

Hodnocení vybraných vlastností netradičních těst s přídavkem jedlého hmyzu

Mgr. Andrea Mičánková

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Mgr. Andrea Mičánková
Osobní číslo: T21270
Studijní program: B0721A210002 Technologie a hodnocení potravin
Specializace: Technologie potravin
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Hodnocení vybraných vlastností netradičních těst s přídavkem jedlého hmyzu

Zásady pro vypracování

1. Prostudujte dostupnou literaturu se zaměřením na pekařské produkty s přídavkem jedlého hmyzu.
2. Seznamte se s metodami měření pomocí experimentálního elektronického nosu, jejich výhodami a nevýhodami a s reofermentometr.
3. Připravte směsi netradičních těst s přídavkem jedlého hmyzu pro výrobu vybraných potravinových produktů. Směsi aplikujte při přípravě potravinového produktu a monitorujte vybrané výrobní fáze pomocí experimentálního elektronického nosu a reofermentru.
4. Získaná data vyhodnoťte.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] Adámek, M.; Adámková, A.; Miček, J.; Vojáčková, K.; Faměra, O.; Búran, M.; Hlobilová, V.; Bučková, M.; Baron, M.; Sochor, J. Sensor Systems for Detecting Dough Properties Fortified with Grape Pomace and Mealworm Powders. *Sensors*, 2020, 20, 3569
- [2] Adámek, M.; Adámková, A.; Miček, J.; Borkovcová, M.; Bednářová, M. Acceptability and sensory evaluation of energy bars and protein bars enriched with edible insect. *Potr. S. J. F. Sci.* 2018, 12, 431–437
- [3] Roncolini, A.; Milanović, V.; Cardinali, F.; Osimani, A.; Garofalo, C.; Sabbatini, R.; Clementi, F.; Pasquini, M.; Mozzon, M.; Foligni, R.; Raffaelli, N.; Zamporlini, F.; Minazzato, G.; Trombetta, M.F.; Buitenen, A.V.; Campenhout, L.V.; Aquilanti, L. Protein fortification with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. *PLOS ONE* 2019, 14
- [4] ADÁMEK, Martin, Magdaléna ZVONKOVÁ, Iva BUREŠOVÁ, Martin BURAN, Veronika ŠEVČÍKOVÁ, Romana ŠEBESTÍKOVÁ, Anna ADÁMKOVÁ, Nela SKOWRONKOVÁ a Jiří MLČEK. Use of a thermodynamic sensor in monitoring fermentation processes in gluten-free dough proofing. *Sensors* [online]. 2023, vol. 23, iss. 1 [cit. 2023-06-30]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/1/534>
- [5] Vasilica, B.T.B.; Chis, M.S.; Alexa, E.; Pop, C.; Păucean, A.; Man, S.; Igual, M.; Haydee, K.M.; Dalma, K.E.; Stănilă, S.; et al. The Impact of Insect Flour on Sourdough Fermentation-Fatty Acids, Amino-Acids, Minerals and Volatile Profile. *Insects* 2022, 13, 576
- [6] Kowalski, S.; Mikulec, A.; Mickowska, B.; Skotnicka, M.; Mazurek, A. Wheat bread supplementation with various edible Insect flours. Influence of chemical composition on nutritional and technological aspects. *LWT-Food Sci. Technol.* 2022, 159, 113220

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. et Ing. Anna Adámková, Ph.D.**
Ústav analýzy a chemie potravin

Datum zadání bakalářské práce: **1. ledna 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 19. února 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORKY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studentky:

.....
podpis studentky

ABSTRAKT

Zdraví některých lidí bývá omezováno potravinovými alergiemi nebo nesnášenlivostmi. Jednou z alergií je celiakie, alergie na lepek. Těsta vyrobená z bezlepkových mouk obsahují nízké množství bílkovin a proto hůře kynou. Těsta z pšeničné mouky mohou mít po vykynutí výšku až 50 mm, těsta vyrobená z bezlepkových mouk bývají po nakynutí pouze 2-10 mm vysoká.

Z tohoto důvodu se tato práce zaměřuje na fortifikaci kynutého maniokového těsta jedlým hmyzem, potěmnikem moučným (*Tenebrio molitor*). Těsto připravené z maniokové mouky bylo monitorováno pomocí reofermentometru Rheo F4 a experimentálního elektronického nosu. Nejprve byl monitorován průběh kynutí těsta pouze z maniokové mouky (výška těsta a množství vznikajících látek). Poté byl monitorován průběh kynutí těsta, ve kterém bylo 5 % maniokové mouky nahrazeno moukou z larev potěmníka moučného.

Z výsledků práce vyplývá, že přídavek hmyzí mouky má tendenci ovlivňovat fermentační vlastnosti těsta. Oběma přístroji byl zaznamenán rozdíl mezi těstem připraveným pouze z maniokové mouky a z maniokové mouky s přídavkem hmyzu. U fortifikované mouky došlo k nárůstu výstupního signálu u senzoru MQ 8 (monitorující především vodík) v průměru o 17 %, u senzoru MQ 135 (monitorující zejména amoniak) o 51 %, u senzoru eCO₂ (monitorující především oxid uhličitý) o 46 %. Naopak došlo k poklesu výstupního signálu u senzoru TVOC (monitorující těkavé látky) průměrně o 28 % a u senzoru MQ 3 (monitorující především alkohol) o 12,5 %.

Přínosem práce je získání nových poznatků o fortifikaci bezlepkového těsta moukou z larev potěmníka moučného.

Hmyz je považován za potravinu budoucnosti a v této oblasti je mnoho prostoru pro výzkum.

Klíčová slova: maniok, manioková mouka, fortifikace jedlým hmyzem, potěmník moučný

ABSTRACT

Food allergies or intolerances can limit people's health. One such allergy is celiac disease, a gluten allergy. Doughs made from gluten-free flour contain low amounts of protein and, therefore, are harder to rise. Doughs made from wheat flour can be up to 50 mm high after rising, while doughs made from gluten-free flour are only 2-10 mm high after rising.

For this reason, this work focuses on the fortification of fermented cassava dough with an edible insect, the mealworm (*Tenebrio molitor*). The Rheo F4 reofermentometer and an experimental electronic nose were used to monitor the dough prepared with cassava flour. First, the progress of the rising (dough height and amount of dough formation) of the dough prepared with flour from cassava was monitored. Afterwards, the progress of the dough with a 5% addition of the flour from mealybug larvae was monitored.

The results show that the addition of insect flour affects the fermentation properties of the dough. The difference between the dough prepared from cassava flour alone and cassava flour with the insect addition was observed on both instruments. For the fortified flour, there was an average increase in the output signal of 17% for the MQ 8 sensor (monitoring primarily hydrogen), 51% for the MQ 135 sensor (primarily monitoring ammonia) and 46% for the eCO₂ sensor (primarily monitoring carbon dioxide). However, the output signal of the TVOC sensor (primarily monitoring volatile substances) decreased by 28% on average and that of the MQ 3 sensor (primarily monitoring alcohol) by 12,5 %.

The contribution of the work is the acquisition of new knowledge about the fortification of gluten-free dough with flour from mealybug larvae.

Many believe that insects are the food of the future, and there is a lot of potential for research in this area.

Keywords: cassava, cassava flour, fortification with edible insects, mealworm

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. et Ing. Anně Adámkové Ph.D. a jejímu manželovi Ing. Martinovi Adámkovi Ph.D., za konzultace, cenné rady, ochotu a trpělivost při tvorbě bakalářské práce. Taktéž bych chtěla poděkovat Ing. Romaně Šebestíkové za vstřícnost, ochotu a pomoc při získání potřebných informací a podkladů.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 JEDLÝ HMYZ	12
1.1 JEDLÝ HMYZ A LEGISLATIVA	14
1.2 NUTRIČNÍ HODNOTY JEDLÉHO HMYZU.....	16
1.3 SENZORICKÉ VLASTNOSTI JEDLÉHO HMYZU	18
1.4 POTEMNÍK MOUČNÝ	19
1.4.1 Nutriční hodnoty	20
2 MANIOKOVÁ MOUKA	22
3 MĚŘICÍ METODY	23
3.1 REOFERMENTOMETR RHEO F4	23
3.2 ELEKTRONICKÝ NOS.....	25
4 CÍLE A HYPOTÉZA PRÁCE	27
4.1 CÍLE PRÁCE	27
4.2 HYPOTÉZA PRÁCE.....	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	28
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	29
5.1 PŘÍPRAVA A VÝROBA NETRADIČNÍHO TĚSTA	29
5.1.1 Suroviny	29
5.1.2 Příprava hmyzu	31
5.1.3 Výroba těsta.....	32
5.2 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	33
5.2.1 Rheofermentometr Rheo F4.....	33
5.2.2 Experimentální elektronický nos (e-nos)	33
6 VÝSLEDKY	34
6.1 MĚŘENÍ TĚST POMOCÍ REOFERMENTOMETRU	34
6.2 MĚŘENÍ TĚST POMOCÍ ELEKTRONICKÉHO NOSU.....	37
7 DISKUZE	41
ZÁVĚR	43
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	47
SEZNAM OBRÁZKŮ	48
SEZNAM TABULEK	49

ÚVOD

Mezi tradiční těsta řadíme taková, na která byla použita pšeničná nebo žitná mouka. Trendem posledních let je úprava jednotlivých receptů a zaměňování pšeničné mouky za mouku jinou (částečně nebo úplně). Důvodem mohou být různé diety, např. bezlepková nebo low carb dieta nebo také změna životního stylu a s tím související změna jídelníčku.

Mouku vyrobenou z pohanky volí často lidé pro její lepší výživové hodnoty, především vyšší obsah vlákniny. Nejen pohanková, ale také rýžová nebo kukuřičná mouka je vhodná pro celiaky. Mouky vyrobené ze skořápkových plodů (např. mandlová, z kešu nebo vlašských ořechů) jsou vhodné pro lidi s nízkosacharidovou (tzv. low carb) dietou.

Základní suroviny (mouku, vodu, sůl, tuk nebo olej, droždí) je možné také doplnit o další přísady – koření, ořechy nebo semínka.

V posledních letech je také zkoumáno přidávání jedlého hmyzu do potravin a krmiv. Fortifikace pekařských výrobků jedlým hmyzem nebo hmyzí moukou zvyšuje obsah bílkovin ve výrobku a tím může dojít ke zvýšení nutriční hodnoty výrobku. Také dochází ke změnám reologických a sensorických vlastností. Velkou nevýhodou této fortifikace je negativní postoj lidí k potravinám obsahující hmyz.

Cílem této práce bylo připravit a monitorovat těsto netradiční, v tomto případě z maniokové mouky, získané z kořene manioku jedlého (*Manihot esculenta*). První těsto bylo připraveno pouze z maniokové mouky. U druhého těsta bylo nahrazeno 5 % maniokové mouky za mouku připravenou z larev potemníka moučného (*Tenebrio molitor*). Součástí práce bylo monitorování obou těst při kynutí pomocí experimentálního elektronického nosu a reofermentometru.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 JEDLÝ HMYZ

Využitím jedlého hmyzu k lidské potravě se zabývá entomofágie. I když jedlý hmyz konzumují přibližně dvě miliardy lidí, v Evropě a Severní Americe nebývá příliš na jídelníček zařazován (van Huis et al., 2013).

Od středověku byl hmyz považován za jídlo chudých a byl konzumován především v dobách nedostatku jídla (hladomory, války). Odtahitému přístupu k hmyzu jako součásti jídelníčku přispělo také šíření nemocí přenášených běžným hmyzem. Bylo tedy snahou potlačovat konzumaci jedlého hmyzu (Borkovcová et al., 2009).

Povědomí o konzumaci jedlého hmyzu v tropických oblastech rozšířily publikace Bergier E. - Entomofágní národy a jedlý hmyz: studie o zvycích člověka a hmyzu z roku 1941 a Bodenheimer FS - Hmyz jako potrava člověka; kapitola z ekologie člověka z roku 1951.

Na možnosti konzumace hmyzu v západním světě upozorňovala například práce Meyer-Rochow - Může hmyz zmírnit problém nedostatku potravin ve světě z roku 1975. Celosvětový zájem však vyvolala až publikace Van Huis et al. - Jedlý hmyz: budoucí perspektivy pro zabezpečení potravin a krmiv z roku 2013.

V současné době je jedlý hmyz zkoumán pro své potenciální využití v lidské výživě a krmivech. Současná prognóza OSN uvádí celkový počet obyvatel 9,7 miliard v roce 2050. Je tedy nutné hledat alternativní zdroje potravin a jedlý hmyz může být jednou z možností (van Huis, 2022).

Mezi výhody používání jedlého hmyzu patří:

- vyšší efektivita přeměny krmiva na stravitelné bílkoviny (v porovnání s chovem hospodářských zvířat),
- jedlý hmyz vyprodukuje méně skleníkových plynů a amoniaku při vytváření stejného množství stravitelných bílkovin (ve srovnání s hospodářskými zvířaty),
- nižší spotřeba vody a půdy, protože je možné jedlý hmyz chovat na platech umístěných ve vrstvách nad sebou (Frkal, 2001).



Obrázek 1: Příklad haly pro chov hmyzu – farma v Jaroměřicích nad Rokytnou
(Denik.cz, 2024)

Používání jedlého hmyzu má také svá negativa:

- možnost alergických reakcí způsobené nedostatkem enzymu štěpící chitin (sacharid obsažený ve vnější kostře hmyzu) nebo proteinem tropomyosinem zodpovědným za zkříženou alergii mezi krevetami a dalšími členovci,
- možnost mikrobiální kontaminace a vznik onemocnění způsobené nevhodným chovem,
- stravovací obtíže při nevhodné kulinární úpravě (Kouřimská a Adámková, 2016; Adámková, 2023).

1.1 Jedlý hmyz a legislativa

Jedlý hmyz je považován za novou potravinu. V současnosti je ve světě známo více než 2000 druhů jedlého hmyzu a konzumace jedlého hmyzu je provozována ve více než 110 zemích světa (Adámková, 2023).

Evropský úřad pro bezpečnost potravin (European Food Safety Authority, dále EFSA) zveřejnil v roce 2015 dokument „*Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed*“ o posouzení rizik plynoucích z výroby a spotřeby hmyzu jako potravin a krmiva. V dokumentu je také zveřejněn seznam doporučených druhů hmyzu s největším potenciálem pro využití jako potravin a krmiva v Evropské unii (EU) (EFSA, 2015).

V tomto seznamu lze nalézt dnes pro lidskou potřebu již běžně používané druhy jedlého hmyzu:

- cvrček krátkokřídlý (*Gryllodes sigillatus*),
- potěmnik moučný (*Tenebrio molitor*),
- potěmnik stájový (*Alphitobius diaperinus*),
- saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*).

Z méně využívaných druhů v potravinářství nebo druhů využívaných pro krmiva:

- bourec morušový (*Bombyx mori*),
- bráněnka (*Hermetia illucens*),
- moucha domácí (*Musca domestica*),
- saranče americká (*Schistocerca Americana*),
- zavíječ voskový (*Galleria mellonella*),
- zavíječ malý (*Achroia grisella*) (EFSA, 2015).

Nařízení komise EU 2017/893, které vstoupilo v platnost 1. 7. 2017, definovalo druhy farmově chovaného hmyzu (bráněnka, moucha domácí, potěmnik moučný, potěmnik stájový, cvrček domácí, cvrček krátkokřídlý, cvrček banánový) a zařadilo tyto vybrané druhy farmově chovaného hmyzu mezi hospodářská zvířata (Adámková, 2023).

Novela nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 o nových potravinách, zařadila od 1. ledna 2018 jedlý hmyz do kategorie „Nové potraviny“ v zemích EU. Tím byly jednoznačně definovány podmínky pro uvádění jedlého hmyzu a výrobků s obsahem jedlého hmyzu na trh Evropské unie.

Celkem jsou dnes schváleny čtyři druhy jedlého hmyzu. Prvním schváleným druhem byl moučný červ (*Tenebrio molitor*), následovalo saranče stěhovavé (*Locusta migratoria*), cvrček domácí (*Acheta domestica*) a potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*).

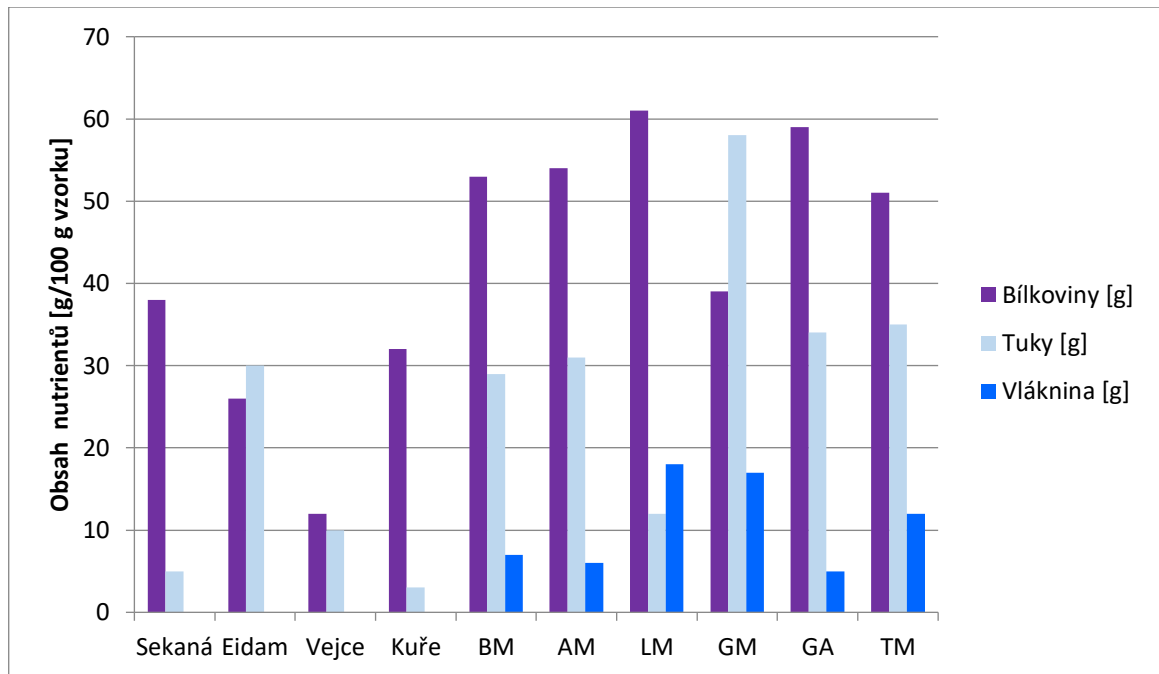
V České republice byla schválena 11. března 2019 **novela Zákona o veterinární péči**, která umožnila zakládat a provozovat hmyzí farmy. Ministerstvo zemědělství ČR ve spolupráci s odborníky vydalo v roce 2018 dokument „**Zásady správné zemědělské a výrobní praxe produkce hmyzu určeného pro lidskou spotřebu**“. Dokument doporučuje k chovu následující druhy jedlého hmyzu – potemníka moučného, potemníka stájového, cvrčka domácího, cvrčka krátkokřídlého a cvrčka banánového.

Dne 7. září 2021 nabylo účinnosti Nařízení **Komise EU 2021/1372**, které ruší zákaz používání zpracovaných živočišných bílkovin (včetně hmyzích) v krmivech pro drůbež a prasata.

Mimo vlastní výroby jedlého hmyzu v zemích EU je povolen také dovoz podle Prováděcího nařízení Komise EU 2021/405 ze Švýcarska, Jižní Koreji, Kanady, Thajska a Vietnamu (Adámková, 2023).

1.2 Nutriční hodnoty jedlého hmyzu

Jedlý hmyz je zkoumán jako významný zdroj proteinů. Z nutričního hlediska je také zajímavé využití jedlého hmyzu jako zdroje minerálních látek (především železa a zinku), esenciálních a neesenciálních aminokyselin a mastných kyselin (Mlček 2014, Kouřimská 2016).



Obrázek 2: Srovnání množství tuků, bílkovin a vlákniny na 100 g hmyzu a běžných potravin (Borkovcová, 2015)

Vysvětlivky:

Sekaná – hovězí sekaná vařená

Eidam – sýr eidam, 30 % tuku v sušině

Vejce – vejce slepičí vařené na tvrdo

Kuře – kuřecí prsa smažená

BM – sušené kukly bource morušového

AM – sušený trubčí plod včely medonosné

LM – sušené nymfy saranče stěhovavé

GM – sušené housenky zavíječe voskového

GA – sušené nymfy cvrčka stepního

TM – sušené larvy potemníka moučného

Nutriční hodnoty jedlého hmyzu závisí na mnoha faktorech:

- genetické faktory - živočišný druh a pohlaví,
- životní podmínky - druh krmiva, teplota, osvětlení, stres,
- podmínky získávání suroviny - vývojové stádium jedinců, způsob manipulace a usmrcení,
- technologické faktory zpracování a skladování získané suroviny.

Obsah bílkovin v těle hmyzu je v rozmezí 15-81 % v sušině. Stravitelnost hmyzích bílkovin je uváděna v rozmezí 77-98 % (stravitelnost bílkovin vejce je 95 %, hovězího masa 98 % a kaseinu 99 %).

Obsah tuku se u jedlého hmyzu pohybuje v rozmezí 10-50 % v sušině. Vyšší obsah je u larev a kukel, nižší naopak u dospělého jedince. Jedlý hmyz patří mezi zdroje nenasycených mastných kyselin, především kyseliny linolové a eikosapentaenová.

Sacharidy jsou u jedlého hmyzu zastoupeny především chitinem a obsah je v rozmezí 6-16 % v sušině. Pro lidské tělo je chitin vlákninou.

Jedlý hmyz může být také zdrojem minerálních látek, především draslíku, sodíku, vápníku, železa, zinku, manganu a fosforu. Z vitamínů lze u jedlého hmyzu nalézt B₁, B₂, B₆, C, D, E a K. Informace o přítomnosti vitamínu A v jedlém hmyzu jsou sporné. (Mlček, 2014)

1.3 Senzorické vlastnosti jedlého hmyzu

Člověk odjakživa posuzuje potravu svými smysly. Zpočátku takto zjišťoval, zda je potravinu požitelná – zda není zkažená nebo neobsahuje toxické látky. S tím, jak se zvyšovala nabídka potravin, lidé si mohli vybírat mezi výrobky různé kvality. A s tím souvisel i rozvoj sensorické analýzy. V ČR je popsána sensorická analýza například v normách ČSN EN ISO 5492 – Sensorická analýza – Slovník nebo ČSN EN ISO 8586 Sensorická analýza – Obecná směrnice pro výběr, výcvik a sledování činnosti vybraných posuzovatelů a odborných sensorických posuzovatelů (Vetweb.cz, 2024).

Sensorická analýza je definována jako: „Věda zabývající se hodnocením organoleptických vlastností výrobku pomocí lidských smyslů.“ Sensorická analýza nezkoumá jen pach, chuť nebo barvy, ale také podměty vnímané sluchem (např. tón, šelest, křupnutí), hmatem (např. struktura povrchu, tvar částic, velikost těles) nebo chemotermální vjemy (např. vjem chladu vyvolaný mentolem) (Ježek a Saláková, 2012).

Hodnocení sensorických vlastností hmyzu má svá specifika. Důležitým krokem je překonání odporu ke konzumaci hmyzu, který je u evropského konzumenta velmi častý. Jedlý hmyz může být použit v potravinářství ve viditelné nebo neviditelné formě. Při předkládání ve viditelné formě jsou podávána celá, kulinárně upravená těla hmyzu samostatně nebo jako viditelná součást dalších jídel (např. cukrovinky, pečivo nebo zmrzlina ozdobené hmyzem). V neviditelné formě je jedlý hmyz nejčastěji přidáván do jídla v podobě sušeného prášku (Tan et al., 2016).

Nejdůležitější vlastností, která rozhoduje o přijetí nebo zamítnutí jedlého hmyzu spotřebitelem, je chuť. Chuť jedlého hmyzu může být velmi různorodá. Může připomínat např. lískové oříšky, pečené kuře, jablka, ryby, pečivo nebo ryby. Na výslednou chuť má vliv nejen druh hmyzu, prostředí, ve kterém hmyz žije, krmivo a způsob usmrcení, ale také následná kulinární úprava – vaření, smažení, pražení atd. Pokud se hmyz vystaví horké páře, je prakticky bez chuti a během vaření přejímá chuť přidaných přísad (Kouřimská a Adámková, 2016).

Dobré sensorické vlastnosti správně kulinárně upraveného hmyzu snižují averzi spotřebitelů k jedlému hmyzu. Také přidavek hmyzu v méně viditelné podobě (např. v podobě hmyzí mouky) může zvýšit konzumaci potravin s obsahem jedlého hmyzu (Tan et al., 2016).

1.4 Potemník moučný

Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) patří k druhům hmyzu, které se více vyskytují v blízkosti člověka než ve volné přírodě. Potravou potemníka moučného jsou látky rostlinného původu, především mouka a moučné výrobky. Z tohoto důvodu jsou také často larvy potemníka nazývány „moučnými červy“.

Brouci i larvy byly dříve považovány za škůdce, v posledních letech jsou larvy potemníka moučného chovány nejen jako zdroj krmiva pro ptáky a akvarijní rybky, ale také jako zdroj potravy pro lidi a zvířata.

Samice klade přibližně 160-280 vajíček. Larva se vylíhne po dvou týdnech od naklazení vajíček. Během dalšího vývoje dochází postupně ke svlékání a přebarvování kutikuly od bílé, přes žlutou, po okrově hnědou. Starší larvy dorůstají do délky až 2,5 cm. Jsou aktivní a dovedou se vzdalovat od místa, kde žijí. Stádium kukly trvá přibližně 2 týdny. Dospělý jedinec má černé zbarvení a měří přibližně 3 cm. Celý vývoj proběhne ve dvou letech. (Zahradník, 2008)



Obrázek 3: Vývojová stádia potemníka moučného – larva (vlevo), kukla, dospělý brouk (Krejsashop.cz, 2024)

1.4.1 Nutriční hodnoty

Chovné podmínky, biologické faktory (pohlaví, věk a vývojové stádium) a druh krmiva patří mezi faktory, které mohou ovlivnit nutriční hodnoty jedlého hmyzu. Mezi nejvýznamnější nutriety získávané z jedlého hmyzu patří bílkoviny, tuky, vláknina, minerální látky a vitamíny.

Zastoupení **bílkovin, tuků a vlákniny** v % v sušině u jednotlivých vývojových stádií je uvedeno v tabulce č. 1.

Tabulka 1: Nutriční složení a energetická hodnota potměníka moučného (Rumpold a Schlüter, 2013)

	Bílkoviny [%]	Tuky [%]	Vláknina [%]	Energetická hodnota [kcal/100 g]
Larva	47-49	35-43	5-8	540-580
Kukla	53	37	5-6	550
Dospělý jedinec	60-66	15-22	14-17	370-430

Bílkoviny jsou nejdůležitějším nutriem, pro který se potměník moučný chová. Potměník moučný má rozsáhlé zastoupení **aminokyselin** ve všech vývojových stádiích.

Tabulka 2: Zastoupení jednotlivých aminokyselin u potměníka moučného (Zielińska, 2015)

Aminokyselina	Obsah aminokyseliny [g/kg vzorku]
Histidin	16,1
Isoleucin	21,4
Leucin	45,8
Lysin	26,7
Methionin	9,6
Fenylalanin	16,1
Threonin	26,1
Tryptofan	-
Valin	39,7
Arginin	25,6
Cystein	5,5
Tyrozín	28,8
Alanin	44,3
Kyselina aspartová	50,5
Kyselina glutamová	79,7
Glycin	31,8
Prolin	43,4
Serin	28,8

Tuky jsou druhým nejvýznamnějším nutriem u jedlého hmyzu. Poměr nasycených mastných kyselin (SAFA), mononenasycených (MUFA) a polynenasycených mastných kyselin (PUFA) pro lidskou výživu by měl být 1,25 : 1,5 : 1. Obsah a poměr mastných kyselin u potměníka moučného je podobný výživovému doporučení. Odlišnosti mohou být způsobeny typem krmiva (Adámková, 2016).

Tabulka 3: Zastoupení mastných kyselin u larev potměníka moučného (Adámková, 2016)

	Nasycené MK [%]	Mononenasycené MK [%]	Polynenasycené MK [%]
Larva	29,7	38,4	31,8

Tuk larev potměníka moučného je velice podobný tuku ryb – obsahuje významný podíl nenasyčených mastných kyselin. Naopak tuk potměníka brazilského (*Zophobas morio*) obsahuje vyšší množství nasycených mastných kyselin a je více podobný vepřovému sádlu (Borkovcová, 2015).

Obecně může být jedlý hmyz nutričně zajímavý také z hlediska obsahu **minerálních látek**, jako je železo, zinek, draslík, sodík, vápník, fosfor, hořčík mangan a měď. Obsah jednotlivých minerálních látek je uveden v tabulce č. 5.

Tabulka 4: Obsah minerálů v prášku larev potměníka moučného [mg na 100 g vzorku]

(¹Zielińska, 2015; ²Machona, 2022)

Prvek	Železo	Hořčík	Měď	Sodík	Draslík	Vápník	Fosfor
Obsah [mg/100g] ¹	3,29	304	1,86	57	835	41	-
Obsah [mg/100g] ²	-	245	0,7	210	786	45	750

Larvy potměníka moučného obsahují vyšší množství železa než vepřové maso (2 mg/100 g) nebo vejce (3 mg/100 g). V porovnání s ostatními druhy jedlého hmyzu je obsah železa u potměníka moučného nižší. Například saranče stěhovavé obsahuje okolo 7 mg železa ve 100 g a nymfy cvrčka domácího kolem 15 mg železa na 100 g (Borkovcová, 2015).

2 MANIOKOVÁ MOUKA

Pro přípravu netradičního těsta byla využita mouka vyrobená z kořene Manioku jedlého (*Manihot esculenta*).

Mouka se nazývá manioková nebo také mouka z cassavy. Tento druh mouky pochází z tropických oblastí Afriky, Asie popřípadě Ameriky a v České republice patří mezi méně známé mouky. Znamější je mouka tapioková (nebo také tapiokové perly). Mouka manioková i tapioková pochází z Manioku jedlého, rozdíl je ale ve zpracování (Grizly.cz, 2024).



Obrázek 4: Kořen manioku jedlého (Mundo.cz, 2024)

Tapioková mouka je získávána extrakcí škrobu z kořene manioku. Manioková mouka se vyrábí zpracováním celého kořene – oloupaním, nasušením a namletím na jemnou konzistenci. Tato mouka má vyšší množství vlákniny (v porovnání s tapiokovou) a jemně béžovou barvu.

Manioková mouka má v kuchyni široké využití. Díky své neutrální chuti lze využít pro přípravu sladkých i slaných pokrmů a těst. Je přirozeně bezlepková (Grizly.cz, 2024).

Tabulka 5: Výživové údaje maniokové mouky na 100 g

Energetická hodnota	Tuky	Z toho nasycené mastné kyseliny	Sacharidy	Z toho cukry	Bílkoviny	Vláknina	Sůl
1498 kJ/358 kcal	0 g	0 g	80 g	4 g	0 g	0,9 g	0,01 g

3 MĚŘICÍ METODY

3.1 Reofermentometr Rheo F4

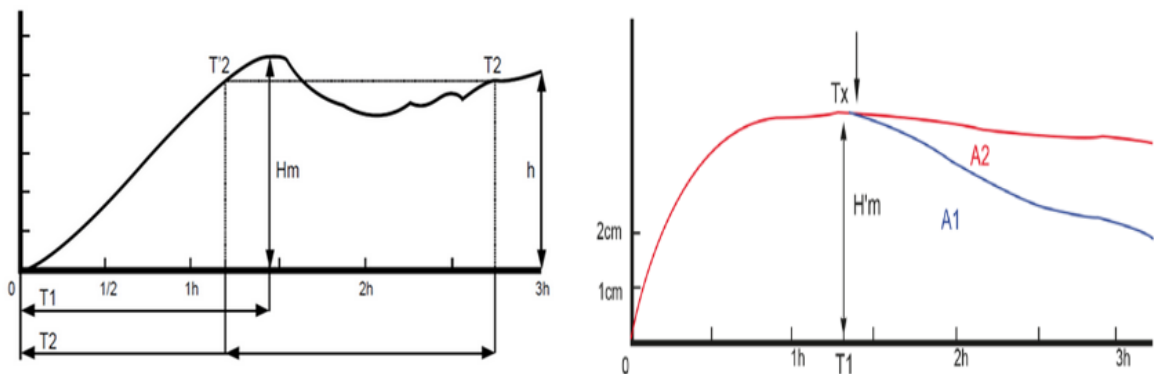
Reofermentometr Rheo F4 slouží pro měření vlastností těsta v průběhu kynutí (fermentace). Měří výšku těsta, celkovou produkci plynu a množství zadržného plynu v těstě. Zařízení měří údaje každých 45 sekund v termostaticky řízené vzduchotěsné komoře po dobu 3 hodin.



Obrázek 5: Reofermentometr Rheo F4 (Kpmanalytics.com, 2024)

Průběh analýzy je možné sledovat na počítači, křivka se aktualizuje každých 10 minut. Všechny výpočty jsou poskytnuty po dokončení testování. Průběh kynutí těsta je zaznačen do dvou grafů. První popisuje vývoj (výšku) těsta, druhý obsahuje 2 křivky – plocha pod první křivkou znázorňuje množství vyprodukovaného plynu, plocha pod druhou

křivkou množství zadrženého plynu. Příklady grafů jsou na obrázku č. 5 (Kpmanalytics.com, 2024).



Obrázek 6: Křivka vývoje těsta (vlevo), křivka vyprodukovaného a zadrženého plynu (Kpmanalytics.com, 2024)

Z grafů lze dále následující tyto údaje:

Graf vlevo

- maximální výška těsta v mm (H_m)
- čas dosažení maximální výšky těsta H_m (T_1)
- výška těsta na konci měření v mm (h)
- pokles ve vývinu po celkovém čase měření v porovnání s T_1 (H_m-h)/ H_m

Graf vpravo

- maximální výška křivky ($H'm$),
- čas potřebný k dosažení $H'm$ (T_1),
- čas, kdy těsto začíná uvolňovat CO_2 (T_x),
- celkový objem zadrženého plynu v těstě v ml (plocha pod křivkou A1),
- objem CO_2 v ml uvolněný z těsta během kynutí (plocha mezi křivkou A2 a A1) (Kpmanalytics.com, 2024).

3.2 Elektronický nos

Metoda elektrického nosu (e-nosu) slouží pro měření pachů. Tato zařízení byla navržena tak, aby napodobovala čich savců. Výhodou je možnost opakovat měření, identifikovat a klasifikovat aromatické směsi a eliminovat únavu posuzovatele.

Technologie umělého čichu má své počátky v roce 1982. Od té doby došlo ke zdokonalení rozpoznávání pachů a také zmenšování těchto zařízení. V dnešní době je tento přístroj využíván v mnoha oblastech: ochraně životního prostředí, kriminalistice, zemědělství, lékařství a různých odvětvích průmyslu, včetně potravinářského. U potravin lze pomocí elektronického nosu měřit čerstvost, kvalitu a zralost (Wilson a Baietto, 2009).

Elektronický nos se nejčastěji skládá ze tří částí: systému manipulace se vzorky, detekčního systému a systému pro zpracování dat (výpočetního systému). Detekční systém obsahuje řadu plynových senzorů (chemické senzory z oxidů kovů nebo čidla s vodivými polymery), které rozeznají konkrétní částice (atomu, molekuly, ionty). Tyto senzory generují signály, které jsou vyhodnocovány výpočetním systémem (Peris a Escured-Gilabert, 2009).

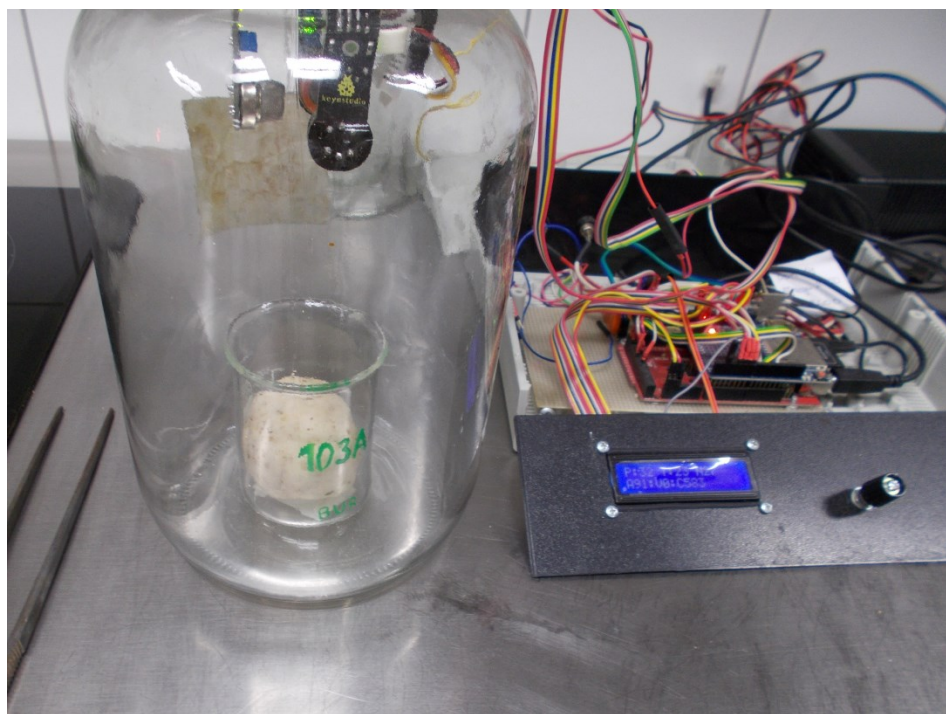
Fungování e-nosů založených na plynových senzorech je ovlivněno několika problémy, jako je přesycení senzoru, maskování profilu některými hlavními složkami vzorku (například etanolem) nebo silný vliv vlhkosti. K překonání některých z těchto problémů se rozrůstají aplikace hmotnostní spektrometrie pro profilování aroma potravin. Tyto přístroje se někdy označují jako elektronické nosy nové generace. Tento nový přístroj zavádí těkavé sloučeniny do ionizační komory přístroje pro hmotnostní spektrofotometrii bez předchozí chromatografické separace. Každý fragmentový ion získaného hmotnostního spektra působí jako „senzor“ a jeho množství je ekvivalentní signálu senzoru (Peris a Escured-Gilabert, 2009).

Experimentální elektronický nos využitý pro bakalářskou práci se skládá ze senzorů na bázi oxidů kovů. Výstupní napětí je generováno změnou odporu senzoru v důsledku přítomnosti látky, na kterou je senzor citlivý. V tomto případě se jedná o látky uvolňující se při fermentaci. Senzory jsou citlivé na různé látky. Senzor MQ-3 především na alkohol, MQ-8 zejména na vodík H_2 a MQ-135 především na amoniak NH_3 . Senzor TVOC je citlivý na těkavé látky a senzor CO_2eq na oxid uhličitý.

Toto zařízení mělo pouze monitorovat proces a přesné měření absolutních hodnot jednotlivých koncentrací plynů nebylo očekáváno. Z tohoto důvodu byly jednotlivé výstupní signály u senzorů MQ-3, MQ-8 a MQ-135 převedeny do relativní stupnice

pomocí interního 10 - bitového A/D převodníku mikrokontroléru na digitální hodnotu $d [-]$ (napětí 0 V a 5 V odpovídá digitální úrovni 0 a 1023) (Sevcikova, 2024).

V SGP30 (Sensirion AG, Staefa ZH, Švýcarsko) se vypočtené hodnoty TVOC změnilly na hodnotu 0 v rozsahu 0 ppb až 60 000 ppb a signál CO_2eq v rozsahu od 400 ppm do 60 000 ppm (Sevcikova, 2024).



Obrázek 7: Měření vlastností těsta s 5 % hmyzu pomocí experimentálního e-nosu (Autor BP)

4 CÍLE A HYPOTÉZA PRÁCE

4.1 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je pomocí reofermentometru a experimentálního elektronického nosu zaznamenat rozdíl ve fermentačních vlastnostech netradičního těsta vyrobeného z maniokové mouky bez obsahu hmyzí mouky a s obsahem 5 % hmyzí mouky (mouky z larev potměníka moučného).

4.2 Hypotéza práce

Na základě stanoveného cíle bakalářské práce byly zvoleny následující hypotézy:

Hypotéza č. 1: Experimentální elektronický nos a reofermentometr zaznamená změny koncentrace plynů při kynutí těsta vyrobeného z maniokové mouky bez a po přidání mouky z larev potměníka moučného.

Hypotéza č. 2: Fortifikací maniokové mouky larvami potměníka moučného dojde ke změně fermentačních vlastností, které je možné monitorovat pomocí reofermentometru a experimentálního elektronického nosu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1 Příprava a výroba netradičního těsta

Pro výrobu experimentální směsi byla použita manioková mouka, droždí, sůl, voda a hmyzí mouka.

5.1.1 Suroviny

Manioková mouka

Mouka pro tuto práci (výrobce Calbuco, s.r.o.) byla objednána z internetového obchodu www.grizly.cz. Lze ji zakoupit také v jiných internetových obchodech nebo v prodejnách zdravé výživy.



Obrázek 8: Manioková mouka (Autor BP)

Droždí

Pro přípravu netradičního těsta bylo použito sušené droždí pekařské značky Lesaffre.



Obrázek 9: Pekařské droždí sušené (Autor BP)

Sůl

Na přípravu netradičního těsta byla použita mořská sůl značky Solsanka, výrobce Solsan a.s..

5.1.2 Příprava hmyzu

Mouka z larev potěmníka moučného (*Tenebrio molitor*) byla připravena následovně:

Byly použity larvy v posledním a předposledním stádiu vývoje. Larvy byly zakoupeny od společnosti Radek Frýželka Brno, Česká republika.

Larvy byly odebrány z chovu, vyláčněny po dobu 48 hodin, usmrceny ve vroucí vodě a usušeny při 105 °C po dobu 20 minut. Takto připravené vzorky byly skladovány v chladničce při teplotě 4-7 °C.

Před použitím do těsta byly larvy nadrceny pomocí sekáčku 3 Seconds Chopper.



Obrázek 10: Nadrcené larvy potěmníka moučného (Autor BP)

5.1.3 Výroba těsta

V návodu pro reofermentometr je uveden recept na výrobu kynutého těsta. Těsto se skládá z 250 g pšeničné mouky, 3 g sušeného droždí, 5 g soli a 137 g vody (Chopin Technologies, 2016).

Pro netradiční těsto z maniokové mouky bylo nutné upravit tento recept – manioková mouka váže vyšší množství vody než mouka pšeničná. Těsto z maniokové mouky bylo vyrobeno z:

- 175 g maniokové mouky,
- 2,1 g sušeného droždí,
- 3,5 g soli,
- 214,4 g vody.

Jednotlivé suroviny byly vloženy do mísy robotu Eta Gratus (Eta, a.s., CZ, Praha, Česká republika) a hněteny po dobu 6 ± 1 minut při 400 otáčkách za minutu pomocí háku na bezlepkové těsto.

Připravené těsto bylo rozděleno na dvě části. Těsto o hmotnosti 315 g bylo použito k měření jeho schopnosti produkovat a zachycovat kvasný plyn pomocí reofermentometru Rheo F4. Pro měření experimentálního elektronického nosu bylo použito 80 g těsta.

Pro netradiční těsto s přídavkem hmyzu bylo nahrazeno 8,75 g (5 %) maniokové mouky moukou hmyzí. Hmyzí mouka byla přidávána s ostatními surovinami a postup výroby těsta byl totožný.

5.2 Měřicí přístroje

U netradičního těsta vyrobeného z maniokové mouky byla sledována fáze kynutí pomocí přístrojů reofermentometr Rheo F4 a experimentálního elektronického nosu.

5.2.1 Rheofermentometr Rheo F4

Reofermentometr Rheo F4 (Chopin Technologies, Villeneuve-la-Garenne, Francie) je termostatem řízená fermentační komora.

Těsto (315 g) bylo umístěno na dno testovací komory napojené na senzor a přiklopeno pístem. Komora byla hermeticky uzavřena a kynutí probíhalo při 28 °C po dobu 180 minut. Změny ve výšce těsta, objem vyprodukovaného a uvolněného oxidu uhličitého v těstě byl zaznamenán elektronickým mikroprocesorem (Chopin Technologies, 2016).

5.2.2 Experimentální elektronický nos (e-nos)

Těsto o hmotnosti 80 g bylo umístěno do skleněné nádoby o objemu 150 ml, která byla umístěna do větší nádoby a následně uzavřena víčkem se senzory experimentálního elektronického nosu. Výstupní signály byly zaznamenávány počítačem. Vzorky byly analyzovány při teplotě místnosti 23 ± 2 °C. Měření jednoho vzorku trvalo 180 min.

6 VÝSLEDKY

Cílem bakalářské práce bylo připravit a zkoumat netradiční těsto. Těsto bylo připraveno ve dvou variantách. Nejprve pouze z maniokové mouky a poté s náhradou 5 % maniokové mouky moukou z jedlého hmyzu.

Všechna data získaná z měření byla zpracována a vyhodnocena pomocí aplikace Microsoft Office 365.

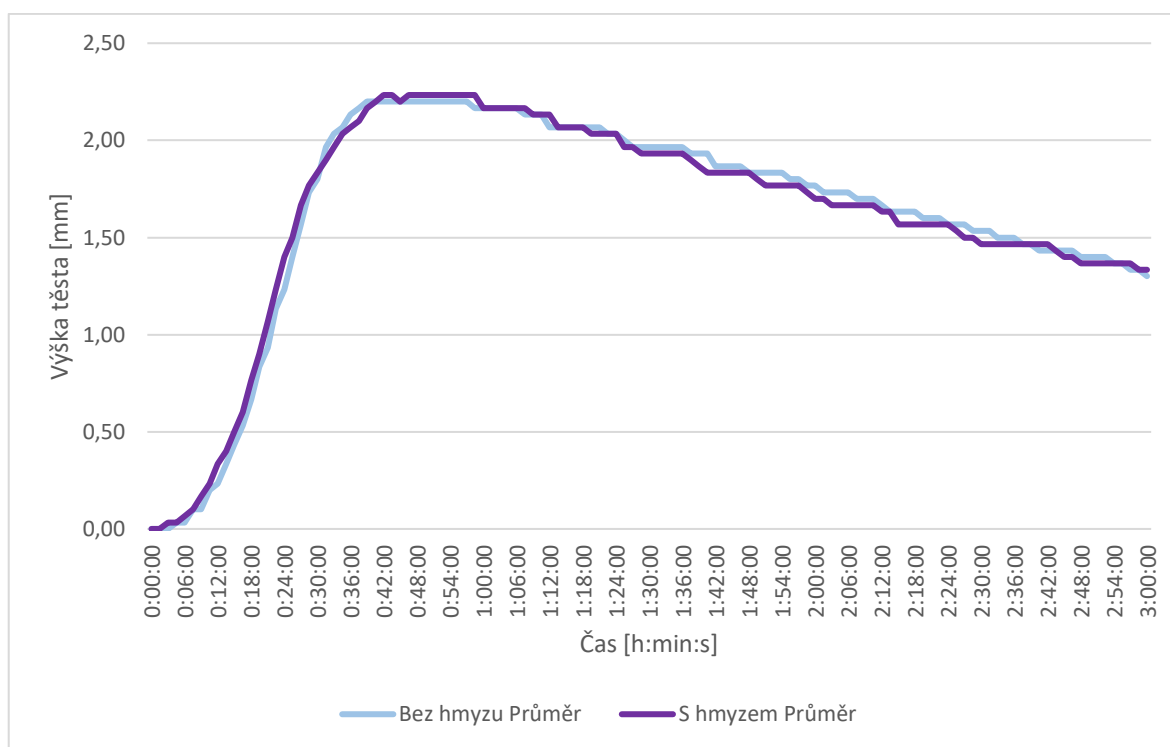


Obrázek 11: Těsto připravené z maniokové mouky bez přídavku hmyzu (vlevo) a s přidáním 5 % hmyzu (vpravo) (Autor BP)

6.1 Měření těst pomocí reofermentometru

Reofermentometr Rheo F4 slouží pro měření výšky těsta a množství vytvořeného a uvolněného oxidu uhličitého při kynutí těsta. Tyto vlastnosti byly měřeny pro netradiční těsto z maniokové mouky. Nejprve byly veličiny změřeny 3x a zprůměrovány pro těsto bez fortifikace těsta jedlým hmyzem. Poté bylo nahrazeno 5 % maniokové mouky (8,75 g) stejným množstvím mouky získané z larev potměníka moučného a měření proběhlo opět 3x.

Porovnání změny výšky těsta u mouky nefortifikované a fortifikované hmyzem je uvedeno na obrázku číslo 12. Srovnání množství vytvořeného a uvolněného oxidu uhličitého při kynutí je na obrázku číslo 13.



Obrázek 12: Výška těsta vzorků [mm] měřená reofermentometrem

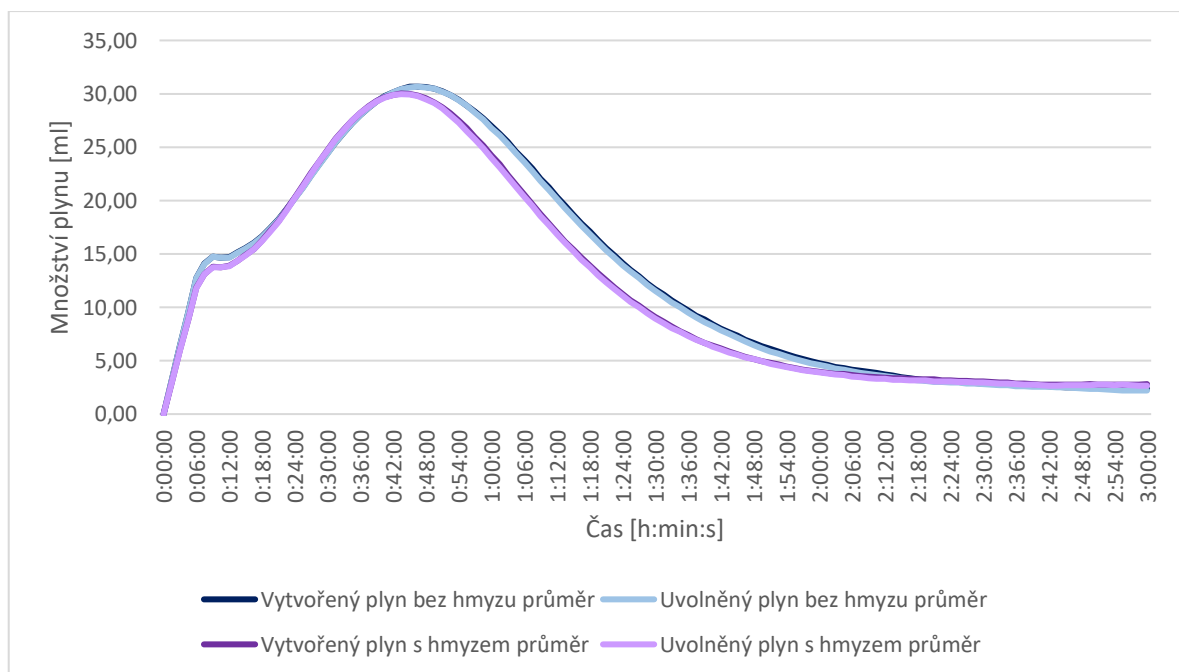
Rozdíl ve výškách těsta mezi jednotlivými typy těst je nízký. Maximální výška těsta bez přidavku hmyzí mouky je $2,2 \pm 0,2$ mm, těsta s 5 % hmyzu je $2,3 \pm 0,2$ mm. Podobné jsou také ostatní porovnávané hodnoty, viz tabulka číslo 6.

Tabulka 6: Jednotlivé zkoumané parametry měřené reofermentometrem

Parametr	Těsto bez hmyzu	Těsto s 5 % hmyzu
Vývin těsta		
Maximální výška těsta [mm]	$2,2 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,2$
Čas dosažení maximální výšky těsta [min]	52 ± 3	$51,5 \pm 8,0$
Výška těsta na konci měření [mm]	$1,3 \pm 0,2$	$1,3 \pm 0,2$
Pokles ve vývinu těsta po celkovém čase [%]	$41,3 \pm 4,5$	$41,4 \pm 3,8$
Tvorba a únik kypřícího plynu		
Maximální výška křivky pro tvorbu plynu [mm]	$30,9 \pm 1,4$	$30,7 \pm 2,7$
Čas nutný pro dosažení maximální výšky křivky pro tvorbu plynu [min]	$46,5 \pm 3,7$	45 ± 5
Čas úniku plynu [min]	Nelze určit	Nelze určit
Celkový vzniklý objem plynu [ml]	$359,6 \pm 6,8$	$331,7 \pm 8,7$
Objem plynu zadržený v těstě [ml]	$356,3 \pm 6,6$	$329,3 \pm 9,0$
Objem plynu uvolněný z těsta během kynutí [ml]	3 ± 0	$2,7 \pm 1,2$
Poměr objemu plynu zadrženého v těstě k celkovému objemu plynu [%]	$99,1 \pm 0,1$	$99,2 \pm 0,4$

Důležitými ukazateli kynutí těsta je tvorba kypřícího plynu – oxidu uhličitého a jeho následné zadržení v těstě. Těsto dokáže zadržet vytvořený plyn jen po určitou dobu, poté dochází k jeho uvolnění. Toto uvolnění lze měřit a projeví se rozdělením křivky. (Chopin Technologies, 2016)

U těsta z maniokové mouky bez fortifikace jedlým hmyzem došlo k vytvoření $359,6 \pm 6,8$ ml kypřícího plynu a uvolnění 3 ± 0 ml plynu. U těsta s fortifikací 5 % jedlého hmyzu došlo k vytvoření $331,7 \pm 8,7$ ml a uvolnění $2,7 \pm 1,2$ ml oxidu uhličitého. Množství vzniklého kypřícího plynu bylo u obou vzorků velmi nízké. Těsto téměř všechny plyn zadrželo a došlo pouze k jeho minimálnímu uvolnění. Rozdělení křivky pro množství plynů je minimální, viz obrázek číslo 13.



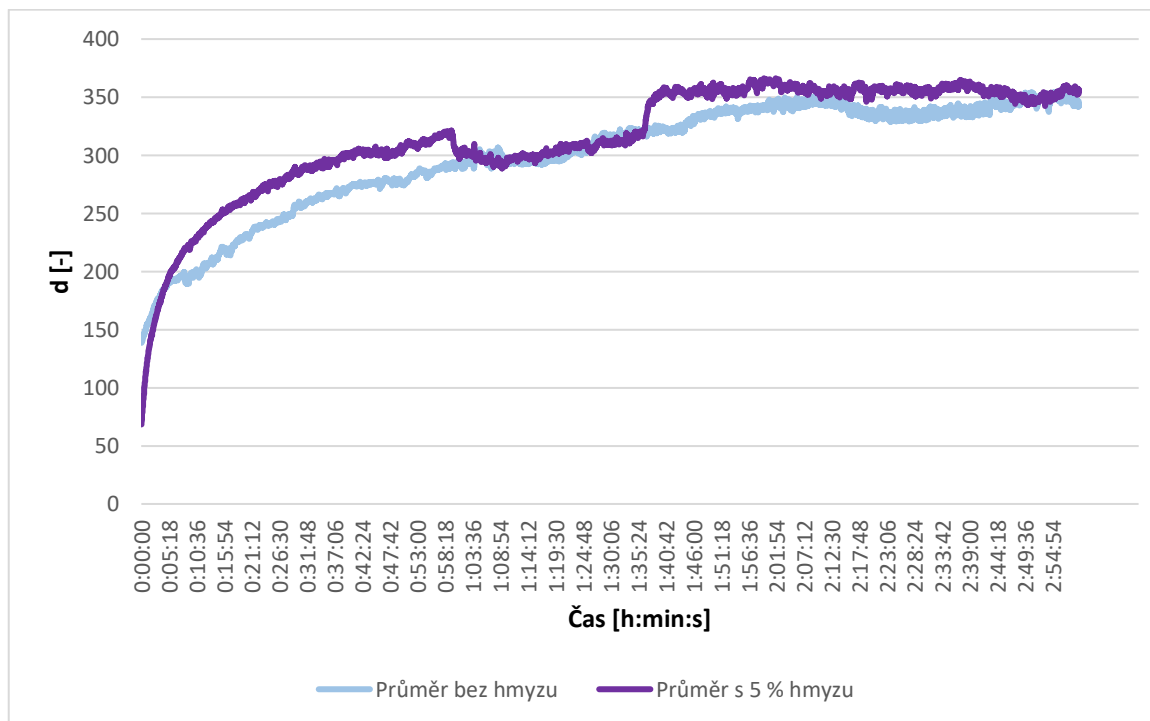
Obrázek 13: Množství vytvořeného a uvolněného oxidu uhličitého [ml] měřené reofermentometrem

6.2 Měření těst pomocí elektronického nosu

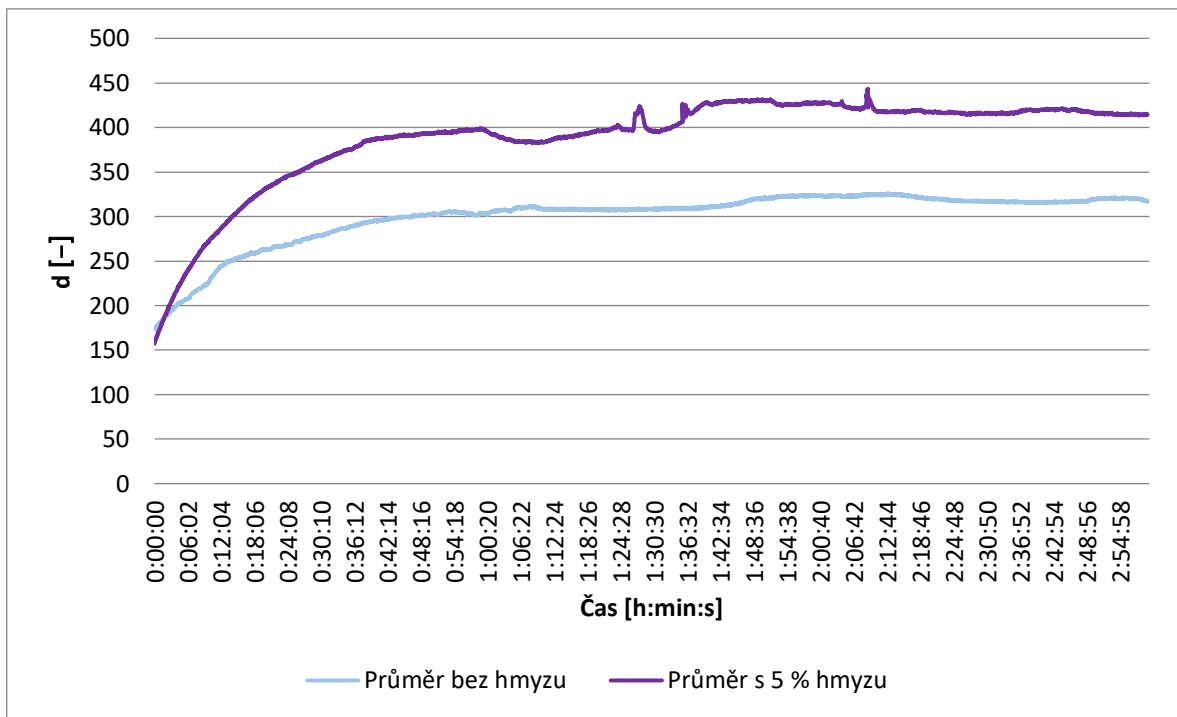
Experimentální elektronický nos je složen ze tří senzorů na bázi oxidů kovů MQ-3 pro měření zejména alkoholu, MQ-8 pro měření především vodíku a MQ-135 pro měření zejména amoniaku (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd, Zhengzhou, China), dále kombinovaného senzoru SGP30 (Sensirion AG, Staefa ZH, Switzerland), který umožňuje měření koncentrace těkavých organických látek a z měření vodíku a ethanolu dopočítává koncentrace oxidu uhličitého.

Poslední čidlo ASAIR AM 2302 (DHT22) (Guangzhou Aosong Electronics Co., Ltd., Guangzhou, China) slouží pro měření teploty a vlhkosti pomocí senzoru.

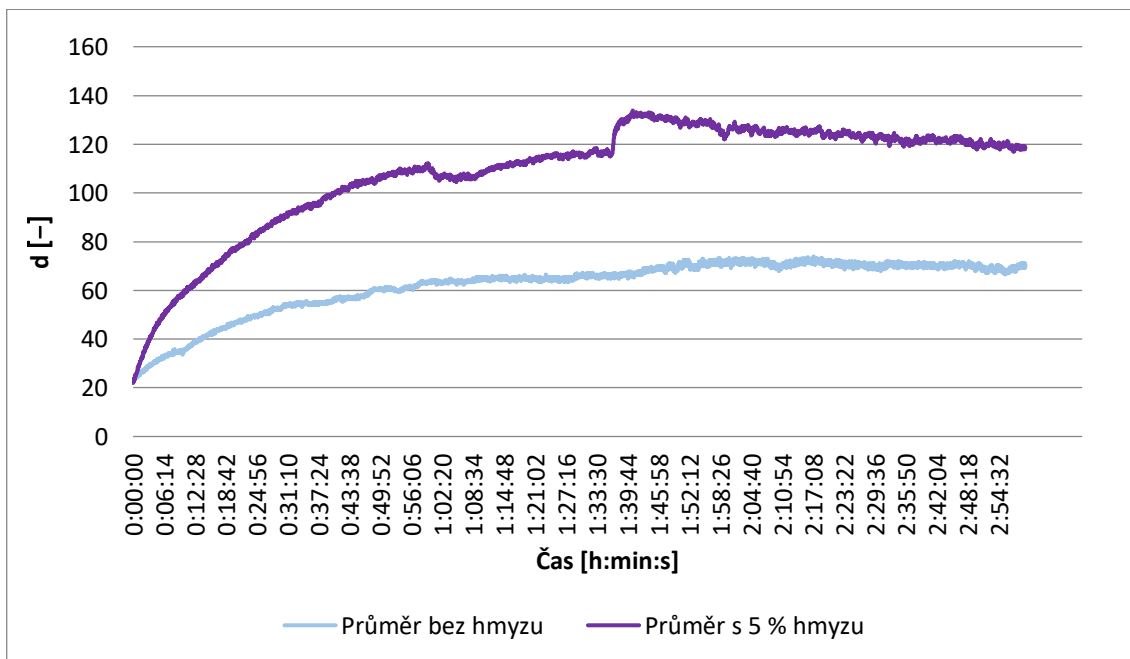
Pro měření jednotlivých charakteristik fermentace těsta, pomocí elektronického nosu byly použity tři vzorky z maniokové mouky bez přídavku hmyzu a tři vzorky s obsahem 5 % hmyzí mouky. Výsledky pro jednotlivé senzory jsou uvedeny na obrázcích číslo 14-18.



Obrázek 14: Měření alkoholu senzorem MQ 3



Obrázek 15: Měření vodíku senzorem MQ 8

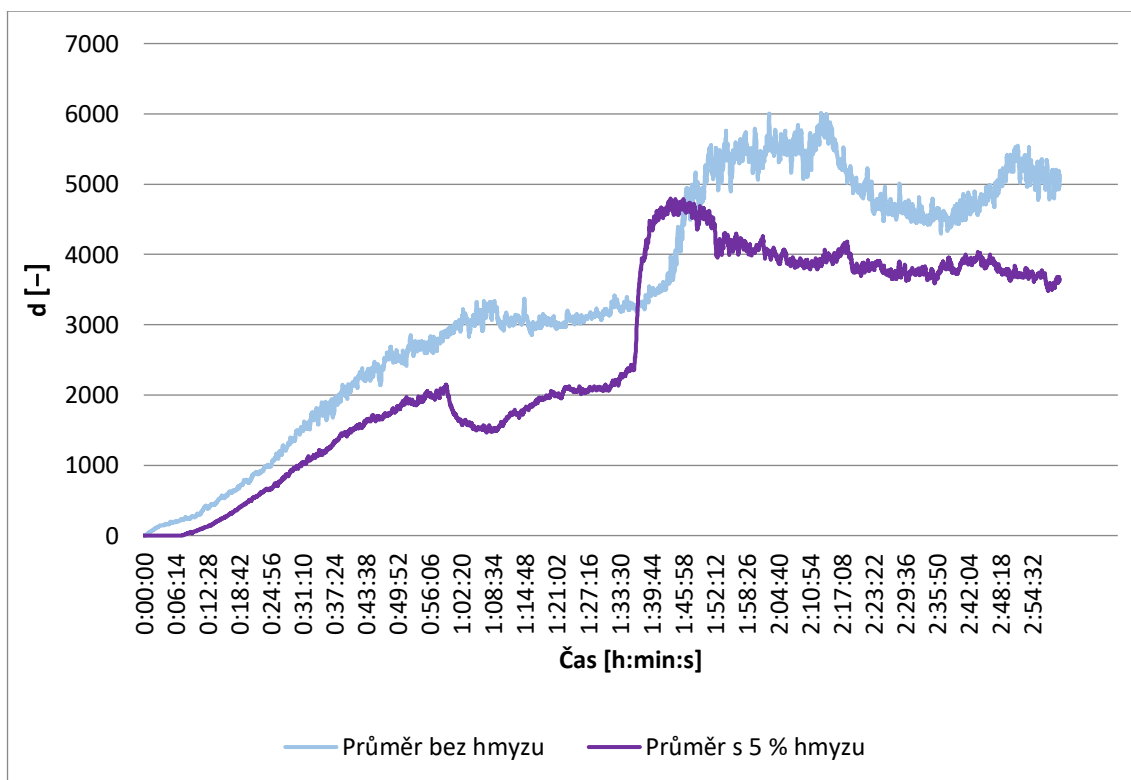


Obrázek 16: Měření amoniaku a dalších látek senzorem MQ 135

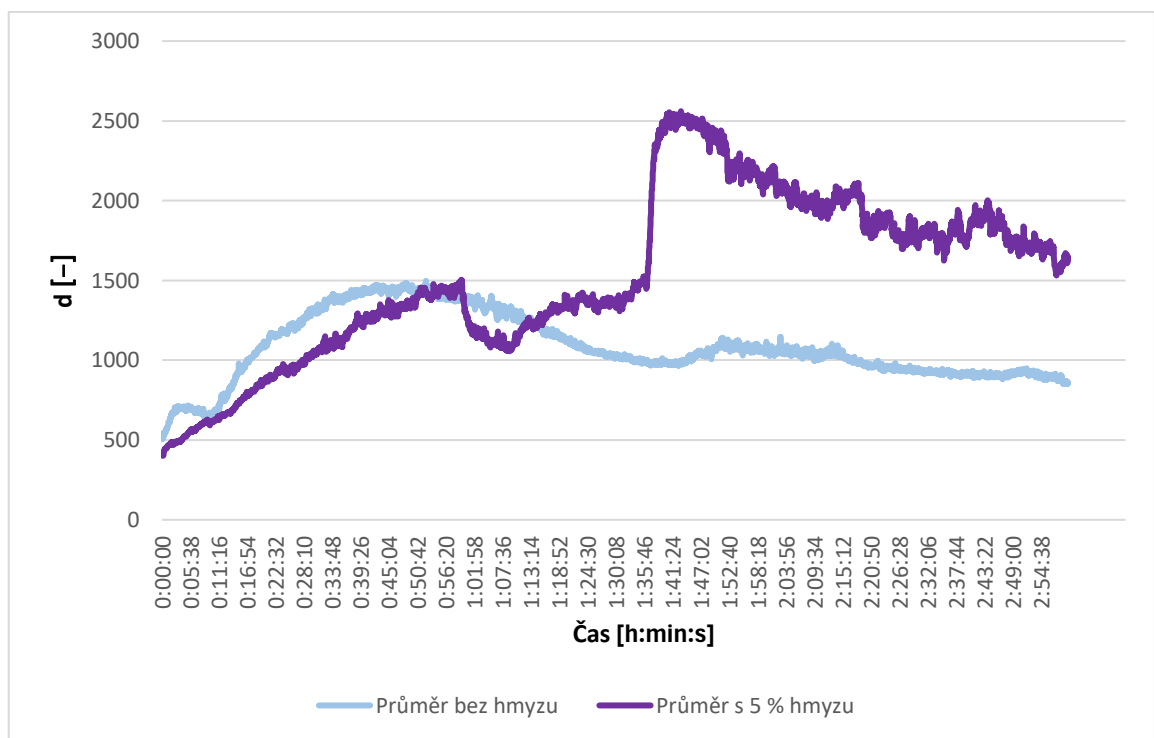
U fortifikované mouky došlo k nárůstu výstupního signálu u senzoru MQ 8 (monitorující především vodík) v průměru o 17 % a u senzoru MQ 135 (monitorující zejména amoniak) o 51 % - viz obrázky číslo 15 a 16.

Koncentrace oxidu uhličitého v těstě z maniokové mouky je zpočátku vyšší pro těsto bez přídavku hmyzu. V průběhu kynutí dochází po 75 minutách ke změně a zvyšuje se koncentrace oxidu uhličitého u těsta fortifikovaného 5 % hmyzí mouky. Výstupní signál senzoru je v průměru o 46 % vyšší u těsta s přídavkem hmyzí mouky, viz obrázek číslo 18.

Naopak došlo k poklesu výstupního signálu u senzoru TVOC (monitorující těžké látky) průměrně o 28 % a u senzoru MQ 3 (monitorující především alkohol) o 12,5 %, viz obrázky číslo 14 a 17.



Obrázek 17: Měření TVOC kombinovým senzorem SGP-30

Obrázek 18: Měření eCO₂ kombinovaným senzorem SGP-30

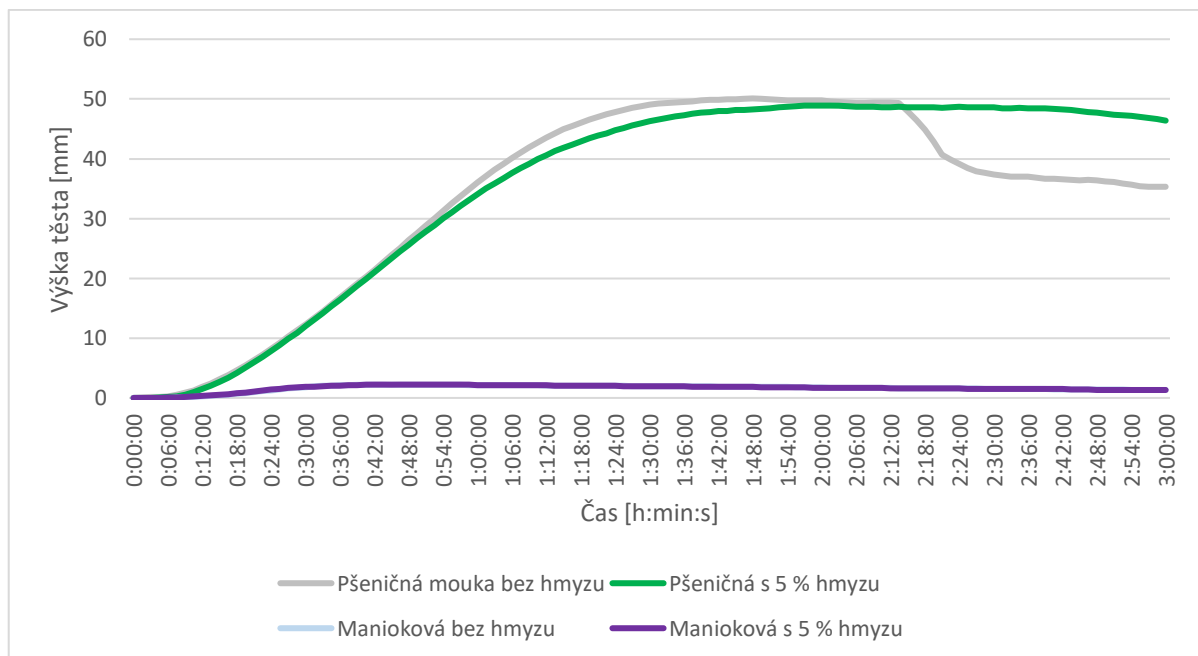
7 DISKUZE

Článek *New Insights into the Comprehensive System of Thermodynamic Sensors and Electronic Nose and Its Practical Applications in Dough Fermentation Monitoring* (Ševčíková, 2024) uvádí vliv přidavku mouky z larev potemníka moučného v množství 5 % na vlastnosti pšeničného těsta. Měření bylo prováděno pomocí reofermentometru a experimentálního elektronického nosu.

V článku je uveden negativní dopad přidavku hmyzí mouky, na všechny charakteristiky měřené reofermentometrem - výšku těsta, množství vzniklého a uvolněného plynu.

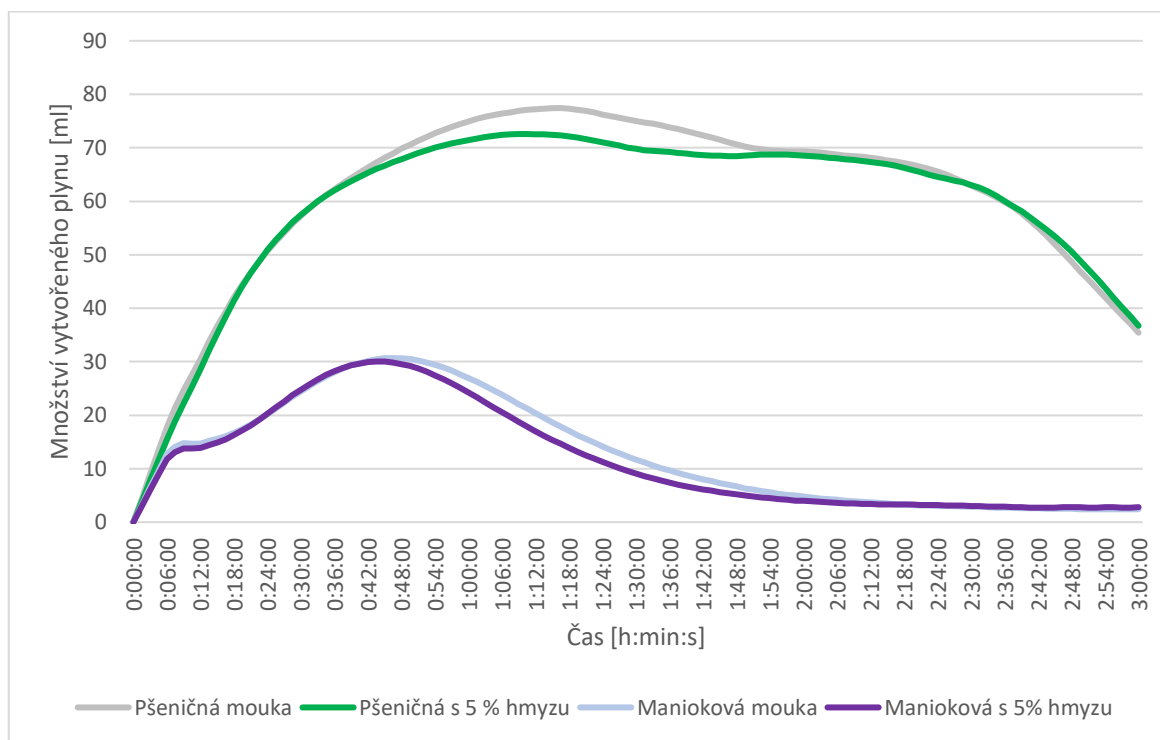
Těsto vyrobené pouze z maniokové mouky mělo maximální výšku $2,2 \pm 0,2$ mm, maniokové těsto s přidavkem 5 % hmyzí mouky mělo výšku $2,3 \pm 0,2$ mm. Pozitivní vliv přidavku hmyzí mouky k maniokové mouce na výšku těsta byl v této práci naznačen. Toto zjištění je rozdílné oproti článku a může být způsobeno odlišným chemickým složením maniokové mouky oproti mouce pšeničné.

Porovnání výšky pšeničného a maniokového těsta je uvedeno na obrázku 19.



Obrázek 19: Porovnání výšky těsta z pšeničné a maniokové mouky (bez hmyzu a s hmyzem) (pšeničná mouka - Ševčíková, 2024)

Nižší množství vzniklého a uvolněného kypřícího plynu po přidání mouky z potměníka moučného, uváděné v článku, bylo v této práci naznačeno také pro maniokovou mouku, viz obrázek číslo 20.



Obrázek 20: Porovnání množství vytvořeného plynu z pšeničné a maniokové mouky (bez hmyzu a s hmyzem) (pšeničná mouka - Ševčíková, 2024)

Článek (Ševčíková, 2024) dále uvádí vliv přídavku mouky z potměníka moučného na látky uvolňující se při fermentaci těsta měřené e-nosem. Předpokládá se, že fortifikací pšeničné mouky jedlým hmyzem došlo k vyššímu vývinu amoniaku, těkavých látek a v pozdější fázi fermentace také oxidu uhličitého. K nižšímu vývoji naopak došlo u vodíku, alkoholu a v počátcích fermentace u oxidu uhličitého.

Článek *Use of a Thermodynamic Sensor in Monitoring Fermentation Processes in Gluten-Free Dough Proofing* (Adámek, 2023) uvádí vliv přídavku mouky z larev potměníka moučného v množství 0 %, 5 % a 10 % na vlastnosti těsta vyrobeného z mouky rýžové a kukuřičné. Měření bylo prováděno pomocí reofermentometru. Přídavek 10 % mouky z jedlého hmyzu způsobil vyšší nakynutí kukuřičného těsta na $1,4 \pm 0,7$ mm, množství vzniklého a uvolněného plynu byl po přidání 10 % hmyzu nižší. Tento jev byl pozorován také u těsta maniokového. U rýžové mouky byla naměřena nižší výška těsta po fortifikaci hmyzí moukou než bez fortifikace.

ZÁVĚR

Manioková mouka neboli mouka vyrobená z kořene Manioku jedlého, patří v České republice mezi méně známé a tím pádem méně používané mouky. Mezi její výhody patří možnost použití do sladkých i slaných těst a přirozená bezlepkovost. Nevýhodou je pořizovací cena, která se pohybuje okolo 109 Kč za 1 kg.

Bezlepková těsta mají, na rozdíl od pšeničného, nižší obsah bílkovin, a proto vykazují horší fermentační vlastnosti. Za účelem zvýšení kvality kynutí bezlepkového těsta je proto vhodné přidávat látky zlepšující kynutí nebo kombinovat různé druhy přirozeně bezlepkových mouk.

V teoretické části práce byl popsán jedlý hmyz včetně současné legislativy, nutričních hodnot a sensorických vlastností. Podrobněji je popsán potěmník moučný (*Tenebrio molitor*), jehož larvy byly využity pro praktickou část práce. Dále je v teoretické části popsána manioková mouka a měřicí přístroje – Rheofermentometr Rheo F4 a experimentální elektronický nos.

Cílem praktické části bylo připravit netradiční těsto z maniokové mouky a sledovat změny ve vlastnostech těsta při kynutí bez přídavku jedlého hmyzu a po nahrazení 5 % mouky maniokové za mouku z jedlého hmyzu.

Pomocí Reofermentometru Rheo F4 byly naměřeny mírně vyšší hodnoty výšky těsta u fortifikovaného těsta. Zároveň došlo k nižší tvorbě oxidu uhličitého v těstě po přidání mouky z jedlého hmyzu.

Práce dále dokládá možnost zaznamenávat změny koncentrace plynů vytvořených při kynutí těsta vyrobeného z maniokové mouky bez a po přidání 5 % mouky z larev potěmníka moučného pomocí elektronického nosu.

Přídavek mouky z larev potěmníka moučného k maniokové mouce mírně zlepšuje kvalitu kynutí těsta. Rozdíl je možné pozorovat u reologických vlastností – těsto je po přidání mouky z jedlého hmyzu méně hutné a lépe se s ním pracuje. Tento jev byl pozorován při manipulaci s těstem a byl pravděpodobně způsoben uvolněním tuku z larev potěmníka do těsta. Tato oblast je vhodná pro další výzkum.

Přínos práce spočívá v rozšíření povědomí o maniokové mouce a získání nových poznatků o fortifikaci bezlepkového těsta moukou z larev potěmníka moučného.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ADAMEK, Martin; ADAMKOVA, Anna; MLCEK, Jiri; VOJACKOVA, Klara; FAMERA, Oldrich et al. Sensor Systems for Detecting Dough Properties Fortified with Grape Pomace and Mealworm Powders. Online. *Sensors*. 2020, roč. 20, č. 12. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s20123569>. [cit. 2024-03-31].

ADAMEK, Martin; ZVONKOVA, Magdalena; BURESOVA, Iva; BURAN, Martin; SEVCIKOVA, Veronika et al. Use of a Thermodynamic Sensor in Monitoring Fermentation Processes in Gluten-Free Dough Proofing. Online. *Sensors*. 2023, roč. 23, č. 1. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s23010534>. [cit. 2024-03-31].

ADÁMKOVÁ, Anna; KOUŘIMSKÁ, Lenka; BORKOVCOVÁ, Marie; KULMA, Martin a MLČEK, Jiří. Nutritional value of edible coleoptera (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Alphitobius diaperinus*) reared in the Czech Republic. Online. *Potravinářstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2016, roč. 10, č. 1, s. 663-671. ISSN 1337-0960. Dostupné z: <https://doi.org/10.5219/609>. [cit. 2024-04-21].

MACHONA, Oleen; MATONGORERE, Marcia; CHIDZWONDO, Farisai a MANGOYI, Rumbidzai. Evaluation of Nutritional Content of the Larvae of *Tenebrio Molitor*, and Formulation of Broiler Stockfeed. Online. *Entomology and Applied Science Letters*. 2022, roč. 9, č. 4, s. 48-56. ISSN 2349-2864. Dostupné z: <https://doi.org/10.51847/1WgQiAHwj4>. [cit. 2024-04-21].

ADÁMKOVÁ, Anna. *Jedlý hmyz jako nová potravina v potravinářství*. Habilitační práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2023.

BORKOVCOVÁ, M. et al., 2009. *Kuchyně hmyzem zpestřená*. Brno: Lynx, 2009, s. 135. ISBN 978-80-86787-37-4.

BORKOVCOVÁ, Marie. *Hmyz na talíři*. V Brně: Jota, 2015. ISBN 978-80-7462-915-0.

FRKAL, Jan. *Entomofagie*. Online. Dostupné z: <http://entomofagie.sweb.cz/entomofagie.htm>. [cit. 2024-04-20].

GRIZLY Manioková (Cassava) mouka BIO 1000 g. Online. Grizly. Dostupné z: <https://www.grizly.cz/grizly-maniokova-cassava-mouka-bio-1000-g#>. [cit. 2024-03-28].

Chopin Technologies. *Rheo F4 User's Manual 12/2016*; Chopin Technologies: Villeneuve La Garenne, France, 2016.

Jaké druhy hmyzu jsou už v EU schváleny k lidské konzumaci? Online. Dostupné z: https://www.wormup.com/informace_o_jedlem_hmyzu/jake-druhy-hmyzu-jsou-uz-v-eu-schvaleny-k-lidske-konzumaci/. [cit. 2024-04-20].

JEŽEK, F a SALÁKOVÁ, A. *Senzorická analýza potravin*. Online. 2012. Dostupné z: https://fvhe.vfu.cz/files/skripta_senzorika_2012.pdf. [cit. 2024-04-20].

KIM, Hyun-Wook; SETYABRATA, Derico; LEE, YongJae; JONES, Owen G. a KIM, Yuan H. Brad. Effect of House Cricket (*Acheta domesticus*) Flour Addition on Physicochemical and Textural Properties of Meat Emulsion Under Various Formulations. Online. *Journal of Food Science*. 2017, roč. 82, č. 12, s. 2787-2793. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13960>. [cit. 2024-04-20].

KOUŘIMSKÁ, Lenka a ADÁMKOVÁ, Anna. Nutritional and sensory quality of edible insects. Online. *NFS Journal*. 2016, roč. 4, s. 22-26. ISSN 23523646. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>. [cit. 2024-04-20].

Maniok jedlý. Online. CK Mundo. Dostupné z: <https://www.mundo.cz/maniok-jedly>. [cit. 2024-03-30].

MLCEK, Jiri; ROP, Otakar; BORKOVCOVA, Marie a BEDNAROVA, Martina. A Comprehensive Look at the Possibilities of Edible Insects as Food in Europe – A Review. Online. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2014, roč. 64, č. 3, s. 147-157. ISSN 1230-0322. Dostupné z: <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0099-8>. [cit. 2024-04-20].

Největší hmyzí farma střední Evropy. V Jaroměřicích chovají tuny červů i švábů. Online. Dostupné z: <https://www.denik.cz/ekonomika/tuny-potemniku-i-argentinske-svaby-chovanejvetsi-hmyzi-farma-v-jaromericich-20200110.html>. [cit. 2024-04-20].

PERIS, Miguel a ESCUDER-GILABERT, Laura. A 21st century technique for food control: Electronic noses. Online. *Analytica Chimica Acta*. 2009, roč. 638, č. 1, s. 1-15. ISSN 00032670. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.02.009>. [cit. 2024-04-21].

Potemník moučný - Jak se zbavit moučných červů v našich potravinách. Online. Dostupné z: <https://www.krejsashop.cz/cs/m-138-potemnik-moucny-tenebrio-molitor-1>. [cit. 2024-04-20].

Rheo F4 - Dough Proofing. Online. Dostupné z: <https://www.kpmanalytics.com/products/functional-rheological/rheo-f4>. [cit. 2024-04-21].

Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. Online. *EFSA Journal*. 2015, roč. 13, č. 10. ISSN 18314732. Dostupné z: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>. [cit. 2024-04-20].

RUMPOLD, Birgit A. a SCHLÜTER, Oliver K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Online. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2013, roč. 57, č. 5, s. 802-823. ISSN 16134125. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>. [cit. 2024-04-21].

Senzorická analýza potravin. Online. Dostupné z: <https://vetweb.cz/senzoricka-analyza-potravin/>. [cit. 2024-04-20].

SEVCIKOVA, Veronika; ADAMEK, Martin; SEBESTIKOVA, Romana; BURESOVA, Iva; BURAN, Martin et al. New Insights into the Comprehensive System of Thermodynamic Sensors and Electronic Nose and Its Practical Applications in Dough Fermentation Monitoring. Online. *Sensors*. 2024, roč. 24, č. 2. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s24020352>. [cit. 2024-03-29].

TAN, Hui Shan Grace; VAN DEN BERG, Eva a STIEGER, Markus. The influence of product preparation, familiarity and individual traits on the consumer acceptance of insects as food. Online. *Food Quality and Preference*. 2016, roč. 52, s. 222-231. ISSN 09503293. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.003>. [cit. 2024-04-20].

VAN HUIS, Arnold. Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. Online. *Annual Review of Entomology*. 2013, roč. 58, č. 1, s. 563-583. ISSN 0066-4170. Dostupné z: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>. [cit. 2024-04-20].

VAN HUIS, Arnold. Edible insects: Challenges and prospects. Online. *Entomological Research*. 2022, roč. 52, č. 4, s. 161-177. ISSN 1738-2297. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12582>. [cit. 2024-04-20].

WILSON, Alphus a BAIETTO, Manuela. Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies. Online. *Sensors*. 2009, roč. 9, č. 7, s. 5099-5148. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s90705099>. [cit. 2024-04-21].

ZAHRADNÍK, Jiří. *Brouci: [fotografický atlas]*. Fotografické atlasy. Praha: Aventinum, 2008. ISBN 978-80-86858-43-2.

ZIELIŃSKA, Ewelina; BARANIAK, Barbara; KARAS, Monika; RYBCZYŃSKA, Kamila a JAKUBCZYK, Anna. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. Online. *Food Research International*. 2015, roč. 77, s. 460-466. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008>. [cit. 2024-04-22].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EFSA	European Food Safety Authority - Evropský úřad pro bezpečnost potravin
ČSN EN ISO	Česká verze mezinárodní normy (převzaté evropskou komisí pro normalizaci)
e-nos	experimentální elektronický nos

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Příklad haly pro chov hmyzu – farma v Jaroměřicích nad Rokytnou (Denik.cz, 2024)	13
Obrázek 2: Srovnání množství tuků, bílkovin a vlákniny na 100 g hmyzu a běžných potravin (Borkovcová, 2015).....	16
Obrázek 3: Vývojová stádia potměníka moučného – larva (vlevo), kukla, dospělý brouk (Krejsashop.cz, 2024)	19
Obrázek 4: Kořen manioku jedlého (Mundo.cz, 2024)	22
Obrázek 5: Reofermentometr Rheo F4 (Kpmanalytics.com, 2024)	23
Obrázek 6: Křivka vývoje těsta (vlevo), křivka vyprodukovaného a zadržného plynu (Kpmanalytics.com, 2024).....	24
Obrázek 7: Měření vlastností těsta s 5 % hmyzu pomocí experimentálního e-nosu (Autor BP).....	26
Obrázek 8: Manioková mouka (Autor BP).....	29
Obrázek 9: Pekařské droždí sušené (Autor BP).....	30
Obrázek 10: Nadrcené larvy potměníka moučného (Autor BP).....	31
Obrázek 11: Těsto připravené z maniokové mouky bez přídavku hmyzu (vlevo) a s přidáním 5 % hmyzu (vpravo) (Autor BP).....	34
Obrázek 12: Výška těsta vzorků [mm] měřená reofermentometrem.....	35
Obrázek 13: Množství vytvořeného a uvolněného oxidu uhličitého [ml] měřené reofermentometrem.....	36
Obrázek 14: Měření alkoholu senzorem MQ 3.....	37
Obrázek 15: Měření vodíku senzorem MQ 8	38
Obrázek 16: Měření amoniaku a dalších látek senzorem MQ 135	38
Obrázek 17: Měření TVOC kombinovaným senzorem SGP-30	39
Obrázek 18: Měření eCO ₂ kombinovaným senzorem SGP-30	40
Obrázek 19: Porovnání výšky těsta z pšeničné a maniokové mouky (bez hmyzu a s hmyzem) (pšeničná mouka - Ševčíková, 2024)	41
Obrázek 20: Porovnání množství vytvořeného plynu z pšeničné a maniokové mouky (bez hmyzu a s hmyzem) (pšeničná mouka - Ševčíková, 2024).....	42

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Nutriční složení a energetická hodnota potemníka moučného (Rumpold a Schlüter, 2013).....	20
Tabulka 2: Zastoupení jednotlivých aminokyselin u potemníka moučného (Zielińska, 2015).....	20
Tabulka 3: Zastoupení mastných kyselin u larev potemníka moučného (Adámková, 2016)	21
Tabulka 4: Obsah minerálů v prášku larev potemníka moučného [mg na 100 g vzorku] (¹ Zielińska, 2015; ² Machona, 2022)	21
Tabulka 5: Výživové údaje maniokové mouky na 100 g	22
Tabulka 6: Jednotlivé zkoumané parametry měřené reofermentometrem.....	35