

4 Metodika

V experimentální části práce byly připraveny jogurty ze standardního mléka a z bezlaktózového mléka. Následně byly změřeny fyzikální vlastnosti vyrobených jogurtů a komerčních jogurtů v obou variantách, tedy s obsahem laktózy a bez obsahu laktózy. Byly hodnoceny texturní vlastnosti, synereze, pH, reologické vlastnosti a distribuce velikosti částic. Výsledky byly zaznamenány v týdnu 0, týdnu 1, týdnu 2 a po měsíci skladování. Pro přesnější výsledky byla celá experimentální část provedena na dvě opakování a hodnoty byly zprůměrovány.

4.1 Příprava jogurtů ze standardního a bezlaktózového mléka

K přípravě jogurtu bylo použito mléko čerstvé polotučné značky Krajanka a mléko polotučné bez laktózy značky Meggle. Byla použita termofilní jogurtová kultura YoFlex Harmony, která obsahuje druhy *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus fermentum* a *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*.

Mléka byla zahřata na 45 °C. Do mlék bylo přidáno 0,05 g startovací kultury YoFlex. Mléka byla nalévána do kelímků po 30 g a nechala se kultivovat v termostatu o konstantní teplotě 45 °C po dobu 8 hodin. Vzniklé jogurty byly poté uloženy do lednice (4 °C), kde se nechaly vychladit po dobu 12 hodin.

4.2 Měření texturních vlastností

Byla hodnocena tvrdost gelu vzorků set jogurtů pomocí vtlačování válcové sondy o průměru 15 mm do hloubky 20 mm rychlostí 5 mm/s za pomoci textuometru (Shimadzu EZ-SX). Měření bylo započato při počátečním kontaktu sondy s povrchem vzorku (překonání síly 0,15 N) a vyhodnoceno pomocí softwaru Trapezium (Shimadzu).

4.3 Synereze a měření pH

Byla odebrána a zvážena uvolněná kapalina z gelu vzorků. Poté bylo měřeno pH vzorků pH-metrem Thermo Scientific Eutech.

4.4 Měření reologických vlastností

Reologické hodnocení vzorků set jogurtů bylo provedeno na přístroji MCR 72 (Anton Paar) po definovaném rozmíchání gelu pomocí špachtle: 10krát po směru a proti směru hodinových ručiček. Potřebné množství vzorku bylo měřeno pomocí geometrie deska – deska při teplotě 4°C. Byla měřena viskozitní křivka při postupném zvyšování smykové rychlosti z 0,1 na 100 s⁻¹.

4.5 Měření velikosti částic

Distribuce velikosti částic vzorků set jogurtů byla měřena metodou laserové difrakce pomocí přístroje Mastersizer 3000 (Malvern Instruments) ve vodném disperzním prostředí (absorpční index 1,33) po přechozím naředění jogurtů vodou (1:20). Refrakční index částic byl

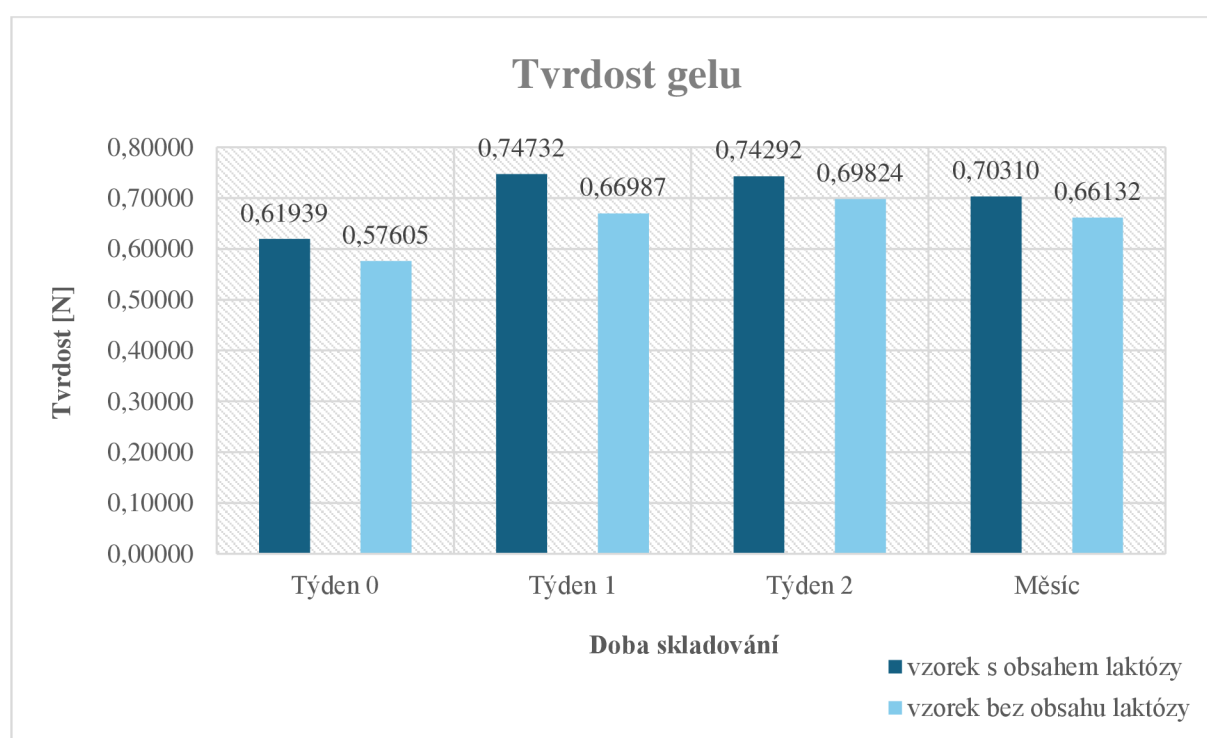
zvolen na hodnotu 1,46. Vyhodnocení měření bylo provedeno pomocí softwaru přístroje a velikost částic vyjádřena jako $D [4, 3]$.

5 Výsledky

V této kapitole jsou prezentovány výsledky experimentální části práce zaměřené na porovnání fyzikálních vlastností vzorků jogurtu klasického a jogurtu bezlaktózového a také komerčních jogurtů. Výsledky jsou prezentovány ve formě grafů.

5.1 Vyhodnocení texturních vlastností

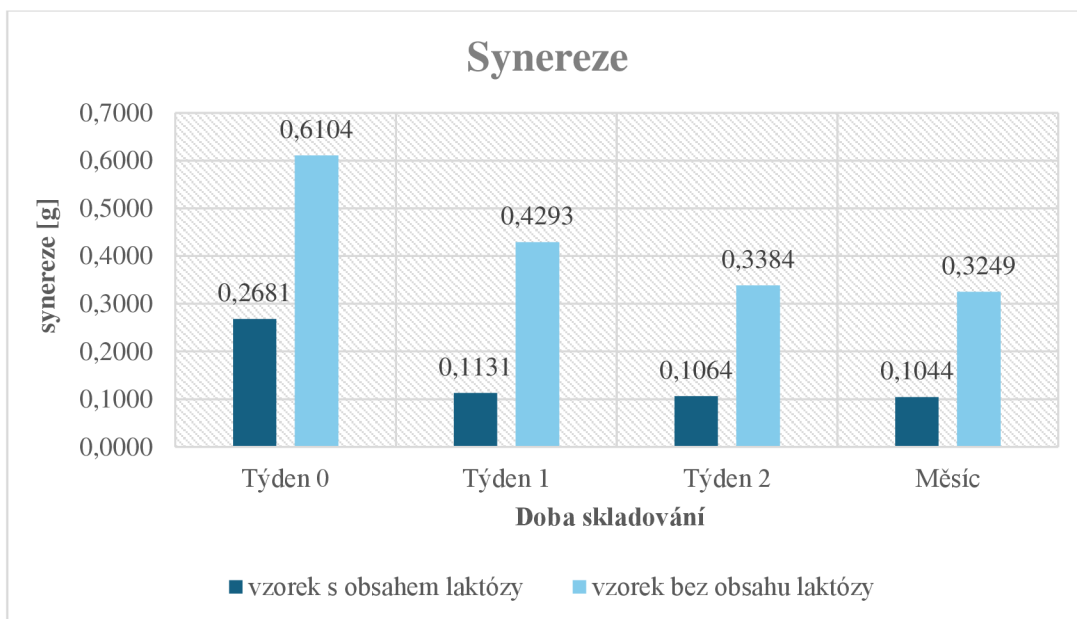
Výsledky texturní analýzy, konkrétně tvrdosti gelu, provedené na vzorcích jogurtů jsou uvedeny v grafu na Obrázku 4. Graf znázorňuje, jak se měnila tvrdost gelu jogurtů v průběhu skladování. Během skladování se tvrdost jogurtu postupně zvyšovala a po dvou týdnech zůstala relativně stabilní. Co lze dále vyzorovat, je nižší tvrdost gelu jogurtu bez laktózy oproti jogurtu klasickému.



Obrázek 4: Graf pro tvrdost gelu vzorků jogurtu.

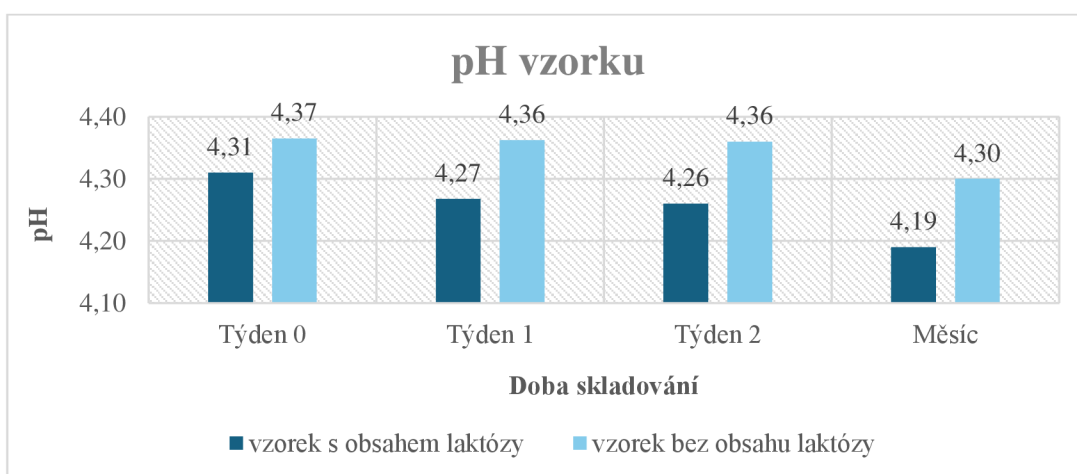
5.2 Synergeze a pH

Graf na Obrázku 5 znázorňuje uvolňování syrovátky z jogurtů s obsahem laktózy a jogurtů bez laktózy v závislosti na délce skladování. Bylo pozorováno postupné snižování uvolňované syrovátky u obou typů jogurtů během skladování. Jogurt bez laktózy uvolňoval významně více syrovátky než jogurt klasický v průběhu celého sledovaného období.



Obrázek 5: Graf pro synerezi gelu vzorků jogurtu.

Naměřené hodnoty pH jsou k vidění v grafu na Obrázku 6. Hodnoty pH jogurtů bez laktózy jsou výrazně nižší než hodnoty pH jogurtů klasických. Po měsíci skladování byl pozorován významný pokles pH u obou typů jogurtů ve srovnání s jejich počátečními hodnotami.

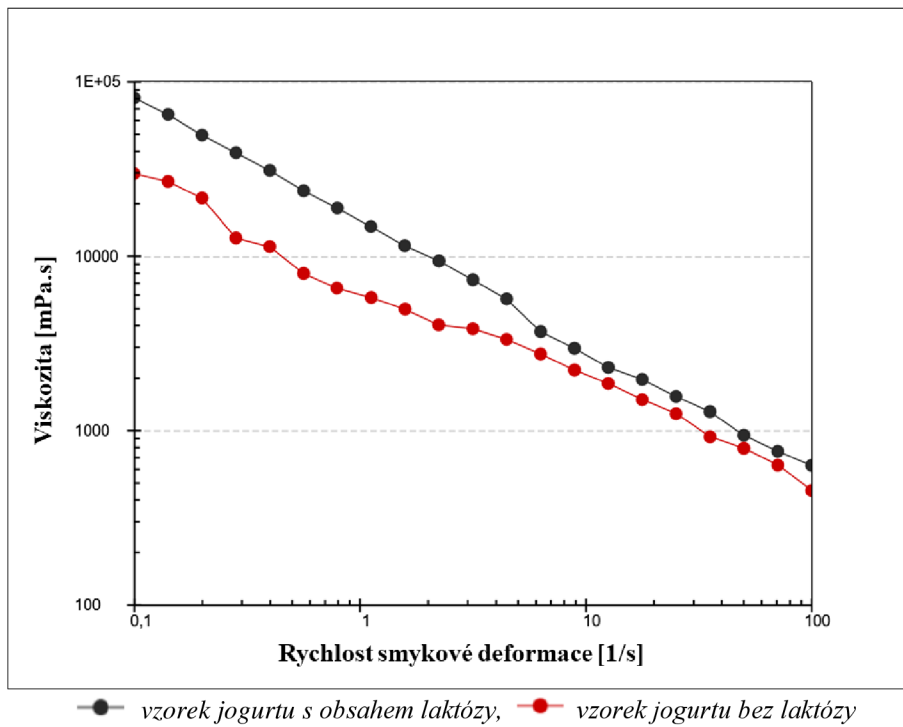


Obrázek 6: Graf pro pH vzorků jogurtu.

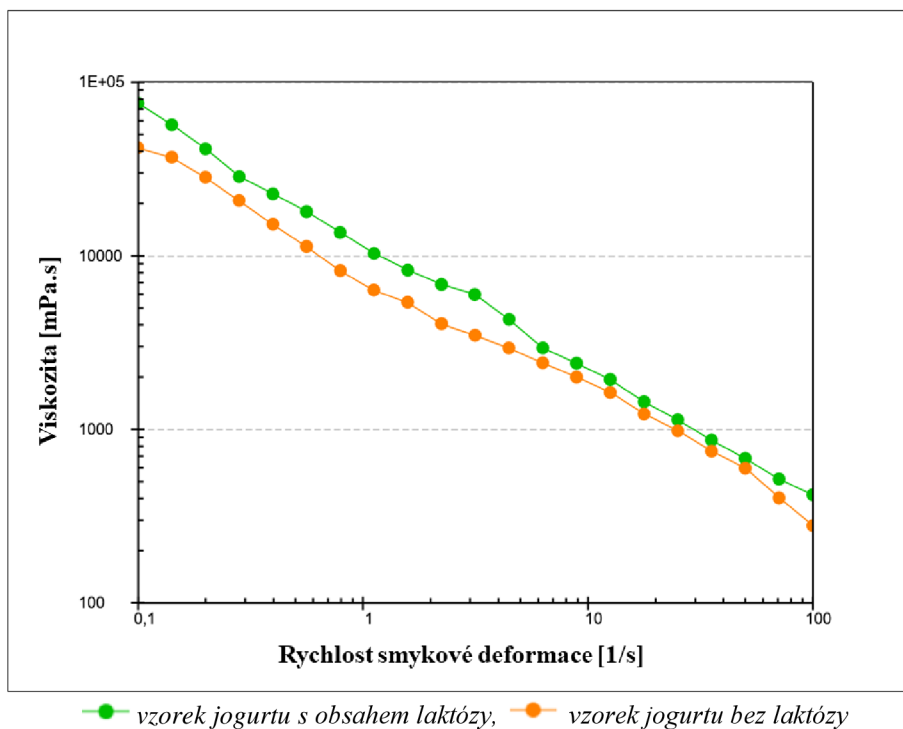
5.3 Vyhodnocení viskozitní křivky

Viskozitní křivky byly konstruovány na základě vztahu mezi viskozitou a rychlostí smykové deformace. Zdánlivá viskozita jogurtů se postupně snižovala se zvyšující se smykovou rychlostí. Jogurty projevovaly tzv. pseudoplastické chování.

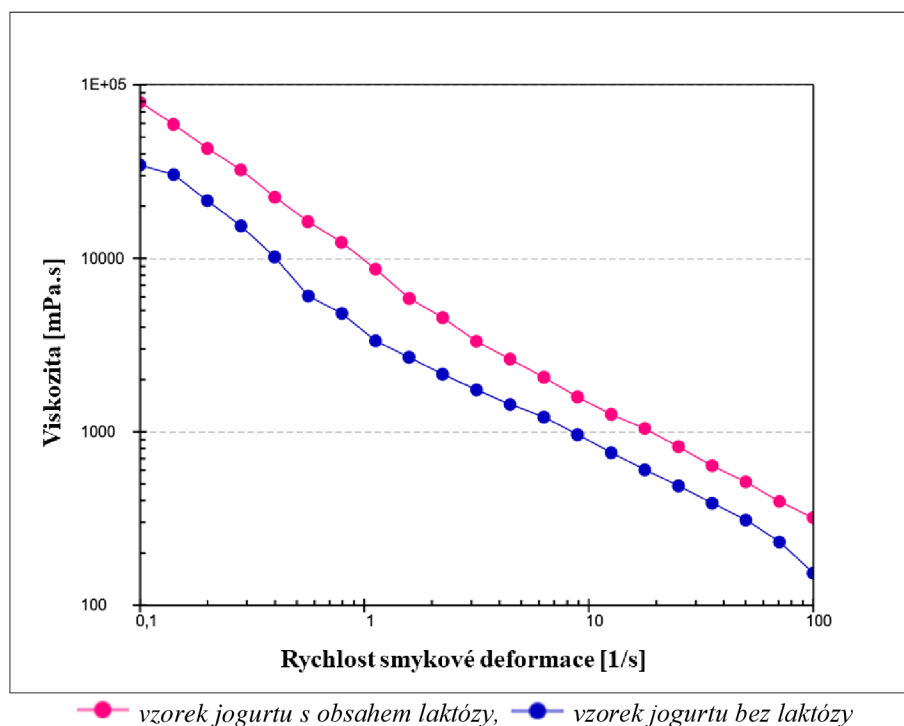
Z grafů na Obrázku 7, 8, 9, 10 lze vypozorovat, že vzorek jogurtu bez laktózy vykazoval konzistentně nižší viskozitu než vzorek jogurtu s obsahem laktózy v průběhu celého sledovaného období. Počáteční hodnota viskozity obou typů jogurtů nepatrně vzrostla po měsíci skladování.



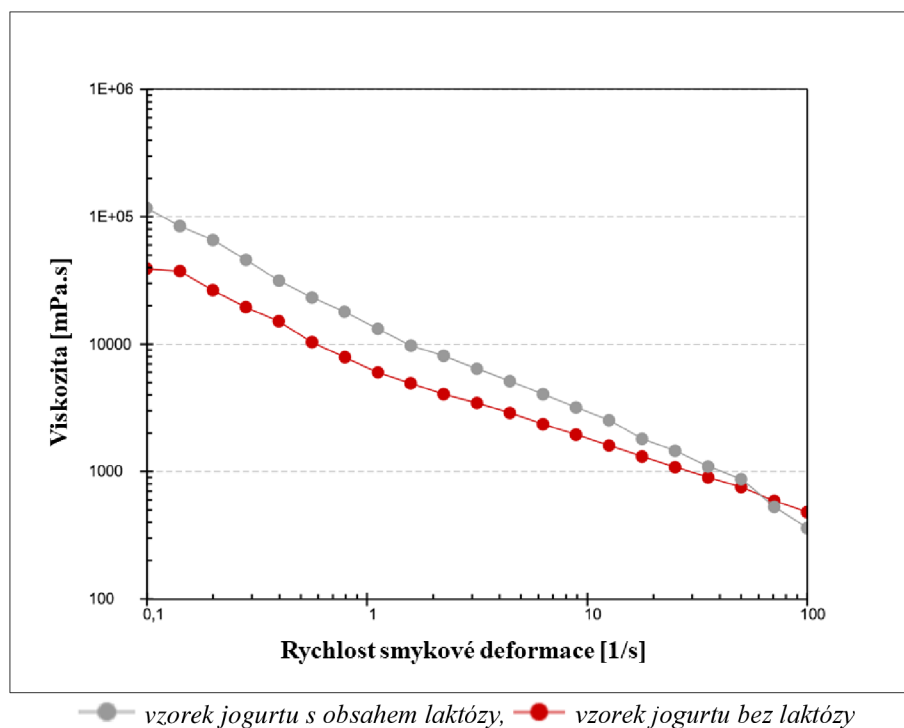
Obrázek 7: Graf viskozitní křivky klasického jogurtu a bezlaktózového jogurtu v týdnu 0.



Obrázek 8: Graf viskozitní křivky klasického jogurtu a bezlaktózového jogurtu v týdnu 1.



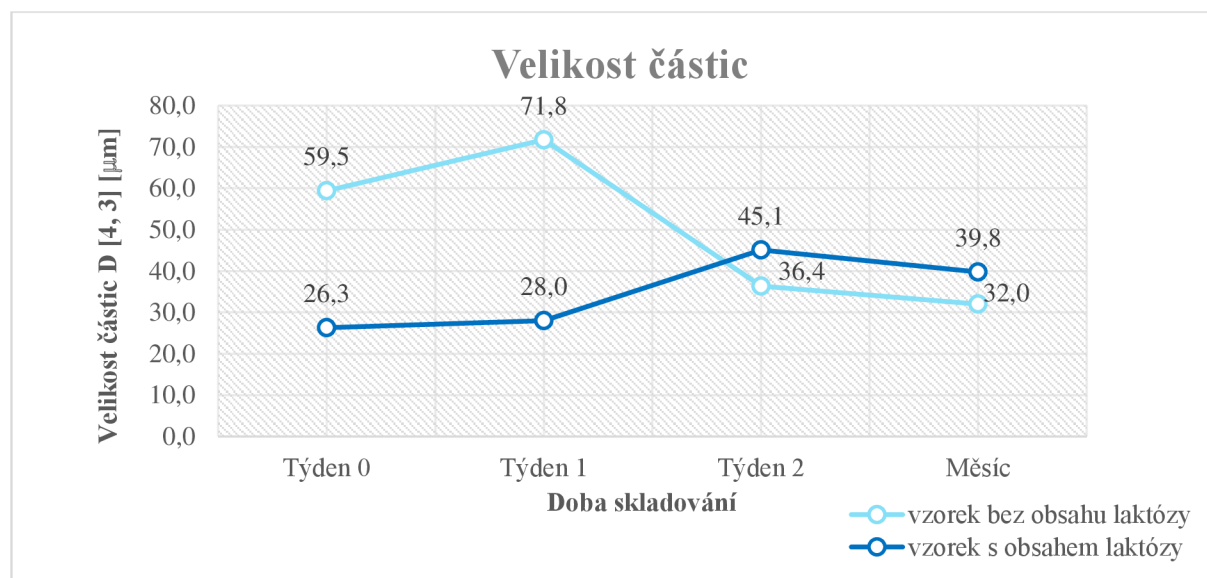
Obrázek 9: Graf viskozitní křivky klasického jogurtu a bezlaktózového jogurtu v týdnu 2.



Obrázek 10: Graf viskozitní křivky klasického jogurtu a bezlaktózového jogurtu po měsíci skladování.

5.4 Vyhodnocení velikosti částic

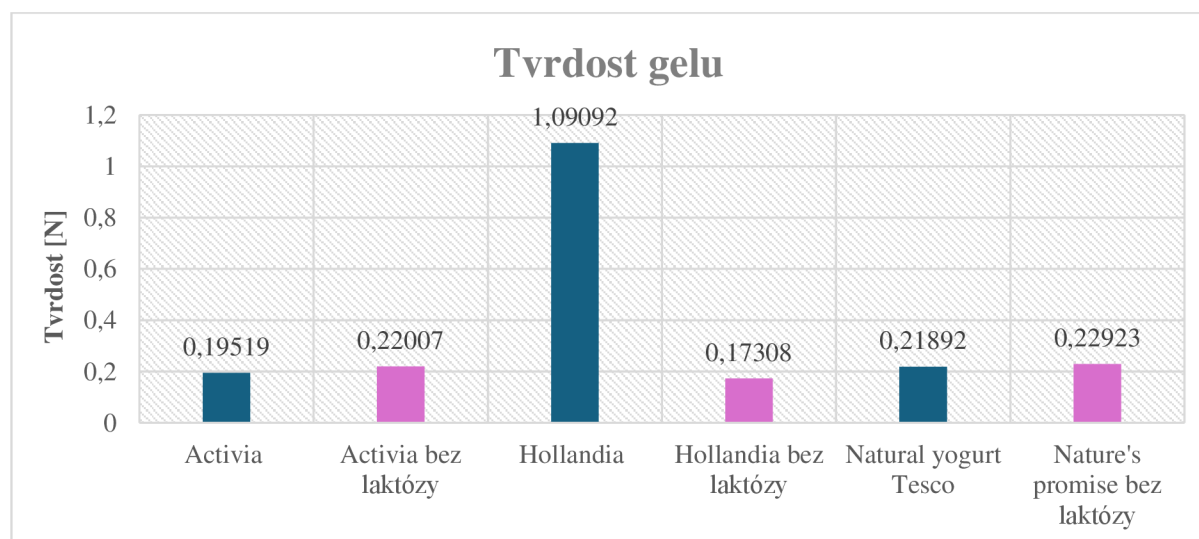
Naměřené hodnoty velikosti částic (vyjádřené jako $D [4, 3]$ – velikost částic vztažená na objem) vzorku klasického jogurtu a bezlaktózového jogurtu jsou uvedeny v grafu na Obrázku 11. Vzorek jogurtu bez laktózy vykazoval větší průměrnou velikost částic než vzorek jogurtu s laktózou. Velikost částic v jogurtech se během skladování měnila. Průměrná velikost částic v jogurtu bez laktózy klesala během skladování, zatímco v jogurtu s laktózou se zvyšovala.



Obrázek 11: Graf pro měření velikosti částic.

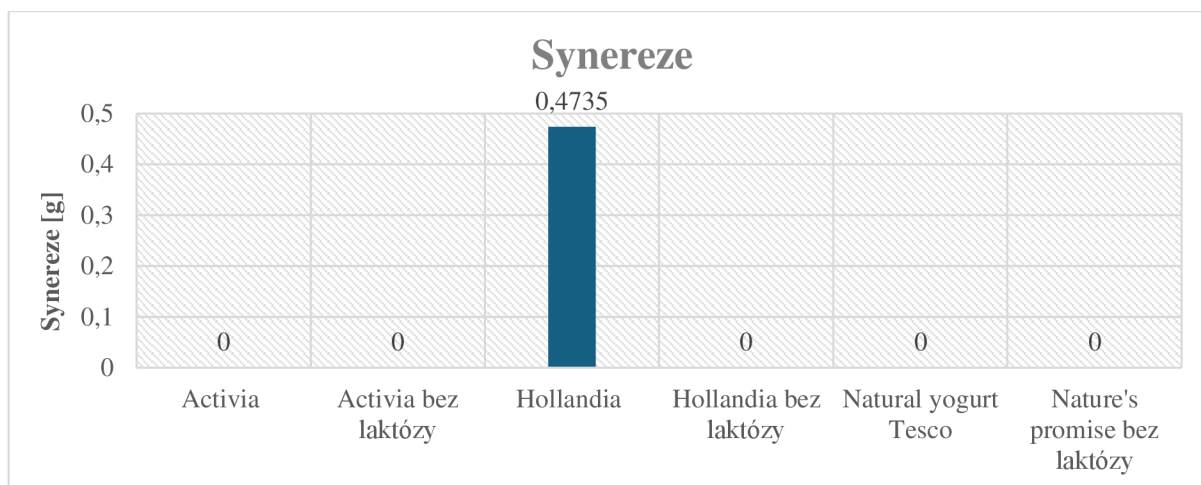
5.5 Vyhodnocení komerčních jogurtů

Jak lze vypořádat z grafu na Obrázku 12, Hollandia se lišila od ostatních komerčních jogurtů výrazně vyšší tvrdostí gelu. Activia se umístila na posledním místě v porovnání tvrdosti gelu mezi analyzovanými jogurty.



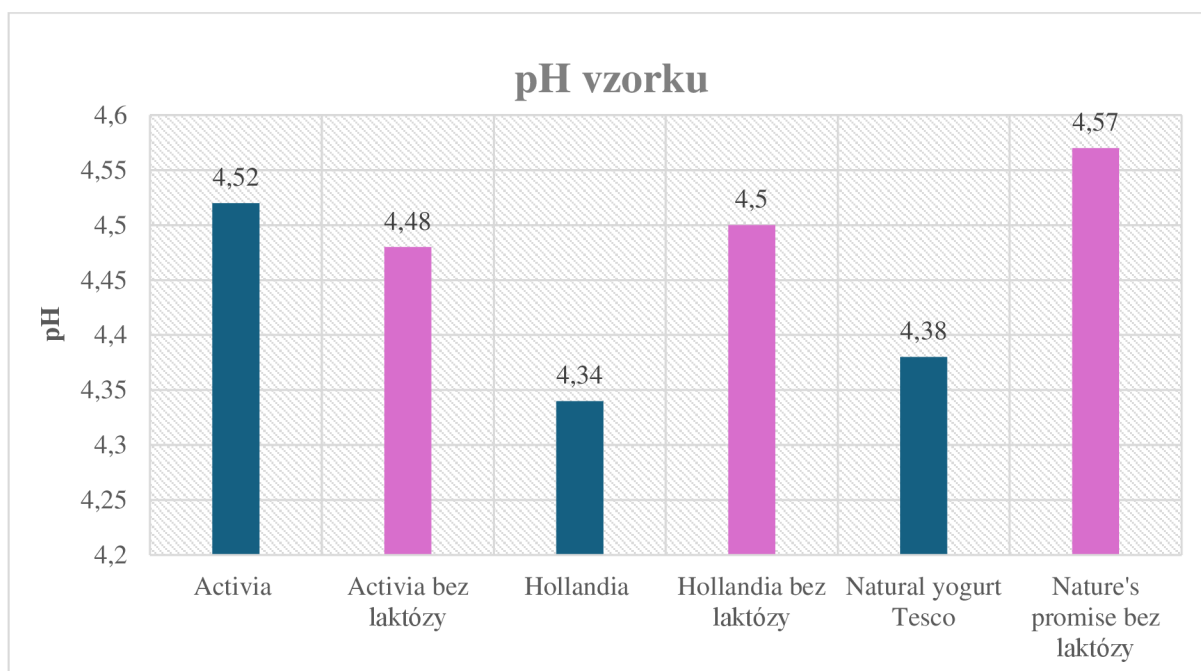
Obrázek 12: Graf pro tvrdost gelu komerčních jogurtů.

Graf na Obrázku 13 zobrazuje výsledky uvolněné syrovátky u komerčních jogurtů. Surovátka se uvolňovala pouze z jogurtu Hollandia.



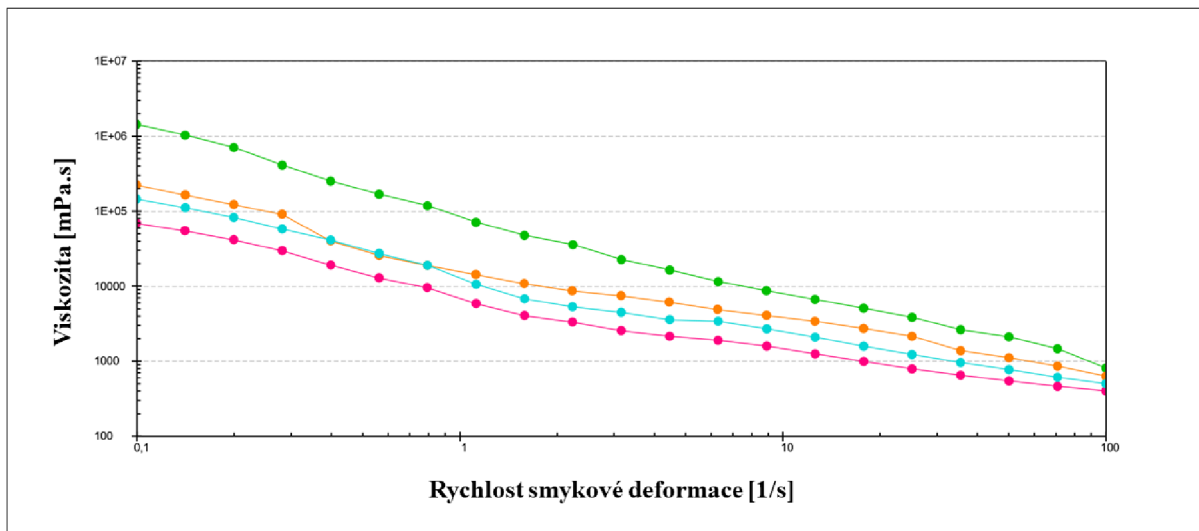
Obrázek 13: Graf pro synerezi komerčních jogurtů.

Z grafu na Obrázku 14 je zřejmé, že jogurty bez laktózy měly obecně vyšší pH než jogurty klasické. Výjimkou byl jogurt Activia, který měl pH 4,52. Z klasických jogurtů měl pH tedy nejvyšší. Ze všech analyzovaných vzorků měl nejnižší pH jogurt Hollandia.



Obrázek 14: Graf pro pH komerčních jogurtů.

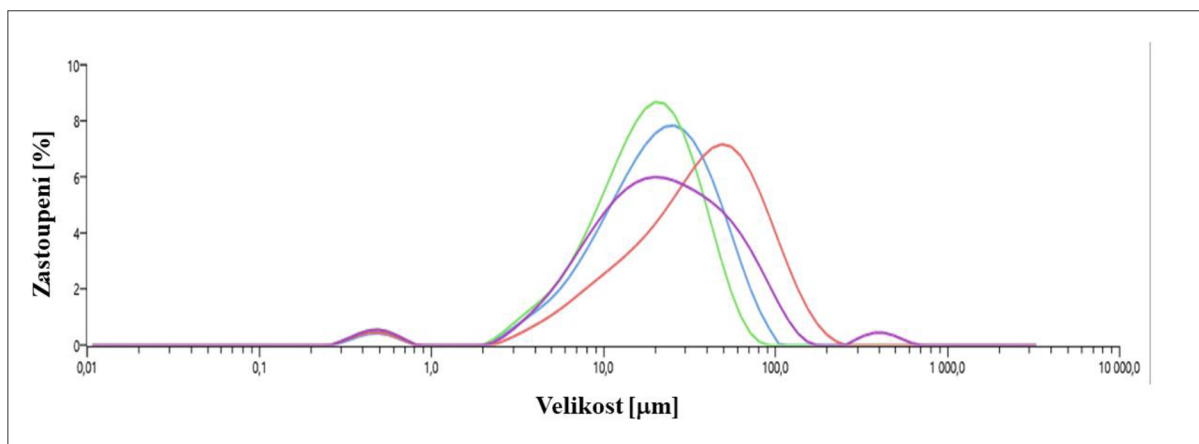
Jogurt Holandia vykazoval nejvýraznější pseudoplastické chování ze všech testovaných jogurtů, jak ukazuje viskozitní křivka na Obrázku 15. Nejnižší viskozitou se vyznačoval jogurt Activia.



● jogurt Hollandia s obsahem laktózy, ● jogurt Hollandie bez laktózy,
● jogurt Activia s obsahem laktózy, ● jogurt Activia bez laktózy

Obrázek 15: Graf viskozitní křivky vybraných komerčních jogurtů

Pro distribuci velikosti částic byl vytvořen graf na Obrázku 16, který porovnává vlastní jogurty a jogurty Hollandia. Vodorovná osa představuje velikost částic a svislá osa představuje procentuální zastoupení částic dané velikostní skupiny. Největší průměrnou velikost částic měl jogurt Hollandia bez laktózy.



— vzorek jogurtu s obsahem laktózy, — vzorek jogurtu bez laktózy,
— jogurt Hollandia s obsahem laktózy, — jogurt Hollandia bez laktózy

Obrázek 16: Graf distribuce velikosti částic vlastních vzorků a jogurtů Hollandia

6 Diskuze

Mnoho lidí na světě trpí intolerancí laktózy v důsledku nedostatku enzymu laktázy (Pachekrepapol et al. 2021). Výrobky z bezlaktózového mléka jsou vhodným řešením tohoto problému. Příkladem takového výrobku může být např. jogurt připravený z bezlaktózového mléka, jehož experimentální příprava byla realizována v rámci experimentální části této bakalářské práce. Vzhledem k tomu, že důležitými fyzikálními parametry pro konzumenty jsou textura a reologické vlastnosti, byly tyto mimo jiné sledovány a vyhodnoceny po přípravě a v průběhu skladování.

Prvním sledovaným parametrem byla tvrdost gelu. Tvrdost je síla potřebná k narušení struktury výrobku a je definována jako nejvyšší hodnota síly zjištěná při definovaném vtlačování sondy do jogurtového gelu. Dalo by se jinak říci, že je to síla potřebná k zatlačení lžičky do jogurtu. Ukázalo se, že doba skladování měla vliv na tvrdost, která se pozvolna zvyšovala. Autoři Abdel Wahab et al. (2024) také zaznamenali zvýšení tvrdosti jogurtu během skladování. Změny tvrdosti lze spojovat především se změnami celkového obsahu sušiny v jogurtu (Abdel Wahab et al. 2021). Bezlaktózový jogurt se projevil nižší tvrdostí. Slabší textura bezlaktózového jogurtu může být způsobena vyšším množstvím monosacharidů, které snížily viskozitu (Nagaraj et al. 2009). Výsledky mého měření se lišily od výsledků Kárnyáczi & Csanádi (2017), kde textura bezlaktózových jogurtů byla ve srovnání s klasickými jogurty pevnější a tvrdší.

Analýzou stupně synereze (uvolňování syrovátky) jsem hodnotila náchylnost bezlaktózového jogurtu k synerezi, což je z pohledu spotřebitele důležitý sensorický ukazatel. Mé výsledky synereze se neshodovaly s výsledky Kárnyáczi & Csanádi (2017), kde bezlaktózový jogurt vykazoval lepší schopnost vázání vody. Je možné, že tyto rozdíly byly způsobeny použitím jogurtových kultur s odlišným složením. Doba skladování významně ovlivnila množství uvolněné syrovátky. U obou vzorků došlo v průběhu měsíce skladování k postupné redukci synereze.

Hodnoty pH vzorků klesaly, jak jsem očekávala. Skladováním dochází k poklesu pH v důsledku tvorby mléčné kyseliny. Avšak nižších hodnot pH dosahovaly klasické jogurty. To může být vysvětleno tím, že bakterie *Streptococcus thermophilus* a *Lactobacillus bulgaricus* preferují laktózu oproti glukóze jako lepší zdroj uhlíku, a dochází tak k jejich většímu růstu (Poolman 1993).

Oběma vzorkům se snižovala viskozita se zvyšující se smykovou rychlostí a během skladování se jejich viskozita lehce zvyšovala. Pokles viskozity jogurtů během zvyšující se smykové rychlosti naznačuje pseudoplastický charakter (Tan et al. 2018). Nárůst viskozity v jogurtu během skladování souvisí s agregací kaseinových micel a tvorbou gelu (Costa et al. 2015). Coggins et al. (2010) zaznamenali, že zvýšení viskozity a tvrdosti gelu či redukce synereze mohou být důsledkem snížení pH během skladování fermentovaných výrobků, kdy dochází ke kontrakci gelu. Ve výsledcích Popescu et al. (2023) uvedli, že jogurt z nehydrolyzovaného mléka vykazoval výrazně nižší hodnotu zdánlivé viskozity než jogurt z hydrolyzovaného mléka. Výsledky Khabibullaev et al. (2019) se podobaly mým výsledkům, kde nejvyšší hodnota viskozity byla zaznamenána u vzorku obsahující laktózu. Snížená viskozita bezlaktózových jogurtů mohla být způsobena vyšším množstvím monosacharidů (Nagaraj et al. 2009).

Cayot et al. (2008) zkoumali vztah mezi krémovitostí a konzistencí míchaného odtučněného jogurtu a velikostí částic. Tito autoři uvedli, že čím větší je velikost částic, tím nižší je sensorické vnímání krémovitosti jogurtu. Vzhledem k tomu, že vzorek bez laktózy měl po druhém týdnu skladování nižší průměrnou velikost částic, předpokládám, že bezlaktózový jogurt by mohl vynikat svou vyšší krémovitostí. V mé práci nebyla však provedena sensorická analýza, která by potvrdila tuto vlastnost jako signifikantní.

Jogurty zakoupené v obchodě jsem měřila za předpokladu, že všechny jogurty měly stejné skladovací podmínky. Při analýze vzorků došlo ke zjištění, že vyjma klasického bílého jogurtu Hollandia byly všechny jogurty typu stirred. To vysvětluje, proč měl jogurt Hollandia výrazně odlišné fyzikální vlastnosti od ostatních jogurtů. Při porovnání velikosti částic vlastních jogurtů a jogurtů Hollandia vykazoval vlastní vzorek bez laktózy nejnižší průměrnou velikost částic, vyznačoval se tak krémovitější strukturou. Pro komplexní zhodnocení dané problematiky by bylo vhodné realizovat ještě další pokusy, kdy by bylo např. zajímavé provést hodnocení jogurtů připravených z mléka ošetřeného různými pasteračními záhřevy a při různých stupních enzymatického ošetření laktázou. Toto by mohlo být námětem pro další experimentální práci.

7 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabývala problematikou intolerance laktózy a alergie na mléčné bílkoviny. V teoretické části jsem shrnula dostupné informace o těchto tématech, včetně příčin, symptomů, diagnostiky a možností stravování osob s těmito potížemi.

V experimentální části jsem se zaměřila na porovnání fyzikálních vlastností připravených klasických jogurtů a bezlaktózových jogurtů z kravského mléka. Vyhodnotila jsem jejich pH, viskozitu, texturu a velikost částic. Kromě výroby a hodnocení vlastních jogurtů jsem provedla i měření fyzikálních vlastností komerčních jogurtů.

Na základě měření jsem dospěla k závěru, že vlastnosti bezlaktózového jogurtu se lišily od vlastností klasického jogurtu v několika ohledech. Jogurty bez laktózy měly oproti klasickým jogurtům odlišnou texturu, resp. tvrdost gelu, vyšší míru synereze ale zároveň krémovitější strukturu.

Zvýšená separace syrovátky je u spotřebitelů obvykle vnímána negativně. Je třeba učinit další výzkum, jak zabránit tomuto nedostatku. Slabá a jemná textura může být vnímána jak pozitivně, tak i negativně. Je proto nutné provést senzorickou analýzu, která by potvrdila tyto vlastnosti jako žádoucí. Také by bylo vhodné prověřit, zda nemá složení jogurtové kultury vliv na rozdílné fyzikální vlastnosti klasického a bezlaktózového jogurtu.

Jelikož na trhu jsou bezlaktózové jogurty spíše typu stirred, výsledky práce by mohly přispět k rozšíření nabídky mléčných výrobků pro osoby s intolerancí na laktózu, kteří by si mohli dopřát chuť mléčných výrobků, a tímto způsobem zlepšit i kvalitu života.

8 Literatura

- Abd El-Salam MH, El-Shibiny S. 2021. Reduction of Milk Protein Antigenicity by Enzymatic Hydrolysis and Fermentation. A Review. *Food Reviews International* **37**:276–295.
- Abdel Wahab WA, Ahmed SA, Kholif AMM, Abd El Ghani S, Wehaidy HR. 2021. Rice straw and orange peel wastes as cheap and eco-friendly substrates: A new approach in β -galactosidase (lactase) enzyme production by the new isolate *L. paracasei* MK852178 to produce low-lactose yogurt for lactose-intolerant people. *Waste Management* **131**:403–411.
- Abdel Wahab WA, Ahmed SA, Kholif AMM, El Ghani SA, Wehaidy HR. 2024. Low-lactose yoghurt production using β -galactosidase: An integrated study for the enzyme and its application. *International Dairy Journal* **151**:105864.
- Antonio J, Ellerbroek A, Peacock C, Silver T. 2017. Casein Protein Supplementation in Trained Men and Women: Morning versus Evening. *International journal of exercise science* **10**:479–486.
- Arola H. 1994. Diagnosis of hypolactasia and lactose malabsorption. *Scandinavian journal of gastroenterology. Supplement* **202**:26–35.
- Arola H, Tamm A. 1994. Metabolism of Lactose in the Human Body. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* **29**:21–25.
- Bahna SL. 2008. Hypoallergenic formulas: optimal choices for treatment versus prevention. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* **101**:453–459.
- Bintsis T, Papademas P. 2022. The Evolution of Fermented Milks, from Artisanal to Industrial Products: A Critical Review.
- Bocquet A et al. 2019. Efficacy and safety of hydrolyzed rice-protein formulas for the treatment of cow's milk protein allergy. *Archives de Pédiatrie* **26**:238–246.
- Bond JH, Levitt MD. 1976. Quantitative measurement of lactose absorption. *Gastroenterology* **70**:1058–62.
- Brown-Esters O, Mc Namara P, Savaiano D. 2012. Dietary and biological factors influencing lactose intolerance. *International Dairy Journal* **22**:98–103.
- Cantani A. 2008. *Pediatric Allergy, Asthma and Immunology*. Springer, Berlin.
- Carvalho NC de, Pessato TB, Negrão F, Eberlin MN, Behrens JH, Zollner R de L, Netto FM. 2019. Physicochemical changes and bitterness of whey protein hydrolysates after transglutaminase cross-linking. *LWT* **113**:108291.
- Casellas F, Varela E, Aparici A, Casaus M, Rodríguez P. 2009. Development, Validation, and Applicability of a Symptoms Questionnaire for Lactose Malabsorption Screening. *Digestive Diseases and Sciences* **54**:1059–1065.
- Catanzaro R, Sciuto M, Marotta F. 2021. Lactose intolerance: An update on its pathogenesis, diagnosis, and treatment. *Nutrition Research* **89**:23–34.
- Cayot P, Schenker F, Houzé G, Sulmont-Rossé C, Colas B. 2008. Creaminess in relation to consistency and particle size in stirred fat-free yogurt. *International Dairy Journal* **18**:303–311.

- Cimmino F, Catapano A, Villano I, Di Maio G, Petrella L, Traina G, Pizzella A, Tudisco R, Cavaliere G. 2023. Invited review: Human, cow, and donkey milk comparison: Focus on metabolic effects. *Journal of Dairy Science* **106**:3072–3085.
- COGGINS PC, ROWE DE, WILSON JC, KUMARI S. 2010. STORAGE AND TEMPERATURE EFFECTS ON APPEARANCE AND TEXTURAL CHARACTERISTICS OF CONVENTIONAL MILK YOGURT. *Journal of Sensory Studies* **25**:549–576.
- Comerford K, Lawson Y, Young M, Knight M, McKinney K, Mpasí P, Mitchell E. 2024. Executive summary: The role of dairy food intake for improving health among Black Americans across the life continuum. *Journal of the National Medical Association* **116**:211–218.
- Costa MP, Frasao BS, Silva ACO, Freitas MQ, Franco RM, Conte-Junior CA. 2015. Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) pulp, probiotic, and prebiotic: Influence on color, apparent viscosity, and texture of goat milk yogurts. *Journal of Dairy Science* **98**:5995–6003.
- Dekker P, Koenders D, Bruins M. 2019. Lactose-Free Dairy Products: Market Developments, Production, Nutrition and Health Benefits. *Nutrients* **11**:551.
- Di Costanzo M, Berni Canani R. 2018. Lactose Intolerance: Common Misunderstandings. *Annals of Nutrition and Metabolism* **73**:30–37.
- Domínguez Jiménez JL, Fernández Suárez A. 2014. Can we shorten the lactose tolerance test? *European Journal of Clinical Nutrition* **68**:106–108.
- du Toit G, Meyer R, Shah N, Heine RG, Thomson MA, Lack G, Fox AT. 2010. Identifying and managing cow's milk protein allergy. *Archives of Disease in Childhood - Education and Practice* **95**:134–144.
- El-Agamy EI. 2007. The challenge of cow milk protein allergy. *Small Ruminant Research* **68**:64–72. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921448806002574>.
- Ercan N, Nuttall FQ, Gannon MC, Redmon JB, Sheridan KJ. 1993. Effects of glucose, galactose, and lactose ingestion on the plasma glucose and insulin response in persons with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Metabolism* **42**:1560–1567.
- Farrell HM, Jimenez-Flores R, Bleck GT, Brown EM, Butler JE, Creamer LK, Hicks CL, Hollar CM, Ng-Kwai-Hang KF, Swaisgood HE. 2004. Nomenclature of the Proteins of Cows' Milk—Sixth Revision. *Journal of Dairy Science* **87**:1641–1674.
- Fassio F, Facioni MS, Guagnini F. 2018. Lactose Maldigestion, Malabsorption, and Intolerance: A Comprehensive Review with a Focus on Current Management and Future Perspectives. *Nutrients* **10**.
- Fiocchi A, Dahda L, Dupont C, Campoy C, Fierro V, Nieto A. 2016. Cow's milk allergy: towards an update of DRACMA guidelines. *The World Allergy Organization journal* **9**:35.
- Gatti S et al. 2008. The first case of congenital lactase deficiency in Italy. *Digestive and Liver Disease* **40**:A60–A61.
- Ghoshal UC, Kumar S, Chourasia D, Misra A. 2009. Lactose hydrogen breath test versus lactose tolerance test in the tropics: does positive lactose tolerance test reflect more severe lactose malabsorption? *Tropical gastroenterology : official journal of the Digestive Diseases Foundation* **30**:86–90.

- Gilliland SE, Kim HS. 1984. Effect of Viable Starter Culture Bacteria in Yogurt on Lactose Utilization in Humans. *Journal of Dairy Science* **67**:1–6.
- Gjesing B, Østerballe O, Schwartz B, Wahn U, Lowenstein H. 1986. Allergen-Specific IgE Antibodies against Antigenic Components in Cow Milk and Milk Substitutes. *Allergy* **41**:51–56.
- Henning DR, Baer RJ, Hassan AN, Dave R. 2006. Major advances in concentrated and dry milk products, cheese, and milk fat-based spreads. *Journal of Dairy Science* **89**.
- HERTZLER SR, HUYNH B-CL, SAVAIANO DA. 1996. How Much Lactose is Low Lactose? *Journal of the American Dietetic Association* **96**:243–246.
- Hertzler SR, Savaiano DA. 1996. Colonic adaptation to daily lactose feeding in lactose maldigesters reduces lactose intolerance. *The American journal of clinical nutrition* **64**:232–6.
- Heyman MB. 2006. Lactose Intolerance in Infants, Children, and Adolescents. *Pediatrics* **118**:1279–1286.
- Hochwallner H et al. 2010. Visualization of clustered IgE epitopes on α -lactalbumin. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* **125**:1279-1285.e9.
- Hochwallner H, Schulmeister U, Swoboda I, Spitzauer S, Valenta R. 2014. Cow's milk allergy: From allergens to new forms of diagnosis, therapy and prevention. *Methods* **66**:22–33.
- Huppertz T. 2017. Lactose in Yogurt. Pages 387–394 *Yogurt in Health and Disease Prevention*. Elsevier.
- Ibrahim SA, Gyawali R. 2013. Lactose Intolerance. Pages 246–260 *Milk and Dairy Products in Human Nutrition*. Wiley.
- Ibrahim SA, Gyawali R, Awaisheh SS, Ayivi RD, Silva RC, Subedi K, Aljaloud SO, Anusha Siddiqui S, Krastanov A. 2021. Fermented foods and probiotics: An approach to lactose intolerance. *Journal of Dairy Research* **88**:357–365.
- Jäger L, Wüthrich B, Ballmer-Weber B, Vieths S. 2008. *Nahrungsmittelallergien und -intoleranzen*. Urban & Fischer, München.
- Jaiswal L, Worku M. 2022. Recent perspective on cow's milk allergy and dairy nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **62**:7503–7517.
- Johansson SGO et al. 2001. A revised nomenclature for allergy: An EAACI position statement from the EAACI nomenclature task force. *Allergy* **56**:813–824.
- Kadlec P, Melzoch K, Voldřich M. 2009. Technologie mléka a mlékárenských výrobků. Pages 227–294 *Co byste měli vědět o výrobě potravin? : technologie potravin*. Key Publishing, Ostrava.
- Kárnyáczki Zs, Csanádi J. 2017. Texture profile properties, sensory evaluation, and susceptibility to syneresis of yoghurt prepared from lactose-free milk. *Acta Alimentaria* **46**:403–410.
- Karunakaran AC. 2024. Lactose intolerance and milk allergy. *The Microbiology, Pathogenesis and Zoonosis of Milk Borne Diseases*:115–134. Academic Press. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780443138058000077> (accessed February 6, 2024).

- Kaushik R, Sachdeva B, Arora S, Kapila S, Wadhwa BK. 2014. Bioavailability of vitamin D2 and calcium from fortified milk. *Food Chemistry* **147**:307–311.
- Khabibullaev J, Zagorska J, Galoburda R, Cinkmanis I. 2019. Rheological properties of lactose-free yoghurt in relation to enzyme concentrations. Pages 40–44.
- Kim J. 2020. Pre-sleep casein protein ingestion: new paradigm in post-exercise recovery nutrition. *Physical Activity and Nutrition* **24**:6–10.
- Koletzko S et al. 2012. Diagnostic Approach and Management of Cow's-Milk Protein Allergy in Infants and Children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* **55**:221–229.
- Kontopidis G, Holt C, Sawyer L. 2004. Invited Review: β -Lactoglobulin: Binding Properties, Structure, and Function. *Journal of Dairy Science* **87**:785–796.
- Lacroix M et al. 2006. Compared with casein or total milk protein, digestion of milk soluble proteins is too rapid to sustain the anabolic postprandial amino acid requirement. *The American Journal of Clinical Nutrition* **84**:1070–1079.
- Lajnaf R, Feki S, Ben Ameer S, Attia H, Kammoun T, Ayadi MA, Masmoudi H. 2023. Cow's milk alternatives for children with cow's milk protein allergy - Review of health benefits and risks of allergic reaction. *International Dairy Journal* **141**:105624.
- Li A, Zheng J, Han X, Yang S, Cheng S, Zhao J, Zhou W, Lu Y. 2023. Advances in Low-Lactose/Lactose-Free Dairy Products and Their Production. *Foods* **12**:2553.
- Lifshitz F. 1966. Congenital lactase deficiency. *The Journal of Pediatrics* **69**:229–237.
- Majamaa H, Moisiö P, Kautiainen H, Majamaa H, Turjanmaa K, Holm K. 1999. Cow's milk allergy: diagnostic accuracy of skin prick and patch tests and specific IgE. *Allergy* **54**:346–351.
- Martelli A, De Chiara A, Corvo M, Restani P, Fiocchi A. 2002. Beef allergy in children with cow's milk allergy; cow's milk allergy in children with beef allergy. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* **89**:38–43.
- Martorell-Aragonés A, Echeverría-Zudaire L, Alonso-Lebrero E, Boné-Calvo J, Martín-Muñoz MF, Nevot-Falcó S, Piquer-Gibert M, Valdesoiro-Navarrete L. 2015. Position document: IgE-mediated cow's milk allergy. *Allergologia et Immunopathologia* **43**:507–526.
- McBEAN LD, MILLER GD. 1998. Allaying Fears and Fallacies about Lactose Intolerance. *Journal of the American Dietetic Association* **98**:671–676.
- McGee H. 2004. *On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen*. Scribner, New York.
- McGregor RA, Poppitt SD. 2013. Milk protein for improved metabolic health: a review of the evidence. *Nutrition & Metabolism* **10**:46.
- Miraglia Del Giudice M, D'Auria E, Peroni D, Palazzo S, Radaelli G, Comberiati P, Galdo F, Maiello N, Riva E. 2015. Flavor, relative palatability and components of cow's milk hydrolysed formulas and amino acid-based formula. *Italian journal of pediatrics* **41**:42.
- Montalto M, Curigliano V, Santoro L, Vastola M, Cammarota G, Manna R, Gasbarrini A, Gasbarrini G. 2006. Management and treatment of lactose malabsorption. *World journal of gastroenterology* **12**:187–91.

- Nagaraj M, Sharanagouda B, Manjunath H, Manafi M. 2009. Standardization of different levels of lactose hydrolysis in the preparation of lactose hydrolyzed yoghurt. *Iranian Journal of Veterinary Research* **10**:132–136.
- Ouwehand AC, Salminen S, Isolauri E. 2002. Probiotics: an overview of beneficial effects. *Antonie van Leeuwenhoek* **82**:279–89.
- Pachekrepapol U, Somboonchai N, Krimjai W. 2021. Physicochemical, rheological, and microbiological properties of lactose-free functional yogurt supplemented with fructooligosaccharides. *Journal of Food Processing and Preservation* **45**.
- Paszczyk B. 2022. Cheese and Butter as a Source of Health-Promoting Fatty Acids in the Human Diet. *Animals* **12**:3424.
- Permyakov EA, Berliner LJ. 2000. α -Lactalbumin: structure and function. *FEBS Letters* **473**:269–274.
- Pimpin L, Wu JHY, Haskelberg H, Del Gobbo L, Mozaffarian D. 2016. Is Butter Back? A Systematic Review and Meta-Analysis of Butter Consumption and Risk of Cardiovascular Disease, Diabetes, and Total Mortality. *PLOS ONE* **11**:e0158118.
- Poolman B. 1993. Energy transduction in lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Reviews* **12**:125–147.
- Popescu L, Bulgaru V, Siminiuc R. 2023. EFFECTS OF LACTOSE HYDROLYSIS AND MILK TYPE ON THE QUALITY OF LACTOSE-FREE YOGHURT. *Journal of Engineering Science* **29**:164–175.
- Reese I, Lange L. 2017. Cow's Milk and Hen's Egg Allergy: What Do Molecular-Based Allergy Diagnostics Have to Offer? Pages 291–303 *Molecular Allergy Diagnostics*. Springer International Publishing, Cham.
- Rosensweig NS. 1969. Adult human milk intolerance and intestinal lactase deficiency. A review. *Journal of dairy science* **52**:585–7.
- Savaiano DA, Hutkins RW. 2021. Yogurt, cultured fermented milk, and health: A systematic review. *Nutrition Reviews* **79**.
- Savaiano DA, Levitt MD. 1987. Milk intolerance and microbe-containing dairy foods. *Journal of dairy science* **70**:397–406.
- Savilahti E. 1981. Cow's Milk Allergy. *Allergy* **36**:73–88.
- Sicherer SH. 2000. Determinants of systemic manifestations of food allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* **106**:S251–S257. Mosby.
- Silanikove N, Leitner G, Merin U. 2015. The Interrelationships between Lactose Intolerance and the Modern Dairy Industry: Global Perspectives in Evolutional and Historical Backgrounds. *Nutrients* **7**:7312–7331.
- Simoons FJ. 1978. The geographic hypothesis and lactose malabsorption. *The American Journal of Digestive Diseases* **23**:963–980.
- Souroullas K, Aspri M, Papademas P. 2018. Donkey milk as a supplement in infant formula: Benefits and technological challenges. *Food Research International* **109**:416–425.
- Suchy FJ et al. 2010. NIH consensus development conference statement: Lactose intolerance and health. *NIH consensus and state-of-the-science statements* **27**:1–27.

- Swagerty DL, Walling AD, Klein RM. 2002. Lactose intolerance. *American family physician* **65**:1845–50.
- Szilagyi A, Ishayek N. 2018. Lactose Intolerance, Dairy Avoidance, and Treatment Options. *Nutrients* **10**:1994.
- Tan PY, Tan TB, Chang HW, Tey BT, Chan ES, Lai OM, Baharin BS, Nehdi IA, Tan CP. 2018. Effects of storage and yogurt matrix on the stability of tocotrienols encapsulated in chitosan-alginate microcapsules. *Food Chemistry* **241**:79–85.
- Taylor SL. 1986. Immunologic and Allergic Properties of Cows' Milk Proteins in Humans. *Journal of Food Protection* **49**:239–250. Elsevier.
- Toba T, Nagashima S, Adachi S. 1991. Is lactose really present in plants? *Journal of the Science of Food and Agriculture* **54**:305–308.
- Vandenplas Y, Meyer RM, Huysentruyt K. 2024. Food allergy: Prevention and treatment of Cow's milk allergy. *Clinical Nutrition ESPEN* **59**:9–20.
- Verduci E, D'Elios S, Cerrato L, Comberiati P, Calvani M, Palazzo S, Martelli A, Landi M, Trikamjee T, Peroni DG. 2019. Cow's Milk Substitutes for Children: Nutritional Aspects of Milk from Different Mammalian Species, Special Formula and Plant-Based Beverages. *Nutrients* **11**:1739.
- Walther B, Schmid A, Sieber R, Wehrmüller K. 2008. Cheese in nutrition and health. Page *Dairy Science and Technology*.
- Weaver LT, Laker MF, Nelson R. 1986. Neonatal intestinal lactase activity. *Archives of disease in childhood* **61**:896–9.
- Zhang M, Dong X, Huang Z, Li X, Zhao Y, Wang Y, Zhu H, Fang A, Giovannucci EL. 2023. Cheese consumption and multiple health outcomes: an umbrella review and updated meta-analysis of prospective studies. *Advances in Nutrition* **14**:1170–1186.
- Zhang Y, Lu C, Zhang J. 2021. Lactoferrin and Its Detection Methods: A Review. *Nutrients* **13**:2492.