

Využití enzymů pro zlepšení kvality pečiva

Lukáš Zavřel

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Lukáš Zavřel
Osobní číslo:	T22169
Studijní program:	B0721A210002 Technologie a hodnocení potravin
Specializace:	Technologie potravin
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Využití enzymů pro zlepšení kvality pečiva

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část:

Základní problémy při výrobě pečiva

Funkční vlastnosti potravinářských přídatných látek

Tradiční enzymy používané při výrobě pečiva

Trendy ve využití enzymů při výrobě pečiva

II. Praktická část:

Charakteristika použitého materiálu

Popis metody výroby pečiva a hodnocení jeho kvality

Popis výsledků a jejich diskuse

Formulace závěrů plynoucích z práce

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] Dahliya, S., Bajaj, B. K., Kumar, A., Tiwari, S. K., & Singh, B. (2020). A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. *Process Biochemistry*, 99, 290-306.
- [2] Goesaert, H., Leman, P., Bijttebier, A., & Delcour, J. A. (2009). Antifirming effects of starch degrading enzymes in bread crumb. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(6), 2346-2355.
- [3] Miguel, A. M., Martins-Meyer, T. S., Figueiredo, E. V. D. C., Lobo, B. W. P., & Dellamora-Ortiz, G. M. (2013). Enzymes in bakery: current and future trends. *Food Industry*, 287-321.
- [4] Mondal, A., & Datta, A. K. (2008). Bread baking—A review. *Journal of food engineering*, 86(4), 465-474.
- [5] Van Oort, M. (2009). Enzymes in bread making. *Enzymes in food technology*, 103-143.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**
Ústav technologie potravin

Datum zadání bakalářské práce: **1. ledna 2025**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 28. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- 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 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na využití enzymů v pekárenském průmyslu za účelem zlepšení kvality pečiva. Cílem bylo ověřit funkční vlastnosti enzymu amyloglukosidáza, jež je dostupná pod obchodním názvem GoldCrust. Teoretická část je věnovaná základním surovinám, přídatným látkám a jejich funkčním vlastnostem, samotnému vzniku těsta a enzymům v pekárenské výrobě. Praktická část se soustředí na samotnou výrobu vzorků pečiva s přidávkou enzymu GoldCrust 0 %, 0,005 %, 0,010 % a 0,015 %. Experiment se soustředil na změnu barvy kůrky, textury a vliv na fyzikální vlastnosti vzorků. Barva kůrky všech vzorků byla proměřena v trojrozměrném prostoru CIE L*a*b*. Dále byla proměřena textura střídy vzorků přístrojem TA.XT plus a v neposlední řadě byla věnována pozornost fyzikálním vlastnostem vzorků pečiva. Bylo zjištěno, že enzym amyloglukosidáza měl pozitivní vliv na barvu kůrky výrobků, jež byla tmavší oproti kontrolnímu vzorku a mezi těmito vzorky byly statisticky průkazné rozdíly ($p < 0,05$). Na texturní a fyzikální vlastnosti vzorků neměl enzym vliv, jelikož se u těchto naměřených parametrů neprojeví žádné statisticky průkazné rozdíly ($p > 0,05$).

Klíčová slova: suroviny, přídatné látky, těsto, hnětení, enzymy, oxidoreduktázy, transferázy, hydrolázy

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the use of enzymes in the bakery industry to improve the quality of baked goods. The aim was to verify the functional properties of the enzyme amyloglucosidase, which is available under the trade name GoldCrust. The theoretical part is devoted to the basic raw materials, additives and their functional properties, the formation of the dough itself and enzymes in bakery production. The practical part focuses on the actual production of the bakery samples with the addition of the enzyme GoldCrust 0 %, 0.005 %, 0.010 % and 0.015 %. The experiment focused on the change in crust colour, texture and the effect on the physical properties of the samples. The crust of all samples was measured in three-dimensional CIE L*a*b* space. Furthermore, the texture of the crumb of the samples was measured with the TA.XT plus instrument and last but not least, attention was paid to the physical properties of the pastry samples. It was found that the enzyme amyloglucosidase had a positive effect on the colour of the crust of the products, which was darker compared to the control sample, and there were statistically significant differences ($p < 0.05$) between these samples. The texture and physical properties of the samples were not affected by the enzyme as there were no statistically significant differences in these measured parameters ($p > 0.05$).

Keywords: raw materials, additives, dough, kneading, enzymes, oxidoreductases, transferases, hydrolases

Poděkování

Na první místě bych rád poděkoval paní prof. RNDr. Ivě Burešové, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a trpělivost, kterou mi věnovala. Její podpora a zpětná vazba byla pro mě vždy velmi přínosná.

Dále bych chtěl poděkovat paní Ing. Romaně Prokopové, Ph.D. za vedení a pomoc při zpracování praktické části práce v laboratoři. Vaše ochota sdílet zkušenosti a věnovat mi čas byla pro mě velmi důležitá.

V neposlední řadě bych poděkoval všem, kteří mě během psaní této bakalářské práce neustále podporovali.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST.....	14
1 SUROVINY PRO VÝROBU BIOLOGICKY KYPŘENÉHO PEČIVA.....	15
1.1 ZÁKLADNÍ SUROVINY PŘI VÝROBĚ PEČIVA	15
1.1.1 Mouka	15
1.1.2 Voda	15
1.1.3 Jedlá sůl.....	16
1.1.4 Pekárenské droždí	16
1.2 ZLEPŠUJÍCÍ PŘÍPRAVKY PŘI VÝROBĚ PEČIVA.....	16
1.2.1 Ječný slad	16
1.3 FUNKČNÍ VLASTNOSTI POTRAVINÁŘSKÝCH PŘÍDATNÝCH LÁTEK.....	17
1.3.1 Látky zlepšující mouku	17
1.3.2 Protispékavé látky	18
1.3.3 Kypřicí látky.....	18
1.3.4 Emulgátory	18
1.3.5 Stabilizátory	18
1.3.6 Zahušťovadla.....	18
1.3.7 Barviva	19
1.3.8 Sladidla.....	19
1.3.9 Plnidla	19
1.3.10 Ostatní potravinářské přídatné látky	19
2 PROCES VÝROBY BIOLOGICKY KYPŘENÉHO PEČIVA.....	20
2.1 TVORBA TĚSTA.....	20
2.1.1 Bílkoviny pšeničné mouky.....	21
2.1.2 Sacharidy pšeničné mouky.....	22
2.2 PROCES PEČENÍ.....	24
2.3 ZÁKLADNÍ PROBLÉMY PŘI VÝROBĚ PEČIVA	25
2.3.1 Fermentace těsta.....	25
2.3.2 Hnětení	26
2.3.3 Nedostatečný objem a vybarvení výrobku.....	27
3 TRADIČNÍ ENZYM PŘI VÝROBĚ PEČIVA.....	29
3.1 KONKRÉTNÍ ENZYM A JEJICH VLIV NA VLASTNOSTI VÝROBKU	30
3.1.1 Oxidoreduktázy	30
3.1.2 Transferázy.....	31
3.1.3 Hydrolázy	31
3.2 TRENDY APLIKACE ENZYMŮ V PEKÁRENSKÝCH VÝROBCÍCH.....	34
3.2.1 Průzkum trhu o aplikaci enzymů v pekárenských výrobcích.....	36
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	38
4 CÍL PRÁCE	39

5	MATERIÁL A METODIKA.....	40
5.1	CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH SUROVIN	40
5.1.1	Ječný slad	40
5.1.2	Enzym amyloglukosidáza.....	40
5.2	POSTUP VÝROBY PEČIVA	40
5.3	LABORATORNÍ METODY.....	42
5.3.1	Analýza vlhkosti mouky.....	42
5.3.2	Stanovení čísla poklesu	42
5.3.3	Stanovení vaznosti vody v mouce	43
5.3.4	Stanovení barvy vzorků pečiva	43
5.3.5	Texturní profilová analýza vzorků pečiva.....	43
5.3.6	Stanovení fyzikálních vlastností vzorků pečiva	44
5.3.7	Výpočet ztrát pečením a specifického objemu.....	45
5.3.8	Statistická analýza výsledků.....	45
6	VÝSLEDKY A DISKUSE	46
6.1	STANOVENÍ BARVY VZORKŮ PEČIVA	46
6.2	TEXTURNÍ PROFILOVÁ ANALÝZA VZORKŮ PEČIVA.....	48
6.3	STANOVENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ VZORKŮ PEČIVA.....	51
7	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	70

ÚVOD

Výroba běžného pečiva se řídí vyhláškou č. 18/2020 Sb. „o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské a cukrářské výrobky a těsta“. Mezi základní suroviny při výrobě běžného pečiva spadá pšeničná mouka, voda, pekařské droždí a sůl. Dále se dostává také k přidavku ostatních surovin, jakožto tuku či ječného sladu, které dodávají výrobkům požadované senzorické vlastnosti. Výrobci pečiva si často při výrobě vypomáhají různými potravinářskými přídatnými látkami, jako jsou látky zlepšující mouku, emulgátory, protispékavé látky nebo barviva pro zajištění požadovaných, jak technologických, tak senzorických vlastností konečného produktu.

Samotný proces výroby běžného pečiva zahrnuje mnoho technologických operací. Důležitá je také kvalita mouky, s čímž souvisí množství bílkovin a sacharidů. Bílkoviny jsou v těstě zodpovědné za tvorbu trojrozměrné lepkové sítě, zatímco škrob, jakožto nejznámější sacharid mouky plní funkci plnidla. Pšeničný škrob má také negativní účinek při stárnutí pečiva, kdy dochází k jeho retrogradaci, a tím dochází ke ztvrdnutí pečiva. Mezi základní operace při výrobě spadají tři hlavní, kterými je biologická fermentace, hnětení těsta a pečení. Napříč těmito technologickými kroky může docházet k mnoha vadám, které mohou negativně ovlivňovat finální výrobek.

V dnešní době si spotřebitelé stále více uvědomují význam zdravého životního stylu a kladou důraz na složení potravin. Častěji upřednostňují produkty s jednoduchým složením, minimem cukru a bez zbytečných umělých přísad. Právě enzymatické přípravky umožňují výrobcům těmto požadavkům vyhovět a zajistit dlouhodobou kvalitu pekárenských výrobků. Mezi základní enzymy používané v enzymatických přípravcích jsou amylázy, proteázy a lipázy, jež spadají do skupiny enzymů hydrolázy. Dostává se i k přidavku ostatních druhů enzymů, jakožto oxidoreduktáz v podobě glukózo-oxidázy či transferáz v podobě transglutaminázy. V současné době se na trhu vyskytují přípravky od mnoha výrobců. Jedním z nich je například dánská společnost Novonesis.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 SUROVINY PRO VÝROBU BIOLOGICKY KYPŘENÉHO PEČIVA

1.1 Základní suroviny při výrobě pečiva

Základními surovinami pro výrobu pečiva je pšeničná mouka, voda, sůl a pokud se jedná o biologicky kypřené pečivo dostává se i k přidavku pekárenského droždí (Příhoda et al., 2003).

1.1.1 Mouka

Základní surovinou pro výrobu pekárenských výrobků je mouka. Nejčastěji se jedná o mouku pšeničnou a u výroby chleba také žitnou. Mouku lze dělit dle vlastností na pekárenskou a pečivářenskou. Pekárenská mouka se vyznačuje vyšším obsahem bílkovin ve formě lepku. Tento typ mouky je vhodný pro biologické zrání za pomoci kvasinek. Výsledné těsto z tohoto typu mouky je pružné a vhodné pro výrobu běžného pečiva. Druhý typ mouky pro výrobu pečiva je mouka pečivářská, která obsahuje méně bílkovin ve formě lepku. Tento typ mouky je vhodný pro výrobu trvanlivých výrobků, které jsou kypřeny chemicky (Fellows, 2009).

1.1.2 Voda

Ačkoliv se zdá, že kvalita vody by při výrobě pečiva nemusela hrát až takovou roli, tak je to přesně naopak, jelikož ovlivňuje celý proces výroby. Voda je při výrobě pečiva zodpovědná za proces pečení, kvalitu a dobu následné úchovy pečiva. Používá se jako polární rozpouštědlo, a do těsta se přidává například jako směs vody a jedlé soli ve formě tzv. solanky. Také pomáhá k aktivaci droždí a hydrataci mouky. Voda se váže zejména mezi lepek, škrob a pentozany během procesu míchání. U této suroviny tedy závisí na její teplotě, pH a tvrdosti. Nízká nebo naopak vysoká teplota negativně ovlivňují přidavek kvasinek. Optimální teplota pro růst kvasinek v těstě se pohybuje v rozmezí 25 až 30 °C (Luo et al., 2018). Tvrdost vody je zásadním faktorem při výrobě těsta. Tvrdá voda je nevhodná pro výrobu, jelikož přítomné minerály ve vodě nadměrně zpevňují lepkovou síť. Na druhou stranu měkká voda způsobuje, že těsto je příliš lepkavé a měkké. Množství vody je také důležité, jelikož má zásadní vliv na trvanlivost a celkovou senzoriku finálního výrobku (Sheikh et al., 2023). Hodnota pH vody ovlivňuje tvorbu těsta, ale zejména aktivitu kvasinek. Ideální je využívat vodu s neutrálním nebo kyselým pH, kde jsou kvasinky nejvíce aktivní. Rozmezí nejvyšší aktivity kvasinek se pohybuje v hodnotách pH mezi 4 až 5 (Elena-Madalina et al., 2015).

1.1.3 Jedlá sůl

Sůl je další složkou při výrobě pečiva. Využívá se pro zlepšení technologických a senzorických vlastností produktů. Přídavek soli snižuje aktivitu kvasinek, vaznost vody a ztužuje konzistenci lepkových bílkovin. Do těsta se sůl přidává v množství 1,0 – 2,0 % a využívá se zejména sůl jemně mletá (Příhoda, 2003; Burešová a Lorencová, 2013).

1.1.4 Pekárenské droždí

Poslední složkou biologicky kypřeného pečiva jsou kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*. S touto kvasinkou se spíše setkáme pod pojmem pekařské droždí. Pekařské droždí je základ při výrobě biologicky fermentovaného těsta. Buňky kvasinek spotřebovávají zkvasitelné cukry přítomné v těstě a vytvářejí oxid uhličitý a etanol, což jsou látky zodpovědné za kynutí těsta během fáze kvašení a kynutí v peci. Mimo tyto dva metabolity se v těstě tvoří ve velmi malém zastoupení i další látky, kterými jsou například organické kyseliny či aromatické sloučeniny. Všechny tyto sloučeniny mají vliv na finální výrobek. Produkci těchto sloučenin ovlivňují různé faktory, kterými je například obsah zkvasitelných cukrů, aktivita enzymů nebo množství soli v těstě. Vysoký či nízký obsah cukrů nebo soli v těstě, ovlivňují osmotický tlak kvasinek a zároveň s ním také rychlost fermentace (Struyf et al., 2017a).

1.2 Zlepšující přípravky při výrobě pečiva

Mezi zlepšující přípravky při výrobě pečiva se řadí řada látek. Zákazníci často upřednostňují přídatky přírodních látek před těmi syntetickými. Mezi tyto látky se řadí i ječný slad neboli také sladový výtažek. Existuje řada benefitů, které se pojí s používáním diastatického sladu při výrobě pečiva. Těmito benefity je zvýšená fermentace těsta, zkrácení doby kynutí, lepší propečení kůrky a lepší zpracovatelnost těsta (Hansen a Wadovitch, 2005).

1.2.1 Ječný slad

Ječný slad je konečným produktem sladovnického procesu a používá se k výrobě sladových nápojů nebo se z něj mele mouka. Sladová ječná mouka se vyrábí z ječného sladu a používá se jako zlepšující přísada do různých pekařských výrobků. Rozlišují se dva produkty ječné sladové mouky, diastatická a nediastatická sladová mouka. Diastatická sladová mouka je chuťově neutrální a používá se jako přísada do jiných mouk s nízkou přirozenou diastatickou aktivitou. Tento typ mouky obsahuje aktivní enzymy, které dokážou štěpit škrob na jednodušší cukry, které následně vstupují do Maillardovy reakce a karamelizace. Díky tomu vzniká u pečiva intenzivnější zlatá barva kůrky. Přídavek diastatické sladové mouky také

poskytuje vlhčí výrobek s vyšším obsahem bílkovin. Nediastatická sladová mouka neobsahuje žádné aktivní enzymy, jelikož se upravuje při vyšších teplotách, které enzymy inaktivují. Používá se pro svou výraznou chuť. Má mnohostranné využití, například v obilných výrobcích, kterým dodává jemnější drobenku, lesklý povrch a celkově pečivu dodává vyšší senzorickou hodnotu (Hansen a Wadovitch, 2005; Lukinac a Jukić, 2022).

1.3 Funkční vlastnosti potravinářských přídatných látek

Používání potravinářských přídatných látek (PPL) se řídí nařízením (ES) č. 1333/2008. Tyto látky jsou rozděleny do 26 funkčních skupin. V následujících kapitolách jsou popsány ty, které se při výrobě používají nejčastěji dle průzkumu trhu vybraných obchodních řetězců. Výše zmíněným nařízením se PPL definují jako látky, které se samostatně nekonzumují jako potraviny, ale přidávají se do potravin pro zlepšení technologických procesů při výrobě nebo pro celkové zlepšení vlastností výrobků. Pokud se využívají látky, které dodávají potravinám vůni nebo chuť neměly by se považovat za přídatné. Jedná se o kuchyňskou sůl, bylinky a potravinářské enzymy. Pokud se oddělováním například barvy (pigmentů) či aromatických látek dostává z potravin nebo jiných přírodních zdrojů a následně se využívá k technologickým účelům, měly by se tyto látky nazývat přídatnými. Obecným požadavkem pro označování PPL v potravinách je symbol písmene E a jeho příslušný kód (Evropský parlament a Rada, 2008).

Těmito látkami se rozumí všechny druhy látek používaných v potravinách nebo při jejich zpracování za účelem zlepšení chuti, vzhledu či jiných vlastností ve stopovém množství. V současné době jsou umělé syntetické PPL postupně nahrazovány přírodními. Je zřejmé, že PPL mohou lidem přinést smyslový požitek a obchodní pohodlí, ale mohou také způsobit potenciální rizika pro lidské zdraví. Proto je velmi důležité provádět kontroly obsahu a množství PPL v potravinách. Použití těchto látek musí být bezpečné a nesmí ohrozit spotřebitele (Wu et al., 2022).

1.3.1 Látky zlepšující mouku

Tento druh látek se přidává do mouky či do samotného těsta pro zlepšení kvality pekárenských výrobků. Tyto látky často přispívají ke zvětšení objemu, reologickým vlastnostem těsta, lepší manipulaci s těstem či delší trvanlivosti výrobku. Mezi tyto látky například spadá fosforečnan vápenatý (E 341), síran vápenatý (E 516) či síran amonný (E 517) (Babička, 2012; Bezpečnost potravin, 2025).

1.3.2 Protispékavé látky

Protispékavé látky zajišťují, aby se jednotlivé kusy pekárenských výrobků k sobě nelepily. Aplikace těchto látek může být provedena přímo do těsta nebo postříkem na povrch. Mezi tento druh látek patří uhličitan vápenatý (E 170), celulóza (E 460) nebo fosforečnan vápenatý (E 341) (Pui et al., 2020; Evropský parlament a Rada, 2008; Babička, 2012)

1.3.3 Kypřící látky

Tímto druhem látek se rozumí látky/směsi látek tvořící v těstě plyn – oxid uhličitý za účelem zvětšení objemu těsta a následně jednotlivých klonků pečiva. Díky těmto látkám dochází k nadýchané struktuře výrobků. Nejčastěji se využívá uhličitan sodný (E 500) či uhličitan amonný (E 503) (Evropský parlament a Rada, 2008; Bezpečnost potravin, 2025).

1.3.4 Emulgátory

Emulgátory se rozumí povrchově aktivní přípravky schopné spojit dvě nebo více nemísitelných látek. Nejčastěji se jedná o propojení tekutin voda – olej. Tyto přípravky jsou označeny kódy E 322 až E 495. Emulgátory zlepšují kvalitu pečiva, jelikož zvětšují objem a změkčují strídu. Častým emulgátorem ve výrobcích je zejména lecitin (E 322) nebo estery polyglycerolu s mastnými kyselinami z jedlých olejů (E 475) (Babička, 2012; Wu et al., 2022).

1.3.5 Stabilizátory

Stabilizátory představují skupinu aditivních látek, které slouží k udržení fyzikálně-chemické stability potravinových systémů zejména tím, že umožňují dlouhodobé zachování homogenní disperze složek s omezenou vzájemnou kompatibilitou (např. voda a olej). Zabraňují fázové separaci a zajišťují jednotnou texturu, viskozitu a vzhled produktu. Využívá se zejména fosforečnan vápenatý (E 341) nebo guma guar (E 412) (Wu et al., 2022).

1.3.6 Zahušťovadla

Aplikace těchto látek vede ke zvýšení viskozity potravinového systému, přičemž nedochází k podstatnému ovlivnění jeho sensorických charakteristik. Mezi tento typ látek spadá například karboxymethylcelulóza (E 466), arabská guma (E 414) nebo xantanová guma (E 415) (Wu et al., 2022; Fér potravina, 2025).

1.3.7 Barviva

Barviva jsou druh přídavných látek, které se přidávají do potravin, aby napravily ztrátu barev při přípravě, zlepšily vnímání chuti nebo zvýšily atraktivitu potravin. Barviva přidávaná do potravin mohou být přírodní nebo syntetická. Výhodou syntetických barviv je nižší cena a jsou stabilnější než přírodní. Barvivo, které se může vyskytovat v pekárenských výrobcích je karamel či kulér (E 150a) (Babička, 2012; Wu et al., 2022; Fér potravina, 2025).

1.3.8 Sladidla

Sladidla dodávají sladkou chuť potravinám a jsou častou náhražkou cukru. V poslední době jsou trendem, neboť obsahují podstatně méně energie, což z ní činí sladidlo s nulovým nebo nízkým obsahem kalorií. Náhradní sladidla se dělí dle původu na přírodní (thaumatin), syntetická identická s přírodními (sorbitol E 420, mannitol E 421) a syntetická (aspartam E 951, sukralóza E 955 či cyklamát sodný E 952). Z výživového hlediska se také dělí na výživová (mannitol, sorbitol) a nevýživová (přírodní látky, modifikované přírodní a syntetické látky). Důležité je hlídat maximální dávky těchto sladidel, kterou přijímáme. Náhradní sladidla jsou ve výrobě využívány zejména pro zvýraznění sladké chuti a jsou určena primárně pro diabetiky (Babička, 2012; Fér potravina, 2025).

1.3.9 Plnidla

Plnidla jsou pomocné látky používané v potravinářství k navýšení objemu nebo hmotnosti finálního produktu, přičemž jejich přídavek nemá výrazný vliv na celkový energetický obsah potravin. Typicky jsou organolepticky neutrální – nevykazují vlastní chuť, vůni ani barvu, a tudíž nemění senzorické vlastnosti finálního výrobku. Můžeme setkat s glukonem sodným (E 576) (Babička, 2012; Bezpečnost potravin, 2025).

1.3.10 Ostatní potravinářské přídavné látky

V potravinářském průmyslu se můžeme dále setkat s dalšími PPL. Významnou skupinou jsou antioxidanty, které prodlužují trvanlivost a chrání potravinu před oxidací (žluknutí či změna barvy). Touto látkou může být oxid siřičitý (E 220) nebo kyselina L-askorbová (E 300). Za zmínku stojí také látky zvlhčující, které mají za úkol chránit potravinu před vysycháním. Takovými látkami mohou být například fosforečnany sodné (E 339) nebo propylenglykol (E 1520). Dalšími skupinami PPL jsou čířící látky, lubrikanty, zpevňující látky, lešticí látky a další (Evropský parlament a Rada, 2008; Bezpečnost potravin, 2025).

2 PROCES VÝROBY BIOLOGICKY KYPŘENÉHO PEČIVA

Mezi základní technologické operace při výrobě pekárenských výrobků, zejména tedy při výrobě běžného pečiva a chleba, se řadí mnoho technologických operací, během kterých může docházet k řadě významných chyb, a tím může dojít ke zhoršení kvality finálních výrobků. K základním krokům ve výrobě patří zejména příprava surovin, hnětení, biologická fermentace, dělení, skulování, tvarování, dokynutí a pečení připraveného těsta. Po procesu pečení následuje proces chlazení (Hidalgo a Brandolini, 2014).

Pšeničná mouka dokáže po smíchání s vodou vytvořit trojrozměrné viskoelastické těsto. Charakterizace reologických vlastností těsta je účinná pro předpovídání chování při zpracování a kontrole kvality potravinářských výrobků. Farinograf, mixograf a extenzograf jsou nejběžnější empirické přístroje používané k charakterizaci reologie těsta. Zkoušky založené na těchto přístrojích jsou užitečné pro poskytování praktických informací pro pekařský průmysl. Reologické zkoušky, zejména v lineární viskoelastické oblasti se používají ke sledování struktury a vlastností těst, a také ke studiu funkcí složek těsta (Song a Zheng, 2007).

2.1 Tvorba těsta

Fyzikální a chemické změny vlastností těsta začínají při procesu hnětení. Hnětení je jedním z nejdůležitějších kroků při výrobě pečiva z pšeničné mouky. Pšeničné těsto je považováno za komplexní směs, kde lepek tvoří souvislou síťovou kostru a škrobová zrna fungují jako plnidlo. Při hnětení dochází k homogennímu promíchání složek těsta, hydrataci složek mouky, vytvoření lepkové sítě, která vytváří viskoelastickou strukturu pšeničného těsta a v neposlední řadě dochází k zachycení vzduchových bublin v matrici těsta. Během hnětení dochází k hydratování a interakci bílkovinových složek gliadinu a gluteninu pomocí disulfidických vazeb, což vede ke zlepšení lepkové neboli bílkovinové sítě a je dosaženo optimální struktury těsta. Pšeničný škrob slouží tedy jako plnidlo v lepkové síti a je složený z amylozy a amylopektinu. Velikost škrobových granulí zásadně ovlivňuje vlastnosti těsta, kdy například menší škrobové granule zvyšují elastické vlastnosti těsta (Cao et al., 2019).

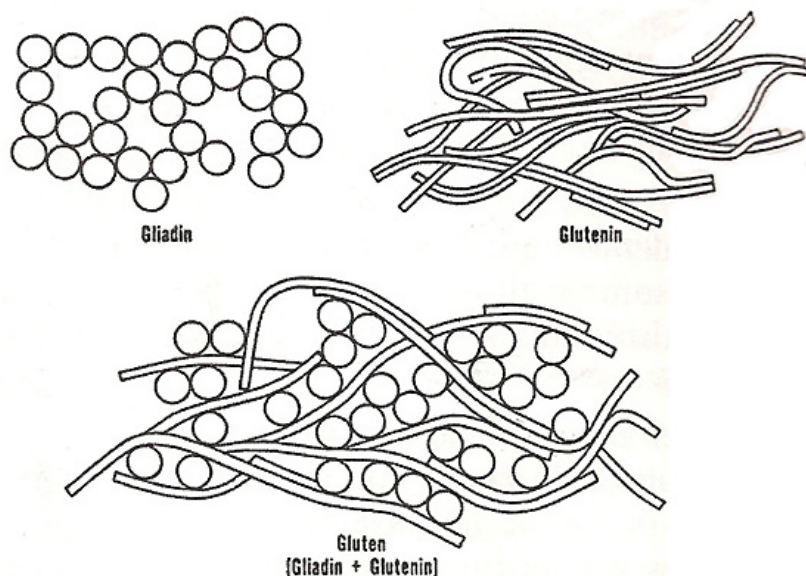
2.1.1 Bílkoviny pšeničné mouky

Pšeničné bílkoviny jsou rozděleny dle Osbornova dělení do čtyř základních skupin, které jsou založeny na rozpustnosti. Rozdělení je následující: albuminy (rozpustné ve vodě), globuliny (rozpustné ve zředěných roztocích soli), gliadiny (rozpustné v 70 % ethylalkoholu) a gluteniny (rozpustné ve zředěných kyselinách a zásadách). Bílkoviny v mouce dále dělíme na ty, které tvoří (gliadin a glutenin, viz obr. 1) a netvoří (albuminy a globuliny) trojrozměrnou lepkovou síť při hydrataci vodou. Právě na množství lepkových bílkovin v pšeničné mouce závisí vzniklá struktura těsta. Je potřeba mít na paměti, že gliadin spadá do skupiny bílkovin prolaminy a důležité je také nezaměňovat bílkoviny glutenin (výskyt v pšenici) a glutelin (výskyt v luštěninách a rýži), i když mají podobné vlastnosti (Barak et al., 2014).

Celkové množství nelepkových bílkovin je v pšeničné mouce zhruba 15 %. Tyto bílkoviny nemají zásadní vliv na vlastnosti těsta. Oproti tomu množství bílkovin tvořící typickou lepkovou strukturu těsta je vyšší. Obsah gliadinu v mouce se pohybuje v rozmezí 40-50 %, zatímco obsah gluteninu se pohybuje v rozmezí hodnot 30-40 % (Burešová a Lorencová, 2013).

Z chemického hlediska jsou gluteniny polymery s vysokou molekulovou hmotností složené z bílkovinných jednotek spojených disulfidickými vazbami a dělí se podle molekulové hmotnosti na nízkomolekulární (LMW) a vysokomolekulární (HMW). Zatímco gliadin je monomerní sférický protein s nižší molekulovou hmotností. Počet a rozložení kovalentních a nekovalentních vazeb mezi gluteny je rozhodující faktor pro tvorbu lepkové sítě a následně tyto faktory ovlivňují reologické vlastnosti těsta a kvalitu výrobku. Zejména při míchání dochází vlivem mechanické síly k přerušení disulfidických a sekundárních vazeb mezi peptidovými řetězci. Podjednotky gluteninu pak vytvářejí disulfidické a nekovalentní vazby, které tvoří základ lepku. Gliadin se do gluteninové sítě dostává nekovalentní vazbou, která těstu dodává viskozitu a roztažnost. Gliadin také interaguje s lipidy za účelem zvýšení roztažnosti těsta. Následně sousední peptidové řetězce mezi sebou opět vytvářejí příčné vazby, které tvoří uspořádanou a viskoelastickou trojrozměrnou síť bílkovin. Tato uspořádaná a viskoelastická trojrozměrná síťová struktura propůjčuje těstu jedinečné reologické vlastnosti, což umožňuje použití pšeničné mouky pro výrobu různých těst (Zhou et al., 2014; Li et al., 2024).

Všeobecně se uznává, že těstu dodávají gluteniny pevnost a pružnost, zatímco gliadiny lepivost (Song a Zheng, 2007).



Obrázek 1 Struktura lepku (Anonym, 1996)

2.1.2 Sacharidy pšeničné mouky

V pšeničné mouce jsou obsaženy monosacharidy, oligosacharidy a polysacharidy. Celkové množství sacharidů v mouce je vysoké, pohybuje se okolo 70-75 %. Z tohoto obsahu činí množství volných cukrů zhruba 1-4 %. V mouce se vykytují škrobové a neškrobové polysacharidy. Mezi škrobové se řadí jeden z nejvýznamnějších složek mouky a tím je škrob. Neškrobové polysacharidy jsou v tenkém střevě lidí nestravitelné a běžně se s těmito polysacharidy setkáme jako s vlákninou. Tyto polysacharidy se dělí na nerozpustné (celulóza) a částečně rozpustné (β -glukany a arabinoxylany) (Burešová a Lorencová, 2013; Marcotuli et al., 2020).

Nejvýznamnějším sacharidem v pšeničné mouce je škrob. Velikost škrobových granulí se liší dle velikosti a rozdělujeme je na velké neboli čočkovité (typ škrobu A) a malé neboli kulovité (typ škrobu B) granule. Škrob je složen z polymerních řetězců amylozy a amylopektinu (viz obr. 2). Základem těchto polymerů jsou glukózové jednotky. Amylóza je lineární molekula obsahující 1000-2000 glukózových jednotek spojených α -D-(1,4) – glykosidickou vazbou a je rozpustná v horké vodě. Amylóza je schopná tvořit šroubovicové struktury. Amylopektin obsahuje tisíce glukózových jednotek, které jsou spojeny α -D-(1,4) – glykosidickou vazbou. Mimo tuto vazbu se vyskytuje také α -D-(1,6) – glykosidická vazba, která je zde přítomna, jelikož amylopektin je větvený a tato vazba se vyskytuje zpravidla jednou za 25 glukózových jednotek ve struktuře (Zhou et al., 2014).

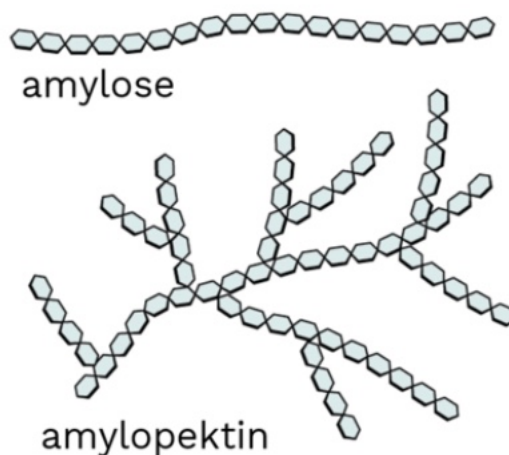
Poměr amyλόzy a amylopektinu se u jednotlivých druhů škrobů z pšenice liší. Obsah amylopektinu v pšenici se obvykle pohybuje v rozmezí 72-75 % a amyλόzy 25-28 %. Výjimkou jsou škroby z mutantních odrůd zrna, které obsahují vysoké množství amyλόzy, nebo škroby, které prakticky obsahují pouze amylopektin, také nazývané jako voskové škroby (Van Hung et al., 2006).

Nativní škrobová zrna jsou nerozpustná ve studené vodě, resp. do teploty 60 °C. Pokud se teplota vody zvýší nad tuto teplotu, molekuly začnou ztrácet svou organizovanost a dochází k nevratným změnám ve struktuře škrobu (Zhou et al., 2014).

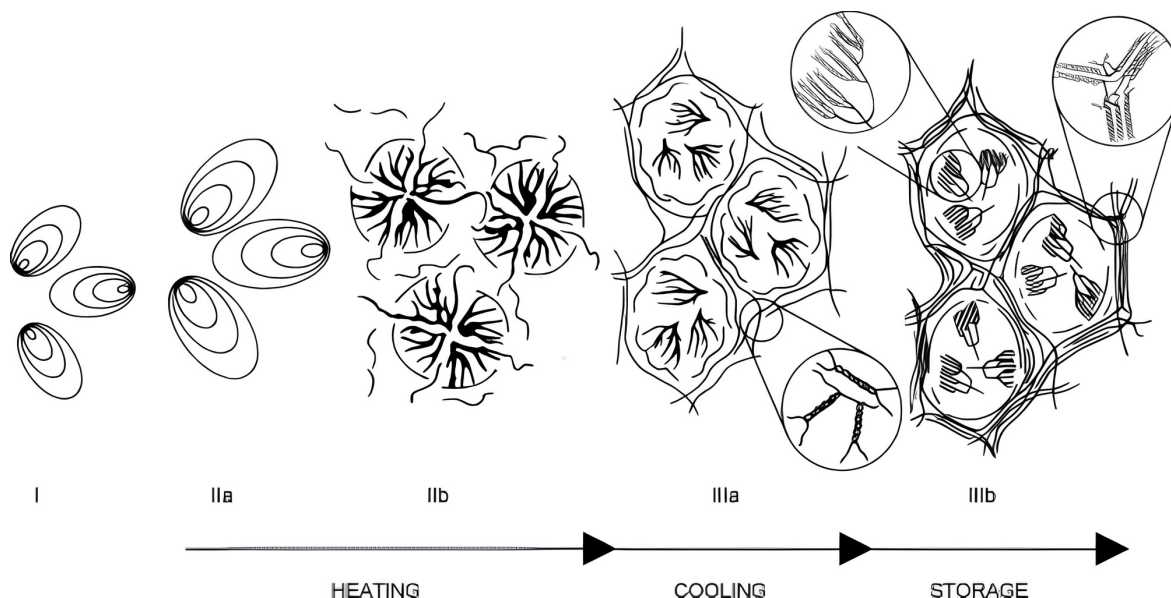
Při zvýšení teploty začne probíhat proces mazovatení škrobu a částice škrobových granulí začnou zvětšovat svůj objem. Při této reakci dojde k rozpadu vazby mezi amyλόzou a amylopektem, které se uvolní do roztoku a vzniká tzv. škrobový maz. Po ochlazení roztoku dochází ke vzniku trojrozměrné sítě, díky interakci vodíkových vazeb mezi amyλόzou a amylopektem, v podobě viskózního gelu (Shevkani et al., 2017).

S interakcemi vodíkových můstků mezi amyλόzou a amylopektem se můžeme setkat i u retrogradace neboli stárnutí pečiva (viz obr. 3). Během retrogradace dochází tedy k interakci amyλόzy a amylopektinu, které znovu vytvářejí uspořádané struktury. U potravin může mít pozitivní či negativní účinek. Retrogradace škrobu zkracuje trvanlivost pečárenských výrobků, což se projeví ztvrdnutím výrobků (Preedy a Watson, 2019).

Pšeničný škrob ovlivňuje vzhled, strukturu a kvalitu mnoha potravinářských výrobků. Během zpracování jsou škrobové disperze vystaveny kombinovanému zahřívání a chlazení, které ovlivňují reologii a konečný stav výrobku (Mason, 2009).



Obrázek 2 Struktura amyλόzy a amylopektinu (Anonym, 2025)



Obrázek 3 Průběh retrogradace škrobu; I nativní škrobové granule, II želatinizace (a) bobtnání (b) a vyluhování amylozy s částečným rozrušením granulí a vzniku škrobového gelu, III retrogradace (a) tvorba amylozové sítě během ochlazování (b) a tvorba uspořádaných krystalických molekul amylopektinu během skladování (Wang et al., 2015)

2.2 Proces pečení

Důležitým faktorem při výrobě, respektive při pečení, je tvorba barvy pečiva. Za barvu jsou zodpovědné Maillardovy reakce (MR) a karamelizace. Tyto procesy jsou spojené s neenzymatickým hnědnutím. Toho je docíleno dodaným teplem a důsledkem reakcí vzniká typické zlatavé zbarvení pečiva. MR jsou souborem mnoha chemických reakcí, ve kterých reagují redukující cukry a aminokyseliny (AMK) při teplotách vyšších jak 50 °C. Co se týče pH, mělo by se pohybovat v rozmezí 9 ± 1 a vodní aktivita by měla být v rozmezí 0,3 – 0,7. Pokud by se hodnoty pohybovaly v jiném rozmezí, mohl by být ovlivněn průběh reakce či by k reakci nemuselo dojít vůbec. Výsledkem MR jsou hnědé pigmenty melanoidiny, zatímco proces karamelizace je spojený s dehydratací a degradací cukrů ve vysokých teplotách. Celý proces MR je založený na reakci aminokyselin, zejména na AMK lysinu, který je prekurzorem MR, a redukujících cukrech. U cukrů se jedná o reakci s glukózou nebo maltózou. Mezi těmito látkami dochází k reakci mezi karbonylovými skupinami. Proces MR lze shrnout do tří kroků, během kterých dochází k tvorbě pigmentů a sensoricky aktivních látek. Prvním krokem MR je tvorba glykosilaminů a Amadorého přesmyk. V tomto kroku se tvoří látka N_ε-fruktolysolysin (FL) reakcí a kondenzací AMK lysinu s glukosou. Následně dochází k Amadorého přesmyku. Druhým krokem je dehydratace a fragmentace sacharidů a Streckerova degradace AMK. V tomto kroku se tvoří meziprodukt reakce zvaný 5 - hydroxymethylfurfural (HMF). Jedná se o furanovou sloučeninu získanou

dehydratací cukrů. Třetím a zároveň posledním krokem je vznik typických hnědých či zlatých pigmentů zvaných melanoidiny. Melanoidiny zatím nespádají do žádné skupiny chemických látek. Jejich tvorba je úměrná surovině, resp. množství cukrů a technologickému zpracování. Z chemického hlediska se jedná o pseudopolymery s vysokou molekulovou hmotností a vysokým obsahem dusíku (Capuano et al., 2008; Helou et al., 2016). Během procesu pečení také dochází k odparu vody z klonku těsta. Samotný odpar vody souvisí s tvořením kůrky pečiva, což koreluje s obsahem cukrů, Maillardovou reakcí a karamelizací. Pokud je v těstě více cukru procesy Maillardovy reakce probíhají rychleji, kůrka se tím pádem také tvoří rychleji, tudíž dochází k menšímu odparu vody a pečivo je následně těžší. Pokud tvorba kůrky probíhá pomaleji, dochází k vyššímu odparu vody a pečivo je následně lehčí (Barbosa-Ríos et al., 2018).

2.3 Základní problémy při výrobě pečiva

Během výroby může u pečiva docházet k různým pekařským vadám. Těmito vadami může být například objemová výtěžnost či vady kůrky a střidy. Tyto procesy jsou spojeny s biologickou fermentací, Maillardovými reakcemi a odparem vody ze střidy (Silva et al., 2022).

2.3.1 Fermentace těsta

Biologická fermentace je důležitým krokem pro vytvoření požadovaných texturních a senzorických vlastností při výrobě zejména běžného pečiva. Ke kypření těsta se využívají kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*. Trh přináší různé druhy droždí, které se mohou ve výrobě použít. Ve výrobě se můžeme setkat s droždím čerstvým, tekutým a sušeným. Čerstvé droždí dosahuje až 70 % vlhkosti, tudíž se musí uchovávat v chladu a jeho trvanlivost je pouze několik dní. Zatímco dehydrotované droždí dosahuje 4 % - 8 % vlhkosti, a přitom si zachovává svoji vitalitu a plynotvornou schopnost. Dehydratované droždí je velkou oblibou velkých pekáren, jelikož se lépe přepravuje a skladuje. Jeho trvanlivost dosahuje až dvou let při správném skladování. Kvasinky během fermentace těsta produkují plyn oxid uhličitý (CO_2), který je zodpovědný za zvětšení objemu pečiva. Vzniká také velmi malé množství etanolu, jež se odpaří při pečení (Vlaštovka, 2007; Gélinas, 2019; Lesaffre, 2025). Fermentační aktivita kvasinek je důležitým aspektem pro kynutí těsta a produkci plynu CO_2 (Birch et al., 2013). Pro fermentační aktivitu jsou důležité dva faktory, jimiž je vitalita a viabilita kvasinek. Termín viabilita se vztahuje k poměru životaschopných (živých) a nevitálních (mrtvých) buněk kvasinek v dané populaci,

zatímco vitalita charakterizuje jejich fyziologický stav, konkrétně schopnost buněk vykonávat metabolické procesy, zejména fermentaci (Hollerová et al., 2005). Substrátem pro kvasinky jsou hlavně zkvasitelné cukry (glukóza, fruktóza či maltóza). Do těsta je často přidáváný řepný cukr, který je pochopen tak, že jen on působí jako substrát pro kvasinky. Nicméně je třeba si uvědomit, že v mouce jsou obsaženy taky enzymy jako je α -amyláza, která štěpí škrob na jednodušší cukry, které kvasinky také mohou využít jako substrát. Přídavkem enzymů může být docíleno snížení přídavku cukru do těsta, přičemž dojde k podobným či stejným účinkům (Struyf et al., 2017b). Důležitá je také aerace těsta neboli provzdušnění. Čerstvě uhnětené těsto obsahuje velké množství velmi malých vzduchových buněk. Tyto vzduchové buňky se během fermentace rozšiřují pomocí produkovaného plynu CO_2 kvasinkami a dochází ke zvětšení objemu pečiva. Důležité je uvědomění, že v těstě, i přes obsah malých buněk vzduchu je anaerobní prostředí a během fermentace vzniká i velmi malé množství etanolu a dalších organických látek ovlivňujících senzorickou hodnotu výrobku (Rezaei et al., 2016; Struyf et al., 2017a). Optimální teplota pro fermentaci těsta se pohybuje v rozmezí 25-30 °C. Při nízké teplotě by docházelo k nedostatečnému kynutí těsta, zatímco při vyšších teplotách by docházelo k úmrtí kvasinek (Munteanu et al., 2019).

2.3.2 Hnětení

Hnětení surovin je základní operací ve většině potravinářských odvětví. Zvyšuje homogenitu tím, že snižuje nerovnoměrnost ve směsích dvou nebo více složek. Míchání slouží ke spojování jednotlivých složek přidaných k sobě v přístroji. Hlavním cílem je úprava funkčních vlastností a zvýšení sjednocení výrobků rovnoměrným rozložením složek v celém objemu (Fellows, 2022).

Při hnětení závisí na mnoha faktorech jako je doba a rychlost hnětení, teplota při hnětení a teplota vody. Při mechanickém hnětení pšeničné mouky s vodou dochází k reakci složek mouky, tedy lepku a škrobu a výsledkem je vznik trojrozměrné sítě ve formě homogenního těsta. Pšeničné bílkoviny v tomto systému tvoří trojrozměrnou síť a pšeničný škrob se pouze do tohoto systému zapojuje jako plnidlo. Doba hnětení je důležitým parametrem při vzniku těsta, jelikož dochází k tvorbě lepkové sítě a provzdušnění těsta. Při hnětení tedy reagují gliadiny a gluteniny. LMW gluteniny se při hnětení rozpadají, jelikož neobsahují tolik disulfidických vazeb ve své struktuře, zatímco HMW gluteniny jich obsahují více a mají zásadní vliv na vývoj lepkové sítě. Pokud dojde k procesu přehnětení těsta, rozpadají se tedy nejdříve LMW gluteniny a následně i HMW gluteniny a dochází k poklesu pevnosti těsta. Další příčinou vady při výrobě pečiva je rychlost a teplota míchání.

Rychlost míchání by se měla postupně zvyšovat, aby vzniklo kompaktní těsto. Pokud by bylo míchání zvoleno rychlé ihned po nadávkování surovin, tak by mohlo být výsledkem velmi lepkavé těsto, které nesplňuje požadavky pro výrobu. Opačným problémem by mohlo být nedostatečně promíchané těsto, které by nevykazovalo parametry kompaktního těsta a obsahovalo by shluky větších částí surovin, což by mohlo následně ovlivnit fermentaci těsta a celkově parametry splňující požadavky pro výrobu. Tento problém můžeme předcházet kontrolou výrobního procesu. S rychlostí hnětení souvisí i teplota těsta, jelikož při mechanickém zpracování dochází k nárůstu teploty v těstě. Teplota je zásadní parametr pro vývoj lepku, reologii těsta a kvalitu pečiva (Cappelli et al., 2020).

Během hnětení těsta je dobré udržovat teplotu těsta pod 27 °C. Pokud dojde k překročení této teploty, těsto se stává lepkavým, což má nepříznivé vlastnosti na výrobu a samotný výrobek. Udržování takové teploty posiluje nekovalentní interakce, což zlepšuje tvorbu bílkovinné sítě a vlastnosti pečiva. V současné době se o hlídání teplot starají samotná výrobní zařízení (Quayson et al., 2016; Cappelli a Cini, 2021).

Při těchto teplotách dochází k bobtnání lepkových bílkovin, a také je tato teplota vhodná pro následnou fermentaci těsta. Pokud by teplota přesáhla teplotu 30 °C mohlo by docházet k denaturaci lepkových bílkovin, a tím ke zhoršení vlastností těsta a následného výrobku (Cappelli et al., 2020).

Posledním faktorem je voda a její teplota. Teplota vody má být přibližně stejná jako teplota ostatních surovin pro přípravu těsta. Co se týče přidavku vody, aby vzniklo kompaktní nelepivé těsto vhodné pro výrobu, tak se využívá různých laboratorních stanovení vaznosti vody v mouce. Typickým přístrojem na stanovení vaznosti vody je farinograf (Cappelli et al., 2020).

2.3.3 Nedostatečný objem a vybarvení výrobku

Objemová výtěžnost souvisí s biologickou fermentací pečiva a lepkem. Tento údaj následně souvisí s kvalitou pekárenských výrobků. Při kynutí těsta dochází k zadržování plynů, díky lepkové síti tvořené gliadinem a gluteninem. Zadržováním plynu CO₂ v hmotě těsta dochází ke zvětšování objemu a zlepšení struktury a měkkosti pečiva. Díky tomuto procesu je pečivo lehčí, nadýchanější, má vyšší objemovou výtěžnost a vzrůstá tedy i atraktivita výrobku pro zákazníka. Zatímco nízká objemová výtěžnost souvisí s hutným pečivem či slabou aktivitou kvasinek. Vzniká nedokynuté těsto a klesá tedy jeho atraktivita (Monteiro et al., 2021; Verdonck et al., 2023). Nízká objemová výtěžnost může také souviset i s nízkou enzymovou

aktivitou endogenní α -amylázy, dochází k nízké produkci jednoduchých cukrů, s čímž souvisí malá produkce plynu CO_2 (Satouf a Köten, 2024).

Mezi pekařské vady dále spadají vady kůrky a střídy. Co se týče viditelných vad u pečiva, tak se jedná zejména nepravidelný či jinak narušený tvar pečiva, což je důsledkem špatného zacházení s těstem během technologického postupu. Vadou může být také praskání kůrky pečiva, což je způsobeno odparem vody ze střídy (viz obr. 4). Praskání může být žádoucí, ale i nežádoucí. Pečivo může být také zploštělé, což svědčí pravděpodobně o špatné fermentaci těsta, také to může být i příčinou hutné a lepivé střídy výrobku. Kůrka pečiva může vykazovat barevné odchylky, například tmavá kůrka může být nahořklá, a tím snižuje senzorickou hodnotu pečiva. Opačným případem může být kůrka světlá, tedy nedopečená. S tím souvisí i střída, která je tím pádem vlhká a může docházet k brzkému kažení neboli plesnivění výrobku. Světlá kůrka může být také způsobena nízkou enzymovou aktivitou α -amylázy, která naštěpila příliš malé množství dextrinů ze škrobu, což ovlivnilo proces Maillardovy reakce a karamelizace. Také se můžeme setkat s kůrkou znečištěnou, která může vykazovat kontaminaci výrobku, například díky znečištěnému pásovému dopravníku, plechům či přeprávkám. U střídy může dojít k jejímu tzv. spadnutí, tedy oddělení od kůrky chleba (Bezpečnost potravin, 2011; Satouf a Köten, 2024).

Řešením či předcházením těchto vad mohou být přídavky enzymatických přípravků do mouky či těsta. Díky těmto přípravkům dochází ke zlepšení průběhu fermentace, reologických vlastností těsta či samotného výrobku (Novonesis, 2025).



Obrázek 4 Prasklá kůrka pečiva (Anonym, 2023)

3 TRADIČNÍ ENZYMY PŘI VÝROBĚ PEČIVA

Enzymy se dle enzymové komise (EC) klasifikují na 7 základních skupin. Těmito skupinami jsou oxidoreduktázy (EC1), transferázy (EC2), hydrolázy (EC3), lyázy (EC4), izomerázy (EC5) a ligázy (EC6), od roku 2018 je k těmto přidána nová skupina enzymů translokázy (EC7). Různé enzymy mají různé vlastnosti a funkce, proto probíhá neustálý výzkum, který studuje jejich strukturu a funkci (Tao et al., 2020).

Přidávání enzymů do pekárenských výrobků se řídí nařízením (ES) č. 1332/2008 o potravinářských enzymech (Evropský parlament a Rada 2008).

Každá klasifikační skupina enzymů má svůj mechanismus a funkci, díky kterému jsou uskutečněny biochemické reakce (viz tabulka 1).

Tabulka 1 Přehled klasifikačních skupin, mechanismu reakcí a vybraných zástupců enzymů

Klasifikační skupina	Funkce / mechanismus	Typický zástupce v pečivu
(EC1) Oxidoreduktázy	Katalyzují reakce, dochází k přenosu elektronů mezi dvěma molekulami, jedna látka je oxidována a druhá redukována.	Glukózo-oxidáza (EC 1.1.3.4)
(EC2) Transferázy	Přenos různých skupin, př. (-amino či -glykosyl)	Transglutamináza (EC 2.3.2.13)
(EC3) Hydrolázy	Štěpí vazby v molekulách pomocí molekul vody (v pekárenském průmyslu hojně zastoupené)	Amyláza (EC 3.2.1.1) Proteáza (EC 3.4.2.1)
(EC4) Lyázy	Nehydrolyticky štěpí vazby mezi C-C či C-N	Pyruvátdekarboxyláza (EC 4.1.1.1)
(EC5) Izomerázy	Katalyzují intramolekulární změny v substrátu, vzniklý produkt je izomerem původní molekuly	Glukóza-6-fosfátizomeráza (EC 5.3.1.9)
(EC6) Ligázy	Katalyzují syntetické reakce spojené s hydrolýzou ATP, kdy dochází k uvolnění energie potřebné pro biosyntetické procesy	V pekařství se nevyužívají
(EC7) Translokázy	Zajišťují transport látek přes biologické membrány a umožňují specifický přenos atomů a molekul.	V pekařství se nevyužívají

(zdroj: Fernandes, 2010; Muzzalupo 2013; Tao et al., 2020)

V pekárenském průmyslu jsou enzymy značným přínosem pro výrobu. Poskytují značné výhody od vývoje těsta až po konečný výrobek. Pomáhají prodlužovat trvanlivost, zlepšují fermentaci a texturní profil, zesvětlují drobenku či zintenzivňují barvu kůrky a v neposlední

řadě zvětšují objem výrobků. Tyto faktory celkově zvyšují kvalitu výrobků a zlepšují ekonomický dopad pro výrobu (Kornbrust et al., 2012; Chowdhury et al., 2024).

Tyto látky jsou biokatalyzátory biochemických reakcí, které lze použít v potravinářském průmyslu jako účinnou, bezpečnou a ekologickou alternativu ke konvenčnímu zpracování potravin (Zhang et al., 2018).

Enzymy v pekárenství dělíme na endogenní (obsažené v mouce) a exogenní (přidané do mouky nebo těsta). Enzymy se do mouky při výrobě přidávají zejména k její standardizaci, tedy k tomu, aby bylo zajištěno během celého procesu ke stejnému chování těsta a kvalitě výrobků. Ve výrobě často dochází k přidavku směsí enzymů, jelikož různé druhy enzymu mezi sebou vykazují synergické účinky a tím dochází ke zlepšení kvality výroby (Muzzalupo, 2013).

Samotný obsah enzymů v pšeničné mouce je nízký a nachází se zde amylázy, proteázy a lipázy. Z amyláz se setkáváme s α -amylázou (endogenní), β -amylázou (exogenní), které štěpí (1,4) – glykosidické vazby. α -amyláza štěpí škrob náhodně, zatímco β -amyláza jej štěpí od neredukujícího konce na jednodušší dextriny. Proteolytická a lipolytická aktivita je nízká (Burešová a Lorencová, 2013).

3.1 Konkrétní enzymy a jejich vliv na vlastnosti výrobku

Mezi enzymy využívané v pekárenském průmyslu patří proteázy štěpící bílkoviny a amylázy štěpící škrob. Amylázy dále pomáhají udržovat vlhkost pečiva, a tím prodlužují jejich trvanlivost. Oba tyto enzymy upravují reologii těsta a zlepšují fermentaci. Dalšími skupinami jsou lipázy a oxidázy, jež vylepšují strukturu těsta emulgací a oxidací. Lipázy také produkují mastné kyseliny a jejich deriváty, které přispívají k chuti a vůni výrobku. Třetí skupinou jsou xylanázy a celulózy. Tento typ enzymů optimalizuje zpracování těsta změnou struktury vlákniny. Dalšími enzymy ve výrobě jsou také oxidoreduktázy a hydrolázy. Ostatní skupiny se při výrobě pečiva nevyužívají (Chowdhury et al., 2024).

3.1.1 Oxidoreduktázy

Významným enzymem při výrobě pečiva je glukózo-oxidáza (GOX). GOX katalyzuje oxidaci glukózy na peroxid vodíku a kyselinu glukonovou, která je zodpovědná za pevnější a pružnější těsto se suchým povrchem. Tyto enzymy se úspěšně používají v potravinách a nápojích pro zvýšení jejich trvanlivosti. Peroxid vodíku uvolněný GOX má antimikrobiální potenciál a lze jej snadno odstranit použitím katalázy. GOX lze také použít jako oxidační

činidlo při přípravě chleba namísto bromičnanu draselného (karcinogenní činidlo), který je nyní v mnoha zemích zakázán. GOX posiluje lepek, zlepšuje konečnou strukturu chleba a zvyšuje jeho kvalitu (Dahiya et al., 2020). U výrobků z rýžové mouky byla zaznamenána změna bílkovin této mouky v důsledku snížení koncentrace thiolových skupin a aminoskupin. Došlo ke zvýšení elasticity, viskozity a zlepšení objemu a textury výrobku (Gujral a Rosell, 2004).

3.1.2 Transferázy

Transferázy, mezi něž patří i transglutamináza (TsG), představují skupinu významných enzymů s klíčovými funkcemi v potravinářství. TsG katalyzuje acyl-transferové reakce při nichž se vytváří příčné vazby vznikající mezi lysinovými a glutaminovými zbytky za vzniku vazby, přičemž se nijak nemění nutriční hodnota lysinového zbytku. TsG disponuje zlepšujícími účinky při výrobě chleba, které jsou srovnatelné s oxidačními zlepšujícími látkami. TsG má pozitivní vliv na absorpci vody v těstě a pevnost drobenky pečiva. Využití tohoto enzymu pozitivně ovlivňuje ekonomiku provozu (Gerrard et al., 1998). Funkcí TsG je snášenlivost negativních účinků v těstě, ke kterým může dojít při předávkování těsta jinými enzymy (Goesaert et al., 2005).

3.1.3 Hydrolázy

Většina enzymů hraje důležitou roli v pekárenském průmyslu. Nicméně největší roli hrají hydrolázy, které jsou nejdůležitější a nejúčinnější. Do této klasifikační skupiny spadají amylázy, xylanázy, proteázy a mnoho dalších (Motta et al., 2023).

Amylázy jsou nejpočetnější skupinou enzymů využívaných při výrobě pečiva. Jejich pozitivní účinek na pekárenské výrobky je zejména na objem chleba, texturní vlastnosti střídy, barvu kůrky či rozvoj chuti. Tento druh enzymu se získává z mikroskopické houby *Aspergillus oryzae*, anebo také z bakterií rodu *Bacillus* či *Clostridium*. Amyláza je definovaná jako enzym rozkládající škrob (Abada, 2019). V pekárenském průmyslu je hojně využívána endogenní, obsažená již v mouce, α -amyláza. Dále se často využívá maltogenní α -amyláza a amyloglukosidáza (Kornbrust et al., 2012). Endogenní α -amyláza v těstě štěpí a redukuje poškozený škrob na kratší dextriny náhodně mezi (1,4) – glykosidickými vazbami. Vzniklé jednodušší cukry, zejména maltóza a glukóza, následně působí jako substrát pro kvasinky. Díky tomuto procesu dochází k vyšší objemové výtěžnosti a lepší chuti a vzhledu pečiva (Satouf a Köten, 2024). Exogenní amylázy jako jsou β -amyláza a amyloglukosidáza (AMG) štěpí (1,4) – glykosidické vazby od neredukujícího konce škrobu.

AMG dokáže štěpit i (1,6) – glykosidické vazby, tím opět vznikají jednodušší cukry, které vstupují do procesu MR a karamelizace a pomáhají vzniku zlatavé kůrky pečiva. AMG významně podporuje proces fermentace těsta, následné zlatavé vybarvení kůrky a zvětšení objemu pečiva (Kornbrust et al., 2012; Satouf a Köten, 2024). Tento typ enzymu má teplotní optimum mezi 70-80 °C, nicméně amylázy dokážou překonávat i vyšší teploty než je želatinace škrobu a jsou účinné i při teplotě 90 °C (Satouf a Köten, 2024). Důležité je dbát na množství přídavku těchto enzymů do těsta. Pokud by bylo zvoleno vyšší dávkování, došlo by k rozsáhlé hydrolýze a výsledný produkt by byl příliš lepkavý, gumový a vlhký, což by snižovalo jeho atraktivitu (Lagrain et al., 2008). Maltogenní amyláza odštěpuje maltózu z neredukujícího konce škrobu. Tento enzym má schopnost zanechávat páteřní strukturu amylopektinu neporušenou, přičemž z molekul škrobu odštěpuje malá množství molekul cukru. Výhodou použití tohoto enzymu je, že pečivo zůstává déle měkčí a je trvanlivější (Cereal Foods World, 1990).

Další významnou skupinou spadající pod hydrolázy jsou proteázy, známé také jako peptidázy. Katalyzují rozklad peptidových řetězců v bílkovinách. Dělí se na endopeptidázy, které štěpí vnitřní peptidové vazby v molekulách bílkovin, a exopeptidázy, které hydrolyzují koncové peptidové vazby a uvolňují volné aminokyseliny. Proteázy pocházejí z živočichů, rostlin a mikroorganismů. Nejznámější proteázou je enzym z telecího žaludku chymosin, mikrobiální proteázy si získaly větší přízeň kvůli nákladům, udržitelnosti a etickým otázkám. Z rostlinných zástupců se můžeme setkat s bromelainem z ananasu, papainem z papáji. Tyto enzymy ovšem neobsahují lepek a používají se při pečení ke zvýšení roztažnosti těsta (Chowdhury et al., 2024). I přes dostupnost těchto enzymů jsou nejpoužívanějšími mikrobiální enzymy z bakterií rodu *Bacillus* a *Pseudomonas*. Tyto enzymy jsou upřednostňovány díky jejich rychlé produkci a genetické flexibilitě (Moodie, 2001). Tento druh enzymu se využívá ke snížení pevnosti lepku, pokud se ve výrobě vyskytne mouka s vysokým obsahem bílkovin. Výsledným účinkem je zlepšení pružnosti těsta a zabránění trhání těsta při zpracování (Dahiya et al., 2020).

Významnou skupinu enzymů náležících do třídy hydroláz představují také hemicelulázy. Jejich funkcí je hydrolyzovat hemicelulózy, což jsou polysacharidy sestávající z xylanu, xylobiózy, arabinoxylanu. Do této skupiny spadá enzym xylanáza. Tento typ enzymu je vhodné ve výrobě využívat spolu s jinými enzymy k dosažení požadovaných reologických vlastností (Shallom a Shoham, 2003; Miguel et al., 2013). Příkladem enzymů, se kterým je vhodné používat xylanázy jsou například amylázy, lipázy

nebo oxidoreduktázy (Collins et al., 2006). Xylanázy náhodně štěpí β -D-(1,4) – xylosidické vazby xylanu. Principem je rozložit nerozpustné arabinoxylany, čímž se uvolňuje voda vázaná na pentosany a přerozděluje se do lepku. Tento typ enzymu se získává z plísně rodu *Aspergillus*. Xylanázy při správném použití zvětšují objem chleba při pečení a snižují lepivost a zlepšují manipulaci s těstem, taktéž prodlužují trvanlivost pečiva (Butt et al., 2008; Chowdhury et al., 2024).

Lipázy tvoří další významnou součást skupiny hydroláz. Často se využívají při výrobě mléčných výrobků, při úpravě vaječných žloutků nebo při úpravě lecitinu. Lipázy mimo chování jako pomocné látky, také ovlivňují lipidové složky v těstě a často bývají nesprávně označeny jako emulgátory (Gerits et al., 2014). Lipázy jsou schopné hydrolyzovat karboxylové estery acylglycerolu. Hlavními producenty lipáz jsou vláknité houby *Apergillus* sp. a *Rhizopus* sp., kvasinka *Candida* sp. nebo bakterie *Pseudomonas* sp. Lipázová aktivita v pšeničné mouce světlé je obecně velmi nízká, aby došlo k tzv. žluknutí v důsledku hydrolýzy přítomných lipidů. Nejčastěji používanými jsou fosfolipázy, které mohou modifikovat polární a nepolární lipidy. Využití lipáz dochází ke zlepšení zpracovatelnosti a zvýšení pevnosti těsta. Stabilizují také vzduchové bubliny v kloncích pečiva v počátku pečení, tím dochází ke zlepšení textury drobenky a zvětšení objemu pečiva (Satouf a Köten, 2024). Tento typ enzymu by se neměl využívat v těstech, které obsahují vyšší obsah mléčného tuku, aby nedošlo k senzorickým vadám (Si, 1997). Účinek lipáz byl srovnán s klasickým přídatkem emulgátoru diacetylesteru kyseliny vinné a bylo zjištěno, že lipázy mohou mít vyšší pozitivní účinek v těstě než přídatky diacetylesteru, s čímž souvisí také ekonomická stránka provozu, kdy enzymy jsou levnější než samotný emulgátor (Gerits et al., 2014). Využívají se zejména k obohacení chutě a vůně (Zhang et al., 2018).

Dalším zajímavým enzymem využívaným v pekárenském průmyslu je L-asparagináza. Tento typ enzymu snižuje množství akrylamidu vzniklého během procesu pečení pomocí Maillardovy reakce mezi aminokyselinou asparaginem a redukujícími cukry při vysokých teplotách. Akrylamid je známým neurotoxinem. Tento enzym přeměňuje látku asparagin na aminokyselinu kyselinu asparagovou, čímž se snižuje hladina akrylamidu. Enzym nijak nemění senzorické ani reologické vlastnosti pečiva. Akrylamid je látka, která vzniká ve větší míře v potravinách obsahující vyšší množství škrobu při smažení nebo pečení ve vysokých teplotách (Hendriksen et al., 2009; Mohan Kumar et al., 2014).

V neposlední řadě stojí zmínka také o enzymu fytáza. Fytáty jsou antinutriční látky dostupné v obilovinách používaných pro přípravu chleba. Tyto obilovinu fytáty využívají

jako zásobní složku fosforu. Enzym fytáza uvolňuje fosfor, vápník, hořčík, zinek a železo, jež jsou vázané ve fytátu a pro kvasinky v těstě jsou obtížně dostupné. Odbourání fosforu z fytátu významně podporuje fermentaci, jelikož fosfor podporuje růst a aktivitu kvasinek. Přídavek tohoto enzymu zlepšuje fermentaci, objemovou výtěžnost, udržuje tvar chleba, taktéž je dosaženo měkké drobenky. Přídavkem dochází ke zlepšení texturních vlastností. Zisk tohoto enzymu opět souvisí s mikroorganizmy. Je získáván například z *Escherichia coli* či *Klebsiella terrigena*, ale i ze samostatné *Saccharomyces cerevisiae* (Dahiya et al., 2020).

3.2 Trendy aplikace enzymů v pekárenských výrobcích

Dnešní spotřebitelé velmi dbají na své zdraví a hledají potraviny s menším množstvím umělých přídatných látek, cukru a kratším složením uvedených na etiketách výrobků. Tento trend se výrazně odráží i při výrobě pečiva, kde roste zájem nejen o tradiční chléb a běžné pečivo, ale také o produkty v bio kvalitě či bez lepku. Zároveň s těmito požadavky požadují zákazníci podobné, až stejné senzorické vlastnosti, typickou strukturu a vzhled pekárenských výrobků. Enzymatické přípravky pomáhají výrobcům uspokojit poptávku a udržet si stejnou kvalitu výrobků i v následujících dnech. Výhradním distributorem celosvětového portfolia enzymů je Dánská společnost Novonesis (Univar solutions, 2024).

Využití potravinářských enzymů ve výrobě může mít příznivý vliv na snížení plýtvání pečivem. Přidávky enzymů do těsta zabraňují následné rekrystalizaci škrobu v pečivu. Tím dělají pečivo měkčím a je prodloužena jeho trvanlivost (Novonesis, 2020).

Společnost Novonesis, od které byl dodán enzym GoldCrust, použitý v praktické části, nabízí velké množství enzymových přípravků, které lze využívat v pekárenském průmyslu. Většina produktů je v granulované formě, vyjma některých, které mohou být ve formě kapalné. Nabízené přípravky jsou rozděleny dle jejich účinku na enzymy udržující čerstvost výrobků, zlepšující vlastnosti těsta, zlepšení roztažnost těsta, posílení lepku, přitažlivý vzhled a enzymy upravující mouku. Dále jsou dostupné také enzymy využívající se při výrobě dortů či sušenek, mezi které spadá přípravek redukující množství akrylamidu (Novozymes, 2016).

Mezi enzymy udržující čerstvost pečiva, tzn. pečivo zůstává měkké, elastické a vlhké spadají enzymy s obchodním názvem Novamyl (amyláza), jež je dostupný v několika verzích, Sensea a BAN. Novamyl zvyšuje měkkost drobenky a elasticitu. Výhodou produktu Novamyl Pro je, že udržuje výrobek čerstvý delší dobu. Novamyl 3D dodává navíc dojem vlhčího produktu. Novamyl Rye dodává čerstvost a elasticitu výrobkům z žitné mouky.

Novamyl Boost se řadí mezi nejnovější produkt, který výrazně zlepšuje měkkost a elasticitu. Posledním produktem je Novamyl L, který má stejné základní funkce jako Novamyl, ale je v tekuté verzi. K těmto výrobkům se řadí také enzym Sensea (lipáza), ten je vhodný pro výrobu balených chlebů, a dodává jim čerstvost po delší dobu. Sensea Wrap (proteáza) je využíván při výrobě wrapových placek, tzn. tortill a udržuje čerstvost a rolovatelnost. BAN (amyláza) je produkt zajišťující měkkost a trvanlivost výrobků, a jde o organický přípravek (Novozymes, 2016, Novonesis, 2025).

Pro zlepšení vlastností těsta jako je stabilita a zpracovatelnost a získání pečiva s lepším vzhledem či strukturou je vhodné použít přípravky Panzea, Pentopan, Fungamyl a Cellulast. Produkt Panzea (xylanáza) zajišťuje robustnější vzhled, vyšší objemovou výtěžnost, lepší barvu a texturu. Výrobek Pentopan (xylanáza) je vhodným řešením ke zlepšení vlastností těsta, který nabízí dobrý poměr mezi náklady a výkonem. Je vhodným přípravkem pro těsta s nízkým pH, a je vhodný pro ekologické výrobky. Pentopan Mono (xylanáza) poskytuje nákladově efektivní úpravu, zvyšuje objem a kypření těsta. Fungamyl Super MA je směs enzymů působící v synergii. Standardizuje mouku, zvyšuje objem a zároveň zlepšuje vzhled a strukturu pečiva. Produkt Cellulast (celuláza) se využívá ke standardizaci celozrnné mouky, tím dochází ke zlepšení objemové výtěžnosti, vzhledu a textury. Je vhodný pro ekologické výrobky (Novozymes, 2016, Novonesis, 2025).

Pro zpevnění těsta se využívají enzymové přípravky s obchodním názvem Lipopan, který je dostupný v několika verzích. Lipopan F (fosfolipáza) zpevňuje těsto, zvětšuje objem a zlepšuje strukturu drobenky. Lipopan Max a Lipopan Xtra (fosfolipázy) mají obdobné vlastnosti a jsou vhodnou a nákladově efektivní náhradou emulgátorů, které se snaží výrobci omezit. Enzym přináší zvýšenou pružnost při pečení, lepší objem a světlou drobenku. Také je velmi tolerantní k přísadám citlivým na lipázu jako je například máslo. Lipopan Fortis (fosfolipáza) také snižuje spotřebu emulgátorů a poskytuje zpevnění těsta a lepší strukturu drobenky. Lipopan 50 (lipáza) poskytuje lepší strukturu drobenky, což pomáhá snižovat množství odpadu vznikajícího při krájení chlebů. Lipopan Elite je opět nákladově efektivní řešením, jak snížit spotřebu emulgátorů ve výrobě. Zlepšuje vlastnosti bezlepkových produktů, tím že ztužuje těsto, přináší větší pružnost v peci a větší objem bochníku, též dodává pečivu světlou drobenku (Novozymes, 2016, Novonesis, 2025).

Vhodným přípravkem pro zlepšení kvality pečiva jsou také enzymy, které zpevňování lepkové sítě. Příkladem takového produktu je granulovaný enzymový přípravek Gluzyme Fortis (glukózo-oxidáza), jež poskytuje vysokou spolehlivost a vysoký výkon

v obtížných podmínkách. Enzymový přípravek odolává vysokým teplotám a pomáhá zvyšovat standardy kvality pečiva v oblastech s teplým klimatem (Novozymes, 2016, Novonesis, 2025).

Pro zvýšení atraktivního vzhledu pečiva se využívají enzymové přípravky dodávající pečivu intenzivní zlatavou barvu kůrky, zkracují dobu pečení, zvětšují objem a zvyšují vlhkost drobenky. Výhody těchto enzymů v pečivu jsou nejčastěji u předpečeného a částečně upečeného mraženého zboží určenému k dopékání. Enzymové přípravky jsou dostupné pod obchodními názvy GoldCrust a AMG, jedná se o glukamylázy. AMG je vhodný přípravek pro výrobu ekologických výrobků (Novozymes, 2016, Novonesis, 2025).

Důležité jsou také přípravky standardizující kvalitu mouky, jedná se o amylázy. Enzymový přípravek Fungamyl upravuje aktivitu α -amylázy. Druhým dostupným přípravkem je Fungamyl Prime upravující číslo poklesu v závislosti na dávkování. Přidávky tohoto typu zabraňují kolísavé kvalitě výrobků. Výrobci oba přípravky přinášejí větší objemovou výtěžnost a zintenzivnění barvy kůrky pečiva (Novozymes, 2016, Novonesis, 2025).

Posledním enzymem, který stojí za zmínku je enzymový přípravek Acrylway, který snižuje obsah akrylamidu v pečivu a pochutinách až o 95 %. Enzym nikterak neovlivňuje chuť, texturu ani vzhled konečných výrobků. Přípravek využívá funkčních vlastností enzymu asparagináza (Novozymes, 2016, Novonesis, 2025).

Významný přínos v oblasti potravinářských enzymů v Evropské Unii nese dle průzkumu trhu také Německá společnost AB Enzymes. Společnost se zajímá o vývoj a výrobu v oblasti potravinářství. Mezi hlavní oblasti zájmu této společnosti patří vývoj enzymů pro pekárenský průmysl, zpracování obilovin či krmiva pro zvířata a další (AB Enzymes, 2025).

Mimo Evropskou Unii se na trhu vyskytují také výrobky od Mexické společnosti EnMex. Společnost je průmyslový výrobce mikrobiálních enzymů s jejich následným využitím v potravinářském, nápojářském a krmivářském průmyslu (Kerry group, 2025).

3.2.1 Průzkum trhu o aplikaci enzymů v pekárenských výrobcích

Byl proveden průzkum trhu složení pekárenských výrobků a bylo zjišťováno, zda výrobci přidávají enzymy do pečiva za účelem zlepšení jeho kvality. Průzkum byl proveden z dostupných informací na webových stránkách obchodních řetězců Tesco, Albert a Billa.

Bylo zhodnoceno složení nebalených i balených chlebů, běžného a jemného pečiva. Výrobci dodávající výrobky do obchodních řetězců často neuvádí skupinu enzymů, ale pouze jen informaci, že výrobek obsahuje enzymy, jak udává evropská legislativa. Někteří výrobci ve složení chlebů uvádí, že výrobek obsahuje oxidoreduktázy a hydrolázy či premix enzymů. Ostatní uvádějí, že se enzymy v pečivu nachází ve formě pekařských zlepšujících přípravků anebo jako látky zlepšující mouku, ale neuvádějí jaké. Většina výrobců chleba a běžného pečiva stále upřednostňuje diastatické sladové výtažky, jež obsahují aktivní enzymy a potravinářské přídatné látky ke zlepšení kvality pečiva (Albert ČR, s.r.o., 2025; Billa, spol. s r. o., 2025; Tesco Stores ČR a.s., 2025).

Také byla vedena e-mailová komunikace s paní Ing. Hemelíkovou z pekárny NOPEK, a.s. Paní inženýrka sdělila, že do běžného pečiva a chleba přidávají zlepšující přípravky s obsahem enzymů, a to zejména amylázy, xylanázy a celulázy. Mezi jejich primární dodavatele těchto přípravků patří tuzemské společnosti IREKS ENZYMA s.r.o, Brno; PFAHNL BACKMITTEL, spol. s.r.o., Litomyšl; Zeelandia spol. s.r.o., Malšice a Backaldrin s.r.o, Kladno.

II PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo ověřit funkční vliv enzymu amyloglukosidáza v biologicky fermentovaném pečivu a jeho vliv na celkový výrobek, zejména na barvu kůrky. Také byla proměřena barva střídy vzorků. Následně byla provedena texturní profilová analýza výrobků, pro zjištění, zda enzym ovlivňuje také texturu výrobků. V neposlední řadě byly proměřeny fyzikální vlastnosti vzorků, kterými byla hmotnost, objem a rozměry (šířka, výška). Z těchto stanovených hodnot byla vypočtena ztráta pečením a specifický objem. Úkolem bylo připravit 4 druhy vzorků, prvním vzorkem byl kontrolní vzorek bez přídavku enzymu a třemi dalšími vzorky byly vzorky s přídavkem enzymu v těstě o koncentraci 0,005 %, 0,010 % a 0,015 %. Výsledky měření těchto vzorků byly porovnány a byl stanoven vliv enzymu na pekárenské výrobky.

Dílčí cíle:

- Příprava kontrolních vzorků a vzorků s obsahem enzymu
- Měření barvy vzorků pečiva
- Texturní profilová analýza
- Měření fyzikálních vlastností pečiva
- Statistická analýza dat

5 MATERIÁL A METODIKA

Kapitola materiál a metodika je zaměřena na charakterizaci surovin použitých při výrobě vzorků pečiva. Kapitola se dále zabývá samotnou přípravou těst pro výrobu biologicky fermentovaného pečiva a popisem jednotlivých metod a přístrojů využitých během výroby.

5.1 Charakteristika použitých surovin

Byla použita pšeničná mouka hladká světlá 00 Extra od výrobce GoodMills s.r.o., ČR; pitná voda o teplotě 23 ± 2 °C; pekárenské sušené droždí (kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*) od výrobce Lesaffre a.s., ČR; cukr krystal od výrobce cukrovar Vrbátky a.s., ČR; jedlá sůl s jódem (chlorid sodný) od výrobce K+S, závod Solné mlýny, ČR.

5.1.1 Ječný slad

Do standardu byl přidán ječný slad pro podpoření kynutí a tvorbu zlatavé kůrky od prodejce Sladovna s.r.o., ČR. V ječném sladu jsou obsaženy enzymy, zejména amylázy, které podporují uvolňování maltózy. Tím se zvyšuje obsah redukujících cukrů v těstě, a s tím souvisí tvorba intenzivní hnědé barvy díky Maillardovým reakcím (Belcar et al., 2022).

5.1.2 Enzym amyloglukosidáza

Vedle kontrolních vzorků byly také připraveny těsta obsahující tři různé koncentrace enzymu GoldCrust od výrobce Novonesis. Enzym GoldCrust lze zařadit do skupiny enzymů hydrolázy, blíže se jedná o amyloglukosidázu s označením EC 3.2.1.3. (Lambré et al., 2022). Jedná se o exoamylázu, která využívá inverzní mechanismus ke štěpení α -glykosidických vazeb na neredukujících koncích amyulózy a amylopektinu, tím vznikají nízkomolekulární sacharidy v β -anomerní formě. Amyloglukosidáza dokáže kompletně katalyzovat přeměnu škrobu na β -glukózu. Následně zvýšená hladina redukujících cukrů v těstě vede k tvorbě produktů Maillardovy reakce, která zesiluje barvu a chuť pečiva. Tyto enzymy také dokážou lépe zadržovat vzniklý plyn v těstě, snižují viskozitu, a tím zlepšují objem a měkkost hotového produktu (Muzzalupo, 2013; Novonesis, 2025).

5.2 Postup výroby pečiva

Byly připraveny dva typy kontrolních vzorků s rozdílnou vazností vody pro zjištění optimální konzistence těsta. V rámci pekárenského pokusu byly připraveny dva druhy standardů pšeničného pečiva o vaznosti vody 58 % a 63 %. Výroba pekařského pokusu

probíhala podle ICC standardu č. 131 (International Association for Cereal Science and Technology, 1980). Hmotnosti navážených surovin byly stanoveny podle zjištěné vaznosti vody v mouce, a následně byly přepočteny dle standardu ICC č. 131. Pro přípravu kontrolního vzorku bylo využito $587,34 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$ pšeničné mouky hladké, $11,16 \pm 0,01 \text{ g}$ cukru krystal, droždí $10,80 \pm 0,01 \text{ g}$, jedlá sůl $9,00 \pm 0,01 \text{ g}$ ječný slad $1,64 \pm 0,01 \text{ g}$. Rozdíl mezi kontrolními vzorky byl v přidavku pitné vody. Kontrolní vzorek s vazností vody 58 % obsahoval $348,00 \pm 0,05 \text{ ml}$ vody, zatímco vzorek s vazností vody 63 % obsahoval $370,00 \pm 0,05 \text{ ml}$ pitné vody.

Vedle kontrolního vzorku byly také připraveny vzorky obsahující enzym GoldCrust s přidavkem do těsta o množství 0,005 %, 0,010 % a 0,015 %. Vzorky byly připravené dle stejné receptury jako standard s vazností vody 58 %. Receptura obsahující enzym neobsahovala přidavek ječného sladu.

Při přípravě těsta byl využit hnětač ETA Gratus Original od výrobce ETA a.s., ČR a váha KERN EW 1500 – 2M od výrobce OHAUS, USA. Všechny suroviny měly při přípravě těsta teplotu $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Do mísy hnětače byla navážena pšeničná mouka hladká, cukr krystal, sušené pečárenské droždí, jedlá sůl a ječný slad. Všechny suroviny byly promíchány v míse hnětacím hákem po dobu $1 \text{ minuty} \pm 10 \text{ sekund}$ na nízký výkon. Postupně byla přidána pitná voda a vznikající těsto bylo hněteno po dobu $6 \text{ minut} \pm 30 \text{ sekund}$ a následně bylo těsto propracováno ručně. Kynutí těsta probíhalo v kynárně typu MIWE cube air od výrobce PEKASS s.r.o., ČR. při $30 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $85 \pm 5 \text{ %}$ relativní vzdušné vlhkosti. Po $30 \pm 2 \text{ minutách}$ bylo těsto ručně propracováno a následovalo další kynutí po dobu $30 \pm 5 \text{ minut}$ při stejných podmínkách. Poté bylo těsto rozděleno na osm klonků. Klonky se nechaly dokynout v kynárně po dobu $20 \pm 2 \text{ minut}$. Takto připravené vzorky standardů byly pečeny v peci MIWE cube air od výrobce PEKASS s.r.o., ČR na $180 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu $10 \pm 1 \text{ minuta}$. Po uplynutí této doby byla teplota v peci zvýšena na $200 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a pečivo se dopékalo $7 \pm 1 \text{ minuta}$.

Příprava vzorků s enzymem Goldcrust proběhla stejným postupem jako příprava standardů. V této receptuře již nebyl zahrnutý ječný slad, jelikož by zkresloval účinnost samotného enzymu ve výrobcích vzhledem k jeho vlastnostem. Tento ječný slad byl nahrazen enzymem GoldCrust, který má podobné účinky na barvu kůrky. Do těsta byly přidány tři různé koncentrace enzymu o množství 0,005 %, 0,010 % a 0,015 %.

Těsto s vazností vody 58 % bylo pružné, normální a nelepivé. Splňovalo vlastnosti těsta k přípravě kontrolních vzorků pšeničného pečiva. Tento typ těsta s touto vazností byl využitý i pro přípravu vzorků s přísavky enzymů.

Těsto s vazností vody 63 % bylo měkké a velmi lepkavé. K tomuto experimentu bylo tudíž nevhodné a dále se s ním v textu nijak nepracuje.

5.3 Laboratorní metody

Následující laboratorní metody byly využity pro analýzu pšeničné mouky, přípravu těsta a hodnocení hotových výrobků. Dle normy ICC 131 bylo hodnocení hotových výrobků provedeno 24 hodin po upečení. Hodnocení vzorků proběhlo při laboratorní teplotě 25 ± 2 °C.

5.3.1 Analýza vlhkosti mouky

Měření vlhkosti pšeničné mouky hladké bylo provedeno pomocí analyzátoru vlhkosti OHAUS MB 120, Europe GmbH. Na aluminiový tácek byly naváženy $3,00 \pm 0,05$ g vzorku mouky. K navážení vzorku byla využita analytická váha PX224M OHAUS, Europe GmbH. Vzorek byl následně vložen do analyzátoru a byl proměřen. Byla vypočtená průměrná hodnota ze tří ($n = 3$) po sobě jdoucích měření vlhkosti vzorku. Průměrná hodnota vlhkosti mouky činila 12,2 %. Tato hodnota byla následně využita při měření čísla poklesu a u měření vaznosti vody v mouce.

5.3.2 Stanovení čísla poklesu

Stanovení čísla poklesu bylo stanoveno pro zjištění aktivity enzymu α -amylázy ve vzorku mouky. Celé stanovení probíhá v přístroji Parten instruments 1310, Švédsko. Stanovení probíhalo dle návodu k přístroji. Na analytické váze byl odvážen vzorek mouky. Vzorek byl kvantitativně převeden do velké zkumavky a k němu byl přidán přesně definovaný objem demineralizované vody. Vzorek byl ve zkumavce ručně protřepán, tak aby vznikla homogenní směs mouka – voda. Takto připravená zkumavka byla vložena do přístroje, kde bylo ve vodní lázni zahřívána na potřebnou teplotu. Vzorek byl následně promíchán pomocí přístroje a začalo měření čísla poklesu. Stanovení čísla poklesu bylo provedeno třikrát ($n = 3$). Stanovené číslo poklesu bylo následně využito při stanovení vaznosti mouky.

5.3.3 Stanovení vaznosti vody v mouce

Stanovení vaznosti vody v mouce probíhalo pomocí přístroje Farinograf – mixolab 2, výrobce Chopin Technologies, Francie. Samotné stanovení vaznosti vody v mouce podléhalo ISO normě 5530-1 (Česká agentura pro standardizaci, 2015). Stanovení vaznosti vody bylo stanoveno dle následujícího postupu, který byl zvolen dle návodu k přístroji. Navážený vzorek hladké mouky byl kvantitativně převeden do části zařízení, kde byly umístěny dvě hnětací lopatky vytemperované na teplotu ($30 \pm 0,2$ °C). Ke vzorku v přístroji byla následně přidávána demineralizovaná voda pomocí automatického dávkovače do maximální hodnoty konzistence těsta 500 ± 20 FU. Stanovená vaznost vody byla následně vyjádřena jako přesně definovaný objem demineralizované vody potřebný k vytvoření těsta s maximální vazností 500 FU. Vaznost vody je obvykle vyjádřena na 100 g pšeničné mouky o stanovené vlhkosti. Byla vypočtena průměrná vaznost vody v mouce ze tří po sobě jdoucích měření ($n = 3$). Získané výsledky byly využity při přípravě těsta.

5.3.4 Stanovení barvy vzorků pečiva

Měření probíhalo na spektrofotometru Ultrascan PRO (HunterLab, USA) v trojrozměrném prostoru CIE $L^* a^* b^*$. Barevný prostor je trojrozměrná reprezentace parametrů $L^* a^* b^*$, které vyjadřují barvu jako číselné hodnoty. V přístroji CIE $L^* a^* b^*$ se setkáváme s parametrem L^* . Tento parametr se pohybuje v rozmezí hodnot od 0 (absolutně černá) do 100 (absolutně bílá) a představuje světelnost vzorku. Parametr a^* představuje hranice červené (+a) a zelené barvy (-a). Zatímco parametr b^* představuje hranice žluté (+b) a modré (-b) barvy (Soleimani Pour-Damanab et al., 2014).

Od každého vzorku byly proměřeny 4 kusy ($n = 4$). Byla proměřena kůrka pšeničného pečiva od každého vzorku. Vzorek byl proměřen po kalibraci přístroje přitlačením vzorku na měrnou plochu a následně byl proměřen. Stejným postupem byla proměřena i střída u těchto vzorků, s tím rozdílem, že vzorky byly rozříznuty na půlky a následně byla vždy takto připravená půlka od každého kusu přitlačena na měrnou plochu zařízení a byla proměřena ($n = 4$). Získané výsledky byly dále využity k vyhodnocení experimentu.

5.3.5 Texturní profilová analýza vzorků pečiva

Vzorky pečiva byly nakrájeny na plátky o šířce $10,0 \pm 0,1$ mm pomocí kráječe od výrobce Gorenje R 506 EZ, Slovinsko. Z nakrájených plátků byly vykrojeny kolečka o průměru

4,1 ± 0,1 cm. Kolečka obsahovala pouze střidu vzorku, nikoliv kůrku. Měření probíhalo pomocí přístroje TA.XT plus od výrobce Stable Micro Systems, Anglie. Pro měření byla využita hliníková kruhová sonda P/100 o průměru 100 mm. Vzorek byl stlačen dvakrát za sebou s 50 % kompresí a rychlostí 2,00 mm/s. Od každého vzorku pečiva bylo proměřeno 10 kusů připravených vzorků jednou (n = 1). Výsledky vyhotovil program Exponent lite. Ze stanovených hodnot byly dále vyhodnoceny níže zmíněné parametry.

Tvrdost (maximální síla během prvního kompresního cyklu), pružnost (mez deformace, kterou vzorek snese a po odlehčení se vrátí do původního stavu) a soudržnost (zatížení, které je schopen vzorek odolávat). Elasticita (doba a síla, kterou je vzorek stlačen a následně navrácen do původního stavu) a v neposlední řadě také žvýkatelnost (energie vynaložená na zpracování potravy do požadovaného stavu pro spolknutí) (Szczeniak, 2003; Wang et al., 2024).

Ze zmíněných parametrů byly pomocí těchto vzorců stanovené hodnoty pro další vyhodnocení a statistickou analýzu.

Výpočet tvrdosti:

$$\text{Hardness} = \text{Force 1 [N]}$$

Výpočet pružnosti:

$$\text{Springiness} = \frac{\text{Time difference}}{\text{Time 1}} [-]$$

Výpočet soudržnosti:

$$\text{Cohesiveness} = \frac{(\text{Area 4:5} + \text{Area 5:6})}{(\text{Area 1:2} + \text{Area 2:3})} [-]$$

Výpočet elasticity:

$$\text{Resilience} = \frac{\text{Area 2:3}}{\text{Area 1:2}} [-]$$

Výpočet žvýkatelnosti:

$$\text{Chewiness} = \text{Hardness} \cdot \text{Cohesiveness} \cdot \text{Springiness} [-]$$

5.3.6 Stanovení fyzikálních vlastností vzorků pečiva

Byla změřena hmotnost, objem a rozměry (šířka, výška) vzorků pečiva. Hmotnost vzorků byla měřena pomocí vah KERN EW 1500 – 2M od výrobce OHAUS, Europe GmbH. Hmotnost byla u každého vzorku proměřena dvakrát (n = 2). Měření objemu probíhalo pomocí vytěsňování plastových kuliček o přibližné velikosti řepkových semínek, se kterými toto měření obvykle probíhá (Mudgil et al., 2016). Do nádoby byly nasypány tyto kuličky až do úplného naplnění. Následně byla tato nádoba vložena do prázdné misky a část kuliček byla odsypána, dále bylo vloženo pečivo a nádoba byla opět naplněna vytlačenými kuličkami do úplného naplnění. Kuličky, které se do nádoby nevešly představovaly objem pečiva. Objem byl změřen pomocí odměrného válce (1634/AM, SIMAX, 500,00 ± 2,50 ml). Takto

byly měřeny všechny vzorky, každý vzorek byl proměřen dvakrát ($n = 2$). Pro porovnání vlivu enzymu na rozměry vzorků pečiva byl kontrolní vzorek i vzorky s obsahem enzymu proměřeny pomocí posuvného měřidla od výrobce Parkside, Lidl, ČR. V rámci měření byla proměřena výška a šířka každého vzorku pečiva (celkem 8 kusů) dvakrát ($n = 2$).

Naměřené hodnoty byly dále statisticky vyhodnoceny a využity i pro výpočet specifického objemu a ztrát pečením.

5.3.7 Výpočet ztrát pečením a specifického objemu

Pro další porovnání účinnosti enzymu ve vzorcích byla vypočtena i ztráta pečením a specifický objem u všech vzorků. Oba tyto parametry byly vypočteny pomocí následujících vzorců.

Ztráty pečením:

$$\text{Ztráta pečením} = \left(\frac{m_t - m_v}{m_t} \right) \cdot 100$$

kde:

ztráta pečením	[%]
m_t	Hmotnost těsta před pečením [g]
m_v	Hmotnost vzorku po upečení [g]

Specifický objem:

$$\text{Specifický objem} = \frac{V_v}{m_v}$$

kde:

Specifický objem pečiva	[ml/g]
V_v	Objem vzorku [ml]
m_v	Hmotnost vzorku [g]

Všechny vypočtené hodnoty byly dále statisticky zpracovány.

5.3.8 Statistická analýza výsledků

Všechna získaná a zpracovaná data byla podrobena statistické analýze pomocí analýzy rozptylu ANOVA. Rozdíly mezi vzorky byly vyhodnoceny pomocí testu TUKEY HSD.

6 VÝSLEDKY A DISKUSE

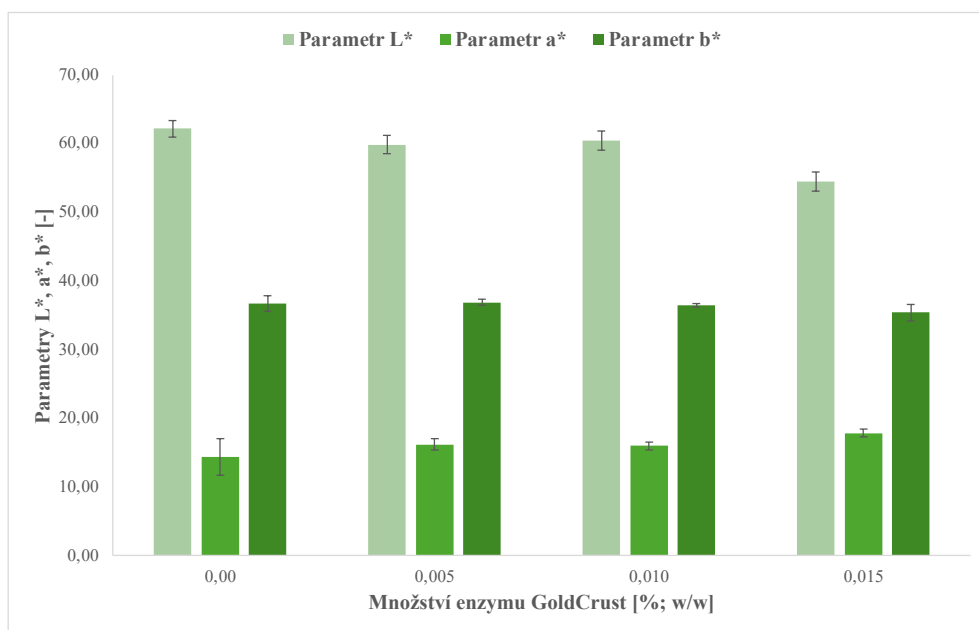
Pekařským pokusem byl zkoumán vliv přídavku tří různých koncentrací enzymu GoldCrust na vlastnosti biologicky kypřeného pšeničného pečiva. Enzym GoldCrust podporoval uvolňování glukózy z polysacharidů a aktivoval kvasinky, což vedlo k dosažení zlatavé barvy kůrky, zlepšení její pružnosti a zvětšení objemu pečiva při pečení. Funkcí enzymu je zkrácení doby pečení, minimalizace oddělování drobenky od kůrky a zvyšování vlhkost drobenky (Novonesis, 2025).

6.1 Stanovení barvy vzorků pečiva

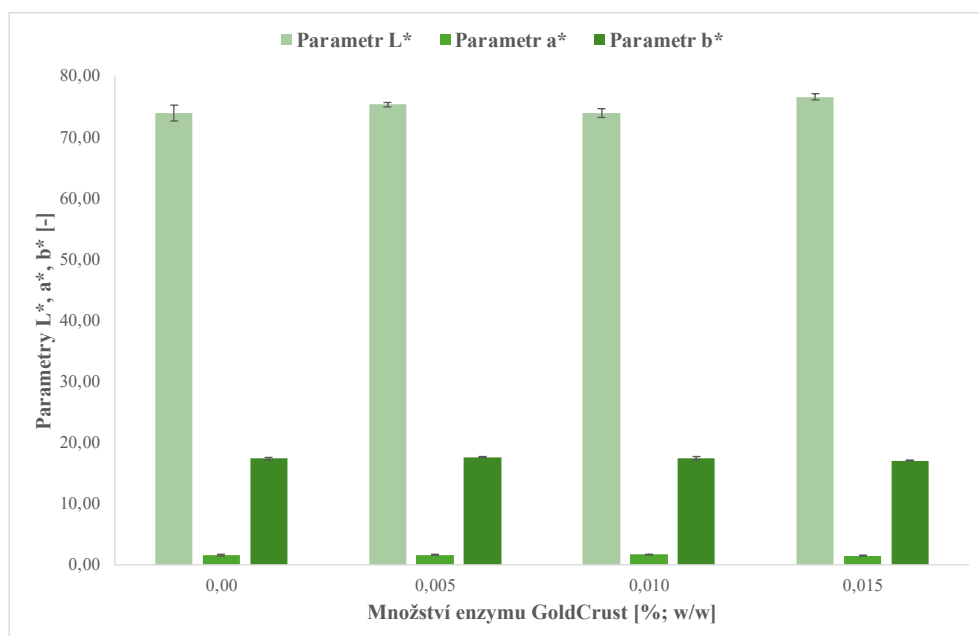
Z naměřených dat pro kůrku (viz obr. 5) pečiva bylo zjištěno, že parametry L^* a b^* klesaly s narůstajícím přídavkem enzymu GoldCrust, zatímco hodnoty parametru a^* se zvyšovaly. Mezi vzorky s nulovým obsahem enzymu a těmi s přídavkem enzymu 0,005 % a 0,010 % nebyl zjištěn žádný statisticky průkazný rozdíl ($p > 0,05$). Statisticky průkazný rozdíl byl ($p < 0,05$) u vzorku s přídavkem enzymu 0,015 %. Naměřené hodnoty L^* , a^* a b^* přímo souvisely s barvou měřeného vzorku. Ze získaných dat vyplívá, že čím byl vzorek tmavší, tím byl více zbarven do červena a zároveň méně zbarven do žluta a naopak. Dle publikace od Sun et al. (2021) probíhá změna barvy pečiva závisle na teplotě a přechod barev při Maillardově reakci probíhá nejprve od žluté, poté se projeví červené a naposledy až hnědo – černé odstíny. Typické žluto – hnědé zbarvení pečiva vzniká během procesu pečení pečiva (NZIP, 2025). Tohoto zbarvení je docíleno pomocí produktů Maillardovy reakce a procesu karamelizace, kdy reagují cukry s aminokyselinami (Muzzalupo, 2013). Nárůst tmavší barvy u vzorků pečiva je způsoben přídavkem enzymu GoldCrust do těsta. Enzym GoldCrust je amyloglukosidáza, proto uvolňuje díky své schopnosti glukózu z neredukujícího konce polysacharidového řetězce škrobu a tím zvyšuje obsah glukózy v pečivu, která vstupuje do procesu Maillardovy reakce a karamelizace (Muzzalupo, 2013). U vzorku s největším přídavkem enzymu 0,015 % zřejmě došlo k uvolnění největšího množství glukózy. Díky tomuto procesu došlo u vzorku k nejintenzivnějšímu zbarvení kůrky pečiva do žluto – hnědých pigmentů (viz obr. 7). Větší část spotřebitelů preferuje tmavší barvu kůrky pečiva, nežli světlou barvu kůrky pečiva (Nagyovs et al., 2009). Výsledky účinnosti enzymu lze považovat za pozitivní.

Nejsvětlejší střídu měl vzorek s přídavkem enzymu 0,015 %, zatímco vzorek s nulovým přídavkem enzymu se řadil mezi tmavší vzorky (viz obr. 6). Mezi barvou střídy vzorku s nejvyšším obsahem enzymu a se vzorkem kontrolním nebyly nalezeny statisticky průkazné

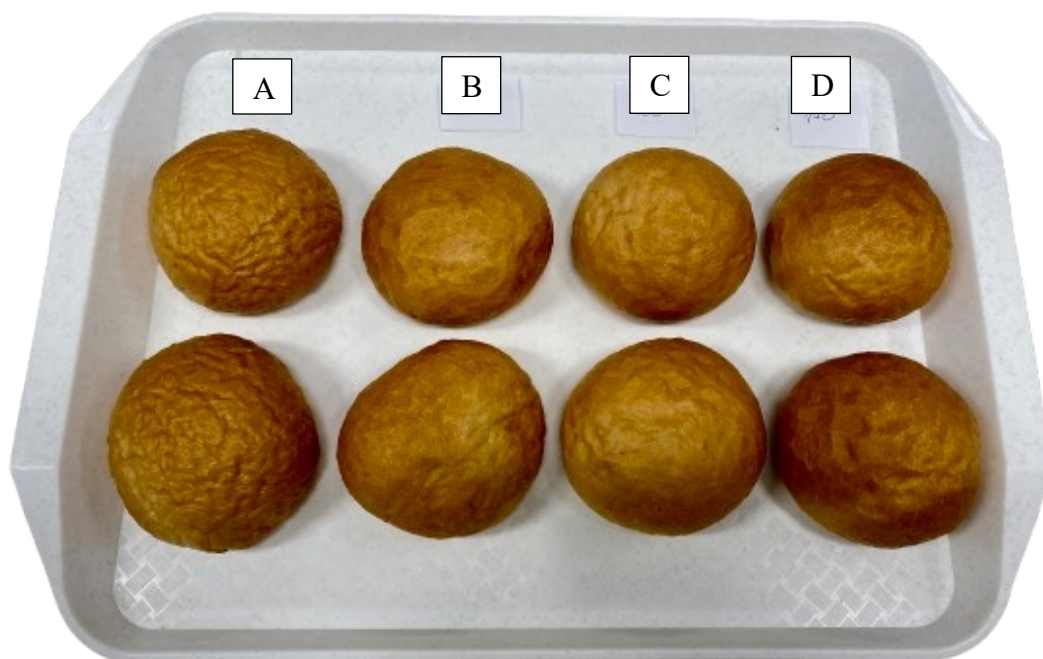
rozdíly ($p > 0,05$). Enzym na barvu střídy neměl vliv. Barva střídy pečiva závisí na surovinovém složení, typu mouky či stáří pečiva (Popov-Raljić et al., 2009). Výrobce enzymu uvádí, že by enzym GoldCrust neměl mít vliv na barvu střídy pečiva, ale na barvu kůrky pečiva (Novonesis, 2025).



Obrázek 5 Závislost parametrů L^* , a^* , b^* na koncentraci enzymu (kůrka)



Obrázek 6 Závislost parametrů L^* , a^* , b^* na koncentraci enzymu (střída)

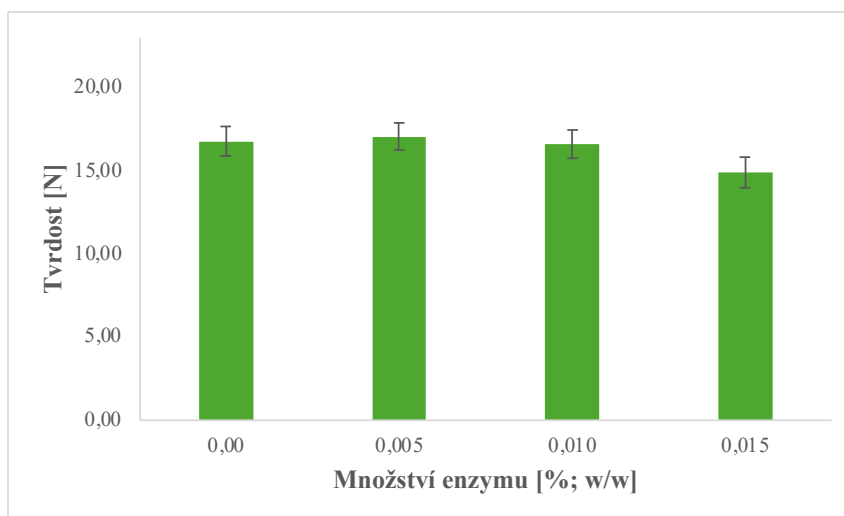


Obrázek 7 Vzorky pečiva; kontrolní vzorek (A), 0,005 % (B), 0,010 % (C), 0,015 % (D)

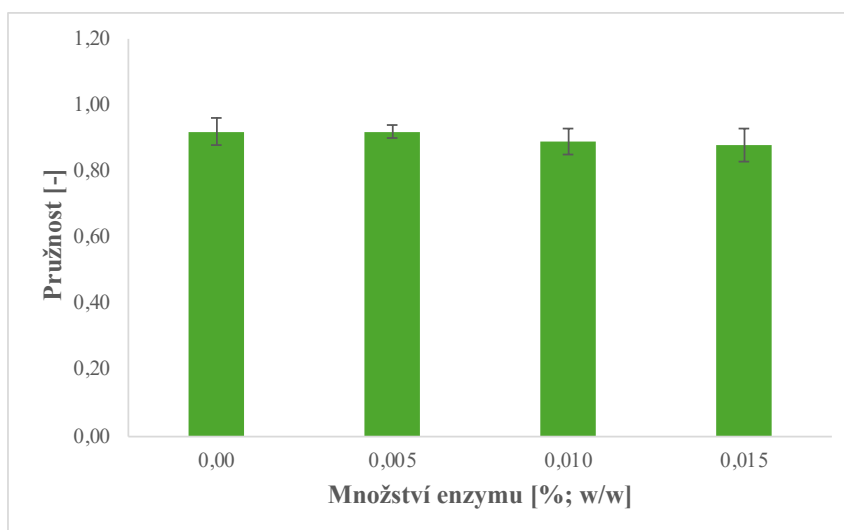
6.2 Texturní profilová analýza vzorků pečiva

Všechny vzorky byly podrobeny texturní profilové analýze. Byla změřena tvrdost, pružnost, elasticita, soudružnost a žvýkatelnost (definice pojmů viz kapitola 5.3.5). Bylo zjištěno, že s narůstajícím přídatkem enzymu do těsta tvrdost vzorků pečiva klesala (viz obr. 8). Stejný vývoj výsledků byl zaznamenán u dat pružnosti (viz obr. 9) a žvýkatelnosti (viz obr. 10) vzorků. Hodnoty u těchto parametrů také klesaly s narůstajícím přídatkem enzymu. Oproti těmto parametrům parametry elasticity a soudružnosti vykazovaly trend opačný, tedy elasticita (viz obr. 11) a soudružnost (viz obr. 12) vzorků rostly se zvyšující se koncentrací enzymu v těsta. Analýzou dat bylo zjištěno, že nejvíce měkkým a zároveň nejméně žvýkavým vzorkem byl vzorek s nejvyšší koncentrací enzymu. Oproti tomu kontrolní vzorek s nulovým obsahem enzymu v těstě byl nejtvrdším a zároveň nejvíce žvýkavým vzorkem. Enzym GoldCrust ve vzorcích neměl významný vliv na texturu pečiva, jelikož mezi naměřenými parametry nebyly zjištěné žádné statisticky průkazné rozdíly ($p > 0,05$). Dle publikace od Ebling et al. (2022) vykazovalo pečivo s přídatkem enzymu AMG vysokou pevnost a nižší pórovitost drobenky. Což souviselo také s vyšší soudružností vzorků s obsahem enzymu oproti kontrolnímu vzorku. Vědeckou prací Sheikholeslami et al. (2021)

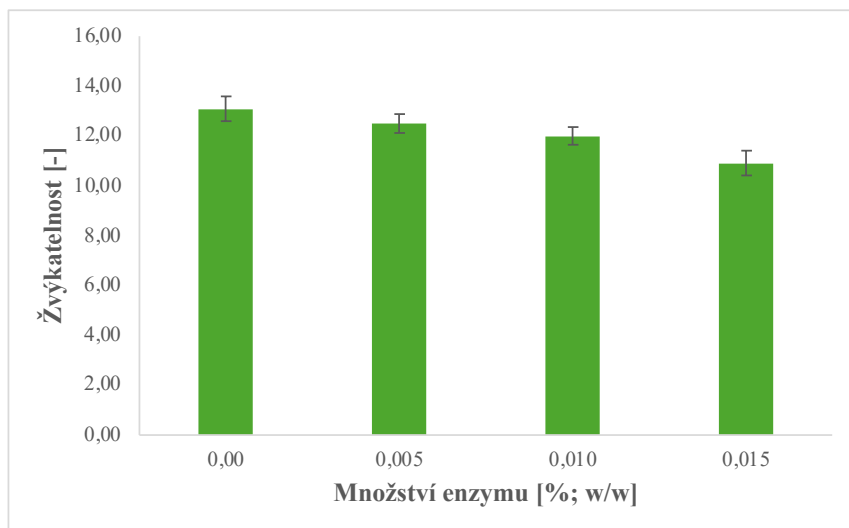
bylo zjištěno, že amylázy měly mít jedinečnou schopnost změkčovat pečivo. Zároveň i autor Barrera et al. (2016) ve své publikaci zmiňuje, že přidavek α -amylázy a AMG snižovaly tvrdost pečiva, jak po upečení, tak i v průběhu jeho skladování. Tato tvrzení byla potvrzena, jelikož pečivo s přidavkem enzymu bylo měkké a zároveň méně žvýkavé. Také vykazovalo vyšší soudružnost a elastické vlastnosti. Oproti tomu kontrolní vzorek pečiva byl tvrdší a více žvýkavý, taktéž vykazoval nízkou soudružnost a elasticitu. Podle studie Gámbáro et al. (2006) byla zjištěna vhodnost využití kombinace enzymů a tím i jejich synergických účinku, například jde o kombinaci amylázy a xylanázy pro celkové zlepšení kvality pečiva.



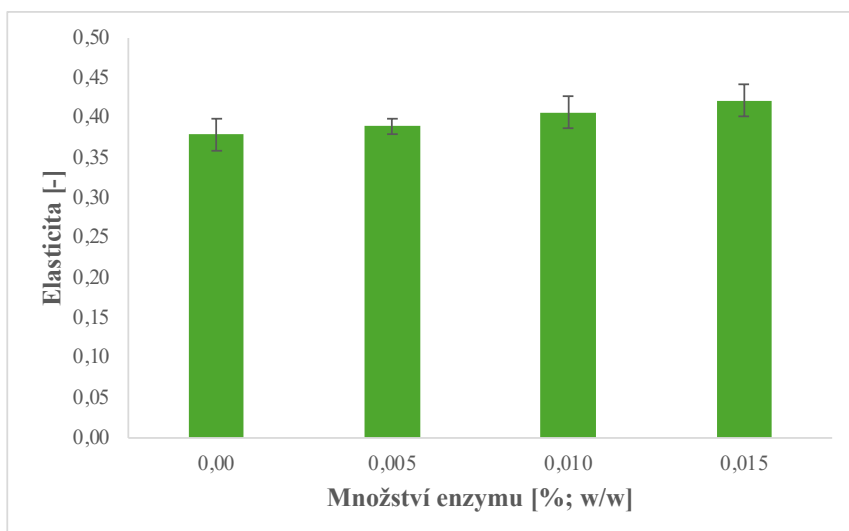
Obrázek 8 Závislost tvrdosti střídy pečiva na množství enzymu



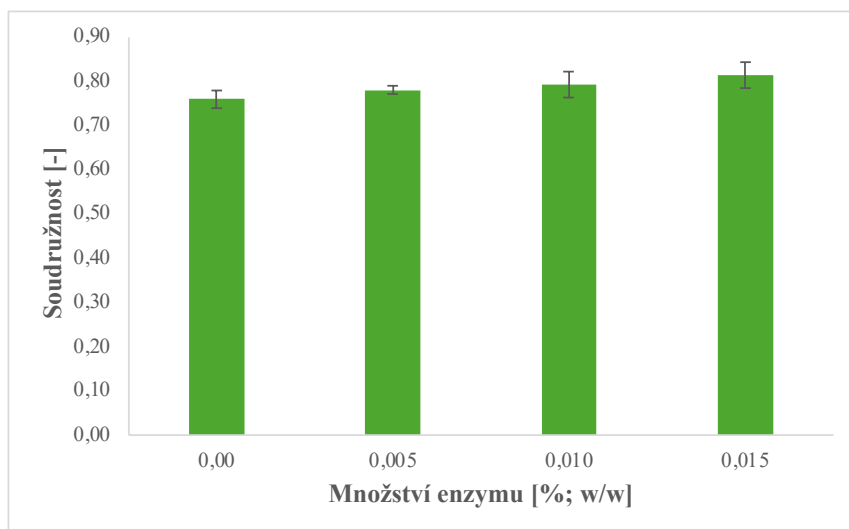
Obrázek 9 Závislost pružnosti střídy pečiva na množství enzymu



Obrázek 10 Závislost parametru žvýkatelnosti střídy pečiva na množství enzymu



Obrázek 11 Závislost parametru elasticity střídy pečiva na množství enzymu



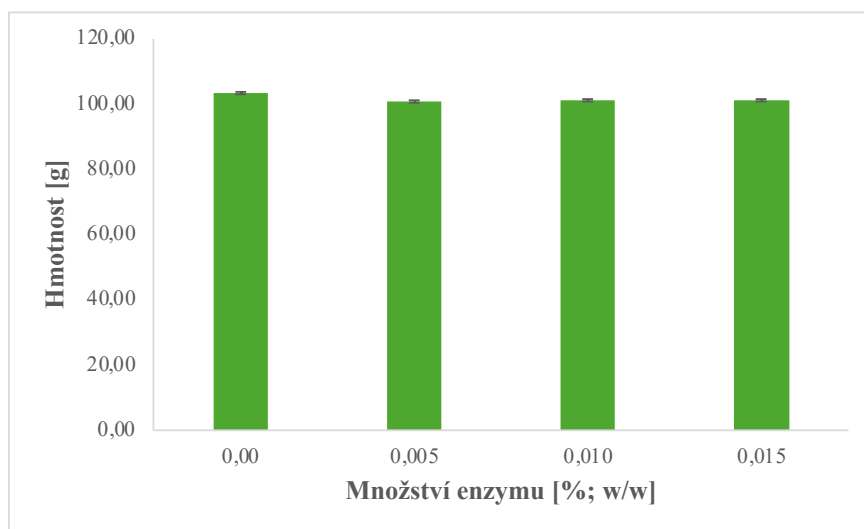
Obrázek 12 Závislost soudružnosti střídy pečiva na množství enzymu

6.3 Stanovení fyzikálních vlastností vzorků pečiva

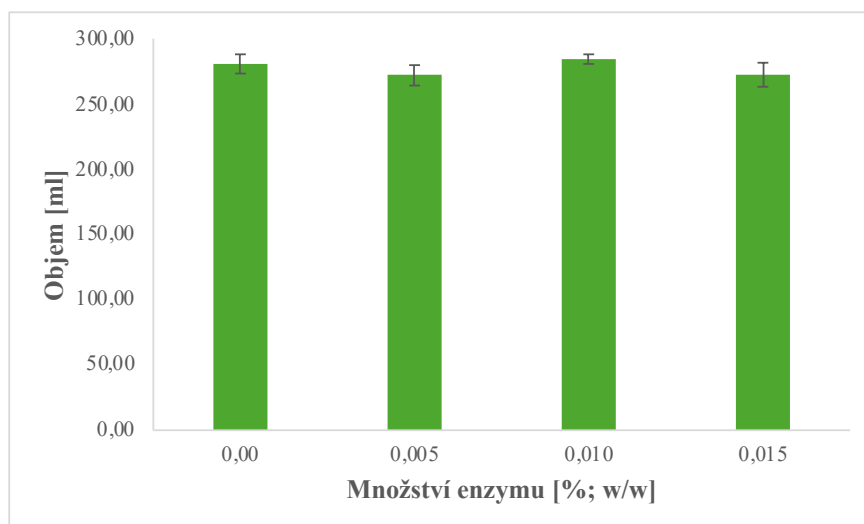
Po uplynutí 24 hodin od pečení byla u všech vzorků zjištěna hmotnost, objem, šířka a výška všech vzorků. Byla také vypočtená specifická hmotnost a ztráty pečením. Statistickou analýzou nebyly zjištěny žádné statisticky průkazné rozdíly u všech vzorků napříč jednotlivými parametry ($p > 0,05$). Hmotnost vzorků (viz obr. 13) klesala s narůstající koncentrací enzymu v těstě. Kontrolní vzorek dosahoval průměrné hmotnosti $103,28 \pm 0,30$ g, zatímco průměrný vzorek s přidavkem enzymu vážil $101,14 \pm 0,39$ g. Rozdíl v hmotnosti mezi těmito vzorky činil zhruba 2 g. Objem vzorků (viz obr. 14) vykazoval obdobný trend, kdy kontrolní vzorek dosahoval průměrného objemu $280,83 \pm 7,19$ ml a vzorek s největším přidavkem enzymu dosahoval hodnot $273,00 \pm 9,25$ ml. Největších hodnot dosahoval vzorek s přidavkem enzymu 0,010 % a to $284,52 \pm 3,95$ ml. Mezi poměry výšky a šířky vzorků (viz obr. 15) také nebyly zjištěny žádné významné rozdíly ($p > 0,05$) a hodnoty se u jednotlivých vzorků lišily minimálně. Ztráty pečením (viz obr. 16) se u všech připravených vzorků nelišily a dosahovaly hodnoty 11 ± 0 %. Specifický objem (viz obr. 17) byl u pečiva s nejvyšší koncentrací v těstě nejnižší $2,69 \pm 0,08$ ml/g, oproti tomu kontrolní vzorek dosahoval hodnot vyšších $2,71 \pm 0,05$ ml/g. Rozdíl mezi vzorky byl velmi malý a nebyl prokázán statisticky významný rozdíl ($p > 0,05$).

Z dostupných výsledků pro hmotnost je zřejmé, že kůrka působila jako bariéra pro migraci vody z objemu pečiva. V publikaci autora Barbosa-Ríos et al. (2018) je zmíněno že, čím více je v těstě zkvasitelných cukrů, tím rychleji se kůrka tvoří. Větší množství těchto cukrů bylo v těstě díky přítomnosti enzymů, které štěpily škrob na menší jednotky a tím počet zkvasitelných cukrů rostl. Během procesu pečení pečiva a po něm ovlivňovala tvorba kůrky množství vlhkosti odpařované z těsta, čímž bránila migraci vlhkosti do vnějšího prostoru. Bublínky přítomné v pečivu migrovaly z vnitřní struktury do kůrky a vznikalo nadměrné množství menších bublinek CO_2 , které později explodovaly. Oslabené pórové prostory umožnily migraci téměř veškeré vody z drobenky do kůrky, což následně vedlo k odpaření vody do okolního prostředí. Bylo zjištěno, že ječný slad měl zřejmě vyšší enzymovou aktivitu než enzym AMG samotný, tudíž kůrka se tvořila rychleji a došlo k menšímu odparu vody ze středy těsta, proto byl kontrolní vzorek těžší. Dle publikace od autora Ebling et al., (2022) enzymy v doporučeném množství od výrobce v těstě způsobí hydrolýzu škrobu, tím jsou uvolněny molekuly glukózy, které spotřebovávají kvasinky při fermentaci a v těstě dochází ke kypření pomocí CO_2 a tím i k optimálnímu zvětšení objemu pečiva. Pokud je v těstě nadměrné množství enzymů, dochází k rozsáhlé hydrolýze škrobu a

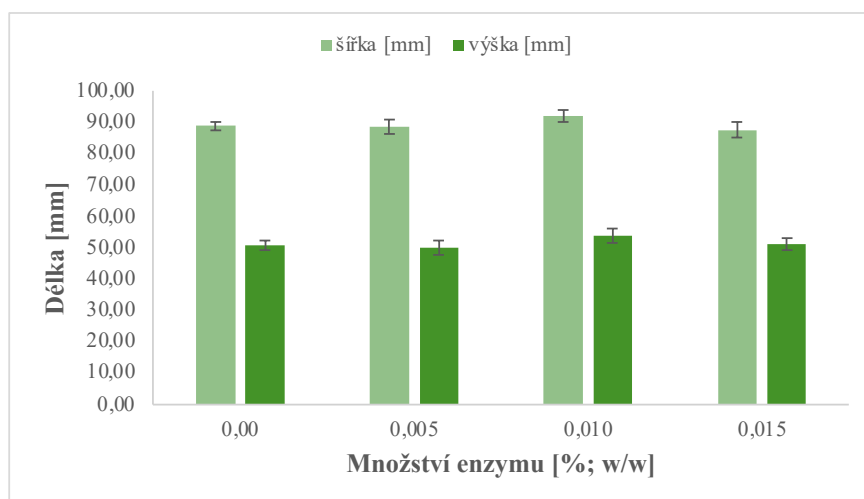
tím i ke snížení objemové výtěžnosti pečiva, jelikož tento polymer je nezbytný pro zajištění struktury pečiva během pečení. Touto studií se potvrzují výsledky této práce, jelikož dle výrobce enzymu GoldCrust, Novonesis (2025) se optimální dávka enzymu pohybuje v rozmezí 0,0075 % – 0,0125 % a nejvyšší účinek enzymu byl zaznamenán při koncentraci 0,010 %, kdy měl vzorek největší objem. Dle publikace od Barrera et al. (2016) na rozměry, tj. výšku a šířku má enzym AMG prospěšné účinky v optimálním dávkování. Studie tohoto autora pozorovala nejpriznivější účinky při koncentraci enzymu 0,015 %. V této práci bylo zjištěno, že největších rozměrů dosahoval vzorek s přidavkem enzymu 0,010 %. Tudiž opět u nejvyšší koncentrace zřejmě došlo k rozsáhlé hydrolyze škrobu a vzorek dosahoval nižšího objemu (Ebling et al., 2022). Zvýšení specifického objemu dle autora Ebling et al. (2022) závisí na použitém enzymu, jeho mechanismu působení a surovinovém složení. Použití enzymů odštěpujících z polymeru škrobu z kvasitelné cukry ovlivňuje hodnoty specifického objemu. Nejvyšší specifický objem byl opět u vzorku s optimálním přidavkem enzymu 0,010 %. Ztráty pečením se obvykle pohybují v rozmezí 10-15 % (Pospiech, 2012). V rámci této práce byla ztráta pečením v tomto rozmezí a činila u všech vzorků 11 ± 0 %.



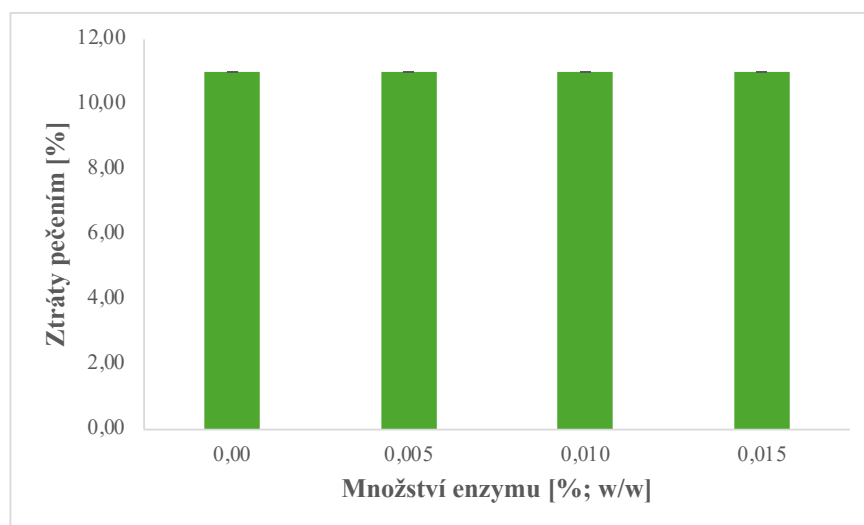
Obrázek 13 Závislost hmotnosti pečiva na množství enzymu



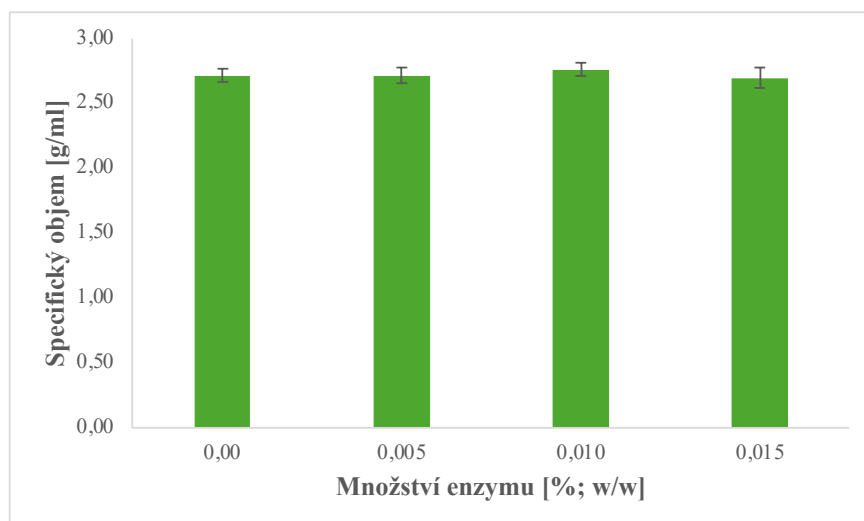
Obrázek 14 Závislost objemu pečiva na množství enzymu



Obrázek 15 Závislost rozměrů pečiva na množství enzymu



Obrázek 16 Závislost ztrát pečením pečiva na množství enzymu



Obrázek 17 Závislost specifického objemu pečiva na množství enzymu

7 ZÁVĚR

Bylo zjištěno, že nejtmavší kůrku měl vzorek s největším přídatkem enzymu 0,015 %, zatímco nejsvětější kůrku měl vzorek kontrolní, 0 % enzymu. Mezi výsledky barvy kůrky pečiva byl statisticky průkazný rozdíl ($p < 0,05$). U barvy střidy pečiva nebyly zaznamenány žádné statisticky průkazné rozdíly ($p > 0,05$). Na barvu střidy pečiva neměl mít enzym vliv, oproti kůrce. Po změření textury střidy vzorků pečiva bylo zjištěno, že s narůstající koncentrací enzymu v pečivu docházelo ke změkčení střidy, což bylo deklarované výrobcem. Mezi výsledky nebyl žádný statisticky průkazný rozdíl ($p > 0,05$), tudíž enzym na texturu výrobku neměl významný vliv. Stanovením fyzikálních vlastností pečiva bylo zjištěno, že na velikost neměl enzym vliv, jelikož se neprojevily žádné statisticky průkazné rozdíly ($p > 0,05$) mezi jednotlivými kusy pečiva. Tento výsledek byl neočekávaný, jelikož enzym měl přispívat ke zvětšení objemu pečiva.

Obecně tedy lze považovat účinnost enzymu za pozitivní, co se barvy kůrky týče. Na texturní a fyzikální vlastnosti enzym neměl významný vliv. Bylo by vhodné provést další rozsáhlejší experiment a znovu zhodnotit funkce enzymu, např. vyrobit kontrolní vzorky bez přídatku sladového výtažku, aby byla funkce enzymu porovnána bez možného zkreslení, které mohlo pravděpodobně nastat právě přídatkem sladového výtažku do kontrolních vzorků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AB ENZYMES, 2025. *Baking, Flour Milling and Pasta*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.abenzymes.com/en/your-industry/baking-flour-milling-and-pasta/> [cit. 2025-04-14].

ABADA, Emad A., 2019. Application of Microbial Enzymes in the Dairy Industry. Online. In: *Enzymes in Food Biotechnology*. Elsevier, s. 61-72. ISBN 9780128132807. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813280-7.00005-0>. [cit. 2025-04-12].

ALBERT ČR, S.R.O., 2025. *Pekárna a cukrárna*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.albert.cz/shop/Pekarna-a-cukrarna/c/zeF001>. [cit. 2025-04-21].

ANONYM, 1996. *Lepkové bílkoviny*. Dostupné z: <https://www.boulangerienet.fr/bn/bnweb/dt/proteines.php#top>. [cit. 2025-04-19].

ANONYM, 2023. *Prasklý chléb*. Dostupné z: https://www.reddit.com/r/Breadit/comments/yy4k8h/second_loaf_done_why_does_it_keep_splitting_on/. [cit. 2025-04-19].

ANONYM, 2025. STORE NORSKE LEKSIKON: Amylopektin. Dostupné z: <https://snl.no/amylopektin>. [cit. 2025-04-19].

BABIČKA, Luboš, 2012. *Přidatné látky v potravinách*. Publikace České technologické platformy pro potraviny. Praha: Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny. ISBN 978-80-905096-3-4.

BARBOSA-RÍOS, J.A.; CASTILLÓN-JARDÓN, J.; GUADARRAMA-LEZAMA, A.Y.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.; MERAZ, M. et al., 2018. Effect of new generation enzymes addition on the physical, viscoelastic and textural properties of traditional Mexican sweet bread. Online. *Journal of Cereal Science*. Roč. 79, s. 160-167. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.10.012>. [cit. 2025-04-08].

BARAK, Sheweta; MUDGIL, Deepak a KHATKAR, B. S., 2014. Biochemical and Functional Properties of Wheat Gliadins: A Review. Online. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2014-09-30, roč. 55, č. 3, s. 357-368. ISSN 1040-8398. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.654863>. [cit. 2025-04-02].

BEZPEČNOST POTRAVIN, 2011. *Chléb*. Online. 2011. Dostupné z: <https://bezpecnostpotravin.cz/termin/chleb/>. [cit. 2025-04-06].

Bezpečnost potravin. 2025. *Emulgátor* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství. Dostupné z: <https://bezpecnostpotravin.cz/emulgator/> [cit. 2025-04-06].

BILLA, SPOL. s. r. o., 2025. *Pěčivo*. Online. 2025. Dostupné z: <https://shop.billa.cz/produkty/pecivo-1198>. [cit. 2025-04-21].

BIRCH, Anja N.; PETERSEN, Mikael A.; ARNEBORG, Nils a HANSEN, Åse S., 2013. Influence of commercial baker's yeasts on bread aroma profiles. Online. *Food Research International*. Roč. 52, č. 1, s. 160-166. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.03.011>. [cit. 2025-04-13].

BUREŠOVÁ, Iva a LORENCOVÁ, Eva, 2013. *Výroba potravin rostlinného původu: zpracování obilovin*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7454-278-7.

BUTT, Masood Sadiq; TAHIR-NADEEM, Muhammad; AHMAD, Zulfiqar a SULTAN, Muhammad Tauseef, 2008. Xylanases and Their Applications in Baking Industry. Online. Vol. 2008, no. 46, s. 22-31. ISSN 1330-9862. Dostupné z: <https://hrcak.srce.hr/file/34864>. [cit. 2025-04-12].

CAO, Xinyou; TONG, Jingyang; DING, Mengyun; WANG, Kesen; WANG, Libin et al., 2019. Physicochemical properties of starch in relation to rheological properties of wheat dough (*Triticum aestivum* L.). Online. *Food Chemistry*. Roč. 297. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125000>. [cit. 2025-04-01].

CAPPELLI, Alessio; BETTACCINI, Lorenzo a CINI, Enrico, 2020. The kneading process: A systematic review of the effects on dough rheology and resulting bread characteristics,

including improvement strategies. Online. *Trends in Food Science & Technology*. Roč. 104, s. 91-101. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.008>. [cit. 2025-04-04].

CAPPELLI, Alessio a CINI, Enrico, 2021. Challenges and Opportunities in Wheat Flour, Pasta, Bread, and Bakery Product Production Chains: A Systematic Review of Innovations and Improvement Strategies to Increase Sustainability, Productivity, and Product Quality. Online. *Sustainability*. Roč. 13, č. 5. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su13052608>. [cit. 2025-04-10].

CAPUANO, Edoardo; FERRIGNO, Antonella; ACAMPA, Iolanda; AIT-AMEUR, Lamia a FOGLIANO, Vincenzo, 2008. Characterization of the Maillard reaction in bread crisps. Online. *European Food Research and Technology*. Roč. 228, č. 2, s. 311-319. ISSN 1438-2377. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0936-5>. [cit. 2025-04-06].

Cereal Foods World, 1990. St. Paul: American Association of Cereal Chemists. ISSN 0146-6283. [cit. 2025-04-06].

COLLINS, Tony; HOYOUX, Anne; DUTRON, Agnès; GEORIS, Jacques; GENOT, Bernard et al., 2006. Use of glycoside hydrolase family 8 xylanases in baking. Online. *Journal of Cereal Science*. Roč. 43, č. 1, s. 79-84. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.08.002>. [cit. 2025-04-12].

ČESKO. Vyhláška č. 18/2020 Sb. o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-18>. [cit. 2025-04-12].

CHOWDHURY, Md Anamul Hasan; SARKAR, Feroj; REEM, Chowdhury Sanat Anjum; RAHMAN, Sk Mustafizur; MAHAMUD, A.G.M.Sofi Uddin et al., 2024. Enzyme applications in baking: From dough development to shelf-life extension. Online. *International Journal of Biological Macromolecules*. Roč. 282. ISSN 01418130. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137020>. [cit. 2025-04-11].

DAHIYA, Seema; BAJAJ, Bijender Kumar; KUMAR, Anil; TIWARI, Santosh Kumar a SINGH, Bijender, 2020. A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. Online. *Process Biochemistry*. Roč. 99, s. 290-306. ISSN 13595113. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.002>. [cit. 2025-03-30].

Evropský parlament a Rada. Nařízení (ES) č. 1332/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských enzymech. Online. Úřední věstník Evropské unie L 354, 31. 12. 2008. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/pravoeu/dokument?celex=32008R1332#i2> [cit. 2025-04-12].

Evropský parlament a Rada. (2008). Nařízení (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách. Úřední věstník Evropské unie, L 354, 16–33 [cit. 2025-04-04].

FELLOWS, P.J, 2009. *Food processing technology: principles and practice*. 3rd. ed. Food science, technology and nutrition [CRC Press]. Boca Raton: CRC Press. ISBN 1-85573-533-4. [cit. 2025-03-26]

FELLOWS, P.J., 2022. *Food processing technology*. Online. 5. Elsevier. ISBN 978-0-323-98431-7. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=PyxfEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=VYYbsKKMec&sig=p5cNVDiAjEG2aSChUDUHmtYFzyA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. [cit. 2025-04-04].

FERNANDES, Pedro, 2010. Enzymes in Food Processing: A Condensed Overview on Strategies for Better Biocatalysts. Online. *Enzyme Research*. 2010-09-29, roč. 2010, s. 1-19. ISSN 2090-0414. Dostupné z: <https://doi.org/10.4061/2010/862537>. [cit. 2025-04-12].

FÉR potravina. 2025. *E466 - Karboxymethylcelulóza* [online]. Praha: FÉR potravina. Dostupné z: <https://www.ferpotravina.cz/seznam-ecek/E466> [cit. 2025-04-06].

GERRARD, J.A.; FAYLE, S.E.; WILSON, A.J.; NEWBERRY, M.P.; ROSS, M. et al., 1998. Dough Properties and Crumb Strength of White Pan Bread as Affected by Microbial

Transglutaminase. Online. *Journal of Food Science*. Roč. 63, č. 3, s. 472-475. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15766.x>. [cit. 2025-04-13].

GERITS, Lien R.; PAREYT, Bram; DECAMPS, Karolien a DELCOUR, Jan A., 2014. Lipases and Their Functionality in the Production of Wheat-Based Food Systems. Online. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Roč. 13, č. 5, s. 978-989. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12085>. [cit. 2025-04-12].

GÉLINAS, Pierre, 2019. Active Dry Yeast: Lessons from Patents and Science. Online. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Roč. 18, č. 4, s. 1227-1255. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12445>. [cit. 2025-04-13].

GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W.S.; COURTIN, C.M.; GEBRUERS, K. et al., 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. Online. *Trends in Food Science & Technology*. Roč. 16, č. 1-3, s. 12-30. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.011>. [cit. 2025-04-13].

GUJRAL, Hardeep Singh a ROSELL, Cristina M, 2004. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. Online. *Food Research International*. Roč. 37, č. 1, s. 75-81. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.08.001>. [cit. 2025-04-13].

HANSEN, B. a WADOVITCH, B., 2005. Malt Ingredients in Baked Goods. *Cereal foods world*. No. 1, s. 18-22.

HELOU, Cynthia; JACOLOT, Philippe; NIQUET-LÉRIDON, Céline; GADONNA-WIDHEM, Pascale a TESSIER, Frédéric J., 2016. Maillard reaction products in bread: A novel semi-quantitative method for evaluating melanoidins in bread. Online. *Food Chemistry*. Roč. 190, s. 904-911. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.032>. [cit. 2025-04-06].

HENDRIKSEN, Hanne V.; KORNBRUST, Beate A.; ØSTERGAARD, Peter R. a STRINGER, Mary A., 2009. Evaluating the Potential for Enzymatic Acrylamide Mitigation

in a Range of Food Products Using an Asparaginase from *Aspergillus oryzae*. Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009-05-27, roč. 57, č. 10, s. 4168-4176. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/jf900174q>. [cit. 2025-04-12].

HIDALGO, A. a BRANDOLINI, A., 2014. BREAD | Bread from Wheat Flour. Online. In: *Encyclopedia of Food Microbiology*. Elsevier, s. 303-308. ISBN 9780123847331. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00044-6>. [cit. 2025-04-10].

HOLLEROVÁ, IDA; SIGLER, KAREL; KADLECOVÁ, JARMILA a ŠROGL, JIŘÍ, 2005. VITALITA A VIABILITA NÁSAVNÍCH KVASNIC. *KVASNÝ PRŮMYSL*. Roč. 51, č. 1, s. 3-6. Online. Dostupné z: <https://kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2005/01/01.pdf>. [cit. 2025-04-10].

KERRY GROUP, 2025. *Bakery & Snacks*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.kerry.com/products/enzymes/bakery-and-snacks>. [cit. 2025-04-14].

KORNBRUST, B.A.; FORMAN, T. a MATVEEVA, I., 2012. Applications of enzymes in breadmaking. Online. In: *Breadmaking*. Elsevier, s. 470-498. ISBN 9780857090607. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9780857095695.2.470>. [cit. 2025-04-11].

LAGRAIN, Bert; LEMAN, Pedro; GOESAERT, Hans a DELCOUR, Jan A., 2008. Impact of thermostable amylases during bread making on wheat bread crumb structure and texture. Online. *Food Research International*. Roč. 41, č. 8, s. 819-827. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.07.006>. [cit. 2025-04-12].

LESAFFRE. Lesaffre.cz [online]. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://www.lesaffre.cz>. [cit. 2025-04-12].

LI, Mengyuan; LI, Li; SUN, Binghua a MA, Sen, 2024. Interaction of wheat bran dietary fiber-gluten protein affects dough product: A critical review. Online. *International Journal of Biological Macromolecules*. Roč. 255. ISSN 01418130. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128199>. [cit. 2025-04-02].

LUO, Wenhuan; SUN, Da-Wen; ZHU, Zhiwei a WANG, Qi-Jun, 2018. Improving freeze tolerance of yeast and dough properties for enhancing frozen dough quality - A review of effective methods. Online. *Trends in Food Science & Technology*. Roč. 72, s. 25-33. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.017>. [cit. 2025-04-01].

LUKINAC, Jasmina a JUKIĆ, Marko, 2022. Barley in the Production of Cereal-Based Products. Online. *Plants*. Roč. 11, č. 24. ISSN 2223-7747. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/plants11243519>. [cit. 2025-04-09]

MASON, William R., 2009. Starch Use in Foods. Online. In: *Starch*. Elsevier, s. 745-795. ISBN 9780127462752. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00020-3>. [cit. 2025-04-04].

MELIM MIGUEL, Angelo Samir; SOUZA, Tathiana; COSTA FIGUEIREDO, Erika Verissimo da; PAULO LOBO, Bianca Waruar a MARIA, Gisela, 2013. Enzymes in Bakery: Current and Future Trends. Online. In: MUZZALUPO, Innocenzo (ed.). *Food Industry*. InTech. ISBN 978-953-51-0911-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/53168>. [cit. 2025-04-12].

MOHAN KUMAR, N. S.; SHIMRAY, Crassina A.; INDRANI, D. a MANONMANI, H. K., 2014. Reduction of Acrylamide Formation in Sweet Bread with l-Asparaginase Treatment. Online. *Food and Bioprocess Technology*. Roč. 7, č. 3, s. 741-748. ISSN 1935-5130. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1108-6>. [cit. 2025-04-12].

MOTTA, Joyce Fagundes Gomes; FREITAS, Bárbara Catarina Bastos de; ALMEIDA, Alex Fernando de; MARTINS, Glêndara Aparecida de Souza a BORGES, Soraia Vilela, 2023. Use of enzymes in the food industry: a review. Online. *Food Science and Technology*. Roč. 43. ISSN 1678-457X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/fst.106222>. [cit. 2025-04-12].

MOODIE, Peter, 2001. *Traditional Baking Enzymes - Proteases*. Online. American Institute of Baking. [cit. 2025-04-12].

MUNTEANU, Gabriela-Mariana; VOICU, Gheorghe; FERDEȘ, Mariana; ȘTEFAN, Elena-Mădălina; CONSTANTIN, Gabriel-Alexandru et al., 2019. *DYNAMICS OF FERMENTATION PROCESS OF BREAD DOUGH PREPARED WITH DIFFERENT TYPES OF YEAST*. 4. Bucharest, Romania: *University Politehnica Bucharest, Faculty of Biotechnical Systems Engineering, Splaiul Independentei 313*. ISSN 1582-540X. Online. [cit. 2025-03-14].

MUZZALUPO, Innocenzo (ed.), 2013. *Food industry*. Online. 1. Rijeka, Croatia: IntechOpen. ISBN 978-953_51-0911-2. Dostupné z: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/55834>. [cit. 2025-03-14].

NOVOZYMES, 2016. *Baking product range*. Online. 2016. Dostupné z: https://emt-al.com/files/Produktet_Novozymes_për_Miellin.pdf. [cit. 2025-04-18].

NOVONESIS, 2020. *How baking freshness enzymes work*. Online. 2020. Novonesis. Dostupné z: <https://biosolutions.tv/video/62539068/how-baking-freshness-enzymes-work>. [cit. 2025-04-18].

NOVONESIS, 2025. *Baking biosolutions*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.novonesis.com/en/biosolutions/food-and-beverages/baking>. [cit. 2025-02-26].

PREEDY, Victor R. a WATSON, Ronald Ross, 2019. *Flour and Breads*. Online. 2. London, UK: Elsevier. ISBN 978-0-12-814639-2. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=vG-KDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=lx7sRoYXRr&sig=KJ2kpbEvBmMW2GsZ_wEz5DK4j_M&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. [cit. 2025-04-10].

Příhoda, J. et al. (2003). *Základy pekárenské technologie*. Pekař a cukrář, Praha. ISBN 80-902922-1-6.

PUI, Liew Phing; KARIM, Roselina; YUSOF, Yus Aniza; WONG, Chen Wai a GHAZALI, Hasanah Mohd, 2020. *Anti-caking Agent Effects on the Properties of Spray-dried*

‘Cempedak’ Fruit Powder. Online. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. 2020-11-30, roč. 43, č. 4. ISSN 2231-8542. Dostupné z: <https://doi.org/10.47836/pjtas.43.4.15>. [cit. 2025-04-13].

QUAYSON, Enoch T.; MARTI, Alessandra; BONOMI, Francesco; ATWELL, William a SEETHARAMAN, Koushik, 2016. Structural Modification of Gluten Proteins in Strong and Weak Wheat Dough as Affected by Mixing Temperature. Online. *Cereal Chemistry*. Roč. 93, č. 2, s. 189-195. ISSN 0009-0352. Dostupné z: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-06-15-0123-R>. [cit. 2025-04-10].

REZAEI, Mohammad N; JAYARAM, Vinay B; VERSTREPEN, Kevin J a COURTIN, Christophe M, 2016. The impact of yeast fermentation on dough matrix properties. Online. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Roč. 96, č. 11, s. 3741-3748. ISSN 0022-5142. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7562>. [cit. 2025-04-04].

SATOUF, Mustafa a KÖTEN, Mehmet, 2024. ENZYMES USED IN BAKERY. Online. In: Department of Nursing, Kilis, Turkey, s. 129-148. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Mustafa-Satouf/publication/383095139_ENZYMES_USED_IN_BAKERY/links/66bc89c5145f4d355357e50b/ENZYMES-USED-IN-BAKERY.pdf. [cit. 2025-04-12].

SHALLOM, Dalia a SHOHAM, Yuval, 2003. Microbial hemicellulases. Online. *Current Opinion in Microbiology*. Roč. 6, č. 3, s. 219-228. ISSN 13695274. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(03\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(03)00056-0). [cit. 2025-04-12].

SHEIKH, Mohd Aaqib; ANJUM, Nadira; SAINI, Charanjiv Singh a MOHIT, Sharma, 2023. *Bakery Raw Materials and Quality Parameters*. Online. Mohd Aaqib. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Mohit-Sharma-134/publication/364752915_Bakery_Raw_Materials_and_Quality_Parameters/links/661d27e0f7d3fc2874631f89/Bakery-Raw-Materials-and-Quality-Parameters.pdf. [cit. 2025-04-01].

SHEVKANI, Khetan; SINGH, Narpinder; BAJAJ, Ritika a KAUR, Amritpal, 2017. Wheat starch production, structure, functionality and applications—a review. Online. *International*

Journal of Food Science & Technology. Roč. 52, č. 1, s. 38-58. ISSN 0950-5423. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13266>. [cit. 2025-04-10].

SI, J.Q., 1997. Cereal Foods World. Online. Vol. 1997, no. 42, article 10, s. 802-807. ISSN 0146-6283. [cit. 2025-04-12].

SILVA, Thayná Habeck Lúcio; MONTEIRO, Ricardo Lemos; SALVADOR, Ana Augusta; LAURINDO, João Borges a CARCIOFI, Bruno Augusto Mattar, 2022. Kinetics of bread physical properties in baking depending on actual finely controlled temperature. Online. *Food Control*. Roč. 137. ISSN 09567135. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108898>. [cit. 2025-04-10].

SONG, Yihu a ZHENG, Qiang, 2007. Dynamic rheological properties of wheat flour dough and proteins. Online. *Trends in Food Science & Technology*. Roč. 18, č. 3, s. 132-138. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.11.003>. [cit. 2025-04-02].

STRUYF, Nore; VAN DER MAELEN, Eva; HEMDANE, Sami; VERSPREET, Joran; VERSTREPEN, Kevin J. et al., 2017a. Bread Dough and Baker's Yeast: An Uplifting Synergy. Online. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Roč. 16, č. 5, s. 850-867. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12282>. [cit. 2025-04-01].

STRUYF, Nore; VERSPREET, Joran; VERSTREPEN, Kevin J. a COURTIN, Christophe M., 2017b. Investigating the impact of α -amylase, α -glucosidase and glucoamylase action on yeast-mediated bread dough fermentation and bread sugar levels. Online. *Journal of Cereal Science*. Roč. 75, s. 35-44. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.013>. [cit. 2025-04-13].

TAO, Zhiyu; DONG, Benzhi; TENG, Zhixia a ZHAO, Yuming, 2020. The Classification of Enzymes by Deep Learning. Online. *IEEE Access*. Roč. 8, s. 89802-89811. ISSN 2169-3536. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992468>. [cit. 2025-04-12].

TESCO STORES ČR a.s., 2025. *Pekárna a cukrárna*. Online. 2025. Dostupné z: <https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/shop/pekarna-a-cukrarna/all>. [cit. 2025-04-21].

UNIVAR SOLUTIONS, 2024. *Novonesis Baking with Enzymes*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.univarsolutions.fi/en/blog/food-ingredients-news/baking-with-enzymes-emea>. [cit. 2025-04-14].

VAN HUNG, Pham; MAEDA, Tomoko a MORITA, Naofumi, 2006. Waxy and high-amylose wheat starches and flours—characteristics, functionality and application. Online. *Trends in Food Science & Technology*. Roč. 17, č. 8, s. 448-456. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.006>. [cit. 2025-04-04].

VERDONCK, Celine; DE BONDT, Yamina; PRADAL, Inés; BAUTIL, An; LANGENAEKEN, Niels A. et al., 2023. Impact of process parameters on the specific volume of wholemeal wheat bread made using sourdough- and baker's yeast-based leavening strategies. Online. *International Journal of Food Microbiology*. Roč. 396. ISSN 01681605. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110193>. [cit. 2025-04-06].

Vlaštovka: časopis pro partnery a zaměstnance společnosti Lesaffre Česko, a.s, 2007. Olomouc: Lesaffre Česko. Dostupné také z: <http://www.vlastovicka.cz/cz/casopis-ke-stazeni>.

WANG, Shujun; LI, Caili; COPELAND, Les; NIU, Qing a WANG, Shuo, 2015. Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. Online. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Roč. 14, č. 5, s. 568-585. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143>. [cit. 2025-04-19].

WU, Long; ZHANG, Chenghui; LONG, Yingxi; CHEN, Qi; ZHANG, Weimin et al., 2022. Food additives: From functions to analytical methods. Online. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022-10-24, roč. 62, č. 30, s. 8497-8517. ISSN 1040-8398. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1929823>. [cit. 2025-04-06].

ZHOU, Weibiao; HUI, Y. H.; DE LEYN, I.; PAGANI, M. A.; ROSELL, C. M. et al. (ed.), 2014. *Bakery Products Science and Technology*. Online. Wiley. ISBN 9781119967156. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781118792001>. [cit. 2025-04-02].

ZHANG, Yi; HE, Shudong a SIMPSON, Benjamin K, 2018. Enzymes in food bioprocessing — novel food enzymes, applications, and related techniques. Online. *Current Opinion in Food Science*. Roč. 19, s. 30-35. ISSN 22147993. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.12.007>. [cit. 2025-04-11].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Struktura lepku (Anonym, 1996).....	22
Obrázek 2 Struktura amylózy a amylopektinu (Anonym, 2025)	23
Obrázek 3 Průběh retrogradace škrobu; I nativní škrobové granule, II želatinizace (a) bobtnání (b) a vyluhování amylózy s částečným rozrušením granulí a vzniku škrobového gelu, III retrogradace (a) tvorba amylózové sítě během ochlazování (b) a tvorba uspořádaných krystalických molekul amylopektinu během skladování (Wang et al., 2015)	24
Obrázek 4 Prasklá kůrka pečiva (Anonym, 2023)	28
Obrázek 5 Závislost parametrů L^* , a^* , b^* na koncentraci enzymu (kůrka)	47
Obrázek 6 Závislost parametrů L^* , a^* , b^* na koncentraci enzymu (střída)	47
Obrázek 7 Vzorky pečiva; kontrolní vzorek (A), 0,005 % (B), 0,010 % (C), 0,015 % (D)	48
Obrázek 8 Závislost tvrdosti střídy pečiva na množství enzymu.....	49
Obrázek 9 Závislost pružnosti střídy pečiva na množství enzymu	49
Obrázek 10 Závislost parametru žvýkatelnosti střídy pečiva na množství enzymu	50
Obrázek 11 Závislost parametru elasticity střídy pečiva na množství enzymu	50
Obrázek 12 Závislost soudružnosti střídy pečiva na množství enzymu	50
Obrázek 13 Závislost hmotnosti pečiva na množství enzymu.....	52
Obrázek 14 Závislost objemu pečiva na množství enzymu.....	53
Obrázek 15 Závislost rozměrů pečiva na množství enzymu.....	53
Obrázek 16 Závislost ztrát pečením pečiva na množství enzymu	53
Obrázek 17 Závislost specifického objemu pečiva na množství enzymu.....	54

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Přehled klasifikačních skupin, mechanismu reakcí a vybraných zástupců enzymů	29
--	----

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AMG Amyloglukosidáza

AMK Aminokyselina

CO₂ Oxid uhličitý

°C Stupně Celsia

ČR Česká republika

EC Číslo enzymové komise

FL N_e-fruktolysolysin

FU Farinografické jednotky

g Gramy

GOX Glukózo-oxidáza

HMF 5 – Hydroxymethylfurfural

HMW Vysokomolekulární

ICC International Association for Cereal and Technology

LMW Nízkomolekulární

mm Milimetry

mm/s Milimetry za sekundu

ml Mililitry

ml/g Mililitry na gram

MR Maillardova reakce

N Newton

PPL Potravinářské přídatné látky

TsG Transglutamináza

USA United States of America