

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra kvality a bezpečnosti potravin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Vliv přídavku hmyzí moučky na vlastnosti kynutých těst

Diplomová práce

Zuzana Váchová

Výživa a potraviny

Ing. et Ing. Lucie Jurkaninová, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Vliv přídavku hmyzí moučky na vlastnosti kynutých těst jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. et Ing. Lucii Jurkaninové, Ph.D., vedoucí mé diplomové práce, za odborné vedení, pomoc s praktickou částí a cenné rady, které mi pomohly vypracovat tuto diplomovou práci.

Vliv přídatku hmyzí moučky na vlastnosti kynutých těst

Souhrn

Stálý populační růst vede k rostoucí poptávce po bílkovinách, potravinářský průmysl zvažuje nové alternativní zdroje potravin. Cílem této diplomové práce byl vývoj receptury kynutých pekařských výrobků s přídatkem hmyzí moučky a posouzení vlivu přídatku hmyzí moučky na technologii výroby a kvalitu konečného výrobku. Do receptury pečiva byl přidán rozemletý cvrček domácí (*Acheta domestica*) a potměník moučný (*Tenebrio molitor*) v různém procentuálním zastoupení (5 – 30 %) jako náhrada pšeničné mouky.

U všech směsí byly stanoveny reologické charakteristiky těst v průběhu hnětení, zahřívání a chlazení na přístroji Mixolab 2 Dough Analysis a porovnány s kontrolním vzorkem pšeničné mouky. Z výsledků Mixolab byla zjištěna vaznost vody, ta se v případě moučky z potměníka zvyšovala z 57,5 % na 61,3 %, v případě cvrččí moučky se vaznost vody snižovala od 57,5 % do 50 %. Doba vývoje těsta se snížila oproti kontrole u všech vzorků, jak u směsí s přídatkem potměníka (3,62 – 1,48 min), tak u všech směsí s přídatkem cvrččí moučky (3,62 – 1,60 min). Stabilita těsta se také snížila u moučky potměníků (5,10 min) i cvrčků (5,50 min) oproti kontrolnímu vzorku (9,20 min). Obsah bílkovin v namíchaných směsích se zvyšoval, u moučky z potměníka bylo naměřeno vyšší množství bílkovin (14,34 – 23,54 %), u cvrččí moučky nepatrně nižší (14,25 – 23 %).

Objemová výtěžnost pečiva se snižovala s vyšším podílem hmyzích mouček. U pečiva s moučkou z potměníka byla naměřená objemová výtěžnost 360 – 245 cm³/100 g mouky, kontrolní vzorek 375 cm³/100 g mouky. U cvrččí moučky byla objemová výtěžnost 311 – 246 cm³/100 g mouky, kontrola 348 cm³/100 g mouky. Rozdílnost v objemové výtěžnosti mezi moučkou z potměníka a cvrčka nebyla statisticky významná ($p = 0,201489$).

Senzorická analýza byla zaměřena na barvu, aroma, texturu, chuť a celkový dojem z produktu, analýzy se zúčastnilo 31 neškolených hodnotitelů. K hodnocení byla zvolena kategorová ordinální stupnice. Hodnocení u všech parametrů klesalo s vyššími přídatky hmyzích mouček, jen při hodnocení barvy byly nejlépe hodnoceny vzorky s 5 – 15% obsahem hmyzích mouček.

Výsledky značí, že obohacení pečiva o hmyzí moučky je možné, avšak je potřeba se zaměřit na vývoj receptury, tak, aby finální výrobky dosahovaly co nejlepší technologické a senzorické kvality.

Klíčová slova: jedlý hmyz, hmyzí moučka, pekárenská technologie, kynuté těsto, viskoelastické vlastnosti těst

The effect of the insect meal addition on the leavened doughs properties

Summary

Continuous population growth leads to an increasing demand for protein. The food industry is considering new and alternative sources of food. The aim of this diploma thesis was the development of a recipe for leavened bakery products with the addition of insect meal and assessment of the effect of the addition of insect meal on the production technology and the quality of the final product. *Acheta domesticus* and *Tenebrio molitor* were ground, added to the recipe and used as a substitute for wheat flour from 5% to 30%.

For all mixtures, the rheological characteristics of the doughs during kneading, heating and cooling were determined on the Mixolab 2 Dough Analysis device and compared with a control sample containing only wheat flour. Water absorption was found from the Mixolab results. In the mixture with the addition of insects' flours from mealworm larva, the water absorption increased from 57.5 % to 61.3 %. Water absorption in the mixture with the addition of cricket flour decreased from 57.5 % to 50 %. Development time was shorter compared to the control sample. A shorter dough development time was recorded for *Tenebrio molitor* (3.62 – 1.48 min), but also for mixtures with *Acheta domesticus* (3.62 – 1.60 min). Dough stability also decreased for both mixtures, stability of insects' flour from mealworm larva (5.10 min) and cricket flour (5.50 min) compared to the control sample (9.20 min). The protein content in the mixtures increased, a higher amount of protein was measured in the insects' flours from mealworm larva (14.34 – 23.54 %), slightly lower in the cricket flour (14.25 – 23 %).

With a larger amount of insect meal, the volume of the pastry decreased. For pastries with insects' flours from *Tenebrio molitor*, the volume was measured at 360 – 245 cm³/100 g of flour, the control sample 375 cm³/100 g of flour. For cricket flour, the volume was 311 – 246 cm³/100 g of flour, control 348 cm³/100 g of flour. The difference in volume between insects' flours from mealworm larva and cricket flour was not statistically significant ($p = 0.201489$).

Sensory analysis was focused on color, aroma, texture, taste and overall impression of the product. 31 untrained evaluators participated in the analysis. A categorical ordinal scale was chosen for evaluation. Ratings for all parameters decreased with higher additions of insect meal. Only in the case of color evaluation, a better evaluation was recorded for samples with 5 – 15% insect meal content.

The results show that the enrichment of leavened bread with insect meal is possible, but it is necessary to focus on the development of the recipe so that the final products achieve the best possible technological and sensory quality.

Keywords: edible insects, insect meal, bakery technology, leavened dough, viscoelastic properties of dough

Obsah

1 Úvod	8
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3 Literární rešerše.....	10
3.1 Entomofágie.....	10
3.1.1 Druhy jedlého hmyzu	10
3.1.2 Chov.....	11
3.1.3 Úprava hmyzu před sušením	12
3.1.4 Sušení.....	12
3.1.5 Skladování	14
3.2 Hmyzí moučka.....	15
3.2.1 Nutriční význam hmyzí moučky	16
3.2.1.1 Bílkoviny	16
3.2.1.2 Tuky.....	17
3.2.1.3 Sacharidy	18
3.2.1.4 Vitaminy a minerální látky	18
3.2.2 Využití hmyzí moučky	20
3.2.2.1 Koncentráty, izoláty, hydrolyzáty a extrakce tuků.....	20
3.2.3 Hmyz jako součást potravinových výrobků	21
3.3 Technologie výroby kynutých těst	22
3.3.1 Historie kynutého těsta	22
3.3.2 Suroviny pro výrobu pečiva a jejich vliv na kynutí těsta	22
3.3.3 Technologický postup při výrobě chleba a kynutého pečiva.....	24
3.3.3.1 Příprava a výroba těsta	24
3.3.3.2 Hnětení	25
3.3.3.3 Zrání	26
3.3.3.4 Dělení, tvarování a dokynutí	26
3.3.3.5 Pečení	26
3.3.3.6 Chladnutí a expedice	27
3.4 Reologické vlastnosti těsta.....	27
3.4.1 Mixolab.....	27
3.4.2 Struktura	29
3.4.3 Vaznost vody	29
3.4.4 Doba vývoje těsta a jeho stabilita	29
3.4.5 Viskozita a elasticita	30
3.5 Reologické vlastnosti produktu.....	30

3.5.1	Barva.....	30
3.5.2	Texturní parametry	30
3.5.3	Objem a pórovitost.....	31
3.6	Vliv přídavku hmyzí moučky na nutriční složení kynutých výrobků	32
3.7	Senzorická analýza.....	32
4	Materiál a metodika	35
4.1	Materiál.....	35
4.2	Stanovení vlhkosti a reologických charakteristik na Mixolabu.....	36
4.3	Metodika přípravy pečiva	37
4.4	Metodika stanovení bílkovin	38
4.4.1	Kjeldahlova metoda	38
4.4.2	Spektroskop FT-NIR Antaris.....	38
4.5	Metodika měrný objem pečiva.....	39
4.6	Metodika senzorické hodnocení pečiva	39
4.7	Statistické vyhodnocení	39
5	Výsledky	40
5.1	Stanovení vlhkosti	40
5.2	Mixolab reologické parametry	40
5.3	Stanovení bílkovin.....	45
5.3.1	Kjeldahlova metoda	45
5.3.2	Spektroskop FT-NIR Antaris.....	46
5.4	Měrný objem pečiva.....	47
5.5	Senzorická analýza.....	50
6	Diskuze	53
7	Závěr.....	57
8	Literatura.....	58
9	Samostatné přílohy.....	I

1 Úvod

Jedlý hmyz je díky své nutriční hodnotě a dalším benefitům považován za slibný alternativní zdroj potravin. Přestože je jedlý hmyz součástí lidské stravy po mnoho let, v evropských zemích je hmyz stále považován spíše za lahůdku, avšak začíná si nacházet své místo na trhu. V současné době je na trhu mnoho potravinářských výrobků a nápojů, jejichž základem je hmyz nebo obsahují hmyz jako přísadu. Hmyz je možno konzumovat v různých formách. Lze ho konzumovat v celé rozpoznatelné podobě, přičemž může být upraven například pražením nebo smažením. Další, lidmi často lépe přijímaná, varianta je konzumace zpracovaného hmyzu ve formě mouček nebo past, ty jsou pak přidávány do různých pekárenských výrobků, proteinových tyčinek a dalších potravinářských produktů.

Pšeničné pečivo je celosvětově nejoblíbenější potravina a jeho obohacení o moučku z jedlého hmyzu by mohlo být vhodným řešením pro zlepšení stravy obyvatelstva. Tím, že by došlo k navýšení hodnotných bílkovin, by bylo možné předcházet problémům s podvýživou. Začlenění hmyzí moučky do receptury pšeničného pečiva však může vést k různým změnám. Tyto změny mohou být pozitivní, například zlepšení nutriční hodnoty pečiva, ale mohou mít i negativní dopad na technologické a senzorycké vlastnosti produktu. Aby obohacené pekařské výrobky dosahovaly vysoké kvality, je důležité se zaměřit na technologii výroby již od samého počátku, kterým je chov hmyzu, jeho následná úprava a zpracování. Poté zvolit vhodnou recepturu, tak, aby bylo dosaženo, co nejlepších technologických vlastností kynutých těst a zároveň bylo vyhověno senzoryckým požadavkům spotřebitelů.

Teoretická část této diplomové práce je zaměřena na chov hmyzu určeného k přípravě hmyzích mouček. Následně je popsán nutriční význam hmyzí moučky a její využití. Další část práce je zaměřena na technologii výroby kynutých těst. Poté jsou popsány reologické vlastnosti těsta a finálního produktu s přídavkem hmyzí moučky. Závěr teoretické části je věnován změnám senzoryckých parametrů u pekárenských výrobků s obsahem hmyzu. Praktická část diplomové práce zahrnuje metodiku měření reologických parametrů, pekařský pokus a senzorycké hodnocení, souhrn výsledků a diskuzi. Poskytuje informace o reologických změnách těsta a konečného výrobku se zvyšujícím se přídavkem hmyzích mouček, zejména pak změny v objemu pečiva a v poslední řadě podává informace o senzoryckém přijetí konzumenty.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Částečná náhrada pšeničné mouky hmyzí moučkou ovlivní technologické vlastnosti kynutých těst a sensorickou jakost finálního výrobku.

Cílem diplomové práce je vývoj receptury kynutých pekařských výrobků s přidavkem hmyzí moučky a posouzení vlivu přídatku hmyzí moučky na technologii výroby a kvalitu konečného výrobku.

3 Literární rešerše

3.1 Entomofágie

Entomofágie, tedy požívání hmyzu, není novým trendem, je součástí světových zvyklostí již po staletí (González, 2019). Vzhledem k celosvětově rostoucímu počtu obyvatel a zvyšující se poptávce po dostatečném zdroji bílkovin, je hmyz považován za ekonomickou alternativu (González, 2019). V současné době se k produkci potravin využívá 40 % půdy na Zemi, ale zemědělské půdy a pastvin je nedostatek, a proto je nutné této výzvě čelit účinnějšími a udržitelnějšími metodami (Hughes, 2020). Potravinový systém západního světa, kde převládají ve stravě rafinované obiloviny a maso, má vliv na životní prostředí a výrazně přispívá ke zvyšování emisí skleníkových plynů. Tento způsob stravování také vede ke zhoršení zdravotního stavu obyvatelstva, celosvětově dochází k nárůstu lidí trpících obezitou, cukrovkou II. typu, srdečními onemocněními a rakovinou (Burt, 2020). Ve snaze snížit tyto dopady roste v západním světě poptávka po vysoce kvalitních bílkovinách. Ty by bylo možné využívat také jako doplněk stravy pro sportovce nebo ve speciálních dietách pro starší lidi či pro lidi trpící specifickými chorobami, jako například celiakie (Hughes, 2020). Na druhé straně v rozvojových zemích je potřeba dodávat obohacené potraviny, zejména o bílkoviny, vitaminy a mikroprvky pro každodenní spotřebu dětí a dospívajících (Hughes, 2020). Což potvrzují Gharibzahedi & Jafari (2017), kteří upozornili ve své studii na zvýšenou podvýživu minerálními látkami, tento fakt se netýkal pouze rozvojových zemí, ale i těch průmyslových. Skutečnost poukazuje na potřebu nových strategií pro doplňování minerálů, jako je například fortifikace potravin, s cílem předcházet a omezit nepříznivé poruchy organismu a onemocnění. Udržitelné zdroje potravin jako jsou například hmyzí moučky, mohou být důležitým faktorem pro zlepšení zdraví lidí a životního prostředí. (Burt, 2020)

Před několika lety bylo možné ve většině západních zemí najít jen několik příkladů využití hmyzu ve stravě. Využití hmyzu pro konzumaci bylo považováno spíše za novinku než za potřebu nebo skutečnou poptávku, protože tyto produkty byly vytvořeny pouze pro určité události nebo příležitosti, aby v lidech vzbudily zvědavost (Skotnicka, 2021). Ve většině částí Evropy zůstává entomofágie vzácná nebo je dokonce tabu. Zatímco v západním světě mají lidé tendenci spojovat hmyz s nákazami a zdravotními riziky, v tropických zemích je součástí kulinářských tradic. Lidé v mnoha částech Asie, Afriky a Latinské Ameriky běžně konzumují celý hmyz (Melgar-Lalanne, 2019).

3.1.1 Druhy jedlého hmyzu

V současné době je možné konzumovat kolem 2000 druhů hmyzu, Jongema (2017) napočítal konkrétně 2111 druhů. Mezi celosvětově nejčastěji konzumované druhy se řadí *Coleoptera* (31 %), dále housenky *Lepidoptera* (18 %), včely medonosné, vosy a mravenci *Hymenoptera* (14 %), kobylky, sarančata a cvrčci *Orthoptera* (13 %). Zbývající druhy zahrnují *Hemiptera*, *Isoptera*, *Odonata* a *Diptera* (Skotnicka, 2021).

Mezi nejčastěji navrhované kandidáty na potravu patří cvrčci, kobylky, potměšník (*Tenebrio molitor*) a bourec morušový (*Bombyx mori*) (Patel, 2019). Cvrčci jsou celosvětově

nejkonzumovanějším hmyzem, mají známou texturu, nezanechávají pachů a mají dobré nutriční hodnoty (Durst, 2010). Mouční červi jsou larvy vajíček nakladených potěmnikovými brouky, kteří pocházejí z Afriky. Jsou bohatí na bílkoviny, rychle rostou a živí se organickými zbytky lidské spotřeby, pro své kvality je začalo mnoho společností nabízet jako vhodnou potravinu pro lidi (Feng, 2018). Larvy a housenky bource morušového (*Bombyx mori*) jsou jedním z nejstarších domestikovaných druhů hmyzu, protože jsou původcem pro výrobu hedvábí. Avšak pro jeho dobré nutriční hodnoty se začal také konzumovat. Oblíbené jsou zejména v asijských zemích, jako je Čína, Japonsko, Thajsko, Vietnam a Severní a Jižní Korea. Dalším oblíbeným jedlým hmyzem jsou larvy mouchy černého vojáka (*Hermetia illucens*) a mravenci (Patel, 2019), ti se často konzumují v Indii spolu se sršněmi a termity. V zemích jako je Thajsko a Kambodža, si lidé pochutnávají na kobyilkách, cvrčcích, mravencích, larvách palmového nosatce, ale také na pavoukovicích. Kobylinky jsou velmi oblíbené v Mexiku, Chapulines je známý mexický pokrm z kobylek (Patel, 2019). Housenky a termity se pravidelně prodávají jako potrava na místních trzích v některých afrických zemích (Reverberi, 2020). V jižní Americe jsou oblíbenou pochoutkou cvrčci, mouční červi, mravenci, a také larvy a housenky bource morušového. V italské oblasti Carnia se jako sezónní pochoutka konzumují můry z čeledi Zygaenidae (Patel, 2019).

3.1.2 Chov

Sběr hmyzu z volné přírody nezaručuje kvalitu a potravinovou bezpečnost, a navíc může ohrozit přirozenou biologickou rozmanitost, u některých druhů by mohlo dojít dokonce k jejich vyhynutí. Proto je chov hmyzu pro potravinářské a krmné účely, podobně jako u jiných konvenčních hospodářských zvířat, nezbytný, aby se mohl stát stabilní součástí lidské stravy (Feng, 2018). Manipulace s jedlým hmyzem musí splňovat bezpečnostní a hygienické podmínky při jeho chovu, zpracování a skladování (Carcea, 2020). Předpokládá se, že podmínky v zařízeních pro chov hmyzu používaných k produkci budou v souladu s příslušnými předpisy (Schlüter, 2017). V České republice je hmyz chován na speciálních farmách, které musí splňovat hygienické a bezpečnostní normy. Zásady pro chovatele a zpracovatele hmyzu pro lidskou konzumaci jsou shrnuty v příručce vydané Ministerstvem zemědělství. Chovatelé, kteří chtějí produkovat jedlý hmyz, musí být vedeni na krajské veterinární správě, prostory pro chov musí splňovat nejen požadavky pro chov hospodářských zvířat, ale také musí být v souladu s přirozenými biologickými a fyziologickými potřebami hmyzu. Hmyz musí být zdravý, a pokud není, musí být z chovu eliminován. Prostory chovu musí být pravidelně desinfikovány. Krmivo musí být zdravotně nezávadné, jako příklad krmiva je uvedeno zrní, sója, siláž, chléb, zbytky ovoce a zeleniny (Ministerstvo zemědělství ČR, 2018). Feng, 2018 uvedl, že vybraným krmivem pro hmyz by měl být materiál s nízkou cenou, jako jsou zemědělské zbytky a organické odpady.

Nejrozšířenějšími chovaným hmyzem na světě využívaným pro vývoj potravinářských výrobků jsou larvy a dospělci moučného červa (*Tenebrio molitor*), larvy černé mušky (*Hermetia illucens*), dospělci cvrčka domácího (*Acheta domesticus*), cvrčci (*Gryllus bimaculatus*), švábi (*Gomphadorhina portentosa*) (Hernández-Álvarez, 2021). Většinu chovaného hmyzu lze snadno chovat v malých větraných plastových nádobách při vysokých

okolních teplotách (až 30 °C) a relativní vlhkosti (až 70 %). Mají nízké technické nároky, vysokou hustotu produkce a během některých životních stádií nevyžadují sluneční světlo (Melgar-Lalanne, 2019). Cyklus sklizně hmyzu trvá obecně 45 dní, což je výrazně kratší doba než 4 – 36 měsíců u tradičních hospodářských zvířat (Brogan, 2021).

3.1.3 Úprava hmyzu před sušením

Hmyz se tradičně připravuje mnoha způsoby v závislosti na druhu, životním stádiu hmyzu a specifik různých kuchyní (Hernández-Álvarez, 2021). V mnoha částech světa se na místních trzích prodává hmyz připravený k jídlu pouze usušený na slunci, někdy bývá hmyz pražený nebo smažený, avšak u těchto postupů často nebývají dodržovány hygienické zásady. Pokud hmyz není tepelně upraven, např. vařením, může obsahovat vysokou mikrobiologickou zátěž a může dojít k jeho opětovné kontaminaci nebo křížové kontaminaci. Průmysl zpracování jedlého hmyzu se vyvíjí závratnou rychlostí a poptávka po nových produktech stále roste (Melgar-Lalanne, 2019). Aby se minimalizovalo bakteriální zatížení, je nutné hmyz správně zpracovat, zabalit a skladovat (Belluco, 2013). Výrobní procesy začínají posklizňovou úpravou surového hmyzu a končí výrobou potravin. Vznikají také odpady, z nichž některé mohou být znovu použity jako vedlejší produkty (Raheem et al., 2019). Před tím, než je hmyz usmrcen, je třeba jej nechat vyhladovět jeden až tři dny (Skotnicka, 2021). Vyhladovění je nutné, aby došlo k odstranění obsahu střevních výkalů, a tak se snížila fekální mikrobiota (Hernández-Álvarez, 2021). S exkrementy chovaného hmyzu je třeba nakládat tak, aby nedošlo ke kontaminaci jedlého hmyzu, a je vhodné je zpracovat, tak aby se snížilo znečištění životního prostředí. Například v Číně se exkrementy moučných červů používají jako krmivo pro sladkovodní ryby (Feng, 2018).

Usmrcení hmyzu může probíhat několika způsoby, například usušením, ponořením do vroucí vody, drcením, zmrazením a suchým zmrazením, zadušením oxidem uhličitým nebo usmrcení horkou párou (Ministerstvo zemědělství ČR, 2018). Hernández-Álvarez (2021), uvádí mezi metody usmrcování také blanširování, dušení, infračervené tunely a usmrcení v mikrovlnné troubě. Jako nejpoužívanější metodu zmiňuje blanširování, které má své hygienické výhody a snižuje oxidaci tuků. Při blanširování se potravina vloží na krátkou dobu do vroucí vody, poté se vyndá a ponoří do ledové vody nebo se vloží pod tekoucí studenou vodu, aby se zastavil tepelný proces (Melgar-Lalanne, 2019). Používá se jako předúprava většiny komerčně prodávaného jedlého hmyzu, ke snížení počtu mikrobů a k inaktivaci degradačních enzymů odpovědných za kažení potravin. Blanširování významně snižuje celkový počet mezofilních bakterií, kvasinek a plísní, při eliminaci nebo redukci spor mezofilních bakterií však není účinné. Blanširování snižuje také počty bakterií mléčného kvašení a celkový počet psychrotrofilních bakterií (Vandeweyer, 2017).

3.1.4 Sušení

Sušení je nejpoužívanější technologií pro prodloužení trvanlivosti potravin, je důležitým krokem při konzervaci v průmyslové výrobě a zpracování hmyzu (Kröncke, 2018). Sušení snižuje celkový obsah vody (Melgar-Lalanne, 2019), využívá se k inhibici nebo zpomalení

mikrobiálního růstu, enzymatické aktivity a reakcí hnědnutí (Kröncke, 2018). Sušení také prodlužuje trvanlivost produktů během distribuce a skladování (Melgar-Lalanne, 2019). Techniky sušení jsou různé, tradiční metodou sušení je pražení, smažení, sušení na slunci a sušení kouřem (Gravel, 2020).

Sušení na slunci má výhodu, protože není energeticky náročné, vzorek je vystaven slunečnímu záření, které jej ohřívá a zvyšuje se rychlost odpařování vody z hmyzu. Dehydratace se však liší dle intenzity slunečního záření, konečná vlhkost jednotlivých kusů hmyzu se tak může být odlišná.

Pražení hmyzu probíhá nad plamenem v pánvi při teplotě zhruba 150 °C po dobu 5 minut, může i nemusí být přidán olej (Hernández-Álvarez, 2021).

Další možnou variantou usušení hmyzu je sušení kouřem neboli uzení. Uzení je tepelný proces, při kterém je surový výrobek vystaven kouři, který vzniká pyrolýzou dřeva. Je považován za jednu z nejtradičnějších technik používaných ke konzervaci všech druhů masa. U hmyzu se uzení provádí v suchém prostředí a současně se sušením probíhá proces zrání. Během tohoto procesu dochází kombinovaným působením enzymů a tepla ke změnám bílkovin a tuků (Melgar-Lalanne, 2019).

Mezi další modernější techniky patří sušení v sušárně, sušení mrazem, sušení pomocí mikrovln a fluidní sušení (Gravel, 2020). V současné době se nejvíce využívá na průmyslové úrovni technologie sušení v sušárně a lyofilizace (Hernández-Álvarez, 2021).

Sušení v sušárně je jednoduchý proces, při kterém se vzorek zahřívá a dochází k odpaření vody ze sušeného povrchu (Hernández-Álvarez, 2021). Sušení v sušárně může mít různé parametry v závislosti na druhu hmyzu, ve studii provedené Melgar-Lalanne et al. (2019) se pohybovaly teploty sušení jedlého hmyzu od 40 °C do 80 °C a doba sušení byla v rozmezí 7 až 48 hodin nebo do dosažení konstantní hmotnosti hmyzu. Pokud jsou teploty během sušení příliš vysoké, může dojít k negativním změnám ve vzorku, například k denaturaci bílkovin, což následně může ovlivnit funkční vlastnosti při dalším zpracování (Hernández-Álvarez, 2021).

Lyofilizaci je možné použít pro mokré pevné vzorky, ale i pro kapalné. Jde o dvoufázový proces, kdy se vzorek nejprve zmrazí a poté se vysuší sublimací vykrystalizované vody, proces probíhá při teplotě a tlaku pod trojným bodem vody. Jedná se o nejčastěji používanou techniku při zpracování hmyzích bílkovin (Gravel, 2020). Hmyz se obvykle zmrazí, aby se šetrně usmrtil, a následně se lyofilizuje, aby došlo ke stabilizaci hmyzu po jeho sběru, také dojde ke snížení hmotnosti, a tím se sníží náklady na přepravu a skladování (Kröncke, 2018). Díky odstranění kyslíku a nízkým teplotám zpracování zaručuje dobrou kvalitu produktu (EFSA, 2015), při metodě je zachována struktura, nutriční hodnota, aroma a barva. Bohužel je tento proces energeticky náročný a drahý, proto se používá převážně u vysoce kvalitních produktů (Kröncke, 2018). Parametry lyofilizace pro výrobu hmyzích složek uvedené Melgar-Lalanne et al. (2019) se pohybovaly v rozmezí od -50 °C až -55 °C, po dobu 24 až 48 hodin při tlaku 0,0002 až 0,4 barů.

Mikrovlnné sušení je založeno na interakci elektromagnetického pole s chemickou strukturou potravin. Používá se také u vysoce kvalitních výrobků k zachování přirozeného aroma, textury, barvy a výživové hodnoty. Výhodou mikrovlnného sušení je kratší doba sušení, oproti konvenčnímu sušení a sušení mrazem (Kröncke, 2018). Mikrovlnné sušení bylo použito například k sušení *Tenebrio molitor* nebo *Hermetia illucens*. Parametry mikrovlnného sušení

se pohybovaly od 0,5 do 2 kW po dobu 30 sekund nebo až 20 minut v závislosti na experimentálním uspořádání (Gravel, 2020).

Fluidní sušení je alternativní metoda sušení pro výrobu hmyzí moučky (Gravel, 2020), využívá se však minimálně, kvůli těžko řízené regulaci přívodu vzduchu. Protože hmyz má velmi malou hmotnost, při nadměrném přívodu vzduchu je hmyz vyfukován ven ze sušárny, naopak pokud je přívod vzduchu příliš malý, hmyz se dostatečně nevysuší (Kröncke, 2018).

V závislosti na formě vzorku lze použít různé způsoby sušení. K sušení pevných vzorků se využívá například sušení v sušárně, sušení ve fluidním loži a mikrovlnné sušení, tyto metody se využívají pro výrobu moučky z celého hmyzu před procesem mletí (Gravel, 2020). Melgar-Lalanne, 2019 uvádí, jako preferované technologie k sušení celého jedlého hmyzu, lyofilizaci, sušení v sušárně a na slunci. Pro hmyzí moučky upřednostňuje lyofilizaci, sušení v sušárně a nekonvenční techniky.

Ve studii provedené na larvách potměníka moučného byl zkoumán vliv různých druhů sušení na nutriční hodnoty. Všechny způsoby sušení způsobily malé změny v obsahu bílkovin, tuku a vlákniny. Rozpustnost bílkovin byla nejvyšší u larev sušených mrazem, a naopak se snížila při fluidním a mikrovlnném sušení. Larvy sušené mrazem vykazovaly nejvyšší oxidační stav (Kröncke, 2018).

3.1.5 Skladování

Skladování potravin na bázi hmyzu je důležitým krokem, aby byla zaručena mikrobiologická bezpečnost pro spotřebitele. Mezi běžné metody uchování výrobků z jedlého hmyzu patří chlazení, mražení, balení obsahující vzduch, vakuové balení a balení v modifikované atmosféře (Ojha, 2021). Podmínky skladování hmyzu se však liší v závislosti na druhu hmyzu, a také zda se produkt prodává vcelku připravený ke konzumaci, nebo jako moučka po vysušení. Každý typ výrobku vykazuje specifický vzorec doby skladování, který se odvíjí dle jeho počátečních vlastností a změn způsobených zpracováním (Melgar-Lalanne, 2019).

Pokud je hmyz balen do obalů, nemělo by dojít k jeho kontaminaci, proto je nutné dodržovat hygienicky vyhovující podmínky. Obaly nesmí být zdrojem škodlivých látek a musí být dostatečně pevné, před naplněním musí být čisté a suché. Po naplnění musí být obaly ihned uzavřeny (Ministerstvo zemědělství ČR, 2018).

Ssepuuya et al. (2016) zjistili, že skladování při pokojové teplotě (20 °C), je možné pouze při použití neprůhledného vakuového obalu, tak aby byla zaručena mikrobiologická, chemická a senzorická stabilita. Skotnicka (2021) uvádí trvanlivost 12 týdnů u usušených kobylek uložených v neprůhledném vakuovém obalu. Pokud je vakuově balený výrobek předem ochlazen, lze dobu skladování prodloužit při zachování žádoucích senzorických vlastností až na 22 týdnů. Chlazení vykazuje slibné výsledky také v případě blanširované, sušené a mleté moučky *Acheta domesticus*, kterou je možné uchovat 16 dní při chlazení (5 až 7 °C), ale pouze 4 dny při pokojové teplotě (28 až 30 °C) (Klunder, 2012). Chladicí teploty nejsou schopny inaktivovat lipázy, enzymy zodpovědné za oxidaci tuků, pokud chceme, aby došlo k inhibici enzymových aktivit, lze použít metodu zmrazení (Tiencheu, 2013). Vliv na oxidaci tuků má také druh použitého obalu. Hmyzí moučka skladovaná při pokojové teplotě

v polypropylenových sáčcích vykazovala vyšší oxidaci tuků než hmyzí moučka balená v polyetylenových sáčcích. Polypropylen propouští vodu, a tak došlo k produkci plísni schopných produkovat lipázy (Kamau, 2018).

Balení v modifikované atmosféře může být užitečné pro snížení kontaminace plísněmi u sušeného celého hmyzu nebo u hmyzí moučky. Právě šíření plísni bývá častým problémem při skladování hmyzu, ve studii provedené Kachapulula et al. (2018) bylo na sušených housenkách a termitech po 7 dnech skladování při pokojové teplotě (31 °C) pozorováno vysoké množení plísni, díky čemuž nebyl hmyz bezpečný pro lidskou spotřebu.

3.2 Hmyzí moučka

Aby se zvýšil zájem spotřebitelů o jedlý hmyz, byly vyvinuty různé technologie, které se zaměřují na využití hmyzu v nerozpoznatelné formě (Melgar-Lalanne, 2019). Jednou z těchto forem může být hmyzí moučka. Jedná se o rozemletý hmyz, který tak ztrácí svou podobu a může tak být pro některé spotřebitele snesitelnější (Hughes, 2020).

Nejběžnější metodou je tzv. suchá metoda zpracování, začíná usušením hmyzu různými způsoby, tímto procesem dojde k předúpravě sušiny před samotným mletím, tělo hmyzu zkřehne a je tak jednodušší jej rozmělnit na menší částice. Tímto způsobem se zvýší efektivita, protože malé částice není nutné pomlít vícekrát (Reverberi, 2020). K mletí hmyzu se využívá několik druhů mlýnů, například kladivové, kolíkové a kulové mlýny, ty lze různě přizpůsobit, tak aby vnikly různé velikosti částic, ty pak mají širší škálu využití (Lamsal, 2019). Nevýhodou může být tučnost některých druhů hmyzu jako například larvy zavíječe voskového, které jsou velmi tučné a je nutné je nejprve zbavit tuku, protože při procesu mletí by mohlo dojít k ucpání zařízení (Dossey, 2016). Lamsal et al. (2019) uvádí, že sušení nebo pražení celého hmyzu před mletím by mohlo mít za následek nižší kvalitu produktu s nižší užitností a funkčností. Metoda suchého zpracování je nejčastěji využívána v menších zpracovatelských zařízeních.

V průmyslovém měřítku je využívána tzv. mokrá metoda, kdy se hmyz rozemele s přídavkem vody. Následně je hmota pasterována, aby došlo ke snížení mikrobiologických rizik, a poté usušena, nejčastěji metodou rozprašování. Tímto způsobem dochází k rovnoměrnému rozprostření všech hmyzích složek (tuk, bílkoviny a další) ve všech sušených částicích moučky. Moučky mají jemnější velikost částic, jsou sušší a nejsou vystaveny takovému teplu. Chuť a aroma je neutrálnější, zbarvení pouze lehké (Dossey, 2016). Nevýhodou této metody jsou její vyšší počáteční náklady na vybavení (Reverberi, 2020).

Hmyz ve formě moučky lze použít do nejrůznějších potravinářských produktů a často je také využíván jako krmivo pro zvířata (Hughes, 2020). V současné době je mnoho potravinářských výrobků obohaceno o bílkoviny, které pocházejí z různých druhů obilovin, jako je například žito a oves. Stejně tak je tomu u luštěnin, které jsou bohatým zdrojem bílkovin, například sója je hojně využívána pro své nutriční složení, obsahuje až 41,1 % bílkovin. Moučka z jedlého hmyzu také obsahuje vysoké procento bílkovin a složení aminokyselin je vyvážené, proto je považována za dobrou přísadu do potravinových produktů (González, 2019). Nejčastěji se jsou tyto produkty obohaceny o moučku vyrobenou z cvrčků a moučných červů (*Tenebrio molitor*) (Melgar-Lalanne, 2019).

3.2.1 Nutriční význam hmyzí moučky

Nedostatek potravin a zejména živočišných bílkovin, se může v blízké budoucnosti stát celosvětovým problémem, a tak by nutriční složení hmyzu nemělo být přehlíženo. Kalorický a nutriční profil hmyzu je velmi různorodý, odvíjí se od druhu hmyzu, jeho stravy a také v jakém vývojovém stádiu se momentálně nachází (Brogan, 2021). Jedlý hmyz je výživný a zdravý zdroj potravy s vysokým obsahem tuku, bílkovin, vitamínů, vlákniny a minerálních látek (Borges, 2022). Je kvalitním a udržitelným zdrojem živin, který má potenciál snížit bílkovinou energetickou podvýživu v rozvojových zemích, kde je častým jevem. Jedním z důvodů je příjem především rostlinných bílkovin, které nedokáží dostatečně pokrýt denní dávku bílkovin (Bhutia, 2014).

3.2.1.1 Bílkoviny

Bílkoviny mají důležitou funkci v lidském organismu, podílejí se na syntéze a odbourávání živin a zasahují i do dalších metabolických funkcí, také jsou nezbytné pro udržení svalové hmoty a síly (Roncolini, 2019). Jedlý hmyz je bohatý na vysoce kvalitní bílkoviny, které jsou dobře stravitelné a mají vhodný aminokyselinový profil (Rumpold, 2013). Množství bílkovin v hmyzu je ovlivněno jeho vývojovou fází, může být konzumován jako vajíčka, larvy, kukly nebo dospělci. Obsah hrubých bílkovin se pohybuje v širokém rozmezí od 20 do 70 % v sušině (Xiaoming, 2010). Nutriční hodnotu také ovlivňují ekologické a environmentální podmínky chovu, dále zpracování hmyzu, a především jeho tepelná úprava (Montowska, 2019). V hmyzu je vyšší obsah bílkovin než ve většině rostlin, stejně tak je to i v porovnání s masem a vejci (Skotnicka, 2021). Stravitelnost hmyzích bílkovin se pohybuje kolem 76 – 98 % a je vyšší než u rostlinných produktů jako jsou například arašidy a čočka (52 %). Ve srovnání s hovězím masem a vaječnými bílky (100 %) je stravitelnost nižší (Gravel, 2020).

Analýza nutričního složení cvrččí moučky ukazuje, že je bohatá na bílkoviny, které jsou dominantní složkou. Obsah bílkovin se pohybuje od 42 – 45,8 % sušiny, opět je zmíněno, že složení cvrčků závisí na jejich původu, stádiu života, pohlaví a krmivu. Při bližším zkoumání bílkovin bylo zjištěno, že u dvou ze tří vzorků došlo k degradaci bílkovin, což je následek zpracování hmyzu, kdy byl vystaven vysokým teplotám (Montowska, 2019). Další studie ukazuje, že cvrččí moučka má výrazně vyšší obsah bílkovin (62,16 %) ve srovnání s moukou pšeničnou (11,52 %) a moučkou z larev potěmnicka stájového (*Alphitobius diaperinus*), která obsahovala 55,67 % bílkovin (Kowalski, 2022). Hodnoty jsou podobné také ve studii, kterou provedli González et al. (2019), cvrččí moučka obsahovala přibližně 56 % bílkovin a studii provedenou Sun et al. (2021), kde moučka z *Alphitobius diaperinus* obsahovala přibližně 46 % bílkovin. Brogan (2021) uvádí 70 % bílkovin obsaženého v mouce z cvrčků a kobytek, moučka z kukel bource morušového obsahovala 50 % bílkovin. Také je v jeho studii uvedeno, že hmyzí moučky překročily doporučený příjem esenciálních aminokyselin u osmi aminokyselin z devíti, doporučení vydalo FAO a WHO a vztahuje se na dospělé osoby. Dalším jedlým druhem, který se používá jako složka potravy, jsou larvy moučného červa (*Tenebrio molitor*), tento hmyz může poskytnout až 65 % bílkovin (Kowalski, 2022), stejné procento

bílkovin bylo zaznamenáno u sarančat stěhovavých (*Locusta migratoria*), kteří svým dobrým nutričním složením, udržitelnými produkčními vlastnostmi a dobrými senzorickými vlastnostmi, jsou také vhodnými kandidáty pro potravinářský průmysl (Althwab, 2021).

3.2.1.2 Tuky

Tuky v lidském organismu slouží v první řadě jako zdroj a rezerva energie. Ze všech makroživin jsou nejbohatším zdrojem energie, úplnou oxidací 1 g tuku získá tělo 38 kJ, což je zhruba dvojnásobek než při oxidaci bílkovin a sacharidů (Murray, 2002). Tuky jsou druhou hlavní složkou hmyzu, hmyz tedy není jen dobrým zdrojem bílkovin, na které se zaměřuje většina pozornosti, ale obsahuje i velmi kvalitní tuk a je zdrojem esenciálních mastných kyselin (Tzompa-Sosa, 2014). Také z tohoto důvodu by hmyz mohl být použit v boji proti podvýživě v rozvojových zemích, kde je problém s dosažením energetického příjmu (FAO, 2010). V okolí střev hmyzu se vyskytuje převážné množství celkových tuků, které je centrální zásobárnou energie a je to místo důležité pro metabolismus hmyzu (Schlüter, 2017). Obecně se obsah tuků v hmyzu pohybuje kolem 10 – 30 % čerstvé hmotnosti (Tzompa-Sosa, 2014). V poměru k sušině byly uvedeny podobné hodnoty v rozmezí od 13 do 33 %, některé tučné druhy hmyzu však obsahovaly až 70 % tuku (Schlüter, 2017). Obsah tuku se opět liší v různých stádiích vývoje, larvy a kukly mají obecně vyšší obsah tuků než dospělci (Skotnicka, 2021).

Hmyzí tuky se vyskytují v několika formách jako triacylglyceroly, fosfolipidy, steroly a glykolipidy. Zhruba 80 % tuků se nachází ve formě triacylglycerolů, které jsou využívány při dlouhodobém zvýšeném energetickém výdeji. Slouží jako zásobárna energie například při dlouhých přeletových vzdálenostech. Druhým typem jsou fosfolipidy, které jsou důležité pro strukturu buněčných membrán, jejich obsah obvykle nepřesahuje 20 %. Nejdůležitějším typem sterolu je cholesterol, který je také součástí buněčných membrán a je prekurzorem vitamínu D, steroidních hormonů a žlučových solí. Průměrný obsah cholesterolu v hmyzích tucích byl 3,6 % (Tzompa-Sosa, 2014).

Všechny druhy jedlého hmyzu obsahují esenciální mononenasyčené a polynenasycené mastné kyseliny, zejména kyselinu linolovou a linolenovou, které jsou nezbytné pro prevenci kardiovaskulárních onemocnění (Skotnicka, 2021). Spektrum mastných kyselin však závisí na druhu hmyzu, stádiu vývoje a složení potravy, kterou je hmyz krmen (Schlüter, 2017). Výživová hodnota hmyzích tuků je podobná výživové hodnotě živočišných tuků. (Kowalski, 2022).

Obsah tuku ve vzorcích cvrččí moučky se pohyboval v rozmezí od 23 až 29 %. Z mastných kyselin převažovala kyselina palmitová, olejová a linolová. Nejvyšší obsah tuku mají cvrčci v larválním stádiu života (Montowska, 2019). González et al. (2019) uvádí hodnotu 27 % tuků v mouce získané ze sušeného cvrčka. Moučka z larev moučného červa (*Tenebrio molitor*) obsahovala 28 % tuků (Kowalski, 2022), stejné procento uvádí i Sun et al. (2021) u *Alphitobius diaperinus*.

3.2.1.3 Sacharidy

Sacharidy jsou primárním zdrojem energie v lidském organismu (Hlongwane, 2020). V kombinaci s tuky a bílkovinami dokáží tvořit sloučeniny, které mají důležité fyziologické funkce. Jedlý hmyz je bohatým zdrojem bílkovin a tuků, většina druhů obsahuje menší množství sacharidů, nejběžnější hodnoty naměřených sacharidů se pohybují kolem 1 – 10 % (Xiaoming, 2010). Avšak vyskytují se i některé druhy, které obsahují vysoké množství sacharidů, například *Gryllotalpa africana* obsahuje 47 % (Magara, 2021).

Cvrčci, jakožto jeden z hlavních rodů hmyzu určen k výrobě hmyzí moučky, nepotřebují ke svému růstu sacharidy, protože je dokáží syntetizovat z aminokyselin a tuků. Cvrčci ukládají sacharidy ve formě glykogenu, který pomocí hydrolýzy může být využit později jako forma energie. Sacharidy jako zdroje energie u hmyzu jsou využívány během metamorfózy a také během samčí stridulace u cvrčků (Magara, 2021). Obsah sacharidů je ovlivněn stravou, kterou jsou krmeni (El-Damanhour, 2011). Ve srovnání s kuřecím nebo vepřovým masem jsou cvrčci dobrým zdrojem sacharidů (Magara, 2021).

Jedlý hmyz obsahuje relativně vysoké množství polysacharidů, které mohou posílit imunitní systém lidského těla (Hlongwane, 2020). Veškerý hmyz obsahuje polysacharid chitin, ten je složen z molekul N-acetyl-D-glukosaminu a tvoří základní složku exosketu (Schlüter, 2017). Jedná se o makromolekulární sloučeninu, která má vysokou nutriční hodnotu. Využívá se při hojení ran a má i další léčivé účinky, je využíván také v kosmetických přípravcích (Xiaoming, 2010). Tělo jedlého hmyzu je bohaté na chitin, množství v něm závisí na druhu a vývojovém stádiu hmyzu (Schlüter, 2017), pohybuje se kolem 5 – 15 %. Například kukla *Bombyx mori* obsahuje 3,73 % chitinu (Xiaoming, 2010).

Chitin je tráven v lidském těle pomocí enzymu chitinázy, který je obsažen v žaludeční šťávě. Tento enzym však mají především lidé žijící v tropických oblastech, u ostatních bývá často neaktivní, protože konzumace hmyzu u nich není tradiční záležitostí. Pro lepší stravitelnost hmyzu je vhodné chitin odstranit (Magara, 2021).

Z chitinu lze deacetylací vyrobit chitosan (poly-D-glukosamin), který má své využití v potravinářském průmyslu, používá se jako zahušťovadlo, prebiotikum, antimikrobiální činidlo a také jako polopropustný povlak minimalizující respiraci a ztráty vody z ovoce a zeleniny (Schlüter, 2017).

Cvrčci jsou bohatší na vlákninu ve srovnání s jinými zdroji masa (Magara, 2021).

3.2.1.4 Vitaminy a minerální látky

Vitaminy jsou potřebné pro správný růst, vývoj a funkci organismu. Podílejí se na řadě enzymatických reakcích. Některé mají antioxidantní účinky a mají vliv na posílení obranyschopnosti organismu (Fajfrová, 2011). Jedlý hmyz je bohatý na mikroživiny, co se týče vitamínu, nejvíce jsou zastoupeny vitaminy skupiny B. Například cvrčci a kobylinky jsou dobrým zdrojem kyseliny listové (Rumpold, 2013). Cvrččí moučka je bohatá na vitamin B12, obsahuje přibližně 5,4 mg na 100 g sušiny. Nutriční analýza cvrččí moučky ukázala, že cvrčci obsahují asi desetkrát více vitamínu B12 než hovězí maso (Mason, 2018), dále také obsahuje velké množství dalších vitamínů B, jako je thiamin, riboflavin a kyselina listová. Krom toho je

dobrým zdrojem vitamínu A a vitamínu C. Ve srovnání s kuřecím, vepřovým a hovězím masem, obsahují cvrčci větší množství riboflavinu, vitamínu A a vitamínu C (Payne, 2016).

Minerální látky hrají důležitou roli v lidské fyziologii, uplatňují se například při tvorbě kostní tkáně a hormonů, přenosu nervových vzruchů nebo regulaci imunitního systému a srdečního tepu (Roncolini, 2020). Jedlý hmyz obsahuje vysoké množství železa, zinku, vápníku, draslíku, sodíku, fosforu a dalších minerálních látek, některé z nich jsou schopny dosáhnout dietních referenčních hodnot ve 100 g porci (Rumpold, 2013). Minerální složení je ovlivněno mnoha faktory, jako je období sklizně, zeměpisná poloha, životní podmínky a krmivo (Payne, 2016). Obsah mikronutrientů je také ovlivněn způsobem zpracování jedlého hmyzu, například při sušení kobylek došlo ke snížení obsahu riboflavinu, kyseliny listové, niacinu, pyridoxinu, retinolu, kyseliny askorbové a α -tokoferolu (Skotnicka, 2021).

V posledních letech byla v průmyslových i rozvojových zemích zjištěna podvýživa minerálními látkami, přičemž nejčastěji definovanými minerálními látkami jsou železo a zinek. Vhodnou strategií, jak předejít podvýživě může být fortifikace potravin formou hmyzí moučky, která je bohatá na minerální látky (Roncolini, 2020). Z hlediska obsahu minerálních látek je cvrččí moučka bohatá na stejné minerály (Montowska, 2019), které jsou již zmíněné výše, jejich množství se však může lišit od nezpracovaných druhů. Kosečková (2022) uvádí obsah železa 6,2 mg ve 100 g cvrččí moučky, což je více než u nezpracovaných druhů jedlého hmyzu. Tento rozdíl může být způsoben odstraněním nožiček a křídel při komerční výrobě cvrččí moučky (Cricket Flours, 2021). Totéž platí i pro ostatní prvky. Nicméně cvrččí moučka i další druhy hmyzu vykazují vyšší množství železa než většina běžných obilovin, zrn a mouk (Kosečková, 2022). Obsah železa u většiny hmyzu, zejména u cvrčků, je třikrát vyšší než u hovězího masa, což z nich činí srovnatelný, ne-li lepší zdroj železa, než jsou tradiční živočišné zdroje (Nowakowski, 2022).

Vápník je také často prvkem, jehož příjem bývá nedostatečný (Kosečková, 2022). Obsah analyzovaného vápníku ve 100 g cvrččí moučky byl 139 – 218 mg (Montowska, 2019), stejné hodnoty byly naměřeny také u sarančete pustinné (Rumpold, 2013). Avšak na rozdíl od železa se obsah vápníku výrazně lišil mezi jednotlivými druhy. Vysoké hodnoty vápníku byly naměřeny u nevyhladovělého hmyzu. Zjevné zvýšení však bylo tvořeno spíše zbytky v trávicím traktu než vápníkem zabudovaným v těle hmyzu (Finke, 2004).

Dalším významným prvkem je zinek, jeho nedostatek se vyskytuje v lidské populaci na celém světě, přičemž nejvíce ohroženy jsou těhotné ženy a děti do 5 let. Cvrččí moučka může výrazně podpořit příjem zinku. Obsahuje totiž mnohem více zinku než obiloviny (Kosečková, 2022). U nezpracovaného cvrčka domácího byl naměřen obsah zinku 16,9 mg/100 g (Kosečková, 2022). Montowska et al. (2019) uvádí velmi podobné množství zinku v cvrččí mouce (12,8 – 21,8 mg). Mezi druhy jedlého hmyzu existují i druhy bohatší na zinek, než je cvrček. Například saranče (*Sphenarium histrio*) žijící v Mexiku obsahuje 78 mg/100 g v sušíně (Rumpold, 2013).

Cvrččí moučka se může stát díky svému bohatému minerálnímu profilu cennou potravinářskou složkou pro různé potravinářské výrobky (Montowska, 2019). Avšak důležitá je také biologická dostupnost minerálních látek. Většina jedlého hmyzu obsahuje více hemového železa, než je obsažena v jiném mase, tato forma je nejvíce biologicky dostupná forma železa a pro člověka je snadněji stravitelná než forma železa, která se běžně vyskytuje v rostlinách (Dobermann, 2017). Kobylka (*Sphenarium purpurascens*), cvrček (*Gryllus*

bimaculatus), potěmnik moučný (*Tenebrio molitor*) a potěmnik stájový (*Alphitobius diaperinus*) jsou dobrými zdroji biologicky dostupného železa. Rozpustnost železa u hmyzu byla výrazně vyšší než u hovězí svičkové. Kobylka, cvrček a potěmnik mají také výrazně vyšší množství dostupného vápníku, mědi, hořčíku, manganu a zinku, než se nachází v hovězím mase (Latunde-Dada, 2016).

3.2.2 Využití hmyzí moučky

Trend spotřebitelů vybírat si potraviny s dobrým obsahem živin neustále roste, což vede potravinářský průmysl k výběru inovativních a udržitelných surovin pro výrobu fortifikovaných potravin. Rostoucí zájem o konzumaci potravin s vysokým obsahem bílkovin, vitaminů a minerálů nyní řídí růst trhu s fortifikovanými výrobky (Roncolini, 2019). Vysoká nutriční hodnota jedlého hmyzu přitahuje pozornost výzkumníků a potravinářského průmyslu pro jeho potenciální využití při přípravě potravin se zlepšenými nutričními vlastnostmi (Osimani, 2018). Přestože je jedlý hmyz dobrým zdrojem živin, které by mohly zpestřit stravu, evropští spotřebitelé příliš neakceptují konzumaci celého hmyzu. Jednou z metod, jak zvýšit jejich přijatelnost a spotřebu, je dodávání hmyzu v mleté formě (Montowska, 2019). I v případě, že je hmyz konzumován jako neviditelná složka, musí mít konzumenti důvod, proč si produkt na bázi hmyzu vybrat, aby jej konzumovali pravidelně. Důvody pro takovou volbu se týkají spíše faktorů, jako je vizuální vzhled, chuť, dobrá cena a dostupnost, než ekologická udržitelnost nebo kvalita bílkovin (Melgar-Lalanne, 2019). I přes averzi některých spotřebitelů, počet lidí konzumujících hmyz v poslední době vzrostl, a proto se výzkum zaměřuje nejen na obohacení nutriční hodnoty, ale také na zlepšování technologické a senzorycké kvality výrobků (Borges, 2022). Studie prokázaly pozitivní výsledky zařazení hmyzí moučky, zejména z cvrčků, do výrobků na bázi obilovin, jako jsou chléb, těstoviny, koláče, muffiny a sušenky (Da Rosa Machado, 2019). Cvrččí moučka se může kombinovat s obilnými moukami, a tak se používá jako částečná náhrada běžných druhů mouky v různých obilných výrobcích. Ve vědeckých studiích se nejčastěji používá přidávaný podíl cvrččí moučky v rozmezí 2 – 15 %. Cvrččí moučka je bezlepková, což má za následek mírně odlišné vlastnosti těsta a vyžaduje určitou praxi, aby se člověk naučil s cvrččí moučkou péct, zejména pokud se přidává ve velkém množství (Kosečková, 2022). Použitím hmyzí moučky při výrobě potravinářských produktů jsou ovlivněny technologické vlastnosti (např. emulgate, rozpustnost) také díky interakci chitinu a bílkovin, což může mít vliv na výsledný produkt (Gravel, 2020).

3.2.2.1 Koncentráty, izoláty, hydrolyzáty a extrakce tuků

Z důvodu lepší přijatelnosti pro spotřebitele by hmyz a hmyzí moučka měly být považovány za základní surovinu, která by mohla být použita k získání živin či ostatních složek (Brogan, 2021). Z hmyzí moučky se vyrábí nejen potravinářské výrobky, ale také slouží pro přípravu bílkovinných koncentrátů (65 – 90% bílkovin v sušině) a izolátů (>90 % bílkovin v sušině). Izolované hmyzí bílkoviny jsou zbaveny feromonů a dalších látek, které jsou zodpovědné za charakteristické aroma a chuť výrobků s hmyzími doplňky (Borges, 2022). Kromě přípravy koncentrátu a izolátů je také možné získat vysoce kvalitní hydrolyzáty

(Skotnicka, 2021). Z hmyzí moučky lze také extrahovat tuky, jelikož hmyz obsahuje daleko větší podíl tuku oproti jiným moukám, je vhodné se nadbytečného tuku zbavit, možností může být lisování, nebo odtučnění pomocí extrakčních metod. Odtučněná hmyzí moučka může mít lepší využití v pekárenském průmyslu (González, 2019).

3.2.3 Hmyz jako součást potravinových výrobků

Jedlý hmyz se používá jako přísada nejen do pekařských výrobků (Borges, 2022). V Thajsku je hmyzí moučka součástí mnoha produktů jako například bonbony, čokoláda a likéry. Ve Francii je moučka přidávána do lízátek a paštik (Melgar-Lalanne, 2019). Hmyzí moučka byla také přidána do masných výrobků, zařazení hmyzích bílkovin vedlo k vyšší stabilitě masových emulzí a ke snížení ztrát při vaření. Problémem však byla textura těchto výrobků (Borges, 2022). Dle průzkumu podniky s potravinami na bázi hmyzu prodávají nejčastěji ochucené svačinky, energetické tyčinky a prášky prodávané zejména jako sportovní doplňky (Melgar-Lalanne, 2019). Velmi vhodnou alternativou je zavádění různých procent hmyzích mouček do celosvětově oblíbených a obyvatelstvem široce přijímaných potravin jako jsou těstoviny, chléb a další pekařské výrobky (Carcea, 2020). Přídavek 5% cvrččí moučky do pšeničných těstovin ovlivnil dobu vaření, barvu, texturu a chuť, přičemž posledně jmenovaný vliv byl nejvýraznější. Celkově sensorické hodnocení ukázalo, že obohacené pšeničné těstoviny splnily očekávání spotřebitelů a nevykazovaly žádný významný rozdíl ve srovnání s celozrnnými těstovinami (Gravel, 2020). Muffiny, jejichž receptura zahrnovala cvrččí moučku, byly pro konzumenty stejně přijatelné nebo lepší než muffiny z celozrnné mouky (Burt, 2020). Přídavek cvrččí moučky do ovesných sušenek přináší nutriční výhody, aniž by výrazně ovlivnil tvrdost výrobku. Sensorické hodnocení ukázalo, že 5% obohacení je pro spotřebitele nejvíce přijatelné (Biró, 2020). Dalším fortifikovaným produktem jsou tortilly a tortillové chipsy. Výsledné výrobky obsahovaly všechny esenciální aminokyseliny, včetně 40 % denní potřeby lysinu, a pouze 2,7 % tuku. (Borges, 2022). Na celém světě je pečivo důležitou a široce konzumovanou základní potravinou. Pečivo je bohaté na sacharidy, přibližně 50 % sušiny, obsah bílkovin bývá nízký (6 až 8 % sušiny), z toho důvodu se nabízí pečivo obohatit bílkoviny (Roncolini, 2019). Využití hmyzích mouček při výrobě pečiva může změnit technologické, nutriční, mikrobiologické a sensorické vlastnosti konečného výrobku, a to v závislosti na množství přidané hmyzí moučky i na druhu hmyzu (Roncolini, 2020). Výsledky potvrzují, že obohacení cvrččí moučkou může vést k výrobě bezlepkového pečiva s přijatelnými technologickými vlastnostmi a vysokým obsahem bílkovin (Da Rosa Machado, 2019). Provedené studie prokázaly úspěšné zakomponování jedlého hmyzu do kynutého pečiva za účelem zlepšení nutričních vlastností (Roncolini, 2020).

3.3 Technologie výroby kynutých těst

3.3.1 Historie kynutého těsta

Spontánní kynutí těsta je jedním z nejstarších známých biotechnologických procesů v potravinářství (Arendt, 2007). Jeho hlavním úkolem je kynutí těsta, tak aby vzniklo nadýchané pečivo (Decock, 2005). Objevení kynutého těsta se datuje zhruba kolem roku 6000 př.n.l. Egypťané drtili obilná zrna mezi kameny, vzniklou sypkou směs poté smíchali s vodou a solí, poté těsto ponechali na slunci, a to vlivem působení bakterií nakynulo. V peci byl poté upečen vzdušný, lehký chléb s hnědou kůrkou. V Čechách se pekaři objevili v 11. století jako dvorní řemeslníci (Mihulka, 2009). Založení tradičního kvasu je časově náročné, a tak se pro usnadnění odebíralo kus těsta z předchozího pečení, to se smíchalo s moukou, vodou a solí a vzniklo chlebové těsto, tento postup byl používán až do 19. století (Clarke, 2005). V mouce se vyskytují bakterie mléčného kvašení, a tak dochází k fermentaci těsta, namnožení kvasinek a následné produkci CO₂, což způsobilo nakypření těsta. V pozdější fázi se ke kynutí těsta začaly používat pivovarské kvasnice, aby byl zlepšen proces fermentace (Decock, 2005). V 19. století byl kvas nahrazen pekařským droždím (Clarke, 2005). Avšak díky rostoucí poptávce spotřebitelů se v poslední době navrácí tradiční výroba kvasového chleba, kvas se používá ke zlepšení chuti a má zásadní vliv na konečnou strukturu chleba (Arendt, 2007).

3.3.2 Suroviny pro výrobu pečiva a jejich vliv na kynutí těsta

Hlavní přísady k výrobě základního těsta jsou mouka, voda, droždí a sůl. Vyrobit však pečivo vysoké a stálé kvality pouze z těchto ingrediencí by bylo obtížné, proto pekaři přidávají do těsta přísady, které zvýší výkon těsta během zpracování nebo zlepší kvalitu hotového pečiva (Cauvain, 2015). Strukturu a drobitost pečiva nejvíce ovlivňuje přidaná mouka a voda. Mouka (14,5 % vlhkosti, 13 % bílkovin, 0,55 % popela, pH 5,7 – 6,1) tvoří největší část. Pro přípravu kynutého chleba se nejvíce hodí dvě obiloviny, pšenice a žito. Pšenice má však lepší vlastnosti, a tak je vhodná pro přípravu široké škály kynutých výrobků, které splňují požadavky spotřebitelů na celém světě. Hlavní rozdíl mezi žitnou a pšeničnou moukou je v rozdílných vlastnostech bílkovin (Rosell, 2011). Reologické vlastnosti těsta jsou ovlivněny množstvím škrobu, bílkovin a vody. Hlavním faktorem, který určuje kvalitu mouky, je především vzájemný poměr gliadinu a gluteninu. Tyto dvě bílkoviny tvoří lepek, přičemž gliadin propůjčuje lepku typické viskoelastické vlastnosti (Informační centrum bezpečnosti potravin, 2005). Při dostatečné hydrataci a míchání jsou jeho molekuly schopné vytvořit trojrozměrnou síť, ta hraje hlavní roli ve zpracovatelnosti těsta, zadržuje kvasné plyny a vytváří kostru pečiva, také má vliv na tvar a objem hotového produktu. Viskoelastické vlastnosti těsta závisí jak na kvalitě, tak na množství bílkovin (Rosell, 2011).

Aby bylo dosaženo lehké finální struktury, obsah vody se pohybuje kolem 50 %. Většina receptur řemeslného chleba obsahuje 60 až 75 % vody. Kvasové chleby mají také vyšší procenta vody, následkem je tvorba více bublinek CO₂ a následně hrubší střída (Mondal, 2008). Použitá voda musí splňovat platné normy. Důležitým ukazatelem je tvrdost vody, obsah hořecnatých

a vápenatých solí ovlivňuje kynutí těsta, působí jako regulátory koloidních a biochemických procesů. Soli ztužují bílkoviny a tím zpomalují kvasné procesy, proto příliš tvrdá voda není vhodná, protože těsto je tuhé a výrobky pak mají menší objem a nepříliš dobrou chuť (Skoupil, 2002). Tento jev nemusí být vždy negativní, např. u pšeničné mouky se slabým lepkem se přidáním minerální soli obsažené ve vodě podpoří zpevnění lepku, jako to dělá přidaná sůl do těsta a výsledkem je kvalitnější produkt (Trhoňová, 2019). Další přidávané ingredience jsou droždí 2 %, cukr 4 %, sůl 2 % a tuk 3 % (Mondal, 2008).

Pekařské droždí je komerční přípravek tvořen ze sušených buněk jednoho nebo více kmenů houby *Saccharomyces cerevisiae*. Droždí se v pekařství používá jako kypřící prostředek při kynutí těsta na pečení. Má také vliv na konečnou chuť a aroma pečiva (Ali, 2012). Buňky kvasinek spotřebovávají zkvasitelné cukry přítomné v těstě a vytvářejí oxid uhličitý a etanol, ty jsou zodpovědné za kynutí těsta. Dalšími metabolity jsou organické kyseliny, glycerol a aromatické sloučeniny, které také ovlivňují proces výroby pečiva a jeho konečnou kvalitu. Produkce fermentačních metabolitů v těstě může být ovlivněna různými faktory jako je například složení těsta, podmínky fermentace těsta, podmínky růstu kvasinek a genetické složení kmene kvasinek (Struyf, 2017).

Aby pekařské droždí splňovalo specifické požadavky (technologie, klimatu, skladování atd.) vyrábí se v různých formách. Variace souvisí s fyzikální formou droždí, přičemž hlavní rozdíly jsou v poměru sušiny droždí a vlhkosti. V pekařském průmyslu se můžeme setkat s různými komerčními druhy droždí (Cauvain, 2015). Nejpoužívanější formou je čerstvé lisované droždí, z finančních a praktických důvodů se běžně dodává v hranolech, obsah sušiny je 28 – 30 %. Dále je využíváno droždí granulované, tekuté, sušené, instantní a mražené. Granulované droždí má formu malých částic, které snadno procházejí násypkami hnětacích zařízení, obsah sušiny 30–33 % (Lesaffre, 2019). Protože má mnohem větší povrch než lisované droždí, je citlivější na zvýšení teploty, které zhoršuje kvalitu droždí. Tekuté droždí má konzistenci smetany. Při použití tohoto typu droždí by v pekárně měl být extra obsah vody kompenzován v receptech, obvykle snížením podílu vody v těstě. Sušené droždí má velmi nízký obsah vlhkosti. Jeho výhodou oproti lisovanému droždí je snadnější přeprava a skladování (Cauvain, 2015). Je odolné vůči teplu, čehož se využívá v regionech s klimaticky nepříznivými podmínkami. Instantní droždí má nízký obsah vlhkosti a jemné částice. Hlavní výhodou použití instantního spíše než sušeného droždí je, že droždí lze přidat přímo do mouky (Lesaffre, 2019). Zmražené droždí je lisované droždí, které bylo zmrazeno za zvláštních podmínek, před použitím je třeba jej pomalu rozmrazovat.

Cukr se přidává pro iniciaci fermentace, lepší chuť a barvu kůrky. Je přidáván v práškové nebo kapalné formě jako sirupy. Cukr má inhibiční účinek na aktivitu kvasinek a snižuje aktivitu vody, což může mít vliv na prodloužení trvanlivosti.

Sůl ovlivňuje technologické vlastnosti těsta a sensorické vlastnosti pečiva, jak již bylo zmíněno sůl má vliv na pevnost lepku. V praxi se používá jemně mletá sůl, hrubozrnná sůl se rozpouští pomaleji, proto není z technologického důvodu vhodná.

Tuky jsou ve fermentovaných produktech popisovány jako obohacující látky, mění chuťové vlastnosti pečiva a výrobek je díky tuku měkčí a lépe se krájí. Tuk také prodlužuje trvanlivost produktu, s větším přidáním tuku se prodlužuje trvanlivost. Množství tuku se liší dle výrobku, zejména u jemného pečiva se hladina tuku může zvýšit až na 10 % (Cauvain, 2015).

Průmyslové výroba ve velkém měřítku a zvýšená poptávka spotřebitelů po vysoké kvalitě a delší trvanlivosti vedla k používání potravinářských aditiv, jako jsou například emulgátory a látky zabraňující kvašení. Emulgátory dodávají těstu větší pevnost, aby vydrželo manipulaci se strojem, zrychlují hydrataci, zlepšují strukturu střídy, schopnost zadržovat plyny a prodlužují trvanlivost (Mondal, 2008).

3.3.3 Technologický postup při výrobě chleba a kynutého pečiva

Výroba chleba a pekařských výrobků má několik fází, zahrnuje míchání ingrediencí, dělení a tvarování, kynutí a pečení. Postup může mít různé variace v závislosti na typu produktu (Rosell, 2011). Ač by se mohlo zdát, že receptura má největší vliv na vlastnosti pečiva a pekařských výrobků, studie ukázaly, že jsou to především čtyři hlavní fáze výrobního procesu, zejména mletí, hnětení, kynutí a pečení (Venturi, 2022). Těsto je během procesu hnětení, kynutí a pečení vystaveno různým deformacím, které jsou ovlivněny především teplotou a hydratací vody. Během procesu výroby pečiva dochází k fyzikálním změnám, především bílkoviny jsou zodpovědné za tvorbu struktury těsta, zatímco škrob se podílí hlavně na konečných texturních vlastnostech a stabilitě (Rosell, 2011).

3.3.3.1 Příprava a výroba těsta

Příprava těsta je důležitá technologická operace, která má vliv na kvalitu výrobku. Při přípravě je možné zvolit přímé nebo nepřímé vedení těsta. Způsob, který bude zvolen, záleží na druhu zboží, vybavení pekárny a kvalitě surovin. Pro výrobu pšeničného pečiva však převládá přímé vedení (Decaux, 2009).

3.3.3.1.1 Nepřímé vedení těsta

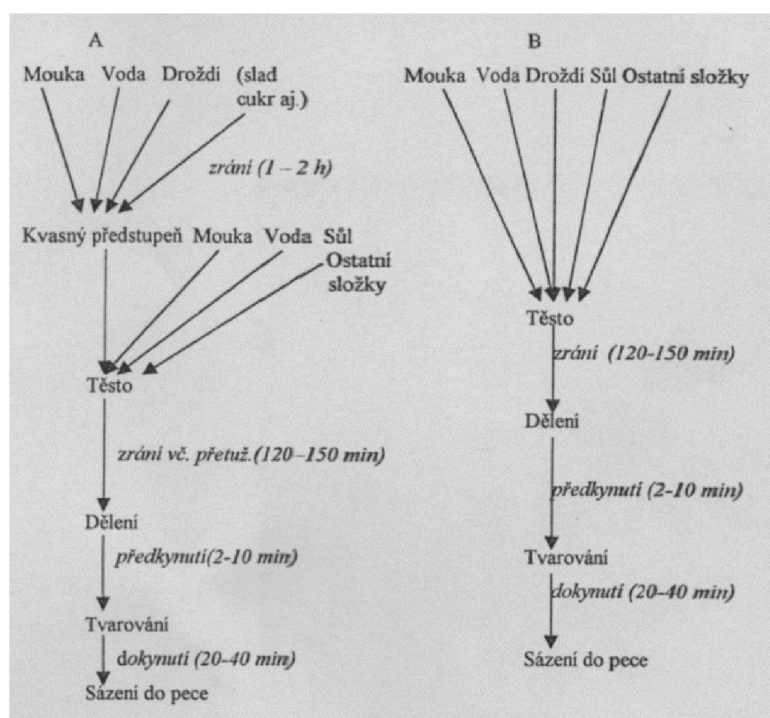
Nepřímé vedení těsta se při výrobě pšeničného pečiva využívá zřídka a spíše v menších pekárnách. Nejprve je nutné připravit kvasné předstupně (omládek a poliš). Omládek se připravuje z vody, mouky, droždí a ječného sladu, vznikne řídká směs, která se nechá prokvasit zhruba jednu hodinu. Dalším typem kvasného předstupně je vedení na poliš. Poliš je řídkší než omládek a zraje zhruba tři hodiny (Kučerová, 2004). Po dozrání kvasného předstupně se přidá zbytek surovin a zadělá se těsto, které bude kynout, zrát a poté se bude tvarovat.

Při výrobě žitného pečiva se nejprve musí vyrobit kvas. Kvas je řídké těsto připravené z žitné mouky a vody, které následně fermentuje díky mikroorganismům přítomným v mouce. Výroba kvasu žitného těsta může být proveden třemi způsoby: klasický způsob, výroba kvasů v kvasometech, kvasové koncentráty. Klasický způsob se skládá z třístupňového vedení kvasu (Mendelova univerzita v Brně, 2023).

3.3.3.1.2 Přímé vedení těsta

Proces přímého vedení těsta je nejjednodušší postup výroby chleba a běžného pečiva. Při přímém vedení se nepřipravují kvasné předstupně, všechny ingredience jsou rovnou

smíchány a poté se uhněte těsto (Atwell, 2016). Těsto se nechá kynout 2 – 4 hodiny. Při krátkodobém zpracování těsta je na odpočinutí těsta vyhrazeno pouze 15 – 30 minut a struktura těsta je dotvářena pomocí intenzivního mechanického zpracování (Deák, 2003). Doba zrání závisí nejen na způsobu hnětení, ale i na použitých zlepšovacích přípravcích (Kučerová, 2004). Pečivo, které prošlo procesem přímého vedení, není obvykle tak chutné, doba fermentace není dostatečně dlouhá, aby se stihly uvolnit aromatické sloučeniny. Doba fermentace má také vliv na konzistenci, protože během dlouhé fermentace kvasinky uvolňují redukční sloučeniny a proteázy v těstě a obě tyto látky snižují velikost lepkových polymerů. V procesu přímého vedení těsta k tomu není dostatek času, takže polymery lepku jsou větší a výsledkem je pružnější konzistence (Atwell, 2016).



Obrázek 1 Schématické porovnání nepřímého (A) a přímého (B) způsobu vedení těsta. Uvedené časy jsou pouze orientační. (Příhoda, 2003)

3.3.3.2 Hnětení

Hnětení (nebo míchání) je základní operací, která by měla být provedena pečlivě, protože významně ovlivňuje rozvoj lepkové sítě a výslednou kvalitu pečiva (Venturi, 2022). Na začátku hnětení dochází k distribuci materiálu, narušení původně kulovitých bílkovinných částic a také k hydrataci moučné složky. Hnětením se stupňuje bobtnání, chemické reakce a enzymově katalyzované reakce. Potřebná mechanická energie způsobuje rozvoj trojrozměrné viskoelastické struktury tvořené z bílkovin. Proteinová síť má schopnost zadržovat plyn. Každé těsto musí být hněteno po optimální dobu, aby se plně rozvinulo. Nedostatečné prohnětení může způsobit malé nepromíchané shluky, které narušují fázi kynutí. Naopak, pokud je hnětení nadměrné, těsto může být prověšené a příliš lepkavé, dochází k oslabení proteinové sítě, což má špatný vliv na konzistenci. Těsto musí být dostatečně tažné a elastické, aby se rozpínalo a udržovalo uvolněné plyny (Rosell, 2011).

3.3.3.3 Zrání

Po vyhnětení těsta nastává proces zrání. Kvasinky během alkoholového kvašení rozkládají sacharidy (škrob a cukry) na oxid uhličitý a alkohol (Rosell, 2011). Během zrání je důležitá teplota. Při vyšších teplotách převládá spíše mléčné kvašení a dochází k tvorbě kyselin, při nižších teplotách dochází k alkoholovému kvašení a tvorbě kypřícího oxidu uhličitého (Kučerová, 2004). Uvolněný oxid uhličitý má za následek růst vzduchových bublin, které byly zabudovány během míchání. Dochází k expanzi těsta a těsto nabývá na objemu (Rosell, 2011). Etanol se během pečení zcela odpaří a nezanechá žádný nepříznivý vliv na kvalitu pečiva (Dahiya, 2019). Na rychlost reakce mají vliv enzymy přítomné v droždí a mouce. Pro zlepšení vlastností pečiva je vhodné během procesu zrání těsto dvakrát přetužit, tím dojde k vypuzení oxidu uhličitého (Rosell, 2011).

3.3.3.4 Dělení, tvarování a dokynutí

Po procesu zrání následuje dělení těsta na klonky, dělení těsta může být provedeno ručně, avšak na kontinuálních linkách jsou umístěny děličky (Kučerová, 2016). Po rozdělení na klonky následuje krátké období předkynutí těsta a poté se klonky tvarují (Deák, 2003). Těsto se tvaruje pomocí tvarovacích strojů a začíná mít přibližný tvar jako finální výrobek. Chleba může být tvarován buď na vykulovacím stoju, kdy těsto získá rovnoměrný kulovitý tvar, nebo je tvarován na vyvalovacím stoju, kdy jsou klonky formovány do válcového tvaru. Pomocí osazovacího zařízení nebo ručně se pak těsto ukládá do ošatek (Kučerová, 2016). Po dělení a tvarování těsta se nechá těsto regenerovat a dojde k dokynutí. Relativní vlhkost v kynárně by se měla pohybovat okolo 75 % a teplota 26 – 28 °C. Po konečném kynutí se bochníky vloží do rozpálené trouby k pečení (Deák, 2003).

3.3.3.5 Pečení

Závěrečná fáze výroby pečiva je pečení, při kterém dojde působením tepla ke zpevnění těsta, jeho struktura je stabilizována a přeměněna na konečný pečený produkt (Dahiya, 2019). Během procesu pečení dochází ve výrobku k současnému přenosu tepla a hmoty, čímž dochází k několika fyzikálním a chemickým změnám, které jsou zodpovědné za typické vlastnosti pečiva (Purlis, 2011).

Během pečení probíhají v těstě tři hlavní změny. První změnou je odpaření vody z těsta a také odchází plyny nahromaděné během fermentace (CO₂, etanol) nebo vytvářené chemickými kypřícími činidly. Objem plynových bublin se zvětšuje za předpokladu, že film těsta zadržuje plyny a je deformovatelný. Druhou změnou je mazovatění škrobu a koagulace bílkovin, která přemění viskózní těsto na převážně elastickou střídku. Tyto reologické změny omezují růst bublin a zvyšují nárůst tlaku. Třetí změna je ve změně struktury, struktura s oddělenými bublinami se přemění na porézní strukturu s propojenými póry. Růst bublin je omezen. Film těsta může prasknout, když už nevydrží přetlak (Vanin, 2009).

Teplota ve středu bochníku zůstává pod 100 °C, povrch dosahuje 140 °C, čímž se vytvoří tvrdá, hnědě zbarvená kůrka (Deák, 2003).

Při pečení pečiva není velké mikrobiologické riziko, jako u jiných potravinářských procesů, kdy je zapotřebí pasterizace nebo sterilace. Ukončení pečení závisí hlavně na kvalitativních aspektech, zejména sensorických vlastnostech, které jsou rozhodující pro přijetí produktu spotřebiteli. Hlavními kritérii jsou barva, textura a chuť (Purlis, 2011).

3.3.3.6 Chladnutí a expedice

Upečené pečivo se před dokončovacími operacemi (krájení, balení) a distribucí musí vždy nechat vychladnout (Deák, 2003). Výrobky se nechávají volně chladnout na vozících a doba vychladnutí závisí na velikosti výrobku. Výrobek je možné zabalit až po úplném vychladnutí (Kučerová, 2004).

3.4 Reologické vlastnosti těsta

Reologie je studium toku a deformace různých materiálů. Při měření reologického chování je na materiál vyvíjena řízená deformace po určitou dobu a poté je měřena výsledná odezva síly. Zjištěnými parametry jsou pak např. tuhost, tvrdost, houževnatost, a nebo viskozita materiálu. Reologické chování látek lze využít k predikci chování daného materiálu v určitých podmínkách, zvláště v případě, kdy jiné měřicí techniky nestačí (Dobraszczyk, 2003).

K měření reologických vlastností těsta je řada měřicích přístrojů např. farinograf, aleveograf, extenzograf a mixograf (Sedláček, 2011). Novější metodou, která kombinuje tyto metody je měření na zařízení Mixolab 2, s jeho pomocí lze získat komplexní charakteristiku reologických a deformačních vlastností těsta.

3.4.1 Mixolab

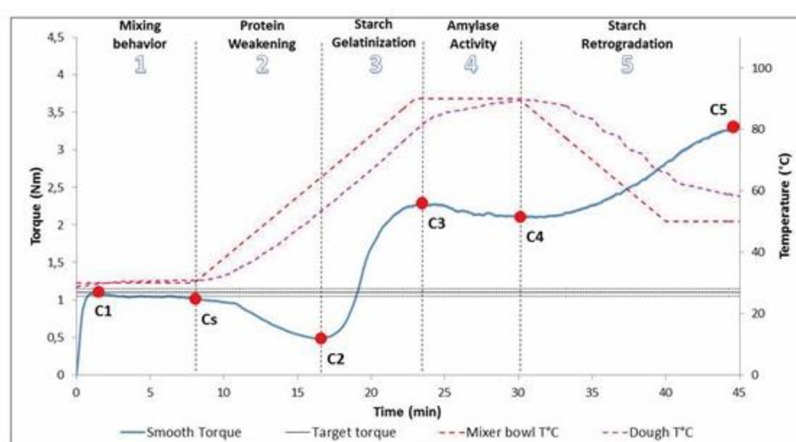
Jednou z možností, kterou lze využít pro testování těsta je zařízení Mixolab, používá se k hodnocení kvality a pečící výkonnosti hydratované mouky. Mixolab je založen na principu farinografu a viskoamylografu, jedná se o záznamový hnětač těsta s možností ohřevu a chlazení (teplotním rozsah 30 – 90 °C).



Obrázek 2 Mixolab 2 Dough Analysis (Mixolab 2 - Dough Analysis, 2023)

V přístroji se nachází dvě hnětací lopatky, které se otáčejí v opačných směrech. Přístroj měří odpor těsta vůči stálému hnětení. Odpor, který vyvíjí těsto vůči hnětení, se nazývá konzistence. Točivý moment je měřený v jednotkách Nm [Newton metr] a je přímo úměrný konzistenci těsta. Celý proces je monitorován komplexním a intuitivním softwarem, data jsou zapisována do tabulky a vykresleny do grafu. Přístroj charakterizuje reologické vlastnosti těsta (vaznost vody, doba vývoje těsta, stabilita těsta, amplituda), které je vystaveno procesu hnětení a změnám teploty. Tím že simuluje proces, kterým těsto prochází během zpracování, napomáhá k pochopení chování těsta (Mixolab, 2023). Mixolab je dále schopný změřit oslabení bílkovin v důsledku míchání a teplot, enzymatickou aktivitu, mazovatění a retrogradaci škrobu.

U přístroje Mixolab 2 lze použít mnoho protokolů. Nejběžnějším protokolem je „Chopin+“, který je standardizován na mezinárodní úrovni. Průběh tohoto protokolu je rozdělen do 5 fází označovaných C1 – C5.



Obrázek 3 Názorný výsledný graf z přístroje Mixolab s vyobrazením jednotlivých fází (C1 – C5) (Mixolab 2 - Dough Analysis, 2023)

První fáze probíhá při konstantní teplotě, nejprve je monitorována schopnost mouky vázat vodu. Absorpční kapacita mouky je hydratace potřebná k tomu, aby těsto dosáhlo dané maximální konzistence. U protokolu Chopin+ se tato konzistence rovná 1,1 Nm (+/- 0,05 Nm) (ekvivalent 500 farinografických jednotek). Absorpční potenciál se odvíjí dle složení mouky (bílkoviny, škrob, vláknina atd.) a ovlivňuje výtěžnost těsta. Dále je zaznamenáno chování těsta během míchání (stabilita, doba vývoje). V druhé fázi dochází ke zvýšení teploty, tím se snížila konzistence těsta. Intenzita tohoto poklesu je závislá na kvalitě bílkovin a jejich odolnosti vůči teplotě. Následuje třetí fáze, kde do určité teploty dochází k nárůstu konzistence, díky mazovatění škrobu, která v této fázi převažuje. V další fázi je měřena aktivita amyláz, čím větší je pokles konzistence, tím větší je aktivita amyláz. V poslední fázi v důsledku ochlazení dochází k retrogradaci škrobu a konzistence těsta se zvyšuje. Retrogradace škrobu závisí na vlastnostech škrobu a jeho hydrolyze během testu, má vliv na trvanlivost produktu, čím vyšší je retrogradace, tím kratší je doba trvanlivosti. Jednotlivé fáze jsou vykresleny na následujícím grafu (Mixolab 2 - Dough Analysis, 2023).

3.4.2 Struktura

Hlavní strukturu těsta tvoří lepkové bílkoviny, které jsou obsaženy v mouce. Při hnětení mouky s vodou se začne tvořit lepivá síť tvořená lepkovými bílkovinami (Primo-Martín, 2005). Schopnost bílkovin vytvářet struktury hraje také důležitou roli pro schopnost těsta zadržovat oxid uhličitý a tím je ovlivněna schopnost nakynutí těsta (Da Rosa Machado, 2019). Při snížení obsahu lepku v těstě, dochází ke zhoršení bílkovinné struktury, těsto je méně plastické, což vede k problémům při zpracování těsta (Mahmoud, 2013). V počáteční fázi pečení má významný vliv bílkovinná struktura, avšak postupným zvyšováním teploty dochází k mazovatění škrobu, tento jev má významný vliv na strukturu konečného produktu. Struktura je zafixována až v závěrečné fázi pečení (Brites, 2010).

3.4.3 Vaznost vody

Důležitou funkční vlastností mouky je schopnost vázat vodu, tato vlastnost ovlivňuje texturu, chuť a trvanlivost pekařských výrobků (Da Rosa Machado, 2019). Náhrada pšeničné mouky cvrččí moučkou vedla ke zvýšení vaznosti vody, naopak přídavek moučky z potemníka měl opačný trend. Tato skutečnost byla způsobena odlišným složením mouček, kdy moučka z potemníka obsahovala více tuků (Cappelli, 2020). Rumpold (2013) uvádí, že v případě těchto mouček by vaznost vody mohla být částečně ovlivněna aminokyselinovým složením hmyzích mouček.

3.4.4 Doba vývoje těsta a jeho stabilita

Doba vývoje těsta neboli doba dosažení maximální konzistence, poukazuje na sílu mouky. Čím silnější mouka tím delší doba vývoje (Dubat, 2012). Doba vývoje těsta s přídavkem *Acheta domesticus* a *Hermetia illucens* se mírně prodloužila ($2,5 \pm 0,2$ min) oproti kontrolnímu vzorku a vzorku, který obsahoval *Tenebrio molitor* ($2,0 \pm 0,1$ min) (González, 2019). Doba vývoje těsta se prodloužila přidáním 30 % cvrččí moučky ($8,1 \pm 0,10$ min). U mouky s 10 % cvrččí moučky nebyly naměřeny žádné významné rozdíly v době vývoje těsta (Osimani, 2018).

Stabilita těsta během míchání, je doba, po kterou si těsto udrželo maximální konzistenci. (González, 2019) Poukazuje na odolnost těsta při míchání, čím delší je tato doba, tím je mouka považována za silnější (Dubat, 2012). Stabilita těsta se zvýšila u těst s obsahem *Acheta domesticus* ($4,4 \pm 0,3$ min) a *Hermetia illucens* ($7,5 \pm 0,3$ min) oproti kontrolnímu vzorku, který neobsahoval hmyzí moučku ale pouze pšeničnou mouku ($1,1 \pm 0,2$ min). Vyšší stabilita těsta u *Hermetia illucens* byla přikládána vysokému obsahu tuku, avšak při pokusu s odtučněnou moučkou z *Hermetia illucens* nebyly pozorovány žádné významné rozdíly (González, 2019). Stabilita těsta se odvíjí od odlišného složení bílkovin, což potvrzuje i Rumpold & Schlüter, 2013 ve své studii, kde byla testována stabilita těsta s přídavkem 15 % cvrččí moučky, a došlo k výraznému nárůstu stability těsta.

Hodnoty doby vývoje a stability těsta jsou ukazateli pevnosti mouky, přičemž vyšší hodnoty naznačují pevnější těsta (Wang, 2002).

3.4.5 Viskozita a elasticita

U většiny potravinářských materiálů, včetně těsta, je obtížné stanovit, zda jsou v pevném nebo kapalném stavu. Takové materiály vykazují elastické i viskózní vlastnosti (Kowalczewski, 2019). Přítomnost lepku v mouce je zásadní pro získání požadovaného objemu a textury, vytvoření silné proteinové sítě vede k požadované viskoelasticitě (Mahmoud, 2013). Vývoj viskoelastických vlastností je ovlivněn vazností vody, která hraje důležitou roli v chemických reakcích probíhajících během míchání a pečení těsta (Guzmán, 2015). Substituce moučkou z moučných červů snížila elastické vlastnosti pšeničného těsta (Xie, 2022). Což potvrzuje i Roncolini (2020), moučka z moučných červů způsobuje tvorbu méně vyvinuté trojrozměrné lepkové sítě, což má za následek méně viskoelastické těsto.

3.5 Reologické vlastnosti produktu

3.5.1 Barva

Barva je jedním z hlavních prvků, společně se strukturou a objemem pečiva, který ovlivňuje přijetí produktu spotřebiteli (González, 2019). Obvykle je barva pečených výrobků přímo závislá na barvě použitých surovin, obsah hmyzích mouček propůjčuje pečivu tmavší barvu a výraznější vůni. Barvu dále ovlivňuje doba a teplota pečení (Borges, 2022). S nárůstem podílu jednotlivých hmyzích mouček v receptuře pečiva se zvyšoval celkový barevný rozdíl. Dle naměřených hodnot byl barevný rozdíl okem pozorovatelný. Barevné rozdíly byly výraznější u kůrky ve srovnání se střídkou. Tmavší odstíny pečiva s obsahem hmyzích mouček mohou být způsobeny jednak tmavší barvou hmyzích mouček ve srovnání s pšeničnou moukou a také s vyšším obsahem bílkovin, který vede k vyšší intenzitě Maillardovy reakce, která probíhá mezi aminoskupinami a karbonylovými sloučeninami (Kowalski, 2022). Barva kůrky je ovlivněna přidáním moučky z hmyzu. S přidávkem mouček *Acheta domesticus* a *Hermetia illucens* vzniká tmavší odstín (Villaseñor, 2022). Získané výsledky se shodují s González (2019), v jehož studii bylo pozorováno snížení světlosti střídky u pečiva obohaceného různými druhy jedlého hmyzu, včetně *Tenebrio molitor*.

3.5.2 Texturní parametry

Hmyzí moučka neobsahuje lepek, částečné nahrazení pšeničné mouky proporcčně snižuje obsah lepku, což přímo ovlivňuje texturu, způsobuje snížení tvrdosti, pružnosti, žvýkatelnosti a soudržnosti, v závislosti na receptuře výrobku (Borges, 2022). Kowalski (2022) uvádí, že všechno pečivo obohacené moučnými červy, bez ohledu na jejich podíl, mělo výrazně horší texturu. Největší vliv byl pozorován na snížení tvrdosti a žvýkatelnosti střídky. U pečiva s přidávkem 10 % cvrččí moučky došlo k významnému snížení tvrdosti a žvýkatelnosti ve srovnání s pšeničným pečivem. Naopak u pečiva obohaceného 20 % cvrččí moučky došlo k významnému zvýšení žvýkatelnosti ve srovnání s pšeničným pečivem. Od 20% podílu hmyzích mouček bylo pozorováno výrazné snížení soudržnosti. Roncolini (2019) také uvádí snížení tvrdosti pečiva, u kterého bylo nahrazeno 5 % a 10 % mouky moučkou z moučných

červů. González (2019) neuvádí žádné významné rozdíly v texturních parametrech u pečiva obsahujícího *Acheta domesticus* a *Tenebrio molitor*. Uvádí však, že došlo ke zvýšení tvrdosti a snížení objemu pečiva s podílem hmyzích mouček. Pečivo obohacené o *Hermetia illucens* vykazovalo významné rozdíly ve všech texturních parametrech, mělo výrazně tužší střídku a nižší pružnost a soudržnost. Nižší pružnost vede k drobení při krájení pečiva, čímž dochází k nižší soudržnosti. Toto pečivo navíc vykazovalo nejvyšší žvýkatelnost, což ukazuje, že k rozžvýkání kousku pečiva před polknutím je zapotřebí delší doba. Současné výsledky se shodují s účinky vzniklými po použití celozrnných nepšeničných mouk (Koletta, 2014).

3.5.3 Objem a pórovitost

Objem pečiva je jedním z důležitých měřítek kvality pšeničné mouky, související s obsahem bílkovin a kvalitou lepku. Objem pečiva je tím vyšší, čím vyšší je množství a tažnost lepku (Mondal, 2008).

Bartkiene (2022) ve své studii zaměřené na substituci pšeničné mouky hmyzí moučkou v pečivu, uvádí, že při 5% náhradě, nedochází k významné změně objemu pečiva v porovnání s kontrolním vzorkem. To lze vysvětlit tím, že cvrččí moučka je dobrým zdrojem dalších aminokyselin pro růst kvasinek. Avšak pórovitost se zvýšila o 7,87 %. Při substituci 10 % a 15 % došlo ke snížení měrného objemu a pórovitosti pečiva. Analyzovaný faktor (různé množství cvrččí moučky) měl významný vliv na měrný objem pečiva ($p = 0,030$).

V další studii pečiva obohaceného hmyzími moučkami, konkrétně z moučky cvrčků a moučných červů, byl pozorován vliv na objem pečiva s rostoucím procentem substituce. Statisticky významný rozdíl ve snížení objemu pečiva vzhledem ke kontrole byl zaznamenán při 10% a 15% substituci jak cvrččí moučky, tak moučky z moučného červa. Zmenšení objemu pečiva je připisováno snížením tažnosti a oslabení lepkové sítě, které vede k následnému snížení schopnosti pečiva zadržovat plyny a zhoršení reologických vlastností (Cappelli, 2020).

V další studii byl také prokázán vliv přídavku hmyzích mouček na měrný objem pečiva. Pečivo s přídavkem hmyzích mouček mělo výrazně nižší měrný objem ve srovnání se pšeničnou kontrolou. Pouze pečivo s obsahem *Acheta domesticus* mělo podobný měrný objem jako kontrola. Příčina snížení objemu byla připisována vyššímu množství vlákniny a sníženému obsahu lepku. V případě moučky z *Hermetia illucens* byla připisována příčina velkému množství tuku z hmyzu, avšak pečivo vytvořené z odtučněné moučky mělo podobný specifický objem, což vylučuje roli tuku při snižování objemu (González, 2019).

Ve studii zaměřené na náhradu pšeničné mouky za moučku z larev potemníka stájového došlo ke snížení specifického objemu. S rostoucí substitucí (10 % a 30 %) došlo ke snížení specifického objemu (Roncolini, 2020). Roncolini et al. (2019) rovněž pozorovali vliv moučky z moučných červů na objem pečiva, přičemž 5% a 10% náhrada způsobila pozitivní vliv na objem pečiva. Zvýšení objemu a měrného objemu pečiva lze pravděpodobně přičíst vyššímu obsahu tuku u moučných červů (2 – 3krát) ve srovnání s ostatními testovanými hmyzími moučkami.

Další studie zkoumající náhradu pšeničné mouky za moučky z cvrčků a larev potemníka moučného a stájového prokázala vliv na objem pečiva. Analýza rozptylu prokázala významnost rozdílů jak v rámci typu mouky, tak v rámci podílu mouky. Významný vliv na zvětšení objemu

a měrného objemu pečiva byl pozorován u 10% podílu moučky z larev potměníka stájového, stejný trend byl pozorován u 10% a 20% náhrady moučky z moučných červů. Pečivo s 10% přídatkem cvrččí moučky a 30% přídatkem moučky z moučných červů se v těchto parametrech ve srovnání s pšeničným pečivem významně nelišilo.

Přidání hmyzí bílkoviny umožňuje výrobu pečiva s přijatelným objemem a dobře provzdušněnou střídkou. S procentuálně vyšším přídatkem *Tenebrio molitor* a *Alphitobius diaperinus* se zvětšovaly vzduchové bubliny ve střídkě a byly nestejněměrné. To lze vysvětlit nižší deformační energií v těstech s přídatkem hmyzí moučky. Nižší pevnost může přispět ke kolapsu bublin a vzniku porušených struktur (García-Segovia, 2020). S vyšším přídatkem hmyzích mouček dochází ke snížení viskoelasticity těsta, to má negativní vliv na tvorbu pórů ve výsledném produktu. Dochází ke špatnému zvětšení a roztažení pórů (De Oliveira, 2017).

3.6 Vliv přídatku hmyzí moučky na nutriční složení kynutých výrobků

Přidáním cvrččí moučky do receptury pečiva došlo k výraznému snížení celkového obsahu sacharidů a také k výraznému zvýšení celkového obsahu minerálních látek. Zařazení 5 % moučky *Acheta domesticus* do pšeničného pečiva zajistilo zvýšení obsahu bílkovin, rozpustné vlákniny a pouze mírné zvýšení obsahu tuku (González, 2019). Pečivo s 10% přídatkem hmyzí moučky dosáhlo organoleptické přijatelnosti u spotřebitelů, toto množství se doporučuje pro přípravu pekařských výrobků. Desetiprocentní podíl hmyzí moučky přispěl k výraznému zvýšení obsahu bílkovin v porovnání s pšeničným pečivem. Pouze desetiprocentní podíl hmyzí moučky způsobuje zvýšení aminokyselinového skóre pro lysin z více než 40 % na téměř 70 % ve srovnání s pšeničným pečivem. Dalším příkladem je přídatek moučky ze škvorů, který může zvýšit podíl bílkovin v pečivu o více než 130 % (Kowalski, 2022). Moučka vyrobená ze švába *Nauphoeta cinerea* byla použita k obohacení pečiva v koncentraci 5 až 15 %. Přídatek hmyzí moučky nezměnil technologické ani senzorické vlastnosti (Melgar-Lalanne, 2019). Další studie uvádí, že nahrazení deseti procent pšeničné mouky cvrččí moučkou se na výsledné chuti jídla téměř neprojeví. Přesto se tímto obohacením běžné receptury pečiva zvýšil obsah zinku o 92 %, vápníku o 44 % a železa o 15 % (Kosečková, 2022).

3.7 Senzorická analýza

Přestože má produkce a konzumace hmyzu mnoho výhod, spotřebitelské přijetí v západních společnostech je velmi nízké. Přijatelnější jsou pro spotřebitele slané výrobky z hmyzu oproti sladkým. Důvodem může být, propagace hmyzu především jako alternativa masa. Začleněním hmyzu do vhodných potravinářských výrobků s dobrou senzorickou kvalitou lze spotřebitele přesvědčit, aby hmyz pravidelně konzumovali (Scholliers, 2019). Neofobie a znechucení přispívají k neochotě jedinců zařadit určitou potravinu do svého každodenního jídelníčku. Zrak má významný vliv na znechucení vůči hmyzu, na což poukazují výsledky senzorického chuťového experimentu, který probíhal se zavázanýma očima, kde účastníci měli

potiže s identifikací jedlých hmyzích produktů a zvýšila se jejich přijatelnost (Melgar-Lalanne, 2019).

Senzorické hodnocení ukázalo, že vzorky pečiva s obsahem cvrččí moučky měly ve srovnání s kontrolními vzorky pečiva výrazně intenzivnější barvu. Při přidavku 10 % a 15 % cvrččí moučky byl zjištěn zápach a pečivo také mělo celkovou vyšší intenzitu chuti. Pečivo s tímto přidavkem vykazovalo vyšší intenzitu kyselosti a hořkosti v porovnání s nižší nebo žádnou substitucí. Při porovnání sensorických vlastností textury pečiva nebyly mezi testovanými skupinami pečiva zjištěny žádné významné rozdíly. U celkové přijatelnosti pečiva nebyly zjištěny žádné významné rozdíly (Bartkiene, 2022).

V sensorické analýze mouček z cvrčka, moučného červa a larev potemníka stájového, byl nejhůře hodnocen vzhled u vzorku s 30% podílem cvrččí moučky. Ostatní vzorky se od sebe výrazně nelišily. Při hodnocení aroma bylo nejhůře hodnoceno pečivo s 20% a 30% podílem moučky z potemníka stájového a 30% podílem cvrččí moučky. Nejnižší hodnocení chuti získalo pečivo s 30% podílem moučky z potemníka stájového. Na základě provedené sensorické analýzy lze konstatovat, že pečivo s 10% přidavkem hmyzí moučky dosáhlo organoleptické přijatelnosti u spotřebitelů, a proto se takové množství hmyzí moučky doporučuje pro přípravu pekařských výrobků. (Kowalski, 2022)

Nejvyšší průměrné hodnoty chutnosti pečiva byly získány u kontrolního pečiva, zatímco nejnižší průměrné hodnoty byly u pečiva vyrobeného s 30 % cvrččí moučky. Pečivo obsahující 10 % cvrččí moučky získalo střední průměrné hodnoty oblíbenosti. Na základě těchto výsledků lze předpokládat, že množství přidané cvrččí moučky výrazně ovlivňuje přijatelnost produktu (Osimani, 2018).

Nissen (2020) uvádí, sensorické hodnocení pečiva obohaceného cvrččí moučkou zaznamenalo podobné výsledky jako standardní pečivo. V další studii spotřebitelé dávají přednost pečivu obohacenému o 5 % a 10 % cvrččí moučky ve srovnání s kontrolním výrobkem, což naznačuje, že cvrččí moučka může být přidána do pečiva pro zlepšení nutričního složení (Bawa, 2020). Ayieko et al. (2016) dokonce uvádějí vysokou preferenci spotřebitelů při 15% přidavku cvrččí moučky (2016).

Pečivo s přidavkem mouček z larev potemníků moučného a stájového mělo různé sensorické rysy. U pečiva s obsahem moučky z potemníka stájového byla zaznamenána hořkost. Pečivo s obsahem moučného červa se vyznačovalo tmavší barvou kůrky a střídý. Celkové hodnocení pečiva obohaceného moučnými červy bylo nepatrně nižší než u kontrolního pečiva (Gaglio, 2021).

Výsledky sensorických analýz ukázaly, že fortifikace pečiva bílkovinami moučných červů významně ovlivnila texturu pečiva a jeho celkovou chutnost, stejně jako barvu kůrky, a to v závislosti na úrovni substituce. Při hodnocení pečiva s 5% a 10% podílem *Tenebrio molitor* bylo pozorováno významně nižší spotřebitelské hodnocení pečiva ve srovnání se standardem (Roncolini, 2019).

Při hodnocení pečiva s přidavkem *Tenebrio molitor* a *Alphitobius diaperinus* bylo pozorováno snížené hodnocení v porovnání s kontrolním pečivem a výrazně se také snižovalo sensorické hodnocení se zvýšením podílu hmyzích mouček. Lepšího hodnocení dosáhlo pečivo s přidavkem moučky z moučných červů oproti *Alphitobius diaperinus* (García-Segovia, 2020)

Obohacení pšeničné mouky mletým termitem (podíl 0 – 20 %) ukázalo, že při 5% substituci se skóre pro texturu, aroma, chuť a celkovou spotřebitelskou preferenci významně

nelišilo od skóre pro samotnou pšeničnou mouku. Zatímco při 20% náhradě byla zjištěna menší přijatelnost ve všech testovaných atributech s výjimkou aroma. Pro jejich celkovou chutnost bylo upřednostňováno pečivo obsahující střední množství cvrččí moučky oproti pečivu, které neobsahovalo žádnou moučku, a nebo vysoké množství cvrččí moučky (Mishyna, 2020).
Ve studii, kde byla použita moučka z kobylek, došlo k poklesu přijatelnosti s vyšším procentem substituce moučkou. Jak se tedy očekávalo, z hlediska obecného zájmu spotřebitelů hraje relevantní roli procento hmyzí moučky přidané do pečiva (Gaglio, 2021).

4 Materiál a metodika

4.1 Materiál

K výrobě pečiva s přidavkem hmyzích mouček byla vybrána Předměřická pšeničná hladká světlá mouka (mlynářské označení T530) a moučka z potměníka moučného a cvrčků. Hmyz byl dodán od chovatele, Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky. K přípravě mouček byly vybrány dva druhy hmyzu cvrček domácí (*Acheta domestica*) a potměník moučný (*Tenebrio molitor*). Mikroklima v insektáriu, kde byl hmyz chován, teplota $27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost 40 – 50 %, fotoperioda 12/12 (světelný cyklus 12 hodin světla a 12 hodin tmy). Cvrček byl krměn krmivem pro kuře, ad-libitum, složení krmiva 77,9 % pšenice, 17,6 % sójový šrot, 1,8 % řepkový olej, 2,7 % minerálních látek (makroživiny a mikroživiny; velikost částic <1 mm). Mouční červi byli krmeni stejným způsobem, navíc jim byly přidávány pšeničné otruby (hmotnostní poměr: 1:4). Voda byla cvrčkům dodávána ve formě vodního gelu, mouční červi měli k dispozici nakrájená jablka, která byla odstraňována denně nebo jednou za dva dny. Cvrčci byli sklizeni po 60 dnech ± 7 dní, naprostá většina byla sklizena v dospělosti. Mouční červi byli sklizeni po 60 dnech ± 14 dní, sklizeň proběhla ve chvíli, kdy se v kolonii objevily první kukly. Po 24 hodinách hladovění byl hmyz usmrcen v mrazáku při $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hmyz byl poté zlyofilizován. Následovalo namletí hmyzu v mixéru Silvercrest SSMS 600 D4 (mletí v periodách 6 x 10 vteřin). Poté byly namíchány směsi pšeničné mouky a hmyzích mouček (homogenizace vzorku promícháváním v mixéru 5x10 vteřin) v rozdílných poměrech (viz Tabulka 1 a Tabulka 2), kdy část pšeničné mouky byla nahrazena moučkou hmyzí.

Tabulka 1 Složení směsi dle přidávaných surovin

Složení	Pšeničná mouka (%)	Moučka z potměníka moučného (%)
Pšeničná mouka T530	100	0
Pšeničná mouka T530 + moučka z potměníka	95	5
Pšeničná mouka T530 + moučka z potměníka	90	10
Pšeničná mouka T530 + moučka z potměníka	85	15
Pšeničná mouka T530 + moučka z potměníka	80	20
Pšeničná mouka T530 + moučka z potměníka	75	25
Pšeničná mouka T530 + moučka z potměníka	70	30

Tabulka 2 Složení směsi dle přidávaných surovin

Složení	Pšeničná mouka (%)	Cvrččí moučka (%)
Pšeničná mouka T530	100	0
Pšeničná mouka T530 + cvrččí moučka	95	5
Pšeničná mouka T530 + cvrččí moučka	90	10
Pšeničná mouka T530 + cvrččí moučka	85	15
Pšeničná mouka T530 + cvrččí moučka	80	20
Pšeničná mouka T530 + cvrččí moučka	75	25
Pšeničná mouka T530 + cvrččí moučka	70	30

4.2 Stanovení vlhkosti a reologických charakteristik na Mixolabu

Před každým měřením byla dvakrát naměřena vlhkost jednotlivých směsí na analyzátoru vlhkosti Radwag MAC 110. Průměrná zjištěná vlhkost byla zadána do softwaru přístroje Mixolab 2 Dough Analysis, který následně vypočetl požadovanou navážku mouky a jednotlivých směsí mouky s hmyzími moučkami a také množství vody. Směs byla navážena na laboratorních vahách a následně pomocí násypky přesypána do komory Mixolabu s hnětačem.



Obrázek 4 Mixolab - komora s hnětačem (Dubat, 2012)

Po spuštění programu Chopin + bylo ze zásobníku automaticky přidáváno množství vody. Voda byla destilovaná a temperována na 30 °C. Doba programu Chopin + je 45 minut. Hmotnost těsta je v tomto protokolu nastavena na 75 gramů. Rychlost míchání byla programem nastavena na 80 ot/m.

Tabulka 3 Navážka směsi a přídavek vody pro anlyzu Mixolab 2

	Potemník		Cvrček	
	Hmotnost směsi (g)	Obsah vody (cm ³)	Hmotnost směsi (g)	Obsah vody (cm ³)
T530 komerční	46,8	28,2	46,8	28,2
T530 + 5 % hmyzí moučka	47,62	27,38	46,8	28,2
T530 + 10 % hmyzí moučka	48,86	26,14	46,77	28,23
T530 + 15 % hmyzí moučka	50,09	24,91	46,72	28,28
T530 + 20 % hmyzí moučka	50,93	24,07	46,69	28,31
T530 + 25 % hmyzí moučka	52,43	22,57	46,45	28,55
T530 + 30 % hmyzí moučka	57,18	17,82	46,07	28,93

Přístrojem Mixolab byla u jednotlivých směsí zaznamenána vaznost vody, doba vývoje těsta, stabilita těsta a amplituda. V průběhu protokolu byly také zaznamenávány jednotlivé fáze, které jsou označovány C1 – C5. V první fázi C1 (teplota 30 °C po dobu 8 minut) dochází k počátečnímu hnětení a je hodnocena tvorba a zeslabení těsta. Nejdůležitějšími parametry jsou maximální konzistence, čas do maximální konzistence a stabilita těsta. Ve fázi C2 (teplota 30 – 60 °C) je hodnoceno oslabení lepku, nejdůležitějším parametrem je snížení točivého momentu, s tím spojená snížená konzistence těsta. Ve fázi C3 (teplota 60 – 90 °C) je hodnoceno mazovatění škrobu. C3 fáze označuje maximální točivý moment získaný po C2 fázi během

ohřevu. Odpovídá měření mazovatění škrobu. Ve fázi C4 (teplota 90 °C) je hodnocena aktivita amyláz, je měřen rozdíl mezi minimální konzistencí fáze C3 a fáze C4, čím větší je pokles konzistence, tím větší je aktivita amyláz. V poslední fázi C5 (teplota 90 – 60 °C) je hodnocena retrogradace škrobu. Nejdůležitější parametr v této fázi je nárůst točivého momentu mezi minimální konzistencí fáze C4 a maximální konzistencí fáze C5.

4.3 Metodika přípravy pečiva

K přípravě těsta byla použita receptura, která obsahovala 150 g mouky, 4,5 g lisovaného droždí, 2,5 g soli a vodu. U těst obohacených o hmyzí moučku byla nahrazena procentuální část pšeničné mouky daným množstvím hmyzí moučky (viz Tabulka 1 a Tabulka 2). Mouka obohacená cvrččí a potemníkovou moučkou byla smíchána v mixéru (5 x 10 vteřin), kdy došlo k rovnoměrnému smíchání surovin.

Těsto bylo připraveno na záraz, tak, že všechny suroviny byly naváženy dle receptury a poté promíchány v hnětači po dobu 5 minut. Množství přidané vody bylo odlišné, odvíjelo se od výsledků vyhodnocených z přístroje Mixolab 2 (viz Tabulka 3), přídavek vody byl přepočítán pro 150 g směsi mouky a hmyzí moučky (viz Tabulka 4). Připravené těsto se nechalo odležet na 20 minut. Po uplynutí doby byly z těsta udělány klonky (60 g). Klonky byly přeneseny do kynárny, kde byly ponechány 45 minut při teplotě 30 °C. Těsto se peklo v pekařské peci Debag Helios, kde byl nastaven 13minutový program pro běžné pečivo „Houska“. Pečení začínalo při teplotě 260 °C, zapáření pece, teplota postupně klesala na 210 °C. Po upečení byly klonky vyndány z pece a ponechány na vzduchu až do úplného zchlazení (60 min). Po ochlazení byl změřen měrný objem pečiva a poté provedeno senzorké hodnocení.

Tabulka 4 Přídavek vody do receptury 150 g směsi

	Potemník		Cvrček	
	Hmotnost směsi (g)	Obsah vody (cm ³)	Hmotnost směsi (g)	Obsah vody (cm ³)
T530 komerční		90		90
T530 + 5 % hmyzí moučka		86		90
T530 + 10 % hmyzí moučka		80		91
T530 + 15 % hmyzí moučka	150	74	150	91
T530 + 20 % hmyzí moučka		71		91
T530 + 25 % hmyzí moučka		65		92
T530 + 30 % hmyzí moučka		47		94

4.4 Metodika stanovení bílkovin

4.4.1 Kjeldahlova metoda

Dusíkaté látky byly stanoveny Kjeldahlovou metodou. Nejprve byla mineralizována bílkovina, kdy pomocí koncentrované kyseliny sírové došlo k převedení organického dusíku na amonnou sůl. Následně byl během destilace převeden dusík z amidových funkčních skupin na amoniak, ten je vázán ve formě síranu. Amoniak byl alkalizací uvolněn ze síranu a poté titračně stanoven. Přepočítání koncentrace dusíku ve vzorku moučky z potměníka a cvrččí moučky na obsah bílkovin byl přepočten pomocí konverzního faktoru 5,33. Tento konverzní faktor byl doporučen pro přesnější výpočet hmyzích bílkovin, namísto běžně udávaného konverzního faktoru 6,25 (Boulos, 2020).

4.4.2 Spektroskop FT-NIR Antaris

Pomocí Spektroskopu FT-NIR Antaris II bylo hodnoceno správné zastoupení hmyzu v jednotlivých namíchaných směsích. Tento přístroj převádí detektorem zaznamenaný interferogram na infračervené spektrum. Přístroj se využívá v potravinářském, chemickém a farmaceutickém průmyslu. Přístroj slouží ke kontrole složení produktů, identifikaci vstupních surovin a verifikaci výrobků. Detektor přístroje Antaris II je zhotoven z india, gallia a arsenidu (InGaAs). Výkon systému má spektrální rozsah $12\ 000 - 3\ 800\ \text{cm}^{-1}$ (833 – 2 630 nm). Zdrojem záření je halogenová zářivka (Thermo Electron Corporation, 2006). Emituje paprsek bílého světla, který prostupuje přístrojem a je selektivně absorbován nebo odražen vzorkem. Pro limitování energie vysílané na vzorek je v přístroji zeslabovací kolo, aby nedošlo k nasycení detektorů, které jsou velmi citlivé na příliš mnoho světla a mohly by tak produkovat zkreslené signály. Při měření na FT-NIR Antaris byl vybrán reflekační režim, kdy je vzorek měřen na integrační sféře s využitím Sample Cup Spinner (rotující kompresní kyveta se skleněným dnem, $\varnothing = 3\ \text{cm}$) (Dvořák, 2016). Kyveta byla rovnoměrně naplněna dokonale promíchaným vzorkem. Poté byl spuštěn software Omnic, který slouží ke zpracování naměřených spekter. V tomto softwaru lze také nastavit měřené parametry, systém dále řídí vlastní měření a umožňuje provádět různé operace se spektry. Další použitý software byl TQ Analyst, pomocí něj byl vytvořen kalibrační model a nezávislý křížový validační model, který zvyšuje věrohodnost výsledků.

4.5 Metodika měrný objem pečiva

K pokusu byly použity dvě nádoby, do větší nádoby byla umístěna menší a poté do ní byly nasypány řepková semínka. Hranou pravítka byla řepka zarovnána, tak, aby hrana pravítka doléhala na řepná semínka. Přebytná řepka byla vysypána. Část řepky v menším hrnci bylo odsypáno a poté byly do hrnce umístěny tři upečené klonky. Odsypanou řepkou byly klonky zasypány a řepka byla opět zarovnána s hranou nádoby. Přepadaná řepka byla nasypána do odměrného válce a tím byl stanoven objem pečiva v cm³.

Výpočet specifického objemu pečiva (cm³/ 100 g mouky)

- Nejprve si vypočítáme množství mouky na 3 ks pečiva podle vzorce:

$$\text{Hmotnost mouky na 3 ks pečiva} = \frac{\text{hmotnost klonek} \times \text{hmotnost mouky v receptuře (g)}}{\text{celková hmotnost těsta (g)}}$$

- Výpočet objemové výtěžnosti pečiva:

$$\text{Objemová výtěžnost} = \frac{\text{zjištěný objem 3 ks pečiva (cm³)}}{\text{hmotnost mouky na 3 ks pečiva (g)}} \times 100$$

4.6 Metodika senzorické hodnocení pečiva

Senzorické hodnocení probíhalo ve dvou etapách, nejprve bylo hodnoceno pečivo s přidavkem moučky z potměníka. Hodnocení se účastnilo 31 neškolených hodnotitelů. Věkové rozmezí hodnotitelů bylo v rozmezí od 21 let do 57 let. V druhé etapě bylo hodnoceno pečivo s přidavkem cvrččí moučky. Věkové rozmezí hodnotitelů bylo od 19 let do 58 let. K hodnocení byla zvolena kategoriá ordinální stupnice, kdy hodnotitel musí testovaný vzorek zařadit do jednoho z uvedených stupňů. K hodnocení byla zvolena hédonická 6 bodová stupnice. Pro zjednodušení výsledků byly jednotlivé stupně vyjádřeny číslicí. Hodnotitelům byl vysvětlen význam jednotlivých výrazů použitých ve stupnici a poté své vjemy zaznamenávali do formuláře (viz příloha III). Při senzorickém hodnocení byly hodnoceny tyto znaky: barva, aroma, textura kůrky a střídky, chuť a celkový dojem.

4.7 Statistické vyhodnocení

Vyhodnocení výsledků bylo provedeno pomocí programu STATISTICA 12 (StatSoft, Inc.). Závislost mezi vlivem přidavku hmyzích mouček a změn reologických vlastností těsta byla vyhodnocena korelační analýzou při zvolené hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Stejným způsobem byla vyhodnocena závislost mezi vlivem přidavku hmyzích mouček a objemovou výtěžností. Statistické rozdíly v objemové výtěžnosti mezi vzorky s přidavkem hmyzí moučky z cvrčků a potměníků byly vyhodnoceny pomocí t-testu pro nezávislé vzorky při zvolené hladině významnosti $\alpha = 0,0$

5 Výsledky

5.1 Stanovení vlhkosti

Na analyzátoru vlhkosti Radwag MAC 110 byla naměřena vlhkost směsí pšeničné mouky a hmyzích mouček. Z výsledků (viz Tabulka 5) vyplývá, že s vyšším přídatkem hmyzích mouček se zvyšovala i vlhkost směsi. Přičemž vlhkost směsi s moučkou z potemníka byla výrazně vyšší než u směsi s přídatkem cvrččí moučky.

Tabulka 5 Vlhkost směsí obohacených hmyzími moučkami

Směs	Potemník	Cvrček
	Vlhkost průměr (%)	Vlhkost průměr (%)
T530 + 0 %	12,5	12,5
T530 + 5 %	14,0	12,5
T530 + 10 %	15,1	12,6
T530 + 15 %	16,9	12,9
T530 + 20 %	17,5	13
T530 + 25 %	19,7	13,1
T530 + 30 %	24,8	13,2

5.2 Mixolab reologické parametry

Výsledky měření na přístroji mixolab jsou uvedeny v Tabulka 6 (moučka z potemníka) a Tabulka 7 (cvrččí moučka). Hodnocení těsta bylo zaměřeno na vaznost vody, dobu vývoje těsta, stabilitu těsta a amplitudu těsta, která značí pružnost těsta. Dle návodu Mixolabu by se vaznost vody měla pohybovat v rozmezí od 55 % do 60 %. U směsí obohacených hmyzími moučkami by pak ideální vlhkost měla být 58 – 60 %. V případě moučky z potemníka se s vyšším přídatkem vaznost vody snižovala. Vaznost vody u mouky bez přídatku hmyzí moučky byla 57,5 %, stejné množství měla i směs s přídatkem 5 % moučky. Obohacení mouky o 30 % vedlo ke snížení vaznosti vody na 50 %. V případě cvrččí moučky došlo k opačnému trendu, kdy se vaznost vody s vyšším přídatkem hmyzí moučky zvyšovala. Mouka bez přídatku hmyzu a směs obohacená 5 % cvrččí moučky měla opět vaznost 57,5 % jako v případě potemníků. Při nejvyšším obohacení tzn. 30 % cvrččí moučky, došlo ke zvýšení vaznosti na 61,3 %. Doba vývoje těsta se přídatkem hmyzí moučky zkracovala, největší rozdíl 2,14 minuty byl mezi pšeničnou moukou a směsí s 25% přídatkem moučky z potemníka. U 30% přídatku moučky z potemníka došlo opět k výraznému prodloužení času, doba vývinu těsta dosahovala podobných hodnot jako samotná pšeničná mouka. V případě přídatku cvrččí moučky byl naměřen největší rozdíl 2 minuty, a to v případě pšeničné mouky a vzorkem s 30 % moučky. Stabilita těsta ve všech případech vykazovala nižší hodnoty oproti kontrolní mouce, kde byla naměřena 9,2 minuty. Amplituda značí pružnost těsta, čím vyšší hodnota, tím větší pružnost mouky. Nejvyšší hodnota byla naměřena u přídatku 30 % moučky z potemníka a podobné hodnoty vykazovala i směs obohacená 15 % cvrččí moučky.

Tabulka 6 Reologické parametry směsí obohacených moučkou z potemníka z přístroje Mixolab

	Vaznost vody (%)	Doba vývoje těsta (min)	Stabilita těsta (min)	Amplituda/pružnost (Nm)
T530	57,5	3,62	9,20	0,063
T530 + 5 % moučka z potemníka	57,5	3,50	8,20	0,066
T530 + 10 % moučka z potemníka	55,5	2,52	5,60	0,069
T530 + 15 % moučka z potemníka	54,2	2,55	6,20	0,065
T530 + 20 % moučka z potemníka	53,5	1,57	7,80	0,063
T530 + 25 % moučka z potemníka	53	1,48	7,60	0,075
T530 + 30 % moučka z potemníka	50	3,45	5,10	0,097

Tabulka 7 Reologické parametry směsí obohacených cvrččí moučkou z přístroje Mixolab

	Vaznost vody (%)	Doba vývoje těsta (min)	Stabilita těsta (min)	Amplituda/pružnost (Nm)
T530	57,5	3,62	9,20	0,063
T530 + 5% cvrččí moučka	57,5	3,02	7,70	0,073
T530 + 10 % cvrččí moučka	57,8	1,67	8,60	0,068
T530 + 15 % cvrččí moučka	58,5	2,50	6,20	0,091
T530 + 20 % cvrččí moučka	58,8	2,78	8,20	0,083
T530 + 25 % cvrččí moučka	59,8	1,65	7,90	0,059
T530 + 30 % cvrččí moučka	61,3	1,60	5,50	0,054

V Tabulka 8 můžeme vidět statistické vyhodnocení korelací mezi množstvím přídavku moučky z potemníka a reologickými parametry těsta. Mezi množstvím přídavku hmyzí moučky a vazností vody, byly zjištěny statisticky významné silné závislosti, stejně tak tomu bylo i u amplitudy.

Tabulka 8 Korelační analýza vlivu množství přidané moučky z potemníka na reologické vlastnosti těsta

Proměnná	%	Vaznost vody	Doba vývoje těsta	Stabilita těsta	Amplituda/pružnost (Nm)
%	1,000000	-0,970236	-0,471347	-0,582939	0,724251
Vaznost	-0,970236	1,000000	0,319758	0,666007	-0,794216
Doba vývoje těsta	-0,471347	0,319758	1,000000	0,039117	0,207176
Stabilita těsta	-0,582939	0,666007	0,039117	1,000000	-0,637782
Amplituda/pružnost (Nm)	0,724251	-0,794216	0,207176	-0,637782	1,000000

V Tabulka 9 je uvedeno vyhodnocení korelační analýzy, kde byl vyhodnocen vliv přídavku cvrččí moučky na reologické vlastnosti těsta. Zejména mezi množstvím přídavku hmyzí moučky a vazností vody, byly zjištěny statisticky významné silné závislosti.

Tabulka 9 Korelační analýza vlivu množství přidané cvrččí moučky na reologické vlastnosti těsta

Proměnná	%	Vaznost	Doba vývoje těsta	Stabilita těsta	Amplituda/pružnost (Nm)
%	1,000000	0,939356	-0,749232	-0,650828	-0,233412
Vaznost	0,939356	1,000000	-0,669244	-0,701621	-0,451798
Doba vývoje těsta	-0,749232	-0,669244	1,000000	0,452095	0,363973
Stabilita těsta	-0,650828	-0,701621	0,452095	1,000000	-0,040373
Amplituda/pružnost (Nm)	-0,233412	-0,451798	0,363973	-0,040373	1,000000

Identifikace jednotlivých bodů vypočítaných pomocí Mixolabu, které ovlivňují reologické a enzymatické parametry, jednotlivé fáze jsou značeny C1 – C5. Naměřené hodnoty v jednotlivých fázích jsou uvedeny v Tabulka 10 pro moučku z potměníka a Tabulka 12 pro cvrččí moučku.

Tabulka 10 Reologické charakteristiky těsta s přidavkem moučky z potměníka

	C1 (Nm)	C2 (Nm)	C3 (Nm)	C4 (Nm)	C5 (Nm)
T530	1,07	0,48	1,811	1,646	2,595
T530 + 5 % moučka z potměníka	1,074	0,381	1,573	1,654	2,733
T530 + 10 % moučka z potměníka	1,132	0,351	1,894	1,76	3,066
T530 + 15 % moučka z potměníka	1,098	0,337	1,96	1,759	2,937
T530 + 20 % moučka z potměníka	1,061	0,33	2,004	1,513	2,092
T530 + 25 % moučka z potměníka	1,073	0,325	2,003	1,399	1,895
T530 + 30 % moučka z potměníka	1,067	0,284	1,365	1,319	1,84

V Tabulka 11 můžeme vidět statistické vyhodnocení korelací mezi množstvím přidavku moučky z potměníka a reologickým a enzymatickým stavem těsta. Statisticky nejvýznamnější závislost byla zjištěna ve fázi C4.

Tabulka 11 Korelační analýza vlivu množství přidané moučky z potměníka na reologický a enzymatický stav těsta

Proměnná	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	-0,03625	0,256664	0,675199	0,747488
C2	-0,03625	1	0,130622	0,493659	0,441911
C3	0,256664	0,130622	1	0,365199	0,206721
C4	0,675199	0,493659	0,365199	1	0,978349
C5	0,747488	0,441911	0,206721	0,978349	1

Tabulka 12 Reologické charakteristiky s přidavkem cvrččí moučky

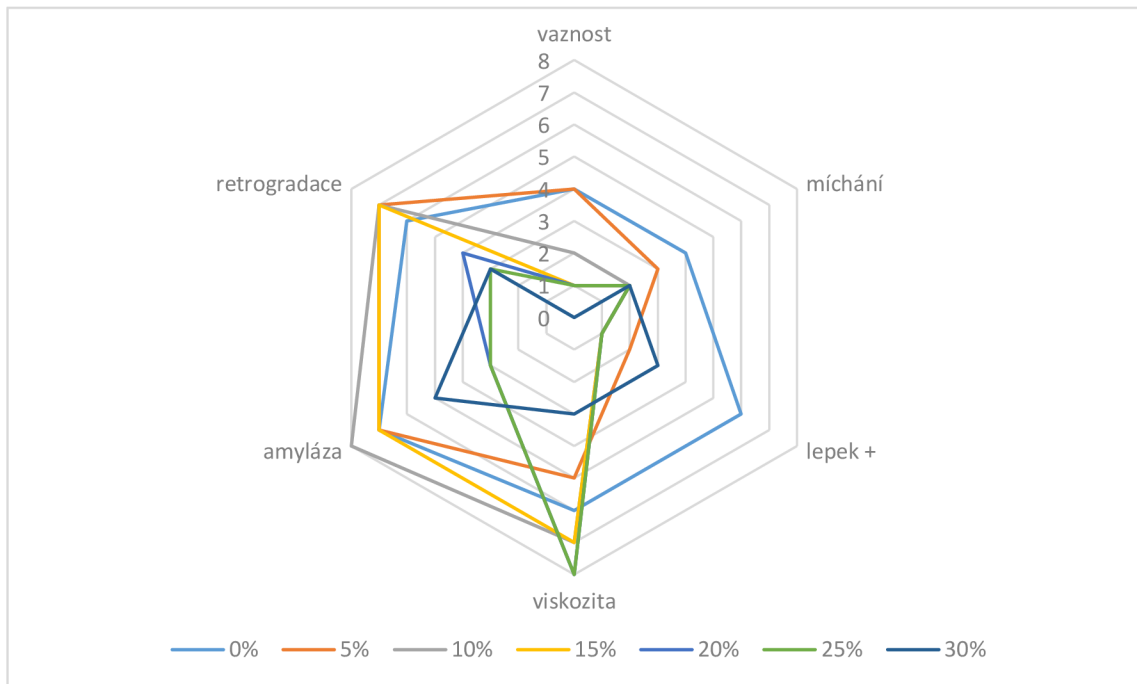
	C1 (Nm)	C2 (Nm)	C3 (Nm)	C4 (Nm)	C5 (Nm)
T530	1,07	0,48	1,811	1,646	2,595
T530 + 5% cvrččí moučka	1,126	0,447	2,008	1,148	1,695
T530 + 10 % cvrččí moučka	1,081	0,415	2,107	0,648	0,958
T530 + 15 % cvrččí moučka	1,146	0,437	2,208	0,513	0,723
T530 + 20 % cvrččí moučka	1,14	0,426	2,206	0,351	0,472
T530 + 25 % cvrččí moučka	1,133	0,424	2,144	0,254	0,347
T530 + 30 % cvrččí moučka	1,11	0,363	1,98	0,137	0,226

V Tabulka 13 můžeme vidět statistické vyhodnocení korelací mezi množstvím přidavku cvrččí moučky a reologickým a enzymatickým stavem těsta. Statisticky významná silná závislost byla zjištěna ve všech fázích C1 – C5.

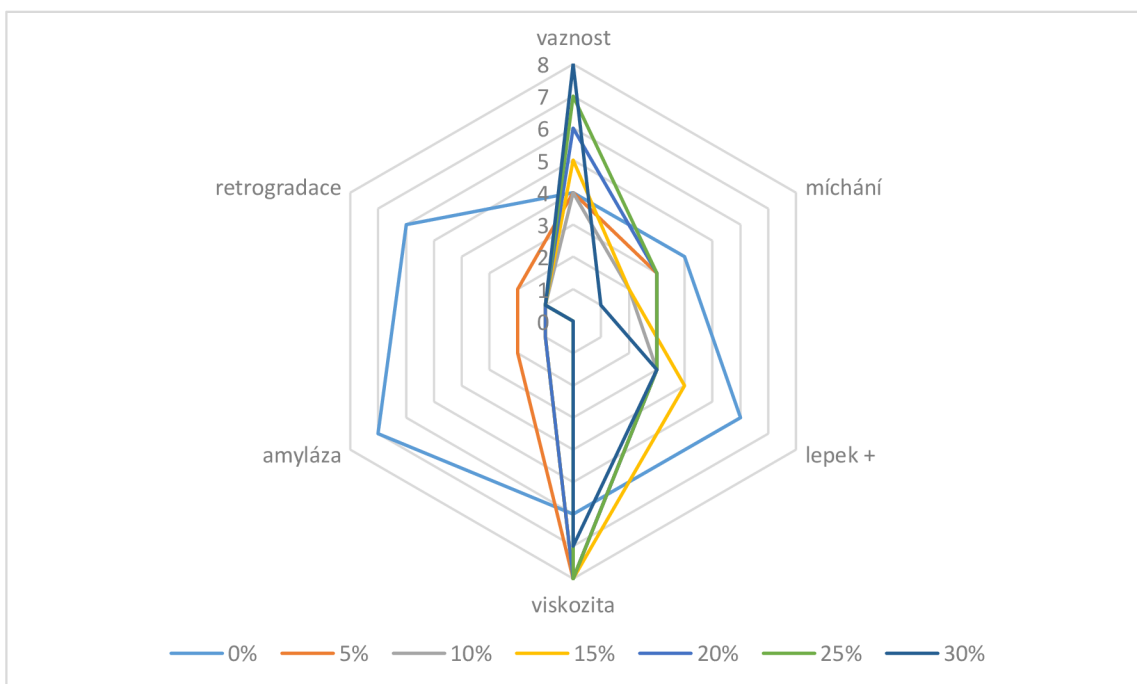
Tabulka 13 Korelační analýza vlivu množství přidané cvrččí moučky na reologický a enzymatický stav těsta

Proměnná	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	-0,19177	0,754708	-0,5781	-0,60787
C2	-0,19177	1	-0,28229	0,828214	0,811711
C3	0,754708	-0,28229	1	-0,70963	-0,74095
C4	-0,5781	0,828214	-0,70963	1	0,998576
C5	-0,60787	0,811711	-0,74095	0,998576	1

Mixolab používá standardizovaný protokol pro kompletní charakterizaci mouky, který poskytl zjednodušenou grafickou interpretaci výsledků. Mixolab Profiler převádí standardní křivku na 6 indexů s hodnocením od 0 do 9. Profiluje mouku na základě 6 základních kritérií: index absorpce vody, index míchání, index síly lepek, index viskozity, amylázový index a index retrogradace. Následující dva pavučinové grafy vyobrazují indexy hodnocených parametrů u jednotlivých směsí.

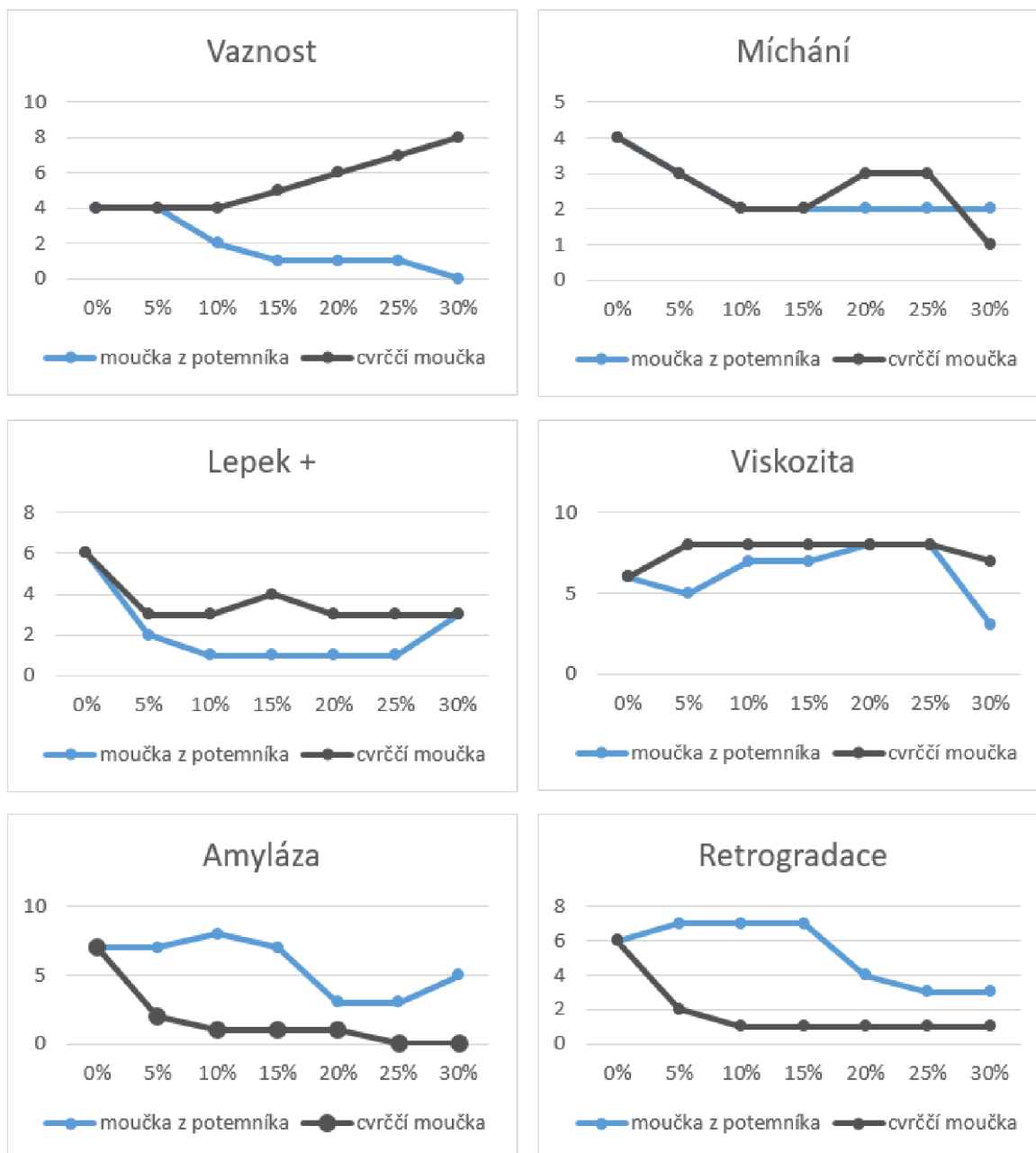


Graf 1 Výsledky mixolabu – indexy směsí s přídavkem moučky z potměníka



Graf 2 Výsledky mixolabu – indexy směsí s přídavkem cvrččí moučky

Na následujících grafech jsou vyobrazeny závislosti jednotlivých parametrů dle procentuálního přídávku cvrččí a poterníkové moučky. Jak již bylo zmíněno, v případě vaznosti vody mají křivky dvou druhů mouček opačný trend. V případě vlastnosti míchání se křivka nepatrně mění až u přídávku 15 % hmyzí moučky. Indexy lepku byly vyšší v případě cvrččí moučky, stejně tak tomu bylo u indexů viskozity. Indexy amylázy a retrogradace škrobu byly naopak vyšší u směsi s přídavkem moučky z poterníků.



Graf 3 Mixolab – závislost jednotlivých parametrů dle procentuálního přídávku cvrččí a poterníkové moučky

5.3 Stanovení bílkovin

5.3.1 Kjeldahlova metoda

Tabulka 14 Stanovení bílkovin v jednotlivých směsích s obsahem moučky z potměníka

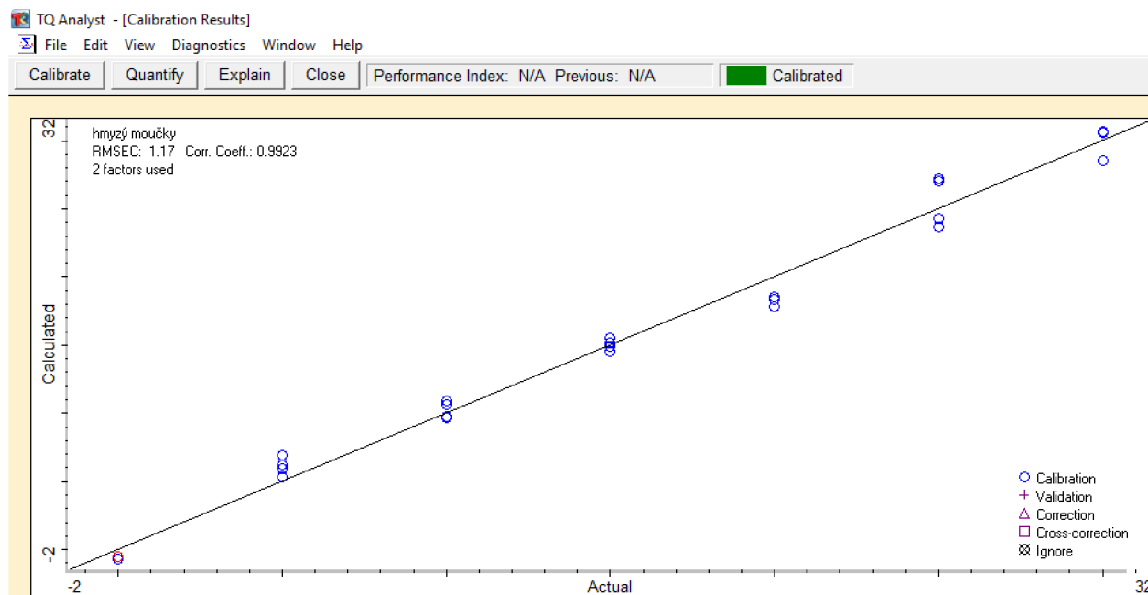
	Bílkoviny (%)
T530 komerční	12,5
T530 + 5 %	14,34
T530 + 10 %	16,18
T530 + 15 %	18,02
T530 + 20 %	19,86
T530 + 25 %	21,70
T530 + 30 %	23,54
Moučka z potměníka 100 %	49,3

Tabulka 15 Stanovení bílkovin v jednotlivých směsích s obsahem cvrččí moučky

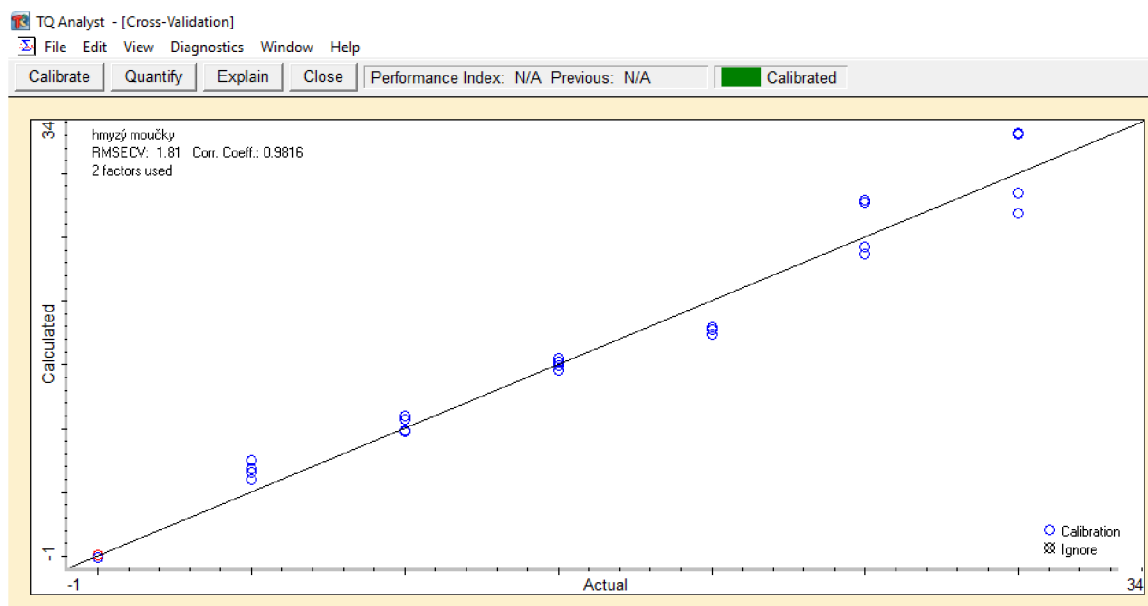
	Bílkoviny (%)
T530 komerční	12,5
T530 + 5 %	14,25
T530 + 10 %	16,00
T530 + 15 %	17,75
T530 + 20 %	19,50
T530 + 25 %	21,25
T530 + 30 %	23,00
Cvrččí moučka 100 %	47,5

5.3.2 Spektroskop FT-NIR Antaris

Na následujícím obrázku lze vidět, že se množství hmyzí moučky lineárně zvyšovalo s vyššími přídávky hmyzích mouček. Hodnoty korelace R a chyby predikce RMSEC pro korelační model i validační model se přibližují. Což značí relativně správné zastoupení hmyzu ve směsích. Chybovost v zastoupení hmyzích mouček v jednotlivých směsích se pohybovala do 2 %.



Obrázek 5 Kalibrační model pro predikci přítomnosti hmyzu ve směsi s moukou T530 v rozsahu 5 – 30 %



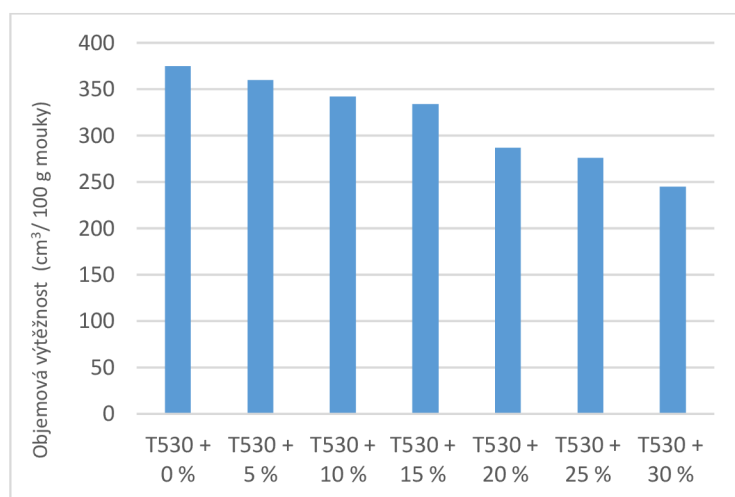
Obrázek 6 Nezávislý křížový validační model pro predikci přítomnosti hmyzu ve směsi s moukou T530 v rozsahu 5 – 30 %

5.4 Měrný objem pečiva

Měrný objem a objemová výtěžnost pečiva postupně klesaly s vyšším obsahem moučky z potemníka, jak lze vidět na Graf 4. Rozdíl v objemové výtěžnosti mezi standardním vzorkem a vzorkem s nejvyšším obsahem hmyzí moučky byl $130 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$ mouky. Nejvyšší rozdíl mezi jednotlivými směsmi byl naměřen mezi vzorkem s 15 % a 20 %, naměřený rozdíl byl $47 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$ mouky. Nejmenší rozdíl $8 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$ mouky byl mezi vzorkem s 10 % a 15 % moučky.

Tabulka 16 Měrný objem a objemová výtěžnost pečiva s přidavkem moučky z potemníků

	Objem (cm^3)	Objemová výtěžnost ($\text{cm}^3/100 \text{ g}$ mouky)
T530 komerční	410	375
T530 + 5 %	400	360
T530 + 10 %	390	342
T530 + 15 %	390	334
T530 + 20 %	340	287
T530 + 25 %	335	276
T530 + 30 %	325	245



Graf 4 Vliv přidavku moučky z potemníka na objemovou výtěžnost ($\text{cm}^3 / 100 \text{ g}$ mouky)

V Tabulka 17 je uvedeno vyhodnocení korelační analýzy, kde byl vyhodnocen vliv přidavku moučky z potemníka na objemovou výtěžnost pečiva. Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ byla zjištěna silná negativní korelace mezi těmito dvěma parametry.

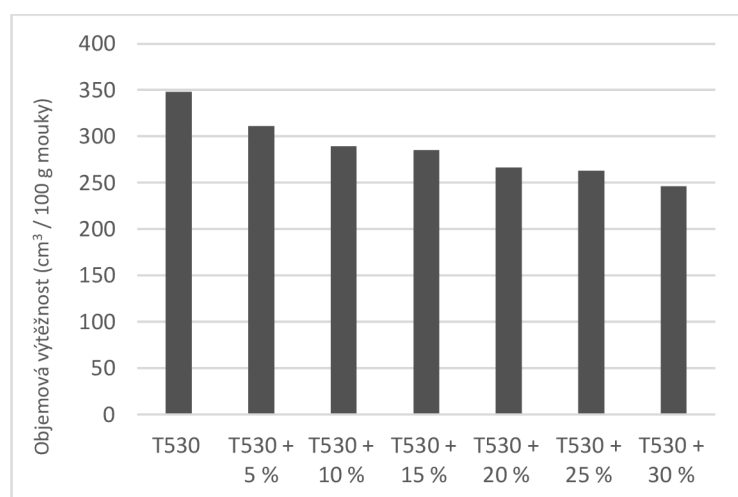
Tabulka 17 Korelační analýza vliv moučky z potemníka na objemovou výtěžnost pečiva ($\text{cm}^3/100 \text{ g}$ mouky)

Proměnná	%	Objemová výtěžnost ($\text{cm}^3/100 \text{ g}$ mouky)
%	1,000000	-0,982877
Objemová výtěžnost ($\text{cm}^3/100 \text{ g}$ mouky)	-0,982877	1,000000

U pečiva s vyšším přídatkem cvrččí moučky klesal měrný objem a objemová výtěžnost (Graf 5) stejně jako u pečiva obsahujícího moučku z potměníka. Rozdíl mezi standardem a vzorkem s nejvyšším obsahem cvrččí moučky byl 102 cm³/100 g mouky. Nejvyšší rozdíl naměřený mezi jednotlivými vzorky byl naměřen mezi standardem a pečivem, kde bylo 5 % cvrččí moučky, tento rozdíl byl 37 cm³/100 g mouky. Naopak nejmenší rozdíl 3 cm³/100 g mouky byl naměřen mezi vzorkem s 10 % a 15 % stejně tak tomu bylo i u mouček z potměníka.

Tabulka 18 Měrný objem a objemová výtěžnost pečiva s cvrččí moučkou

	Objem (cm ³)	Objemová výtěžnost (cm ³ /100 g mouky)
T530 komerční	380	348
T530 + 5 %	340	311
T530 + 10 %	315	289
T530 + 15 %	310	285
T530 + 20 %	290	266
T530 + 25 %	285	263
T530 + 30 %	265	246



Graf 5 Vliv přídatku cvrččí moučky na objemovou výtěžnost (cm³ / 100 g mouky)

V Tabulka 19 je uvedeno vyhodnocení korelační analýzy, kde byl vyhodnocen vliv přídatku cvrččí moučky na objemovou výtěžnost pečiva. Na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ byla zjištěna silná negativní korelace mezi těmito dvěma parametry.

Tabulka 19 Korelační analýza vlivu přídatku cvrččí moučky na objemovou výtěžnost pečiva

Proměnná	%	Objemová výtěžnost (cm ³ /100 g mouky)
%	1,000000	-0,959781
Objemová výtěžnost (cm ³ /100 g mouky)	-0,959781	1,000000

Byl sledován rozdíl objemové výtěžnosti v pečivu s přidavkem hmyzí moučky z cvrčků a potměníků. K tomuto testování byl použit t-test pro nezávislé vzorky, jehož výsledkem byla p hodnota 0,201489. Dle výsledné hodnoty p je patrné, že se mezi vzorky nevyskytovala statisticky významná rozdílnost.

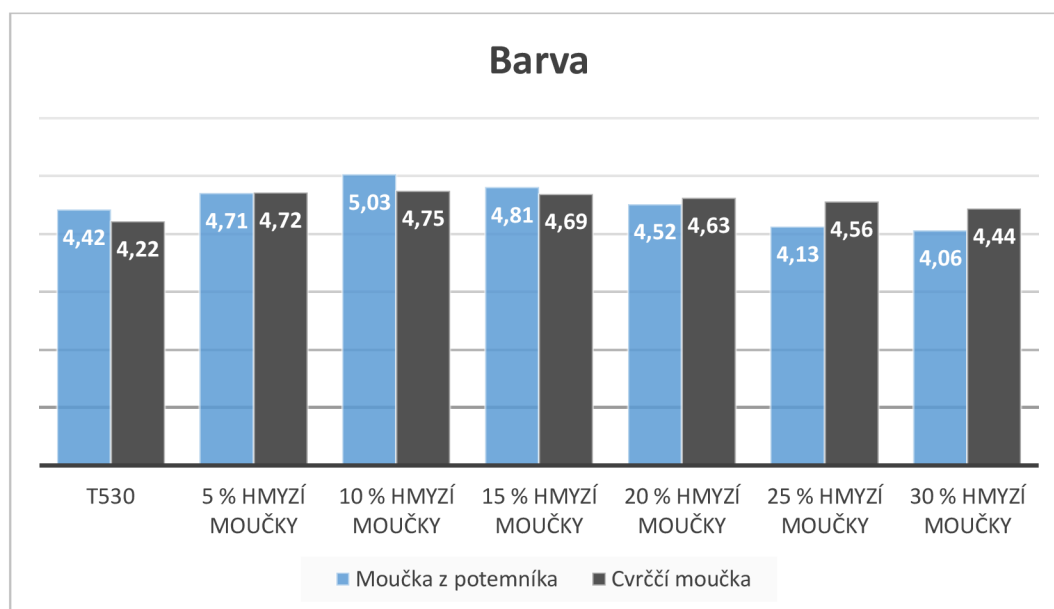
Tabulka 20 Procentuální změna objemové výtěžnosti v souvislosti s přidavkem hmyzí moučky

	Moučka z potměníka (%)	Cvrččí moučka (%)
T530	100	100
T530 + 5 %	96,0	89,4
T530 + 10 %	91,2	83,0
T530 + 15 %	89,1	81,9
T530 + 20%	76,5	76,4
T530 + 25 %	73,6	75,6
T530 + 30 %	65,3	70,1

Objemová výtěžnost u pečiva s nejvyšším přidavkem moučky z potměníků klesla o 34,7 % v porovnání s kontrolním vzorkem bez přidavku hmyzí moučky. Objemová výtěžnost u pečiva s nejvyšším přidavkem cvrččí moučky klesla o 29,9 % v porovnání s kontrolním vzorkem bez přidavku hmyzí moučky.

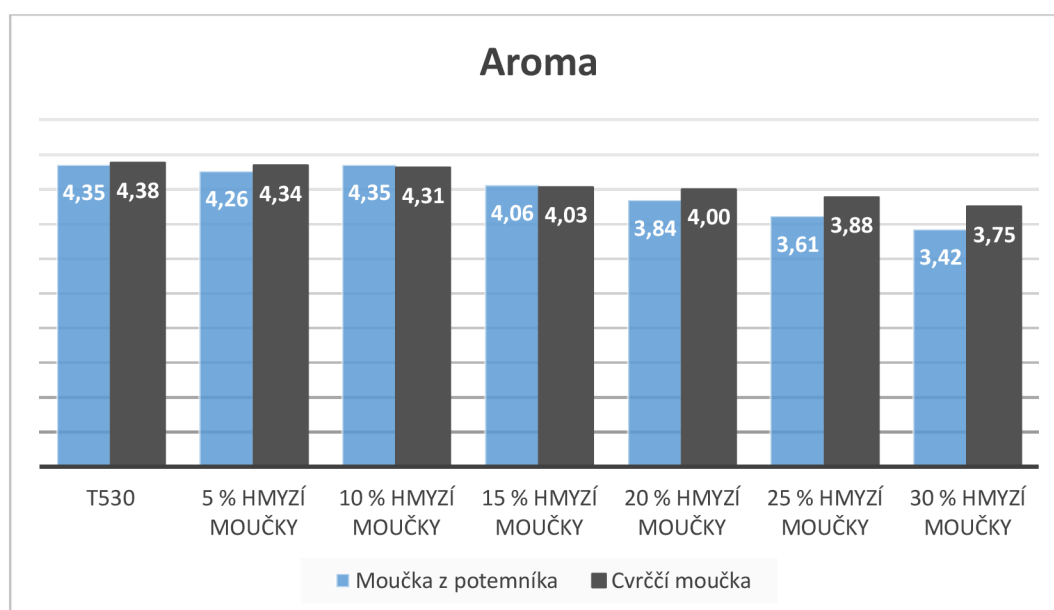
5.5 Senzorická analýza

Prvním atributem, který byl hodnocen, byla barva. Nejlépe hodnocen byl vzorek s obsahem 10 % hmyzí moučky, a to jak v případě moučky z potměníka, tak u cvrččí moučky. Nejhorší hodnocení mělo pečivo s nejvyšším přídatkem hmyzích mouček.



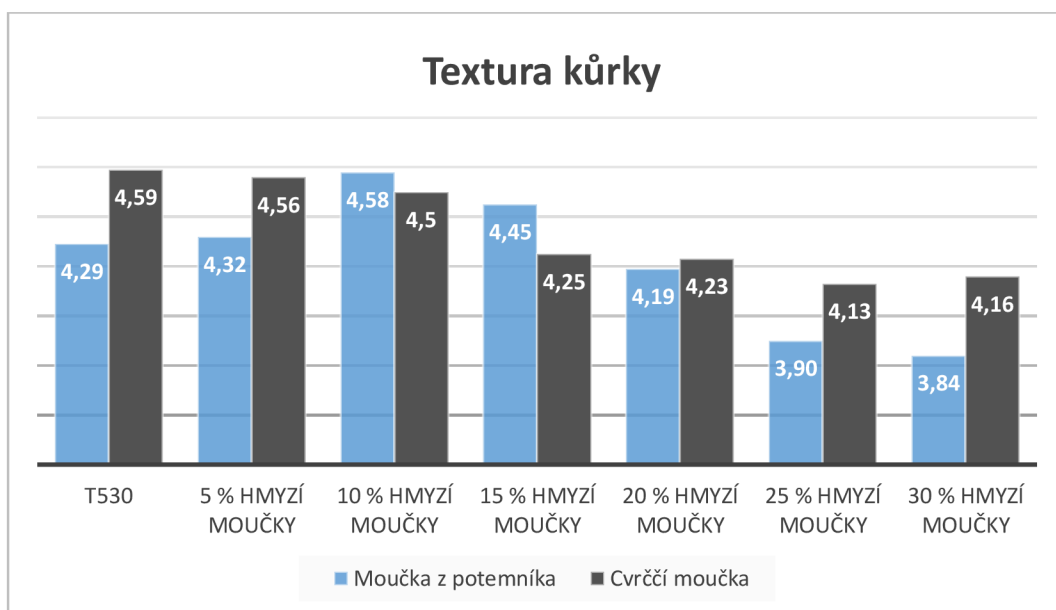
Graf 6 Senzorická analýza – průměry hodnocení – BARVA

Hodnocení aroma produktu klesalo s přidavkem hmyzích mouček. Rozdíl mezi nejlépe hodnoceným (T530) a nejhůře hodnoceným (30 % hmyzí moučky) vzorkem v případě moučky z potměníka byl 0,93 bodu a v případě cvrččí moučky 0,63 bodu.



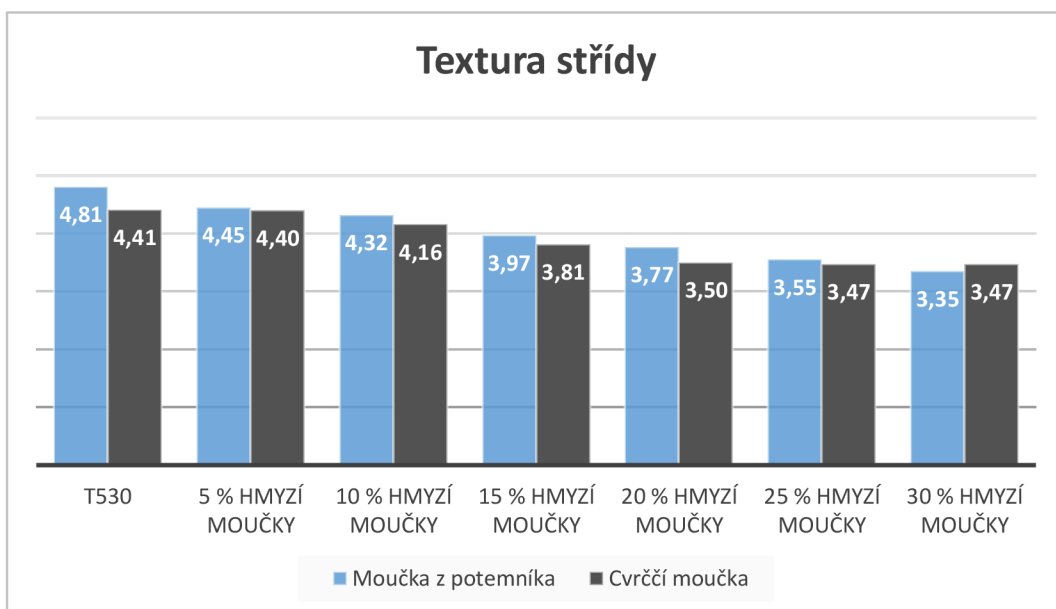
Graf 7 Senzorická analýza – průměry hodnocení – AROMA

Dalším hodnoceným atributem byla textura kůrky. Nejlépe byla hodnocena kůrka s přídavkem 10 % moučky z potměníka U pečiva s obsahem cvrččí moučky byl nejlépe hodnocen kontrolní vzorek. Nejnižší hodnocení měli opět vzorky s 30 % hmyzí moučky.



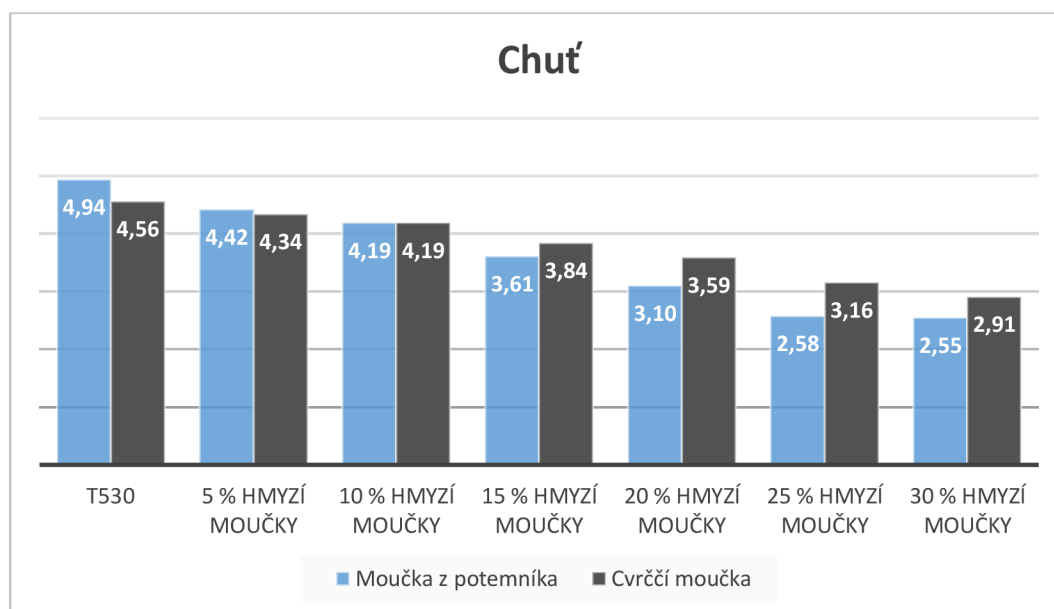
Graf 8 Senzorická analýza – průměry hodnocení – TEXTURA KŮRKY

Průměrné hodnocení textury střídy klesalo s vyššími procenty přidané hmyzí moučky. V případě moučky z potměníka je rozdíl mezi standardem a vzorkem s 30 % 1,46 bodů. U pečiva s cvrččí moučkou je tento rozdíl menší 0,94 bodu. Ve všech případech kromě pečiva s 30 % moučky byl lépe hodnocen přídavek moučky z potměníka.



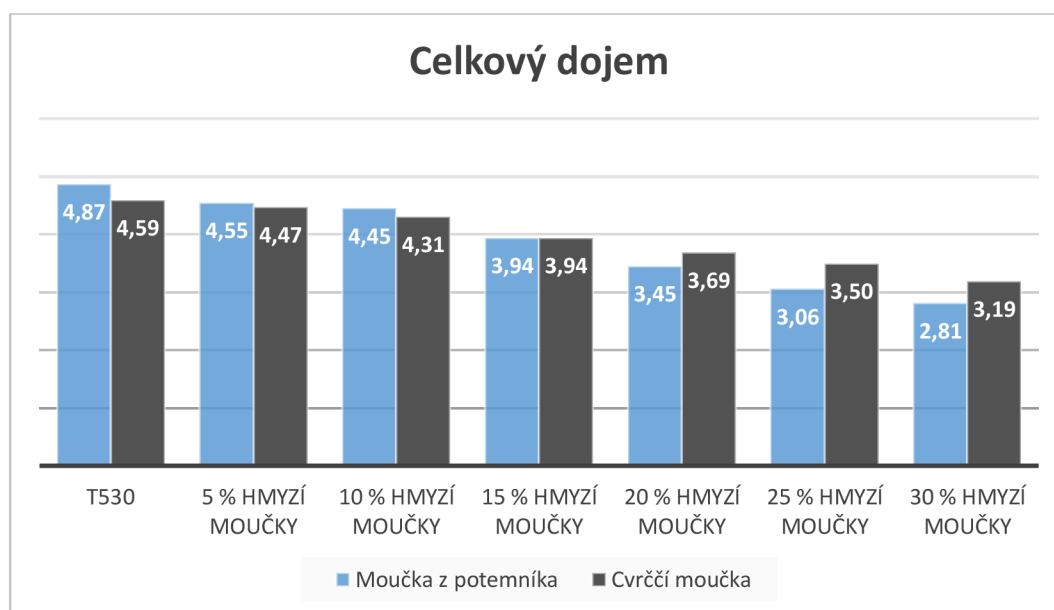
Graf 9 Senzorická analýza – průměry hodnocení – TEXTURA STRÍDKY

Chuť byla další atributem, který byl hodnocen. S navyšujícím přidavkem hmyzích mouček klesaly průměrné hodnoty. V hodnocení chuti došlo k nejnápadnějším bodovým rozdílům mezi standardem a vzorky s vyšším obsahem mouček. Rozdíl mezi standardem a pečivem obsahujícím 30 % moučky byl 2,39 bodů u potměníka a 1,65 bodu u cvrččí moučky. Nejvyšší rozdíl u moučky z potměníka nastal mezi vzorky s 10 % a 15 %, u cvrččí moučky byl největší rozdíl mezi vzorky s 20 % a 25 % moučky.



Graf 10 Senzorická analýza – průměry hodnocení – CHUŤ

Celkový dojem opět klesal s postupným přibýváním hmyzích mouček v pečivu. Od přidavku 10 % bylo lépe hodnoceno pečivo s přidavkem moučky z potměníka. Vzorek s 15 % měl stejné průměrné hodnocení u obou druhů mouček. Od přidavku 20 % začalo mít lepší hodnocení pečivo s obsahem cvrččí moučky. Rozdíl mezi standardem a vzorkem s 30 % byl 2,06 body u moučky z potměníka a 1,4 bodu u cvrččí moučky.



Graf 11 Senzorická analýza – průměry hodnocení – CELKOVÝ DOJEM

6 Diskuze

U pečiva s přídavkem hmyzích mouček došlo ke změnám, jak v reologických vlastnostech, tak i senzorických.

Substituce hmyzími moučkami ovlivnila **vaznost vody** těsta. Jak uvádí Cappelli (2020), náhrada pšeničné mouky cvrččí moučkou vedla ke zvýšení vaznosti vody. S rostoucím obsahem cvrččí moučky také došlo ke zvýšení vaznosti vody (Borges, 2022). Což potvrzuje i další studie, kde byla naměřena vaznost vody při 10% náhradě 59,3 %, při 30% náhradě se zvýšila vaznost na 61,7 % (Osimani, 2018). Tato prohlášení se shodují s našimi výsledky, vaznost vody se zvyšovala s postupným navyšováním cvrččí moučky v receptuře. Při 5% náhradě byla stanovena vaznost 57,5 % a u obsahu 30 % byla vaznost 61,3 %. Pouze González et al. (2019) uvádějí, že nahrazení pšeničné mouky cvrččí moučkou vedlo ke snížení vaznosti vody těsta. Jako důvod uvádí, že hydrofilní skupiny v cvrččí moučce méně interagují, což má za následek sníženou vaznost vody. Náhrada mouky moučkou z potměníka vedla k opačnému trendu, kdy se vaznost vody snižovala z 57,5 % (5% substituce) na 50 % při 30% substituci. Tuto skutečnost uvádí i Cappelli (2020) a Roncolini (2019), kteří naměřili vaznost vody 59,3 % u směsi s 5% obsahem mouček z potměníka a 58,9 % u 30% směsi.

Dalším hodnoceným parametrem je **doba vývoje těsta**, kdy těsto dosahuje maximální konzistence, čím delší je tato doba, tím je mouka silnější (obsahuje více lepku). Doba vývoje těsta s 5% přídavkem *Acheta domesticus* a *Hermetia illucens* se mírně prodloužila ($2,5 \pm 0,2$ min) oproti kontrolnímu vzorku a vzorku, který obsahoval *Tenebrio molitor* ($2,0 \pm 0,1$ min) (González, 2019). Další studie, kde byla uvedena doba vývoje těsta s přídavkem moučných červů a cvrččí moučky, se shoduje s předchozími studiemi, kdy se doba vývoje navýšila oproti kontrolnímu vzorku. S postupným vyšším přídavkem až 15 % se však doba vývoje těsta snižovala u moučky z potměníka o 1,31 min a u cvrččí moučky o 0,77 min (Cappelli (2020)). Což odpovídá i našim výsledkům, kdy se stoupajícím přídavkem hmyzích mouček došlo ke snížení doby vývoje těsta (pokles u mouček s 15 % přídavkem byl o 0,95 min u potměníka a u cvrččí moučky klesl čas o 0,52 min). Výjimkou byla směs s 30 % moučky z potměníka, kdy se doba vývoje těsta opět zvedla na téměř původní hodnoty, které měla kontrola. Ve studii provedené Osimani (2018) došlo také k výraznému prodloužení doby vývoje těsta ($8,1 \pm 0,10$ min) s přídavkem 30 % hmyzí moučky. Přičemž u mouky s 10 % hmyzí moučky nebyly naměřeny žádné významné rozdíly v době vývoje těsta. V případě našich naměřených hodnot těsta s 10% přídavkem byl rozdíl s kontrolním vzorkem 1,1 minuty u moučky z potměníka a 1,95 minuty u cvrččí moučky.

Stabilita je doba, po kterou si těsto udržuje stálou konzistenci, také se mění s určitým přídavkem hmyzích mouček. Stabilita těsta se zvýšila u těst s obsahem *Acheta domesticus* ($4,4 \pm 0,3$ min) oproti kontrolnímu vzorku, který neobsahoval hmyzí moučku, ale pouze pšeničnou mouku ($1,1 \pm 0,2$ min) (González, 2019). Rumpold & Schlüter, 2013 ve své studii testovali stabilitu těsta s přídavkem 15 % cvrččí moučky a také došlo k výraznému nárůstu stability těsta. Stejně tak tomu bylo ve studii uvedené Cappelli (2020), kde se stabilita zvýšila ve všech těstech obohacených hmyzími moučkami. Výsledky v této práci však měly opačný trend, kdy všechny naměřené časy byly kratší v porovnání s kontrolním vzorkem, kde byla naměřena stabilita 9,2 minuty. Tato hodnota je výrazně vyšší než u ostatních kontrolních vzorků jiných studií.

Amplituda značí pružnost těsta, čím vyšší hodnota, tím větší pružnost mouky. Substituce moučkou z moučných červů snížila elastické vlastnosti pšeničného těsta (Xie, 2022). Ve studii zaměřené na kvalitu pečiva upečeného z různých odrůd pšenice byly naměřeny amplitudy v rozsahu 0,05 – 0,12 Nm (Banu, 2009). V našem případě těsto obohacené moučkou z potměníka vykazovalo hodnoty v rozmezí 0,063 – 0,097 Nm a těsto s přidavkem cvrččí moučky 0,054 – 0,091 Nm. Námí naměřené hodnoty odpovídají rozsahu hodnot naměřených u různých odrůd pšenice.

Během počáteční **fáze C1** dochází k hydrataci bílkovin mouky a je měřen maximální točivý moment během (míchání) vývoje těsta. Po hydrataci začnou interagovat bílkoviny a vzniká trojrozměrná lepková síť. Námí naměřená hodnota točivého momentu při přidavku 10 % cvrččí moučky byla 1,08 Nm v jiné studii byly uvedeny hodnoty 1,02 – 1,12 při stejném procentuálním přidavku (Perez-Fajardo, 2023). Hodnota těsta s moučkou z potměníka byla podobná (1,13 Nm). Hodnota cvrččí moučky se s vyšším přidavkem (20 %) zvýšila na 1,14 Nm, u moučky z potměníka došlo ke snížení na 1,06 Nm. Obě tyto hodnoty zapadají do rozmezí 1,00 – 1,31 při 20% substituci, tyto hodnoty byly také uvedeny v předchozí zmíněné studii. Točivý moment naměřený v těstě s potměníkem ve **fázi C2** byl v rozsahu 0,28 – 0,38 Nm. Točivý moment v těstě s cvrččí moučkou začínal na hodnotě 0,45 Nm, přičemž při přidavku 15 % a 20 % se mírně zvedla a poté opět klesla až na 0,36 při 30 % přidavku. Všechny naměřené hodnoty byly nižší než u kontrolního vzorku (0,48 Nm), ale vešly se do rozsahu udávaného v návodu Mixolabu (0,37 – 0,63 Nm). Petrie (2022) ve své studii uvádí hodnoty 0,42 Nm při 10 % substituci cvrččí moučkou a 0,37 Nm při 20 % substituci, námí naměřené hodnoty v těstě s 10 % cvrččí moučky jsou totožné, u 20 % byly vyšší o 0,06 Nm. **C3 fáze** ukazuje nejvyšší viskozitu po mazovnění škrobu. V této fázi se hodnoty u těsta s cvrččí moučkou pohybovaly v rozmezí 1,98 – 2,21 Nm. Moučka z potměníka dosahovala nejvyšších hodnot 2,00 Nm při přidavku 20 a 25 %. Všechny hodnoty se vešly do rozmezí udávaného v návodu Mixolabu 1,59 – 2,27 Nm, kromě dvou vzorků s moučkou z potměníka s 5 a 30 %. Točivý moment v těstě s 10 a 20% přidavkem cvrččí moučky byl 2,1 Nm, tyto hodnoty byly výrazně vyšší, než ty které uvedl Petrie (2022) (10% 1,59 Nm, 20 % 1,46 Nm) a Perez-Fajardo (2023) (10 % 1,66 Nm, 20 % 1,52 Nm). **Fáze C4** měří stabilitu horkého gelu. Točivý moment u všech našich vzorků zapadal do rozsahu 0,95 – 2,12 Nm udávaným v návodu Mixolabu. Hodnoty naměřené u potměníka byly výrazně vyšší než u cvrčka, nejvyšší dosažená hodnota (1,15 Nm) nedosahovala ani nejnižší naměřené hodnoty u potměníka (1,32 Nm). Hodnoty u cvrččí moučky byly také nižší (10% 0,65 Nm, 20 % 0,35 Nm) v porovnání s další studií (10% 1,34 Nm, 20 % 1,18 Nm) (Petrie, 2022). **Fáze C5** měří retrogradaci škrobu ve fázi chlazení. V této fázi cvrččí moučka vykazovala velmi nízké hodnoty 1,70 – 0,23 Nm. Všechny vzorky (kromě 5 % substituce) s přidavkem cvrččí moučky nedosahovaly hodnot udávaných v návodech Mixolabu (1,46 – 3,73) Nm. U moučky z potměníka byly hodnoty vyšší (3,07 – 1,84 Nm) a do rozsahu zapadají. Hodnoty těsta s cvrččí moučkou nedosahovaly ani hodnot naměřených Petrie (2022) (10% 2,87 Nm 20 % 2,33 Nm).

Obsah bílkovin v moučce z *Acheta domesticus* byl 73 % (Vasilica, 2022). Nissen (2020) uvádí 66 % bílkovin obsažených v cvrččí moučce. Moučka z larev *Tenebrio molitor* obsahuje 52 % bílkovin (Zielińska, 2018). Kowalski (2022) uvádí 62 % bílkovin v cvrččí moučce a 50 % v moučce z potměníka. Z těchto studií je vidět, že obsah bílkovin byl vyšší v cvrččí moučce oproti moučce z potměníka. V případě našich mouček tomu bylo naopak,

moučka z potemníka obsahovala 49 % a cvrččí moučka 47 %. Obsah bílkovin v obou moučkách byl nižší v porovnání s ostatními studii.

Namíchané směsi s hmyzími moučkami také vykazovaly nepatrně vyšší hodnoty bílkovin oproti hodnotám uvedených v této práci. Například 10% směs s moučkou z potemníka obsahovala 16,2 % bílkovin oproti hodnotám uvedeným Cappelli (2020) ve stejném typu moučky 17,5 %. Výrazně větší rozdíl byl v cvrččí moučce, kdy stejná studie uvádí 19,5 % bílkovin ve směsi s 10% přídavkem oproti 16 % bílkovin ve směsi se stejným procentem cvrččí moučky. Množství bílkovin ve směsi s 10 % cvrččí moučky uvádí také Kowalski (2022), tato hodnota je také vyšší (17,5 %).

Významným měřítkem kvality mouky je výsledný **objem pečiva**, který souvisí s obsahem bílkovin a kvalitou lepku (Mondal, 2008). Čím vyšší je množství a tažnost lepku, tím větší je objem pečiva. S vyšším obsahem hmyzích mouček došlo ke snížení obsahu lepku, jak dokazují výsledky z přístroje Mixolab, lepková síť má schopnost zadržovat plyn a tím zvyšuje objem těsta. Obsah hmyzích mouček vedl ke sníženému objemu pečiva. U obou směsí s hmyzími moučkami byla zjištěna silná negativní korelace mezi vlivem přidaného množství mouček a objemovou výtěžností. Stejně výsledky zaznamenali Cappelli et. al. (2020), kteří uvádějí snížení měrného objemu u pečiva s přídavkem hmyzích mouček s rostoucím procentem substituce. V další studii byl také prokázán vliv přídavku hmyzích mouček na měrný objem pečiva. Výsledky se také shodují s našim zjištěním, kdy pečivo s přídavkem hmyzích mouček mělo výrazně nižší měrný objem ve srovnání s pšeničnou kontrolou. Pouze pečivo s obsahem *Acheta domesticus* mělo podobný měrný objem jako kontrola (González, 2019). V některých studiích došlo s přídavkem hmyzích mouček ke zvětšení objemu pečiva například Bartkiene et. al. (2022) uvádějí, že při 5% náhradě cvrččí moučky došlo ke zvětšení objemu pečiva v porovnání s kontrolním vzorkem. Avšak při substituci 10 % a 15 % došlo opět ke snížení měrného objemu. Zvýšení objemu bylo pozorováno převážně u pečiva s přídavkem moučky z potemníka. Roncolini et al. (2019) pozorovali pozitivní vliv při náhradě 5 a 10 % moučky z potemníka, zvětšení objemu připisují vyššímu obsahu tuků v moučce. V další studii byl také pozorován významný vliv na zvětšení objemu u pečiva s obsahem 10 a 20 % moučky z potemníka. Další studie, kterou provedli Kowalski et. al. (2022), uvádí zvětšení objemu u pečiva s obsahem potemníků. Při 10% substituci se objem zvětšil o 16 % v porovnání s kontrolou, u 30% náhrady už se objem zvětšil jen o 1 %. V případě cvrččí moučky došlo k navýšení objemu pouze při 10% substituci a to o 2%. Při vyšších substitucích 20 a 30 % již došlo k poklesu objemu o 17 a 37 %. Tyto hodnoty jsou obdobné hodnotám v této práci, kdy při náhradě cvrččí moučky došlo při 20 a 30 % substituci ke snížení objemu o 24 a 30 %.

Bartkiene et. al. (2022) uvádějí ve své senzorické analýze, že vzorky pečiva s obsahem cvrččí moučky měly ve srovnání s kontrolními vzorky pečiva výrazně intenzivnější **barvu**. Stejně tak bylo hodnoceno pečivo s obsahem moučného červa, které se vyznačovalo tmavší barvou kůrky a středy (Gaglio, 2021). Upečené klonky pro tuto práci byly s vyššími přídavky hmyzích mouček tmavší, změny barvy byly rozpoznatelné pouhým okem. Barva pečiva může mít vliv na spotřebitele, tmavší vzhled mohou někteří spotřebitelé považovat za zdravější variantu (Petrie, 2022). Toto tvrzení může vysvětlovat, proč téměř veškeré vzorky s přídavkem hmyzích mouček měly vyšší hodnocení barvy než kontrolní vzorek. Nejlépe ohodnoceny byly vzorky s 10% přídavkem, jak cvrččí moučky, tak moučky z potemníka.

Při hodnocení **aroma** bylo nejhůře hodnoceno pečivo s 20 a 30% podílem moučky z larev potemníka stájového a 30% podílem cvrččí moučky (Kowalski, 2022). Pečivo s 20 a 30 % moučky z potemníka bylo hodnoceno nižšími známkami za aroma (Borges, 2022). Při přidavku 10 a 15 % cvrččí moučky byl zjištěn nepříjemný zápach (Bartkiene, 2022). Tyto studie potvrzují poznatky z naší sensorické analýzy, kde vzorky s hmyzími moučkami byly hůře hodnoceny, hodnocení výrazně klesalo od 15% přidavku hmyzích mouček.

Při porovnání sensorických vlastností **textury** pečiva s přidavkem hmyzí moučky nebyly mezi vzorky zjištěny žádné významné rozdíly (Bartkiene, 2022). Borges et. al (2022) zmiňují, že přidavek 5 % cvrččí moučky do pečiva je možný, aniž by se výrazně změnila textura (Borges, 2022). Výsledky další sensorické analýzy ukázaly, že fortifikace pečiva bílkovinami moučných červů významně ovlivnila texturu pečiva, a to v závislosti na úrovni substituce (Roncolini, 2019). V sensorické analýze provedené pro tuto práci, také došlo ke snížení hodnocení s přibývajícím množstvím hmyzích mouček, výjimka nastala u hodnocení textury kůrky u pečiva s přidavkem moučky z potemníka, kde byly nejlépe hodnoceny vzorky s 5 až 15 %, poté hodnoty opět klesaly.

Senzorická analýza **chuti** se nejlépe shoduje se sensorickým hodnocením, které uvedli Roncolini et. al. (2019), chutnost pečiva s přidavkem moučných červů byla závislá na úrovni substituce. A také další studie, kde nejvyšší průměrné hodnoty pro chutnost byly získány u kontrolního pečiva, zatímco nejnižší průměrné hodnoty byly u pečiva s 30 % cvrččí moučky. Pečivo obsahující 10 % cvrččí moučky získalo střední průměrné hodnoty (Osimani, 2018). Nejnižší hodnocení chuti získalo pečivo s 30% podílem moučky z larev potemníka stájového (Kowalski, 2022). Tyto studie odpovídají našemu vyhodnocení, kde kontrolní vzorky dosahovaly nejvyššího hodnocení a jejich hodnocení se snižovalo s vyššími procenty substituce. Nejnižší hodnocení tedy měly vzorky s 30% přidavkem hmyzích mouček. Důvodem může být vyšší intenzita hořkosti a kyselosti, kterou uvádí Bartkiene et. al. (2022) již při substituci 10 % a stejné chutě popisuje také Gaglio et. al. (2021).

Při sensorické analýze pečiva, dosáhlo nejlepší organoleptické přijatelnosti u spotřebitelů pečivo s 10% přidavkem hmyzí moučky, proto bylo toto množství hmyzí moučky doporučeno k přípravě pekařských výrobků (Kowalski, 2022). V další studii dávají spotřebitelé také přednost pečivu obohacenému o 5 a 10 % cvrččí moučky ve srovnání s kontrolním výrobkem (Bawa, 2020). Ayieko et al. (2016) dokonce uvádějí vysokou preferenci spotřebitelů při 15% přidavku cvrččí moučky (2016).

Nissen (2020) uvádí, sensorické hodnocení pečiva s cvrččí moučkou zaznamenalo podobné výsledky jako standardní pečivo. Studie, kde byla pozorována lepší přijatelnost produktu při určité substituci hmyzími moučkami, neodpovídá výsledům v této práci. V naší sensorické analýze došlo ke snížení hodnocení celkového dojmu s vyšším procentem substituce, což odpovídá následujícím studiím. Celkové hodnocení pečiva obohaceného moučnými červy bylo nepatrně nižší než u kontrolního pečiva (Gaglio, 2021). Při hodnocení pečiva s 5 a 10% podílem *Tenebrio molitor* bylo pozorováno významně nižší spotřebitelské hodnocení pečiva ve srovnání se standardem (Roncolini, 2019). Ke stejným výsledkům došli i Garcia-Segovia (2020), kdy při hodnocení pečiva s přidavkem *Tenebrio molitor* bylo pozorováno snížené hodnocení v porovnání s kontrolním pečivem a výrazně se také snižovalo sensorické hodnocení se zvýšením podílu hmyzích mouček. (García-Segovia, 2020).

7 Závěr

V této diplomové práci byl zkoumán vliv moučky z moučných červů a cvrččí moučky na technologické vlastnosti kynutých těst a sensorickou jakost finálního výrobku. K rozboru byly namíchány směsi s různým procentuálním obsahem těchto mouček. Těsta s obsahem hmyzí moučky by měla splňovat určité technologické požadavky, tak, aby pekárenské výrobky byly sensoricky přijatelné pro spotřebitele.

Při přidavku moučky z potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) i moučky z cvrčka domácího (*Acheta domestica*) byl zaznamenán vliv na vaznost vody, v případě potměníka se vaznost vody s vyššími procentuálními přídávky snižovala, u cvrčka se naopak zvyšovala. Doba vývoje těsta byla s vyšším množstvím hmyzích mouček kratší, stejný trend byl zaznamenán u stability těsta. U dalších výsledků z přístroje Mixolab, který měří reologické a enzymatické chování těsta a dělí ho do jednotlivých fází, byla zaznamenána statisticky významná silná závislost ve všech fázích, v případě moučky z potměníka tomu tak bylo jen ve fázi C4, která zaznamenává stabilitu horkého gelu.

Zvýšený přírůstek hmyzích mouček měl vliv na objemovou výtěžnost pečiva. Byla zjištěna silná negativní korelace mezi množstvím přírůstku hmyzích mouček a objemovou výtěžností. Při sledování rozdílu objemové výtěžnosti v pečivu s přírůstkem moučky z cvrčků a moučky potměníků nebyla zaznamenána statisticky významná rozdílnost.

Obsah bílkovin ve směsích s hmyzími moučkami se zvyšoval s vyšším procentem substituce. Naměřené hodnoty však byly nižší v porovnání s jinými studiemi.

Substituce hmyzími moučkami ovlivnila barvu výrobku, sensorická analýza ukázala spíše pozitivní vliv. Hodnocení aroma, textury střídky, chuti a celkového dojmu se snižovalo s vyššími přídávky hmyzích mouček, rozdíly mezi kontrolním vzorkem a 5 % substitucí však byly nepatrné.

Cílem diplomové práce bylo vyvinout recepturu kynutých pekařských výrobků s přírůstkem hmyzí moučky a posoudit vliv přírůstku hmyzí moučky na technologii výroby a kvalitu konečného výrobku. Tento cíl byl splněn.

Hypotéza této práce byla potvrzena. Částečná náhrada mouky hmyzí moučkou ovlivnila technologické vlastnosti kynutých těst a sensorickou jakost finálního výrobku.

Přírůstek hmyzích mouček do potravin je díky svým výhodám brán jako perspektivní možnost, jak zařadit jedlý hmyz do potravin. Tato obliba stále stoupá a je zřejmé, že se potravinám s přírůstkem hmyzu budou zabývat další studie. Pozornost by měla být i nadále věnována vývoji vhodných receptur, aby kvalita výrobků dosahovala co nejvyšší úrovně.

8 Literatura

Ali, Akbar. 2012. Yeast, its types and role in fermentation during bread making process A. Pakistan Journal of Food Sciences [online]. [cit. 2022-11-23].

Althwab, Sami A., Raghad M. Alhomaïd, Rehab F. M. Ali, Ayman Mohammed El-anany a Hassan M. Mousa. 2021. Effect of migratory locust (*Locusta migratoria*) powder incorporation on nutritional and sensorial properties of wheat flour bread. British Food Journal [online]. 123(11), 3576-3591 [cit. 2022-10-09]. ISSN 0007-070X. Dostupné z: doi:10.1108/BFJ-11-2020-1052

Arendt, Elke K., Liam A.M. Ryan a Fabio Dal Bello. 2007. Impact of sourdough on the texture of bread. Food Microbiology [online]. 24(2), 165-174 [cit. 2022-11-20]. ISSN 07400020. Dostupné z: doi:10.1016/j.fm.2006.07.011

Atwell, William a Sean Finnie. 2016. Products from Hard Wheat Flour. Wheat Flour [online]. Elsevier, 91-110 [cit. 2022-11-25]. ISBN 9781891127908. Dostupné z: doi:10.1016/B978-1-891127-90-8.50007-3

Ayieko, M.A., H.J. Ogola a I.A. Ayieko. 2016. Introducing rearing crickets (gryllids) at household levels: adoption, processing and nutritional values. Journal of Insects as Food and Feed [online]. 2(3), 203-211 [cit. 2023-03-26]. ISSN 2352-4588. Dostupné z: doi:10.3920/JIFF2015.0080

Banu, Luliana. 2009. Studies concerning the quality of bread wheat varieties from Romania. Scientific Study & Research [online]. [cit. 2023-03-29].

Bartkiene, Elena, Vytaute Starkute, Konstantinas Katuskevicius et al. 2022. The contribution of edible cricket flour to quality parameters and sensory characteristics of wheat bread [online]. 10(12), 4319-4330 [cit. 2023-03-25]. ISSN 2048-7177. Dostupné z: doi:10.1002/fsn3.3024

Bawa, Michael, Sirichai Songsermpong, Chanwit Kaewtapee a Wasaporn Chanput. 2020. Nutritional, sensory, and texture quality of bread and cookie enriched with house cricket (*Acheta domesticus*) powder. Journal of Food Processing and Preservation [online]. 44(8) [cit. 2023-03-25]. ISSN 0145-8892. Dostupné z: doi:10.1111/jfpp.14601

Belluco, Simone, Carmen Losasso, Michela Maggioletti, Cristiana C. Alonzi, Maurizio G. Paoletti a Antonia Ricci. 2013. Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety [online]. 12(3), 296-313 [cit. 2021-03-03]. ISSN 15414337. Dostupné z: doi:10.1111/1541-4337.12014

Bhutia, DechenlaTshering. 2014. Protein energy malnutrition in India: The plight of our under five children. Journal of Family Medicine and Primary Care [online]. 3(1) [cit. 2022-10-29]. ISSN 2249-4863. Dostupné z: doi:10.4103/2249-4863.130279

Biró, Barbara, Mária Anna Sipos, Anikó Kovács, Katalin Badak-Kerti, Klára Pásztor-Huszár a Attila Gere. 2020. Cricket-Enriched Oat Biscuit: Technological Analysis and Sensory Evaluation. *Foods* [online]. 9(11) [cit. 2022-10-06]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods9111561

Borges, Mariana Martins, Diego Vicente Da Costa, Felipe Machado Trombete a Ana Karoline Ferreira Ignácio Câmara. 2022. Edible insects as a sustainable alternative to food products: an insight into quality aspects of reformulated bakery and meat products. *Current Opinion in Food Science* [online]. 46 [cit. 2022-10-06]. ISSN 22147993. Dostupné z: doi:10.1016/j.cofs.2022.100864

Boulos, Samy, Anina Tännler a Laura Nyström. 2020. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Edible Insects on the Swiss Market: *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus*, and *Locusta migratoria*. *Frontiers in Nutrition* [online]. 7 [cit. 2023-04-07]. ISSN 2296-861X. Dostupné z: doi:10.3389/fnut.2020.00089

Brites. 2010. Maize-Based Gluten-Free Bread: Influence of Processing Parameters on Sensory and Instrumental Quality. *Food and Bioprocess Technology* [online]. 3(5), 707-715 [cit. 2023-03-22]. ISSN 1935-5130. Dostupné z: doi:10.1007/s11947-008-0108-4

Brogan, Emily N., Yong-Lak Park, Kristen E. Matak a Jacek Jaczynski. 2021. Characterization of protein in cricket (*Acheta domesticus*), locust (*Locusta migratoria*), and silk worm pupae (*Bombyx mori*) insect powders. *LWT* [online]. 152 [cit. 2022-10-29]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2021.112314

Burt, Kate G., Takumi Kotao, Isimar Lopez, Jamie Koeppel, Avia Goldstein, Lalitha Samuel a Marina Stopler. 2020. Acceptance of Using Cricket Flour as a Low Carbohydrate, High Protein, Sustainable Substitute for All-Purpose Flour in Muffins [online]. 18(3), 201-213 [cit. 2022-06-07]. ISSN 1542-8052. Dostupné z: doi:10.1080/15428052.2018.1563934

Cappelli, Alessio, Noemi Oliva, Guglielmo Bonaccorsi, Chiara Lorini a Enrico Cini. 2020. Assessment of the rheological properties and bread characteristics obtained by innovative protein sources (*Cicer arietinum*, *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*): Novel food or potential improvers for wheat flour?. *LWT* [online]. 118 [cit. 2022-09-27]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2019.108867

Carcea, Marina. 2020. Quality and Nutritional/Textural Properties of Durum Wheat Pasta Enriched with Cricket Powder [online]. 9(9) [cit. 2022-10-05]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods9091298

Cauvain, Stanley. 2015. Functional Ingredients. *Technology of Breadmaking* [online]. Cham: Springer International Publishing, 57-99 [cit. 2022-11-20]. ISBN 978-3-319-14686-7. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-14687-4_3

Clarke, Charmaine I. a Elke K. Arendt. 2005. A Review of the Application of Sourdough Technology to Wheat Breads [online]. Elsevier, 137-161 [cit. 2022-11-20]. Advances in Food and Nutrition Research. ISBN 9780120164493. Dostupné z: doi:10.1016/S1043-4526(05)49004-X

Cricket Flours: How to Make Cricket Flour [online]. 2021. In: . [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.cricketflours.com/how-to-make-cricket-flour/>

Da Rosa Machado, Carolina a Roberta Cruz Silveira Thys. 2019. Cricket powder (*Gryllus assimilis*) as a new alternative protein source for gluten-free breads [online]. 56 [cit. 2022-10-03]. ISSN 14668564. Dostupné z: doi:10.1016/j.ifset.2019.102180

Dahiya, Seema a Bijender Singh. 2019. Microbial Xylanases in Bread Making. Encyclopedia of Food Chemistry [online]. Elsevier, 140-149 [cit. 2022-11-25]. ISBN 9780128140451. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-100596-5.21644-2

De Oliveira, Lauren Menegon, Andressa Jantzen Da Silva Lucas, Carolina Lopes Cadaval a Myrian Sallas Mellado. 2017. Bread enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*) [online]. 44, 30-35 [cit. 2022-06-27]. ISSN 14668564. Dostupné z: doi:10.1016/j.ifset.2017.08.015

Deák, T. 2003. Yeasts. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition [online]. Elsevier, 6233-6239 [cit. 2022-11-25]. ISBN 9780122270550. Dostupné z: doi:10.1016/B0-12-227055-X/01302-X

Decaux, Cécile. 2009. Domáci chléb a jiné pečivo. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-2498-7.

Decock, Pieter a Stefan Cappelle. 2005. Bread technology and sourdough technology [online]. 16(1-3), 113-120 [cit. 2022-11-20]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2004.04.012

Dobermann, D., J. A. Swift a L. M. Field. 2017. Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. Nutrition Bulletin [online]. 42(4), 293-308 [cit. 2021-01-21]. ISSN 1471-9827. Dostupné z: doi:10.1111/nbu.12291

Dobraszczyk, B.J a M.P Morgenstern. 2003. Rheology and the breadmaking process. Journal of Cereal Science [online]. 38(3), 229-245 [cit. 2023-03-20]. ISSN 07335210. Dostupné z: doi:10.1016/S0733-5210(03)00059-6

Dossey, A.T., J.T. Tatum a W.L. McGill. 2016. Modern Insect-Based Food Industry: Current Status, Insect Processing Technology, and Recommendations Moving Forward. Insects as Sustainable Food Ingredients [online]. Elsevier, 113-152 [cit. 2022-10-29]. ISBN 9780128028568. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-802856-8.00005-3

Dossey, Aaron T., Juan A. Morales-Ramos a M. Guadalupe Rojas. 2016. Insects as sustainable food ingredients: production, processing and food applications. [online]. In: . Academic Press [cit. 2022-10-29]. ISBN 978-0-12-802856-8.

Dubat, A.. 2012. Mixolab applications handbook.

Durst, Patrick B. 2010. Forest insects as food: humans bite back: RAP publication [online]. [cit. 2022-10-11].

Dvořák, Lukáš. 2016. Využití NIR spektroskopie ke kontrole kvality potravinářských výrobků. Brno. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. Květoslava Šustová, Ph.D.

EFSA. 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. EFSA Journal [online]. 13(10) [cit. 2021-03-11]. ISSN 18314732. Dostupné z: doi:10.2903/j.efsa.2015.4257

El-Damanhour, H. 2011. Studies on the influence of different diets and rearing conditions on the development and growth of the two-spotted cricket *Gryllus bimaculatus* de Geer (Doctoral dissertation). [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://epub.uni-bayreuth.de/id/eprint/310>

Fajfrová, Jana. 2011. Vitaminy a jejich funkce v organismu. Interní medicína pro praxi [online]. 1312466-468 [cit. 2022-11-16].

FAO. 2010. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation [online]. Geneva [cit. 2022-10-30]. ISBN 978-92-5-106733-8.

Feng, Ying, Xiao-Ming Chen, Min Zhao, Zhao He, Long Sun, Cheng-Ye Wang a Wei-Feng Ding. 2018. Edible insects in China: Utilization and prospects. Insect Science [online]. 25(2), 184-198 [cit. 2022-10-05]. ISSN 16729609. Dostupné z: doi:10.1111/1744-7917.12449

Finke, Mark D. 2004. Nutrient Content of Insects. Encyclopedia of Entomology [online]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1563-1575 [cit. 2022-11-17]. ISBN 0-7923-8670-1. Dostupné z: doi:10.1007/0-306-48380-7_2920

Gaglio, Raimondo, Marcella Barbera, Luisa Tesoriere et al. 2021. Sourdough “ciabatta” bread enriched with powdered insects: Physicochemical, microbiological, and simulated intestinal digesta functional properties [online]. 72 [cit. 2023-03-25]. ISSN 14668564. Dostupné z: doi:10.1016/j.ifset.2021.102755

García-Segovia, Purificación, Marta Igual a Javier Martínez-Monzó. 2020. Physicochemical Properties and Consumer Acceptance of Bread Enriched with Alternative Proteins. Foods [online]. 9(7) [cit. 2023-03-26]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods9070933

Gharibzahedi, Seyed Mohammad Taghi a Seid Mahdi Jafari. 2017. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation [online]. 62, 119-132 [cit. 2022-10-11]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2017.02.017

González, Cristina M., Raquel Garzón a Cristina M. Rosell. 2019. Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours [online]. 51, 205-210 [cit. 2022-06-07]. ISSN 14668564. Dostupné z: doi:10.1016/j.ifset.2018.03.021

Gravel, Alexia a Alain Doyen. 2020. The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties [online]. 59 [cit. 2022-09-27]. ISSN 14668564. Dostupné z: doi:10.1016/j.ifset.2019.102272

Guzmán, Carlos, Gabriel Posadas-Romano, Nayeli Hernández-Espinosa, Anayeli Morales-Dorantes a Roberto Javier Peña. 2015. A new standard water absorption criteria based on solvent retention capacity (SRC) to determine dough mixing properties, viscoelasticity, and bread-making quality. *Journal of Cereal Science* [online]. 66, 59-65 [cit. 2023-03-22]. ISSN 07335210. Dostupné z: doi:10.1016/j.jcs.2015.10.009

Hernández-Álvarez, Alan-Javier, Martin Mondor, Irving-Alejandro Piña-Domínguez, Oscar-Abel Sánchez-Velázquez a Guiomar Melgar Lalanne. 2021. Drying technologies for edible insects and their derived ingredients. *Drying Technology* [online]. 39(13), 1991-2009 [cit. 2022-10-16]. ISSN 0737-3937. Dostupné z: doi:10.1080/07373937.2021.1915796

Hlongwane, Zabentungwa T., Rob Slotow a Thinandavha C. Munyai. 2020. Nutritional Composition of Edible Insects Consumed in Africa: A Systematic Review. *Nutrients* [online]. 12(9) [cit. 2022-10-30]. ISSN 2072-6643. Dostupné z: doi:10.3390/nu12092786

Hughes, Jaimee, Verena Vaiciurgis a Sara Grafenauer. 2020. Flour for Home Baking: A Cross-Sectional Analysis of Supermarket Products Emphasising the Whole Grain Opportunity. *Nutrients* [online]. 12(7) [cit. 2022-06-07]. ISSN 2072-6643. Dostupné z: doi:10.3390/nu12072058

Informační centrum bezpečnosti potravin. 2005. Lepek [online]. [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/76572.aspx>

Kachapulula, Paul W., Juliet Akello, Ranajit Bandyopadhyay a Peter J. Cotty. 2018. Aflatoxin Contamination of Dried Insects and Fish in Zambia. *Journal of Food Protection* [online]. 81(9), 1508-1518 [cit. 2022-10-22]. ISSN 0362-028X. Dostupné z: doi:10.4315/0362-028X.JFP-17-527

- Kamau, E., C. Mutungi, J. Kinyuru et al. 2018. Moisture adsorption properties and shelf-life estimation of dried and pulverised edible house cricket *Acheta domesticus* (L.) and black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.). *Food Research International* [online]. 106, 420-427 [cit. 2022-10-22]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2018.01.012
- Klunder, H.C., J. Wolkers-Rooijackers, J.M. Korpela a M.J.R. Nout. 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control* [online]. 26(2), 628-631 [cit. 2021-03-06]. ISSN 09567135. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodcont.2012.02.013
- Koletta, Pelagia, Maria Irakli, Maria Papageorgiou a Adriana Skendi. 2014. Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat flours. *Journal of Cereal Science* [online]. 60(3), 561-568 [cit. 2023-03-25]. ISSN 07335210. Dostupné z: doi:10.1016/j.jcs.2014.08.003
- Kosečková, Pavlína, Ondřej Zvěřina, Marie Pěchová, Martina Krulíková, Eva Duborská a Marie Borkovcová. 2022. Mineral profile of cricket powders, some edible insect species and their implication for gastronomy. *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. 107 [cit. 2022-11-16]. ISSN 08891575. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfca.2021.104340
- Kowalczewski, Przemysław, Katarzyna Walkowiak, Łukasz Masewicz, Olga Bartczak, Jacek Lewandowicz, Piotr Kubiak a Hanna Baranowska. 2019. Gluten-Free Bread with Cricket Powder—Mechanical Properties and Molecular Water Dynamics in Dough and Ready Product. *Foods* [online]. 8(7) [cit. 2023-03-22]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods8070240
- Kowalski, Stanisław, Anna Mikulec, Barbara Mickowska, Magdalena Skotnicka a Aleksandra Mazurek. 2022. Wheat bread supplementation with various edible insect flours. Influence of chemical composition on nutritional and technological aspects. *LWT* [online]. 159 [cit. 2022-09-01]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2022.113220
- Kröncke, Nina, Verena Bösch, Jan Woyzichovski, Sebastian Demtröder a Rainer Benning. 2018. Comparison of suitable drying processes for mealworms (*Tenebrio molitor*) [online]. 50, 20-25 [cit. 2022-10-03]. ISSN 14668564. Dostupné z: doi:10.1016/j.ifset.2018.10.009
- Kučerová, Jindřiška. 2004. *Technologie cereálií*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 80-715-7811-8.
- Kučerová, Jindřiška. 2016. *Technologie cereálií*. Druhé přepracované vydání. V Brně: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7509-442-1.
- Lamsal, Buddhi, Hui Wang, Praphan Pinsirom a Aaron T. Dossey. 2019. Applications of Insect-Derived Protein Ingredients in Food and Feed Industry. *Journal of the American Oil Chemists' Society* [online]. 96(2), 105-123 [cit. 2022-10-25]. ISSN 0003021X. Dostupné z: doi:10.1002/aocs.12180

Latunde-Dada, Gladys O., Wenge Yang a Mayra Vera Aviles. 2016. In Vitro Iron Availability from Insects and Sirloin Beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 64(44), 8420-8424 [cit. 2022-11-17]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/acs.jafc.6b03286

Lesaffre. 2019. Různé formy droždí [online]. In: . [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <http://www.vseodrozdi.cz/cs/ruzne-formy-drozdi.php?levure=0>

Magara, Henlay J. O., Saliou Niassy, Monica A. Ayieko et al. 2021. Edible Crickets (Orthoptera) Around the World: Distribution, Nutritional Value, and Other Benefits—A Review. *Frontiers in Nutrition* [online]. 7 [cit. 2022-11-06]. ISSN 2296-861X. Dostupné z: doi:10.3389/fnut.2020.537915

Mahmoud, R.M., E.I. Yousif, M.G.E. Gadallah a A.R. Alawneh. 2013. Formulations and quality characterization of gluten-free Egyptian balady flat bread. *Annals of Agricultural Sciences* [online]. 58(1), 19-25 [cit. 2023-03-22]. ISSN 05701783. Dostupné z: doi:10.1016/j.aoad.2013.01.004

Mason, Joel B, Richard Black, Sarah L Booth et al. 2018. Fostering Strategies to Expand the Consumption of Edible Insects: The Value of a Tripartite Coalition between Academia, Industry, and Government. *Current Developments in Nutrition* [online]. 2(8) [cit. 2022-11-17]. ISSN 2475-2991. Dostupné z: doi:10.1093/cdn/nzy056

Melgar-Lalanne, Guiomar, Alan-Javier Hernández-Álvarez a Alejandro Salinas-Castro. 2019. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 18(4), 1166-1191 [cit. 2021-01-21]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: doi:10.1111/1541-4337.12463

Mendelova univerzita v Brně. 2023. Technologii cereálií - výroba chleba a běžného pečiva: Kvas [online]. In: . [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=4279&typ=html

Mihulka, Stanislav. 2009. Chléb v proměnách staletí. In: *Svět potravin* [online]. Potravinářská komora ČR [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <http://www.svet-potravin.cz/cze/articles/chleb-v-promenach-staleti>

Ministerstvo zemědělství ČR. 2018. Zásady správné zemědělské a výrobní praxe produkce hmyzu určeného pro lidskou spotřebu [online]. [cit. 2021-04-21]. ISBN 978-80-7434-420-6. Dostupné z: [https://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/Zasady%20produkce%20hmyzu%204%20\(2\).pdf](https://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/Zasady%20produkce%20hmyzu%204%20(2).pdf)

Mishyna, Maryia, Jianshe Chen a Ofir Benjamin. 2020. Sensory attributes of edible insects and insect-based foods – Future outlooks for enhancing consumer appeal [online]. 95, 141-148 [cit. 2023-03-25]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2019.11.016

Mixolab 2 - Dough Analysis. 2023. In: KPM analytics [online]. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.kpmanalytics.com/products/mixolab-2>

Mixolab. 2023. In: Bakerpedia [online]. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://bakerpedia.com/processes/mixolab/?fbclid=IwAR0BV84kblwFfufYpIXq1BI9INRhuO9m-h9GAHx1ji6diIFsYtz439EVtAk>

Mondal, Arpita a A.K. Datta. 2008. Bread baking – A review. Journal of Food Engineering [online]. 86(4), 465-474 [cit. 2022-11-20]. ISSN 02608774. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014)

Montowska, Magdalena, Przemysław Łukasz Kowalczewski, Iga Rybicka a Emilia Fornal. 2019. Nutritional value, protein and peptide composition of edible cricket powders. Food Chemistry [online]. 289, 130-138 [cit. 2022-10-03]. ISSN 03088146. Dostupné z: [doi:10.1016/j.foodchem.2019.03.062](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062)

Murray, Robert K. 2002. Harperova Biochemie. Jinočany. Lange medical book. ISBN 80-731-9013-3.

Nissen, Lorenzo, Seyedeh Parya Samaei, Elena Babini a Andrea Gianotti. 2020. Gluten free sourdough bread enriched with cricket flour for protein fortification: Antioxidant improvement and Volatilome characterization. Food Chemistry [online]. 333 [cit. 2022-06-07]. ISSN 03088146. Dostupné z: [doi:10.1016/j.foodchem.2020.127410](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127410)

Nowakowski, Abby C., Abbey C. Miller, M. Elizabeth Miller, Hang Xiao a Xian Wu. 2022. Potential health benefits of edible insects. Critical Reviews in Food Science and Nutrition [online]. 62(13), 3499-3508 [cit. 2022-11-16]. ISSN 1040-8398. Dostupné z: [doi:10.1080/10408398.2020.1867053](https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867053)

Ojha, S., S. Bußler, M. Psarianos, G. Rossi a O.K. Schlüter. 2021. Edible insect processing pathways and implementation of emerging technologies. Journal of Insects as Food and Feed [online]. 7(5), 877-900 [cit. 2022-10-22]. ISSN 2352-4588. Dostupné z: [doi:10.3920/JIFF2020.0121](https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0121)

Osimani, Andrea, Vesna Milanović, Federica Cardinali et al. 2018. Bread enriched with cricket powder (*Acheta illuicus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation [online]. 48, 150-163 [cit. 2022-06-07]. ISSN 14668564. Dostupné z: [doi:10.1016/j.ifset.2018.06.007](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.007)

Patel, Seema, Hafiz Ansar Rasul Suleria a Abdur Rauf. 2019. Edible insects as innovative foods: Nutritional and functional assessments [online]. 86, 352-359 [cit. 2022-10-05]. ISSN 09242244. Dostupné z: [doi:10.1016/j.tifs.2019.02.033](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.033)

Payne, Charlotte L.R., Peter Scarborough, Mike Rayner a Kenichi Nonaka. 2016. A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values [online]. 47, 69-77 [cit. 2022-11-16]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2015.10.012

Perez-Fajardo, Mayra, Scott R. Bean a Hulya Dogan. 2023. Effect of cricket protein powders on dough functionality and bread quality. Cereal Chemistry [online]. [cit. 2023-03-30]. ISSN 0009-0352. Dostupné z: doi:10.1002/cche.10652

Petrie, D. 2022. Alternative proteins feeding the world: Inclusion of cricket powder in cereal - based products. PhD Thesis London South Bank University National Bakery School [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: doi:10.18744/lbsu.91w8z

Primo-Martín, Cristina. 2005. An explanation for the combined effect of xylanase-glucose oxidase in dough systems. Journal of the Science of Food and Agriculture [online]. 85(7), 1186-1196 [cit. 2023-03-22]. ISSN 00225142. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.2107

Příhoda, Josef, Pavla Humpolíková a Dana Novotná. 2003. Základy pekárenské technologie. Praha: Pekař a cukrář. ISBN 80-902-9221-6.

Purlis, Emmanuel. 2011. Bread baking: Technological considerations based on process modelling and simulation. Journal of Food Engineering [online]. 103(1), 92-102 [cit. 2022-11-25]. ISSN 02608774. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.10.003

Reverberi, M. 2020. Edible insects: cricket farming and processing as an emerging market. Journal of Insects as Food and Feed [online]. 6(2), 211-220 [cit. 2022-10-11]. ISSN 2352-4588. Dostupné z: doi:10.3920/JIFF2019.0052

Roncolini, Andrea, Vesna Milanović, Lucia Aquilanti et al. 2020. Lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) powder as a novel baking ingredient for manufacturing high-protein, mineral-dense snacks. Food Research International [online]. 131 [cit. 2022-10-05]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2020.109031

Roncolini, Andrea, Vesna Milanović, Federica Cardinali et al. 2019. Protein fortification with mealworm (*Tenebrio molitor L.*) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. PLOS ONE [online]. 14(2) [cit. 2022-09-27]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0211747

Rosell, Cristina M. 2011. The Science of Doughs and Bread Quality. Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention [online]. Elsevier, 3-14 [cit. 2022-11-20]. ISBN 9780123808868. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-380886-8.10001-7

Rumpold, Birgit A. a Oliver K. Schlüter. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research* [online]. 57(5), 802-823 [cit. 2021-02-08]. ISSN 16134125. Dostupné z: doi:10.1002/mnfr.201200735

Sedláček, Tibor. 2011. Mixografické hodnocení kvality pšenice pomocí přístroje reomixer [online]. [cit. 2023-03-20].

Schlüter, Oliver, Birgit Rumpold, Thomas Holzhauser et al. 2017. Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition & Food Research* [online]. 61(6) [cit. 2021-04-22]. ISSN 16134125. Dostupné z: doi:10.1002/mnfr.201600520

Scholliers, Jana, Liselot Steen, Seline Glorieux, Davy Van De Walle, Koen Dewettinck a Ilse Fraeye. 2019. The effect of temperature on structure formation in three insect batters. *Food Research International* [online]. 122, 411-418 [cit. 2022-10-03]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2019.04.033

Skotnicka, Magdalena, Kaja Karwowska, Filip Kłobukowski, Aleksandra Borkowska a Magdalena Pieszko. 2021. Possibilities of the Development of Edible Insect-Based Foods in Europe. *Foods* [online]. 10(4) [cit. 2022-06-07]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods10040766

Skoupil, J. 2002. Význam a hodnocení vody související s výrobou potravin, *Pekař Cukrář*, č. 5, s. 5-6. ISBN ISSN 1213-2403.

Ssepuyya, G., R.O. Aringo, I.M. Mukisa a D. Nakimbugwe. 2016. Effect of processing, packaging and storage-temperature based hurdles on the shelf stability of sautéed ready-to-eat *Ruspolia nitidula*. *Journal of Insects as Food and Feed* [online]. 2(4), 245-253 [cit. 2022-10-22]. ISSN 2352-4588. Dostupné z: doi:10.3920/JIFF2016.0006

Struyf, Nore, Eva Van Der Maelen, Sami Hemdane, Joran Verspreet, Kevin J. Verstrepen a Christophe M. Courtin. 2017. Bread Dough and Baker's Yeast: An Uplifting Synergy. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 16(5), 850-867 [cit. 2022-11-23]. ISSN 15414337. Dostupné z: doi:10.1111/1541-4337.12282

Sun, He, Ornella Necochea Velazco, Catriona Lakemond, Matthijs Dekker, Lee Cadesky a Maryia Mishyna. 2021. Differences in moisture sorption characteristics and browning of lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) ingredients. *LWT* [online]. 142 [cit. 2022-10-30]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2021.110989

Thermo Electron Corporation. 2006. Molecular spectroscopy. Product Specifications Antaris II FT-NIR Analyzers.

Tiencheu, Bernard, Hilaire Macaire womeni, Michel linder, Félicité Tchouanguép mbiapo, Pierre villeneuve, Jacques fanni a Michel parmentier. 2013. Changes of lipids in insect (*Rhynchophorus phoenicis*) during cooking and storage. *European Journal of Lipid Science and Technology* [online]. 115(2), 186-195 [cit. 2022-10-22]. ISSN 1438-7697. Dostupné z: doi:10.1002/ejlt.201200284

Trhoňová, Iva a Ludmila Gottwaldová. 2019. Upečeno s láskou: kváskový chléb a pečivo. Brno: CPress. ISBN 978-80-264-2397-3.

Tzompa-Sosa, Daylan A., Liya YI, Hein J.F. Van Valenberg, Martinus A.J.S. Van Boekel a Catriona M.M. Lakemond. 2014. Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Research International* [online]. 62, 1087-1094 [cit. 2022-10-30]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2014.05.052

Vandeweyer, D., S. Lenaerts, A. Callens a L. Van Campenhout. 2017. Effect of blanching followed by refrigerated storage or industrial microwave drying on the microbial load of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Food Control* [online]. 71, 311-314 [cit. 2022-09-02]. ISSN 09567135. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodcont.2016.07.011

Vanin, F.M., T. Lucas a G. Trystram. 2009. Crust formation and its role during bread baking [online]. 20(8), 333-343 [cit. 2022-11-25]. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2009.04.001

Vasilica, Beldean Bianca, Maria Simona CHIȘ, Ersilia Alexa et al. 2022. The Impact of Insect Flour on Sourdough Fermentation-Fatty Acids, Amino-Acids, Minerals and Volatile Profile. *Insects* [online]. 13(7) [cit. 2023-04-08]. ISSN 2075-4450. Dostupné z: doi:10.3390/insects13070576

Venturi, Manuel, Alessio Cappelli, Niccolò PINI, Viola Galli, Lucrezia Lupori, Lisa Granchi a Enrico Cini. 2022. Effects of kneading machine type and total element revolutions on dough rheology and bread characteristics: A focus on straight dough and indirect (biga) methods. *LWT* [online]. 153 [cit. 2022-11-25]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2021.112500

Villaseñor, Víctor M., Jhony Navat Enriquez-Vara, Judith E. Urías-Silva a Luis Mojica. 2022. Edible Insects: Techno-functional Properties Food and Feed Applications and Biological Potential. *Food Reviews International* [online]. 38(1), 866-892 [cit. 2023-03-24]. ISSN 8755-9129. Dostupné z: doi:10.1080/87559129.2021.1890116

Wang, Jinshui, Cristina M Rosell a Carmen Benedito De Barber. 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry* [online]. 79(2), 221-226 [cit. 2023-03-23]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/S0308-8146(02)00135-8

Xiaoming, C., F. F. Ying a Z. Z. Hong. 2010. Review of the nutritive value of edible insects: Forest insects as food: humans bite back [online]. [cit. 2021-02-06].

Xie, Xinyuan, Zhihe Yuan, Kai Fu, Jianhui An a Lingli Deng. 2022. Effect of Partial Substitution of Flour with Mealworm (*Tenebrio molitor L.*) Powder on Dough and Biscuit Properties. *Foods* [online]. 11(14) [cit. 2023-03-26]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods11142156

Zielińska, Ewelina, Monika Karaś a Barbara Baraniak. 2018. Comparison of functional properties of edible insects and protein preparations thereof. *LWT* [online]. 91, 168-174 [cit. 2023-04-08]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2018.01.058

9 Samostatné přílohy

T530 pšeničná mouka



T530 + 5 % moučka z potměníka



T530 + 10 % moučka z potměníka



T530 + 15 % moučka z potměníka



T530 + 20 % moučka z potměníka



T530 + 25 % moučka z potměníka



T530 + 30 % moučka z potměníka



Obrázek 7 Naskenované pečivo s přidavkem moučky z potměníka

T530 pšeničná mouka



T530 + 5 % cvrččí moučka



T530 + 10 % cvrččí moučka



T530 + 15 % cvrččí moučka



T530 + 20 % cvrččí moučka



T530 + 25 % cvrččí moučka



T530 + 30 % cvrččí moučka



Obrázek 8 Naskenované pečivo s přidavkem cvrččí moučky

SENZORICKÉ HODNOCENÍ PEČIVA

Pohlaví:

Zdravotní stav:

Věk:

Jednotlivé vzorky ohodnoťte na stupnici od 1 (velmi špatné) do 6 (vynikající).

	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4	Vzorek 5	Vzorek 6	Vzorek 7
BARVA							
AROMA							
TEXTURA KŮRKY							
TEXTURA STRÍDKY							
CHUŤ							
CELKOVÝ DOJEM							

BARVA

- 6 vynikající, rovnoměrná, nepřipálená, čistá
- 5 dobrá, rovnoměrná, světlejší, tmavší, nepřipálená
- 4 ucházející, mírně nerovnoměrná, světlejší, tmavší
- 3 neutrální, mírně nerovnoměrná, příliš světlá, příliš tmavá
- 2 špatná, příliš světlá, příliš tmavá, připálená
- 1 velmi špatná, příliš světlá, příliš tmavá, připálená

AROMA

- 6 vynikající, typická, jemná, plná, nasládlá, bez cizích příchutí
- 5 dobrá, atypický nádech
- 4 ucházející, intenzivnější atypický nádech
- 3 neutrální, cizí příchutě
- 2 špatná, ještě přijatelná, cizí příchutě, štiplavá
- 1 velmi špatná, velmi intenzivní, štiplavá, velmi ostrá

TEXTURA KŮRKY

- 6 vynikající, křupavá, křehká, typická
- 5 dobrá, křupavá, s pevnější strukturou
- 4 ucházející, tvrdší, měkčí, mírně se rozpadající
- 3 neutrální, příliš tvrdá, příliš měkká, mírně se rozpadající
- 2 špatná, příliš tvrdá, příliš měkká, rozpadající se
- 1 velmi špatná, tvrdá, rozbředlá, sensoricky nepřijatelná

TEXTURA STRÍDKY

- 6 vynikající, jemná, křehká, nadýchaná, typická
- 5 dobrá, jemná, křehká, nadýchaná, s pevnější strukturou
- 4 ucházející, tvrdší, měkčí, mírně se rozpadající
- 3 neutrální, příliš tvrdá, příliš měkká, mírně se rozpadající
- 2 špatná, příliš tvrdá, příliš měkká, rozpadající se
- 1 velmi špatná, tvrdá, rozbředlá, sensoricky nepřijatelná

CHUŤ

- 6 vynikající, typická, příjemná
- 5 dobrá, příjemná
- 4 ucházející, méně dobrá
- 3 neutrální, méně dobrá, s cizí příchutí
- 2 špatná, mdlá, s intenzivní cizí příchutí
- 1 velmi špatná, nepřijemná, s intenzivní cizí příchutí, sensoricky nepřijatelná

CELKOVÝ DOJEM

- 6 vynikající
- 5 dobrý
- 4 ucházející
- 3 neutrální
- 2 špatný
- 1 velmi špatný