



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

VLIV PŘIDANÝCH SACHARIDŮ NA KVALITU CEREÁLNÍHO KVASU A KVASOVÉHO CHLEBA

EFFECT OF ADDED CARBOHYDRATES ON THE QUALITY OF SOURDOUGH
AND SOURDOUGH BREAD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Olga Stoklásková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1821/2022 Akademický rok: 2022/23
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií
Studentka: **Olga Stoklásková**
Studijní program: Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Potravinářská chemie a technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.**

Název bakalářské práce:

Vliv přidaných sacharidů na kvalitu cereálního kvasu a kvasového chleba

Zadání bakalářské práce:

- 1) vypracujte literární rešerši na zadané téma
- 2) studujte vliv přidaných sacharidů na kvalitu cereálního kvasu, eventuálně na kvalitu kvasového chleba
- 3) zpracujte naměřená data, diskutujte dosažené výsledky
- 4) formulujte závěry práce

Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2023:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Olga Stoklásková
studentka

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.
vedoucí práce

prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2023

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce bylo charakterizovat vybrané chemické, senzorní a reologické změny vlastností kvasových chlebů při přidavku konkrétních sacharidů do jejich těsta. V teoretické části jsou rozebírány procesy, nastávající za daných podmínek během zpracování, zrání a kynutí kvašených těst; jsou charakterizovány zkoumané cukry a diskutován jejich vliv na kvasové výrobky, plynoucí z dosavadních výzkumů. Experimentální část je zaměřena na dílčí měření vybraných parametrů, ovlivňující jakost cereálního výrobku a tím i jeho tržní poptávku. Maximálního možného objemu bochníku a současně nejměkčí střídy je dle analýzy možno dosáhnout obohacením těsta o nízké koncentrace medu. Vyšší přídavky řepného cukru zvyšují nejvýznamněji celkovou kyselost těsta, sladová moučka oproti tomu propůjčuje chlebu jemné, nasládlé aroma v důsledku inhibice produkce kyseliny octové v průběhu fermentace. Nižší koncentrace acetátu a současný vyšší obsah zbytkových cukrů je bohužel faktor zhoršující mikrobiální stabilitu chleba po upečení.

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis was to characterize selected chemical, sensoric and rheologic properties of sourdough breads with added particular saccharides in the dough. In the theoretical part, processes during mixing, proofing and scaling of the sourdough in fixed conditions are analysed; researched sugars are characterized and their influence on the sourdough product, resulting from present research, is discussed. The experimental part focuses on particular analyses, that influence the quality of sourdough product and determine so its market demand. According to the analysis, sourdough fortification of low honey concentration tends to the maximal volume of the loaf and the most tender crumb at the same time. Higher additions of white table sugar increase the total acidity of the dough the most significantly; unlike, a malt flour provides a smooth, sweetish aroma to the bread. This is because of inhibition of acetic acid production by maltose during sourdough fermentation. Unfortunately, lower concentration of acetate and higher content of remaining sugars in the same time is a factor of shortening the microbial shelf-life of the bread after its baking.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kvasový chléb, *Lactobacillus*, *Saccharomyces*, pekárenská technologie, optimalizace pekařských směsí, organické kyseliny, texturometr, vedení cereálních kvasů

KEYWORDS

Sourdough bread, *Lactobacillus*, *Saccharomyces*, bakery technology, optimization of bakery mixes, organic acids, texturometer, sourdough fermentation process

STOKLÁSKOVÁ, Olga. *Vliv přidávaných sacharidů na kvalitu cereálního kvasu a kvasového chleba*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/148019>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Pavel Diviš.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....
Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce doc. Ing. Pavlu Divišovi, Ph.D. za poskytnutí odborných rad k tvorbě této závěrečné práce a organizaci měření její praktické části. Velmi si cením pomoci s provedením konkrétních laboratorních analýz, poskytnuté Ing. Jaromírem Pořízkou, Ph.D. a Ing. Zuzanou Juglovou. Díky patří též doc. RNDr. Renatě Mikulíkové, Ph.D. za čas, obětovaný mi během mého měření v potravinové laboratoři.

Protože charakter mojí práce neumožňuje získání některých žádaných výsledků ve standardních chemických laboratořích, jsem nesmírně vděčná firmě Hradecká pekárna s.r.o. za poskytnutí prostor pekárny pro realizaci konkrétních měření mojí práce, zaškolení do technologické činnosti jejími pracovníky a zprostředkování některých analýz u externí firmy Pfahnl Backmittel GmbH.

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1.	Chemické složení obilného zrna	8
2.1.1.	Škrob	8
2.1.2.	Neškrobové polysacharidy	8
2.1.3.	Proteiny obilného zrna, lepek	9
2.1.4.	Enzymy obilného zrna	10
2.2.	Kvasový chléb	10
2.2.1.	Základní charakteristika kvasového chleba	10
2.2.2.	Mouka	10
2.2.3.	Voda	10
2.2.4.	Sůl	11
2.2.5.	Ostatní používané suroviny	11
2.3.	Žitný kvas	11
2.3.1.	Bakterie mléčného kvašení	12
2.3.2.	Kvasinky	13
2.3.3.	Hydrolyza škrobu	13
2.3.4.	Vedení žitných kvasů	14
2.3.5.	Antimikrobiální aktivita cereálního kvasu	14
2.4.	Sladidla a jejich přídavek do kvašených těst	15
2.4.1.	Řepný cukr	15
2.4.2.	Med	16
2.4.3.	Slad	17
2.4.4.	Fermentace jednotlivých cukrů v závislosti na pH prostředí	18
2.5.	Metody	18
2.5.1.	Měření pH vzorků těsta	18
2.5.2.	Analýza organických kyselin iontovou chromatografií	19
2.5.3.	Měření pevnosti střídy pekařských výrobků	19
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	20
3.1.	Cíl práce	20
3.2.	Materiály a přístroje	20
3.2.1.	Přístroje	20
3.2.2.	Laboratorní pomůcky	20
3.2.3.	Chemikálie	20
3.2.4.	Suroviny použité pro přípravu těsta	20

3.3.	Příprava vzorků kvasového těsta	20
3.3.1.	Příprava těsta	20
3.3.2.	Odběr vzorků	21
3.4.	Analýza vzorků kvasového těsta	21
3.4.1.	Měření nárůstu objemu těsta	21
3.4.2.	Stanovení pH vzorků	21
3.4.3.	Stanovení organických kyselin	21
3.5.	Pekařská zkouška kvasových výrobků	22
3.5.1.	Test antimikrobiální aktivity kvasových výrobků	23
3.5.2.	Stanovení pevnosti střídy kvasových výrobků	23
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	25
4.1.	Nárůst objemu těsta a změna jeho hodnoty pH	25
4.2.	Stanovení organických kyselin kvasového těsta	32
4.3.	Stanovení pevnosti střídy kvasových výrobků	35
4.4.	Test trvanlivosti	37
5	ZÁVĚR	41
6	ZDROJE	42

1 ÚVOD

Příprava kvasových cereálních výrobků je základní postup pekařské technologie, aplikovaný mnohými národy po staletí před vynálezem komerčního droždí. Zprvu bylo využíváno spontánního kvašení škrobů v mouce divokou mikroflórou; vývojově se dospělo až k aplikacím kvasů neomezitelně obnovitelných, a tudíž schopnosti každodenní produkce výrobků opakovatelných parametrů. Kvašené chleby, byť na přípravu zdouhavější a náročnější než jejich konkurenti kypření pekařskými kvasnicemi, mají nezastupitelné místo i na současném trhu. Kromě jejich vyšší a nenapodobitelné sensorické kvality je často skloňován jejich přínos pro střevní mikrobiom konzumenta, což hraje roli zvláště s ohledem na vysoký každodenní příjem obilovin spotřebiteli. Dalšími benefity užití cereálního kvasu, oproti čistému pekařskému droždí, je možnost produkce bezlepkových chlebů o přijatelné textuře a vysoká mikrobiální stabilita výrobků.

Samostatnou kapitolou je poté optimalizace receptů a aplikovaných postupů pro konkrétní kvasové produkty. Jakkoli je hlavní surovinová základna (žitná a pšeničná mouka, voda, sůl) víceméně stálá, přídavek dalších složek je velkou, stále zkoumanou proměnnou. Motivací pro zdokonalení receptur je mnoho: zlepšení sensorické kvality, zefektivnění dlouhého a nákladného procesu přípravy, zvýšení antimikrobiálních vlastností. Kromě možnosti adice chemických přípravků se nabízí využití přírodních surovin, tradičně v pekařské technologii využívaných – charakteristických koření, netradičních druhů muk, či různých forem cukrů.

Přídavku jednoduchých sacharidů do těsta při výrobě jsou přisuzovány mnohé benefity; ze základních druhů cukrů jsou nejvíce využívány řepný cukr, včelí med a sladová moučka. V dosavadních výzkumech byl sledován jejich vliv na vybrané parametry kvašených výrobků pouze izolovaně, tzn. bez vzájemné komparace. Přínosem této práce je absolutní i relativní srovnání změn, nastalých v chlebovém těstě i upečených výrobcích při přídavku stejných koncentrací konkrétních druhů sacharidů. Výstupem je charakteristika použitých druhů cukrů jakožto látek s určitými vlivy na vlastnosti kvašeného chleba, což umožní jednodušší optimalizaci nových receptů ve vývoji pekařského průmyslu.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Chemické složení obilného zrna

Základem pekařských výrobků, jejichž některými výrobními kroky se zabývá tato práce, tvoří mouka jakožto rozemleté zrno tradičně pěstovaných obilovin. Jednotlivé složky obilného zrna a jejich vzájemný poměr hrají velkou roli v parametrech konečného pekařského výrobku; proto se první kapitola zabývá výhradně chemickým složením obilky.

Většinový podíl zrna tvoří polysacharidy, kde zastávají především zásobní, v menší míře stavební funkci. Zásobní polysacharid škrob může být pak v závislosti na druhu obilky zastoupen až ze 75 %; neškrobové polysacharidy tvoří pouze malé procento z celkového složení zrna. Druhou nejvíce zastoupenou složkou jsou bílkoviny (zpravidla 8-12 %); v malé míře je zrno tvořeno též monosacharidy (2,5 %), tuky (2,5-3 %) a popelovinami (2-3 %).^[1,5,6]

Z hlediska rozložení jednotlivých komponent v obilce platí, že škrob s částí bílkovin je koncentrován v endospermu obilky; největší proteinový podíl tvoří aleuronovou vrstvu^[1] jakožto hranici mezi ektospermem a endospermem. Nositelem tukové složky obilí je klíček. Nerozpustné polysacharidy na bázi celulózy a pentózanů, případně jednoduché cukry tvoří obalové vrstvy, tedy ektosperm obalového zrna.^[5,6]

2.1.1. Škrob

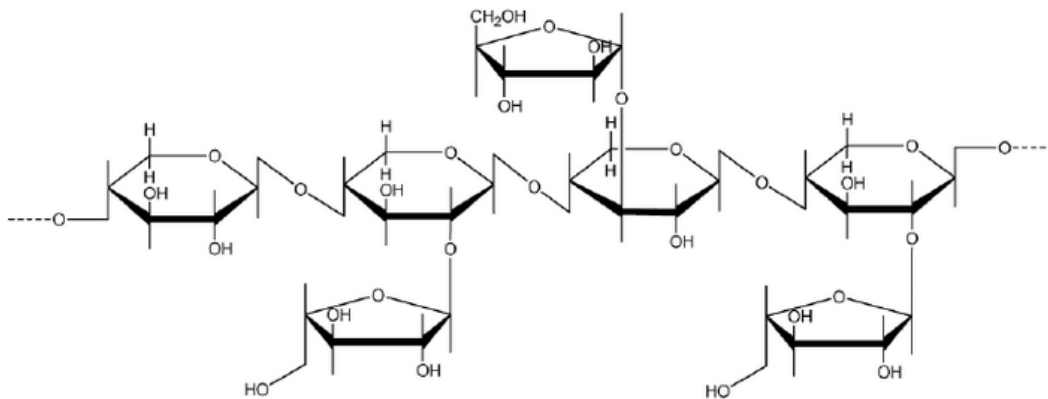
Na struktuře škrobu jsou rozlišitelné dvě frakce – pravidelné helixy α -amylózy a rozvětvený amylopektin. Oba se skládají z jednotek glukózy, navzájem propojených glykosidickou vazbou; uhlíky tvořící konkrétní vazbu jsou přitom principem, tvořící strukturní odlišnost zmíněných frakcí.

Škrob je obsažen především endospermu zrna^[1] a bývá tak v nízce vymílaných moukách zastoupen více než v celozrnných druzích. Pro výrobu jakéhokoli pekařského výrobku naprosto zásadní funkci. Krom toho, že molekuly glukózy v něm obsažené slouží jako substrát pro mikroorganismy fermentace, využívá se již zmíněné schopnosti amylopektinu absorbovat vodu – bobtnavosti. I při teplotě vyhněteného těsta (30 °C) umí mezi své větvené řetězce navázat molekuly vody; se zvyšující se teplotou (40-70 °C) probíhá tato reakce ještě ve větším rozsahu. Vytváří se tak pevná, viskózní, trojrozměrná gelovitá síť, v jejíž dutinách jsou molekuly vody uzavřeny. Díky tomu si střída chleba i při extrémním teplotním namáhání během pečení výrobku udrží vlhkost.

S časem bobtnavost amylopektinu ztrácí na účinnosti; upečený výrobek navázanou vodu ztrácí a vysychá. Retrogradace škrobu, je ale vratná – při přístupu k vodě se proces mazovatění obnovuje, zvláště, je-li opět podpořen zvýšením teploty.^[3,4,6,7]

2.1.2. Neškrobové polysacharidy

Neškrobové polysacharidy se nacházejí především v obalových vrstvách obilného zrna. V pšeničné mouce je řeč především o celulóze, jejíž pevná a ve vodě nerozpustná vlákna tvoří nosnou strukturu obilky; v jiných druzích mouky je ještě ve větší míře doplněna o polysacharidy rozpustné, schopné bobtnat – žitné arabinoxylany (dříve též pentozany) a slizy, ovesné a ječné β -glukany. Koloidní systém, který jsou tyto polysacharidy schopny vytvořit po vyhnětení těsta, se významně podílí na jeho struktuře. Pro některé je charakteristická schopnost přijímat několikanásobné množství vody svojí vlastní hmotnosti, a to již při pokojové teplotě. Umožní tudíž žitným moukám navázat dostatek vlhkosti při mísení těsta a prodlužují též vláčnost chlebové střídy žitných výrobků po upečení.^[6,8]



Obrázek 1: Struktura arabinoxylanu: na lineární řetězec β -1,4-D-xylosy se vazbami α -1,2 či α -1,3 váže L-arabinofuranosa. ^[9]

2.1.3. Proteiny obilného zrna, lepek

Proteiny obilných zrn se v závislosti na druhu píce velmi odlišují a vzhledem k jejich poměrně vysokému procentuálnímu zastoupení v obilce mouka z takovýchto zrn umletá vykazuje velmi rozdílné vlastnosti. Z pekařského hlediska je nejvýznamnější tvorba lepku při mísení těst z pšeničné mouky; tato kapitola bude proto věnována téměř výhradně popisu proteinů pšeničných. ^[5,8]

Pro pšeničné bílkoviny je vzhledem ke zmíněné technologické významnosti lepku vžitě rozlišení na gliadiny a gluteniny – vysoko- a nízkomolekulární proteiny, které se na struktuře lepku podílejí. ^[7]

Gliadiny byly popsány jakožto jednořetězcové makromolekuly, tvořené z části helixy zpevněnými vodíkovými můstky a z části náhodnými ohyby. Oproti tomu řetězec gluteninů je zohýbán do velkého množství smyček, propojených navzájem disulfidickými můstky (zprostředkovaných zpravidla dvěma cysteinovými molekulami polypeptidového řetězce); strukturu dále zpevňují vodíkové vazby, hydrofobní síly a iontové interakce. ^[8]

Obě zmíněné bílkovinné frakce pšeničného zrna mají schopnost do jisté míry bobtnat ve vodných roztocích. Při mechanickém namáhání jejich molekul dochází za přístupu vzdušného kyslíku k tvorbě pružného gelu, nazývaného lepek. Jakožto elastická trojrozměrná síť se do značné míry podílí na nosné struktuře vyhněteného těsta: zadržuje molekuly plynů unikající v průběhu fermentace, umožňuje výrobku nabývat na objemu a zajišťuje relativní tažnost těsta. Na této schopnosti se podílí oba popsané typy pšeničných bílkovin: glutenin na základě své struktury propůjčuje lepkovému gelu elasticitu, gliadin tažnost. ^[7,8]

Lepek se začíná tvořit při styku bílkovin rozdrceného endospermu s vodou a vyvíjí se postupně – v polypeptidovém řetězci dochází ke zprerhání některých vodíkových vazeb a naopak tvorbě vodíkových můstků nových, což má za následek stočení řetězce do jiného útvaru. Na celkovou elasticitu lepku má vliv též množství a rozložení disulfidických vazeb v molekule gluteninu. ^[10]

V závislosti na jeho kvalitě a množství v použité mouce trvá tvorba lepkového gelu různou dobu (v řádu minut). Zpočátku prudce narůstá jeho schopnost zadržovat kvasné plyny; není-li těsto vyhněteno dostatečně, struktura lepku se nestihne vyvinout a těsto špatně kyne. Naopak příliš dlouhé namáhání směsi vede k tomu, že se lepková síť opět bortí. Přehnětené těsto se vyznačuje lepivostí, roztékavostí a nižší výtěžností, což je z technologického hlediska nežádoucí. ^[3,8]

Správně vyhnětený lepek umí zajistit dobrou zpracovatelnost klonku těsta, jeho maximální nabytí na objemu a kompaktnost upečeného výrobku. Ta je dána denurací proteinové kostry vlivem vysokých teplot; dochází k uzavření molekul vzduchu ve střídě a produkt zachovává žádoucí tvar. ^[8]

Bílkoviny žitné mouky popsanou souvislou trojrozměrnou síť tvořit neumí. Na tvorbě nosné struktury těsta se spolupodílí přítomné polysacharidy. ^[6]

2.1.4. Enzymy obilného zrna

Enzymatická činnost je nedílnou součástí pochodů, které výrobu pekařských výrobků doprovází. Hlavní úlohu sehrávají v průběhu fermentace těsta, kde se podílejí na hydrolýze škrobu a v menší části bílkovin za bobtnání obou zmíněných složek mouky. Jelikož jsou oba tyto pochody klíčové pro získání požadovaných parametrů těsta výrobku, podmínky vedení chlebových těst musí být optimalizovány mimo jiné i pro hladký průběh enzymaticky katalyzovaných reakcí. [6,7]

V obilném zrně se enzymatická činnost aktivuje v aleuronové vrstvě a šíří se postupně do endospermu. [1] Hlavní roli sehrávají amylázy ze třídy hydroláz. Rozlišuje se α -amyláza a β -amyláza; jejich hlavní úlohou je štěpit škrob na nižší sacharidové jednotky, které mohou posléze sloužit jako substrát pro kvasné mikroorganismy či se podílet na karamelizaci chlebové kůry při pečení. [6,7]

2.2. Kvasový chléb

2.2.1. Základní charakteristika kvasového chleba

Pod pojmem „kvasový chléb“, případně „chléb kváskový“ či „chléb s kváskem/kvasem“ se rozumí pekařský výrobek zakyselený výhradně kvasem; nese-li tento pojem ještě přízvisko „tradiční“, kvas musí být zaděláván z žitné mouky a má při pekařském postupu sloužit též jako kypřidlo těsta. Tradiční vyvádění kvasu má být dle vyhlášky třístupňové. [11,12]

Při výrobě takového pekařského výrobku, ve srovnání s pečivem kypřeným pekařským droždím, vzniká kromě oxidu uhličitého a ethanolu též velmi široké spektrum dalších kvasných produktů – organických kyselin, karbonylů, jiných alkoholů a esterů, které výrazně zlepšují chuť a aroma finálního produktu. Strída kváskového chleba si lépe drží vlhkost a zároveň je odolnější vůči napadení plísněmi. [2, 3,16]

Základní těsto pro výrobu kvasového chleba je zaděláváno pouze z několika mála ingrediencí – mouky, vody a soli. Použití kvasu jako zakyselujícího a kypřícího přípravku zároveň může příznivě ovlivnit fermentaci natolik, že není potřebná aplikace dalších podpůrných přípravků. V praxi se nicméně pro urychlení kynutí a získání většího objemu finálního výrobku často i do těst kypřených kvasem přidává malé množství droždí jako podpůrný prostředek; takovýto chléb již však musí být označen jako „chléb kváskového typu“, nikoli kvasový. [3,4]

2.2.2. Mouka

Výroba kváskového chleba je založena na fermentaci především žitné mouky. Ta v našich zeměpisných šířkách tvoří většinou veškerý podíl mouky v kvasných stupních; v hlavním chlebovém těstě je často doprovázena či plně zastoupena moukou pšeničnou. [3,4]

Toto zacházení má důvody pramenící z rozdílů technologických vlastností zmíněných druhů mouk – zatímco žitné mouky disponují zpravidla vyšším podílem škrobu, potřebného k existenci a rozvoji kvasných mikroorganismů, pšeničné druhy obsahují vyšší procento bílkovin, schopných tvořit při vyhnětení těsta lepek, potřebný hlavně v druhé polovině výrobního procesu. Těsta výhradně z žitné mouky se v důsledku absence lepku trhají, jsou hůře technologicky zpracovatelná a upečený chléb může být níže klenutý a s menší pórovitostí střídy. [3,5]

2.2.3. Voda

Voda je druhou základní a nenahraditelnou složkou při výrobě kváskového chleba. V první řadě tvoří roztoky rozpustných složek těsta, pojí sypké suroviny dohromady a umožňuje tvorbu trojrozměrných sítí v těstě, ať už se jedná o lepek v pšeničných, či gel v žitných těstech. Její přítomnost je podmínkou pro enzymatickou hydrolýzu škrobu či nižších sacharidů i životaschopnost bakterií a kvasinek žitného kvasu. Díky její vysoké tepelné kapacitě je snadné regulovat prostřednictvím jejího přídavku k ostatním

surovinám teplotu kvasných stupňů či samotného těsta; použití vody teplejší 45 °C může mít však za následek inaktivaci a částečnou denaturaci enzymů katalyzujících mikrobiologické procesy.

V neposlední řadě má voda významný vliv na strukturu hotového výrobku – její část, podílející se na tvorbě gelů, zastává funkci hydratace pečiva a zbylý podíl, neúčastnící se škrobového mazovatění, se v průběhu pečení vypařuje a spoluvytváří póry chlebové střídy. ^[5] Pro dosažení optimálních vlastností pečiva je žádána voda konkrétních vlastností: žádoucí je pH o hodnotě 6-8, nižší tvrdost vody a absence nežádoucích příměsí. Příliš alkalická voda proto kvasné procesy brzdí; mimoto může způsobit drolivost a chuťovou nevýraznost střídy. Naopak, kyselá voda kvašení podporuje; těsto však zároveň dělá volnějším, roztékavějším a hůře zpracovatelným. ^[3,5]

2.2.4. Sůl

Chlorid sodný je součástí každého běžného pekařského výrobku. V závislosti na typu pečiva a konkrétní receptuře se jeho přídavek pohybuje od 0,5 po 2 % hmotnosti použité mouky a hraje roli jak průběhu fermentace a během pečení, tak při následné konzumaci a skladování produktu. ^[5]

V prvé řadě reguluje sůl v závislosti na své koncentraci rychlost kvasných procesů. Bylo prokázáno, že nízké koncentrace soli (0,5-1,5 % _{hm.}) příznivě ovlivňují průběh fermentace ^[13], jelikož tlak iontů na membrány kvasinek zvyšuje aktivitu kvasinek, a tedy i množství spotřebované glukózy jakožto substrátu a rychlost reprodukce (princip solného stresu). ^[14]

Naopak, příliš vysoká koncentrace soli již neumožňuje kvasinkám se na vzniklé prostředí adaptovat a fermentace probíhá pomaleji. Tato hraniční koncentrace je velmi diskutována a závisí především na poměru ostatních surovin v receptu; některé zdroje ji stanovují na 2 % _{hm.} ^[5], jiné však dokládají pozitivní účinky na fermentaci ještě při hodnotě 3,5 % _{hm.} NaCl na hmotnost mouky v těstě. ^[14] Extrémně vysoké přídávky soli mohou mikroorganismy v důsledku působení silného osmotického tlaku i inaktivovat.

Sůl v těstě dále ztuzuje obilné bílkoviny za tvorby kompaktnější střídy, zbarvuje kůrku pečiva a ovlivňuje chuťové parametry výrobku. ^[3,5]

V chlebu nezakyseleném kvasnými předstupni hraje sůl i roli významného konzervačního přípravku, zamezujícímu růstu plísni ve střídě výrobku; produkty s nízkými přídávky soli se vyznačují mnohem nižší trvanlivostí než výrobky slanější. Studie však ukázala, že použití kvasu při fermentaci těsta má na hotový produkt již tak výrazný antimykotický vliv, že variace koncentrací soli v těstě již na rozvoj plísni nemá téměř žádný pozitivní efekt. ^[15]

2.2.5. Ostatní používané suroviny

V předchozích odstavcích byly popsány suroviny potřebné k přípravě těsta na každý kváskový chléb. Použití surovin dalších je již volitelné. Zpravidla se přidává malé procento mono- či disacharidové složky jakožto sladidla, rostlinného či živočišného tuku či koření; konkrétní receptury jsou obohaceny o přídavek rostlinných semen, piva, specifických druhů koření či mléčných produktů.

Přídavek sladidla může významně ovlivnit průběh fermentace i parametry upečeného výrobku. Podrobněji o tomto vlivu ale bude popsáno až po rozboru samotných fermentačních pochodů kvašených těst.

2.3. Žitný kvas

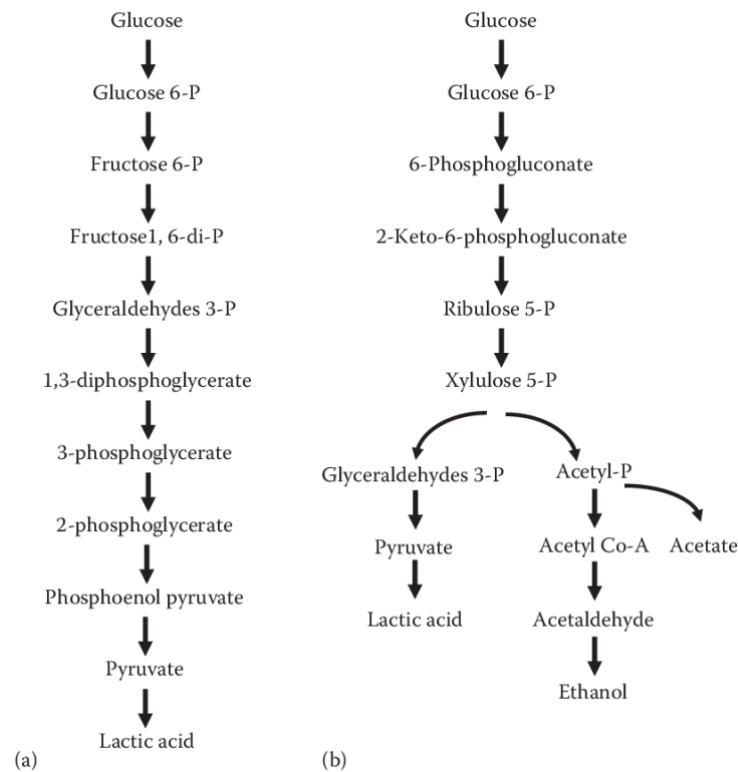
Žitný kvas jakožto směs (žitné) mouky, vody a množství blíže charakterizovaných mikroorganismů je tradiční forma zakyselujícího a kypřícího přípravku, používaná hlavně při výrobě chleba. Byla používána již před vynálezem komerčního droždí, od kterého se liší hlavně značnou rozmanitostí a variabilitou přítomné mikroflóry. ^[7,16]

Podstatou žitného kvasu je přirozený vznik a rozvoj mikroorganismů v podmínkách jim příznivých. Z toho důvodu nejsou – a ani nemohou být – přesně definovány konkrétní druhy, které jsou v kvasech

detekovatelné. Největší podíl je tvořen bakteriemi rodu *Lactobacillus*, jako druhé jsou zastoupeny kvasinky; jejich vzájemný poměr se pohybuje okolo 100:1 ve prospěch laktobacilů. ^[15,16] Tyto dvě skupiny při optimálních podmínkách (především teplotě, kyselosti prostředí a aktivitě vody) zkvašují produkty hydrolytického štěpení žitné mouky jakožto substrát ^[6]. Tvorba dostatku žádaných produktů kvašení je podstatou zrání a kynutí jednotlivých kvasných stupňů i chlebových těst – jejich množství a složení ovlivňuje tvar, texturu, trvanlivost i barvu, ale především sensorické vlastnosti upečeného výrobku. ^[6,15,16]

2.3.1. Bakterie mléčného kvašení

Zástupce rodu *Lactobacillus*, přítomné v žitných kvasech, lze podle produktů tvořených v průběhu fermentace rozdělit ještě na homofermentativní (konkrétně např. *Lb. debrueckii*, *Lb. acidophilus*), které produkují pouze kyselinu mléčnou, heterofermentativní (*Lb. brevis*, *Lb. fermentum*) ^[15,16], jejichž zkvašováním cukrů se tvoří též malé množství kyseliny octové, oxidu uhličitého a případně ethanolu ^[16], případně fakultativně heterofermentativní (*Lb. plantarum*, *Lb. casei*). ^[15,16] Pro mikroflóru kvasového chleba hraje hlavní roli kvašení heterofermentativní – pestrost kvasných produktů charakterizuje chuť a aroma upečeného produktu, který díky tomu vedle výrobků kypřených pouze droždím významně stoupá na kvalitě. ^[16]



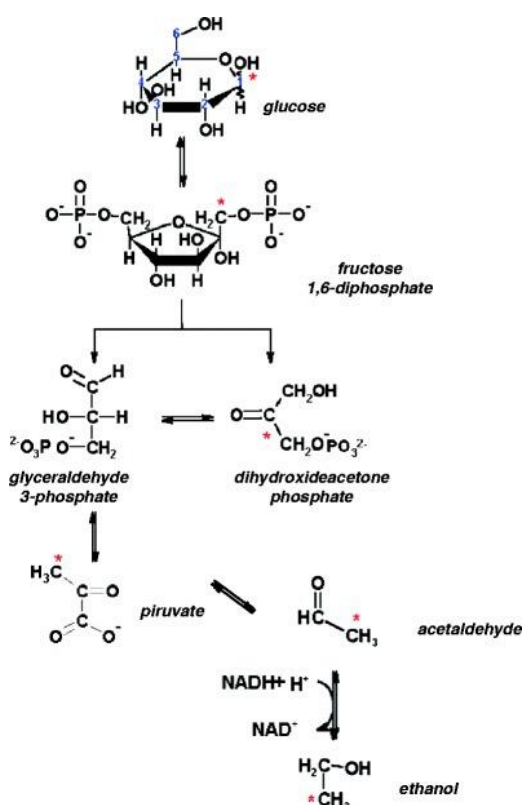
Obrázek 2: Metabolismus glukózy bakteriemi rodu *Lactobacillus* cestou a) homofermentativního a b) heterofermentativního mléčného kvašení. ^[26]

Vzájemný poměr kvasných produktů významně ovlivňuje chuť, texturu, pH a potažmo trvanlivost výsledného produktu ^[6,15,16]. Jako optimální zastoupení vzniklé kyseliny mléčné a octové v těstě se považuje molární poměr 3:1-4:1; ovlivnit je ho možné pomocí regulace teploty jednotlivých kvasných stupňů i samotného těsta (kyselina octová se tvoří více při teplotách pod hranicí 30 °C, kyselina mléčná nad ní). V upečeném výrobku je podíl kyseliny octové ještě nižší kvůli její vyšší těkavosti v průběhu pečení, oproti kyselině mléčné ^[3]. Dalšími produkty heterofermentativního kvašení je kyselina jantarová; v nižších koncentracích byly v kvasových výrobcích stanoveny též kyselina fosforečná, citronová či fenylmléčná; dále ethanol a různé ketonové sloučeniny, resp. estery. ^[6,18]

Bakterie mléčného kvašení vykazují podstatně vyšší toleranci vůči alkoholu než kvasinky^[17]. Jejich aktivita by tudíž paralelně probíhajícím alkoholovým kvašením neměla být narušena.

2.3.2. Kvasinky

V žitných kvasech bylo pozorováno přes 20 druhů kvasinek^[16]. Mezi hojně zastoupený druh kvasinky žitných kvasů patří *Saccharomyces cerevisiae*^[2,3,16], základ komerčního droždí. Dále lze detekovat jiné druhy téhož rodu (*Saccharomyces exiguus*^[16]) a různé druhy rodu *Candida* (*Candida milleri*, *Candida holmii*^[16], *Candida crusei*^[2]). Produkty jejich kvašení jsou ethanol a nezanedbatelné množství oxidu uhličitého, které je zachycováno do trojrozměrných struktur na proteinové či polysacharidové bázi, vzniklých během mísení a bobtnání těstové hmoty. Účelem kvasinek je tedy na rozdíl od bakterií mléčného kvašení dostatečné nakypření těsta a nakynutí finálního výrobku.



Obrázek 3: Metabolismus glukózy alkoholovým kvašením, probíhající u kvasinek *Saccharomyces cerevisiae*.^[27]

Oba zmíněné produkty fermentace jsou ale pro své producenty při vyšších koncentracích jedem. Aby aktivita kvasinek nebyla inhibována, může být těsto při delších zracích dobách pretuženo – opět po krátkou dobu mechanicky namáháno za vypuzení vyloučených plynů z těsta. Při tomto kroku dojde též k provzdušnění hmoty, což má na fermentaci opět pozitivní vliv.^[6] Vzdušný kyslík je nutnou podmínkou zdárného nakynutí těsta: sice se přímo nepodílí na samotném alkoholovém kvašení, pro tvorbu kyseliny octové je již nutnou podmínkou. Mimo to podporuje množení kvasinek.^[3]

2.3.3. Hydrolýza škrobu

Všechny zmíněné mikroorganismy však jsou schopny zkvasit pouze monosacharidy (nejčastěji glukózu, případně fruktózu), respektive si zmíněné jednoduché cukry umí enzymaticky rozložit^[16] z molekul maltózy a sacharózy jakožto disacharidů z nich složených. Samotná maltóza se ale v žitné obilce vyskytuje pouze z cca 2 %^[6], sacharóza v podílu ještě nižším až zanedbatelným (podle výše vymletí mouky, je k nalezení převážně v ektospermu obilky^[5]). Proto je potřeba před zahájením

samotné fermentace činnosti hydrolytických enzymů obilného zrna, které polysacharidový řetězec postupně štěpí na jednodušší dextriny a molekuly maltózy. [3]

Kvůli odlišnosti mechanismu štěpení škrobu jednotlivých enzymů je pro úplné rozložení polysacharidové struktury nutná součinnost obou amylolytických enzymů. α -amyláza je schopna štěpit škrob v kterémkoli místě jeho struktury – za rozrušení glykosidové vazby mezi dvěma monosacharidovými jednotkami tvoří lineární či větvené oligosacharidy, dextriny. Oproti tomu β -amyláza odštěpuje jednotky maltózy z konců škrobového řetězce (z toho důvodu někdy nazývána enzymem zcukřujícím), nedokáže se ovšem dostat za α -1,6 glykosidové vazby v amylopektinu. [6]

Pro zdárný průběh fermentace je nežádoucí jak přílišná, tak nedostatečná aktivita zmíněných enzymů. Těsta s velkým množstvím naštěpených nižších sacharidů se při zpracovávání roztékají, bouřlivě kynou a příliš brzy nabytý objem zase ztrácejí, což má za následek nízce klenuté výrobky s lepkavou střídou. Málo rozloženého škrobu zase kynutí brzdí a dává suchý výrobek s malou pórovitostí [6].

Z hlediska pekařského technologického postupu je možné ovlivnit pouze nedostatek amylolytické aktivity, případně amyláz samotných, přidavkem enzymatických preparátů či sladové moučky. V zásadě však platí, že naplocho mleté žitné mouky se projevují vyšší cukernatostí, tzn. vyšší schopností rozkládat škrob než mouky pšeničné. [6,7]

Mohutná amylolytická aktivita je dána přílišným porušením škrobu během mletí mouky, či naklíčením obilí před pomletím, jelikož amyláza slouží jako zprostředkovatel energie z jednoduchých cukrů obilce při klíčení [6,7]. Eliminace obou těchto faktorů je možná pouze výběrem správné mouky pro pečení.

2.3.4. Vedení žitných kvasů

Průběh fermentace je dynamický, komplexní a pro popis složitý. Dá se však říci, že je realizovatelný pouze za přítomnosti konkrétní mikroflóry, která si rozkladem a konzumací organických látek opatřují energii potřebnou k životu. [4] Všechny mikrobiologické a chemické změny, které díky nim v substrátu probíhají, jsou zároveň enzymaticky katalyzovány. Je tudíž možné regulací teploty a variací množství vstupních surovin ovlivnit poměr přítomných mikroorganismů, podpořit či inhibovat katalýzu určitých reakcí a tím do jisté míry řídit vznik kvasných produktů, charakterizujících konkrétní pekařský výrobek.

Úprava teploty či výtěžnosti kvasu má vliv na poměrné množství kvasinek a bakterií mléčného kvašení. Pro dosažení optimálního rozvoje žádaných mikroorganismů konkrétního produktu se proto kvasy vyvádějí v závislosti na konkrétním receptu ve více stupních, přičemž každý z nich má podmínky optimalizovány pro rozvoj konkrétních druhů mikroflóry. Délka kvašení jednotlivých stupňů je též důležitá, neboť příliš mnoho fermentačních produktů určitých druhů může vytvářet podmínky inhibující činnost jiných (např. laktobacily přílišným snížením pH těsta brání v aktivitě kvasinkám). [3,4]

Nevhodné podmínky vedení mohou zapříčinit vznik zvýšených koncentrací senzorky nežádoucích kvasných produktů, jako je například kyselina propionová a máselná (konkrétně tyto se uvolňují v rámci mléčného kvašení při teplotách přesahujících 33, resp. 35 °C). [3]

2.3.5. Antimikrobiální aktivita cereálního kvasu

Cereální výrobky podléhají obecně zkáze nejčastěji v důsledku pomnožení mikroskopických vláknitých hub (plesnivění pečiva se odhaduje jako příčina mikrobiologického rozkladu z 60 %; oproti tomu, kvasinky pouze z 15 %) [19]. Vzhledem k charakteru potraviny a jejímu složení je v zeměpisných podmínkách střední Evropy skloňovaný výskyt rodů *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor* či *Rhizopus*. [20] Vzhledem k tomu, že se jedná o běžné potravinářské plísně, je výskyt jejich spor ve vzduchu domácností poměrně běžný a riziko kontaminace hotových cereálních výrobků tudíž poměrně vysoké; neobvyklá není ani kontaminace primární, protože zmíněné plísňové rody osidlují již semínané druhy obilí během růstu, zrání a posklizňového sladování. [21] Spory plísni napadené komodity během pečení cereálních výrobků kvantitativně nehynou a můžou tudíž při nevhodném skladování produktu opětovně vypučet. Problematika plísni se skloňuje hlavně v souvislosti s jejich sekundárními

metabolity – mykotoxiny. Toxicita těchto sloučenin na lidský organismus je již dlouhodobě popisována. V cereálních výrobcích je, vzhledem k častým kontaminujícím druhům, zvýšené riziko přítomnosti látek s vysokou toxicitou – aflatoxinů, Ochratoxinu A, Zearalenone, fumosininů a dalších. ^[21,22] Problematika jejich výskytu je násobena jejich extrémní odolností vůči konzervačním metodám – dekompoziční teploty zmíněných metabolitů se většinou pohybují mezi 250-300 °C ^[22], což naprosto vylučuje jejich eliminaci během pečení cereálních produktů, byly-li již obsaženy ve vstupních surovinách pečiva. ^[21]

Profil těkavých látek, který v rámci fermentace těsta vzniká, obsahuje řadu sloučenin s antimykotickým efektem. Na nejčastěji zastoupené plísňové druhy cereálních výrobků působí prokazatelně inhibičně kyselina mléčná, octová, propionová a fenylmléčná; roli hraje i vznikající ethanol. ^[21,23,24] Nejeftivněji se při podmínkách fermentace jeví propionát, a to i při relativně nízkých koncentracích, v jakém je ve výsledném pečivu obsažen. Jeho účinnosti v tomto směru využívá i potravinářský průmysl a kyselinu propionovou je v koncentraci do 0,3 % _{hm} (vztaženo na hmotnost produktu) povoleno aplikovat na hotové pekařské výrobky ^[15,24].

Rozvoj nežádoucí mikroflóry ale inhibují nepřímo i další metabolity kvasných procesů, díky kterým klesá pH těsta – ač jsou samotné plísňové druhy vůči kyselějším prostředím odolná (pH-optimum rodu *Penicillium* se naopak pohybuje v hodnotách hotového, vykvašeného těsta ^[24]), podporuje pokles pH antimikrobiální aktivitu zmíněných organických kyselin. Přes cytoplazmatické membrány plísňových buněk prochází zásadně nedisociovaná forma organických kyselin a vyšší aktivita vodíkových protonů potlačuje disociaci kyselin ve vodné fázi těsta. ^[23,24]

2.4. Sladidla a jejich přídavek do kvašených těst

Recepty na kvasový chléb bývají obohaceny o přídavek cukru či jiného sladícího prostředku. Účelem je zvýšit koncentraci substrátu pro přítomnou mikroflóru v počátcích kvašení (lag-fázi), kdy ještě není enzymaticky naštěpen dostatek škrobu pro efektivní průběh fermentace.

Ač úplným zcukřením škrobu vzniká maltóza, jako zlepšující přípravek do těst bývá nejčastěji užíváno čisté sacharózy – řepného cukru, případně vedlejších produktů a meziproductů vznikajících během jeho výroby (hnědý cukr, melasa) ^[7]. Výjimečnější jsou přídavky medu či jiných druhů cukru, které kromě čisté sacharózy obsahují i různé příměsi. ^[5,6]

2.4.1. Řepný cukr

Sacharóza je asymetrický neredukující disacharid, tvořený molekulou glukózy a fruktózy. Bylo zjištěno, že zahřátí sacharózy v prostředí silných kyselin či bází štěpí glykosidovou vazbu mezi monosacharidy; vzniklá racemická směs stáčí rovinu polarizovaného světla na opačnou stranu než před reakcí, což zapříčinilo vznik jejího názvu – invertní cukr. ^[7]

Kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* disponují enzymem invertázou, který umožňuje štěpit sacharózu na invertní cukr stejně jako prostředí silných kyselin či bází ^[26]. Glukóza a fruktóza jsou pro ně, na rozdíl od sacharózy, již vhodným substrátem a mohou podpořit jejich růst a aktivitu. Rod *Saccharomyces cerevisiae* prokazatelně metabolizuje určitou část sacharózy přednostně, než začne zkvašovat maltózu ^[6] zvláště pro zdárné nastartování kvašení tak může cukr být vhodnou zlepšující složkou těsta. Od určité koncentrace přidaného cukru (5-10 % hmotnosti mouky) již však jeho vliv na fermentaci přestává být přínosem, resp. stává se negativním – kvasinky jsou vlivem vysokého osmotického tlaku cukerného roztoku na buněčné stěny dehydrovány a jejich aktivita stagnuje či je snížena. Objem vyprodukovaného oxidu uhličitého se tak může výrazně snížit a způsobit malou pórovitost a hutnost střídy upečeného výrobku. ^[5,6,29] Standardní přídavek cukru do těst na kvašené chleby se tak pohybuje mezi 2-3 % hmotnosti zastoupené mouky ^[30].

I některé bakterie mléčného kvašení disponují schopností hydrolyzovat sacharózu na směs glukózy a fruktózy. Zatímco glukóza podléhá reakcím homofermentativního, resp. heterofermentativního mléčného kvašení za vzniku laktátu, resp. laktátu a ethanolu/kyseliny octové, fruktóza je redukována

na manitol při homofermentativním, resp. manitol a acetát při heterofermentativním typu kvašení ^[31,32]. Při metabolismu fruktózy bakteriemi mléčného kvašení vznikají navíc exopolysacharidy, homo-či heteropolysacharidy přírodního původu zlepšující jak reologické vlastnosti chleba (především stabilitu střídy i celkového tvaru výrobku), tak i jeho nutriční hodnotu ^[31,33].

2.4.2. Med

Složení medu je závislé především na kombinaci nektarů z různých druhů rostlin jakožto vstupních produktů, neméně na podnebí místa vzniku. Není proto možné definovat přesné zastoupení jeho komponent ^[34]. Jeho hlavními složkami ale vždy zůstávají glukóza a fruktóza, a to ve vzájemném poměru téměř 1:1 v mírný prospěch fruktózy ^[5]. Při nízkých koncentracích sladidel, které se užívají při výrobě kvašených chlebů, je tento mírný nepoměr zanedbatelný. Med je tudíž schopen v těstě plně nahradit substrátovou funkci řepného cukru.

Kompletní chemické složení medu zobrazuje Tabulka 1. Uvedené hodnoty popisují spíše nektarové, tzn. květové medy; medy medovicové se u většiny uváděných parametrů mírně odchyľují ^[35].

Tabulka 1: Průměrné hodnoty chemického složení medu. ^[36]

Složka	Průměrná hodnota (%)	Rozpětí (%)
Fruktóza	38,4	30,9-44,3
Glukóza	30,3	22,9-40,7
Sacharóza	1,3	0,2-7,6
Ostatní disacharidy	7,3	2,7-16,0
Vyšší sacharidy	1,4	0,1-3,8
Voda	17,2	12,2-22,9
Kyselina glukonová	0,57	0,17-1,17
Ostatní kyseliny	0,43	0,13-0,92
Aminokyseliny, proteiny [28]	0,6	0,2-2,0
Minerály	0,17	0,02-1,03

Na parametry kvasového chleba může mít vliv i enzymatická činnost medu. V souvislosti s medem je nejčastěji skloňovaná diastáza, enzym schopný štěpit škroby; zastoupena je též v malé míře již rozebíraná invertáza ^[35]. Dále je obsažna glukózooxidáza – enzym produkovaný včelstvy, je schopen oxidovat glukózu za vzniku glukonolaktonu a peroxidu vodíku. H₂O₂ jakožto silné oxidační činidlo poté při mechanickém namáhání těsta zvětšuje množství vytvořených disulfidických vazeb mezi polypeptidovými řetězci pšeničného zrna a vyhnětený lepek se vykazuje vyšší pevností ^[37]. Studie z roku 2017 potvrdila, že může pozitivně ovlivnit vývoj lepkové struktury při mísení chlebového těsta.

V delším časovém intervalu kvašení může pak enzymatická činnost medu dosáhnout takové intenzity, že dokáže plně či téměř plně suplovat přítomnost chlebového kvasu či jiných kypřících činidel v těstě (je-li ovšem i v kvasných předstupních obsažena sůl, což u běžných kvašených výrobků nebývá zvykem). Takováto fermentace se však významně projeví až po 16-20 hodinách kvašení. ^[38] U standardních receptur na kváskové chleby se přidává med až do posledního kvasného stupně (hlavního těsta) a med se tedy účastní až posledních 3-4 hodin kvašení ^[30]; role medu na samotnou fermentaci je tedy při přítomnosti žitného kvásku spíše zanedbatelná.

Bylo prokázáno, že antioxidanty přítomné v medu nijak neinhibují průběh fermentace; naopak jsou bakteriemi mléčného kvašení metabolizovatelné za produkce látek ovlivňujících aroma konečného produktu. ^[37]

Průměrné pH nektarového medu se pohybuje mezi 4-6. ^[35] Pro bakterie mléčného kvašení je tato hodnota relativně přijatelná – konkrétně, např. *Lactobacillus fermentum* vykazuje optimální růst

v rozmezí 4,5-6,5 jednotek pH ^[32]. Jelikož standardní přídavek medu v těstě čítá jednotky procent zastoupené mouky ^[30], není jím kyselost těsta negativně ovlivněna.

Med se tak může z mnoha ohledů jevit jako lepší sladící přídavek v kvašeném těstě než čistá sacharóza. Kromě již popsaných benefitů je nositelem malého množství aromatických látek; pekaři mu též připisují mírnou emulgační schopnost hrající významnou roli, je-li v těstě obsažen tuk. Oba tyto aspekty pomáhají dotvořit komplexní chuť finálního výrobku ^[30].

2.4.3. Slad

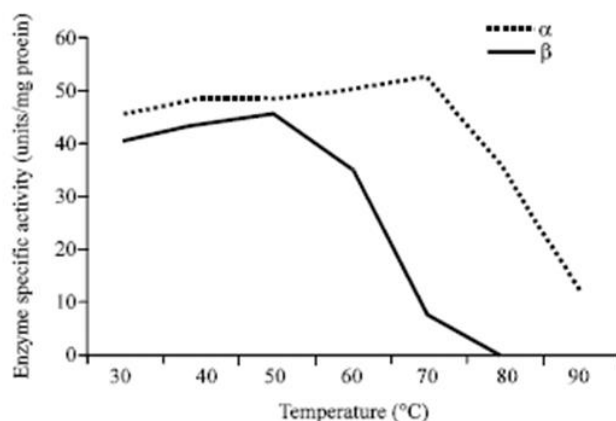
Slad je technologicky zpracované – naklíčené a usušené obilné zrno, které je používáno nejčastěji při vaření piva. ^[1] Jeho použití při výrobě pečiva není běžné, ale také ne ojedinělé. V pekařské technologii plní hned trojí funkci: enzymovou, substrátovou a senzoricou.

Enzymaticky aktivní zrno je zdrojem enzymů, aktivovaných v průběhu klíčení. Z pekařského hlediska mají největší význam amylázy díky své schopnosti štěpit škrob. Uvádí se, že aktivita α -amylázy v hotovém (aktivním) sladu převyšuje třicetnásobek původní hodnoty, u β -amylázy pak vzrůstá čtyř – až šestnásobně ^[1]. U muk s nižším přirozeným podílem aktivních enzymů je přídavek dalších amyláz žádoucí ^[6] (do této kategorie spadají převážně mouky pšeničné s vysokým podílem endospermu). Aplikace sladů do převážně žitných chlebů by mohla být z důvodu nadměrné enzymatické aktivity již kontraproduktivní (kvůli mletí naplocho obsahuje žitná mouka i aleuronové vrstvy ^[6] se všemi enzymy v ní obsaženými) a v našich krajích se příliš nevyužívá. V některých zahraničních receptech se lze setkat s velkými dávkami sladu do žitných výrobků (ruská Moskva či Borodinský chléb ^[39], příp. německý *Pumpernickel* ^[30]), takovéto produkty ale již mají zcela jiné reologické i chuťové vlastnosti, než je standardní v našich oblastech (mazlavější střída, nekompatibilní tvar, nasládlá chuť) ^[39].

Slad je dále zdrojem maltózy. Na její rozklad jsou bakterie mléčného kvašení vybaveny enzymem maltózo-fosforylázou a α -D-glukosidázou ^[32]; kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* ji rozkládají mechanismem odlišným (pomocí enzymu maltázy) za podstatně nižšího zisku energie ^[41]. Z toho plyne, že použití sladu je výhodnější pro kvašené chleby, než pro chleby kypřené pekařským droždím bez přídavku bakterií mléčného kvašení.

V neposlední řadě propůjčuje slad chlebu své senzoricke vlastnosti ^[30]. Část voňavých látek pochází již přímo ze sladu; zvýšená enzymatická činnost těsta má pak za důsledek větší množství naštěpených dextrinů vstupujících do reakcí neenzymového hnědnutí v průběhu pečení. Karamelizované slady (zahřívání během hvozdění nad teploty 85 °C) sice nevykazují enzymatickou aktivitu, díky vysokému podílu barevných a voňavých sloučenin ^[1] o to více dotvářejí senzoricke profil produktu – živější zbarvení kůry, rovnoměrnější pórovitost střídy a pikantnější chuť ^[39]. Přídavek sladu do těsta má vliv i na mnohé texturní vlastnosti chleba – elasticitu, žvýkavost, tvrdost či lepivost ^[40].

Slad bývá do těsta přidáván ve třech formách: v podobě práškové sladové moučky (přidávané nejčastěji do hlavního těsta ^[39]), komerčně prodávaného sladového přípravku (spíše zdroj cukrů, enzymatická aktivita je velmi malá ^[5]) či předpřipravené viskózní kapaliny (sladové moučky, zahřívání s částí mouky 3-4 hodiny při teplotách 60-65°C, což významně podpoří enzymatickou aktivitu i senzoricke profil) ^[30, 39].



Obrázek 4: Sladová moučka se aktivuje při teplotě optimální pro oba technologicky významné enzymy. Na obrázku vyobrazena teplotní závislost α - a β -amylázy v komerčně prodávaném sladu *Sorghum bicolor* cv. (Feterita) ^[34].

2.4.4. Fermentace jednotlivých cukrů v závislosti na pH prostředí

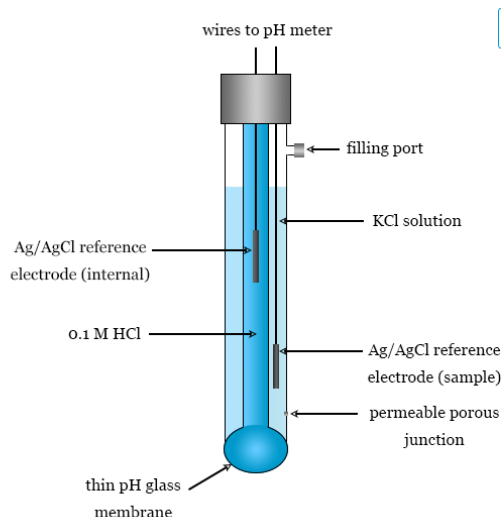
Těsto vymísené na kváskový chléb, podléhající fermentaci, obsahuje při přidavku sacharózy či medu více než jeden druh monosacharidu, resp. disacharidu. V takovémto případě mají přítomné mikroorganismy možnost volby, který typ substrátu zkvašovat přednostně. Při hodnotách pH optimálních pro rozvoj bakterií mléčného kvašení i kvasinek rodu *Saccharomyces* (kolem 5,5 ^[3,32]) v zásadě platí, že maltóza je rozkládána až po fermentaci téměř veškeré přítomné glukózy; rozklad fruktózy probíhá při této kyselosti kvantitativně.

Při limitních hodnotách pH pro růst bakterií mléčného kvašení byly ale prokázány zcela odlišné zásady. Na horní hranici pH (7,5) se projevuje neschopnost fermentace glukózy, ač maltóza v určité míře rozkládána je; konverze fruktózy na manitol je potlačena jen mírně. Při nízkých hodnotách pH (3,5) dochází naopak ve kvantitativnímu spotřebování přítomné glukózy i převodu fruktózy na manitol; koncentrace maltózy avšak zůstává konstantní. Tato substrátová specifita dosud nebyla objasněna ^[32]. Pro pekařský průmysl tak pouze vyzdvihuje důležitost kontroly kyselosti těsta v průběhu fermentace pro optimální nakynutí výrobků, resp. uzpůsobení podmínek v závislosti na poměru jednotlivých cukrů obsažených v těstě.

2.5. Metody

2.5.1. Měření pH vzorků těsta

V průběhu fermentace cukerného substrátu mikroorganismy dochází k tvorbě organických kyselin a tudíž poklesu pH roztoku. Pro měření závislosti pH na čase byla zvolena iontově selektivní skleněná elektroda, měřící aktivitu protonů v roztoku. Principem je zde iontová výměna mezi semipermeabilní křemičitanovou strukturou na povrchu elektrody a protony roztoku: ionty H^+ jsou vpouštěny dovnitř elektrody, kde mění rovnováhu ustavenou na rozhraní kovového stříbra v chloridovém roztoku. Změna napětí, daná potřebnou výměnou elektronů pro ustavení další rovnováhy, je přímo úměrná změně pH.



Obrázek 5: Skleněná elektroda ^[43].

2.5.2. Analýza organických kyselin iontovou chromatografií

Kyseliny jsou látky podléhající ve vodném roztoku disociaci za štěpení jednoho či více protonů, dle konkrétní hodnoty své disociační konstanty. Při analýze roztoků kyselin se dá tudíž využít elektrostatického přitahování nabitých iontů.

Instrumentální metodou, založenou na takovémto principu, je iontová chromatografie. Struktura použité stacionární fáze – iontoměniče – obsahuje aktivní centra potřebného náboje, přitahující si opačně nabitě ionty z analyzované látky proudící kolem v mobilní fázi. Mezi opačně nabitými molekulami dochází ke vzniku iontové vazby za přerušení vazby původní, kterou tvořil iontoměnič s původní navázanou funkční skupinou. Uvolněná funkční skupina se vyvíjí dál s mobilní fází.

Pro stacionární fáze se používá makromolekulárních látek na bázi silikagelu či organického polymeru, modifikovaných iontově výměnnými skupinami na funkčních centrech; disociační konstanta měniče determinuje účinnost iontové výměny. Jako mobilní fáze se používá tlumivý roztok; koncentrace jeho iontů přímo úměrně ovlivňuje rychlost iontové výměny v průběhu separace. ^[44]

2.5.3. Měření pevnosti střídy pekařských výrobků

Pevnost, tuhost a pružnost střídy chleba jsou jedny ze zásadních sensorických parametrů, které ovlivňují poptávku a oblíbenost pečiva konkrétní receptury na trhu. Není definován přitom žádný ideál či standard, který by měl pekařský výrobek splňovat; představa o „správné“ konzistenci chlebové střídy je záležitost čistě individuální a liší se především gastronomickými zvyklostmi a vnitřním přesvědčením konzumenta; spíše negativně bývá hodnocena nekompaktní či příliš tuhá střída výrobku. ^[3]

Pro optimalizaci pekařských směsí, používaných pro konkrétní produkty, se pevnost a pružnost střídy měří jako jedna ze základních charakteristik upečeného výrobku. Princip stanovení spočívá ve vertikálním stlačení vzorku střídy sondou a měření jeho odolnosti vůči aplikovanému tlaku. Velikost odporu je měřena kalibrovaným siloměrem. Odezva je popisována jednotkami hmotnosti (nejčastěji gramy) a přímo odečítána z displeje měřícího přístroje. Čím vyšší je zobrazená hodnota, tím je textura výrobku definovatelná jako pevnější a tužší. ^[48]

Zmíněné měření je v současnosti možné provést pomocí textuometrů; jejich možností se většinou neomezuje pouze na stanovení odporu střídy chleba, nýbrž umožňují definovat též řadu jiných parametrů – přilnavost, tvrdost, křehkost, rozstíratelnost a jiné. Jejich použití je tak univerzální pro veškeré pekařské i cukrářské výrobky, vyráběné z jiných než kynutých druhů těst a s obsaženými krémy a náplněmi. ^[49]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Cíl práce

3.2. Materiály a přístroje

3.2.1. Přístroje

- Termostat
- pH metr
- Centrifuga
- Iontový chromatograf 850 Professional (Metrohm, Švýcarsko)
- Texturometr Brookfield LFRA 1500 (Brookfield, Kanada)

3.2.2. Laboratorní pomůcky

- Umělohmotné misky
- Běžné laboratorní sklo
- Kuchyňské nádobí
- Mikrofiltry 0,45 μm (LABICOM, Česká republika)
- Plastové zkumavky
- Skleněné vialky

3.2.3. Chemikálie

- Ethanol 96%

3.2.4. Suroviny použité pro přípravu těsta

- Mouka žitná celozrnná Pernerka (Mlýn Perner Svijany spol. s.r.o., Svijany, Česká republika)
- Mouka pšeničná hladká Bio T 1050 Belbake (Německo)
- Sůl himalájská jemně mletá (Natura Hustopeče s.r.o., Hustopeče, Česká republika)
- Cukr krupice bílý (Tereos TTD a.s., Dobruška, Česká republika)
- Květový lipový med Jesenický Kolomý (Jan Kolomý, Staré město, Česká republika)
- Slad vídeňský (Pivotéka.cz, Olomouc, Česká republika)

3.3. Příprava vzorků kvasového těsta

3.3.1. Příprava těsta

Pro zkoumání vlivu přídavku vybraných sacharidů (řepný cukr, med, aktivní sladová moučka) na parametry kvasového chleba byla zvolena upravená metoda třístupňového vedení kvasu.

První stupeň byl zhotoven inokulací vitálního žitného kvasu do žitné celozrnné mouky (8 % hm.) a rozmísen s vlažnou vodou na těsto o výtěžnosti $V=160$ (na 100 g mouky připadlo 60 g vody). Směs byla ponechána fermentaci 18 hodin při teplotě 21-22°C. Po této době byla kvantitativně doplněna dvojnásobným množstvím mouky a vymísena s vlažnou vodou na výtěžnost těsta $V=230$. Při 32 °C fermentovala další 3,5 hodiny. Po uplynutí této doby byl zřetelný doběh logaritmické fáze růstu mikroorganismů a počátek fáze stagnantní.

Ze směsi byly odebrány čtyři alikvotní podíly pro zhotovení vzorků hlavního těsta. Každý obsahoval následující ingredience:

125 g aktivního kvasu z druhého stupně

44 g pšeničné mouky T 1050

25 g celozrnné žitné mouky

25 g vlažné vody

2,5g soli

Finální těsto tak obsahovalo 65 % žitné mouky a 35 % mouky pšeničné; přídavek soli činil 2 %_{hm.} (vztaženo na hmotnost obsažené mouky).

Do každého vzorku bylo dále přidáno sladidlo (řepný cukr, květový med, enzymaticky aktivní sladová moučka) v množství pro dosažení žádaných koncentrací jednoduchých cukrů v těstě. Přehled přidaného množství a koncentrací cukrů (vztažených opět na hmotnost mouky) v jednotlivých vzorcích shrnuje tabulka níže.

Tabulka 2: Hmotnost sacharidů přidávaných do dílčích částí těst, a koncentrace těchto sacharidů v procentech, vztažená na hmotnost mouky.

vzorek č.	m _{sacharidu} (g)	c _{sacharidu} (%)
0	0	0
1	3,1	2,5
2	6,2	5
3	9,3	7,5

Každý vzorek byl hněten 5 minut pro optimální homogenizaci surovin a vývoj lepku. Při 28 °C byl poté ponechán fermentaci po dobu 160 minut.

3.3.2. Odběr vzorků

Každých 40 minut fermentace bylo odebráno z každé směsi 10 g těsta. Pro vytvoření reprezentativního vzorku byl tento podíl vytvořen vždy smísením menších částí těsta odebraných z více míst směsi.

Každý odebraný vzorek byl rozsuspendován v 26 g 96 % roztoku ethanolu a 46 g kohoutkové vody. Byl tak vytvořen heterogenní roztok o 30 %_{hm.} koncentraci čistého ethanolu, což mělo zajistit okamžitý úhyn veškerých mikroorganismů, a tudíž zastavení produkce metabolitů fermentace.

Vzorky byly nality do laboratorních baněk, jejichž hrdla byly do vlastní analýzy zalepeny parafilmem pro zamezení úniku obsažených těkavých komponent.

3.4. Analýza vzorků kvasového těsta

3.4.1. Měření nárůstu objemu těsta

Pro relativní stanovení množství vyprodukovaného oxidu uhličitého byla malá část každého vyhněteného těsta (ihned po promísení surovin) odebrána do odměrného válce. Byl poznačen konkrétní odebraný objem a dané podíly byly kultivovány při stejných podmínkách, jako zbytky směsí. Každých 40 minut byl ze stupnic odměrných válců odečten objem jednotlivých podílů.

3.4.2. Stanovení pH vzorků

Přístroj byl nakalibrován podle kalibračních pufrů. Do každého vzorku, odebraného podle bodu 3.3.2 byla před nalitím do Erlenmeyerovy baňky ponořena skleněná elektroda přístroje a po přibližně 5 s byla odečtena a poznačena hodnota pH, zobrazená na displeji.

3.4.3. Stanovení organických kyselin

Organické kyseliny vyprodukované v průběhu fermentace byly stanovovány v odebraných vzorcích metodou iontové chromatografie. Parametry separace shrnuje Tabulka 3.

Tabulka 3: Parametry stanovení organických kyselin iontovou chromatografií.

Přístroj	IC 850 Professional
Kolona	Metrosep Organic Acids - 250/7.8
Mobilní fáze	0,5 mmol/l HClO ₄
Supresor	Postupná suprese: 10mmol/l LiCl
Průtok	0,8 ml·min ⁻¹
Objem nástříku	20 µl
Tlak	5,84 MPa
Teplota	45 °C
Detektor	Vodivostní

Mobilní fáze byla připravena ze zásobního roztoku 70 % kyseliny chloristé. Pro přípravu 2 l roztoku bylo 0,086 ml zásobního roztoku kvantitativně převedeno do odměrné baňky 2000 ml a dolito po rysku deionizovanou vodou.

Roztok pro supresi byl připraven rozpuštěním 0,42 g pevného chloridu lithného v menším množství deionizované vody, kvantitativním převodem do odměrné baňky na 1000 ml a doplněním po rysku opět deionizovanou vodou.

Při vlastní analýze vzorků kvasového těsta bylo vždy 40 ml uchované ethanolové směsi každého vzorku nalito do centrifugačních zkumavek a centrifugováno 6000 ot·min⁻¹ po dobu 26 minut. 10 ml supernatantu bylo zfiltrováno přes mikrofiltr o velikosti pórů $d = 45 \mu\text{m}$. Koloidní roztok byl přelit do plastových zkumavek s uzávěrem a analyzován na iontovém chromatografu.

3.5. Pekařská zkouška kvasových výrobků

Pro provedení pekařské zkoušky kvasových výrobků byla uskutečněna třídenní stáž do podniku Hradecká pekárna s.r.o. v Hradci Králové. Bylo připraveno těsto stejného receptu, jaký je uveden v odstavci 3.3.1; jediným rozdílem bylo vyvádění posledního kvasného předstupu v kynárně poskytnuté provozovnou, kde se teplota pohybovala kolem 35 °C (namísto 32° v původním receptu) a byla opatřena zapařovací technikou. Hlavní těsta byla připravena všech deseti typů a variovaly se v nich opět pouze typ a koncentrace přidaného sacharidu; jedna směs byla opět referenční, tzn. bez přídavku jakéhokoli sladícího přípravku.

Z každého těsta byl po 30minutovém zrání odebrána podílná část o hmotnosti 350 g; z té byl ručně vytvarován a skulen oválný bochník. Ze zbytku těsta byly vytvarovány bochánky kulaté. Všechny 20 vzorků v pomoučených ošátkách bylo přesunuto ke kynutí v kynárně se zapařováním při 35 °C. Po dvou hodinách byly syrové bochníky z ošatek vyklopeny na plechy opatřené pečicím papírem a ihned pečené v rotační vozíkové peci. Ta byla pro menší počet kusů pečiva vhodnější, než kontinuální tunelové pece běžně používané pro průmyslovou výrobu chleba – disponovala jednodušší obsluhou, nižší spotřebou energie, lepší kontrolovatelností procesu a nevyžadovala pro optimální chod přílišné množství pečiva najednou. Teplota pečení byla prvních 10 minut udržována na 250 °C za stálého přísunu páry do vnitřku pece; poté byl zapnut odtah páry, teplota snížena na 200 °C a bochníky byly dopékány ještě dalších 18 minut. Po vytažení z pece byly na vzduchu ponechány volnému zchladnutí.



Obrázek 6: Kynutí skulených bochníků
v kynárně.



Obrázek 7: Pečení kvasových bochníků
v rotační vozíkové peci.

3.5.1. Test antimikrobiální aktivity kvasových výrobků

Polovina každého z kulatých bochníků byla ihned po úplném vychladnutí neprodyšně uzavřena do zvláštního mikrotenového sáčku. Ty byly umístěny do místnosti vybavené okny a při konstantní teplotě 19-20 °C ponechány 13 dní; každý druhý den byl kontrolován a zapisován výskyt a vývoj plísňových mycelií na komoditách uvnitř sáčku. Po skončení této doby byly vzorky ze sáčků vyjmuty a vyfoceny pro vizuální zhodnocení.

Pro bližší identifikaci zastoupených mikroskopických vláknitých hub bylo ze vzorku se 7,5 % nm přísadkem sladu odebráno na několika místech rostoucí mycelium a pozorováno pod mikroskopem.

3.5.2. Stanovení pevnosti střídy kvasových výrobků

Oválné bochníky, upečené z 350 g kusů jednotlivých těst, byly odeslány do rakouského sídla firmy Pfahnl Backmittel GmbH, kde byla proměřena pevnost střídy. Z logistických důvodů bohužel nebylo možné provést analýzu ihned po vychladnutí výrobků; bochníky byly proto šokově zmrazeny na -18 °C a proměření střídy bylo provedeno až po 14 dnech po jejich úplném rozmražení.

Ke stanovení byl použit texturometr Brookfield LFRA 1500, přístroj používaný při analýze textury chleba i běžného pečiva se snímačem zatížení do 1500 g. Každý z analyzovaných bochníků byl příčně nakrojen a ve výřezu z jeho střední části byla proměřena odolnost vůči tlaku, aplikovaného na střídu svrchu pod pravým úhlem. Okamžitá odezva v gramech, zobrazovaná na displeji přístroje, byla odečítána a poznačena. Pro každý bochník bylo provedeno jedno měření.



Obrázek 8: Průběh měření pevnosti střídy vertikálním vpichem sondy do střídy výrobku.



Obrázek 9: Jednotlivé kvasové výrobky po vlastní analýze pevnosti střídy.

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1. Nárůst objemu těsta a změna jeho hodnoty pH

Byl sledován nárůst objemu vzorků chlebových těst, připravených dle postupů popsaných v kapitolách 3.3.1. a 3.4.1. Absolutní změna objemu při každém odečtu byla zaznamenána v mililitrech; nárůst objemu byl poté přepočten na relativní změnu v procentech, což umožňuje srovnání jednotlivých vzorků různých objemů.

Odběry vzorků obsahující sacharózu byly prováděny s rozptylem 3 minut po pravidelných 40minutových intervalech. Při fermentaci těsta s medem a sladkem však byly rozptyly intervalů mezi jednotlivými odběry v řádu minut odlišné. Proto je ke každé změně objemu přiložen konkrétní časový údaj odečtu.

Tabulka 4: Absolutní a relativní nárůst objemu vzorků s různými koncentracemi přidané sacharózy. Časový údaj uvádí počet minut od začátku kvašení.

<i>t</i> (min)	0 % _{hm} sacharózy		2,5 % _{hm} sacharózy		5 % _{hm} sacharózy		7,5 % _{hm} sacharózy	
	<i>V</i> _{S0} (ml)	<i>V</i> _{S0} (%)	<i>V</i> _{S1} (ml)	<i>V</i> _{S1} (%)	<i>V</i> _{S2} (ml)	<i>V</i> _{S2} (%)	<i>V</i> _{S3} (ml)	<i>V</i> _{S3} (%)
0	19	100	24	100	22	100	30	100
40	20	105	26	108	24	109	32	107
80	24	126	31	129	29	132	35	117
120	29	153	39	163	35	159	43	143
160	37	195	48	200	40	182	52	173

Tabulka 5: Absolutní a relativní nárůst objemu vzorků s různými koncentracemi přidaného medu. Časový údaj uvádí počet minut od začátku kvašení.

0 % _{hm} medu			2,5 % _{hm} medu		
<i>t</i> (min)	<i>V</i> _{M0} (ml)	<i>V</i> _{M0} (%)	<i>t</i> (min)	<i>V</i> _{M1} (ml)	<i>V</i> _{M1} (%)
0	23	100	0	22	100
46	29	126	45	27	123
95	45	196	87	42	191
136	60	261	129	59	268
176	58	252	170	64	291
5 % _{hm} medu			7,5 % _{hm} medu		
<i>t</i> (min)	<i>V</i> _{M2} (ml)	<i>V</i> _{M2} (%)	<i>t</i> (min)	<i>V</i> _{M3} (ml)	<i>V</i> _{M3} (%)
0	25	100	0	24	100
40	31	124	40	30	125
83	46	184	81	42	175
123	60	240	121	56	233
163	65	260	166	61	254

Tabulka 6: Absolutní a relativní nárůst objemu vzorků s různými koncentracemi přidaného medu. Časový údaj uvádí počet minut od začátku kvašení.

0 % _{hm} sladu			2,5 % _{hm} sladu		
<i>t</i> (min)	<i>V</i> _{L0} (ml)	<i>V</i> _{L0} (%)	<i>t</i> (min)	<i>V</i> _{L1} (ml)	<i>V</i> _{L1} (%)
0	26	100	0	28	100
47	34	131	43	35	125
89	51	196	83	53	189
129	55	212	122	58	207
168	58	223	161	61	218
5 % _{hm} sladu			7,5 % _{hm} sladu		
<i>t</i> (min)	<i>V</i> _{L2} (ml)	<i>V</i> _{L2} (%)	<i>t</i> (min)	<i>V</i> _{L3} (ml)	<i>V</i> _{L3} (%)
0	24	100	0	32	100
39	30	125	40	38	119
79	44	183	80	55	172
120	51	213	120	61	191
161	53	221	161	63	197

Z těst o různé koncentraci vybraných přidaných sacharidů byly po 40minutových intervalech odebrány vzorky, které byly následně suspendovány v zředěném ethanolu, jak je popsáno v kapitole 3.3.2. Po vytvoření suspenze bylo okamžitě změřeno pH suspenze. Pro každý vzorek byly udělány tři odečty, mezi jimiž byla směs intenzivně promíchána. Pro další práci s výsledky byly vždy tyto tři hodnoty zprůměrovány. Výsledky měření jsou shrnuty v Tabulka 7. Obrázky Obrázek 10, Obrázek 11, Obrázek 12 poté zobrazují závislost poklesu pH a relativní změny objemu těsta na čase.

Tabulka 7: Stanovené hodnoty pH suspenzí vzorků těst s přidanou sacharózou v průběhu fermentace.

0 % _{hm} sacharózy				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{s0} průměr
0	5,94	5,82	5,96	5,91
40	5,89	5,81	5,95	5,88
80	5,71	5,57	5,68	5,65
120	5,79	5,66	5,67	5,71
160	5,52	5,41	5,34	5,42
2,5 % _{hm} sacharózy				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{s1} průměr
0	5,89	5,84	5,96	5,90
40	6,07	5,84	5,78	5,90
80	5,89	5,56	5,59	5,68
120	5,53	5,46	5,45	5,48
160	5,40	5,32	5,39	5,37
5 % _{hm} sacharózy				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{s2} průměr
0	5,81	5,76	5,92	5,83
40	5,81	5,63	5,85	5,76
80	5,75	5,62	5,65	5,67
120	5,44	5,42	5,41	5,42
160	5,28	5,21	5,20	5,23

Tabulka 8: Stanovené hodnoty pH suspenzí vzorků těst s přidanou sacharózou v průběhu fermentace.

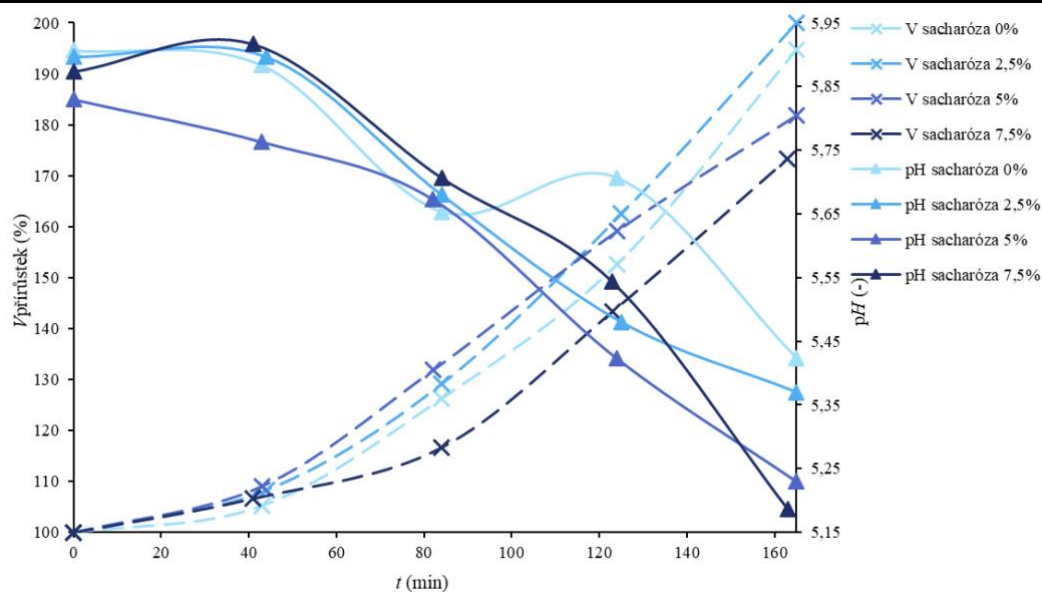
7,5 % _{hm} sacharózy				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{S3} průměr
0	5,84	5,82	5,96	5,87
40	5,89	5,93	5,93	5,92
80	5,68	5,74	5,7	5,71
120	5,61	5,57	5,45	5,54
160	5,27	5,13	5,16	5,19

Tabulka 9: Stanovené hodnoty pH suspenzí vzorků těst s přidaným medem v průběhu fermentace.

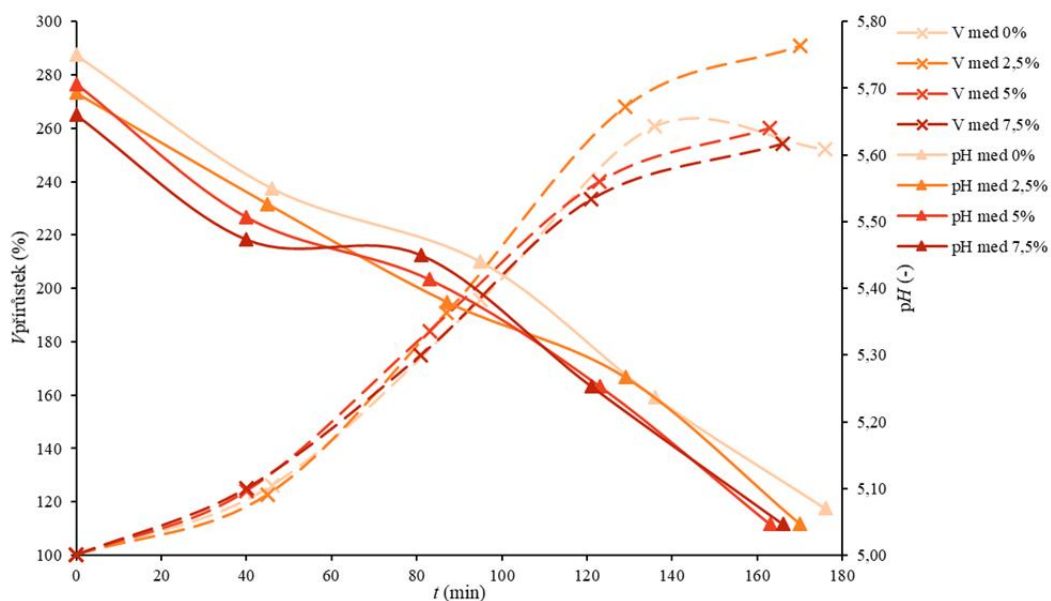
0 % _{hm} medu				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{M0} průměr
0	5,7	5,74	5,81	5,75
46	5,56	5,57	5,52	5,55
95	5,47	5,46	5,39	5,44
136	5,27	5,23	5,21	5,24
176	5,07	5,09	5,05	5,07
2,5 % _{hm} medu				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{M1} průměr
0	5,79	5,68	5,61	5,69
45	5,55	5,52	5,51	5,53
87	5,39	5,37	5,38	5,38
129	5,26	5,31	5,23	5,27
170	5,05	5,07	5,02	5,05
5 % _{hm} medu				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{M2} průměr
0	5,77	5,68	5,67	5,71
40	5,48	5,54	5,5	5,51
83	5,43	5,41	5,4	5,41
123	5,24	5,27	5,25	5,25
163	5,07	5,05	5,02	5,05
7,5 % _{hm} medu				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{M3} průměr
0	5,68	5,65	5,65	5,66
40	5,51	5,47	5,44	5,47
81	5,49	5,43	5,43	5,45
121	5,26	5,28	5,22	5,25
166	5,06	5,01	5,07	5,05

Tabulka 10: Stanovené hodnoty pH suspenzí vzorků těst s přidaným sladem v průběhu fermentace.

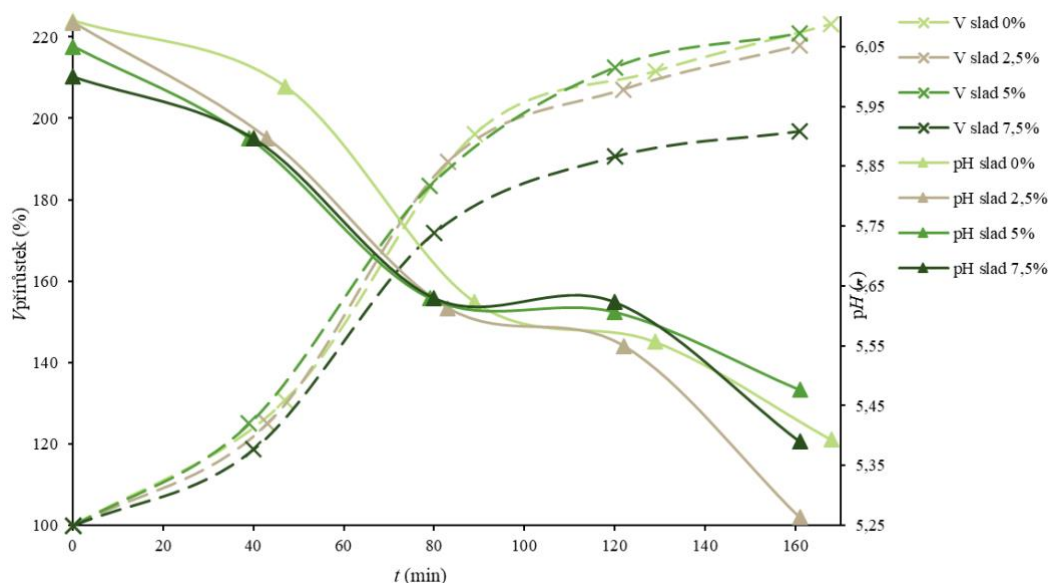
0 % _{hm} sladu				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{L0} průměr
0	6,08	6,07	6,13	6,09
47	5,99	6,03	5,93	5,98
89	5,64	5,61	5,62	5,62
129	5,49	5,62	5,56	5,56
168	5,38	5,42	5,38	5,39
2,5 % _{hm} sladu				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{L1} průměr
0	6,02	6,07	6,18	6,09
43	5,92	5,9	5,87	5,90
83	5,65	5,58	5,61	5,61
122	5,59	5,55	5,51	5,55
161	5,27	5,3	5,22	5,26
5 % _{hm} sladu				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{L2} průměr
0	6,05	6,04	6,06	6,05
39	5,88	5,95	5,86	5,90
79	5,58	5,65	5,66	5,63
120	5,64	5,56	5,62	5,61
161	5,43	5,51	5,49	5,48
7,5 % _{hm} sladu				
<i>t</i> (min)	pH 1	pH 2	pH 3	pH _{L3} průměr
0	6,01	5,91	6,08	6,00
40	5,95	5,92	5,82	5,90
80	5,58	5,65	5,66	5,63
120	5,59	5,63	5,65	5,62
161	5,36	5,45	5,36	5,39



Obrázek 10: Závislost nárůstu objemu těsta a poklesu jeho hodnoty pH na čase fermentace při přidávku sacharózy o proměnlivé koncentraci.



Obrázek 11: Závislost nárůstu objemu těsta a poklesu jeho hodnoty pH na čase fermentace při přidavku medu o proměnlivé koncentraci.



Obrázek 12: Závislost nárůstu objemu těsta a poklesu jeho hodnoty pH na čase fermentace při přidavku maltózy o proměnlivé koncentraci.

Z výsledků jsou patrné jasné korelace mezi koncentrací přidaných cukrů do těsta a nárůstem objemu, respektive poklesu hodnoty pH směsi. Zjištěné výsledky odkazují na změnu metabolické aktivity kvasinek a bakterií, obsažených v měřené suspenzi. Objem těsta se mění především v důsledku produkce oxidu uhličitého kvasinkou *Saccharomyces cerevisiae* během alkoholového kvašení. Zvýšená kyselost těsta je způsobena metabolickou aktivitou bakterií mléčného kvašení, produkující organické kyseliny.

Pro maximální nárůst objemu těsta v rámci dílčích měření se u sacharózy i medu ukázala jako optimální koncentrace 2,5 %_{hm} přidaného cukru. Směsi takto obohacené kynuly nejlépe i ve srovnání s referenčními vzorky. Naopak, větší přídavky sacharidů již produkci oxidu uhličitého tlumily. Při přidavku medu bylo zaznamenáno jasné prodloužení log-fáze obsažených kvasinek oproti referenčnímu vzorku. Zatímco objem těsta již po 130. minutě kynutí spíše klesal, těsta obohacená

vykazovala značný nárůst objemu ještě po 160. minutě fermentace. Celkové množství vyprodukovaného oxidu uhličitého tak bylo zvětšeno minimálně o dalších 20-40 %, v závislosti na konkrétní koncentraci medu ve směsi.

Stanovená optimální koncentrace sacharózy v těstě koresponduje s měřeními provedenými během dřívějších výzkumů: maximální aktivita kvasinek byla prokázána při přidavku 3,5 %_{hm} sacharózy do kvašeného těsta^[45].

Přídavek maltózy oproti tomu nevykázal zvýšenou metabolickou aktivitu kvasinek během alkoholového kvašení. Při nižších koncentracích (2,5 %_{hm}, resp. 5 %_{hm}) neměla na produkci oxidu uhličitého téměř žádný vliv a teprve přídavek 7,5 %_{hm} maltózy do těsta se na nárůstu objemu projevil, avšak negativně. Pro použití sladu jakožto zlepšujícího kypřícího přípravku by bylo vhodné snížit jeho obsah v těstě. Pozitivní vliv na produkci oxidu uhličitého byla popsána v dávkách 0,2 – 0,5 %_{hm}^[46], resp. při 0,5 i 1 %_{hm} přídavku. Obsahu sladu odpovídajícím 1,5 %_{hm} se již aktivita kvasinek opět zhoršila^[47].

Některé výzkumy poukazují i na pozměněný charakter růstové křivky mikroorganismů obsažených v těstě, jsou-li ve směsi přidané sacharidy. Přítomnosti sladu je připisován dřívější doběh do stacionární fáze^[46]. Změna metabolické aktivity přítomných mikroorganismů v čase v těstě s přidanými sacharidy byla sledována i v této bakalářské práci. Přídavek sladu k těstu vedl opravdu ke zkrácení logaritmické fáze růstu (přírůstky objemu byly významně vyšší během druhého a třetího měřeného časového intervalu, než u posledního; referenční vzorek kynul podstatně rovnoměrněji, ale přitom celkově pomaleji). Podobný průběh byl sledován i v případě přídavku řepného cukru. Naopak, med obsažený v těstě logaritmickou fází růstu významně prodloužil; ve výsledku by ale bylo dosaženo objemu významně většího než u vzorku neslazeného, byť by stacionární fáze nastala až desítky minut po ukončení posledního časového odečtu uskutečněného měření.

Pokles hodnoty pH v ethanolovém extraktu těsta byl nejvíce ovlivněn koncentrací obsažené sacharózy ve směsi. Čím vyšší byl přídavek řepného cukru, tím kyselost těsta více klesala. Vyšší osmotický tlak způsobený zvýšenou koncentrací sacharózy tedy bakterie mléčného kvašení zdanlivě neovlivnil tolik jako kvasinky. Závěr o jejich větší odolnosti proti vysokým dávkám cukru oproti kvasinkám však být vysloven nemůže. Z dříve provedených měření je patrné, že ač celková titrační kyselost těsta klesá se zvyšující se koncentrací sacharózy, útlum v růstu bakterií mléčného kvašení je patrný už dříve, než u kvasinek (při 2,6 %_{hm}, oproti 3,5 %_{hm})^[45]

Přidaná maltóza neměla přímý vliv na změny kyselosti. Při koncentraci 2,5 %_{hm} na hmotnost obsažené mouky byl pokles pH nejvýznamnější, zbylé tři vzorky (vč. referenčního) se však za měřený čas okyselily téměř bez rozdílu.

Zajímavé výsledky přineslo dílčí měření s přídavkem medu, jelikož hodnota pH klesala indifferenčně u všech čtyř vzorků s proměnlivou koncentrací cukrů. Procentuálním zastoupením glukózy a fruktózy se medu velmi podobná řepnému cukru, ale jeho využití jakožto substrátu bylo u konkrétní směsné kultury cereálního kvasu odlišné. Jedním z hlavních důvodů může být přímá dostupnost jednoduchých cukrů v medu pro všechny obsažené mikroorganismy. U sacharózy jsou zvláště laktobacily, neschopné jejího rozkladu (např. *Lb. brevis* subsp. *lindneri*), odkázány na aktivitu invertázy rodu *Saccharomyces* a teprve po rozkladu cukru na glukózu a fruktózu mohou substrát začít užívat.^[45] Změna kyselosti těsta je tak silně závislá na konkrétním zastoupení mikroorganismů v použitém cereálním kvasu. Důkazem je měření provedené roku 2017, kdy se kvašená těsta se stejným přídavkem medu, resp. bez něj lišila o 0,3, resp. téměř o celou jednotku pH pouze v důsledku jiných obsažených bakterií (homofermentativní *Lb. pentosaceus* vs heterofermentativní *Lb. plantarum*).^[37]

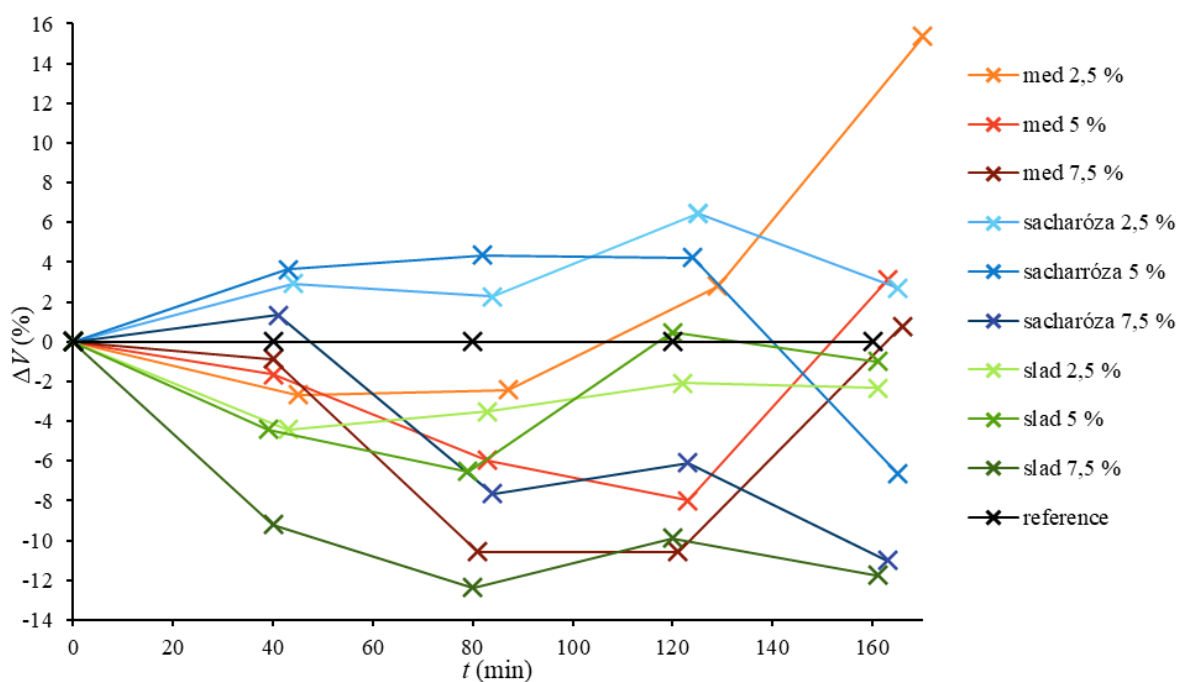
Pro absolutní srovnání výsledků měření nárůstu objemu těsta a poklesu jeho hodnoty pH musely být srovnány odezvy referenčních vzorků v rámci dílčích měření. Ty byly díky proměnlivému zastoupení mikrobiálních kultur žitného kvasu v čase u každého stanovení odlišné, byť bylo referenční těsto připraveno vždy stejným způsobem. Po zavedení srovnávacích faktorů však již bylo možné porovnat význam přidaných sacharidů i mezi druhy použitých cukrů.

Tabulka 11: Rozdíly procentuálního nárůstu objemu těst s přidavky různých druhů sacharidů oproti referenčnímu vzorku. Vyhodnoceno po srovnání referenčních vzorků dílčích měření.

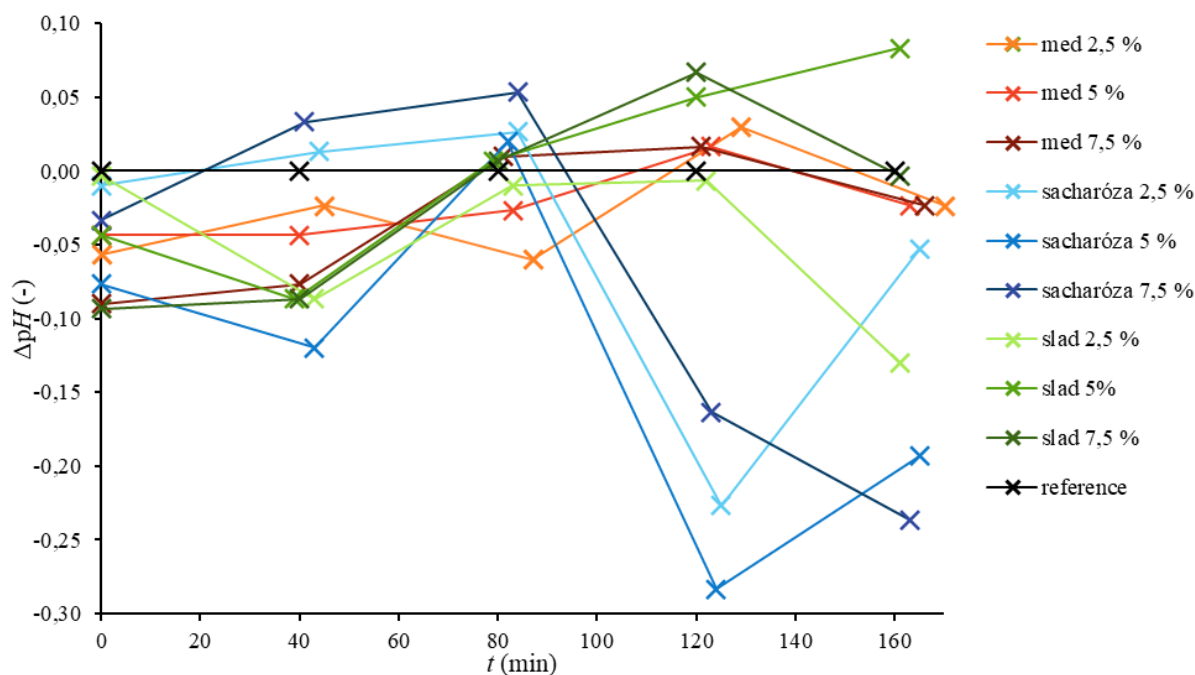
$m_{\text{přidavek}}$ (% hm.)	2,5			5			7,5		
ΔV (%)	S ₁	M ₁	L ₁	S ₂	M ₂	L ₂	S ₃	M ₃	L ₃
t_0 (min)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_1 (min)	3	-3	-4	4	-2	-4	1	-1	-9
t_2 (min)	2	-2	-4	4	-6	-7	-8	-11	-12
t_3 (min)	6	3	-2	4	-8	0	-6	-11	-10
t_4 (min)	3	15	-2	-7	3	-1	-11	1	-12

Tabulka 12: Rozdíly změny hodnoty pH těst s přidavky různých druhů sacharidů oproti referenčnímu vzorku. Vyhodnoceno po srovnání referenčních vzorků dílčích měření.

$m_{\text{přidavek}}$ (% hm.)	2,5			5			7,5		
ΔpH (-)	S ₁	M ₁	L ₁	S ₂	M ₂	L ₂	S ₃	M ₃	L ₃
t_0 (min)	-0,01	-0,06	0,00	-0,08	-0,04	-0,04	-0,03	-0,09	-0,09
t_1 (min)	0,01	-0,02	-0,09	-0,12	-0,04	-0,09	0,03	-0,08	-0,09
t_2 (min)	0,03	-0,06	-0,01	0,02	-0,03	0,01	0,05	0,01	0,01
t_3 (min)	-0,23	0,03	-0,01	-0,28	0,02	0,05	-0,16	0,02	0,07
t_4 (min)	-0,05	-0,02	-0,13	-0,19	-0,02	0,08	-0,24	-0,02	0,00



Obrázek 13: Srovnání nárůstu objemu těsta při přidavku různých druhů sacharidů o proměnlivých koncentracích. Vyhodnoceno po srovnání referenčních vzorků dílčích měření.



Obrázek 14: Srovnání změny hodnoty pH při přidavku různých druhů sacharidů o proměnlivých koncentracích. Vyhodnoceno po srovnání referenčních vzorků dílčích měření.

Srovnání ukazuje, že těsto s přidavkem 2,5 % $hm.$ medu dokáže v průběhu fermentace zvětšit svůj objem o minimálně 15 % více než těsto neobohacené. Při dvojnásobné koncentraci medu je již rozdíl pouze 3 %; k podobné produkci oxidu uhličitého dochází při 2,5 % $hm.$ přidavku sacharózy. Naopak, přidavek sladové moučky či větší koncentrace řepného cukru alkoholové kvašení utlumuje. Nejvíce negativní vliv vykazoval přidavek sacharózy a maltózy o koncentraci 7,5 % $hm.$, kde je nutné počítat s více než 10 % nižší výtěžností těsta po nakynutí. Z tohoto ohledu se sladová moučka nejeví jako vhodný přidavek do těsta, je-li žádoucí pečivo o maximálním možném objemu. Dle předchozích výzkumů sice velmi nízké koncentrace sladu (0,2-0,5 % $hm.$) produkci kvasných plynů ovlivňují pozitivně, avšak v podstatně menší míře, než bylo naměřeno v této bakalářské práci pro optimalizované koncentrace medu (4,1 %, oproti stanoveným 15 %) ^[46].

Největšího pozitivního rozdílu v poklesu pH oproti referenci (-0,24) bylo dosaženo při obsahu sacharózy v těstě 7,5 % $hm.$ Významněji se projeví i ostatní přidavky řepného cukru a slad v koncentraci 2,5 % $hm.$

Vyšší přidavek maltózy však již vykázal vyšší hodnoty pH, než reference (až 0,07).

Zobrazené výsledky poukazují na odlišný metabolismus sacharózy a medu mikroflórou žitného kvasu. Zatímco sacharóza je jakožto substrát využívána spíše bakteriemi mléčného kvašení, med je využíván spíše kvasinkami za produkce vyššího množství CO_2 . Produkce organických kyselin není přidavkem medu významně ovlivněna.

4.2. Stanovení organických kyselin kvasového těsta

Všechny odebrané vzorky byly analyzovány pomocí iontové chromatografie. sledován byl obsah kyseliny mléčné a octové. Pro získání jejich poměru, významného pro optimální sensorické vlastnosti, byly srovnány plochy píků A ($\mu S/cm$) \times min). Na základě číselných hodnot $A_{kys.mléčná}/A_{kys.octová}$ byly sestaveny grafy zobrazující proměnlivost obsažených kyselin v čase v jednotlivých vzorcích. Vzhledem ke přímé úměře mezi plochou píků a reálnou koncentrací kyselin ve vzorku lze poměr $A_{kys.mléčná}/A_{kys.octová}$ přímo přirovnat k jejich koncentračnímu poměru.

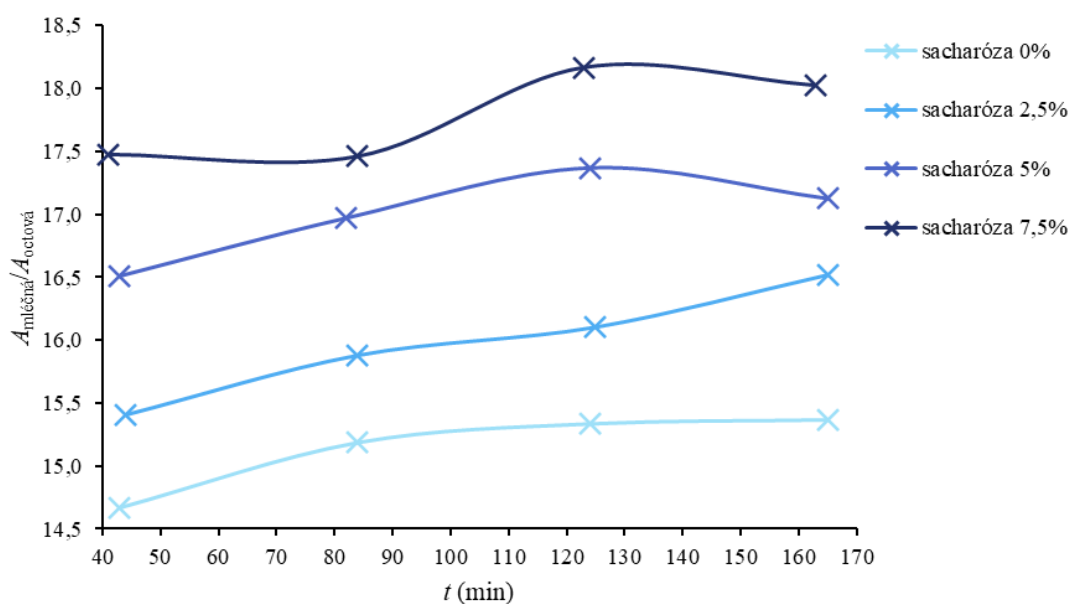
Data byla vyhodnocena zmíněným způsobem pouze pro analýzu těst s přidavky medu a sacharózy. Přidaný slad v cereální směsi naprosto inhiboval tvorbu kyseliny octové a tato kyselina byla tak

detekována pouze v referenčním vzorku. Kyselina mléčná byla v případě přídavku sladu do těsta naopak produkována ve zvýšeném množství než v případě přídavku ostatních sacharidů.

Tabulka 13: Relativní odezvy na zkoumané kyseliny obsažených v jednotlivých vzorcích kvašených těst s přidanou sacharózou.

Kyselina mléčná							
sacharóza 0 % hm.		sacharóza 2,5 % hm.		sacharóza 5 % hm.		sacharóza 7,5 % hm.	
t_0 (min)	A_0 *)	t_1 (min)	A_1	t_2 (min)	A_2	t_3 (min)	A_3
43	8,434	44	10,611	43	11,834	41	13,070
84	9,737	84	10,286	82	12,756	84	11,742
124	9,045	125	11,435	124	11,507	123	13,693
165	8,305	165	10,179	165	11,476	163	13,654
Kyselina octová							
sacharóza 0 % hm.		sacharóza 2,5 % hm.		sacharóza 5 % hm.		sacharóza 7,5 % hm.	
t_0 (min)	A_0 *)	t_1 (min)	A_1	t_2 (min)	A_2	t_3 (min)	A_3
43	0,575	44	0,689	43	0,717	41	0,748
84	0,641	84	0,648	82	0,752	84	0,672
124	0,590	125	0,710	124	0,663	123	0,754
165	0,540	165	0,616	165	0,670	163	0,758
Poměr kyselina mléčná : octová							
sacharóza 0 % hm.		sacharóza 2,5 % hm.		sacharóza 5 % hm.		sacharóza 7,5 % hm.	
t_0 (min)	A_{m0}/A_{o0}	t_1 (min)	A_{m1}/A_{o1}	t_2 (min)	A_{m2}/A_{o2}	t_3 (min)	A_{m3}/A_{o3}
43	14,7	44	15,4	43	16,5	41	17,5
84	15,2	84	15,9	82	17,0	84	17,5
124	15,3	125	16,1	124	17,4	123	18,2
165	15,4	165	16,5	165	17,1	163	18,0

*) Plochy jsou uváděny v jednotkách (($\mu\text{S}/\text{cm}$) x min).

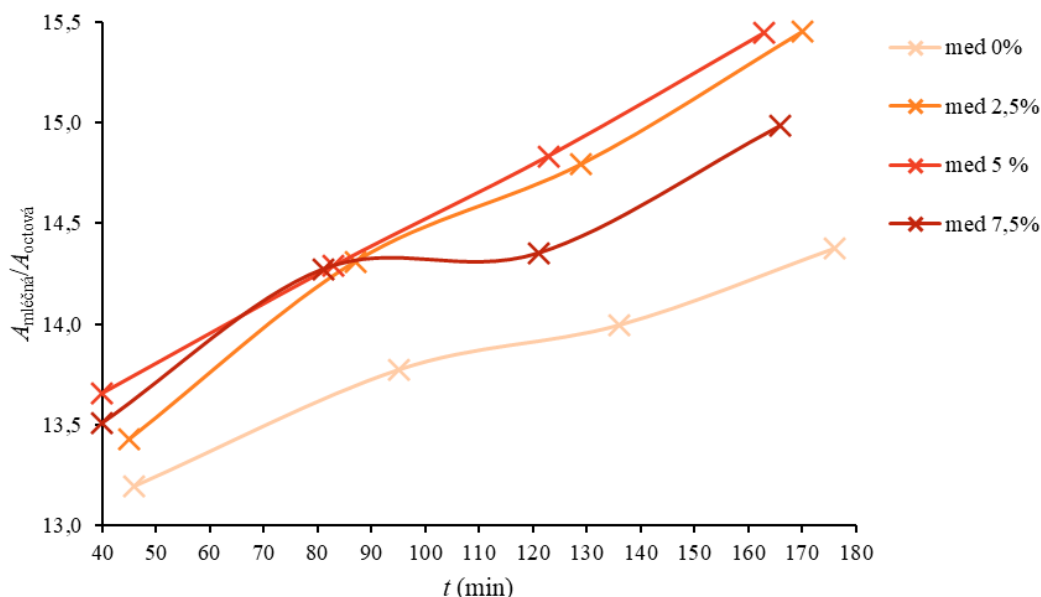


Obrázek 15: Poměry mezi naměřenou kyselinou mléčnou a octovou, detekovanou ze vzorků z průběhu kvašení těst s přidanou sacharózou.

Tabulka 14: Relativní odezvy na zkoumané kyseliny obsažených v jednotlivých vzorcích kvašených těst s přidaným medem.

Kyselina mléčná							
med 0 % hm.		med 2,5 % hm.		med 5 % hm.		med 7,5 % hm.	
t_0 (min)	A_0 *)	t_1 (min)	A_1	t_2 (min)	A_2	t_3 (min)	A_3
46	7,390	45	10,217	40	11,482	40	13,344
95	7,961	87	10,146	83	11,429	81	13,129
136	8,789	129	9,9602	123	11,347	121	12,585
176	8,424	170	9,643	163	10,548	166	12,062
Kyselina octová							
med 0 % hm.		med 2,5 % hm.		med 5 % hm.		med 7,5 % hm.	
t_0 (min)	A_0 *)	t_1 (min)	A_1	t_2 (min)	A_2	t_3 (min)	A_3
46	0,560	45	0,761	40	0,841	40	0,988
95	0,578	87	0,709	83	0,800	81	0,92
136	0,628	129	0,6732	123	0,765	121	0,877
176	0,586	170	0,624	163	0,683	166	0,805
Poměr kyselina mléčná : octová							
med 0 % hm.		med 2,5 % hm.		med 5 % hm.		med 7,5 % hm.	
t_0 (min)	A_{m0}/A_{o0}	t_1 (min)	A_{m1}/A_{o1}	t_2 (min)	A_{m2}/A_{o2}	t_3 (min)	A_{m3}/A_{o3}
46	13,2	45	13,4	40	13,7	40	13,5
95	13,8	87	14,3	83	14,3	81	14,3
136	14,0	129	14,8	123	14,8	121	14,4
176	14,4	170	15,5	163	15,4	166	15,0

*) Plochy jsou uváděny v jednotkách ((μ S/cm) x min).



Obrázek 16: Poměry mezi naměřenou kyselinou mléčnou a octovou, detekovanou ze vzorků z průběhu kvašení těst s přidanou sacharózou.

Vyhodnocený poměr mezi obsaženou kyselinou mléčnou a octovou se pohyboval v závislosti na konkrétním vzorku mezi hodnotami 13 a 18. Tato hodnota je specifická pro recept a podmínky vedení těsta, zvolené pro provedené měření a zároveň charakterizuje složení použité mikroflóry. Autoři Šediví

a Albrecht přibližující tradiční postup výroby kvasových pšenično-žitných chlebů s malým přídavkem droždí uvádějí, že optimální poměr mléčné a octové kyseliny v syrovém těstě by se měl pohybovat mezi 3-4 ^[3]. Zahraniční autoři srovnávající chování pšeničných kvasů o různém mikrobiologickém složení však dospěli k rozsahu hodnot 0,6-7. Vliv je připisován nejen složení kvasové mikroflóry a množství přidaného pekařského droždí, ale i druhu mouky podléhajících fermentaci. ^[18] Vysoké poměrné množství kyseliny mléčné, naměřené v této bakalářské práci, může znamenat méně štiplavé a jemnější aroma hotového produktu než u konkurenčních výrobků s vyšší koncentrací kyseliny octové.

Srovnání výsledků získaných na základě analýzy vzorků s přidaným medem a sacharózou kopíruje trend, kdy obsažené cukry inhibují tvorbu kyseliny octové. Narozdíl od vzorků těsta s přidanou s maltózou, kde již kyselina octová vůbec nebyla detekována, byla v těstech obohacených medem a řepným cukrem zvýšená produkce *obou* kyselin (při nejvyšších přídavcích sacharidů téměř dvojnásobně). Poměrně se zvyšoval obsah kyseliny mléčné. U přidané sacharózy byla pro poměr $A_{\text{kys.mléčná}}/A_{\text{kys.octová}}$ rozhodující koncentrace přídavku. Hodnota podílu relativních odezev kyselin s koncentrací cukru přímo úměrně stoupala, v průběhu kvašení však již zůstávala víceméně konstantní. Zde je opět vhodné poukázat na odlišný průběh metabolických procesů fermentace v závislosti na použitém typu substrátu i druhu mikroflóry. Výzkumy prováděné u pšeničných chlebů s použitím konkrétního žitného kvasu naopak prokázaly při přídavku sacharózy zvýšenou produkci kyseliny octové oproti mléčné. ^[45]

Při přídavku medu hodnota poměru $A_{\text{kys.mléčná}}/A_{\text{kys.octová}}$ příliš nezávisela na množství medu v těstě. Poměr byl vyšší než u referenčního měření, avšak nepříliš rozdílný pro koncentrace medu 2,5 % _{hm.}, 5 % _{hm.}, 7,5 % _{hm.}. Množství kyseliny mléčné se však poměrně zvyšovalo i v průběhu kvasného procesu, což byl pro přídavek sacharózy jev spíše zanedbatelného rázu. I se započítáním mírného rozdílu hodnoty poměru $A_{\text{kys.mléčná}}/A_{\text{kys.octová}}$ mezi referenčními vzorky lze dále tvrdit, že sacharóza v těstě zvyšuje relativní produkci kyseliny mléčné na úkor kyseliny octové více, než med.

Naměřené výsledky potvrzují a rozvíjí závěry z kapitoly 4.1. Pokles pH směsi je přímo závislý na koncentraci obsažených organických kyselin. Zatímco Obrázek 15 doplňuje Obrázek 10, zobrazující nižší hodnoty pH při vyšším obsahu sacharózy v těstě, Obrázek 16 potvrzuje nezávislost kyselosti těsta na množství přidaného medu, popsanou na Obrázek 11. Inhibice produkce kyseliny octové a relativní neměnnost koncentrace kyseliny mléčné ve vzorcích se sladkem může korelovat s nejasným vlivem přidané maltózy na celkové pH cereální směsi (viz Obrázek 12).

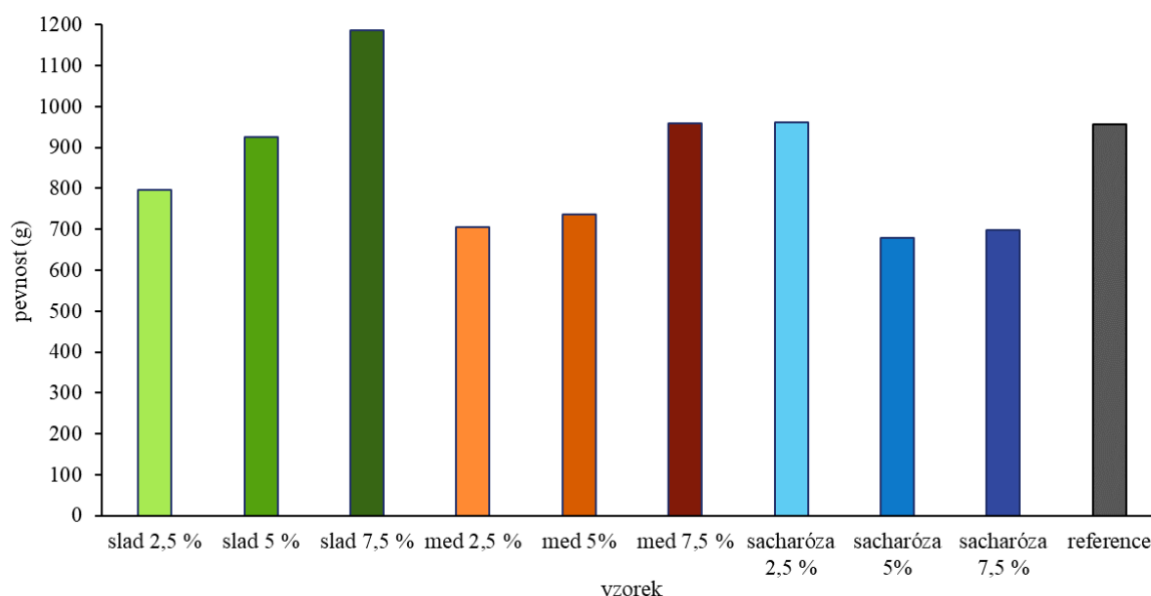
Celkově lze výsledky experimentů zhodnotit tak, že přidané sacharidy významně podporují relativní rozvoj homofermentativních mikroorganismů oproti mikroorganismům heterofermentativním. Za zmínku též stojí fakt, že ač pH směsi klesala po celý měřený časový úsek fermentace, nejvyšší koncentrace *obou* měřených kyselin byly naměřeny bez výjimky již zhruba ve dvou třetinách procesu. Za pozdější nízkou kyselostí těsta tudíž nestojí vyšší koncentrace nejvíce obsažených kyselin, ale spíše znatelný pokles celkového obsahu zkvasitelného substrátu či produkce vedlejších metabolitů s vyšší hodnotou pH.

4.3. Stanovení pevnosti střídy kvasových výrobků

Výsledky z proměření střídy jednotlivých výrobků texturometrem Brooklyn LFRA 1500 zobrazují závislost pevnosti, resp. tuhosti střídy v závislosti na recepturní obměně, zkoumané v rámci práce. Vliv šokového zmrazení a následného rozmrazení na texturu výrobků byl zanedbán. Jednak se pevnost střídy dle již zrealizovaných měření příliš nemění v závislosti na teplotě skladování (včetně teplot hluboko pod bodem mrazu) ^[52], jednak byl mrazicí operační postup proveden se všemi vzorky totožně a výstupem z měření je jejich vzájemné srovnání. Výsledky měření zobrazují Tabulka 15 a Obrázek 17.

Tabulka 15: Hodnoty pevnosti střídy kvasových výrobků s proměnlivými koncentracemi přidaných sacharidů do těsta. Procentuální rozdíl hodnot oproti referenčnímu vzorku.

vzorek	pevnost (g)	Δ pevnost (%)
slad 2,5 % _{hm.}	796	-16,7
slad 5 % _{hm.}	926	-3,1
slad 7,5 % _{hm.}	1187	24,2
med 2,5 % _{hm.}	706	-26,2
med 5 % _{hm.}	737	-22,9
med 7,5 % _{hm.}	959	0,3
sacharóza 2,5 % _{hm.}	962	0,6
sacharóza 5 % _{hm.}	678	-29,1
sacharóza 7,5 % _{hm.}	698	-27,0
reference	956	0,0



Obrázek 17: Pevnost textury jednotlivých kvasových výrobků s proměnlivými koncentracemi přidaných sacharidů do těsta. Uvedená procenta popisují hmotnostní koncentrace přídavku.

Z naměřených hodnot je patrný významný vliv přidaných sacharidů na pevnost chlebové střídy. Hlavně u medu a sladu je pozorovatelná přímá úměra mezi koncentrací obsažených cukrů a velikostí kladeného odporu; u sacharózy byla nejtuzší střída kupodivu naměřena při nejnižším přidaném množství (2,5 %_{hm.} na hmotnost mouky).

Zajímavý závěr k budoucím aplikovaným technologickým postupům přineslo srovnání s referenčním vzorkem. Sacharóza při nižších koncentracích (2,5 %_{hm.}) neovlivnila významně pevnost střídy; při vyšších přídavcích však snížila tuhost střídy vůbec nejvíce z analyzovaných kusů pečiva (o 29, resp. 27 % při konc. 5, resp. 7,5 %_{hm.}). Tento závěr není překvapivý, jelikož řepný cukr se používá v pekařství mimo jiné i pro svoji schopnost změkčování střídy cereálních výrobků^[50]. Mechanismus účinku je připisován tomu, že sacharóza přidaná do těsta brání vývinu lepkové struktury. Zastoupené cukry absorbují obsaženou vodu, jindy volně přístupnou pro kvantitativní vývoj lepku. V cukerných roztocích rovněž probíhají oxidační procesy aminokyselin podstatně hůře.^[51] Vyšší procento vázané vody má pak znatelný vliv i na další reologické parametry upečeného výrobku. Vláčnější střída je měkčí^[50] (jak dokazují i data získaná z textuometru), pružnější a lepivější^[51]. Výrobek vysychá podstatně pomaleji, což zachovává jeho kvalitu během skladování^[50].

Výrobky s přidaným medem či sladem do 5 %_{hm.} koncentrace měly střídu významně měkčí než produkt bez jakýchkoli přísad jednoduchých cukrů. Při 7,5 %_{hm.} se přidaný med referenci již vyrovnal a slad způsobil dokonce o 24 % vyšší kladený odpor než vzorek bez přísady.

O sladové moučce při přidání do těsta byly v dříve proběhlých výzkumech vyvozeny podobné závěry. Snížená tvrdost a soudružnost střídy hotových výrobků byla popsána při přidavku sladu o koncentraci 0,5-2 %_{hm.} [46]. Při posuzování rozdílů ve struktuře u nižších přísad maltózy se již od 1 %_{hm.} výše zvyšovala relativní stabilita těsta a zároveň se snižovala pórovitost střídy [47]. Tento princip se mohl na reologii těsta při vysokých koncentracích projevit právě velkou tuhostí výrobku, naměřeného během experimentu v rámci této bakalářské práce.

Vliv medu na chlebovou texturu je popsán méně než vliv maltózy. Těsta s medem jsou popisována jako soudružnější díky větší pevnosti vytvořeného lepku, než u referenčních vzorků (měřeno s 6,5 % koncentrací medu v těstě). Účinek medu v tomto kontrastuje s působením sacharózy, ač jsou si zastoupením glukózy a fruktózy velmi podobné. Popisovaný jev je připisován v medu přirozeně obsažené glukózooxidáze, která oxiduje glukózu za vzniku glukonolaktonu a peroxidu vodíku. H₂O₂ v těstě zvyšuje počet oxidovaných disulfidických vazeb pšeničných polypeptidových řetězců. V průběhu kynutí těsta tak dochází k menšímu potrhání vyhnětené struktury vznikajícím oxidem uhličitým a tudíž je eliminován jeho únik z těsta. Výsledný bochník disponuje větším objemem, což koresponduje s měřením provedeným v rámci této práce; významně vyšší je i pórovitost jeho střídy. Tím může být objasněn snížený odpor, který vzorky s nižšími koncentracemi medu kladly při texturometrickém měření. [37] Tohoto mechanismu je využíváno i při záměrné aplikaci samotných oxidačních činidel do cereálních těst; v Evropské unii je jako jediný přísad tohoto typu povolena kyselina citrónová [51].

V závislosti na požadavku na výslednou texturu kvasového výrobku mohou být tak při výrobě využity různé varianty sladícího přípravku: do světlých, jemnějších druhů chleba neutrálnější chuti může být přidána sacharóza či med v koncentraci kolem 5 %_{hm.}; tužší, aromatické a kořeněné výrobky severského typu (ruská Moskva, švédský *knäckebröd* a jiné) mohou být ozvláštněny vyššími přísadami sladové moučky.

4.4. Test trvanlivosti

Vývoj plísní na jednotlivých vzorcích kvasového chleba v závislosti na době skladování zobrazuje Tabulka 16. Popis je proveden pomocí nalezených plísnových ložisek o počtu *n* a průměru *d*; doplněn je o fotografie vzorků 13. den po upečení a vybalení z neprodyšných obalů.

Tabulka 16: Nalezená plísnová ložiska na vzorcích kvasových chlebů v závislosti na době skladování.

<i>t</i> (dny)	4	6	8	10	12
ložiska	<i>n</i> (-); <i>d</i> (mm)	<i>n</i> (-); <i>d</i> (mm)	<i>n</i> (-); <i>d</i> (mm)	<i>n</i> (-); <i>d</i> (mm)	<i>n</i> (-); <i>d</i> (mm)
reference	-	-	1;1	3;2	>5;2
sacharóza 2,5 % _{hm.}	-	1;2	3;2	>5;4	>5;5
sacharóza 5,0 % _{hm.}	-	-	2;2	>5;2	>5;10
sacharóza 7,5 % _{hm.}	-	-	2;2	>5;2	>5;4
med 2,5 % _{hm.}	-	3;2	5;4	>5;6	plošné
med 5 % _{hm.}	-	-	1;1	4;2	>5;10
med 7,5 % _{hm.}	-	-	1;1	1;2	4;3
slad 2,5 % _{hm.}	2;2	>5;2	5;4	>5;10	plošné
slad 5 % _{hm.}	-	-	5;2	4;8	>5;8
slad 7,5 % _{hm.}	-	-	3;2	>5;8	>5;10



Obrázek 18: Kvasový bochánek bez přidaných sacharidů po 13 dnech skladování v uzavřeném obalu.



Obrázek 19: Kvasové bocháčky s přidanou sacharózou po 13 dnech skladování v uzavřeném obalu.



Obrázek 20: Kvasové bocháčky s přidaným medem po 13 dnech skladování v uzavřeném obalu.



Obrázek 21: Kvasové bocháčky s přidanou maltózou po 13 dnech skladování v uzavřeném obalu.

Výsledky testu prokázaly, že na plísnové bujení je nejnáchylnější kvasový chléb s cukry v těstě o koncentraci 2,5 %_{hm.}; vzrůstající obsah přidaných sacharidů působí na růst plísní již inhibičně. Vůbec nejlépe dopadly v těstu trvanlivosti vzorky se 7,5 %_{hm.} přídavkem medu, následován vzorkem bez přidaných sacharidů; nejmasovější rozvoj mycelií byl zaznamenán u vzorků s přidanou maltózou a 2,5 %_{hm.} koncentrací medu.

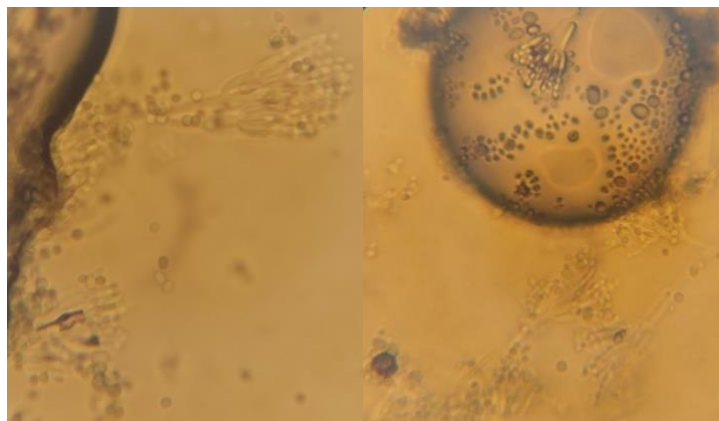
Z dosavadních průzkumů plyne, že nejsilnějším antimikrobiálním činidlem produkovaným v průběhu fermentace chlebového těsta je kyselina octová^[24] (spolu s kyselinou propionovou, která však v rámci tohoto měření posuzována nebyla). Kyselina octová je v upečených výrobcích díky svojí významné těkavosti obsažena v podstatně nižších koncentracích než v syrovém těstě před vložením do pece. V kůře bochníku je pak poměrně zastoupena ještě mnohem méně než ve stříde uprostřed

výrobku. Provedená zkouška s antimikrobiálním vlivem kyseliny octové koresponduje. Výrobky, v jejichž těstě kyselina octová nebyla ani detekována (s přidaným sladem), byly napadeny plísňovými mikroorganismy dříve a hojněji, než výrobky bez přidaných sacharidů či vzorky s vyššími naměřenými koncentracemi kyseliny octové (vzorky s přidanou sacharózou a nejvyšší koncentrací medu).

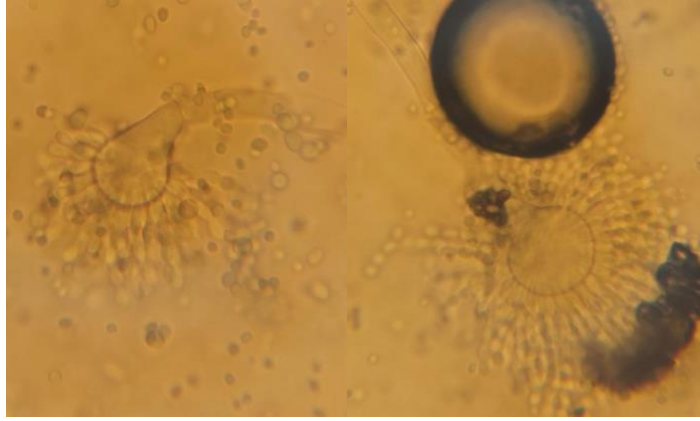
Souhrnně se přidané sacharidy projeví jako přípravek spíše zhoršující mikrobiologickou údržnost pečiva. Vyšší náchylnost k plesnivění u obohacených těst je dána, kromě již diskutovaného sníženého obsahu acetátu, patrně vyšší koncentrací zbylých jednoduchých cukrů i vody v upečeném výrobku (zvláště v případě medu a řepného cukru). Zvýšená aktivita vody těsta s obsaženou sladovou moučkou již není jednoznačná; dosavadní měření dokazují pouze mírný, téměř nepatrně zvýšený obsah vody v upečených výrobcích při přidaném sladu v různých koncentracích ^[47].

Pro posouzení potenciálního zdravotního rizika pro spotřebitele bylo vhodné, blíže charakterizovat rody detekovaných mikroskopických vláknitých hub. Z vizuálního posouzení pozorovaných vzorků nebylo patrné, že by se na některém ze vzorků rozrůstala mikroflóra o příliš odlišném zastoupení jednotlivých plísní, než na vzorcích ostatních; všechny vzorky se pokrývaly zelenomodrými a bílými vlákny za tvorby pravidelných kruhových ložisek (viz Obrázek 18, Obrázek 19, Obrázek 20, Obrázek 21); proto bylo odebráno plísňové mycelium pouze ze dvou náhodně vybraných kusů chleba (se 7,5 % přídatkem sladu a 5 % přídatkem sacharózy) na zhotovení nativních preparátů a pozorování pod laboratorním mikroskopem.

Pozorováním byla prokázána přítomnost rodů *Aspergillus* a *Penicillium* (Obrázek 22, Obrázek 23). Tyto dvě potravinářské plísně patří v našich geografických podmínkách mezi nejčastější kontaminanty cereálních výrobků. U mykotoxinů produkovaných metabolismem těchto dvou mikroskopických hub byla prokázána karcinogenní, teratogenní a hepatotoxická aktivita při chronické expozici svých účinků na lidské tělo (pro rod *Aspergillus* je charakteristická produkce aflatoxinů, konkrétní druhy rodu *Penicillium* vylučují Ochratoxin A). ^[20,21,22,53] Konzumace kvasových výrobků s viditelnou plísní představuje pro konzumenta proto vysoké zdravotní riziko.



Obrázek 22: Štětíčkové konidiofory a spory rodu *Penicillium*, odebraného z jednoho z pozorovaných vzorků kvasového chleba.



Obrázek 23: Koremium rodu *Aspergillus*, odebraného z jednoho z pozorovaných vzorků kvasového chleba.

5 ZÁVĚR

Bakalářská práce sledovala vliv přidaných sacharidů (řepného cukru, medu a sladové moučky) do těsta kvasového chleba na vybrané parametry, ovlivňující kvalitu a jakost hotového cereálního produktu. Průběh fermentace chlebového těsta byl zaznamenáván na základě svých změn v objemu, kyselosti a produkci dvou hlavních reakčních metabolitů – kyselin mléčné a octové. Na výrobcích upečených ze sledovaných cereálních směsí byla poté popsána pevnost struktury a mikrobiální trvanlivost. Každý z přidaných cukrů byl sledován v obsažené hmotnostní koncentraci 2,5 %_{hm.}, 5 %_{hm.} a 7,5 %_{hm.} (vztaženo na hmotnost použité mouky); celkové srovnání bylo provedeno s referenčním vzorkem bez sacharidového přídatku. Naměřené výsledky mají zjednodušit budoucí optimalizace receptů na kvasové chleby s konkrétními žádanými jakostními parametry.

Mezi typické znaky kvality cereálních výrobků v České republice patří nadýchaná, měkká a přiměřeně pružná střída výrobku. Pro splnění tohoto požadavku se na základě měření jeví nejvýhodněji, obohatit kvašené těsto o nízký přírvek medu (konc. 2,5-5 %_{hm.}). Měkčí střída je výsledkem i receptů s nízkými přírvky sladu, resp. sacharózou při koncentraci 5-7,5 %; tyto výrobky již ale disponují o poznání menším celkovým objemem.

Kvasové výrobky jsou často vyhledávány spotřebiteli pro své jedinečné sensorické vlastnosti, determinované profilem obsažených těkavých sloučenin. Zásadní vliv hraje poměr mezi kyselinou mléčnou a octovou jakožto hlavních metabolitů probíhajících homo- a heterofermentativních kvasných procesů. Výsledky analytického rozboru prokázaly snížený relativní obsah kyseliny octové oproti kyselině mléčné v těstech obohacených sacharidy. U sacharózy se – oproti medu – množství kyseliny octové snižovalo ztelněji s vyššími přírvky; přidaná maltóza již při koncentraci 2,5 %_{hm.} inhibovala produkci kyseliny octové do takové míry, že sloučenina nebyla při analýze vůbec zachycena. Významná převaha kyseliny mléčné se v hotovém výrobku projeví jemnější a nasládlejší chutí, bez nápadného štiplavého aroma. Vůbec nejméně kyselým dojmem se budou vyznačovat chleby s vyššími přírvky sladové moučky, které se v analýze projevovaly i nízkou celkovou kyselostí těsta; zcela opačně se projevoval řepný cukr, kde produkce kyselých metabolitů stoupala přímo úměrně s vyšší přírvek sacharidu do těsta.

Důležitým parametrem cereálního výrobku je jeho mikrobiální stabilita; z potenciálních činitelů způsobujících riziko bývají skloňovány konkrétní rody plísni. Přidané sacharidy se v tomto projeví spíše jako činidlo zkracující trvanlivost produktu. Během provedeného testu trvanlivosti projeví největší tendence k plesnivění sladové výrobky, resp. vzorky s nízkým obsahem přidaných sacharidů. Vliv je příkladán nízkým koncentracím kyseliny octové jakožto silného antimikrobiálního činidla kvasových chlebů, resp. nižší celkové kyselosti výrobků, avšak jistým podílem zbylých jednoduchých cukrů v těstě. Nutno však zmínit, že chlebům zakyseleným cereálními kvasy bývá připisována až trojnásobná trvanlivost než ekvivalentním produktům kypřeným pouze pekařským droždím^[15]. Mírné zkrácení doby trvanlivosti v důsledku přírvek sacharidů do těsta tudíž nedělá z cereálního výrobku mikrobiálně nestabilní produkt.

Často skloňovaným negativem kvasových výrobků je vyšší finanční nákladnost procesu jejich výroby. Energeticky náročné vedení jednotlivých kvasných stupňů může být však zefektivněno za znalosti použité mikrobiální kultury a správné technologie procesu. Provedené měření prokázalo zvýšení kvality konkrétních parametrů kvasových výrobků při nízkém přírvek přirozených pekařských materiálů; cenu nákladnějších vstupních surovin (med) lze částečně nahradit levnějšími, plnicí stejnou substrátovou funkcí (glukózo-fruktózový sirup). Sensorický profil a zdravotní přínos z konzumace kvasových produktů je nesrovnatelný vedle konkurentů připravovaných levnějšími výrobními postupy. Kvasový chléb je na českém trhu tradiční, základní potravinou a důležité místo mu zde zůstává i nadále.

6 ZDROJE

1. PELIKÁN Miloš, František DUDÁŠ a Drahomír MÍŠA. *Technologie kvasného průmyslu*. 1.vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1996. s. 2-17, 21. ISBN 80-7080-527-7
2. SPICHER G., E. RABE, R. SOMMER a H. STEPHAN. Die Mikroflora des Sauerteiges. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* [online]. 1984. č. 178, s. 291-296 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF01042234>
3. ŠEDIVÝ, Petr, Jaroslav ALBRECHT. *Pekařská technologie II: Výroba chleba*. Praha: Odborné nakladatelství a vydavatelství Pekař a cukrář s.r.o., 2014, s.35-40, 117-121. ISBN 978-80-905481-0-7
4. HRABĚ, Jan, František BUŇKA a Ignác HOZA. *Technologie výroby potravin rostlinného původu pro kombinované studium*. 1. vyd. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. s. 28-36. ISBN 978-80-7318-520-6
5. ŠEDIVÝ, Petr a kol. *Pekařská technologie I: Suroviny*. Praha: Odborné nakladatelství a vydavatelství Pekař a cukrář s.r.o., 2013, s.45-49, 88-96, 101-102, 110-114, 123-128, 132-133,. ISBN 978-80-903913-7-6
6. PŘÍHODA, Josef, Pavla HUMPOLÍKOVÁ a Dana NOVOTNÁ. *Základy pekárenské technologie*. Praha: Odborné nakladatelství a vydavatelství Pekař a cukrář s.r.o., 2003. s. 28-50, 142-149. ISBN 80-902922-1-6
7. EDWARDS, Wiliam P. *The Science of bakery products*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2007. s. 28-39, 104-108, 169-170. ISBN: 978-0-85404-486
8. PŘÍHODA, Josef, Pavel SKŘIVAN a Marie HRUŠKOVÁ. *Cereální chemie a technologie I*. 1.vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. s.35-55. ISBN: 80-7080-530-7
9. MIGUEL Angelo, Tatiana MARTINS-MEYER, Érika FIGUEIREDO, Bianca LOBO a Gisela DELLAMORA-ORTIZ. Enzymes in Bakery. Current and Future trends [online]. 2013, s.287-321. [cit. 2022-11-18]. ISBN 978-953-51-0911-2. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Partial-structure-of-an-arabinoxylan-a-linear-main-chain-formed-by-xylan-a-pentosan_fig4_236333574
10. ANJUM Faqir Muhammad, Moazzam Rfiq KHAN, Ahman DIN, Muhammad SAEED, Imran PASHA, Muhammad Umair ARSHAD. Wheat Gluten: High Molecular Weight Glutenin Subunits—Structure, Genetics, and Relation to Dough Elasticity. *Journal of Food Science* [online]. 2007, roč. 72, č.3, s.5 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1750-3841.2007.00292.x>
11. Vyhláška č. 18/2020 Sb.: Vyhláška o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta. *Zákony pro lidi: Sbírka zákonů* [online]. Ministerstvo zemědělství, 2020 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-18#f6707560>
12. SKŘIVAN, Pavel. *Kvasy v pekárenské technologii*. Výživa a potraviny [online]. 2022, č.3, s.7,8 [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://www.vyzivaspol.cz/vyziva-a-potraviny-3-2022/>
13. SILLOW, Christoph, Claudia AXEL, Emanuele ZANNINI a Elke K. ARENDT. Application of sourdough in the production of fat- and salt-reduced puff pastry *Eur Food Res Technol* [online]. 2018, roč. 244, s. 1581-1593 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-018-3071-y>
14. MOHAMMAD, Ahmad, Ruchi PATHANIA, Abantika CHOWDHURY, Jai Kumar GUPTA, Chandra DEV a Shireesh SRIVASTAVA. Salt-stress adaptation of yeast as a simple method to improve high-gravity fermentation in an industrial medium. *Appl*

- Microbial Biochnol.* [online]. 2021, roč.105, s.8009-8018 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-021-11566-7>
15. BELZ C.E. Marcus, Regina MAIRINGER, Emanuele ZANNINI, Liam A. M. RYAN, Kevin D. CASHMAN a Elke K. ARENDT The effect of sourdough and calcium propionate on the microbial shelf-life of salt reduced bread. *Appl Microbial Biochnol* [online]. 2012, roč.96, s.493-501 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-012-4052-x>
 16. CHAVAN Rupesh S. a Shaddha R. CHAVAN. Sourdough technology – A Traditional Way for Wholesome Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2011, roč.10, č.3 [cit. 2022-04-11]. ISSN: 1541-4337. Dostupné z: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-4337.2011.00148.x>
 17. JIN Gang, Vladimir JIRANEK, Aaron Mark HAYES and Paul R. GRBIN. Isolation and Characterization of High-Ethanol-Tolerance Lactic Acid Bacteria from Australian Wine. *Foods* [online]. 2022, roč.11, č. 1231. [cit. 2023-02-09] Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9101528/>
 18. DE LUCA, Lucia, Alessandro AIELLO, Fabiana PIZZOLONGO, Giuseppe BLAIOTTA, Marie APONTE a Raffaekke ROMANO. Volatile Organic Compounds in Breads Prepared with Different Sourdoughs. *Applied Sciences* [online]. 2021, roč.11, č.3, s.1330. [cit. 2023-03-20] Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/3/1330>
 19. LATOU E., S.F. MEXIS, A.V. BADEKA, M.G. KONTOMINAS. Shelf life extension of sliced wheat bread using either an ethanol emitter or an ethanol emitter combined with an oxygen absorber as alternatives to chemical preservatives. *Journal of Cereal Science* [online]. 2010, roč. 52, č.3, str. 457-465. [cit. 2023-03-20] Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Shelf-life-extension-of-sliced-wheat-bread-using-an-Latou-Mexis/e4eaaa66dcedfff4297bd5032e38a369263aca3>
 20. GARCIA, Marcello Valle a Marina COPETTI. Alternative methods for mold spoilage control in bread and bakery products. *International FOOD Research Journal* [online]. 2019, roč. 26, č.3, str. 737-749. [cit. 2023-03-20] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328581428_Alternative_methods_for_mold_spoilage_control_in_bread_and_bakery_products
 21. D´MELLO J. P. Felix. *Food safety: contaminants and toxins*. Oxford: CABI Publishing. 2003. ISBN 0-85199-607-8.
 22. KABAK, Bulent. The fate of mycotoxins during thermal food processing. *Science of food and agriculture* [online]. 2009, roč. 89, č. 4, str. 549-554. [cit. 2023-03-20] Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/jsfa.3491>
 23. GEREZ, Luciana. Prevention of bread mould spoilage by using lactic acid bacteria with antifungal properties. *Food Control* [online]. 2009, roč. 20, s. 144-148. [cit. 2023-03-20] Dostupné z: https://www.academia.edu/87517997/Prevention_of_bread_mould_spoilage_by_using_lactic_acid_bacteria_with_antifungal_properties
 24. DEBONNE, Els a kol. Modelling and validation of the antifungal activity of DL-3-phenyllactic acid and acetic acid on bread spoilage moulds. *Food Microbiol* [online]. 2020, roč.88, 103407. [cit. 2023-03-20] Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31997763/>
 25. CORSETTI, Aldo a Luca SETTANNI. Lactobacilli in sourdough fermentation. *Food Research International* [online]. 2007, roč. 40, č. 5, s.540 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: https://www.academia.edu/16957319/Lactobacilli_in_sourdough_fermentation
 26. KULMAR, Ravinder, M. KAUR, Anita GARSA, Bhuvnesh SHRIVASTAVA, PV REDDY a Ashish TYAGI. Natural and Cultured Buttermilk. *Fermented milk and dairy products* [online]. 2015, s.203-225. [cit. 2022-11-18] ISBN 9781466577978. Dostupné

- [z:https://www.researchgate.net/figure/a-Homofermentative-and-b-heterofermentative-pathways-of-lactic-acid-bacteria_fig2_280136366](https://www.researchgate.net/figure/a-Homofermentative-and-b-heterofermentative-pathways-of-lactic-acid-bacteria_fig2_280136366)
27. RICCI, Maso, Silvia MARTINI, Claudia BONECHI, Daniela BRACONI, Annalisa SANTUCCI a Claudio ROSSI. In vivo NMR study of yeast fermentative metabolism in the presence of ferric irons. *Journal of Biosciences* [online]. 2011, roč. 36, s.97-103 [cit. 2022-04-25]. DOI: 10.1007/s12038-011-9003-7. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Metabolic-pathway-of-glucose-to-ethanol-fermentation-by-S-cerevisiae-The-asterisks_fig2_50936686
 28. SAFARIK, Ivo, Zdenka SABATKOVA a Mirka SAFARIKOVA. Invert sugar formation with *Saccharomyces cerevisiae* cells encapsulated in magnetically responsive alginate microparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* [online]. 2009, roč. 321, č.10, s.1478-1481 [cit. 2022-04-21]. ISSN 0304-8853. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0304885309001358>
 29. SAHIN, Aylin W., Emanuelle ZANNINI, Aidan COFFEY a Elke K. ARENDT. Sugar reduction in bakery products: Current strategies and sourdough technology as a potential novel approach. *Food Research International* [online]. 2019, roč. 126, 108583 [cit. 2022-04-25]. ISSN 0963-9969. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0963996919304612#bb0050>
 30. KAPPL, Dietmar. *Homebaking blog* [online]. St. Marien, Rakousko. ©2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://homebaking.at/>
 31. KORAKLI, Maher, Andreas ROSSMANN, Michael G. GÄNZLE a Rudi F. VOGEL. Sucrose Metabolism and Exopolysaccharide Production in Wheat and Rye Sourdoughs by *Lactobacillus sanfranciscensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2001, roč. 49, č.11, s. 5194-5200 [cit. 2022-04-25]. DOI: 10.1021/jf0102517. Dostupné z: <https://doi-org.ezproxy.lib.vutbr.cz/10.1021/jf0102517>
 32. VRANCKLEN G., T. RIMAUX, L. De VUYST a F. LEROY. Kinetic analysis of growth and sugar consumption by *Lactobacillus fermentum* IMDO 130101 reveals adaptation to the acidic sourdough ecosystem. *International Journal of Food Microbiology* [online]. 2008, roč. 128, č. 1, s. 58-66 [cit. 2022-04-25]. ISSN 0168-1605. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.08.001>
 33. GÄNZLE, G. Michael. Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. *Food Microbiology* [online]. 2014, roč. 37, s. 2-10 [cit. 2022-04-25]. ISSN 0740-0020. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.007a>
 34. POSPIECH, Matej a kol. Physico-Chemical and Melissopalynological Characterization of Czech Honey. *Applied Sciences-Basel* [online]. 2021, roč. 11, s.1-17 [cit. 2022-05-19]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/204080>
 35. TITĚRA, Dalibor. *Včelí produkty mýtů zbavené*. Praha: Nakladatelství Brázda, 2006. s.18-25. ISBN 80-209-0347-X.
 36. BALL David W. The Chemical Composition of Honey. *Journal of Chemical Education* [online]. 2007, roč.84, č.10, s. 1644 [cit. 2022-05-19] DOI: 10.1021/ed084p1643. Dostupné z: <https://pubs-acs-org.ezproxy.lib.vutbr.cz/doi/abs/10.1021/ed084p1643>
 37. NUTTER, Julia, Rosalia FRITZ, Amelia I. SAIZ a Miriam O. IURLINA. Effect of honey supplementation on sourdough: Lactic acid bacterial performance and gluten microstructure. *LWT : Food Science and Technology* [online]. 2017, roč.77, s. 119-125 [cit. 2022-04-25]. ISSN 0023-6438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.040>
 38. LEOPOLD Thomas, Monika LEOPOLD. *BackNatur: Honig-Salz-Brot* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://www.honig-salz-brot.de/Honig-Salz-Brot%20-%20Das%20Brot%20der%20Zukunft%20-%20-%20-%20startseite.htm>
 39. HADAŠOVÁ, Klára. *Domácí pekař*. 1.vyd. Police nad Metují: Analfabet, 2018. s.47-48, 126-128. ISBN 978-80-905790-1-9.

40. BELCAR, Justyna, Joanna KASZUBA a Josef GORZELANY. Effect of Wheat and Barley Malt Addition on the Quality of the Baking Blend and Wheat Bread. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* [online]. 2022, roč. 72, č.2, s. 129-139. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/360355740_Effect_of_Wheat_and_Barley_Malt_Addition_on_the_Quality_of_the_Baking_Blend_and_Wheat_Bread
41. DE KOK, Stefan, Duygu YILMAZ, Erwin SUIR, Jack T. PRONK, Jean-Mauc DARAN a Antonius J.A. VAN MARIS. Increasing free-energy (ATP) conservation in maltose-grown *Saccharomyces cerevisiae* by expression of a heterologous maltose phosphorylase, *Metabolic Engineering* [online]. 2011, roč. 13, č. 5, s. 518-522. [cit. 2022-05-20]. ISSN 1096-7176. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S109671761100067X>
42. NOUR, Mawahib E.M. El Nour a S.O. YAGOUB. Partial Purification and Characterization of α and β -Amylases Isolated from *Sorghum bicolor* cv. (Feterita) Malt. *Journal of Applied Sciences* [online]. 2010, roč.10, s. 1314-1319 [cit. 2022-05-19]. DOI: [10.3923/jas.2010.1314.1319](https://doi.org/10.3923/jas.2010.1314.1319) Dostupné z: <https://scialert.net/abstract/?doi=jas.2010.1314.1319>
43. Glass electrode, *Pryiam study centre – Learning chemistry* [online]. Pryiam study centre ©2022 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: https://www.pryiamstudycentre.com/2022/05/glass-electrode-ph-measurement.html#google_vignette
44. ŠTULÍK, Pavel a kol. *Analytické separační metody*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2004. s.153. ISBN 80-246-0852-9.
45. SIMONSON, Lauri, Hannu SALOVAARA a Matti KORHOLA. Response of wheat sourdough parameters to temperature, NaCl and sucrose variations. *Food Microbiology* [online]. 2003, roč.20, č.2, s. 193-199. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0740-0020\(02\)00117-X](https://doi.org/10.1016/S0740-0020(02)00117-X)
46. BELCAR, Justyna, Joanna KASZUBA a Józef GORZELANY. Effect of Wheat and Barley Malt Addition on the Quality of the Baking Blend and Wheat Bread. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* [online]. 2022, roč. 72, č. 2, s. 129-139. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.31883/pjfn/147796>
47. HONCŮ, Iva, Lucie KREJČÍŘOVÁ, Josef PŘÍHODA a Marcela SLUKOVÁ. The effect of addition of malt flour on the dough, volume and sensory properties of bread. *PARIPEX – Indian Journal of Research* [online].2015, roč.4, č.9, s. 152-155. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: https://www.worldwidejournals.com/paripex/recent_issues_pdf/2015/September/September_2015_1492177834_57.pdf
48. Brookfield Engineering Labs, Inc.. Brookfield LFRA Texture Analyzer User Manual. *Manuals Directory, online owner manuals library* [online]. © 2012–2023 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://www.manualsdir.com/manuals/656010/brookfield-lfra-texture-analyzer.html?page=3>
49. CT3 Texture Analyzer. *Brookfield ametek* [online]. © 2023 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://www.brookfieldengineering.com/products/texture-analyzers/ct3-texture-analyzer>
50. OBIEGBUNA, James Ejikeme. Effect of substituting sugar with date palm pulp meal on the physicochemical, organoleptic and storage properties of bread. *African Journal of Food Science* [online]. 2013, roč. 7, č.6, s. 113-119. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/272675332_Effect_of_substituting_sugar_with_date_palm_pulp_meal_on_the_physicochemical_organoleptic_and_storage_properties_of_bread
51. OOMS, Nand a Jan A. DELCOUR. How to impact gluten protein network formation during wheat flour dough making. *Current Opinion in Food Science* [online]. 2019, roč.

- 25, s. 88-97 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/How-to-impact-gluten-protein-network-formation-Ooms-Delcour/66a7c0ddd69d88a7ff73b4d2effb7034477565f4>
52. RIBOTTA, Pablo D., Alberto E. LEÓN and María Cristina AÑÓN. Effect of Freezing and Frozen Storage of Doughs on Bread Quality. *J. Agric. Food Chem*[online].2001, roč. 49, č.2, s. 913-918. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf000905w>
53. NESIC, KSENIJA [cit. 2023-04-10]. Mycotoxins – Climate impact and steps to prevention based on prediction. *Acta Veterinaria* [online]. 2018, roč. 68, s. 1-15 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Mycotoxins-associated-fungi-optimal-production-conditions-and-toxical-effects_tbl2_324479616