

Vliv druhu kvasu a podmínek jeho přípravy na vlastnosti výrobku

Bc. Lucie Ďoubalová

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Lucie Ďoubalová
Osobní číslo: T22409
Studijní program: N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Vliv druhu kvasu a podmínek jeho přípravy na vlastnosti výrobku

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

Suroviny a technologie klasické výroby žitného kvasu

Zkrácené postupy přípravy žitného kvasu

Využití kvasu při výrobě pečiva

II. Praktická část

Charakteristika použitého materiálu a vybavení

Popis postupu přípravy kvasu, výroby pečiva a hodnocení kvality výrobku

Popis získaných výsledků a jejich diskuse s literaturou

Formulování závěrů plynoucích z práce

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] Albagli, G., do Monte Schwartz, I., Amaral, P. F., Ferreira, T. F., & Finotelli, P. V. (2021). How dried sourdough starter can enable and spread the use of sourdough bread. *LWT*, 149, 111888
- [2] Calvert, M. D., Madden, A. A., Nichols, L. M., Haddad, N. M., Lahne, J., Dunn, R. R., & McKenney, E. A. (2021). A review of sourdough starters: Ecology, practices, and sensory quality with applications for baking and recommendations for future research. *PeerJ*, 9, e11389
- [3] Sakandar, H. A., Hussain, R., Kubow, S., Sadiq, F. A., Huang, W., & Imran, M. (2019). Sourdough bread: A contemporary cereal fermented product. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(3), e13883
- [4] Warburton, A., Silcock, P., & Eyres, G. T. (2022). Impact of sourdough culture on the volatile compounds in wholemeal sourdough bread. *Food Research International*, 161, 111885

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **1. ledna 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORKY DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků budu uvedena jako spoluautorka.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studentky:

.....
podpis studentky

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vlivem druhu kvasu a podmínek jeho přípravy na vlastnosti výrobku. V rešeršní části byly popsány suroviny, technologie výroby třístupňového žitného kvasu, zkrácené postupy přípravy žitných kvasů a využití kvasu při výrobě pečiva v historii a současnosti. V praktické části byla popsána výroba žitného kvasu a vzorků žitných chlebů, které se lišily způsobem kypření a teplotou fermentace. U žitných těst bylo definováno chování těsta během kynutí a reologické vlastnosti. U vzorků po upečení byly charakterizovány ztráty pečením, specifický objem a texturní vlastnosti. Z výsledků vyplývá, že vzorky kypřené nativním kvasem vykazovaly lepší vlastnosti v porovnání se sušeným kvasem. Jako nejvhodnější teplota fermentace byla vyhodnocena teplota 35 °C. Při skladování bylo pozorováno zhoršení většiny sledovaných vlastností vzorků.

Klíčová slova: žitný chléb, žitný kvas, sušený žitný kvas, teplota fermentace, doba skladování, vlastnosti žitného těsta, kvalita žitného chleba

ABSTRACT

The thesis deals with the influence of the type of sourdough and the conditions of its preparation on the product properties. In the research part, the raw materials, the technology of production of three-stage rye sourdough, the shortened procedures of preparation of rye sourdough and the use of sourdough in the production of bakery products in history and at present were described. The practical part described the production of rye sourdough and samples of rye breads, which differed in the method of leavening and fermentation temperature. For rye doughs, the dough behaviour during rising and the rheological properties were defined. Baking losses, specific volume and textural properties were characterized for the samples after baking. The results show that the samples leavened with native sourdough showed better properties compared to the dried sourdough. The most suitable fermentation temperature was found to be 35 °C. During storage, deterioration of most of the observed properties of the samples was observed.

Keywords: rye bread, rye sourdough, dried rye sourdough, fermentation temperature, storage time, properties of rye dough, quality of rye bread

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí mé diplomové práce doc. RNDr. Ivě Burešové, Ph.D. za vedení, trpělivost, cenné rady a věcné připomínky při zpracování diplomové práce.

Ráda bych také poděkovala Ing. Romaně Šebestíkové za odbornou pomoc při měření praktické části diplomové práce.

Děkuji také mé rodině za podporu a pomoc při studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SUROVINY A TECHNOLOGIE KLASICKÉ VÝROBY ŽITNÉHO KVASU	11
1.1 SUROVINY PRO VÝROBU TŘÍSTUPŇOVÉHO ŽITNÉHO KVASU.....	11
1.1.1 Žitná mouka	11
1.1.2 Voda	14
1.2 TECHNOLOGIE VÝROBY TŘÍSTUPŇOVÉHO ŽITNÉHO KVASU.....	14
1.2.1 Třístupňové vedení kvasu	15
1.2.2 Mikroflóra žitného kvasu	16
1.2.3 Interakce mezi kvasinkami a bakteriemi mléčného kvašení	17
1.2.4 Kontaminující mikroflóra žitného kvasu	17
1.2.5 Parametry ovlivňující mikroflóru žitného kvasu.....	18
2 ZKRÁCENÉ POSTUPY PŘÍPRAVY ŽITNÉHO KVASU	20
2.1 STABILIZOVANÝ KVAS	20
2.2 SUŠENÝ KVAS.....	20
2.2.1 Lyofilizace.....	21
2.2.2 Sušení rozprašováním	21
2.2.3 Sušení v bubnu	21
2.3 SMÍŠENÝ KVAS	22
3 VYUŽITÍ KVASU PŘI VÝROBĚ PEČIVA	23
3.1 HISTORIE VYUŽÍVÁNÍ KVASU PŘI VÝROBĚ PEČIVA.....	23
3.2 SOUČASNÝ TREND VYUŽÍVÁNÍ KVASU PŘI VÝROBĚ PEČIVA	24
3.2.1 Senzorické vlastnosti kváskových chlebů	24
3.2.2 Stravitelnost a nutriční hodnoty kváskových chlebů	24
3.2.3 Trvanlivost kváskových chlebů.....	25
II PRAKTICKÁ ČÁST	27
4 CÍL PRÁCE	28
5 CHARAKTERISTIKA POUŽITÉHO MATERIÁLU A VYBAVENÍ	29
5.1 SUROVINY PRO VÝROBU ŽITNÉHO CHLEBA	29
5.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE	30
6 POPIS POSTUPU PŘÍPRAVY KVASU, VÝROBY PEČIVA A HODNOCENÍ KVALITY VÝROBKU	31
6.1 PŘÍPRAVA ŽITNÉHO KVASU.....	31
6.2 VÝROBA ŽITNÉHO CHLEBA	31
6.3 HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ ŽITNÉHO TĚSTA	33
6.3.1 Stanovení chování těsta během kynutí pomocí reofermentometru	33

6.3.2	Stanovení reologického chování těsta pomocí mixolabu	36
6.4	HODNOCENÍ KVALITY ŽITNÉHO CHLEBA	38
6.4.1	Ztráty pečením	38
6.4.2	Specifický objem	38
6.4.3	Texturní profilová analýza	39
6.5	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT	39
7	VÝSLEDKY A DISKUZE	41
7.1	HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ ŽITNÉHO TĚSTA	41
7.1.1	Stanovení chování těsta během kynutí pomocí reofermentometru	41
7.1.2	Stanovení reologického chování těsta pomocí mixolabu	43
7.2	HODNOCENÍ KVALITY ŽITNÉHO CHLEBA	45
7.2.1	Ztráty pečením	46
7.2.2	Specifický objem	47
7.2.3	Texturní profilová analýza	49
	ZÁVĚR	59
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
	SEZNAM TABULEK	73

ÚVOD

Výroba kvasu je jedním z nejstarších biotechnologických procesů, jelikož se při výrobě chleba využívá již tisíce let. Základem výroby tradičního žitného kvasu je zkvašování vodné suspenze žitné mouky kvasinkami a bakteriemi mléčného kvašení ve třech stupních, ve kterých jsou technologické parametry upraveny tak, aby došlo k postupnému rozvoji jednotlivých mikroorganismů. V 19. století došlo téměř k úplnému nahrazení kvasu pekařským droždím, což bylo způsobeno jeho větší vhodností pro požadavky současných pekařských postupů, jako rychlé a jednoduché kypření přizpůsobené automatizované výrobě chleba [1, 2, 3].

V posledních letech je však kváskový chléb znovu spotřebiteli vyhledáván kvůli svým organoleptickým vlastnostem, zvýšené nutriční hodnotě a delší době trvanlivosti. Z důvodu časové náročnosti výroby tradičního žitného kvasu se často využívají zkrácené postupy přípravy kvasu. Mezi nejčastěji využívané zkrácené postupy kypření patří stabilizované kvasy nebo sušené kvasy s využitím pekařského droždí [2, 3, 4].

Cílem bylo stanovit vliv způsobu kypření pomocí nativního kvasu a sušeného kvasu s pekařským droždím na vzorky žitných chlebů. Sledován byl i vliv teploty fermentace a doby skladování na tyto vzorky. U žitných těst byl sledován vývin těsta a únik kypřícího plynu pomocí reofermentometru a reologické vlastnosti těsta pomocí mixolabu. Vzorky byly následně hodnoceny pomocí ztrát pečením, specifického objemu a texturní profilové analýzy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SUROVINY A TECHNOLOGIE KLASICKÉ VÝROBY ŽITNÉHO KVASU

Základem výroby žitného kvasu je zkvašování vodné suspenze žitné mouky kvasinkami a bakteriemi mléčného kvašení, které se nacházejí převážně v žitné mouce, vodě a okolním prostředí. Výroba kvasu probíhá v několika stupních a podmínky jednotlivých stupňů výroby jsou upraveny tak, aby se v kvasu množily přirozeně se vyskytující mikroorganismy. Klasická výroba třístupňového kvasu je časově náročná, ale na rozdíl od zkrácených způsobů není nutné pro kypření využívat pekařské droždí [1, 2, 4, 5, 6].

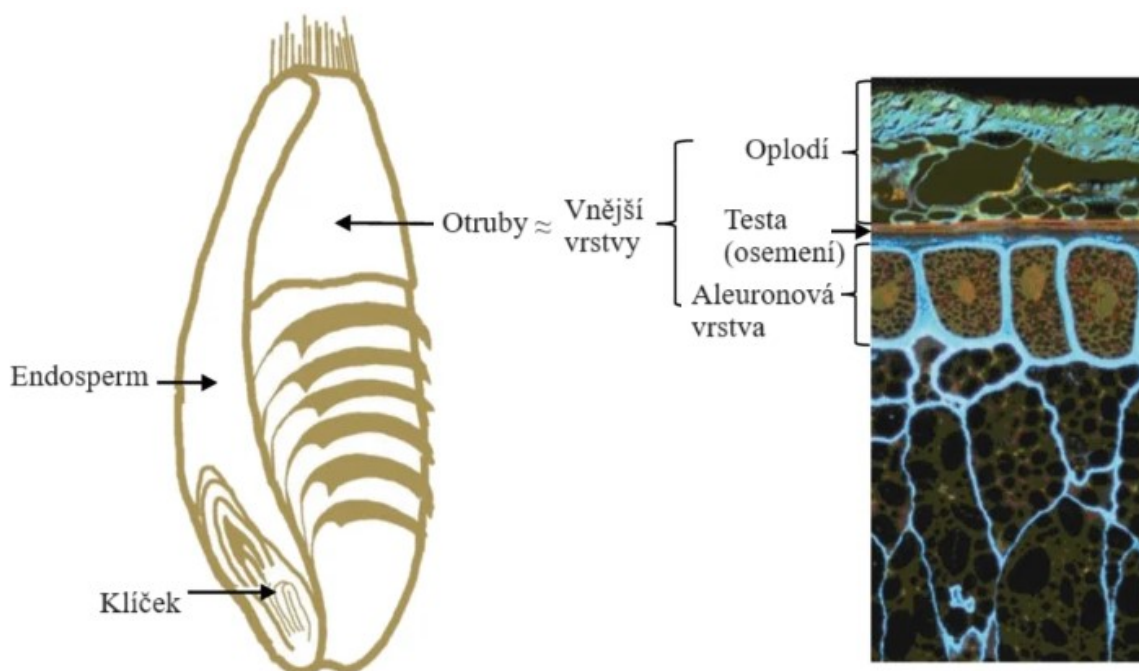
1.1 Suroviny pro výrobu třístupňového žitného kvasu

Základními surovinami pro výrobu žitného kvasu jsou žitná mouka a voda. Žitná mouka během hnětení těsta netvoří souvislou lepkovou síť, z tohoto důvodu mají při vývoji žitného těsta hlavní význam arabinoxylany. Po okyselení těsta kvasem se zvyšuje absorpce vody arabinoxylany, která se následně během pečení může uvolňovat ke škrobu a tím vzniká měkčí a vlhčí chléb. V důsledku okyselení žitného těsta kvasem dochází také ke snížení aktivity amylolytických enzymů, které se nacházejí v žitné mouce [4, 7, 8].

1.1.1 Žitná mouka

Žitná mouka se získává mletím žitného zrna, které je vyobrazeno na obrázku 1. Žito (*Secale cereale* L.) je vedle pšenice druhou nejvýznamnější obilovinou využívanou k výrobě chleba. Obilka je podlouhlého protáhlého tvaru a má typickou zeleno-šedou barvu [4, 9, 10].

Vnější vrstvy žitného zrna jsou pevně spojeny s endospermem, proto mletí žitných zrn zahrnuje agresivnější postup mletí a nižší počet pasáží ve srovnání s procesem mletí pšenice. Obalové vrstvy však není možno zcela oddělit od endospermu, a proto se vyrábí jen několik druhů žitné mouky, které obsahují více zbytků obalových vrstev a mají tedy i vyšší obsah popela. Základními mlýnskými žitnými výrobky jsou mouka výražková, chlebová a celozrnná, které se liší stupněm vymletí, barvou a obsahem popela [4, 9, 10, 11].



Obrázek 1: Struktura žitného zrna [12], upraveno

Chemické složení žita se v porovnání s jinými obilovinami vyznačuje vyšším obsahem vlákniny. Hlavní složky žitné mouky jsou uvedeny v tabulce 1. Jejich rozmezí je však široké a je ovlivněno genetickými faktory, klimatickými a pěstitelskými podmínkami [9, 11, 13].

Tabulka 1: Procentuální zastoupení složek v žitné mouce [9, 11]

Složka	Žitná mouka (%)
Škrob	69,0–73,0
Vláknina	14,7–20,9
Bílkoviny	5,8–11,0
Lipidy	1,0–1,7
Popeloviny	1,8–2,2

Žitné proteiny jsou bohaté na lysin, ale nejsou schopné tvořit souvislou lepkovou síť jako pšeničné proteiny. Pekárenská kvalita žitné mouky je proto dána především vlastnostmi amylázo-sacharidového komplexu a arabinoxylanů [4, 11].

Amylázo-sacharidový komplex

Amylázo-sacharidový komplex je tvořen amylytickými enzymy a sacharidy. Nejvýznamnější sacharidovou složkou žita je obdobně jako u jiných obilovin škrob. Skládá se ze dvou glukózových polymerů, a to amylozy a amylopektinu. Obsah amylozy se v žitném škrobu pohybuje v rozmezí od 12 % do 30 %. Poměr těchto dvou nejdůležitějších složek

má vliv na vlastnosti škrobu jako je bobtnání, mazovatění, viskozita a retrogradace. Během hnětení těsta škrob absorbuje vodu a bobtná. Se zvyšující se teplotou během pečení škrob mazovává. Teplota mazovatění škrobu v žitném těstě se pohybuje mezi 53–64 °C, což je poněkud nižší teplota v porovnání s pšeničným těstem. Při dalším zahřívání bobtnání škrobových granulí pokračuje, až dochází k deformaci granulí. Škrob se začíná rozpouštět a amyulóza se z granulí vyluhuje. Po ochlazení se tvoří krystalická struktura škrobu, která ovlivňuje vlastnosti střídy. Gel v čase při nižší teplotě uvolňuje vodu a ztrácí tím svoji pružnost. Dochází k retrogradaci škrobu a současnému stárnutí pečiva. Žitný kváskový chléb tvrdne pomaleji než chléb pšeničný. Vliv na pomalejší stárnutí žitného pečiva má velikost škrobových granulí, obsah bílkovin, pH a obsah vody [9, 13, 14, 15, 16].

Aktivita amylolytických enzymů (α -amylázy a β -amylázy) ovlivňuje stav a kvalitu škrobu. Škrob je pomocí těchto enzymů degradován až na jednodušší sacharidy jako je maltóza a glukóza, které jsou hlavními sacharidy dostupnými při fermentaci. Se snižujícím se pH jejich aktivita postupně klesá [6, 15].

Arabinoxylany

Arabinoxylany se řadí mezi neškrobové polysacharidy, které jsou velmi důležitou složkou při výrobě chleba. V zrně jsou lokalizovány především v endospermu a v otrubách, a to převážně v aleuronové vrstvě. Dělí se na rozpustné a nerozpustné ve vodě. Rozpustné ve vodě jsou žádoucí, zatímco nerozpustné ve vodě mají negativní vliv na kvalitu žitných výrobků. Arabinoxylany rozpustné ve vodě mají schopnost absorbovat velké množství vody a tím ovlivňují viskozitu těsta. Celkově mají arabinoxylany rozpustné ve vodě pozitivní vliv na specifický objem a měkkost žitného chleba. Spolu s bílkovinami a škrobovými granulemi tvoří viskózní hmotu, která při fermentaci těsta zadržuje vznikající plyn, a tím částečně nahrazuje v žitném těstě funkci lepku. Arabinoxylany během zahřívání nekoagulují ani u nich během chlazení a skladování nedochází k retrogradaci, čímž prodlužují žitnému pečivu trvanlivost [4, 9, 14, 17].

Bílkoviny

Žitná mouka v porovnání s pšeničnou obsahuje nižší množství bílkovin. Hlavními bílkovinami žita jsou albuminy, které tvoří 29–40 % z celkového obsahu bílkovin. Globuliny tvoří 8–11 %, zatímco zásobní bílkoviny žita prolaminy tvoří 17–19 % a gluteliny 9–15 % z celkového obsahu bílkovin. Žitné bílkoviny nemají schopnost tvořit souvislou lepkovou síť jako pšeničné bílkoviny. Žitné výrobky proto mají menší objem v porovnání s výrobky

pšeničnými. Žitné bílkoviny jsou ale důležité pro typickou chuť žitného kváskového chleba. Konkrétně peptidy a volné aminokyseliny získané enzymatickou degradací bílkovin pomocí bakterií mléčného kvašení, které jsou důležitými prekurzory chuti [9, 11, 13, 17].

1.1.2 Voda

Voda je základní složkou při tvorbě těsta. Je důležitá pro tvorbu lepkové sítě, hydrataci bílkovin a jako rozpouštědlo ostatních surovin. Slouží také jako disperzní médium pro kvasinky. Obsah vody a její distribuce určuje texturní vlastnosti výrobku jako měkkost střídy, křupavost kůrky a dobu skladovatelnosti. Množství přidané vody do těsta je dáno vazností mouky. Vaznost žitné mouky se pohybuje v rozmezí 60–70 % [15, 18, 19].

Hlavním požadavkem pro vodu, která je využívána při výrobě pečiva, je zdravotní nezávadnost. Voda přidávaná do kvasu a těsta musí být tedy vždy pitná, čirá, bezbarvá, bez vůně a zápachu. Jedním z dalších ukazatelů kvality vody je její tvrdost, kterou ovlivňují vápenaté a hořečnaté ionty rozpuštěné ve vodě. Optimální pro výrobu těsta je středně tvrdá voda 3,5–8,0 mmol/l. Příliš měkká voda zrychluje fermentaci a může zvyšovat lepivost těsta. Naopak příliš tvrdá voda utlumuje činnost enzymů, zpomaluje fermentaci a ztužuje lepek. Dalším ukazatelem kvality vody je alkalita nebo kyselost. Alkalická (zásaditá) voda ovlivňuje kvasné procesy tím, že zpomaluje fermentaci. Výsledkem je pečivo s nepříliš velkým objemem, ale s lepší strukturou a barvou střídy. Kyselejší voda oproti tomu fermentaci zrychluje, těsta jsou při fermentaci roztékavější, výrobek je nižší a nevýrazně zbarvený [4, 15, 20, 18].

Včetně vody potřebné k výrobě kvasů a těst se při výrobě chleba využívá i voda k výrobě páry k zapařování kynárny a pece. Voda by pro tyto účely měla být co nejměkčí, aby soli obsažené ve vodě nezanášely potrubí a trysky napařovacího zařízení [15].

1.2 Technologie výroby třístupňového žitného kvasu

Při výrobě žitného kváskového chleba je žádoucí kyselá chuť, které je možné docílit tradičním způsobem pomocí žitného kvasu. Využití žitného kvasu při výrobě chleba má také pozitivní vliv na objem, strukturu střídy, chuť, nutriční hodnoty a trvanlivost výrobku [5, 9, 21].

Dle vyhlášky č.18/2020 Sb., o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta je možné použít chléb tradiční kvasový/ kváskový nebo s kvasem/ kváskem jen pro chleby kypřeny a zakyseleny výhradně žitným kvasem [22].

Dle vyhlášky č.18/2020 Sb., je definován kvas/ kvásek jako prokvašený polotovár z jednoho nebo více mlýnských obilných výrobků, vody a základu kvasu. V případě žitného kvasu/ kvásku prokvašený polotovár z žitné mouky, vody a základu kvasu, jehož kvasné mikroorganismy se nacházejí v aktivním stavu a v množství potřebném k zakyselení těsta. Vyzrálý kvas nebo žitný kvas je schopen několikerého opakovaného množení. Kvas se vyrábí bez použití přídatných látek nebo enzymů. Obsah kyselin v kvasu vzniká výlučně v důsledku kvašení [22].

1.2.1 Třístupňové vedení kvasu

Výroba třístupňového kvasu spočívá v tom, že se ze zákvasu připraví základ kvasu a z něj se postupně vyvede první, druhý a třetí stupeň kvasu, který je následně využit pro výrobu žitného chleba [1].

Zákvas se připravuje ze směsi žitné mouky a vody, která je fermentována kvasinkami a bakteriemi mléčného kvašení, které se přirozeně nachází především v mouce. K výrobě se využívá zákvas o výtěžnosti 150–160, který je následně použit jako inokulum k zahájení další fermentace směsi žitné mouky a vody, což je proces, který se anglicky nazývá backslopping. Výtěžnost kvasu je podíl hmotnosti kvasu a celkové hmotnosti použité mouky vynásobený stem. V prvním stupni výroby se směs nechá zrát při teplotě 23–25 °C po dobu 5 až 6 hodin. V těchto podmínkách je upřednostňováno množení kvasinek a uskutečňuje se etanolové kvašení. Druhý stupeň má parametry, které vyhovují více bakteriím mléčného kvašení, převládajícím v této fázi je tedy mléčné kvašení. Konzistence je tužší, teplota je upravena na 26–28 °C a doba zrání je okolo 4 až 5 hodin, jelikož bakterie mléčného kvašení mají kratší generační dobu oproti kvasinkám. Třetí stupeň má mikroflóru již plně aktivní, etanolové kvašení a mléčné kvašení probíhá v téměř shodném rozsahu. Teplota tohoto stupně je 25–27 °C a v průběhu se ještě zvyšuje, ale neměla by však přesáhnout 30 °C. Doba zrání je okolo 3 hodin. Titrační kyselost by se měla pohybovat v rozmezí 90–100 mmol/kg [1, 4, 5, 7, 23].

Pro výrobu chleba se zpracovává přibližně 2/3 vyzrálého kvasu a ke zbylé 1/3 se přidá mouka a voda, a využije se jako základ pro výrobu dalšího kvasu. Pokud je nutné výrobu kvasu z nějakého důvodu přerušit, je možné kvas po delší dobu uchovat nejčastěji v podobě tzv. nátětku, což je zahuštěný vyzrálý kvas 0,5násobkem žitné mouky nebo v podobě drobenky zahuštěné 1,5násobkem žitné mouky. V důsledku přidavku žitné mouky dojde ke snížení vodní aktivity kvasu a v kombinaci se sníženou teplotou jsou kvasinky a bakterie

mléčného kvašení schopny přežít řádově desítky hodin. Po přidavku vody a mouky fungují jako nespecifická startovací kultura [1, 4, 24].

1.2.2 Mikroflóra žitného kvasu

V žitných kvasech se vyskytuje velké množství mikroorganismů. Především bakterie mléčného kvašení a kvasinky, které fermentují sacharidy v mouce a produkují oxid uhličitý zodpovědný za kynutí chlebového těsta a další metabolity, jako jsou organické kyseliny a alkoholy, které jsou zodpovědné za organoleptické vlastnosti chleba jako chuť, textura a trvanlivost. Poměr mezi kvasinkami a bakteriemi mléčného kvašení v žitném kvasu je obecně udáván jako 1:100 [1, 3, 4, 23].

Kvasinky

Kvasinky zajišťují kvasu a následně chlebovému těstu kypření produkcí etanolu a oxidu uhličitého při fermentaci jednoduchých cukrů. V pekařské technologii je významnější zejména produkce oxidu uhličitého. Etanol je z pohledu této technologie méně významný, jelikož většina vzniklého etanolu z chleba během pečení vytěká. Přesto se ale také nepatrně podílí na produkci aromatických látek chleba. Nejvyšší aktivita kvasinek je při teplotě 25–27 °C. Optimální hodnota pH pro jejich růst je 4,2–5,0. Nejvíce jim vyhovují řidší kvasy o výtěžnostech 220–250. Růst kvasinek je také ovlivněn chemickým a enzymatickým složením mouky [1, 3, 23, 24].

K nejvýznamnějším patří *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida humilis*, *Kazachstania exigua*, *Pichia kudriavzevii*, *Wickerhamomyces anomalus*, *Torulasporea delbrueckii* a další. U vyzrálého kvasu se počet kvasinek pohybuje v rozmezí od $1 \cdot 10^6$ do $5 \cdot 10^7$ KTJ na gram kvasu [3, 21, 23].

Bakterie mléčného kvašení

Bakterie mléčného kvašení zajišťují kvasu a následně chlebovému těstu požadovanou kyselost a podílí se na tvorbě chuťových a aromatických látek chleba. Nejvyšší aktivity dosahují při teplotách nad 30 °C. Optimální pH pro jejich růst je 5,5–6,5. Přednost dávají tužším kvasům o výtěžnosti 170–200. Většina druhů bakterií mléčného kvašení patří do rodu *Lactobacillus*, které jsou nejlépe přizpůsobeny podmínkám v žitných kvasech. Běžně se během fermentace vyskytují i druhy rodů *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Lactococcus* a *Weissella* [1, 3, 4, 5, 6].

Bakterie mléčného kvašení fermentují zejména glukózu, kterou získávají primárně z maltózy, nejvýznamnějšího cukru v mouce. Podle způsobu fermentace je můžeme rozdělit na striktně homofermentativní jako je například *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* a další, kdy jejich konečným produktem kvašení je kyselina mléčná. Striktně heterofermentativní, jako například *Levilactobacillus brevis*, *Fructilactobacillus sanfranciscensis*, *Limosilactobacillus reuteri* a další. Tyto bakterie produkují kromě kyseliny mléčné také kyselinu octovou, oxid uhličitý a etanol. Podílí se také na produkci aromatických sloučenin a v menší míře přispívají ke kynutí těsta. V kvasech se nachází také fakultativně heterofermentativní bakterie. Poměr mezi homofermentativními a heterofermentativními bakteriemi ovlivňuje vlastnosti těsta. Kyselina octová je zodpovědná za zpevnění lepku, zatímco kyselina mléčná vytváří pružnější lepek. Ovlivněna je také textura a aromatický profil chleba. Ve vyzrálém kvasu se počet bakterií mléčného kvašení pohybuje v rozmezí od $1 \cdot 10^9$ do $3 \cdot 10^9$ KTJ na gram kvasu [3, 5, 21, 23, 25].

1.2.3 Interakce mezi kvasinkami a bakteriemi mléčného kvašení

V tradičním žitném kvasu se kvasinky a bakterie mléčného kvašení nejčastěji vzájemně ovlivňují metabolismem sacharidů, aminokyselin a produkcí stimulačních nebo inhibičních látek. Synergický účinek byl pozorován například mezi *Fructilactobacillus sanfranciscensis* a *Candida humilis* anebo *Kazachstania exigua*. *Fructilactobacillus sanfranciscensis* přednostně využívá maltózu a hydrolyzuje ji na glukózu, která může být využívána maltóza-negativními kvasinkami. Antagonistický účinek byl pozorován mezi heterofermentativními bakteriemi mléčného kvašení a kvasinkami. Produkce kyseliny octové heterofermentativními bakteriemi negativně ovlivňuje růst *Saccharomyces cerevisiae*. Všeobecně bylo prokázáno, že se kvasinky lépe asociují s homofermentativními bakteriemi mléčného kvašení než s heterofermentativními bakteriemi [5, 25, 26, 27].

1.2.4 Kontaminující mikroflóra žitného kvasu

Kromě bakterií mléčného kvašení a kvasinek může kvas obsahovat i nežádoucí mikroorganismy. Některé z nich mohou způsobovat i nežádoucí kvašení. Vedle požadovaného vzniku kyseliny octové, která je produktem heterofermentativního mléčného kvašení, může tato kyselina vznikat jako produkt aerobního octového kvašení, které je v kvasech nežádoucí. Větší množství kyseliny octové v kvasu a následně chlebovém těstě způsobuje zpomalení kynutí, malý objem výrobku a nepříjemně kyselou chuť. Dalšími

nežádoucími kvašeními jsou propionové a máselné. Propionové kvašení zhoršuje kynutí těsta a způsobuje nepříjemnou štiplavou chuť konečných výrobků. Pokud vznikne kyselina propionová pouze v malé koncentraci, neovlivňuje tak negativně sensorické vlastnosti a díky své antifungální aktivitě působí jako přirozená konzervační a stabilizační látka. Dalšími nežádoucími mikroorganismy mohou být plísně, které jsou stejně jako bakterie mléčného kvašení a kvasinky přirozenou součástí žitné mouky nebo se do otevřených nádob mohou dostat spadem ze vzduchu. Pokud jsou ale kvasy vedeny správně, dochází k jejich postupnému odumírání. Hnilobné bakterie jako např. *Bacillus subtilis*, patří taktéž mezi nežádoucí bakterie v kvasech, které způsobují nitkovitost chleba [1, 24, 26, 27].

1.2.5 Parametry ovlivňující mikroflóru žitného kvasu

Faktory ovlivňující mikroflóru kvasu je možné rozdělit na technologické parametry jako např. množství použitého základu, pH, teplota a doba kvašení atd. a parametry, které není možné zásadně ovlivnit, a to konkrétně mikroorganismy vyskytující se v používané mouce. Mikrobiální růst je ovlivněn kombinací těchto parametrů [25, 26].

Mouka

Mouka využívaná pro výrobu třístupňového kvasu může zásadně ovlivnit mikroflóru kvasu, jelikož poskytuje živiny (sacharidy a aminokyseliny) kvasinkám a bakteriím mléčného kvašení, které se také přirozeně nacházejí v žitné mouce. Mimo jiné se v mouce nacházejí také kontaminující mikroorganismy. Mikroflóra kvasu je však významněji ovlivňována níže zmíněnými technologickými parametry [25, 26].

Výtěžnost kvasu

Výtěžnost kvasu se vyjadřuje jako podíl hmotnosti kvasu a celkové hmotnosti mouky vynásobený 100. Mezi pekaři může být tento parametr také označován jako hydratace kvasu, tj. poměr vody k celkovému množství mouky [1, 25, 26].

Čím je výtěžnost kvasu nižší, tím je kvas tužší a upřednostňuje se více aktivita bakterií mléčného kvašení. Naopak čím je výtěžnost kvasu vyšší, tím je kvas tekutější a podporuje rozvoj spíše kvasinek. Tento parametr společně s dalšími, jako teplota a doba zrání ovlivňuje sensorické vlastnosti výrobku [1, 4, 8].

Teplota

Teplota fermentace ovlivňuje poměr mikroorganismů v kvasu, jejich růst a produkci organických kyselin a CO₂. Tento parametr nepřímo souvisí s dobou fermentace. Uvádí

se, že teplotní optimum bakterií mléčného kvašení je v rozmezí 30–40 °C, což je vyšší teplota než u kvasinek, jejichž optimum je 25–27 °C. Nejsnadněji se teplota kvasů a chlebových těst reguluje teplotou přidávané vody. Teplota je ovlivňována nejen přidavkem surovin, ale i teplotou okolí a samotným zráním kvasu [1, 8, 25, 26].

Podíl základu

Podíl základu slouží především jako zdroj mikroorganismů. U vícestupňových kvasů tvoří základ nejčastěji vyzrálý kvas předešlého stupně. Při výrobě opakovaných kvasů se jako základ využívá shodný vyzrálý kvas, který je využíván při výrobě chlebového těsta. Základ je smísen s žitnou moukou a vodou a je ponechán zrát po určitou dobu při zvolených teplotních podmínkách. Pro výrobu chlebových těst se nejčastěji využívá 10–40 % kvasu z celkové hmotnosti těsta. Čím vyšší podíl kvasu je při výrobě použit, tím nižší je počáteční hodnota pH těsta a tím je ovlivněna rychlost růstu kvasinek a bakterií mléčného kvašení [1, 26].

Čas

Vliv času můžeme u žitných kvasů rozlišit ve dvou významech. První je doba, kdy byl kvas poprvé založen. Některé kvasy mohou být staré i několik desítek let. A druhý je doba fermentace po zmlazování kvasu, kdy je do kvasu přidána žitná mouka a voda. V tomto čase dochází k přizpůsobování se a rozvoji mikroorganismů. Pokud je doba fermentace delší, dochází k rozvoji pomaleji rostoucích kvasinek, které budou pravděpodobně více tolerantní vůči kyselinám. Během této doby dochází ale i k rozvoji bakterií mléčného kvašení, které mají více času na produkci organických kyselin, což může bránit rozvoji mikroorganismů, které jsou vůči kyselinám méně tolerantní. Čas, jako i ostatní zmíněné parametry nelze posuzovat zcela odděleně. Často změna jednoho parametru ovlivní i další parametry, což ovlivňuje průběh celého procesu výroby [1, 25].

2 ZKRÁCENÉ POSTUPY PŘÍPRAVY ŽITNÉHO KVASU

Jelikož ve většině pekáren došlo k automatizaci výrobního procesu, bylo pracné a časově náročné třístupňové vedení kvasu nahrazeno zkrácenými postupy přípravy kvasů. Využívát se mohou vitální kvasy, mezi které patří startovací kultury, které obsahují převážně aktivní bakterie mléčného kvašení a produkují tak kyseliny, především kyselinu mléčnou a octovou. Další možností jsou nevitální kvasy, které se záměrně inaktivují tak, aby byly zachovány chuťové a aromatické látky. Inaktivace je možné dosáhnout přirozenou fermentací, kdy dlouhodobou fermentací roste kyselost kvasu, a při kyselosti nad 400 mmol/kg dochází k postupné inaktivaci mikroorganismů obsažených v kvasu. Inaktivace kvasu je také možné dosáhnout přidáním kyselin nebo šetrným sušením. Kypření chlebových těst je u těchto typů kvasů zajištěno přidáním pekařského droždí [1, 4, 24].

2.1 Stabilizovaný kvas

Startovací kultura je tuhý stabilizovaný kvas, který obsahuje předfermentovanou kulturu bakterií mléčného kvašení. Tuhé stabilizované kvasy je možné množit neomezeně, jen při zahájení výroby je třeba využít čistou startovací kulturu bakterií mléčného kvašení, které jsou pekárnám dodávány specializovanými firmami. Startovací kultura se přidává do směsi mouky a vody o požadovaném objemu nebo se postupně pomnožuje ve dvou nebo třech stupních. Rychlé okyselení těsta, výtěžnost kvasu nebo vyšší teplota inhibují růst přirozeně se vyskytujících kvasinek, které jsou v těchto typech kvasu nežádoucí, jelikož způsobují pění kvasu. Pro nakypření se do chlebového těsta přidává droždí [1, 7, 23, 28].

Kvasy ze startovacích kultur se obvykle vyrábějí v kvasomatech s řízenou teplotou. Tekutý stabilizovaný kvas se vyrábí o výtěžnosti nad 200, má tedy řidší konzistenci, aby byla usnadněna manipulace a jeho přečerpávání v průmyslových pekárnách. Doba zrání tohoto kvasu je přibližně 48 hodin, při teplotě 32–38 °C. Po výrobě má kvas titrační kyselost 320–360 mmol/kg. Zchlazením se kvas stabilizuje a je možné ho skladovat po dobu několika dní [4, 7, 28].

2.2 Sušený kvas

Tento typ kvasu se vyrábí sušením stabilizované formy kvasu ze startovací kultury. Výběr startovací kultury je založen na schopnosti rychle okyselit směs mouky a vody, produkci aromatických sloučenin a schopnosti přežít proces sušení. Sušené kvasy mohou být využívány do těst, které jsou vedeny přímo a kypřeny droždím jako zlepšující přípravek

k okyselení chlebového těsta a vývoji aromatických a chuťových látek v konečném výrobku. Také mohou být využívány po rehydrataci jako startovací kultury k výrobě kvasu. Sušené kvasy mají několik výhod jako stálá kvalita, delší doba trvanlivosti, menší objem a s tím spojenou jednodušší manipulaci, přepravu a skladování a také výrobu standardizovaných konečných produktů. Z těchto důvodů se tento typ kvásku rychle rozšířil v obchodní síti a je také často využíván v průmyslových pekárnách [2, 7, 23, 28].

Sušení je možné provést různými způsoby. Nejčastěji využívané techniky jsou lyofilizace, sušení rozprašováním a sušení v bubnu [2, 28].

2.2.1 Lyofilizace

Při lyofilizaci je konzervace dosaženo snížením vodní aktivity bez zahřívání, čímž se snižuje tepelná degradace. Vzorky jsou rychle zmrazeny a následně je voda odstraněna ve vakuu. Během procesu zmrazování tvorba ledových krystalů a zvýšení intracelulární koncentrace soli způsobují únik vody z buněk a tvorbu extracelulárních ledových krystalů, které mohou ovlivnit životaschopnost buněk. Aby se zabránilo poškození buněk, tak některé studie popisují využití kryoprotektivní látky, jako například odstředěné mléko a různé druhy cukrů, které snižují poškození mikroorganismů způsobené nízkými teplotami [2, 29].

2.2.2 Sušení rozprašováním

Sušení rozprašováním je metoda, při které se tekutý kvas rozpráší v proudu horkého vzduchu. Voda se odpařuje, zatímco kapky kvasu se při kontaktu s horkým vzduchem přeměňují na suché částice. Aby se při sušení zabránilo Maillardovým reakcím, kapky kvásku by se neměly dotýkat horkých stěn sušičky. Vysušené částice kvásku se v přítomnosti odpařující se vody v padajících kapičkách během procesu ochlazují, čímž se zabraňuje zhnědnutí prášku [2, 8, 28].

2.2.3 Sušení v bubnu

Při technologii bubnového sušení je tekutý vzorek přiváděn na povrch rotujícího nerezového válce, čímž se vytvoří tenký film. Povrch válce je zahříván různými teplotami v závislosti na použitém tlaku páry. Teplo z válce se přenáší na tenký film a dochází k téměř okamžitému odpařování vody. Během přímého kontaktu produktu s válcem probíhají i Maillardovy reakce. V závislosti na kombinaci teploty a doby působení vznikají sloučeniny, které dodávají výrobku chuť a vůni karamelizovaného nebo praženého sladu. Vysušený kvásek se z válce seškrabuje pomocí nože [2, 8, 28].

2.3 Smíšený kvas

Tento typ kvasu se nejčastěji využívá pro laboratorní studie nebo v některých řemeslných pekárnách, kde se začal využívat teprve nedávno. Pro zahájení fermentace se využívá startovací kultura bakterií mléčného kvašení a následně se kvásek množí tradičním třístupňovým způsobem, kdy se zákvasem inokuluje směs mouky a vody. Jestliže je startovací kultura méně konkurenceschopná a nepřizpůsobivá mikroflóře kvásku, může konkurence mezi přidanými startovacími kulturami a přirozeně se vyskytujícími bakteriemi mléčného kvašení vést k potlačení startovací kultury spontánně se vyskytujícími mikroorganismy. Mikroflóra tohoto typu kvasu závisí na typu a kvalitě použité mouky, podmínkách fermentace a také na interakci startovací kultury s přirozeně se vyskytujícími bakteriemi mléčného kvašení a kvasinkami [6, 7, 23, 28].

3 VYUŽITÍ KVASU PŘI VÝROBĚ PEČIVA

V současné době je pekařské droždí jedním z nejrychlejších a nejvyužívanějších způsobů kypření pečiva. V posledních letech je však kváskový chléb znovu spotřebiteli vyhledáván kvůli svým organoleptickým vlastnostem, zvýšené nutriční hodnotě a delší době trvanlivosti. Dalo by se to považovat za návrat ke starému biotechnologickému procesu používanému k získávání potravin na bázi obilovin. Kvásek se celosvětově využívá k fermentaci mnoha tradičních druhů chleba, pizzy, krekrů a vybraných sladkých výrobků [2, 3, 6].

3.1 Historie využívání kvasu při výrobě pečiva

Výroba kvasu je považována za jeden z nejstarších biotechnologických procesů, jelikož se při výrobě chleba využívá již tisíce let. Od pradávna byly základem lidské výživy obilné potraviny. Chléb je jedním z nejdůležitějších produktů obilného původu. Předpokládá se, že pochází z pravěku, kdy se nejprve vyráběl jako nekvašený nebo částečně kvašený a poté jako zcela fermentovaný. Používání spontánního kvásku při fermentaci chleba se vyvinulo zřejmě ve starověkém Egyptě a odtud se postupně rozšířilo do Evropy, po celém starověkém Řecku a římské říši až do současnosti. Doloženo je to nástěnnými malbami o procesu výroby chleba ve starověkých hrobkách. Po středověku byl zaznamenán pokrok v technologii výroby chleba, a to zejména v severní Evropě, kde bylo pečení chleba propojeno s vařením piva. Pěna z piva byla využívána jako náhražka kvásku při fermentaci. Ačkoli zmínky naznačují použití pivních kvasnic při výrobě chleba již ve starověkém Egyptě, tak teprve po středověku se značně začali využívat při fermentaci. K propagaci pekařského droždí *Saccharomyces cerevisiae* pro pekařské účely došlo v průmyslovém měřítku až v 19. století. Během 20. století začalo téměř úplně nahrazovat používání kvásku při výrobě chleba, zejména v průmyslových pekárnách. Dlouhá léta byl kvásek používán výhradně jen v řemeslných pekárnách, při domácím pečení a také při výrobě žitného chleba. Zvýšené využívání pekařského droždí bylo způsobeno jeho větší vhodností pro požadavky moderních pekařských procesů, jako rychlost a jednoduchost procesu kynutí a přizpůsobení se mechanizované výrobě chleba. V posledních 20 letech obliba kváskového chleba celosvětově vzrostla z řady důvodů, ale především díky obnovení zájmu spotřebitelů o chléb s intenzivnější kyselou chutí, vyšší nutriční hodnotou a delší dobou trvanlivosti [2, 3, 7, 23].

3.2 Současný trend využívání kvasu při výrobě pečiva

Na rozdíl od chleba kypřeného pekařským droždím mají kváskové chleby, které jsou fermentovány kvasinkami a bakteriemi mléčného kvašení lepší chuť, zvýšené nutriční vlastnosti a delší dobu trvanlivosti. Mikroflóra kvásku se může lišit v závislosti na použitém způsobu vedení, a proto se chuť, ale i nutriční vlastnosti konečného výrobku mohou značně lišit [3, 30].

3.2.1 Senzorické vlastnosti kváskových chlebů

Kvásková fermentace významně zlepšuje organoleptické vlastnosti chleba. Vůně a chuť vznikají v kvásku především v důsledku enzymatických a mikrobiálních procesů během fermentace těsta. Během mléčného kvašení vznikají dvě skupiny aromatických látek. První z nich zahrnuje netěkavé sloučeniny jako jsou organické kyseliny (mléčná a octová), které produkují homofermentativní a heterofermentativní bakterie mléčného kvašení. Tyto organické sloučeniny okyselují těsto a přispívají k aroma chlebového těsta. Druhá skupina zahrnuje těkavé sloučeniny, mezi které řadíme alkoholy, aldehydy, ketony, estery a sloučeniny síry, které vznikají během fermentace a pečení chleba [28, 31, 32].

Další aromatické a chuťové sloučeniny vznikají při oxidaci lipidů a Maillardových reakcích. Vznik těkavých látek oxidací lipidů je způsoben mícháním a provzdušňováním kvásku, čímž se zavádí kyslík do kvasu a ten napomáhá oxidaci lipidů v mouce. Maillardovy reakce jsou reakce mezi redukcujícími cukry a aminokyselinami, kdy vznikají těkavé látky, které jsou spojeny s praženou karamelovou chutí a hnědou barvou kůrky chleba [28, 31, 32].

Tvorba aromatických a chuťových látek je ovlivněna aktivitou kvasinek a bakterií mléčného kvašení, teplotou fermentace, pH a vlhkostí, jelikož tyto parametry přímo ovlivňují metabolickou aktivitu mikroorganismů [31, 32].

3.2.2 Stravitelnost a nutriční hodnoty kváskových chlebů

Chléb je potravina obilného původu, která je základní složkou stravy. Obilné potraviny představují celosvětově primární zdroj energie, ale jsou také hlavním zdrojem vlákniny. Pečivo obsahuje především jednoduché sacharidy, které mají vysoký glykemický index. Po konzumaci chleba se škrob rychle tráví a vstřebává, což může způsobit rychlé navýšení hladiny glukózy v krvi a potřebu většího množství inzulínu v postprandiálním období. Použití kváskové fermentace v pekařských výrobcích snižuje glykemické odezvy v konečném produktu. Ovlivněno je to pravděpodobně delší dobou fermentace

a mikroorganismy obsaženými v kvásku. Při fermentaci se složité sacharidy štěpí na jednoduché sacharidy a bílkoviny se štěpí na aminokyseliny nebo peptidy. Většina škrobu je metabolizována na organické kyseliny, etanol a CO₂. Využitelnost zbývajících škrobu se proto snižuje, což ovlivňuje glykemický index konečného výrobku. Tvorba organických kyselin, především kyseliny mléčné vyvolává interakce mezi škrobem a bílkovinami během pečení a snižuje tak dostupnost škrobu. Kyselina octová je spojována s prodloužením rychlosti vyprazdňování žaludku [28, 33, 34, 35, 36].

Kvásková fermentace také ovlivňuje biologickou dostupnost minerálních látek. Metabolismus bakterií mléčného kvašení vede ke zvýšení biologické dostupnosti minerálních látek, jelikož produkce organických kyselin snižuje pH. Kyselé pH aktivuje endogenní enzymy fytázy obsažené v mouce, které mají schopnost defosforylovat fytát. Fytát je nerozpustný komplex kyseliny fytové, která omezuje biologickou dostupnost minerálních látek, jako je vápník, draslík, hořčík, železo, zinek a fosfor [3, 28, 34].

3.2.3 Trvanlivost kváskových chlebů

Stárnutí pečiva je jeden z nejčastějších důvodů plýtvání potravinami po celém světě. Chléb má krátkou trvanlivost, která je ovlivněna fyzikálně-chemickými změnami jako je stárnutí pečiva a růst plísní na povrchu produktů. Pro prodloužení trvanlivosti pekařských výrobků se nejčastěji využívají aditiva a antimikrobiální látky, u kterých bylo prokázáno, že mají schopnost zpomalit proces stárnutí chleba a růstu plísní na povrchu pekařských výrobků. Spotřebitelé však poslední dobou častěji vyhledávají potraviny bez přídatných chemických látek, proto se zvýšila i poptávka po kváskových chlebech, u kterých bylo pozorováno pomalejší stárnutí a zpomalení růstu plísní [28, 31, 37].

Při přípravě kvásku vznikají různé sloučeniny, jako například organické kyseliny a exopolysacharidy, které prodlužují trvanlivost výrobku a snižují rychlost růstu plísní na povrchu výrobku. Hlavní příčinou stárnutí pečiva je retrogradace škrobu a ztráta vlhkosti. Retrogradace je zahájena ihned po upečení. Během prvních hodin po upečení rekrystalizuje amyulóza, která pozitivně ovlivňuje strukturu střídy. Zatímco amylopektin, druhá hlavní složka tvořící škrob v mouce, krystalizuje v průběhu delšího časového období. Tento retrogradační proces také způsobuje redistribuci vody na molekulové úrovni. Jelikož rekrystalizace škrobu je doprovázena vyšší tvorbou krystalických polymorfů typu B, které mají vyšší schopnost imobilizovat více molekul vody než krystaly typu A. Ze struktury pečiva je tedy odstraněna voda, a to vede k méně elastické a pevnější struktuře. Pomalejší

stárnutí u kváskových chlebů je způsobenou aktivitou exopolysacharidů, které produkují bakterie mléčného kvašení. Exopolysacharidy váží vodu a tím snižují migraci volné vody v chlebu. Fyzikálně-chemické změny, ke kterým dochází během doby skladování chleba, je možné sledovat pomocí texturní profilové analýzy [28, 36, 37, 38].

Bakterie mléčného kvašení produkují také antifungální sloučeniny, které zabraňují růstu plísním. Chléb představuje vhodné prostředí pro růst mikroorganismů. Během pečení je většina přítomných mikroorganismů inaktivována, ke kontaminaci výrobků však často dochází během doby skladování z okolního prostředí [28, 38].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo zjistit, jaký vliv má způsob kypření a teplota fermentace chlebového těsta na chování těsta během kynutí, reologické vlastnosti těsta a následně na finální vlastnosti výrobku a změnu vlastností v průběhu skladování. Součástí práce bylo stanovení:

- Chování těsta během kynutí
- Reologických vlastností těsta
- Ztrát pečením
- Specifického objemu
- Texturních vlastností

5 CHARAKTERISTIKA POUŽITÉHO MATERIÁLU A VYBAVENÍ

V této části jsou popsány suroviny pro výrobu žitného chleba a použité zařízení pro přípravu a měření vlastností chlebového těsta a hotových výrobků.

5.1 Suroviny pro výrobu žitného chleba

Pro výrobu žitných chlebů byly použity následující suroviny:

- Žitná mouka hladká chlebová T930 od výrobce Goodmills Česko s.r.o., Praha, dodavatel Makro, výživové údaje uvedeny v tabulce 2:

Tabulka 2: Výživové údaje žitné mouky hladké chlebové na 100 g mouky

Energetická hodnota	1435 kJ/ 339 kcal
Tuky	1,0 g
z toho nasycené mastné kyseliny	0,2 g
Sacharidy	70,0 g
z toho cukry	6,0 g
Vláknina	9,0 g
Bílkoviny	8,0 g
Sůl	<0,01 g

- Sušené pekařské droždí od výrobce Lesaffre Česko, a.s., Olomouc, dodavatel Makro
- Žitný kvásek sušený od výrobce Dr. Oetker, s.r.o., Česká republika, dodavatel Makro, výživové údaje uvedeny v tabulce 3:

Tabulka 3: Výživové údaje žitného kvásku sušeného na 100 g výrobku

Energetická hodnota	952 kJ/ 230 kcal
Tuky	3,1 g
z toho nasycené mastné kyseliny	0,5 g
Sacharidy	14,0 g
z toho cukry	1,2 g
Bílkoviny	16,0 g
Sůl	0,0 g

- Jedlá sůl od výrobce K+S Czech Republic a.s., závod Solné mlýny, Olomouc-Holice, dodavatel Makro
- Pitná voda

5.2 Použité přístroje

Pro výrobu chlebového těsta byla použita následující zařízení:

- Laboratorní váhy od výrobce OHAUS do 1520 g/0,01 g
- Kuchyňský robot ETA Gratus od výrobce ETA a.s.
- Pec MIWE cube: air od výrobce PEKASS s.r.o.
- Kynárna od výrobce PEKASS s.r.o.
- Lednice od výrobce LIEBHERR

K měření vlastností chlebového těsta a hodnocení hotového výrobku byla použita tato zařízení:

- Laboratorní váhy od výrobce OHAUS do 1520 g/0,01 g
- Mixolab od Chopin Technologies
- Reofermentometr Rheo F4 od Chopin Technologies
- Kalibrovaný odměrný válec
- Plastový granulát o velikosti řepkového semene
- Texturní analyzátor TA.TX Plus od výrobce Stable Micro Systems UK

6 POPIS POSTUPU PŘÍPRAVY KVASU, VÝROBY PEČIVA A HODNOCENÍ KVALITY VÝROBKU

V této části je popsána výroba žitného kvasu a žitného chleba, stanovení chování těsta během kynutí, hodnocení reologických vlastností žitného těsta a hodnocení kvality výsledného žitného chleba.

6.1 Příprava žitného kvasu

Žitný kvas byl připraven smícháním 100 ± 2 g žitné mouky a 100 ± 2 g vlažné vody o teplotě 29 ± 2 °C. Tato připravená suspenze byla ponechána při teplotě 25 ± 2 °C po dobu 24 ± 1 hodin. Následně byla odebrána část z připravené suspenze a do zbylé suspenze bylo opět přidáno 100 ± 2 g žitné mouky a 100 ± 2 g vlažné vody o teplotě 29 ± 2 °C, které byly důkladně promíchány a znovu ponechány při teplotě 25 ± 2 °C po dobu 24 ± 1 hodin. Tento postup byl opakován po dobu 6 dní, kdy byl žitný kvas již plně aktivní. Aktivita byla posouzena dle množství vytvořených bublin, zvětšení objemu a nakyslé vůně kvasu. Před samotnou výrobou byl kvas připraven v požadovaném množství a aktivován přidáním žitné mouky a vody 12 ± 1 hodin před výrobou.

6.2 Výroba žitného chleba

V tabulkách 4 a 5 jsou uvedeny receptury pro výrobu žitného chleba. Při výrobě byly použity dva způsoby kypření. První způsob kypření byl zvolen pomocí nativního kvasu a druhý způsob pomocí sušeného kvasu s droždím. Dále byly u obou způsobů kypření zvoleny tři teploty fermentace chlebového těsta, a to při 5 °C, 20 °C a 35 °C.

Tabulka 4: Receptura pro žitný chléb kypřený nativním kvasem

Surovina	Hmotnost (g)
Žitná mouka	250,0
Voda	187,5
Nativní kvas	250,0
Sůl	9,0

Tabulka 5: Receptura pro žitný chléb kypřený sušeným kvasem a droždím

Surovina	Hmotnost (g)
Žitná mouka	375,0
Voda	312,5
Sušený kvas	11,3
Droždí	7,5
Sůl	9,0

Nejdříve byly na analytických vahách naváženy suroviny dle receptur uvedených v tabulkách 4 a 5. Poté byly smíchány sypké suroviny a míchány v kuchyňském robotu po dobu $1 \pm 0,5$ minut. Následně byla k sypkým surovinám přidána voda a v případě chlebového těsta kypřeného nativním kvasem byl přidán ještě žitný kvas a suroviny byly znovu míchány po dobu 6 ± 1 minut. Hotová chlebová těsta se poté nechala po dobu $2 \text{ hodin} \pm 15 \text{ minut}$ kynout při teplotě $5 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ v lednici, při laboratorní teplotě $20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ a v kynárně při $35 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $85 \pm 5 \%$. Po kynutí se těsta rozvážila po $150 \pm 1 \text{ g}$ do forem a nechala se dokynout při daných teplotách po dobu $1 \text{ hodiny} \pm 10 \text{ minut}$. Následně byla těsta ve formách vložena do pece a pečena při zapékací teplotě $200 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu $10 \pm 2 \text{ minut}$ se zapařením a poté byla teplota snížena na vypékací teplotu $180 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu $20 \pm 2 \text{ minut}$.

Po jednom dni byly vzorky hodnoceny. Neporušené vzorky byly dále skladovány v polypropylenovém sáčku po dobu 7 dní v termostatu při $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ a následně byly znovu hodnoceny.

Označení vzorků pro hodnocení:

- 1_NK5 – vzorek hodnocený jeden den po výrobě, kypřený nativním kvasem a fermentován při $5 \text{ }^\circ\text{C}$
- 1_NK20 – vzorek hodnocený jeden den po výrobě, kypřený nativním kvasem a fermentován při $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- 1_NK35 – vzorek hodnocený jeden den po výrobě, kypřený nativním kvasem a fermentován při $35 \text{ }^\circ\text{C}$
- 1_SK5 – vzorek hodnocený jeden den po výrobě, kypřený sušeným kvasem s droždím a fermentován při $5 \text{ }^\circ\text{C}$

- 1_SK20 – vzorek hodnocený jeden den po výrobě, kypřený sušeným kvasem s droždím a fermentován při 20 °C
- 1_SK35 – vzorek hodnocený jeden den po výrobě, kypřený sušeným kvasem s droždím a fermentován při 35 °C
- 7_NK5 – vzorek hodnocený sedmý den po výrobě, kypřený nativním kvasem a fermentován při 5 °C
- 7_NK20 – vzorek hodnocený sedmý den po výrobě, kypřený nativním kvasem a fermentován při 20 °C
- 7_NK35 – vzorek hodnocený sedmý den po výrobě, kypřený nativním kvasem a fermentován při 35 °C
- 7_SK5 – vzorek hodnocený sedmý den po výrobě, kypřený sušeným kvasem s droždím a fermentován při 5 °C
- 7_SK20 – vzorek hodnocený sedmý den po výrobě, kypřený sušeným kvasem s droždím a fermentován při 20 °C
- 7_SK35 – vzorek hodnocený sedmý den po výrobě, kypřený sušeným kvasem s droždím a fermentován při 35 °C

6.3 Hodnocení vlastností žitného těsta

Vlastnosti žitného těsta byly hodnoceny pomocí přístrojů reofermentometr a mixolab, kterými bylo simulováno chování těsta během zpracování, kynutí a tepelného namáhání.

6.3.1 Stanovení chování těsta během kynutí pomocí reofermentometru

Vývin těsta a sledování úniku kypřícího plynu během kynutí v závislosti na čase za podmínek metody bylo zaznamenáváno na přístroji reofermentometr Rheo F4 společnosti Chopin Technologies, který je na obrázku 2 [39, 40].



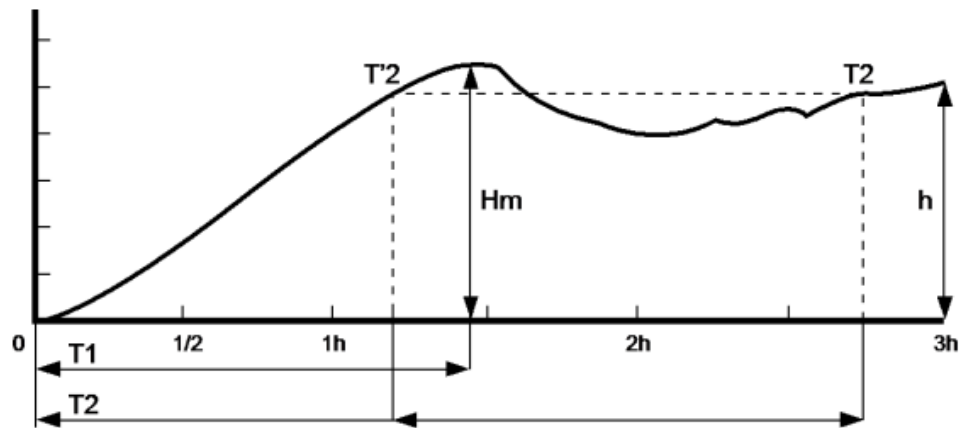
Obrázek 2: Reofermentometr Rheo F4 Chopin Technologies [40]

Suroviny pro přípravu těsta byly naváženy dle receptur uvedených v tabulkách 4 a 5. Následně bylo těsto připraveno dle návodu uvedeného k přístroji, kdy nejprve byly v kuchyňském robotu promíchány sypké suroviny po dobu $1 \pm 0,5$ minut, poté byla přidána voda a v případě receptury uvedené v tabulce 4 ještě navíc nativní kvas a suroviny byly znovu míchány po dobu 6 ± 1 minut. Následně bylo z připraveného těsta odváženo 315 ± 1 g vzorku. Vzorek byl vložen do košíku a umístěn do reofermentometru Rheo F4, který byl uzavřen pístem se závažím. V protokolu CHOPIN byly přednastaveny podmínky měření [40]:

- $t: 20 \pm 3$ °C a 35 ± 3 °C
- hmotnost těsta: 315 g
- hmotnost závaží: 2 kg
- celkový čas měření: 3 h

Následně bylo zahájeno měření, které bylo provedeno u vzorků připravených dle receptur uvedených v tabulkách 4 a 5 při teplotách 20 °C a 35 °C. U každého vzorku bylo měření provedeno dvakrát. Měření při 5 °C nebylo možné provést, jelikož přístroj neumožňuje měření při tak nízké teplotě.

Pomocí měřicího pístu, který je propojen se snímačem byl měřen vývin těsta v čase. Pneumatickým okruhem přístroje byly sledovány změny tlaku způsobené vznikajícím kypřícím plynem. Výsledkem měření byly tedy dvě křivky, ze kterých byly získány výsledné hodnoty. Křivka průběhu vývinu těsta, která je vyobrazena na obrázku 3 a křivka úniku plynu z těsta, která je vyobrazena na obrázku 4 [40].

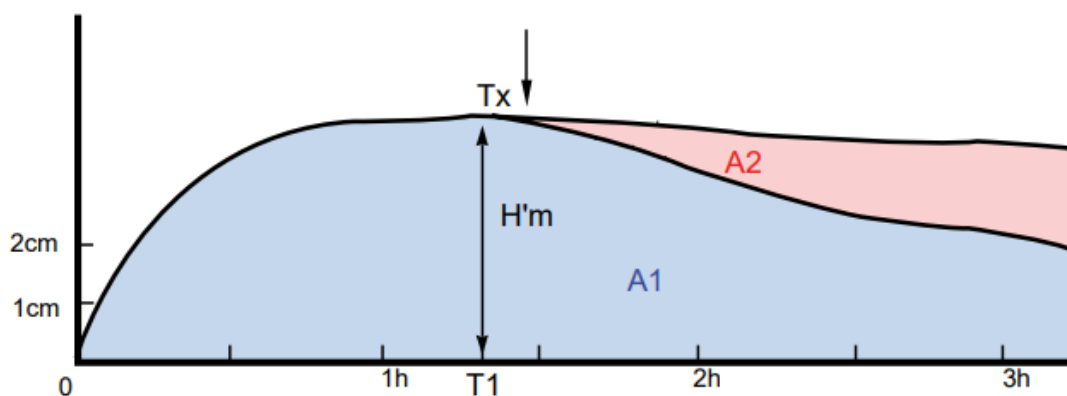


Obrázek 3: Křivka průběhu vývinu těsta [40]

Z vyhodnocení křivky průběhu vývinu těsta v závislosti na čase získáme hodnoty:

- T_1 : čas dosažení maximální výšky těsta (h, min)
- H_m : maximální výška těsta (mm)
- T_2 a T'_2 : rozmezí časů kdy dojde k relativní stabilizaci těsta při maximální výšce těsta $0,88 H_m$ a zároveň ne nižší než 6 mm
- $\Delta T_2 = T_2 - T'_2$: odolnost těsta
- h : výška těsta na konci měření
- $(H_m - h)/H_m$: % poklesu ve vývinu po 3 hodinách měření v porovnání s T_1

Ze změřených hodnot lze vyhodnotit kvalitu těsta. Z hodnot T_1 a $(H_m - h)/H_m$ lze získat nejvhodnější čas hnětení těsta, avšak T_1 je spojen s aktivitou droždí. Výška H_m souvisí s výsledným objemem těsta. Hodnota T_2 je indikátorem odolnosti těsta během kynutí [40].



Obrázek 4: Křivka úniku plynu z těsta [40]

Z křivky úniku plynu z těsta získáme následující hodnoty:

- $H'm$: maximální výška křivky
- $T1$: čas potřebný k dosažení $H'm$
- Tx : čas počátku úniku plynu z těsta
- $A1 + A2$: celkový objem vzniklého plynu
- $A1$: objem plynu zadržovaný v těstě
- $A2$: objem plynu uvolněný z těsta během kynutí

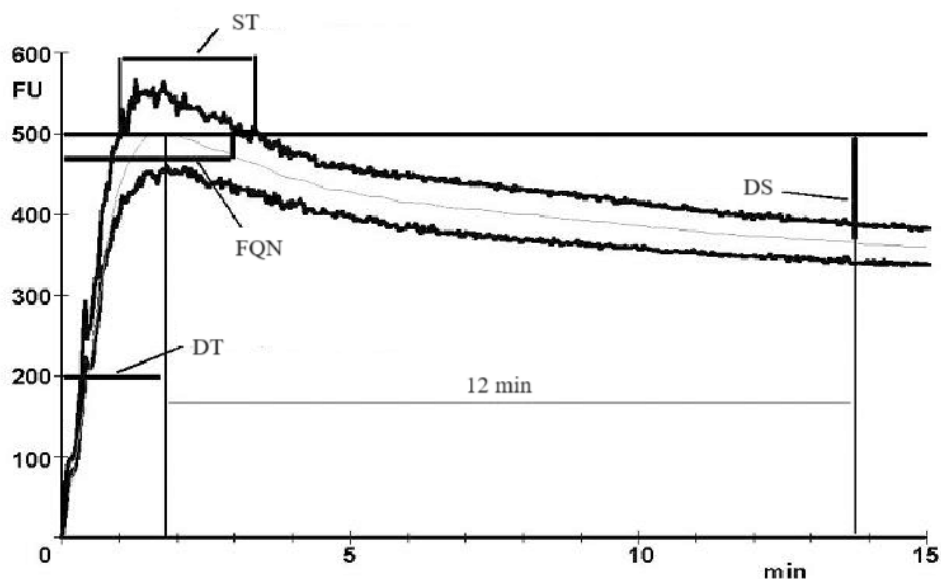
6.3.2 Stanovení reologického chování těsta pomocí mixolabu

Chování těsta a jeho reologické vlastnosti během mechanického a tepelného namáhání byly sledovány pomocí přístroje Mixolab 2 společnosti Chopin Technologies, který je vyobrazen na obrázku 5. Těsto pro měření bylo připraveno smícháním mouky a automatickým přidávkem demineralizované vody v hnětací misce přístroje se dvěma rotujícími míchadly. Měření probíhalo ve dvou režimech. Test byl u obou režimů proveden dvakrát [39, 41, 42].



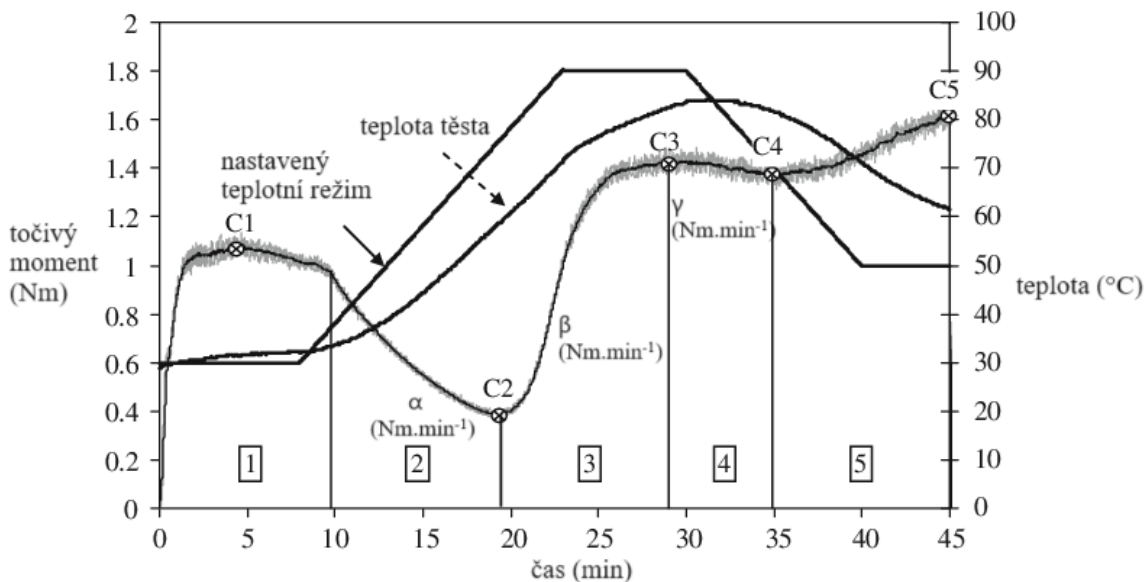
Obrázek 5: Mixolab 2 Chopin Technologies [41]

Nejdříve byl pro simulaci farinografického měření zvolen protokol Chopin S. Tímto měřením při stabilní teplotě byly získány hodnoty: vaznost vody v mouce W (%), doba vývinu těsta DT (min), stabilita těsta ST (min) a stupeň změknutí DS (FU). Měřením získáme graf závislosti točivého momentu na čase, který je vyobrazen na obrázku 6 [39, 41].



Obrázek 6: Graf mixolabu dle protokolu Chopin S – farinograf [43], upraveno

Následně byl zvolen druhý protokol Chopin +, který umožňuje určit reologické vlastnosti těsta během cyklu ohřevu a chlazení na 30–90–50 °C. Tímto měřením byly hodnoceny vlastnosti jako denaturace bílkovin α ($\text{Nm}\cdot\text{min}^{-1}$), mazovatění škrobu β ($\text{Nm}\cdot\text{min}^{-1}$) a amylázová aktivita γ ($\text{Nm}\cdot\text{min}^{-1}$). Graf měření podle protokolu Chopin + je vyobrazen na obrázku 7 [39, 41, 42].



Obrázek 7: Graf mixolabu dle protokolu Chopin + [44], upraveno

Body křivky měření dle protokolu Chopin +:

- 1: vývin těsta

- 2: denaturace bílkovin (α)
- 3: mazovatění škrobu (β)
- 4: amylázová aktivita (γ)
- 5: retrogradace škrobu

6.4 Hodnocení kvality žitného chleba

Kvalita u žitných výrobků byla hodnocena pomocí ztráty pečením, specifického objemu a texturní profilové analýzy.

6.4.1 Ztráty pečením

Vzorky byly zváženy na laboratorních vahách před pečením a následně po 1 dni a 7 dnech po upečení. Ztráty pečením byly u vzorků vypočítány z naměřených hodnot dle vzorce [20, 45]:

$$Z_p = \frac{m_t - m_v}{m_t} \cdot 100$$

Kde: Z_p ... ztráty pečením (%)

m_t ... hmotnost těsta před pečením (g)

m_v ... hmotnost výrobku po upečení (g)

6.4.2 Specifický objem

Objem vzorků byl měřen na základě Archimédova zákona po 1 dni a následně po 7 dnech po upečení. Nejprve byla kádinka naplněna po okraj granulátem o velikosti řepkového semene. Následně byla odsypána poměrná část granulátu z kádinky a do středu nádoby byl vložen vzorek tak, aby se nedotýkal stěn nádoby. Poté byl vzorek zasypán odsypaným granulátem a zbylý granulát, který byl nahrazen vzorkem byl změřen v odměrném válci. Specifický objem byl vypočítán z naměřených hodnot dle vzorce [46]:

$$V_{sp} = \frac{V}{m}$$

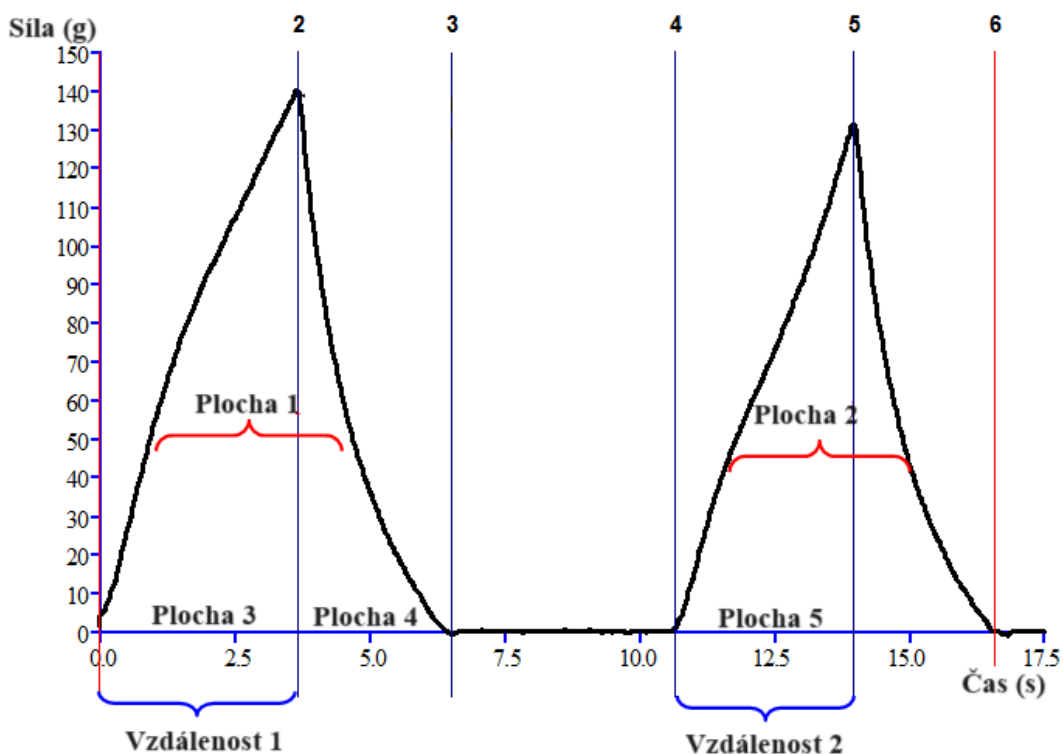
Kde: V_{sp} ... specifický objem výrobku (cm^3/g)

V ... objem výrobku (cm^3)

m ... hmotnost výrobku (g)

6.4.3 Texturní profilová analýza

Texturní profilová analýza (TPA) se využívá k měření texturních vlastností pečiva. Principem měření je opakované stlačení vzorku ve dvou cyklech, které simuluje žvýkání potravy v ústech. Cyklus stlačení vyobrazuje křivka uvedená na obrázku 8 [47, 48].



Obrázek 8: Křivka z měření na texturním profilovém analyzátoru [48], upraveno

TPA byla u vzorků měřena po 1 dni a následně po 7 dnech od upečení. Ze vzorků byly pomocí kráječe nakrájeny plátky o šířce 10 mm a z nich následně vykrojena střída pomocí kruhového vykrajovátko o průměru 35 mm. U takto upravených vzorků byla texturní profilová analýza měřena texturním analyzátozem TA.XT Plus za použití kruhové 50 mm sondy. Z měření byly poté vyhodnoceny parametry jako tvrdost, pružnost, soudržnost, odolnost, žvýkatelnost a lepivost [48, 49].

6.5 Statistické vyhodnocení dat

Data z hodnocení kvality žitných chlebů byla vyhodnocena pomocí programu Statistica 13 společnosti StatSoft, Inc., ČR. Výsledky byly zpracovány metodou vícefaktorové analýzy rozptylu (ANOVA), konkrétně Tukey HSD testem. Rozdíly byly testovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Statisticky průkazné rozdíly byly v tabulkách vyznačeny písmeny a až f.

Data, která byla získána z hodnocení vlastností žitného těsta na reofermentometru a mixolabu nebylo možné statisticky vyhodnotit pomocí programu Statistica 13, jelikož bylo měření u každého vzorku provedeno pouze dvakrát z důvodu omezeného množství surovin. Hodnoty tedy byly vyjádřeny jako aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka. Vypočítány byly v programu Microsoft Excel od firmy Microsoft Corporation.

7 VÝSLEDKY A DISKUZE

V této části jsou popsány výsledky experimentální části diplomové práce a jejich srovnání s výzkumy. Výsledky jsou rozděleny do podkapitol, které jsou zaměřeny na hodnocení vlastností žitného těsta a hodnocení kvality žitného chleba.

7.1 Hodnocení vlastností žitného těsta

V této části jsou uvedeny výsledky a diskuze vlastností žitného těsta, které byly hodnoceny pomocí přístrojů reofermentometr a mixolab.

7.1.1 Stanovení chování těsta během kynutí pomocí reofermentometru

Hodnocení vlivu teploty a způsobu kypření na chování žitného těsta během kynutí bylo měřeno a vyhodnoceno pomocí reofermentometru Rheo F4. V tabulce 6 je uveden vliv teploty a způsobu kypření na vývin těsta a v tabulce 7 je uveden vliv těchto parametrů na vývin a schopnost zadržet kypřící plyn v těstě.

Tabulka 6: Reofermentometr – vývin těsta

Teplota měření (°C)	Způsob kypření	T1 (min ± SD)	Hm (mm ± SD)	h (mm ± SD)	(Hm-h)/Hm (% ± SD)
20	Nativní kvas	180	17 ± 3	17 ± 3	NZ
35	Nativní kvas	180	34 ± 1	34 ± 1	NZ
20	Sušený kvas	136 ± 43	17,5 ± 0,8	17,2 ± 0,7	1,1 ± 0,1
35	Sušený kvas	166 ± 4	19 ± 9	28,8 ± 0,6	0,7 ± 0,5

Čas dosažení maximální výšky těsta (T1), maximální výška těsta (Hm), výška těsta na konci měření (h), % poklesu ve vývinu po celkovém čase měření v porovnání s T1 ((Hm-h)/Hm), nezaznamenáno (NZ)

Hodnota T1 je doba nutná k dosažení maximální výšky těsta Hm. Tato hodnota odpovídá rychlosti kynutí těsta a byla ovlivněna jak teplotou měření, tak způsobem kypření. Kratší čas dosažení maximální výšky těsta byl pozorován u sušeného kvasu. U sušeného kvasu byl pozorován i vliv teploty na tento parametr, kdy při teplotě 20 °C bylo maximální výšky těsta dosaženo za kratší čas než při 35 °C. U nativního kvasu byl čas dosažení maximální výšky těsta u obou teplot shodný, a odpovídal konci doby měření [39, 40].

Parametr maximální výška těsta Hm přímo souvisí s výsledným objemem žitného chleba. Různé druhy kvasinek, produkují odlišné množství CO₂, což společně se schopností těsta zadržovat kypřící plyn ovlivňuje objem žitných chlebů. Nejvyšší maximální výška těsta 34 mm byla pozorována u vzorku NK35. U vzorku kypřeného sušeným kvasem byla při 35 °C pozorována nižší hodnota Hm než u vzorku kypřeného nativním kvasem.

Při 20 °C byly pozorovány nižší hodnoty maximální výšky těsta než při 35 °C. U této teploty nebyl zaznamenán významný rozdíl hodnot mezi způsoby kypření. Obdobný vliv byl pozorován na hodnoty výšky těsta na konci měření h [39, 40, 50].

Z hodnot procentuálního poklesu ve vývinu po celkovém čase měření byl zaznamenán rozdíl mezi způsoby kypření. U vzorků, které byly kypřeny nativním kvasem nebyl zaznamenán pokles objemu po celkovém čase měření. To s největší pravděpodobností značí, že čas měření nebyl dostatečně dlouhý, aby bylo dosaženo maximální výšky těsta, a proto není přesně možné určit vliv teploty na tento způsob kypření. U vzorků kypřených sušeným kvasem byl zaznamenán rozdíl hodnot v procentuálním poklesu vývinu po celkovém čase měření, kde největší pokles 1,1 % byl zaznamenán u vzorku SK20 [40].

Tabulka 7: Reofermentometr – vývin kypřícího plynu

Teplota měření (°C)	Způsob kypření	H'm (mm ± SD)	T'1 (min ± SD)	Tx (min ± SD)	A1 + A2 (ml ± SD)	A1 (ml ± SD)	A2 (ml ± SD)	R (% ± SD)
20	Nativní kvas	15 ± 3	180	NZ	260 ± 48	230 ± 48	NZ	99,9 ± 0,1
35	Nativní kvas	25,5 ± 0,7	94 ± 7	NZ	608 ± 21	607 ± 21	2,0 ± 0,1	99,7 ± 0,1
20	Sušený kvas	40 ± 2	180	NZ	737 ± 30	706 ± 25	32 ± 6	95,7 ± 0,6
35	Sušený kvas	100 ± 5	91 ± 4	37 ± 2	2208 ± 56	1579 ± 16	630 ± 41	72 ± 1

Maximální výška křivky (H'm), čas dosažení maximální výšky křivky (T'1), čas úniku plynu (Tx), celkový objem vzniklého plynu (A1 + A2), objem plynu zadržného v těstě (A1), objem plynu uvolněného během kynutí (A2), retenční koeficient (R), nezaznamenáno (NZ)

Hodnota maximální výška křivky H'm byla ovlivněna teplotou i způsobem kypření. Nejvyšší H'm 100 mm byla zaznamenána u vzorku SK35. Celkově u vzorků kypřených sušeným kvasem byla zaznamenána vyšší H'm [40]. LISZKOWSKA et al. (2021) uvádí, že růst a metabolická aktivita kvasinek je ovlivněna teplotou a dobou fermentace, vyšší teplota zvyšuje aktivitu kvasinek a zkracuje dobu fermentace [51]. To je možné pozorovat i u měřených vzorků. Při 35 °C bylo dosaženo vyšších maximálních výšek křivek za kratší dobu, než u vzorků při 20 °C.

U třech vzorků ze čtyř nebyl detekován čas úniku plynu Tx. U vzorku NK20 nebylo pozorováno v čase měření žádné uvolnění plynu z těsta, to tedy značí, že bylo vytvořeno jen množství kypřícího plynu, které bylo těsto schopné zadržet. U vzorku NK35 došlo k uvolnění jen malého množství vytvořeného plynu, ale Tx u tohoto vzorku nebylo také přesně zjištěno. U vzorku SK35 došlo k zaznamenání Tx v čase 37 min.

Celkový objem vzniklého plynu A1 + A2, byl u vzorků ovlivněn teplotou i způsobem kypření. Nejvyšší celkový objem vzniklého plynu 2208 ml byl zaznamenán u vzorku SK35. Celkově byl vyšší A1 + A2 zaznamenán u vzorků se sušeným kvasem [40]. HÄGGMAN et al. (2008) uvádí, že produkce CO₂ v žitných těstech kypřených kvasem je ovlivněna teplotou a interakcemi mezi kvasinkami a bakteriemi mléčného kvašení [52]. ZHANG et al. (2019) uvádí, že kombinace žitného kvasu a pekařského droždí zvyšuje produkci kypřícího plynu [53]. Což se potvrdilo i naším měřením. Vyšší celkový objem plynu byl zaznamenán u vzorků, které byly kypřené sušeným kvasem s pekařským droždím.

Retenční koeficient R popisuje schopnost těsta zachytit kypřící plyn. Nejvyšší R 99,9 % byl naměřen u vzorku NK20. Nejnižší schopnost zadržovat kypřící plyn 72 % byla zaznamenána u vzorku SK35, protože žitné proteiny nemají schopnost vytvářet souvislou spojitou síť jako pšeničné. V žitných těstech je schopnost zadržovat kypřící plyn přisuzována arabinoxylanům, které jsou v důsledku snižování pH schopny vázat větší množství vody a tím zvyšovat viskozitu těsta, čímž je vznikající plyn při fermentaci zadržován. Do značné míry tak arabinoxylany nahrazují v žitném těstě funkci lepku. Schopnost zadržovat kypřící plyn je však menší, než mají pšeničné bílkoviny, proto při vytvoření většího množství plynu došlo u vzorku k poměrně výraznému uvolnění plynu [4, 39, 40, 54, 55].

7.1.2 Stanovení reologického chování těsta pomocí mixolabu

Hodnocení reologických vlastností žitné mouky bylo měřeno a vyhodnoceno pomocí přístroje mixolab. V tabulce 8 jsou uvedeny výsledky měření ve farinografickém režimu a v tabulce 9 výsledky měření v režimu mixolab.

Tabulka 8: Reologické vlastnosti těsta – farinografický režim

W (% ± SD)	DT (min ± SD)	ST (min ± SD)	DS (FU ± SD)
78,3 ± 0,1	10,3 ± 0,1	1,5 ± 0,1	13,3 ± 0,1

Vaznost vody (W), vývin těsta (DT), stabilita těsta (ST), stupeň změknutí (DS)

Farinografický režim je využíván pro popis tvorby těsta a chování během hnětení při konstantní teplotě. Vaznost žitné mouky je ovlivňována především množstvím a kvalitou obsažených arabinoxylanů, stupněm poškození škrobu, aktivitou enzymů a částečně i množstvím bílkovin [9, 41, 56, 57]. Žitná mouka vykazovala vaznost vody 78,3 %.

Optimální doba vývinu žitného těsta závisí především na složení a enzymatické aktivitě žitné mouky. Stanovená doba vývinu těsta byla 10,3 min. Stabilita těsta určuje dobu, po kterou zůstává konzistence těsta stálá. Námi stanovená hodnota stability těsta byla 1,5 min a stupeň

změknutí 13,3 FU [58, 59]. BUCSELLA at al. (2016) uvádí, že žitná těsta v porovnání s pšeničnými těsty vykazují obecně kratší dobu vývinu a stability těsta a také vyšší stupeň změknutí, což je způsobeno odlišným složením bílkovin a zvýšeným obsahem arabinoxylanů, které mají jiné vlastnosti než pšeničné [60].

Tabulka 9: Reologické vlastnosti těsta – režim mixolab

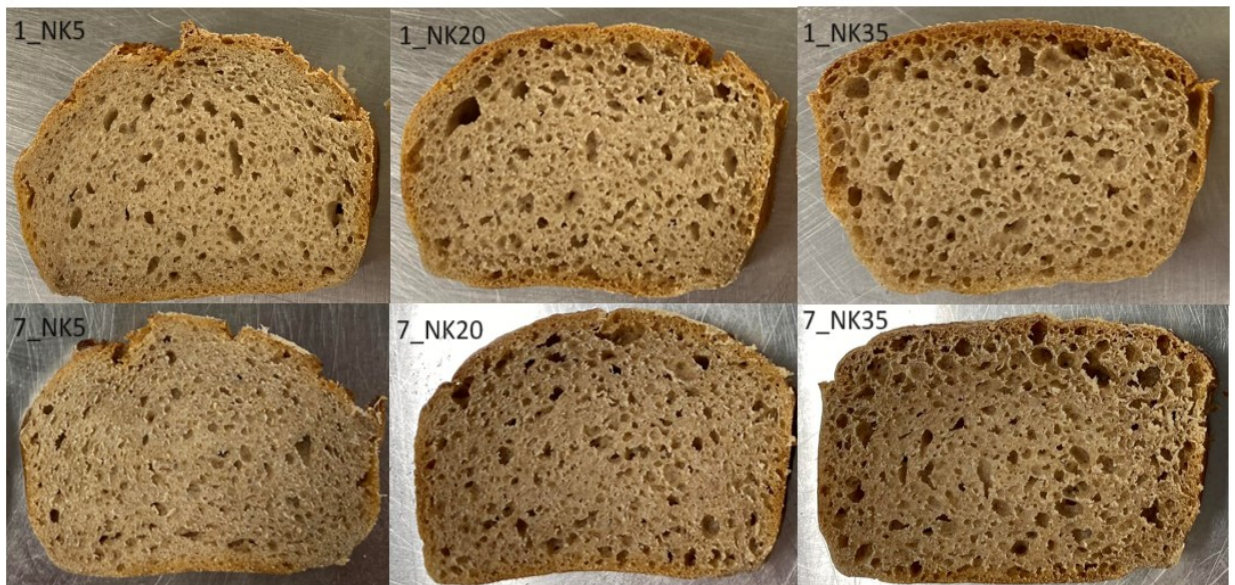
α (Nm.min ⁻¹ ± SD)	β (Nm.min ⁻¹ ± SD)	γ (Nm.min ⁻¹ ± SD)
-0,02 ± 0,01	0,31 ± 0,01	-0,07 ± 0,01

Denaturace bílkovin (α), mazovatění škrobu (β), amylázová aktivita (γ)

Změny konzistence žitného těsta během záhřevu podstatně ovlivňují schopnost těsta zadržovat kypřící plyn a tím zvětšovat svůj objem. Po prvním zahřátí na 50 °C došlo k poklesu viskozity, což značí záporná hodnota α . Způsobeno je to denurací bílkovin. Denaturace bílkovin v žitném těstě bývá často negativně ovlivněna interakcí s arabinoxylany, což způsobuje nedostatek volné vody pro mazovatění škrobu. V další fázi záhřevu došlo k mírnému zvýšení viskozity těsta v důsledku mazovatění škrobu, což značí kladná hodnota β . Během poslední fáze zahřívání opět došlo ke snížení viskozity těsta, což značí záporná hodnota γ , způsobeno je to aktivitou α -amylázy [56, 57, 61].

7.2 Hodnocení kvality žitného chleba

V této části jsou uvedeny výsledky a diskuze hodnocení kvality žitného chleba, která byla hodnocena pomocí ztráty pečením, specifického objemu a texturní profilové analýzy. Vzorky upravené pro texturní profilovou analýzu jsou vyobrazeny na obrázku 9, kde jsou vzorky kypřené nativním kvasem a na obrázku 10 vzorky kypřené sušeným kvasem.



Obrázek 9: Hodnocené vzorky kypřené nativním kvasem



Obrázek 10: Hodnocené vzorky kypřené sušeným kvasem

7.2.1 Ztráty pečením

Ztráty pečením pečiva vznikají v důsledku odpaření části vody z pečiva. Ovlivněny jsou především tvarem a hmotností výrobku, dobou a teplotou pečení, vlhkostí těsta, druhu zpracované mouky atd. Hodnoty pro kombinaci vlivu všech pozorovaných technologických parametrů na vzorky žitných chlebů jsou uvedeny v tabulce 10 [20].

Tabulka 10: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na ztráty pečením

Doba skladování (dny)	Způsob kypření	Teplota fermentace (°C)	Ztráty pečením (% ± SD)
1	Nativní kvas	5	24,5 ± 0,9 ^{a, b}
1	Nativní kvas	20	23,3 ± 0,3 ^a
1	Nativní kvas	35	24 ± 1 ^{a, b}
1	Sušený kvas	5	22,9 ± 0,8 ^a
1	Sušený kvas	20	25,3 ± 0,6 ^{a, b}
1	Sušený kvas	35	27,5 ± 0,8 ^b
7	Nativní kvas	5	24,9 ± 0,6 ^{a, b}
7	Nativní kvas	20	28,4 ± 0,4 ^b
7	Nativní kvas	35	37 ± 5 ^c
7	Sušený kvas	5	25,67 ± 0,06 ^{a, b}
7	Sušený kvas	20	26,9 ± 0,1 ^{a, b}
7	Sušený kvas	35	34 ± 3 ^c

Nejnižší ztráty pečením 22,9 % vykazoval vzorek 1_SK5. Naopak nejvyšší ztráty pečením 37 % byly zjištěny u vzorku 7_NK35, který byl měřen po 7 dnech skladování. Statisticky průkazně byly ztráty pečením ovlivněny dobou skladování (tabulka 11), kdy během doby skladování došlo ke zvýšení ztrát hmotnosti. Tento výsledek potvrzuje výzkum Alpers et al. (2021), který uvádí, že během skladování pečiva dochází ke ztrátě vlhkosti [38]. Ztráta vlhkosti je ovlivněna tuhnutím pečiva během skladování, což je způsobeno retrogradací škrobu a redistribucí vlhkosti. Během prvních hodin po upečení rekrystalizuje amyulóza, která pozitivně ovlivňuje ztuhnutí struktury střídy. Zatímco během skladování dochází k rekrystalizaci amylopektinu, což má za následek vyšší ztráty vlhkosti [49, 38].

Vzhledem k tomu, že chléb představuje vhodné prostředí pro růst mikroorganismů, byl po sedmi dnech skladování na části vzorků pozorován nárůst plísní. Nárůst plísní byl pozorován na vzorcích 7_NK5, 7_SK5 a 7_SK20, proto by tyto vzorky již nebyly vhodné ke konzumaci. K nárůstu došlo na spodní straně vzorků, což bylo s největší pravděpodobností způsobeno v důsledku kondenzace vlhkosti ve spodní části polypropylenového sáčku. U těchto vzorků byly také stanoveny menší ztráty vlhkosti, takže představovaly vhodnější prostředí pro růst plísní. Mikrobiologický rozbor však nebyl

součástí této práce, proto nebylo dále stanovováno, o jaké mikroorganismy se konkrétně jedná.

Tabulka 11: Vliv doby skladování na ztráty pečením

Doba skladování (dny)	Ztráty pečením (% ± SD)
1	25 ± 2 ^a
7	29 ± 4 ^b

Způsob kypření (tabulka 12) statisticky významně neovlivnil ztráty pečením u vzorků žitných chlebů.

Tabulka 12: Vliv způsobu kypření na ztráty pečením

Způsob kypření	Ztráty pečením (% ± SD)
Nativní kvas	26 ± 5 ^a
Sušený kvas	26 ± 3 ^a

Teplota fermentace (tabulka 13) měla statisticky průkazný vliv na ztráty pečením. Se zvyšující se teplotou fermentace byly pozorovány vyšší ztráty hmotnosti. Naopak nižší ztráty pečením bez statisticky průkazného rozdílu vykazovaly vzorky fermentované při 5 °C a 20 °C.

Tabulka 13: Vliv teploty fermentace na ztráty pečením

Teplota fermentace (°C)	Ztráty pečením (% ± SD)
5	24 ± 1 ^a
20	25 ± 2 ^a
35	29 ± 5 ^b

7.2.2 Specifický objem

Specifický objem je důležitý parametr pro hodnocení technologické kvality pečiva. Ovlivněn je schopností žitného těsta zadržovat kypřící plyn. Hodnoty pro kombinaci vlivu všech pozorovaných technologických parametrů na vzorky žitných chlebů jsou uvedeny v tabulce 14 [23, 62].

Tabulka 14: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na specifický objem

Doba skladování (dny)	Způsob kypření	Teplota fermentace (°C)	Specifický objem (cm ³ /g ± SD)
1	Nativní kvas	5	1,8 ± 0,1 ^{c, d, e}
1	Nativní kvas	20	1,9 ± 0,1 ^{b, c, d}
1	Nativní kvas	35	2,01 ± 0,03 ^{a, b}
1	Sušený kvas	5	1,71 ± 0,07 ^e
1	Sušený kvas	20	1,66 ± 0,07 ^{d, e}
1	Sušený kvas	35	1,95 ± 0,08 ^{a, b, c}
7	Nativní kvas	5	1,66 ± 0,02 ^e
7	Nativní kvas	20	1,80 ± 0,01 ^{b, c, d, e}
7	Nativní kvas	35	2,19 ± 0,07 ^a
7	Sušený kvas	5	1,7 ± 0,1 ^{d, e}
7	Sušený kvas	20	1,69 ± 0,03 ^{d, e}
7	Sušený kvas	35	1,93 ± 0,01 ^{a, b, c, d}

Specifický objem žitných chlebů byl významně ovlivněn způsobem kypření a teplotou fermentace. PENTIKÄINEN et al. (2014) uvádí specifický objem 2,0 cm³/g u žitných chlebů kypřených při 30 °C [54]. Námi stanovené hodnoty 1,66–2,19 cm³/g specifického objemu mají širší rozsah. Pokud však porovnáme specifický objem vzorků 1_NK35 a 1_SK35, který se pohybuje v rozmezí 1,95–2,01 cm³/g, přibližuje se rozsah našich naměřených hodnot výše zmíněnému výzkumu.

Doba skladování (tabulka 15) jako samostatný parametr neměla statisticky průkazný vliv na specifický objem.

Tabulka 15: Vliv doby skladování na specifický objem

Doba skladování (dny)	Specifický objem (cm ³ /g ± SD)
1	1,8 ± 0,1 ^a
7	1,8 ± 0,2 ^a

Způsob kypření (tabulka 16) statisticky průkazně ovlivnil specifický objem výrobků. Vyšší specifický objem byl zaznamenán u vzorků kypřených nativním kvasem. Naopak nižší specifický objem vykazovaly vzorky kypřené sušeným kvasem. Podle dat získaných z měření na reofermentometru lze s určitou pravděpodobností říci, že vzorky kypřené sušeným kvasem dosahovaly nižšího specifického objemu z důvodu vyššího úniku kypřícího plynu z těsta. Jelikož kvasinky během fermentace produkují kypřící plyn, který je těstem zadržován a dochází tak ke zvětšování objemu. Žitná těsta však nemají schopnost vytvářet souvislou lepkovou síť a zadržovat větší množství kypřícího plynu, proto došlo k úniku kypřícího plynu z těsta [58].

Tabulka 16: Vliv způsobu kypření na specifický objem

Způsob kypření	Specifický objem (cm ³ /g ± SD)
Nativní kvas	1,9 ± 0,2 ^a
Sušený kvas	1,8 ± 0,1 ^b

Teplota fermentace (tabulka 17) také statisticky průkazně ovlivnila specifický objem, kdy se zvyšující se teplotou fermentace byl pozorován nárůst specifického objemu. Naopak nižší specifický objem, bez statisticky průkazného rozdílu byl zaznamenán u vzorků kypřených při 5 °C a 20 °C. Tento výsledek potvrzuje výzkum Demirkesen-Bicak et al. (2021), který uvádí, že vzorky fermentované při vyšší teplotě vykazovaly vyšší specifický objem [34]. Větší objem vzorků při vyšší teplotě je způsoben vyšší aktivitou kvasinek [51].

Tabulka 17: Vliv teploty fermentace na specifický objem

Teplota fermentace (°C)	Specifický objem (cm ³ /g ± SD)
5	1,73 ± 0,05 ^b
20	1,76 ± 0,09 ^b
35	2,0 ± 0,1 ^a

ŠEBESTÍKOVÁ et al. (2023) uvádí, že existuje korelace mezi maximální výškou těsta Hm, která byla získána z měření na reofermentometru a specifickým objemem [39]. Při tomto měření lze také pozorovat, že u nativního kvasu a vyšší teploty fermentace došlo k dosažení vyšší maximální výšky těsta oproti sušenému kvasu a nižší teplotě fermentace, což potvrzuje i měření specifického objemu vzorků.

7.2.3 Texturní profilová analýza

Texturní profilová analýza byla měřena pomocí texturního analyzátoru TA.XT Plus a následně byla vyhodnocena data pro parametry tvrdost, pružnost, soudržnost, odolnost, žvýkatelnost a lepivost.

Tvrđost

Tvrđost střídy je jedním z nejdůležitějších parametrů textury chleba. Definována je jako maximální síla, potřebná ke stlačení chleba. Hodnoty pro kombinaci vlivu všech pozorovaných technologických parametrů na vzorky žitných chlebů jsou uvedeny v tabulce 18 [33, 63].

Tabulka 18: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na tvrdost

Doba skladování (dny)	Způsob kypření	Teplota fermentace (°C)	Tvrdost (N ± SD)
1	Nativní kvas	5	27 ± 5 ^{a, b}
1	Nativní kvas	20	28 ± 5 ^{a, b}
1	Nativní kvas	35	22 ± 2 ^a
1	Sušený kvas	5	55 ± 4 ^c
1	Sušený kvas	20	55 ± 6 ^c
1	Sušený kvas	35	33 ± 3 ^b
7	Nativní kvas	5	82 ± 15 ^d
7	Nativní kvas	20	92 ± 13 ^{d, e}
7	Nativní kvas	35	43 ± 11 ^c
7	Sušený kvas	5	133 ± 10 ^f
7	Sušený kvas	20	119 ± 21 ^f
7	Sušený kvas	35	110 ± 13 ^e

Nejnižší tvrdost 22 N byla zjištěna u vzorku 1_NK35, naopak nejvyšší tvrdost 133 N vykazoval vzorek 7_SK5. Tvrdost byla statisticky průkazně ovlivněna dobou skladování (tabulka 19). DVOŘÁKOVÁ et al. (2013) uvádí, že během skladování došlo ke zvýšení tvrdosti výrobků [49]. Námi stanovenými hodnotami lze také pozorovat shodný vliv doby skladování na zvýšení tvrdosti vzorků. K zvýšení tvrdosti během skladování dochází v důsledku retrogradace škrobu, což má za následek stárnutí pečiva. Retrogradace škrobu je způsobena částečnou krystalizací zmazovatělého škrobu a uvolňováním vody [49, 58].

Tabulka 19: Vliv doby skladování na tvrdost

Doba skladování (dny)	Tvrdost (N ± SD)
1	35 ± 14 ^a
7	96 ± 29 ^b

Způsob kypření (tabulka 20) měl statisticky průkazný vliv na tvrdost žitných chlebů. Nižší tvrdost byla pozorována u vzorků kypřených nativním kvasem. Naopak vyšší tvrdost vykazovaly vzorky kypřené sušeným kvasem. Tento výsledek potvrzuje výzkum MOORE et al. (2008), který uvádí, že vyšší tvrdost vykazovaly vzorky kypřené sušeným kvasem, který byl u vzorků využit jako okyselující přípravek, oproti vzorkům kypřeným nativním kvasem [64].

Tabulka 20: Vliv způsobu kypření na tvrdost

Způsob kypření	Tvrdost (N ± SD)
Nativní kvas	36 ± 28 ^a
Sušený kvas	64 ± 38 ^b

Teplota fermentace (tabulka 21) také statisticky významně ovlivnila tvrdost výrobků. Se snižující se teplotou fermentace byl pozorován nárůst tvrdosti vzorků. Vyšší tvrdost byla stanovena u vzorků fermentovaných při 5 °C, a naopak nižší tvrdost vykazovaly vzorky fermentované při 35 °C. Demirkesen-Bicak et al. (2021) uvádí, že vzorky fermentované při 25 °C vykazovaly vyšší tvrdost oproti vzorkům fermentovaným při 30 °C [34]. Shodný vliv teploty na tvrdost chlebů pozorovali Terrazas-Avila et al. (2024) a uvádí, že tento vliv teploty na pevnost výrobků může být způsoben ztrátou vody během fermentace při nízkých teplotách [33].

Tabulka 21: Vliv teploty fermentace na tvrdost

Teplota fermentace (°C)	Tvrdost (N ± SD)
5	58 ± 39 ^c
20	53 ± 35 ^b
35	41 ± 34 ^a

Pružnost

Pružnost je schopnost vzorku vrátit se do původní výšky během doby mezi prvním stlačením a začátkem druhého stlačení. Pružnost je spojována s čerstvým a dobře nakypřeným chlebem. Hodnoty pro kombinaci vlivu všech pozorovaných technologických parametrů na vzorky žitných chlebů jsou uvedeny v tabulce 22 [33].

Tabulka 22: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na pružnost

Doba skladování (dny)	Způsob kypření	Teplota fermentace (°C)	Pružnost (% ± SD)
1	Nativní kvas	5	81 ± 27 ^a
1	Nativní kvas	20	87 ± 12 ^{a, b}
1	Nativní kvas	35	89 ± 1 ^{a, b}
1	Sušený kvas	5	89 ± 2 ^{a, b}
1	Sušený kvas	20	89 ± 2 ^{a, b}
1	Sušený kvas	35	90 ± 1 ^{a, b}
7	Nativní kvas	5	105 ± 39 ^b
7	Nativní kvas	20	95 ± 21 ^{a, b}
7	Nativní kvas	35	98 ± 21 ^{a, b}
7	Sušený kvas	5	105 ± 30 ^b
7	Sušený kvas	20	91 ± 28 ^{a, b}
7	Sušený kvas	35	88 ± 11 ^{a, b}

Stanovené hodnoty pružnosti vzorků se pohybovaly v rozmezí 81–105 %. Během doby skladování (tabulka 23) došlo k mírnému nárůstu hodnot pružnosti, toto zvýšení hodnot však nebylo statisticky významné. Tento výsledek potvrzuje výzkum Terrazas-Avila et al. (2024),

který uvádí, že hodnoty pružnosti se během skladování zvýšily, ale nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Změny pružnosti pravděpodobně souvisí se snížením odolnosti vzorků během skladování a změnou vnitřní struktury [33].

Tabulka 23: Vliv doby skladování na pružnost

Doba skladování (dny)	Pružnost (% ± SD)
1	88 ± 3 ^a
7	93 ± 6 ^a

Způsob kypření (tabulka 24) jako samostatný parametr statisticky významně neovlivnil pružnost vzorků.

Tabulka 24: Vliv způsobu kypření na pružnost

Způsob kypření	Pružnost (% ± SD)
Nativní kvas	88 ± 8 ^a
Sušený kvas	89 ± 6 ^a

Teplota fermentace (tabulka 25) také jako samostatný parametr statisticky významně neovlivnila pružnost vzorků žitných chlebů.

Tabulka 25: Vliv teploty fermentace na pružnost

Teplota fermentace (°C)	Pružnost (% ± SD)
5	89 ± 10 ^a
20	88 ± 3 ^a
35	89 ± 4 ^a

Soudržnost

Soudržnost souvisí se silou vnitřních vazeb, které tvoří střidu a s energií nutnou ke žvýkání chleba, tj. odolnost potraviny druhé deformaci vůči odolnosti první deformace. Hodnoty pro kombinaci vlivu všech pozorovaných technologických parametrů na vzorky žitných chlebů jsou uvedeny v tabulce 26 [33, 63].

Tabulka 26: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na soudržnost

Doba skladování (dny)	Způsob kypření	Teplota fermentace (°C)	Soudržnost (% ± SD)
1	Nativní kvas	5	69 ± 28 ^a
1	Nativní kvas	20	72 ± 4 ^a
1	Nativní kvas	35	69 ± 1 ^a
1	Sušený kvas	5	69 ± 1 ^a
1	Sušený kvas	20	71 ± 1 ^a
1	Sušený kvas	35	71 ± 1 ^a
7	Nativní kvas	5	67 ± 8 ^a
7	Nativní kvas	20	65 ± 3 ^a
7	Nativní kvas	35	58 ± 3 ^a
7	Sušený kvas	5	67 ± 4 ^a
7	Sušený kvas	20	72 ± 8 ^a
7	Sušený kvas	35	66 ± 5 ^a

Stanovené hodnoty soudržnosti se pohybovaly v rozmezí 58–72 %. Statisticky významně byla soudržnost ovlivněna dobou skladování (tabulka 27). Během skladování došlo ke zhoršení soudržnosti vzorků, což potvrzují nižší naměřené hodnoty po sedmi dnech skladování. Tento výsledek potvrzuje výzkum Dvořáková et al. (2013), který uvádí, že vzorky měřené 24 hodin po upečení vykazovaly vyšší soudržnost než vzorky měřené 72 hodin po upečení [49]. Soudržnost je během skladování ovlivněna retrogradací škrobu, což způsobuje stárnutí pečiva. Snížení soudržnosti u chleba zvyšuje jeho lámavost a drolivost [33, 49].

Tabulka 27: Vliv doby skladování na soudržnost

Doba skladování (dny)	Soudržnost (% ± SD)
1	70 ± 1 ^b
7	64 ± 4 ^a

Způsob kypření (tabulka 28) jako samotný parametr statisticky významně neovlivnil soudržnost vzorků.

Tabulka 28: Vliv způsobu kypření na soudržnost

Způsob kypření	Soudržnost (% ± SD)
Nativní kvas	68 ± 4 ^a
Sušený kvas	69 ± 2 ^a

Teplota fermentace (tabulka 29) jako samostatný parametr také statisticky významně neovlivnila soudržnost vzorků. Tento výsledek potvrzuje výzkum Demirkesen-Bicak et al. (2021), který uvádí, že teplota fermentace významně neovlivnila soudržnost pečiva [34].

Tabulka 29: Vliv teploty fermentace na soudržnost

Teplota fermentace (°C)	Soudržnost (% ± SD)
5	68,2 ± 0,8 ^a
20	70 ± 3 ^a
35	68 ± 5 ^a

Odolnost

Odolnost žitné chlebové střídy popisuje schopnost střídy vrátit se po deformaci do původního stavu. Hodnoty pro kombinaci vlivu všech pozorovaných technologických parametrů na vzorky žitných chlebů jsou uvedeny v tabulce 30 [33].

Tabulka 30: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na odolnost

Doba skladování (dny)	Způsob kypření	Teplota fermentace (°C)	Odolnost (% ± SD)
1	Nativní kvas	5	42,0 ± 0,9 ^e
1	Nativní kvas	20	41 ± 40 ^{d, e}
1	Nativní kvas	35	37 ± 1 ^{b, c}
1	Sušený kvas	5	39 ± 1 ^{b, c, d}
1	Sušený kvas	20	38 ± 1 ^{b, c, d}
1	Sušený kvas	35	39 ± 1 ^{c, d, e}
7	Nativní kvas	5	38 ± 8 ^{b, c}
7	Nativní kvas	20	36 ± 3 ^{a, b}
7	Nativní kvas	35	29 ± 2 ^a
7	Sušený kvas	5	39 ± 4 ^{b, c, d}
7	Sušený kvas	20	43 ± 7 ^{b, c, d}
7	Sušený kvas	35	38 ± 5 ^{b, c}

Odolnost vzorků se pohybovala v rozmezí 29–43 %. Statisticky významně byla odolnost vzorků ovlivněna dobou skladování (tabulka 31). Během skladování došlo ke snížení odolnosti vzorků. Snížení odolnosti může být ovlivněno sníženou soudržností vzorků, jelikož nižší hodnota soudržnosti značí vyšší drolivost chlebů. Tento výsledek potvrzuje výzkum Terrazas-Avila et al. (2024), který uvádí, že během skladování došlo ke snížení odolnosti vzorků, což je s největší pravděpodobností způsobeno retrogradací škrobu [33].

Tabulka 31: Vliv doby skladování na odolnost

Doba skladování (dny)	Odolnost (% ± SD)
1	39 ± 2 ^b
7	35 ± 4 ^a

Způsob kypření (tabulka 32) jako samostatný parametr statisticky významně neovlivnil odolnost vzorků.

Tabulka 32: Vliv způsobu kypření na odolnost

Způsob kypření	Odolnost (% ± SD)
Nativní kvas	38 ± 4 ^a
Sušený kvas	39 ± 2 ^a

Teplota fermentace (tabulka 33) statisticky průkazně ovlivnila odolnost výrobků. S rostoucí teplotou fermentace bylo pozorováno snížení odolnosti vzorků. Naopak při teplotě 5 °C a 20 °C byla bez statisticky průkazného rozdílu pozorována vyšší odolnost. Tento výsledek potvrzuje i výzkum Demirkesen-Bicak et al. (2021), který uvádí, že nižší hodnoty odolnosti vykazují vzorky fermentované při vyšších teplotách [34].

Tabulka 33: Vliv teploty fermentace na odolnost

Teplota fermentace (°C)	Odolnost (% ± SD)
5	40 ± 2 ^b
20	39 ± 3 ^b
35	37 ± 4 ^a

Žvýkatelnost

Žvýkatelnost je definována jako energie potřebná k rozmělnění potraviny až do spolknutí. Hodnoty pro kombinaci vlivu všech pozorovaných technologických parametrů na vzorky žitných chlebů jsou uvedeny v tabulce 34 [33, 63].

Tabulka 34: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na žvýkatelnost

Doba skladování (dny)	Způsob kypření	Teplota fermentace (°C)	Žvýkatelnost
1	Nativní kvas	5	1620 ± 750 ^{a, b}
1	Nativní kvas	20	1718 ± 377 ^{a, b}
1	Nativní kvas	35	1333 ± 102 ^a
1	Sušený kvas	5	3401 ± 285 ^c
1	Sušený kvas	20	3453 ± 383 ^c
1	Sušený kvas	35	2121 ± 187 ^b
7	Nativní kvas	5	5766 ± 2162 ^d
7	Nativní kvas	20	5655 ± 1333 ^d
7	Nativní kvas	35	2421 ± 789 ^{b, c}
7	Sušený kvas	5	9286 ± 2135 ^e
7	Sušený kvas	20	7738 ± 2441 ^e
7	Sušený kvas	35	6422 ± 1242 ^d

Hodnoty žvýkatelnosti 1333–9886 byly stanoveny v širokém rozsahu. Nejnižší hodnotu žvýkatelnosti 1333 vykazoval vzorek 1_NK35. Naopak nejvyšší hodnota 9286 byla stanovena u vzorku 7_SK5. Na hodnoty žvýkatelnosti měla statisticky průkazný vliv doba

skladování (tabulka 35). Během doby skladování došlo ke zhoršení žvýkatelnosti, což potvrzují vyšší hodnoty naměřené po sedmi dnech skladování. Znamená to tedy, že pro žvýkání vzorků s vyššími hodnotami žvýkatelnosti je nutné vynaložit větší sílu při žvýkání. Tento výsledek potvrzuje výzkum DVOŘÁKOVÁ et al. (2013), který uvádí, že vzorky měřené 24 hodin po upečení vykazovaly nižší hodnoty žvýkatelnosti než vzorky měřené 72 hodin po upečení [49]. Shodný vliv doby skladování na žvýkatelnost uvádí i Terrazas-Avila et al. (2024) [33]. Žvýkatelnost je v průběhu skladování ovlivněna retrogradací škrobu [49].

Tabulka 35: Vliv doby skladování na žvýkatelnost

Doba skladování (dny)	Žvýkatelnost
1	2204 ± 847 ^a
7	5715 ± 2110 ^b

Způsob kypření (tabulka 36) statisticky významně ovlivnil žvýkatelnost vzorků. Žvýkatelnost pečiva je ovlivněna především tvrdostí a pružností vzorků. Nižší hodnoty žvýkatelnosti byly stanoveny u nativního kvasu, stejně tak jako byly u nativního kvasu stanoveny nižší hodnoty tvrdosti.

Tabulka 36: Vliv způsobu kypření na žvýkatelnost

Způsob kypření	Žvýkatelnost
Nativní kvas	2190 ± 1885 ^a
Sušený kvas	3894 ± 2587 ^b

Teplota fermentace (tabulka 37) také statisticky významně ovlivnila žvýkatelnost vzorků. S rostoucí teplotou fermentace byly pozorovány snižující se hodnoty žvýkatelnosti. Naopak se snižující se teplotou fermentace byly pozorovány zvyšující se hodnoty žvýkatelnosti. Demirkesen-Bicak et al. (2021) uvádí, že vzorky fermentované při 25 °C vykazovaly vyšší hodnoty žvýkatelnosti než vzorky kypřené při 30 °C [34]. Shodný vliv teploty na žvýkatelnost pozorovali Terrazas-Avila et al. (2024) [33]. Tyto výzkumy tedy potvrzují námi zjištěný vliv teploty na žvýkatelnost vzorků.

Tabulka 37: Vliv teploty fermentace na žvýkatelnost

Teplota fermentace (°C)	Žvýkatelnost
5	3641 ± 2870 ^b
20	3253 ± 2268 ^b
35	2454 ± 1973 ^a

Lepivost

Lepivost je definována jako schopnost potravy přilnout k zubům při žvýkání. Vyjádřena je v záporných hodnotách kvůli síle, která je aplikována v texturním analyzátoru zdola nahoru. Hodnoty pro kombinaci všech pozorovaných technologických parametrů na vzorky žitných chlebů jsou uvedeny v tabulce 38 [63].

Tabulka 38: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na lepivost

Doba skladování (dny)	Způsob kypření	Teplota fermentace (°C)	Lepivost (N.s ± SD)
1	Nativní kvas	5	-0,18 ± 0,07 ^b
1	Nativní kvas	20	-0,4 ± 0,1 ^c
1	Nativní kvas	35	-0,40 ± 0,06 ^c
1	Sušený kvas	5	-0,4 ± 0,1 ^c
1	Sušený kvas	20	-0,3 ± 0,1 ^c
1	Sušený kvas	35	-0,18 ± 0,06 ^b
7	Nativní kvas	5	-0,02 ± 0,02 ^{a, b}
7	Nativní kvas	20	-0,04 ± 0,02 ^{a, b}
7	Nativní kvas	35	-0,02 ± 0,01 ^a
7	Sušený kvas	5	-0,03 ± 0,02 ^{a, b}
7	Sušený kvas	20	-0,011 ± 0,007 ^a
7	Sušený kvas	35	-0,04 ± 0,04 ^{a, b}

Hodnoty lepivosti byly stanoveny od -0,011 N.s do -0,4 N.s. Lepivost vzorků byla statisticky významně ovlivněna dobou skladování (tabulka 39). Během doby skladování došlo ke snížení lepivosti vzorků. S největší pravděpodobností došlo k poklesu lepivosti z důvodu retrogradace škrobu a ztráty vlhkosti během skladování.

Tabulka 39: Vliv doby skladování na lepivost

Doba skladování (dny)	Lepivost (N.s ± SD)
1	-0,31 ± 0,09 ^b
7	-0,03 ± 0,01 ^a

Způsob kypření (tabulka 40) statisticky významně ovlivnil lepivost vzorků. Vyšší lepivost vykazovaly vzorky kypřené nativním kvasem. Naopak nižší hodnoty lepivosti byly pozorovány u vzorků kypřených sušeným kvasem. Lepivost žitné střídy je ovlivňována schopností arabinoxylanů vázat vodu a enzymatickou aktivitou α -amylázy, která ovlivňuje stav škrobu v žitných těstech. Zvýšená lepivost žitných těst je také ovlivňována proteiny, které nejsou v žitných těstech schopny tvořit souvislou lepkovou síť [59, 65, 66].

Tabulka 40: Vliv způsobu kypření na lepivost

Způsob kypření	Lepivost (N.s ± SD)
Nativní kvas	-0,3 ± 0,2 ^b
Sušený kvas	-0,2 ± 0,1 ^a

Teplota fermentace (tabulka 41) také statisticky významně ovlivnila lepivost žitných chlebů. Vyšší lepivost vykazovaly vzorky kypřené při 20 °C. Naopak nižší lepivost, bez statisticky průkazného rozdílu, byla zjištěna u vzorků fermentovaných při 5 °C a 35 °C.

Tabulka 41: Vliv teploty fermentace na lepivost

Teplota fermentace (°C)	Lepivost (N.s ± SD)
5	-0,2 ± 0,1 ^a
20	-0,3 ± 0,2 ^b
35	-0,2 ± 0,2 ^a

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zjistit, jakým způsobem ovlivňuje způsob kypření a teplota fermentace vlastnosti žitného těsta a hotových výrobků. U žitných těst byl sledován průběh vývinu těsta a únik kypřícího plynu pomocí reofermentometru a reologické vlastnosti pomocí mixolabu. Hotové výrobky byly hodnoceny pomocí ztrát pečením, specifického objemu a texturních vlastností. Následně bylo zjišťováno, zda má doba skladování vliv na vlastnosti hotových výrobků.

Vliv způsobu kypření na žitná těsta je poměrně málo popsanou problematikou, a tak srovnání výsledků s literaturou bylo obtížnější. Způsob kypření ovlivnil chování těsta během měření vývinu a úniku kypřícího plynu. Vyšší maximální výšky těsta a nižší množství uvolněného kypřícího plynu bylo pozorováno u nativního kvasu, což následně bylo potvrzeno i vyšším specifickým objemem vzorků kypřených nativním kvasem. U vzorků byl pozorován statisticky významný rozdíl ve způsobu kypření u specifického objemu, tvrdosti, žvýkatelnosti a lepivosti. Kdy nižší tvrdost a lepší žvýkatelnost byla pozorována u nativního kvasu. Naopak nižší specifický objem, vyšší tvrdost, horší žvýkatelnost a nižší lepivost u sušeného kvasu. Ostatní parametry způsob kypření neovlivnil.

Vliv teploty fermentace významně ovlivnil většinu sledovaných parametrů. Teplota fermentace ovlivnila chování těsta během měření vývinu a úniku kypřícího plynu. Vyšší maximální výšky těsta bylo dosaženo při teplotě 35 °C, což také následně potvrdil vyšší specifický objem vzorků kypřených při 35 °C. Tato práce se zabývá pouze třemi teplotami fermentace, a to 5 °C, 20 °C a 35 °C. Vyšší teplota fermentace pozitivně ovlivnila většinu sledovaných parametrů. S vyšší teplotou fermentace souvisí vyšší aktivita kvasinek, čímž došlo například ke zvýšení specifického objemu, snížení tvrdosti vzorků a zlepšení žvýkatelnosti. Naopak při nižší teplotě 5 °C byl pozorován menší specifický objem, vzorky vykazovaly vyšší tvrdost a horší žvýkatelnost. Teplota fermentace neovlivnila pružnost a soudržnost výrobků.

Během doby skladování bylo pozorováno zhoršení většiny sledovaných vlastností. Ke zhoršení sledovaných parametrů došlo v důsledku retrogradace škrobu, což způsobuje stárnutí pečiva. Skladování neovlivnilo pouze specifický objem a pružnost výrobků.

Dle všech vyhodnocených parametrů můžeme říci, že vzorky kypřené nativním kvasem vykazovaly lepší vlastnosti v porovnání se vzorky kypřenými sušeným kvasem. Jako

nejvhodnější teplota, byla vyhodnocena teplota 35 °C, při které vzorky vykazovaly ve většině technologických parametrů nejlepší vlastnosti.

Pro doplnění by bylo vhodné v průběhu doby skladování provést více měření a vzorky podrobit mikrobiologickému rozboru.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠEDIVÝ, Petr a ALBRECHT, Jaroslav, 2014. Pekařská technologie. Knižnice Pekaře a cukráře. Praha: Odborné nakladatelství a vydavatelství Pekař a cukrář. ISBN 978-80-905481-0-7.
- [2] ALBAGLI, Gabriel; SCHWARTZ, Isabela do Monte; AMARAL, Priscilla F.F.; FERREIRA, Tatiana Felix a FINOTELLI, Priscilla V., 2021. How dried sourdough starter can enable and spread the use of sourdough bread. Online. LWT. Roč. 149. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111888>. [cit. 2024-03-23].
- [3] CATZEDDU, Pasquale, 2011. Sourdough Breads. Online. In: Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention. Elsevier, s. 37-46. ISBN 9780123808868. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10004-2>. [cit. 2024-03-14].
- [4] BUREŠOVÁ, Iva a LORENCOVÁ, Eva, 2013. Výroba potravin rostlinného původu: zpracování obilovin. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 9788074542787.
- [5] SAKANDAR, Hafiz Arbab; HUSSAIN, Raza; KUBOW, Stan; SADIQ, Faizan Ahmed; HUANG, Weining et al., 2019. Sourdough bread: A contemporary cereal fermented product. Online. Journal of Food Processing and Preservation. 2019-01-09, roč. 43, č. 3. ISSN 0145-8892. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13883>. [cit. 2022-04-09].
- [6] DE VUYST, Luc; VAN KERREBROECK, Simon a LEROY, Frédéric, 2017. Microbial Ecology and Process Technology of Sourdough Fermentation. Online. In: Advances in Applied Microbiology. Elsevier, s. 49-160. ISBN 9780128120484. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2017.02.003>. [cit. 2024-03-14].
- [7] PAPADIMITRIOU, Konstantinos; ZOUMPOPOULOU, Georgia; GEORGALAKI, Marina; ALEXANDRAKI, Voula; KAZOU, Maria et al., 2019. Sourdough Bread. Online. In: Innovations in Traditional Foods. Elsevier, s. 127-158. ISBN 9780128148877. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814887-7.00006-X>. [cit. 2024-03-25].
- [8] DECOCK, Pieter a CAPPELLE, Stefan, 2005. Bread technology and sourdough technology. Online. Trends in Food Science & Technology. Roč. 16, č. 1-3, s. 113-120. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.04.012>. [cit. 2024-04-03].
- [9] DELEU, Lomme J.; LEMMENS, Elien; REDANT, Lore a DELCOUR, Jan A., 2020. The major constituents of rye (*Secale cereale* L.) flour and their role in the production of rye bread, a food product to which a multitude of health aspects are ascribed. Online. Cereal

Chemistry. Roč. 97, č. 4, s. 739-754. ISSN 0009-0352. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/cche.10306>. [cit. 2024-03-04].

[10] SKŘIVAN, CSC., Ing. Pavel, 2014. Chemické složení žitné obilky. Online. Žitné Centrum. Dostupné z: <https://www.zitnecentrum.cz/2014/02/10/chemicke-slozeni-zitne-obilky/>. [cit. 2024-03-05].

[11] DZIKI, Dariusz, 2022. Rye Flour and Rye Bran: New Perspectives for Use. Online. Processes. Roč. 10, č. 2. ISSN 2227-9717. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/pr10020293>. [cit. 2024-03-04].

[12] FENG, Guangli, 2019. Rye. Online. In: WANG, Jing; SUN, Baoguo a TSAO, Rong (ed.). Bioactive Factors and Processing Technology for Cereal Foods. Singapore: Springer Singapore, s. 151-169. ISBN 978-981-13-6166-1. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6167-8_9. [cit. 2024-03-05].

[13] NÉMETH, R. a TÖMÖSKÖZI, S., 2021. Rye: Current state and future trends in research and applications. Online. Acta Alimentaria. 2021-11-15, roč. 50, č. 4, s. 620-640. ISSN 0139-3006. Dostupné z: <https://doi.org/10.1556/066.2021.00162>. [cit. 2024-03-05].

[14] STĘPNIEWSKA, Sylwia; HASSOON, Waleed H.; SZAFRAŃSKA, Anna; CACAK-PIETRZAK, Grażyna a DZIKI, Dariusz, 2019. Procedures for Breadmaking Quality Assessment of Rye Wholemeal Flour. Online. Foods. Roč. 8, č. 8. ISSN 2304-8158. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods8080331>. [cit. 2024-03-04].

[15] Pekařská technologie, 2013. Knižnice Pekaře a cukráře. Praha: Odborné nakladatelství a vydavatelství Pekař a cukrář. ISBN 978-80-903913-7-6.

[16] STĘPNIEWSKA, Sylwia; CACAK-PIETRZAK, Grażyna; SZAFRAŃSKA, Anna; OSTROWSKA-LIGEŻA, Ewa a DZIKI, Dariusz, 2021. Assessment of the Starch-Amylolytic Complex of Rye Flours by Traditional Methods and Modern One. Online. Materials. Roč. 14, č. 24. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma14247603>. [cit. 2024-03-06].

[17] KAUR, Pinderpal; SINGH SANDHU, Kawaljit; SINGH PUREWAL, Sukhvinder; KAUR, Maninder a KUMAR SINGH, Surrender, 2021. Rye: A wonder crop with industrially important macromolecules and health benefits. Online. Food Research International. Roč. 150. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110769>. [cit. 2024-03-11].

- [18] BHATTACHARYA, Suwendu, [2015]. Conventional and advanced food processing technologies. Hoboken, NJ, USA: John Wiley. ISBN 978-1-118-40632-8.
- [19] ARENDT, Elke K.; MORRISSEY, Andrew; MOORE, Michelle M. a BELLO, Fabio Dal, 2008. Gluten-free breads. Online. In: Gluten-Free Cereal Products and Beverages. Elsevier, s. 289-VII. ISBN 9780123737397. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-012373739-7.50015-0>. [cit. 2024-03-20].
- [20] KUČEROVÁ, Jindřiška, 2016. Technologie cereálií. Druhé přepracované vydání. V Brně: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7509-442-1.
- [21] ARENDT, Elke K.; RYAN, Liam A.M. a DAL BELLO, Fabio, 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. Online. Food Microbiology. Roč. 24, č. 2, s. 165-174. ISSN 07400020. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.011>. [cit. 2024-03-23].
- [22] Česko. Vyhláška č. 18/2020 Sb. Vyhláška o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta.
- [23] CATZEDDU, Pasquale, 2019. Sourdough Breads. Online. In: Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention. Elsevier, s. 177-188. ISBN 9780128146392. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814639-2.00014-9>. [cit. 2024-03-19].
- [24] SKŘIVAN, Pavel, 2022. Cereální chemie a technologie II: sekundární zpracování obilovin – pekárenská technologie. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7592-135-2.
- [25] CALVERT, Martha D.; MADDEN, Anne A.; NICHOLS, Lauren M.; HADDAD, Nick M.; LAHNE, Jacob et al., 2021. A review of sourdough starters: ecology, practices, and sensory quality with applications for baking and recommendations for future research. Online. PeerJ. Roč. 9. ISSN 2167-8359. Dostupné z: <https://doi.org/10.7717/peerj.11389>. [cit. 2024-03-25].
- [26] MINERVINI, Fabio; DE ANGELIS, Maria; DI CAGNO, Raffaella a GOBBETTI, Marco, 2014. Ecological parameters influencing microbial diversity and stability of traditional sourdough. Online. International Journal of Food Microbiology. Roč. 171, s. 136-146. ISSN 01681605. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.021>. [cit. 2024-04-09].

- [27] DE VUYST, Luc a NEYSENS, Patricia, 2005. The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. Online. Trends in Food Science & Technology. Roč. 16, č. 1-3, s. 43-56. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.012>. [cit. 2024-04-13].
- [28] SIEPMANN, Francieli B.; RIPARI, Valery; WASZCZYNSKYJ, Nina a SPIER, Michele R., 2018. Overview of Sourdough Technology: from Production to Marketing. Online. Food and Bioprocess Technology. Roč. 11, č. 2, s. 242-270. ISSN 1935-5130. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1968-2>. [cit. 2024-03-29].
- [29] STEFANELLO, Raquel Facco; NABESHIMA, Elizabeth Harumi; IAMANAKA, Beatriz Thie; LUDWIG, Aline; FRIES, Leadir Lucy Martins et al., 2019. Survival and stability of *Lactobacillus fermentum* and *Wickerhamomyces anomalus* strains upon lyophilisation with different cryoprotectant agents. Online. Food Research International. Roč. 115, s. 90-94. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.044>. [cit. 2024-04-02].
- [30] DIMIDI, Eirini; COX, Selina; ROSSI, Megan a WHELAN, Kevin, 2019. Fermented Foods: Definitions and Characteristics, Impact on the Gut Microbiota and Effects on Gastrointestinal Health and Disease. Online. Nutrients. Roč. 11, č. 8. ISSN 2072-6643. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/nu11081806>. [cit. 2024-04-20].
- [31] HERNÁNDEZ-FIGUEROA, Ricardo H.; MANI-LÓPEZ, Emma; PALOU, Enrique a LÓPEZ-MALO, Aurelio, 2024. Sourdoughs as Natural Enhancers of Bread Quality and Shelf Life: A Review. Online. Fermentation. Roč. 10, č. 1. ISSN 2311-5637. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/fermentation10010007>. [cit. 2024-04-21].
- [32] CHAVAN, Rupesh S. a CHAVAN, Shraddha R., 2011. Sourdough Technology-A Traditional Way for Wholesome Foods: A Review. Online. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Roč. 10, č. 3, s. 169-182. ISSN 15414337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00148.x>. [cit. 2024-04-28].
- [33] TERRAZAS-AVILA, Paulina; PALMA-RODRÍGUEZ, Heidi M.; NAVARRO-CORTEZ, Ricardo O.; HERNÁNDEZ-URIBE, Juan P.; PILONI-MARTINI, Javier et al., 2024. The effects of fermentation time on sourdough bread: An analysis of texture profile, starch digestion rate, and protein hydrolysis rate. Online. Journal of Texture Studies. Roč. 55, č. 2. ISSN 0022-4901. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12831>. [cit. 2024-04-23].

- [34] DEMIRKESEN-BICAK, Hilal; ARICI, Muhammet; YAMAN, Mustafa; KARASU, Salih a SAGDIC, Osman, 2021. Effect of Different Fermentation Condition on Estimated Glycemic Index, In Vitro Starch Digestibility, and Textural and Sensory Properties of Sourdough Bread. Online. *Foods*. Roč. 10, č. 3. ISSN 2304-8158. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods10030514>. [cit. 2024-04-23].
- [35] COSTANTINI, Alice; DA ROS, Alessio; NIKOLOUDAKI, Olga; MONTEMURRO, Marco; DI CAGNO, Raffaella et al., 2022. How cereal flours, starters, enzymes, and process parameters affect the in vitro digestibility of sourdough bread. Online. *Food Research International*. Roč. 159. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111614>. [cit. 2024-04-27].
- [36] JONSSON, Karin; ANDERSSON, Roger; BACH KNUDSEN, Knud Erik; HALLMANS, Göran; HANHINEVA, Kati et al., 2018. Rye and health - Where do we stand and where do we go? Online. *Trends in Food Science & Technology*. Roč. 79, s. 78-87. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.018>. [cit. 2024-04-27].
- [37] FADDA, C.; SANGUINETTI, A. M.; DEL CARO, A.; COLLAR, C. a PIGA, A., 2014. Bread Staling: Updating the View. Online. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Roč. 13, č. 4, s. 473-492. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12064>. [cit. 2024-04-21].
- [38] ALPERS, Thekla; KERPES, Roland; FRIOLI, Mariana; NOBIS, Arndt; HOI, Ka Ian et al., 2021. Impact of Storing Condition on Staling and Microbial Spoilage Behavior of Bread and Their Contribution to Prevent Food Waste. Online. *Foods*. Roč. 10, č. 1. ISSN 2304-8158. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods10010076>. [cit. 2024-04-24].
- [39] ŠEBESTÍKOVÁ, Romana; BUREŠOVÁ, Iva; VYHNÁNEK, Tomáš; MARTINEK, Petr a POSPIECH, Matej, 2023. Rheological and fermentation properties of doughs and quality of breads from colored wheat varieties. Online. *Heliyon*. Roč. 9, č. 4. ISSN 24058440. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15118>. [cit. 2024-02-24].
- [40] ANONYM. Rheo F4 User's manual. Chopin Technologies, Francie 2016. 42 s.
- [41] ANONYM. Mixolab 2 User's manual. Chopin Technologies, Francie 2016. 77 s.
- [42] CHAKRABORTY, Subir K.; TIWARI, Anu; MISHRA, Atishay a SINGH, Alok, 2015. Rheological properties of refined wheat - millet flour based dough under thermo-mechanical

stress. Online. Journal of Food Science and Technology. Roč. 52, č. 5, s. 3044-3050. ISSN 0022-1155. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1339-1>. [cit. 2024-02-27].

[43] B, Mekuria a SA, Emire, 2015. Effects of Vital Gluten Enrichment on Qualities of Value Added Products. Online. Journal of Food Processing & Technology. Roč. 6, č. 11. ISSN 21577110. Dostupné z: <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000508>. [cit. 2024-02-27].

[44] OZTURK, Serpil; KAHRAMAN, Kevser; TIFTIK, Bengihan a KOKSEL, Hamit, 2008. Predicting the cookie quality of flours by using Mixolab®. Online. European Food Research and Technology. Roč. 227, č. 5, s. 1549-1554. ISSN 1438-2377. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0879-x>. [cit. 2024-02-27].

[45] BAKARE, Adegoke H.; OSUNDAHUNSI, Oluwatooyin F. a OLUSANYA, Joseph O., 2016. Rheological, baking, and sensory properties of composite bread dough with breadfruit (*Artocarpus communis* Forst) and wheat flours. Online. Food Science & Nutrition. Roč. 4, č. 4, s. 573-587. ISSN 2048-7177. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/fsn3.321>. [cit. 2024-03-14].

[46] PAULINE, Mounjouenpou; ROGER, Ponka; SOPHIE NATACHA NINA, Ngono Eyenga; ARIELLE, Tchuisseu; EUGENE, Ehabe E. et al., 2020. Physico-chemical and nutritional characterization of cereals brans enriched breads. Online. Scientific African. Roč. 7. ISSN 24682276. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00251>. [cit. 2024-02-24].

[47] ERTOSUN, Seymanur; FALCÃO, Soraia I.; AYLANC, Volkan; TOMÁS, Andreia; RUSSO-ALMEIDA, Paulo et al., 2024. The impact of bee product incorporation on the processing properties, nutritional value, sensory acceptance, and microbial stability of bread. Online. Journal of Food Measurement and Characterization. Roč. 18, č. 1, s. 451-463. ISSN 2193-4126. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02172-4>. [cit. 2024-03-04].

[48] JOHNSON, Marc, Prosinec 2015. Overview of Texture Profile Analysis. Online. Texture Technologies Corporation. Říjen 2023. Dostupné z: <https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis#resources>. [cit. 2024-03-04].

[49] DVOŘÁKOVÁ, Petra; BUREŠOVÁ, Iva a KRÁČMAR, Stanislav, 2013. Textural properties of bread formulations based on buckwheat and rye flour. Online. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2013-7-30, roč. 60, č. 5,

s. 61-68. ISSN 12118516. Dostupné z: <https://doi.org/10.11118/actaun201260050061>. [cit. 2024-03-04].

[50] HÄGGMAN, Marina a SALOVAARA, Hannu, 2008. Microbial re-inoculation reveals differences in the leavening power of sourdough yeast strains. Online. LWT - Food Science and Technology. Roč. 41, č. 1, s. 148-154. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.02.001>. [cit. 2024-04-16].

[51] LISZKOWSKA, Wiktoria a BERLOWSKA, Joanna, 2021. Yeast Fermentation at Low Temperatures: Adaptation to Changing Environmental Conditions and Formation of Volatile Compounds. Online. Molecules. Roč. 26, č. 4. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules26041035>. [cit. 2024-04-17].

[52] HÄGGMAN, Marina a SALOVAARA, Hannu, 2008. Effect of fermentation rate on endogenous leavening of *Candida milleri* in sour rye dough. Online. Food Research International. Roč. 41, č. 3, s. 266-273. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.12.002>. [cit. 2024-04-16].

[53] XU, Dan; ZHANG, Yao; TANG, Kaixing; HU, Ying; XU, Xueming et al., 2019. Effect of Mixed Cultures of Yeast and Lactobacilli on the Quality of Wheat Sourdough Bread. Online. Frontiers in Microbiology. 2019-9-10, roč. 10. ISSN 1664-302X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02113>. [cit. 2024-04-16].

[54] PENTIKÄINEN, Saara; SOZER, Nesli; NÄRVÄINEN, Johanna; YLÄTALO, Saara; TEPPOLA, Pekka et al., 2014. Effects of wheat and rye bread structure on mastication process and bolus properties. Online. Food Research International. Roč. 66, s. 356-364. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.034>. [cit. 2024-04-14].

[55] BECK, M.; JEKLE, M.; SELMAIR, P.L.; KOEHLER, P. a BECKER, T., 2011. Rheological properties and baking performance of rye dough as affected by transglutaminase. Online. Journal of Cereal Science. Roč. 54, č. 1, s. 29-36. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.01.012>. [cit. 2024-04-15].

[56] STĘPNIEWSKA, Sylwia; SŁOWIK, Elżbieta; CACAK-PIETRZAK, Grażyna; ROMANKIEWICZ, Daria; SZAFRAŃSKA, Anna et al., 2018. Prediction of rye flour baking quality based on parameters of swelling curve. Online. European Food Research and Technology. Roč. 244, č. 6, s. 989-997. ISSN 1438-2377. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00217-017-3014-z>. [cit. 2024-04-14].

- [57] BUREŠOVÁ, Iva; TROJAN, Václav a HELIS, Martin, 2019. Characteristics of flour and dough from purple and blue wheat grain. Online. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2019-01-26, roč. 13, č. 1, s. 163-166. ISSN 1337-0960. Dostupné z: <https://doi.org/10.5219/1043>. [cit. 2024-04-18].
- [58] HUI, Y. H. (ed.), 2006. *Food Biochemistry and Food Processing*. Online. Wiley. ISBN 9780813803784. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9780470277577>. [cit. 2024-04-19].
- [59] PONOMAREVA, M. L.; PONOMAREV, S. N.; MANNAPOVA, G. S. a GILMULLINA, L. F., 2022. Research Techniques for the Quality of Wholemeal Rye Flour. Online. *Russian Agricultural Sciences*. Roč. 48, č. 5, s. 334-343. ISSN 1068-3674. Dostupné z: <https://doi.org/10.3103/S106836742205007X>. [cit. 2024-04-22].
- [60] BUCSELLA, Blanka; MOLNÁR, Dóra; HARASZTOS, Anna Helga a TÖMÖSKÖZI, Sándor, 2016. Comparison of the rheological and end-product properties of an industrial aleurone-rich wheat flour, whole grain wheat and rye flour. Online. *Journal of Cereal Science*. Roč. 69, s. 40-48. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.007>. [cit. 2024-04-22].
- [61] OEST, Marie; BINDRICH, Ute; VOSS, Alexander; KAISER, Heinz a ROHN, Sascha, 2020. Rye Bread Defects: Analysis of Composition and Further Influence Factors as Determinants of Dry-Baking. Online. *Foods*. Roč. 9, č. 12. ISSN 2304-8158. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods9121900>. [cit. 2024-04-18].
- [62] CAGLAR, Nagihan; ERMIS, Ertan a DURAK, Muhammed Zeki, 2021. Spray-dried and freeze-dried sourdough powders: Properties and evaluation of their use in breadmaking. Online. *Journal of Food Engineering*. Roč. 292. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110355>. [cit. 2024-04-14].
- [63] CAROCHO, Márcio; MORALES, Patricia; CIUDAD-MULERO, María; FERNÁNDEZ-RUIZ, Virginia; FERREIRA, Elisabete et al., 2020. Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters. Online. *Food Chemistry*. Roč. 310. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125954>. [cit. 2024-04-23].
- [64] MOORE, M. M.; BELLO, F. Dal a ARENDT, E. K., 2008. Sourdough fermented by *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 improves the quality and shelf life of gluten-free bread. Online. *European Food Research and Technology*. Roč. 226, č. 6, s. 1309-1316. ISSN 1438-2377. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0659-z>. [cit. 2024-04-20].

[65] OEST, Marie; BINDRICH, Ute; VOSS, Alexander; KAISER, Heinz a ROHN, Sascha, 2020. Rye Bread Defects: Analysis of Composition and Further Influence Factors as Determinants of Dry-Baking. Online. *Foods*. Roč. 9, č. 12. ISSN 2304-8158. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods9121900>. [cit. 2024-04-29].

[66] RAZAVIZADEGAN JAHROMI, Seyed Hossein; TABATABAEE YAZDI, Farideh; KARIMI, Mehdi a MORTAZAVI, Seyed Ali, 2014. Bread-Making Process Optimization: Staling Kinetics, Relationship of Batter Rheology, Shelf Life, Quality and Sensory Characteristics of Barbari Bread. Online. *Journal of Food Processing and Preservation*. Roč. 38, č. 4, s. 1447-1460. ISSN 01458892. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12104>. [cit. 2024-04-29].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

°C	Stupeň Celsia
%	Procento
KTJ	Kolonie tvořící jednotku
kJ	Kilojoule
kcal	Kilokalorie
t	Teplota
T1	Čas dosažení maximální výšky těsta
Hm	Maximální výška těsta
$\Delta T_2 = T_2 - T'_2$	Odolnost těsta
h	Výška těsta na konci měření
$(H_m - h) / H_m$	% poklesu ve vývinu po celkovém čase měření v porovnání s T1
H'm	Maximální výška křivky
Tx	Čas úniku plynu
A1 + A2	Celkový objem vzniklého plynu
A1	Objem plynu zadržovaný v těstě
A2	Objem plynu uvolněný během kynutí
W	Vaznost vody
DT	Doba vývinu těsta
ST	Stabilita těsta
DS	Stupeň změknutí
FU	Farinografické jednotky
α	Alfa – směrnice mixolabické křivky
β	Beta – směrnice mixolabické křivky
γ	Gama – směrnice mixolabické křivky
Z _p	Ztráty pečením

m_t	Hmotnost těsta před pečením
m_v	Hmotnost výrobku po upečení
V_{sp}	Specifický objem výrobku
V	Objem výrobku
m	Hmotnost výrobku
TPA	Texturní profilová analýza
N	Newton
min	Minuta
mm	Milimetr
NZ	Nezaznamenáno

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Struktura žitného zrna [12], upraveno.....	12
Obrázek 2: Reofermentometr Rheo F4 Chopin Technologies [40].....	34
Obrázek 3: Křivka průběhu vývinu těsta [40]	35
Obrázek 4: Křivka úniku plynu z těsta [40].....	35
Obrázek 5: Mixolab 2 Chopin Technologies [41]	36
Obrázek 6: Graf mixolabu dle protokolu Chopin S – farinograf [43], upraveno	37
Obrázek 7: Graf mixolabu dle protokolu Chopin + [44], upraveno	37
Obrázek 8: Křivka z měření na texturním profilovém analyzátoru [48], upraveno	39
Obrázek 9: Hodnocené vzorky kypřené nativním kvasem	45
Obrázek 10: Hodnocené vzorky kypřené sušeným kvasem	45

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Procentuální zastoupení složek v žitné mouce [9, 11].....	12
Tabulka 2: Výživové údaje žitné mouky hladké chlebové na 100 g mouky	29
Tabulka 3: Výživové údaje žitného kvásku sušeného na 100 g výrobku	29
Tabulka 4: Receptura pro žitný chléb kypřený nativním kvasem	31
Tabulka 5: Receptura pro žitný chléb kypřený sušeným kvasem a droždím.....	32
Tabulka 6: Reofermentometr – vývin těsta.....	41
Tabulka 7: Reofermentometr – vývin kypřícího plynu	42
Tabulka 8: Reologické vlastnosti těsta – farinografický režim	43
Tabulka 9: Reologické vlastnosti těsta – režim mixolab	44
Tabulka 10: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na ztráty pečením	46
Tabulka 11: Vliv doby skladování na ztráty pečením	47
Tabulka 12: Vliv způsobu kypření na ztráty pečením	47
Tabulka 13: Vliv teploty fermentace na ztráty pečením.....	47
Tabulka 14: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na specifický objem	48
Tabulka 15: Vliv doby skladování na specifický objem.....	48
Tabulka 16: Vliv způsobu kypření na specifický objem	49
Tabulka 17: Vliv teploty fermentace na specifický objem	49
Tabulka 18: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na tvrdost.....	50
Tabulka 19: Vliv doby skladování na tvrdost.....	50
Tabulka 20: Vliv způsobu kypření na tvrdost.....	50
Tabulka 21: Vliv teploty fermentace na tvrdost	51
Tabulka 22: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na pružnost	51
Tabulka 23: Vliv doby skladování na pružnost	52
Tabulka 24: Vliv způsobu kypření na pružnost	52
Tabulka 25: Vliv teploty fermentace na pružnost.....	52
Tabulka 26: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na soudržnost ..	53
Tabulka 27: Vliv doby skladování na soudržnost.....	53
Tabulka 28: Vliv způsobu kypření na soudržnost	53
Tabulka 29: Vliv teploty fermentace na soudržnost	54
Tabulka 30: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na odolnost	54
Tabulka 31: Vliv doby skladování na odolnost	54
Tabulka 32: Vliv způsobu kypření na odolnost	55

Tabulka 33: Vliv teploty fermentace na odolnost.....	55
Tabulka 34: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na žvýkatelnost	55
Tabulka 35: Vliv doby skladování na žvýkatelnost.....	56
Tabulka 36: Vliv způsobu kypření na žvýkatelnost.....	56
Tabulka 37: Vliv teploty fermentace na žvýkatelnost	56
Tabulka 38: Vliv doby skladování, způsobu kypření a teploty fermentace na lepivost	57
Tabulka 39: Vliv doby skladování na lepivost	57
Tabulka 40: Vliv způsobu kypření na lepivost	58
Tabulka 41: Vliv teploty fermentace na lepivost.....	58