

# Hodnocení vybraných vlastností bezlepkových mouk s přídavkem jedlého hmyzu

Bc. Veronika Ševčíková

---

Diplomová práce  
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2020/2021

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Veronika Ševčíková**  
Osobní číslo: **T19427**  
Studijní program: **N0721A210004 Technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie potravin**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Hodnocení vybraných vlastností bezlepkových mouk s přidavkem jedlého hmyzu**

### **Zásady pro vypracování**

1. Prostudujte dostupnou literaturu se zaměřením na pekařské produkty s přidavkem jedlého hmyzu.
2. Seznamte se s metodami měření pomocí elektronického nosu a termodynamických senzorů, jejich výhodami a nevýhodami.
3. Připravte směsi bezlepkových mouk s přidavkem jedlého hmyzu pro výrobu vybraných potravinových produktů. Směsi aplikujte při přípravě potravinového produktu a monitorujte vybrané výrobní fáze pomocí elektronického nosu a termodynamických senzorů.
4. Získaná data vyhodnotte a porovnejte směsi mezi sebou.

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

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] Adámek, M.; Adámková, A.; Mlček, 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.; Mlček, 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] Frič, P.; Mengerová, O. Celiakie, Bezlepková dieta a rady lékaře. Medica Publishing, 2008, ISBN 9788085936629

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

Datum zadání diplomové práce: **31. prosince 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Robert Gál, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. února 2021

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

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

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## ABSTRAKT

Celiakie je jednou z nejčastějších střevních malabsorpčních onemocnění u člověka a jediná léčebná metoda je striktní dodržování bezlepkové diety. Proto se tato práce zaměřuje na fortifikaci kynutých bezlepkových těst jedlým hmyzem potemníkem moučným (*Tenebrio molitor*). Experimenty byly provedeny pomocí experimentální metody elektronického nosu a soustavy termodynamických systémů. Z výsledků práce vyplývá, že přírůstek hmyzí moučky ovlivňuje technologické vlastnosti těsta. Byl zaznamenán rozdíl mezi bezlepkovou moukou a bezlepkovou moukou s přírůstkem hmyzu. Fermentační vlastnosti těsta fortifikovaného moučkou z larev potemníka moučného je možné zaznamenat systémem s termodynamickými senzory a elektronickým nosem. U elektronického nosu se však nepodařilo zaznamenat rozdíl mezi bezlepkovou moukou bez a s přírůstkem jedlého hmyzu. Drobné změny se stejnou tendencí však zaznamenány byly. Přírůstkem práce je získání nových poznatků o fortifikaci bezlepkového těsta moučkou z larev potemníka moučného, které by umožnily zlepšení technologických vlastností těsta jako je zvýšení objemu těsta, získání vyšší pružnosti, lepší zpracovatelnosti a zlepšení organoleptických vlastností.

Klíčová slova: celiakie, bezlepková dieta, fortifikace jedlým hmyzem, potemník moučný, kynutí.

## ABSTRACT

Celiac disease is one of the most often human intestinal malabsorption disorders. In this case, the only treatment is very strict gluten free diet. This is the main reason, why this thesis focuses on fortification of gluten free sourdoughs by edible insects (*Tenebrio molitor*). The experiments were performed using the experimental method of electronic nose and thermodynamic systems. The results of the experiments showed that addition of insect flour affects the technological qualities of the dough. The difference between gluten free flour with and without addition of edible insects was noted. The fermentation qualities of the dough enriched by flour from mealworm larvae can be monitored by the thermodynamic sensors and the electronic nose. However, the difference between gluten free flour with and without addition of edible insects wasn't detected with electronic nose. Nevertheless, minor changes with the same tendency were noted. This thesis makes a contribution to knowledge about fortification of gluten free dough with flour from mealworm beetle (*Tenebrio molitor*). This knowledge and results would allow improving the technological qualities of the dough such as increasing the dough's volume, gaining greater flexibility, better workability and improving the organoleptic qualities of the dough.

Keywords: celiac disease, gluten-free diet, fortification with edible insects, darkling flour, leavening.

Srdečně děkuji Ing. et Ing. Anně Adámkové Ph.D. a jejímu manželovi Ing. Martinovi Adámkovi Ph.D., za konzultace, cenné připomínky, ochotu a trpělivost při tvorbě diplomové práce. Největší díky patří mé rodině a partnerovi za nesmírnou pomoc a podporu po dobu celého studia.

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



# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 CELIAKIE</b> .....	<b>12</b>
1.1 TRÁVICÍ SOUSTAVA.....	12
1.1.1 Tenké a zdravé střevo při onemocnění celiakie .....	14
1.2 FORMY CELIAKIE.....	15
1.3 DIAGNOSTIKA .....	15
1.4 LEPEK.....	16
1.5 BEZLEPKOVÁ DIETA .....	16
1.5.1 Porovnání výrobků obsahující a neobsahující lepek.....	17
1.5.2 Využití metabolických procesů kvasinek v pekařství.....	19
1.5.3 Porovnání průběhu kvasných procesů u běžných lepkových a bezlepkových těst .....	19
<b>2 JEDLÝ HMYZ</b> .....	<b>22</b>
2.1 VÝŽIVOVÁ HODNOTA HMYZU.....	23
2.1.1 Konzumace jedlého hmyzu .....	24
2.2 POTEMNÍK MOUČNÝ .....	25
2.2.1 Nutriční hodnoty .....	26
<b>3 EXPERIMENTÁLNÍ METODY</b> .....	<b>30</b>
3.1 METODA ELEKTRONICKÉHO NOSU.....	30
3.2 METODA TERMODYNAMICKÝCH SENZORŮ .....	31
<b>4 CÍLE A HYPOTÉZA PRÁCE</b> .....	<b>33</b>
4.1 CÍLE PRÁCE .....	33
4.2 HYPOTÉZA.....	33
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>34</b>
<b>5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>35</b>
5.1 MATERIÁL – BEZLEPKOVÉ TĚSTO .....	35
5.1.1 Příprava hmyzu .....	37
5.1.2 Výroba těsta .....	38
5.2 MATERIÁL – REFERENČNÍ MĚŘENÍ.....	39
5.3 HODNOCENÍ PRODUKTŮ .....	41
5.3.1 Metoda monitorování pomocí elektronického nosu.....	41
5.3.2 Metoda monitorování pomocí termodynamických senzorů.....	41

<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY</b> .....	<b>43</b>
6.1	MĚŘENÍ TĚST S BEZLEPKOVOU MOUKOU NATURE´S PROMISE UNIVERZAL POMOCÍ EXPERIMENTÁLNÍCH TERMODYNAMICKÝCH SENZORŮ .....	44
6.2	MĚŘENÍ TĚST S BEZLEPKOVOU MOUKOU NATURE´S PROMISE UNIVERZAL POMOCÍ EXPERIMENTÁLNÍHO ELEKTRONICKÉHO NOSU .....	46
6.3	AKTIVOVANÉ DROŽDÍ .....	49
6.4	RÝŽOVÁ A KUKUŘIČNÁ MOUKA .....	49
<b>7</b>	<b>DISKUZE</b> .....	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>54</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>68</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>69</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>71</b>

## ÚVOD

Celiakie je autoimunitní onemocnění, kterým trpí zhruba jedno procento lidí a jehož spouštěčem je přítomnost lepku v potravě. Nevybírání si přednostně ženy, muže nebo děti. Není to ani nemoc, kterou by se dalo onemocnět na týden jako chřipkou. Často pacienti mívají různorodé příznaky, a proto bývá mnohdy těžké celiakii diagnostikovat. Jedno však všichni pacienti trpící celiakií mají společné, a to poškození sliznice tenkého střeva. Nebývá ani pravidlem, že by se člověk nemocný narodil, nemoc se může objevit kdykoliv během života. Přestože příznaky celiakie bývají velmi rozmanité, většina pacientů mívá problémy s trávicím traktem. Mezi nejčastější příznaky celiakie tedy patří převážně průjem, nadýmání, nevolnost a zvracení.

Vzhledem k rozdílným symptomům u pacientů trvá většinou delší dobu, než lékař začne uvažovat o celiakii. Jakmile však lékař začne mít podezření na celiakii, provede krevní test na protilátky imunoglobulinu. Přičemž se zjišťuje hladina několika specifických protilátek v krvi, které by měly být při celiakii zvýšené. Neznamená to však, že pokud nakonec test bude mít negativní výsledek, netrpíte celiakií. Kromě krevního testování při přetrvání potíží bývá zpravidla nutné se podrobit dalšímu zkoumání, a to bývá většinou biopsie střeva nebo genetické vyšetření, protože celiakie je často dědičná.

Dané onemocnění je nevléčitelné a jedinou účinnou léčbou proti potížím je striktní dodržování bezlepkové diety, tedy úplné odstranění všech potravin obsahující lepek. Přechod na bezlepkovou dietu způsobí postupné vymizení potíží u pacienta a k regeneraci sliznice jeho tenkého střeva, která však trvá až několik měsíců. Lepek jako takový je bílkovina, obsažena v obilninách. Lepek se vyskytuje v pšeničných, žitných, ječmenných a ovesných produktech, proto při bezlepkové dietě je nutnost nahradit produkty s lepem, bezlepkovými potravinami či konzumovat přirozené bezlepkové potraviny jako je ovoce či zelenina. Vzhledem k tomu, že většina lidí si život bez lepku neumí ani představit, hledají se neustále nové alternativy, jak nejvíce napodobit chuť či výživové hodnoty daných potravin obsahující lepek. Kromě rozdílné chuti bezlepkových výrobků hraje důležitou roli i finanční stránka pacienta, jelikož bezlepkové potraviny nepatří zrovna mezi nejlevnější.

Hlavním důvodem, proč fortifikovat pekařské výrobky hmyzem je zvýšení obsahu bílkovin, možnost kombinace rostlinných bílkovin s živočišnými, tím může dojít ke zvýšení nutriční hodnoty. Fortifikací dojde dále ke změně stravitelnosti a využitelnosti bílkovin. Dále dojde ke změně chemického složení, reologických a sensorických vlastností.

Cílem této diplomové práce bylo připravit bezlepkovou kynutou směs s přídavkem bezobratlých živočichů pro výrobu vybraných potravinových produktů. Součástí práce bylo aplikování směsi při přípravě potravinového produktu a monitorovat vybrané výrobní fáze pomocí elektronického nosu a termodynamických senzorů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 CELIAKIE

Celiakie, přesněji celiakální sprue, je chronické autoimunitní celoživotní onemocnění způsobující poruchu střevního vstřebávání a zánětlivé projevy na sliznici tenkého střeva. Podstatou tohoto onemocnění je nesnášenlivost glutenu neboli lepku (Lidské tělo, 1992). Lepek je bílkovina obsažená v obilí. Onemocnění se může objevit kdykoliv během života, jak v útlém dětství nebo naopak v dospělosti. Pokaždé se však jedná o celoživotní onemocnění, které se nedá vyléčit, pouze zmírnit striktním dodržováním stravovacích pravidel a bezlepkovou dietou. Dispozice k onemocnění může být i dědičná, přičemž dědičnost nebývá vázaná na pohlavní chromozomy. Ne vždy však nemoc propukne, záleží i na kombinaci tkáňových antigenů (Frič, 2008).

Dříve byla celiakie definována jako onemocnění sliznice tenkého, avšak v současnosti bývá zohledněn fakt, že celiakie postihuje více orgánů, proto je definována jako autoimunitní systémové onemocnění. Celkem je popsáno 5 forem celiakie, z nichž pouze 2 probíhají se zřejmými příznaky (Frič, 2008). Příznaky bývají typické (abdominální) a atypické (extraabdominální). Abdominálními příznaky se myslí hlavně příznaky spojené s dutinou břišní a střevy, převážně bolest břicha, nadýmání, průjemy, zácpa, zvracení, nevolnost. Stolice bývá kašovitá a často se vyskytuje průjem. K extraabdominálním příznakům se řadí mimo střevní potíže jako je například řídnutí kostí, chudokrevnost, váhový úbytek a neplodnost u mužů i žen (Kohout, 2007).

### 1.1 Trávicí soustava

Trávicí soustava neboli gastrointestinální systém (GIT) člověka je orgánová soustava zajišťující příjem potravy a následně její zpracování mechanické (rozmělnováním) a chemické (pomocí enzymů štěpení látek složitějších na jednodušší, např. škrob je štěpen na cukry), vstřebání potřebných živin do krve a vyloučení nestrávených zbytků. Trávicí soustava začíná dutinou ústní, která přechází v hltan, jícen, žaludek, tenké a tlusté střevo a končí v konečníku (Dylevský, 2009).

**Dutina ústní** je počátkem trávicí soustavy a taky místem, kterým je potrava přijímána, rozmělnována a polykána. V dutině ústní se vytváří sliny obsahující trávicí enzymy, které mají kromě funkce štěpící i funkci desinfekční a ochrannou, kdy chrání zuby před zubním kazem. Prostor dutiny ústní je ohraničen měkkým a tvrdým patrem, rty a tvářemi. Uvnitř

dutiny ústní se nachází jazyk, který je připojen svaly k dolní čelisti a mimo jiné i zuby, které převážně slouží k rozměňování a oddělování přijímané potravy (Fleischmann, 1964).

**Hltan** je místo, kde se protíná trávicí a dýchací soustava. Má tři hlavní části: nosohltan, ústní část hltanu a hrtanovou část. Potrava přechází do hltanu díky hrtanové příklopce, která se po polknutí zavře a zamezí vdechnutí potravy a jejímu vstupu do hrtanu (Anamnéza.cz).

**Jícen** je trubice spojující hltan a žaludek, tvořena hladkou svalovinou, která způsobuje peristaltiku (rytmické pohyby) posouvající potravu dále, tedy do žaludku. Od hrtanu je oddělen jícnovým svěračem, který se otevře pouze při polykání (Čihák, 2004; Rokyta, 2010).

**Žaludek** je vakovitý, dutý orgán navazující na jícen a vstupující do části tenkého střeva-dvanáctníku. Místo vstupu jícnu do žaludku se nazývá česlo a naproti tomu vratník je místem vývodu do tenkého střeva. Hlavní funkcí je trávení a mechanický i enzymatický rozklad tráveniny. Také zde dochází ke zpracování, smíchání, promíchání potravy, která poté vstupuje do střeva (Holibková, 2002; Merkunová, 2008;).

V **tenkém střevu** probíhá enzymatické štěpení potravy a je uzpůsobeno především k vstřebávání živin. Přičemž ve střevě dochází převážně ke štěpení, trávení sacharidů a proteinů. Z důvodu nízkého pH a nízkého obsahu lipáz (enzymy štěpící tuky na mastné kyseliny a glycerol) zde dochází ke štěpení tuků pouze minimálně. Tenké střevo dělíme na tři části: dvanáctník, lačník a kyčelník. Do dvanáctníku ústí žlučové cesty obsahující žluč, které umožňují vstřebávání tuků. V lačníku probíhá většina vstřebávání díky vysokému obsahu klků neboli výběžků, které zvětšují povrch. Kyčelník ústí do tlustého střeva. Ze sliznice tenkého střeva vybíhají klky zvětšující jeho vnitřní povrch na bezmála 300 metrů čtverečních. Sliznice vyměšuje střevní šťávu, která společně se žlučí a pankreatickou šťávou zajišťuje trávení a rozložení živin na jednoduché složky (Lukáš, 2005; Medicína.cz).

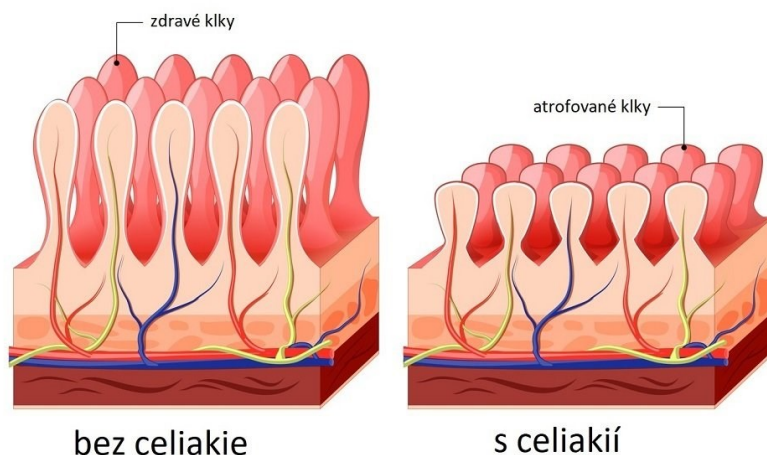
**Tlusté střevo** je tvořené slepým střevem, červovitým přívěskem, vzestupným, příčným a sestupným tračníkem, esovitou kličkou a konečníkem. Z tenkého střeva přijímá kašovitou hmotu, ze které se zde vstřebávají vitamíny, minerály a voda. Za nejnámější část tlustého střeva by se dalo považovat slepé střevo, které při zánětu potrápilo již nemálo lidí (Holibková, 2002; Rokyta, 2010).

**Konečník** je poslední částí GIT, zakončena řitním otvorem. Konečník má dva svěrače, vnitřní svěrač je z hladkého svalstva, zevní svěrač je naopak z příčně pruhované svaloviny, tudíž vyprazdňování je ovládáno vůlí (Holibková, 2002; Rokyta, 2010).

### 1.1.1 Tenké a zdravé střevo při onemocnění celiakie

Zdravá sliznice tenkého střeva je pokryta a tvořena klky a mikrokilky, které zvětšují celkovou plochu střeva a také pomáhají vstřebávat živiny z potravy. Povrch střevní sliznice bývá neustále obnovován. Mezi klky se tvoří nové buňky, které putují na vrchol klků, poté se odloučí a odejdou se stolicí z těla ven. Takto dochází k neustálé obnově vrstvy buněk ve střevě. Tenké střevo bývá vystýláno jednovrstevným cylindrickým epitelem s žíhaným lemem a pohárkovými buňkami. Na povrchu sliznice střeva i v tkáni pod ní se nacházejí imunitní buňky, které citlivě reagují na cizorodé látky a na některé složky potravy jako na nepřítel (Lüllmann-rauch, 2012; Holibková, 2002;)

U celiakie je vyhodnocen imunitním systémem lepek jako škodlivá látka (nepřítel) a po tomto vyhodnocení dojde k vytvoření protilátek imunitním systémem. Lepek způsobuje zánět sliznice a poškozuje tělu vlastní tkáň, proto se mluví o autoimunitním onemocnění postihující nejčastěji oblast dvanáctníku a lačnicku. Navíc dochází i k poškození sliznice tenkého střeva, které se nedokáže pravidelně regenerovat jako v případě střeva zdravého. Vlivem onemocnění dochází k úbytku výběžků (klků), což vede ke snížení a v horších případech až k neschopnosti vstřebávání živin z přijaté potravy. Obranným mechanismem těla bývá často průjem, z důvodů nejrychlejšího vyloučení škodlivé látky lepku anebo naopak zácpa (Čihák, 2004; Kohout, 2006).



Obrázek 1 Mikrokilky v tenkém střevě zdravé vs. postižené celiakií (Protein.cz, 2021)



## 1.2 Formy celiakie

Nejčastěji je uváděno pět formy celiakie: klasická, atypická, silentní, latentní a potenciální. U klasické formy celiakie, která bývá také nazývaná jako typická. Dominují u ní střevní příznaky, především průjem, zácpa či nadýmání. Při rozvinuté nemoci je patrný úbytek svalové hmoty, otoky a také poruchy ve vstřebávání. Problém se vstřebáváním je zejména s tuky, železem, vápníkem i vitamíny rozpustných v tucích. Subklinická forma, která bývá nazývána i jako atypická celiakie, bývá charakterizována převažujícími mimo střevními příznaky. Mezi mimo střevní příznaky patří hematologické a biochemické změny, neplodnost, metabolická osteopatie, deficit železa až anémie. U pacientů může dojít i k neurologickým a psychickým potížím, jako je - deprese, úzkost i migréna. Vzhledem k atypickým příznakům, bývají pacienti s touto formou ve velkém počtu nediodagnostikováni. Při silentní formě, neboli tiché formě celiakie nebývá tato nemoc doprovázena příznaky. Z tohoto důvodu je velmi těžko rozpoznatelná a nejčastěji bývá určena pozitivním nálezem protilátek v krvi a poškozenou sliznicí střeva. Obtíže nejsou také přítomny při latentní formě, která se vyskytuje převážně u pacientů v rané fázi onemocnění, při kterém nedošlo k poškození sliznice tenkého střeva. Potenciální forma celiakie, která nevykazuje žádné příznaky, pouze histologický nález může být pozitivní a sliznice tenkého střeva je nepoškozená (Kohout, 2007; Latta, 2012; Lukáš, 2018).

## 1.3 Diagnostika

Diagnóza bývá stanovena z imunologického vyšetření. Během vyšetření je prokázána přítomnost protilátek na lepek v krvi. Kritéria na diagnostiku lepku stanovila Evropská společnost pro pediatrickou gastroenterologii a výživu (ESPGHAN - European Society for Pediatric, Gastroenterology, Hepatology and Nutrition). Po imunologickém vyšetření následuje biopsie tenkého střeva. Jedná se o endoskopii, během které jsou sledovány změny sliznice tenkého střeva charakteristické pro celiakii.

Větší riziko na projevení celiakii mají lidé trpící diabetem prvního i druhého stupně. Dále lidé s herpetickým zánětem kůže, poruchou funkce nadledvinek a štítné žlázy (Frühauf, 2006).

## 1.4 Lepek

Lepek známý často i pod názvem gluten patří do skupiny složitých glykoproteinů, vyskytujících se ve většině trávovitých rostlin, například v pšenici (nesnášenlivost způsobuje bílkovina gliadin), ječmenu (nesnášenlivost způsobuje bílkovina hordein), žitu (nesnášenlivost způsobuje bílkovina sekalin), ovsa (nesnášenlivost způsobuje bílkovina avenin) a dalších obilninách. Lepek zajišťuje žádané vlastnosti u pečiva, jako je pružnost a nadýchanost. Platí pravidlo, že čím více lepku, tím lepší těsto i výsledný produkt (Celiak.cz, 2020).

Bílkoviny obsažené v obilných zrnech ječmene, ovsa, pšenice, žita a jejich kříženců jsou označeny souhrnným názvem lepek. U člověka trpícího nesnášenlivostí lepku způsobují již zmíněné bílkoviny onemocnění – celiakií. Při celiakii na rozdíl od zdravého člověka lepek odolává štěpení, což způsobí následně zánětlivou reakci, která se spustí po nějaké době od požití. Tato zánětlivá reakce vede k dalším zánětům a také ničení střevních buněk, které nejsou s takovou schopností vstřebávat živiny. Z důvodu různých projevů bývá nazývána celiakie i jako nemoc chameleon a nelze použít univerzální návod, podle kterého lze okamžitě rozpoznat, zda se jedná o celiakii (Kohout, 2006; Lukáš, 2005).

## 1.5 Bezlepková dieta

Jedinou léčebnou terapií u celiakie je přísná bezlepková dieta. Dle posledních studií je doporučený maximální denní příjem lepku pro celiaka stanoven na 10 – 50 mg lepku. Za bezpečnější hodnotu se považuje cca 20 mg lepku za den (ČSN 46 1011-9). A tento denní příjem lepku se v žádném případě nemá překračovat. S celiakií se mohou pojít i další nemoci jako cukrovka nebo onemocnění autoimunitního původu (Kohout, 2007).

Lidé s celiakií si musejí dávat pozor i na potraviny, které na první pohled lepek neobsahují. V těchto potravinách může být výskyt glutenu ve formě pšeničného škrobu nebo jiných přídatných látek. Nevhodné je i používání „čistého“ či „modifikovaného“ pšeničného škrobu. Tento škrob sice neobsahuje lepek, ale jeho součástí jsou prolaminy (část bílkovin lepku). Příkladem takovýchto potravin je kečup, zmrzlina, uzeniny, pomocné látky v lécích (Celiak.cz, 2020).

Na bezlepkovou dietu tělo reaguje příznivě i rychle. Z počátku musí lidé, kteří trpí těžkou akutní formou celiakie vynechat i mléko, tučné a těžké jídlo a také dráždivé či pálivé

potraviny. Toto opatření platí pouze na nezbytně dlouhou dobu, během které je potřeba, aby se zahojila podrážděná sliznice tenkého střeva, jakmile dojde k zahojení, pak už je možné jíst všechny potraviny i jídla, které neobsahují lepek (Celiak.cz, 2020).

Při bezlepkové dietě je vhodné držet se výrobků a pokrmů z přirozeně bezlepkových surovin – kukuřice, rýže, pohanka, brambory, sója, cizrna, fazole, hrách, čočka, maso, ovoce, zelenina, ryby, vejce, med, jáhly, amarant nebo také ořechy.

Také je možné sáhnout v obchodě po bezlepkových alternativách surovin pro přípravu pokrmů. Například bezlepkové těstoviny jsou vyrobeny z cizrny či červené čočky (Aktin.cz, 2021). Pšeničnou mouku je možné nahradit směsí mouk rýžové a kukuřičné, které mají podobné vlastnosti. Dnes je na trhu i pivo vhodné pro celiaky, které se nevyrábí z ječmene, proto neobsahuje gluten (Vitalia.cz, 2009).

Bezlepkové stravování nepatří zrovna mezi nejlevnější záležitosti, proto se lidé trpící celiakií mohou cítit v nevýhodě, a to především s ohledem na finanční stránku.

Při celiakii je relativně málo variant pro stravování. Z tohoto důvodu celiatici často hledají i různé alternativy, mezi které se řadí i produkty s hroznovými výlisky a bezobratlých živočichů (Celiak.cz, 2020). Jedlý hmyz přidává pokrmům chuť i vůni, dále zvyšuje nutriční hodnoty o bílkoviny, aminokyseliny a v neposlední řadě zlepšují technologickou zpracovatelnost.

### **1.5.1 Porovnání výrobků obsahujících a neobsahujících lepek**

Porovnání výrobků s lepkem a bezlepkových výrobků bylo provedeno na příkladu dukátových buchtíček.

Dukátové buchtíčky bez lepku od firmy Žij bez lepku (Zijbezlepku.cz, 2021).

Složení: Bezlepková mouka Jizerka (kukuřičný škrob, bramborový škrob, modifikovaný škrob kukuřičný, lupinová mouka, modifikovaný škrob maniokový, dextróza, zahušťovadlo guma guar, kyselina askorbová), vejce, mléko, máslo, cukr, sůl, droždí.

Dukátové buchtíčky od firmy Penam (Kosik.cz, 2015).

Složení: Pšeničná mouka, pitná voda, rostlinný olej řepkový, cukr, droždí, zlepšující přípravek (pšeničná mouka, pšeničná vláknina, jablečná vláknina, látka zlepšující mouku kyselina L-askorbová), jedlá sůl s jodem (jedlá sůl, jodičnan draselný), náhrada vajec (sójová

mouka, glukózový sirup, sušená syrovátka, emulgátor lecitiny, pšeničná mouka, mléčná bílkovina, barvivo karoteny, jedlá sůl).

Následující tabulka s nutričními hodnotami dukátových buchtíček ukazuje, že bezlepkový výrobek se liší oproti běžně konzumovaným výrobkům vyrobených z pšeničné mouky. Z tabulky vyplívá nižší energetická hodnota u dukátových buchtíček bez lepku.

**Tabulka 1** Srovnání výživových hodnot bezlepkové/ běžné dukátové buchtíčky (Košik.cz, 2015, Zijbezlepku.cz, 2021).

Výživové údaje na 100 g:	Dukátové buchtíčky bez lepku	Dukátové buchtíčky Penam
Energetická hodnota	1265 kJ/ 302 kcal	1685 kJ/ 403 kcal
Tuky	12 g	15 g
z toho nasycené mastné kyseliny	7,5 g	1,5 g
Sacharidy	44 g	56 g
z toho cukry	8,8 g	11 g
Bílkoviny	3.5 g	8,6 g
Sůl	0,51 g	0,78 g



Obrázek 2 Běžné dukátové buchtíčky Penam (Košik.cz, 2015)



Obrázek 3 Bezlepkové dukátové Buchtíčky (Zijbezlepku.cz, 2021)

### 1.5.2 Využití metabolických procesů kvasinek v pekařství

Pekařské droždí obsahující kvasinky (*Saccharomyces cerevisiae*), které mají velikost 6-8  $\mu\text{m}$ . 1 g pekařského droždí obsahuje  $10^{10}$  živých buněk. Kvasinky mají schopnost odbourávání glukosy. Během tohoto procesu dochází k oxidaci glukosy. Uvolněná energie se ukládá do molekul ATP. První fáze odbourávání glukosy se nazývá glykolýza. U tohoto procesu se 6-uhlíkatá látka (glukosa) přeměňuje na 3-uhlíkatou – pyruvát. Na reakcích se podílejí enzymy a výsledkem jsou 2 molekuly ATP a 2 molekuly redukovaného koenzymu  $\text{NADH}^+\text{H}^+$ .

Pyruvát se může proměňovat v anaerobních podmínkách (vzniká alkoholové a mléčné kvašení) a za aerobních podmínek v citrátovém cyklu (bakteriální mléčné kvašení, kde konečný produkt je laktát) (Kopecká, 2012). Alkoholové kvašení probíhá v buněčné cytoplazmě. Kvasinky obsahují enzymy, které umožňují přeměňovat pyruvát na ethanol a oxid uhličitý. V prvním kroku podléhá pyruvát dekarboxylaci, při které vzniká acetaldehyd a je uvolněn oxid uhličitý. Reakce je katalyzována specifickým enzymem – pyruvátdekarboxylasou. V druhém kroku vzniká ethanol redukcí z acetaldehydu. Je využíván specifický enzym – alkoholdehydrogenasa. Procesu alkoholového kvašení se využívá při kynutí (vzniká oxid uhličitý způsobující kypření) a pečení těsta. Kvasný proces začíná mícháním surovin, přes hnětení, kynutí a končí první fází pečení, kdy jsou kvasinky usmrceny (Adams a Moos, 2002; Tančinová, 2008).

Pekařské droždí má tři hlavní funkce, proč se využívá v pekárenství. Používáno je jako kypřidlo, díky produkci kypřícího plynu, zejména oxidu uhličitého. Dále mění strukturu těsta a v neposlední řadě mění senzorické vlastnosti těsta a výsledného produktu (Příhoda a kol., 2003).

Pekařská droždí mohou být dodávány do těsta v různých formách. Nejčastěji v podobě čerstvého lisovaného droždí, dále pak je na trhu tekuté, granulované, aktivní, instantní a mražené droždí (Muchová, 2007).

### 1.5.3 Porovnání průběhu kvasných procesů u běžných lepkových a bezlepkových těst

**Běžná mouka** je vyrobena z jemně namletého obilného zrna, jehož základ tvoří škrob. Jedná se o polymer, který je syntetizován rostlinným organismem z několika molekul glukózy. Škrob váže vodu a mouka se stává lepivou. Síly, které drží molekuly škrobu pohromadě, nejsou silné a hnětení je poruší.

Pružnost a schopnost udržet bublinky oxidu uhličitého musí ale v těstě zajistit lepek, který je součástí obilných mouk a který je nutné aktivovat vodou. Lepek pomocí svých „lepivých“ sil zpevní stěnu mezi bublinami. Těsto se stane kompaktní se silnými stěnami, kterými neuniká CO<sub>2</sub> (Mondal a Datta, 2008). Také přídavek soli (v těstě maximálně 2 %) napomáhá vzniku kompaktního těsta (Kučerová, 2004).

U kynutých těst je tvorba oxidu uhličitého kvasinkami zásadní, díky nim je těsto nadýchané. Proto je nutné kvasinkám dodat ideální podmínky k rozvoji (teplo, živiny). Vhodná teplota pro rozvoj kvasinek je 30-35 °C. Dostatek živin zajišťují sacharidy v mouce a přidaný cukr do těsta (Ambiente, 2020). Další důležitou součástí přípravy na správné kynutí těsta je vhodná příprava kvasinek, kdy je např. při domácí přípravě doporučováno před přenesením kvasinek do mouky ji prosít sítem, aby měly kvasinky dostatek kyslíku (Žena IN, 2000).

Kvasinky v první fázi nastartují vlastní reprodukci díky přidanému cukru (sacharóza nebo glukóza). Po nastartování rozmnožování přichází na řadu maltóza, kterou kvasinky ochotně přeměňují na oxid uhličitý. Zbylá, nezpracovaná sacharóza způsobuje v pečivu sladkou chuť (Ambiente, 2020).

Lepkové bílkoviny jsou důležité, protože vytvářejí hlavní strukturu těsta (Wang a kol., 2005). Při smíchání mouky obsahující lepek s vodou se vytváří lepivá síť tvořená glutenovými bílkovinami. Těsto je proto elastické a dává těstu schopnost kynout (zejména zachycovat kypřící plyny). Tím vzniká nadýchaná struktura těsta (Bjarnadottir, 2017).

Při snížení obsahu lepku v těstě (např. u žitného těsta v porovnání s pšeničným), přestává mít těsto lepkavou bílkovinovou strukturu, je méně plastické a je na povrchu lepivé. Struktura je fixována až v závěrečné fázi pečení.

Úplné odstranění lepku vede v pekařství k nemalým problémům při zpracování těsta. Výrobky z bezlepkové mouky jsou drobivější a hutnější, střídka je tvrdá. Objem pečiva je malý, vůně s chutí bývá ze sensorického hlediska nedostatečná (Gallagher *et al.*, 2004; Mahmoud a kol., 2013).

**Bezlepková mouka** je většinou směsí více mouk, nejčastěji lupinová, rýžová, bramborová a kukuřičná. Směsi bývají obohacené o zahušťovač a emulgátory. Protože je bezlepková mouka je náročnější na zpracování, je pro správné zpracování bezlepkového těsta nutné těsto dobře zpracovat. Do bezlepkových těst je vhodné přidávat vlákninu (bramborovou či jablečnou), která částečně nahrazuje lepek (Cihlářová, 2021). Oproti běžné mouce, kde

vazby mezi molekulami lepku vznikají v řádech minut, tak spojení v bezlepkové mouce může spojení v kompaktní těsto trvat až několik hodin. U bezlepkové mouky nejsou vstupní surovinou pro vznik oxidu uhličitého jednoduché cukry, ale polysacharid škrob. Škrob je složitý cukr a kvasinkám jeho zpracování trvá déle, je tedy kynutí bezlepkového těsta pomalejší než tradičních těst (Čurečková, 2016).

## 2 JEDLÝ HMYZ

Entomofágie je věda, která využívá jedlého hmyzu k lidské potravě. V Evropě a v USA není jedlý hmyz rozšířen a využíván jako na jiných kontinentech, kde zaujímá významných pozic v jídelníčku člověka. Hmyz je prohlašován za delikatesu, ale je i významným zdrojem bílkovin, aktuálně konzumuje jedlý hmyz jí 1/3 světové populace (Van Huis *et al.*, 2013). Také je považován organizací FAO za jedno z jídel pro třetí tisíciletí, vzhledem k neustálému zvětšování se populace podle (UN 2015) to může být až 10 miliard lidí v roce 2050 (Entomophagy, 2021).

Díky tomu, že je hmyz studenokrevný a nespotřebovává energii na tělesné teplo, je u něj efektivita přeměny krmiva na stravitelné bílkoviny vyšší než u chovu hospodářských zvířata a má i rychlejší životní cyklus. To je jeho hlavní výhoda v porovnání s hospodářskými zvířaty. Dále jedlý hmyz při vytváření stejného množství stravitelných bílkovin ve srovnání s hospodářskými zvířaty vyprodukuje méně skleníkových plynů a amoniaku. Předností je i nižší spotřeba vody a půdy, protože jedlý hmyz je možné chovat na platech ve vrstvách nad sebou (Frkal, 2001). Na druhou stranu má jedlý hmyz i svoje negativa, jako jsou možnosti alergických reakcí (chitin) (Elias *et al.*, 2005; Freye *et al.*, 1996;), možnost mikrobiální kontaminace a parazitárního onemocnění při nevhodném chovu (Kouřimská a Adámková, 2016) nebo stravovacích obtížích při nevhodné kulinární úpravě (Kouřimská a Adámková, 2016).

I v dnešní době zůstává k jedlému hmyzu ve viditelné formě mezi veřejností velký odpor. Z tohoto důvodu dává velká část populace přednost potravinám a pokrmům, kde je hmyz přidán ve formě, která není na první pohled zřejmá. Víceru studií (Mitsuhatzi, 2008; Verkerk *at. al.*, 2007) potvrdilo teorii, o menší zášti ke konzumaci jedlého hmyzu v neviditelné podobě (přídavek mouky bezobratlých do běžných pokrmů), než ke konzumaci hmyzu v původní podobě (restovaná sarančata či cvrčci, smažené larvy). Jedná se v první řadě o psychický blok ke konzumaci hmyzu, ale i pocit, že konzumace jedlého hmyzu vyvolá dráždivý pocit v ústech, kdyby hmyz byl nevhodně upraven (u většího hmyzu – saranče, kobylka, je nutné odstranit končetiny) (Bouvier, 1945; Adámková 2020; Mlček 2014).

Nejčteněji konzumovaný hmyz jsou sarančata, cvrčci, termiti, mravenci, larvy včel, housenek a můr. Na Asijském a Africkém kontinentu je hmyz běžně prodáván na tržnicích, jako každodenní surovina pro přípravu jídel. Díky tomu, že jedlý hmyz, je surovina sama o sobě bez chuti, tak velice záleží na přidání dalších materiálech. Proto u hmyzu existuje



velká rozmanitost v přípravě pokrmů, a je možné připravovat sladká i slaná jídla, které jsou fortifikované hmyzem (Adámek, 2020; Ramos-Elorduy, 1998; Ramos-Elorduy, 1997, Bednářová *et al.*, 2010). Ve střední Evropě se hmyz nejčastěji přidává do pekárenských výrobků či proteinových tyčinek, které jsou fortifikované hmyzem (SENS Foods CZ s.r.o.). Dále jako pochoutku upravenou pražením nebo jinými technologiemi (WormUp).

## 2.1 Výživová hodnota hmyzu

Hmyz svými nutričními hodnotami, je možné srovnávat s běžně připravovanými potravinami. Častěji jsou konzumovány larvy, díky svojí výživnosti a jednoduchosti při sběru, dospělí jedinci nemají tolik koncentrovaných nutrietů a je náročnější je sbírat. Z důvodu svojí nenáročnosti na potravu je možné hmyz krmit různými krmivy - zejména se používají směsi mouk (obilí, kukuřice, oves), strouhanky, ovoce a zeleniny, sušeného mléka (Škrabalová, 2009). Vhodně zvoleným krmivem je možné upravit nutriční hodnoty podle požadavků odběratele hmyzu (Adámková, 2020).

Studie (Mlček 2014, Kouřimská 2016, Adámková, 2020) dokumentují hmyz jako alternativní zdroj proteinů a esenciálních a neesenciálních aminokyselin a mastných kyselin. Na základě analýz minerálních látek byl u hmyzu analyzován hořčík, zinek a vápník, který je důležitý pro zuby, kosti a nehty (Čihák, 2004; Adámková *et al.*, 2020; Mlček *et al.*, 2017).

Nutriční hodnoty jedlého hmyzu jsou velmi rozdílné, díky různorodosti konzumovaných druhů v různých vývojových etapách. Obsah bílkovin v těle hmyzu se pohybuje v rozmezí 13-81% v sušině (Xiaoming *et al.*, 2008; Ramos-Elorduy *et al.*, 1997). Významný podíl v nutričním složení mají aminokyseliny. Nejvyšší obsah esenciálních aminokyselin je fenylalaninu a tyrosinu. V některých druzích hmyzu může být až 96% esenciálních aminokyselin z celkového množství AMK (Xiaoming *et al.*, 2008). Některé druhy mají vysoký obsah lysinu, tryptofanu a theroinu, které jsou nedostatkové v bílkovinách obilnin (Kouřimská a Adámková, 2016). Vysoký obsah bílkovin je hlavní důvod, proč fortifikovat pekařské výrobky o jedlý hmyz, dojde k doplnění nutričních hodnot.

Obsah tuku v jedlém hmyzu je v rozmezí 10-55% v sušině (Bednářová, 2013). Tuky mohou mít různé využití v potravinářství. Mají vysoký obsah mastných kyselin, zejména palmitové kyseliny. Polynasyčené mastné kyseliny mohou zabírat až 70% z celkového obsahu

mastných kyselin. Například olejová, linolová a linolenová (Tzompa-Sosa *et al.*, 2014), kyseliny které jsou vhodné pro prevenci před kardiovaskulárními onemocněními.

Jedlý hmyz může být dobrým zdrojem minerálních látek. Nejčastěji obsahuje železo a zinek, který je důležitý zejména v rozvojových zemích (Manditsera *et al.* 2019, Rumpold, Schlüter 2013). Z vitamínů obsahuje jedlý hmyz vitamíny ze skupiny B a vitamíny rozpustné v tucích – A, D, E, K. Většina jedlého hmyzu obsahuje stopové prvky - měď, hořčík, mangan, fosfor, selen i riboflavin, panthotenovou kyselinu někdy i listovou kyselinu (Rumpold and Schlüter, 2013).

### 2.1.1 Konzumace jedlého hmyzu

Dnes je známo cca 1800 druhů hmyzu, vhodného ke konzumaci. Druhy hmyzu konzumované v České republice zaštiťuje organizace EFSA – European food safety authority. Cílem EFSA je rozšířit zástupce jedlého hmyzu pro potravinářský a zemědělský průmysl. Z jejich seznamu je v Evropě možné chovat potměníka moučného (*Tenebrio molitor*), potměníka brazilského (*Zophobas morio*), potměníka stájového (*Alphitobius diaperinus*), cvrčka domácího (*Acheta domesticus*), cvrčka banánového (*Gryllus assimilis*), saranče stěhovavé (*Locusta migratoria*), saranče pustinní (*Schistocerca gregaria*), včela medonosná (*Apis mellifera*), zavíječ voskový (*Galleria mellonella*) (EFSA, 2015). Jongema uvádí, že v celosvětovém měřítku je nejvíce ke konzumaci vyhledáván z hmyzu jsou larvy brouků, brouci, mravenci, vosy a včely. Dále další druhy jako jsou cvrčci, kobylky, termiti, cikády, vážky (Jongema, 2015).



Obrázek 4 Potměník moučný – larva na listu rýmovníku (Autor DP)

## 2.2 Potemník moučný

Larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*), se často laicky označují jako moučný červ. Jedná se o nenáročný, lehce chovatelný, hmyz. Obecně bývá řazen mezi škůdce. Počátečním vývojovým stádiem je vajíčko o velikosti 1,7 mm. V rozmezí 7-18 dní se z vajíčka líhne larva. Larva dorůstá do délky až 2,5 cm a je žluto-hnědě zbarvená. Larvy se pohybují v substrátu, ve kterém žijí (Li *et al.*, 2013). Během druhého stádia se larva několikrát svlékne. Před zakuklením larvy vylézají na povrch substrátu a jejich pohyb je minimální. Dalším vývojovým stádiem je fáze kukly, která trvá 5-7 dní. Posledním stádiem vývoje je fáze dospělce, který má černé zbarvení a téměř 3 cm. Dospělý brouk žije na povrchu substrátu. Běžně v přírodě se dožívá až tři měsíců. Životní cyklus může podle tepelných a výživových podmínek trvat 300 a více dnů. Samičky potemníka kladou zhruba 320 vajíček za život (Zahradník, 1992).



Obrázek 5



Obrázek 6



Obrázek 7

Obrázek 3-5 Potemník moučný – larva (3), kukla (4), dospělý brouk (5) (Autor DP)

Nejdeálnější teplota pro chov je v rozmezí 25-27 °C. Nejvyšší teplota by neměla překročit 35 °C (Adámková, 2017). Chovná nádoba musí být snadno čistitelná a zdravotně nezávadná. Vhodný materiál je tedy plast či sklo. Doporučuje se plastová krabice z důvodu cenové dostupnosti a fyzikálních vlastností (nízká hmotnost, barevná variabilita). Potemníci jsou noční tvorové. Chovná nádoba je proto doporučena z materiálu, který je pro světlo nepropustný. Na dno nádoby je nutné připravit substrát (lidově též podestýlku), ve kterém potemník bude žít. Substrát bývá složen ze suchých sypkých látek, vhodná je strouhanka, sušené mléko, bramborový škrob nebo ovesné vločky. Potemník je všežravec, proto není náročný na krmivo. Jako strava může být použito ovoce, zelenina i granule pro domácí zvířata (Škrabalová, 2011).



Obrázek 8 Chovná nádoba s *Tenebrio molitor* (Autor DP)

### 2.2.1 Nutriční hodnoty

Řízená kvalita chovu, vhodné chovné podmínky a vybraný druh krmiva mohou ovlivnit nutriční hodnoty podle požadavku odběratele. Mezi nejdůležitější nutriční hodnoty je možné u hmyzu zařadit obsah bílkovin a jednotlivých aminokyselin, obsah tuku a jednotlivých mastných kyselin, obsah jednotlivých vitamínů a minerálních látek a energetická hodnota.

**Bílkoviny** jsou nejdůležitějším nutrientem, pro který se potemník moučný chová. Podle Organizace spojených národů pro výživu a zemědělství (FAO) je obecně hmyzí bílkovina hodnotná alternativa k masu (Bednářová, 2014). Kromě toho stravitelnost hmyzího proteinu je srovnatelná s bílkovinami s tradičních druhů masa. Larvy potemníka moučného obsahují

13,5-22,5 g dusíkatých látek na 100 g hmotnosti. U kukel obsah bílkovin je až 23 g na 100 g hmotnosti (Morales-Ramos, 2015). U dospělých jedinců je hodnota 23,7-24,6 g na 100 g hmotnosti.

Potemník moučný má rozsáhlé zastoupení **aminokyselin** ve všech vývojových stádiích. Následující tabulka ukazuje hodnoty jednotlivých aminokyselin v zastoupeních v různých stádiích vývoje (Defoliart, 1992; Paul, 2016).

Tabulka 2 Množství aminokyselin (g/kg) u larev, dospělých brouků a svleků *Tenebrio molitor* (<sup>1</sup>Finke, 2002; <sup>2</sup>Ravzanaadii *et al.*, 2012).

Aminokyseliny (g/kg) vzorku	Larva <sup>2</sup>	Larva <sup>1</sup>	Dospělý brouk <sup>1</sup>	Dospělý brouk <sup>2</sup>	Svlek <sup>2</sup>
ESENCIÁLNÍ AMINOKYSELINY					
<b>Histidin</b>	7,1	5,9	6,8	10,8	4,1
<b>Isoleucin</b>	16,5	9,4	10,3	24,8	6,2
<b>Leucin</b>	15,8	19,9	19,6	32,7	17
<b>Lysin</b>	13,5	10,2	10,5	14,1	3,3
<b>Methionin</b>	3,1	2,4	3	0,7	0,4
<b>Fenylalanin</b>	8,2	6,6	6,2	9,7	3,2
<b>Threonin</b>	8,4	7,7	8,1	13,6	3,7
<b>Tryptofan</b>	-	1,8	2,6	-	-
<b>Valin</b>	11,3	11	15	21,3	8
<b>Arginin</b>	11,3	9,7	10,2	16,7	3,5
PODMÍNĚNĚ ESENCIÁLNÍ AMINOKYSELINY					
<b>Cystein</b>	2,4	1,6	1,6	3,7	1
<b>Tyrozín</b>	16,1	13,7	7,9	10,4	6,7
NEESENCILÁNÍ AMINOKYSELINY					
<b>Alanin</b>	17,1	15,4	18,1	30,3	9,3
<b>Kys. asparagová</b>	16,7	15,2	16,6	25	6,2
<b>Kys. glutamová</b>	26,4	21,1	22,8	33,2	10,3
<b>Glycin</b>	11,2	10,4	20	34,5	12,8
<b>Prolin</b>	14	13	15	21,7	8,7
<b>Serin</b>	9,7	9,6	9,8	14	6,8

**Tuky** jsou druhým nejvýznamnějším nutriem v jedlém hmyzu. Obsah tuku je ovlivněn samotným chovem potměníka i biologickými faktory, jako je pohlaví, věk a vývojové stádium. Nejvyšší množství tuku mají larvy a kukly (Xiaoming, 2008). Larva obsahuje 28-37 % tuku v sušině, kukla 31-35 % tuku v sušině. Dospělci obsahují 13-23 % tuku v sušině (Ghosh, 2017). Obsah nasycených mastných kyselin je nižší než nenasycených mastných kyselin. Poměr polyenových mastných kyselin a nasycených mastných kyselin je indikátor kvalitních tuků ve stravě. Doporučený poměr mezi PUFA/SFA by měl být roven 1. U larvy je poměrové množství 1-1,6, u kukly 0,7-1, u dospělého brouka 1,1-1,3 (Ghosh, 2017; Adámková, 2017). Potměník moučný ve všech vývojových stádiích obsahuje n-6 a n-3 mastné kyseliny. Kyseliny typu n-3 jsou obsaženy v menším množství než n-6, je to důsledek nedostatku n-3 mastné kyseliny v potravě živočicha, proto je při chovu doporučeno přidávat n-3 mastné kyseliny do stravy (Mariod, 2011; Paul, 2017).

Tabulka 3 Množství nasycených a nenasycených mastných kyselin *Tenebrio molitor* včetně poměrů u larvy, kukly a dospělého brouka (<sup>1</sup>Adámková (2017), <sup>2</sup> Bednářová (2013), <sup>3</sup>Finke (2002)).

Mastné kyseliny	Larva <sup>1,2</sup> [%]	Kukla <sup>1</sup> [%]	Dospělý brouk <sup>1,3</sup> [%]
Nasycené MK	19–31	29–32	26–29
Mononenasycené MK	30–57	39–48	38–42
Polynenasycené MK	22–41	21–30	31–33
n-3	0,3–1,9	0,4–0,8	0,5–0,9
n-6	24–34	20–29	30–33

**Sacharidy** jsou u potměníka obsaženy v rozpětí hodnot 8-12 % v sušině (Borkovcová, 2009). Největší část sacharidů tvoří chitin. I když je chitin silným alergenem, může být pro člověka velmi přínosný, má antimikrobiální a antitumorigenní účinky (Hahn, 2018).

**Vitamíny** jsou důležitou součástí potměníka moučného. Podle několika studií (Finke, 2004; Xiaoming *et al.*, 2008) má potměník všechny vitamíny rozpustných v tucích (A, D, E, K), vitamín C i vitamíny skupiny B. Celkový obsah vitamínů je závislý na příjmu vitamínů v potravě (Finke, 2004).

**Energetická hodnota** bývá udávána v rozmezí 160-762 kcal/100 g a závisí nejvíce na obsahu tuku. Velký rozptyl energetické hodnoty je důsledkem kvality chovu. Larvy mají

vyšší energetickou hodnotu než dospělý jedinci, proto je upřednostněna konzumace larev před dospělými brouky (Beak, 2019; Ramos-Elorduy, 1997; Nowak, 2016).

**Minerální látky** - Obecně může být jedlý hmyz nutričně zajímavý i z hlediska obsahu minerálních látek jako jsou železo, zinek, draslík, sodík, vápník, fosfor, hořčík mangan a měď (FAO, 2013). Finke (2002) měřil obsah mědi a železa v potemníku moučném. Obsah mědi uvádí 6,1 mg/kg a pro železo byl naměřen obsah 20,6 mg/kg. Zielińska (2015) ve své studii stanovila, že obsah mědi byl 18,6 mg/kg a obsah železa byl 32,9 mg/kg. Zinek je druhým nejhojnějším minerální látkou v organismech. Finke (2002) stanovil množství zinku v larvách potemníka moučného na 52,0 mg/kg a Zielińska (2015) uvádí obsah zinku 112 mg/kg.

**Sušina** - Sušení je technologická operace vedoucí ke snížení obsahu vody v materiálu. U potravin je sušení praktikováno z důvodu prodloužení doby skladovatelnosti materiálu, jeho následného zpracování a menších nároků na přepravu a manipulaci (Tančinová *et al.*, 2008). U larev potemníka moučného je obsah sušiny udáván v rozsahu od 29 % do 45 % (Nowak *et al.*, 2016).

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ METODY

#### 3.1 Metoda elektronického nosu

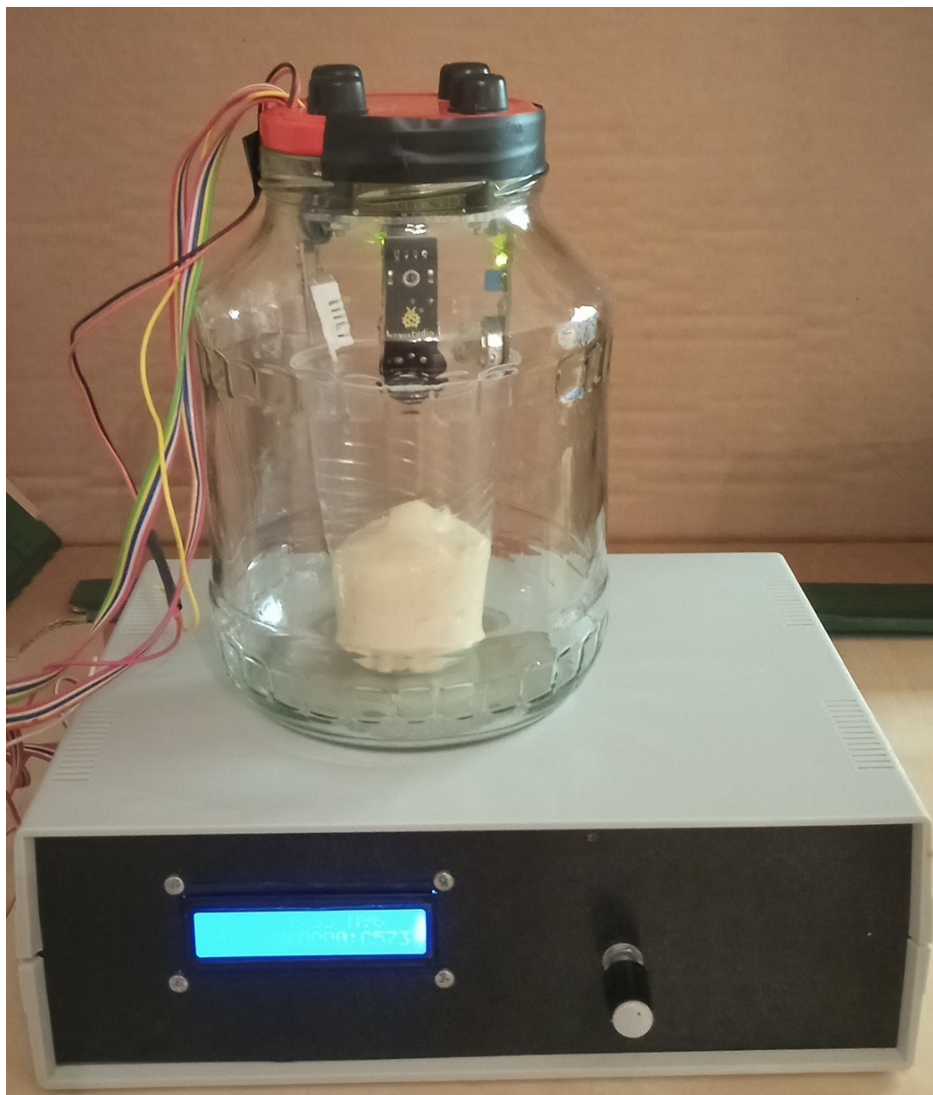
Zařízení elektrický nos se využívá pro detekci pachů. Jde o přístroj, který se používá nejen v různorodých odvětvích průmyslu, ale i v ochraně před kriminalitou, v zemědělství, v kosmetice (Wilson a Baietto, 2009). Tato metoda se využívá i v gastronomii např. v pekařství, mlékařství, při zpracování čajů, kávy, olejů, koření, vína aj. (Mendéz, 2016).

Po technické stránce prošla čichová analýza v posledních letech významným rozvojem. První elektronický nos byl uveden na trh v roce 1982. Od té doby došlo ke zdokonalování, rozpoznávání vůní a pachů a miniaturizaci těchto zařízení. Technologie elektrického nosu vychází z podobnosti k lidskému čichu (Persaud a Dodd, 1982).

Elektronický nos má obecně tři hlavní části – systém pro doručování vzorků, detekční systém a výpočetní systém. Detekční systém má často sadu senzorů a modulů, které rozeznávají vzorky a generují signály, které složí k jejich popisu a vyhodnocení výpočetním systémem (Hubálek *et al.*, 2012). Před vlastní analýzou, je nutné často elektronický nos nastavit a vytvořit tzv. databanku vzorků. Z tohoto důvodu se provede kalibrace na sadu referenčních vzorků, které pak slouží k porovnání s neznámým detekovaným vzorkem (Peris a Escudergilabert, 2009).

Pro rozpoznání pachů se často používají chemické senzory z oxidů kovů nebo čidla s vodivými polymery. Při analýze vzorku, při které dojde ke změně rezistivity senzitivní vrstvy, jsou čidla nazvána chemorezistivními senzory. Druhým typem senzorů jsou piezoelektrické senzory, které po interakci s chemickou látkou, změni frekvenci na piezoelektrickém krystalu (Röck, Barsan a Weimar, 2008).





Obrázek 9 Měření kynutí těsta elektronickým nosem (Autor DP)

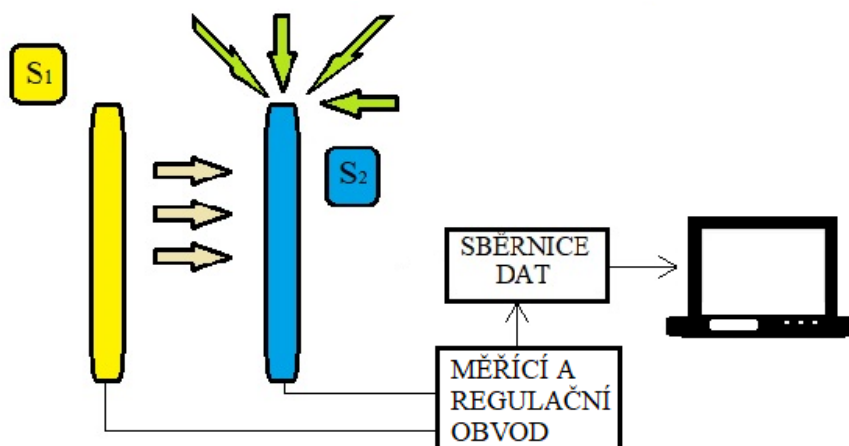
### 3.2 Metoda termodynamických senzorů

Termodynamické senzory na principu bilanční rovnováhy (dále TDS) jsou využívány pro charakterizaci a monitorování tepelných procesů v termodynamickém systému. Jedná se o neanalytickou vyšetřovací metodu. Možnost využití termodynamických senzorů v praxi je široké - od monitorování rozvoje přetržení tažených skleněných vláken v průběhu výrobního procesu, monitorování třecího tepla, teplotní stabilizaci pro reakční komůrku až po širokopásmový převodník výkonu (Řezníček, 2014). V potravinářství je možné pomocí TDS stanovit např. konec fermentačního procesu v mléčných výrobcích (Adámek, 2010) nebo monitorování kynutí těst pečárenských výrobků (Adámek, 2020). Předpokládá se však možnost jejich využití i u ostatních procesů, kde dochází k vývoji tepla nebo ke změně tepelných vlastností. Jde např. o vývoj kvasinek a jiné mikroflóry v nakládaných

výrobcích (okurky) a ve fermentovaných výrobních (kvašené zelí) dále v pivovarech, pekárnách i lihovarech (Adámková, 2013).

Hlavní výhodou termodynamických systémů je rychlost a citlivost oproti jiným teplotním sensorům (např. termočládkům). Další výhodou je i možnost bezkontaktního měření bez nutnosti kontaminovat měřenou látku (Adámková, 2013). Hlavní nevýhodou je pouze možnost monitorování změn. Další nevýhodou je silná závislost na konstrukci měřícího přípravku nebo zařízení a umístění sensorů na zkoumaný objekt. Každá konstrukce je individuální a výsledky z jednoho zařízení nelze porovnávat s jiným.

Princip TDS je konstrukčně jednoduchý. Hlavní součástí obvodu jsou dva rezistory, které slouží jako teplotní čidla  $S_1$  a  $S_2$ . Dále jeden z nich slouží zároveň i jako zdroj tepla (např.  $S_1$ ). Elektrická energie potřebná pro tento tepelný zdroj je monitorována a zaznamenávána (Adámek, 2010). Počáteční nastavení obvodu je buď ruční nebo automatické a nastavuje se určitá úroveň tepelné rovnováhy mezi oběma teplotními čidly  $S_1$  a  $S_2$ . Snahou je udržet konstantní hodnotu tepla přijímaného čidlem  $S_2$ , který tvoří zpětnou vazbu pro regulační obvod. Po tomto prvotním nastavení jsou další změny závislé na změnách teplotního toku mezi oběma čidly a tepelnými zdroji v okolí čidla  $S_2$ . Do skupiny veličin, které mohou změnit tepelný tok mezi čidly, patří např. změna objemu nebo hustoty sledované látky, změna průtoku, tlaku, a dalších veličin, u kterých dochází ke změně teplotních vlastností. Do skupiny vlivů působících jako externí zdroj tepla mohou patřit např. vlivy jako změny tepelné a světelné radiace, vlhkosti, apod. Sensorové prvky jsou integrovány se zesilovačem a převodníkem na definovatelný elektrický signál (elektrické napětí, elektrický proud, frekvence), které jsou dále připojeny k měřícím systémům (Adámková, 2013).



Obrázek 10 Schéma tepelného obvodu termodynamických sensorů (Autor DP)

## 4 CÍLE A HYPOTÉZA PRÁCE

### 4.1 Cíle práce

Cílem diplomové práce je pomocí experimentálního elektronického nosu a termodynamických senzorů zaznamenat rozdíl ve fermentačních vlastnostech mezi bezlepkovou moukou a bezlepkovou moukou fortifikovanou vybraným druhem jedlého hmyzu.

### 4.2 Hypotéza

Na základě stanoveného cíle diplomové práce byly zvoleny následující hypotézy:

**Hypotéza č. 1:** Fortifikací bezlepkové mouky potměníkem moučným dojde ke změně fermentačních vlastností, které je možné monitorovat pomocí termodynamických senzorů.

**Hypotéza č. 2:** Experimentální elektronický nos zaznamená změny koncentrace plynů při kynutí těsta ze směsi běžné bezlepkové mouky a mouky s přídavkem moučky z larev potměníka moučného.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 5.1 Materiál – bezlepkové těsto

Na přípravu experimentální směsi byly použity materiály, běžně dostupné v obchodním řetězci. Bezlepková mouka, olej, mléko, cukr, vejce, droždí a sůl s následujícími nutričními hodnotami.

**Tabulka 4 Nutriční hodnoty**

Výživové údaje na 100 g:	Bezlepková mouka	Olej	Mléko	Cukr
Energetická hodnota	1435 kJ/ 338 kcal	3400 kJ/ 813 kcal	266 kJ/ 64 kcal	1700 kJ/ 400 kcal
Tuky	0,8 g	912 g	3,5 g	0 g
z toho nasycené mastné kyseliny	0,1 g	0 g	2 g	0 g
Sacharidy	79,5 g	0 g	4,7 g	100 g
z toho cukry	0,2 g	0 g	4,7 g	100 g
Vláknina	2,0 g	0 g	0 g	0 g
Bílkoviny	2,2 g	0 g	3,3 g	0 g
Sůl	0,01 g	0 g	0,1 g	0 g

**Tabulka 5 Nutriční hodnoty**

Výživové údaje na 100 g:	Vejce	Čerstvé droždí	Sůl
Energetická hodnota	622 kJ/ 149 kcal	477 kJ/ 114 kcal	0 kJ/ 0 kcal
Tuky	10 g	2 g	0 g
z toho nasycené mastné kyseliny	3,1 g	0,5 g	0 g
Sacharidy	0,9 g	5 g	0 g
z toho cukry	0,9 g	4 g	0 g
Vláknina	0 g	0 g	0 g
Bílkoviny	13 g	14 g	0 g
Sůl	0,35 g	0,06 g	100 g

### **Bezlepková mouka Nature's promise – směs univerzal**

Na přípravu experimentální směsi byla použita bezlepková mouka od výrobce Nature's promise. Směs univerzal je složena z bramborového škrobu (50%), kukuřičného škrobu (21%), kukuřičné mouky (17%), rýžové mouky (11%) a zahušťovadla gummy guaru. Může obsahovat stopy mléka, sóji a včelího bobu.

### **Olej**

Na přípravu experimentální směsi byl použit slunečnicový olej od značky Albert.

### **Mléko**

Na přípravu experimentální směsi bylo použito plnotučné (3,5 % tuku) trvanlivé mléko od značky Albert.

### **Cukr**

Na přípravu experimentální směsi byl použit cukr krupice z cukrové řepy od značky Tereos TTD.

### **Vejce**

Na přípravu experimentální směsi byly použity čerstvá vejce od značky Kunína, velikost M.

### **Čerstvé droždí**

Na přípravu experimentální směsi bylo použito čerstvé pekařské droždí bez lepku a laktózy od značky FALA, které je vhodné pro vegany.

### **Sůl**

Na přípravu experimentální směsi byla použita mořská sůl od značky Solsanka.



Obrázek 11 Bezlepková směs univerzal Nature's promise (Autor DP)



Obrázek 12 Čerstvé pekařské droždí (Autor DP)

### 5.1.1 Příprava hmyzu

Homogenizát neboli moučka z larev potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) byl připraven následujícím způsobem:

Byly použity larvy v posledním a předposledním instaru vývoje (celá délka těla těsně před zakuklením). Larvy byly zakoupeny od společnosti Radek Frýželka, Brno, Česká republika. Larvy byly odebrány z chovu, vyláčnány po dobu 48 hodin, usmrceny ve vroucí vodě při teplotě 105 °C a okamžitě sušeny při 105 °C. Takto připravené vzorky byly homogenizovány a skladovány až do doby analýzy v chladničce při teplotě 4–7 °C.



Obrázek 13 Potemník moučný (Autor DP)



Obrázek 14 Potemník moučný - homogenizát (Autor DP)

## 5.1.2 Výroba těsta

### Základní těsto – experimentální těsto A

Na výrobu bezlepkových dukátových buchtíček je potřeba:

- 500g bezlepkové mouky,
- 200g oleje,
- 200ml mléka,
- 100g cukru,
- 2ks vejce,
- 25g čerstvého droždí,
- sůl.

Pro výrobu kynutého těsta na dukátové buchtíčky byl zvolen způsob nepřímého vedení těsta, což znamená aktivování droždí před samotným přidáním do těsta. Droždí bylo rozdrobeno v teplém mléce, spolu s polovinou cukru. Směs byla ponechána v teple cca 20 minut, aby se kvasinky mohly aktivovat. Aktivované kvasinky poté v těstě pracují rychleji. V těstě bylo použito větší množství tuku a cukru, který by mohl činnost kvasinek omezit, proto je důležité, aby měly kvasinky čas se nastartovat. Jakmile bylo droždí viditelně aktivováno, byly v míse promíchány suché suroviny (mouka, cukr, špetka soli). K sybkým surovinám byl přilít kvásek s olejem a vejci. Hnětačem nebo vařečkou či rukou bylo vypracováno jemné kompaktní těsto. Vejce v těstě napomáhají k většímu objemu těsta, zlepšují barvu střídky a rovnoměrnou pórovitost. Kynutí probíhalo za pokojové teploty 2 hodiny, v tomto čase probíhalo měření experimentálními přístroji. Před pečením se kynuté výrobky potírají vejcem z důvodu pěkné kůrky. Pečení probíhalo v rozehřáté troubě na 200°C 25 minut.

### Těsto s 5% moučky z potemníka moučného – experimentální těsto B

Postup přípravy experimentálního těsta B bylo použito 95% bezlepkové mouky a 5% homogenizované moučky.

### Těsto s 10% moučky z potemníka moučného – experimentální těsto C

Postup přípravy experimentálního těsta B bylo použito 90% bezlepkové mouky a 10% homogenizované moučky.

Těsta byla připravována vždy stejným postupem, pouze v dílčích dávkách, vhodných pro měření.



## 5.2 Materiál – referenční měření

Na přípravu referenčních vzorků k porovnání měření bezlepkové směsi byly použity jednodruhové mouky. Mouky stejných typů, ze kterých je vyrobena univerzální bezlepková směs, z nichž bylo vyráběno experimentální těsto. Dále také bylo metodicky změřeno aktivované droždí v mléce s přídavkem hmyzí moučky z potměníka moučného i bez něj.

**Tabulka 6 Nutriční hodnoty**

Výživové údaje na 100 g:	Rýžová mouka	Kukuřičná mouka
Energetická hodnota	1464 kJ/ 351 kcal	1334 kJ/ 319 kcal
Tuky	0,4 g	2,5 g
z toho nasycené mastné kyseliny	0 g	0,3 g
Sacharidy	74 g	75 g
z toho cukry	0 g	2,5 g
Vláknina	1 g	4 g
Bílkoviny	9 g	6,5 g
Sůl	0 g	0,36 g

Pro výrobu referenčních vzorků byla použita **rýžová mouka** značky Extrudo, jedná se o mouku rýžovou jednodruhovou bez lepku. Druhý referenční vzorek byl vyroben z bezlepkové **mouky hladké kukuřičné** značky Nature's promise. Nutriční hodnoty obou měřených mouk byly uvedeny ve výše uvedené tabulce (Tabulka 6).

Vzorky těst byly vyrobeny stejným postupem jako základní bezlepkové těsto z mouky Nature's promise – směs univerzal.



Obrázek 15 Rýžová mouka (Autor DP)



Obrázek 16 Kukuřičná mouka (Autor DP)

Referenční vzorky byly vyrobeny z jednoho druhu mouky, oleje, droždí, cukru, mléka, vajec a hmyzí moučky. Ze směsi byly vyrobeny vzorky těst, které neměly přídavek hmyzí moučky a vzorky, které měly částečnou - 10 % náhradu bezlepkové mouky o hmyzí moučku. Při výrobě těst byl poměr surovin, zachován stejný jako u experimentálního základního bezlepkového těsta.

- 500g rýžová/kukuřičná mouka
- 200g olej,
- 200ml mléko,
- 100g cukr,
- 2ks vejce,
- 25g čerstvého droždí,
- sůl.

## 5.3 Hodnocení produktů

### 5.3.1 Metoda monitorování pomocí elektronického nosu

Experimentální elektronický nos, vyrobený a testovaný ve spolupráci s VUT v Brně (Adámek, 2018), byl složen z několika částí. Detekční systém je složen ze tří chemorezistivních senzorů MQ-3, MQ-8 a MQ-135 (Zhengzhou Winsen ElectronicsTechnology Co., Ltd,Zhengzhou, China), sensoru SGP30 (Sensirion AG, Staefa ZH, Switzerland) a z měření teploty a vlhkosti pomocí komerčního senzoru ASAIR AM 2302 (DHT22) (Guangzhou Aosong Electronics Co., Ltd., Guangzhou, China).

Senzory reagují nejvíce na:

- MQ-3 - alkohol (25 – 500 ppm)
- MQ-8 - hydrogen detection (100 – 1000 ppm)
- MQ-135 - amoniak, toluen a vodík (10 – 1000 ppm)
- SGP30 - Těkavé organické látky a CO<sub>2</sub> ekvivalent (jsou počítány ze základních signálů pro etanol a H<sub>2</sub>)

Při experimentu se však předpokládá monitorování relativní změny koncentrace amoniaku. Nicméně sensory MQ-3 a MQ-8 byly u potravin částečně citlivé také.

Protože toto zařízení mělo pouze monitorovat proces a přesné měření absolutních hodnot jednotlivých koncentrací plynu v měřené vůni 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 0V a 5V odpovídá digitální úrovni 0 a 1023). Tyto hodnoty byly dále matematicky zpracovány. Senzoru SGP-30 má automatický digitální vstup, tj. všechny veličiny jsou převedeny automaticky senzorem na číselnou hodnotu měřené veličiny.

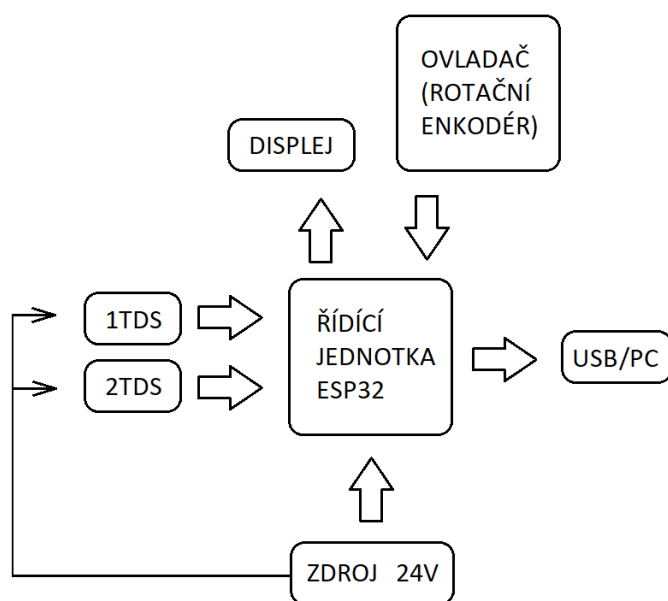
Bylo vytvořeno experimentální těsto, které bylo vloženo do měřící soustavy elektronického nosu. Všechny experimentální těsta, byly měřeny při stejných podmínkách. Vzorčky byly analyzovány při teplotě místnosti  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

### 5.3.2 Metoda monitorování pomocí termodynamických senzorů

Princip TDS je založen na patentech firmy HIT, s.r.o., (Nedakonice). Prototyp zařízení k monitorování kvasných procesů v potravinářství pomocí termodynamických senzorů

použitý pro experimenty v této práci navrhl a zkonstruoval Bc. Pavel Jáneš, VUT Brno (Jáneš, 2020) se souhlasem firmy HIT, s.r.o.

Jádrem prototypu je modul mikrokontroléru ESP32-WROOM-32. Prototyp obsahuje dva měřicí systémy TDS. Výstup senzorů je čten A/D převodníkem v modulu ESP32. Uživatelské rozhraní tvoří LCD displej a ovládací prvek (rotační enkodér). Naměřená data jsou odesílány do osobního počítače k dalšímu zpracování pomocí sběrnice USB. Sensory jsou napájeny přímo ze zdroje 24 V. Po stabilizaci tohoto napětí v řídicí jednotce jsou další části napájeny 3,3 V a 5 V.



Obrázek 17 Schéma zapojené termodynamických senzorů (Autor DP)

## 6 VÝSLEDKY

Lepek je důležitý v pekařských výrobcích, z důvodu dodávání viskoelastických vlastností do těsta. Bezlepkové těsto z důvodu absence lepku postrádá dostatečnou pružnost, elasticitu a soudržnost. Z toho důvodu byla mouka v těstě částečně nahrazována (5 % a 10 %) homogenizátem potemníka moučného a byly monitorovány vybrané fermentační vlastnosti těsta. Během zpracování bylo zjištěno, že bezlepkové těsto není soudržné a nemá dostatečnou elasticitu. Přídavkem jedlého hmyzu byly tyto negativní vlastnosti částečně potlačeny. Ze subjektivního smyslového hodnocení autorky práce se těsto lépe zpracovávalo (hnětlo), vykazovalo známky lepší elasticity a soudržnosti a pozorovatelně nabývalo většího objemu (Obrázek 18 a Obrázek 19). Dále se těsto projevovalo lepší vůní, chutí a barvou. Výhodou je také dodání živočišné bílkoviny do struktury pečiva.



a) Těsta na začátku kynutí



b) Těsta v průběhu kynutí

Obrázek 18 – Fotografie těst (zleva 0 %, 5 %, 10 % hmyzí moučky v těstě) (Autor DP)



a) Bez přídavku hmyzu



b) 10 % přídavek hmyzu

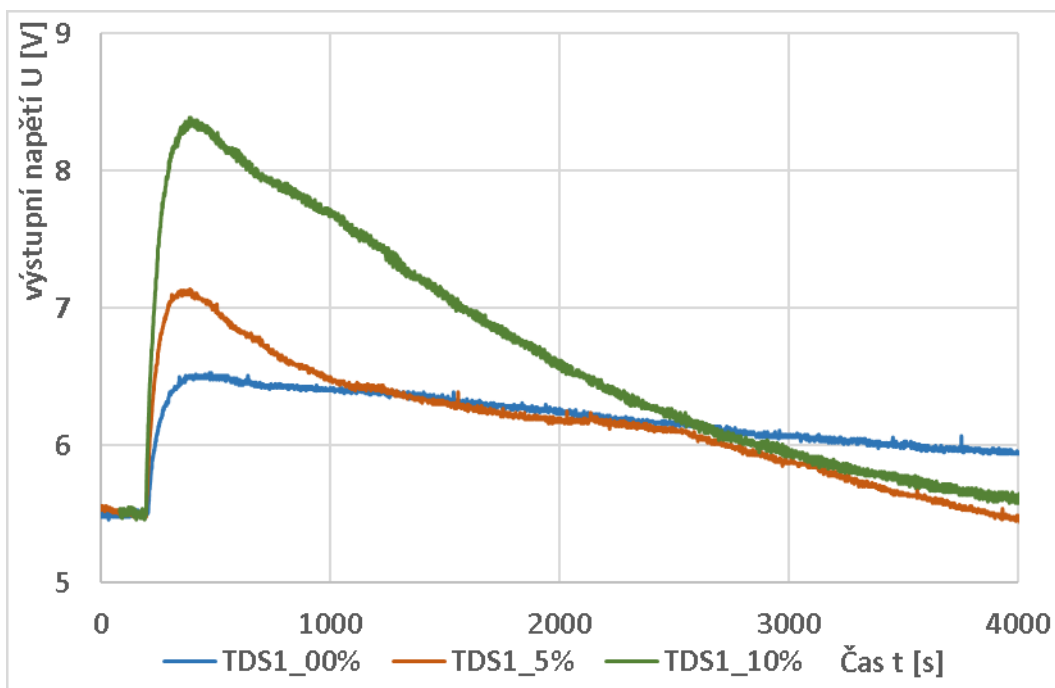
Obrázek 19 Porovnání struktury fermentovaných těst s bezlepkovou moukou Nature's promise – směs univerzal (Autor DP)

Fermentační procesy byly monitorovány dvěma experimentálními sensorickými systémy - elektronickým nosem a termodynamickými senzory. Výsledky z nich jsou uvedeny níže.

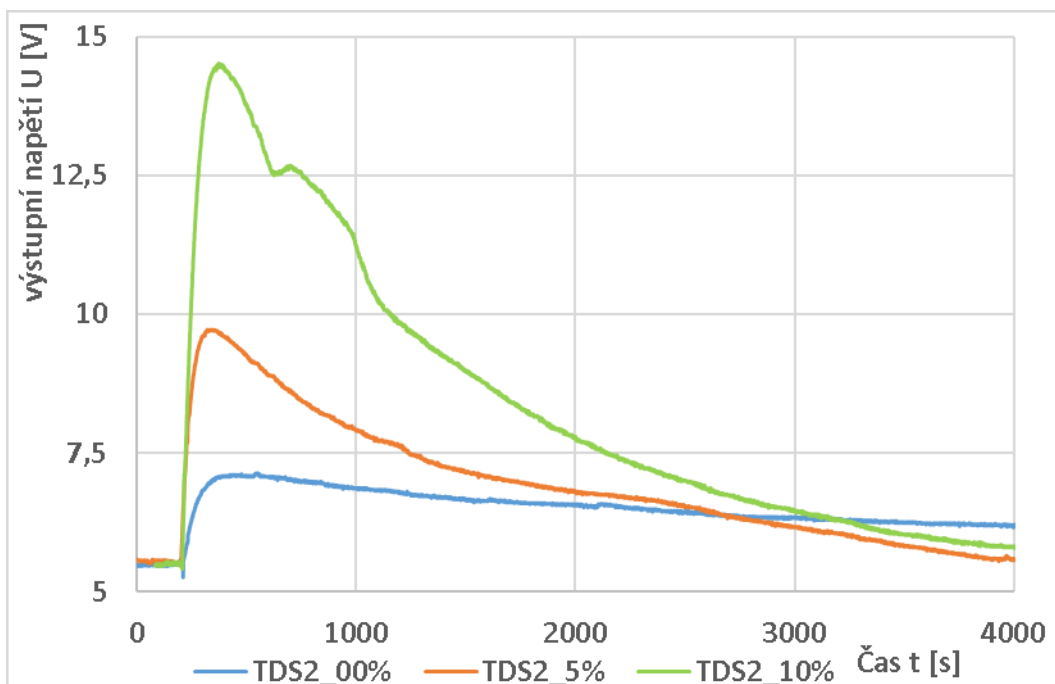
### **6.1 Měření těst s bezlepkovou moukou Nature's promise univerzal pomocí experimentálních termodynamických senzorů**

Měřicí a záznamové zařízení pro měření pomocí termodynamických senzorů obsahovalo dvě čidla s různou citlivostí. Pro měření byly použity vzorky s částečným nahrazením

bezlepkové mouky 0 %, 5 % a 10 % moučkou z potemníka moučného – pro každou koncentraci dva vzorky. Každé měřící čidlo stanovilo fermentační vlastnosti u jednoho vzorku. Každá měřící soustava má jinou citlivost. Výsledné grafy pro jednotlivá čidla TDS1 a TDS2 jsou uvedeny níže, Obrázek 20 a Obrázek 21.



Obrázek 20 – Záznam fermentačního průběhu – TDS1

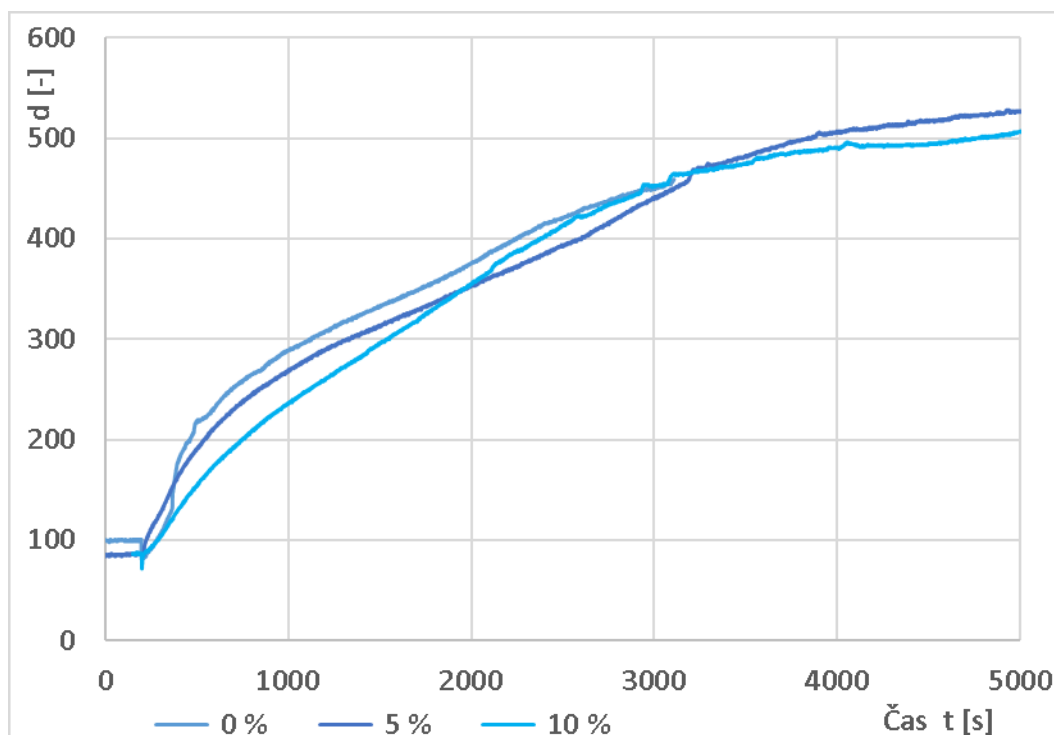


Obrázek 21 – Záznam fermentačního průběhu – TDS2

Grafy z obou měřících jednotek TDS vykazují stejné výsledky, pouze s jinou citlivostí. Charakter grafů pro bezlepkové těsto bez přídavku hmyzu má krátký prudký nárůst a dále velmi pozvolný klesající trend. Zatímco u vzorků s přídavkem hmyzu dojde v počátku k prudkému nárůstu, který je vyšší než u těsta bez přídavku hmyzu, ale klesání v druhé části je strmější. Grafy se po určité době dostanou pod křivku těsta bez přídavku hmyzu. Předpokládá se, že hmyz obsahuje nějakou bioaktivní látku podporující růst kvasinek, které je obsažena v omezeném množství a je brzo vyčerpána. V další části grafů však aktivita kvasinek klesá pod aktivitu kvasinek v bezlepkovém těstě – pravděpodobně je v těstě s hmyzem v danou chvíli méně dosažitelných živin.

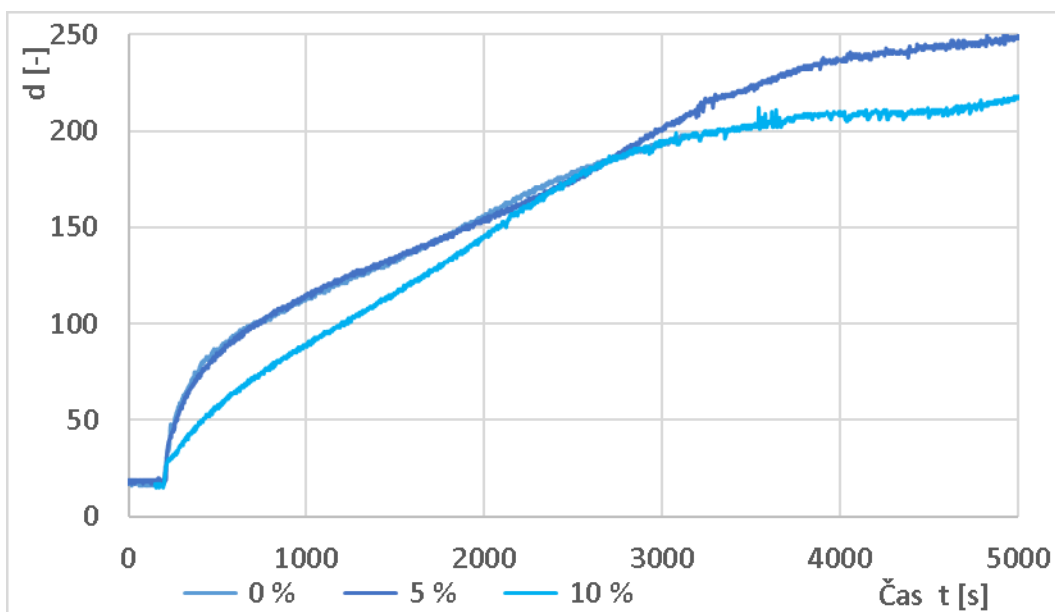
## 6.2 Měření těst s bezlepkovou moukou Nature's promise univerzal pomocí experimentálního elektronického nosu

Experimentální elektronický nos obsahuje tři jednoduchá chemorezistivní čidla MQ3, MQ8 a MQ135, které jsou zaměřena na měření ethanolu, vodíku a amoniaku v okolí čidla. Dále je součástí měřícího systému kombinovaný senzor SGP-30, který umožňuje měření koncentrace těkavých organických látek a z měření vodíku a ethanolu je dopočítávána koncentrace oxidu uhličitého. Pro doplňkové měření jednotlivých charakteristik fermentace těsta, pomocí elektronického nosu byl použit jeden vzorek pro každou koncentraci (0 %, 5 % a 10 % hmyzí moučky). Výsledky pro senzory jsou uvedeny na následujících obrázcích.

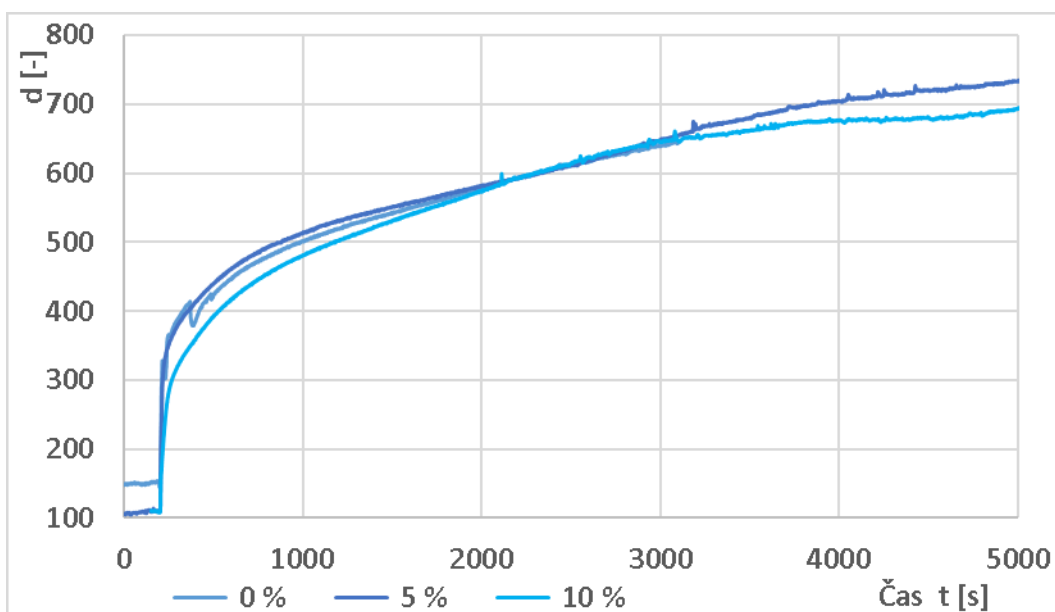




Obrázek 22 – Měření vodíku senzorem MQ 8



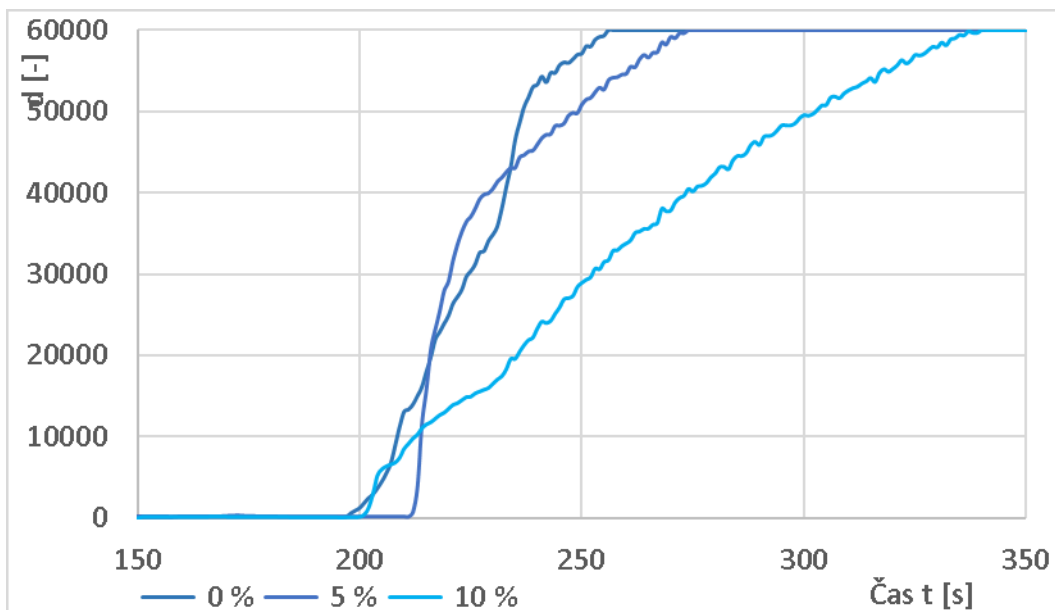
Obrázek 23 – Měření amoniaku senzorem MQ 135



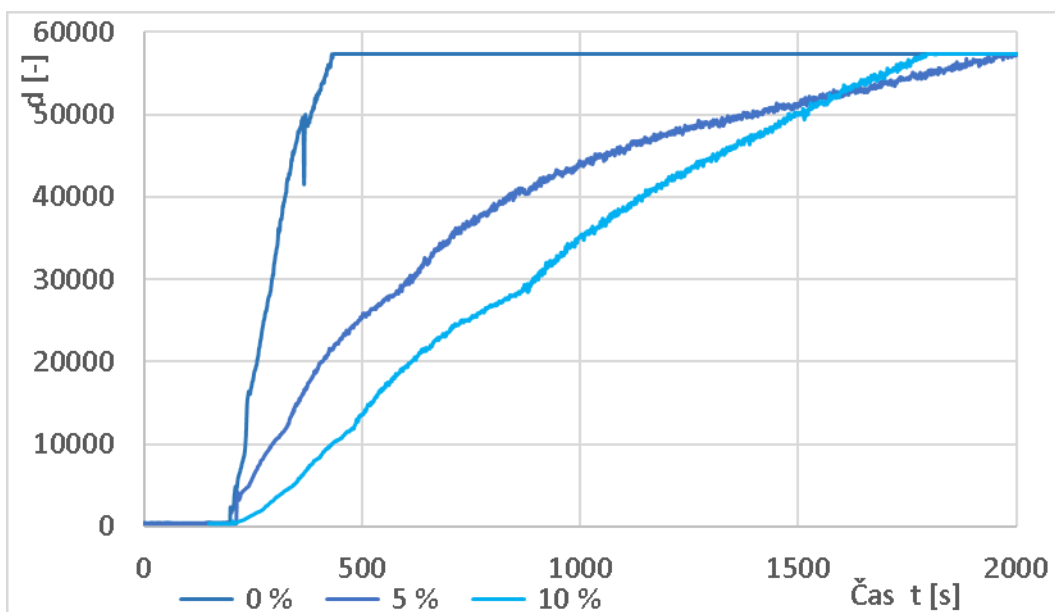
Obrázek 24 – Měření ethanolu senzorem MQ 3

Senzor MQ 135 určený pro měření amoniaku zaznamenal podobná měření jako u vodíku (senzor MQ 8), jen s rozdílem že křivka vzorku bez přídavku hmyzí moučky a s přídavkem 5 % jsou téměř totožné. Vzorek s 10 % vykazuje pozvolný začátek a dřívější klesání.

Senzory MQ 3 určený pro měření ethanolu stanovil strmější nárůst všech křivek, než předchozí senzory. Předpokládá se, že ethanol se dostane do vzduchu měřicí soustavy jako první.



Obrázek 25 – Měření TVOC kombinovaným senzorem SGP-30

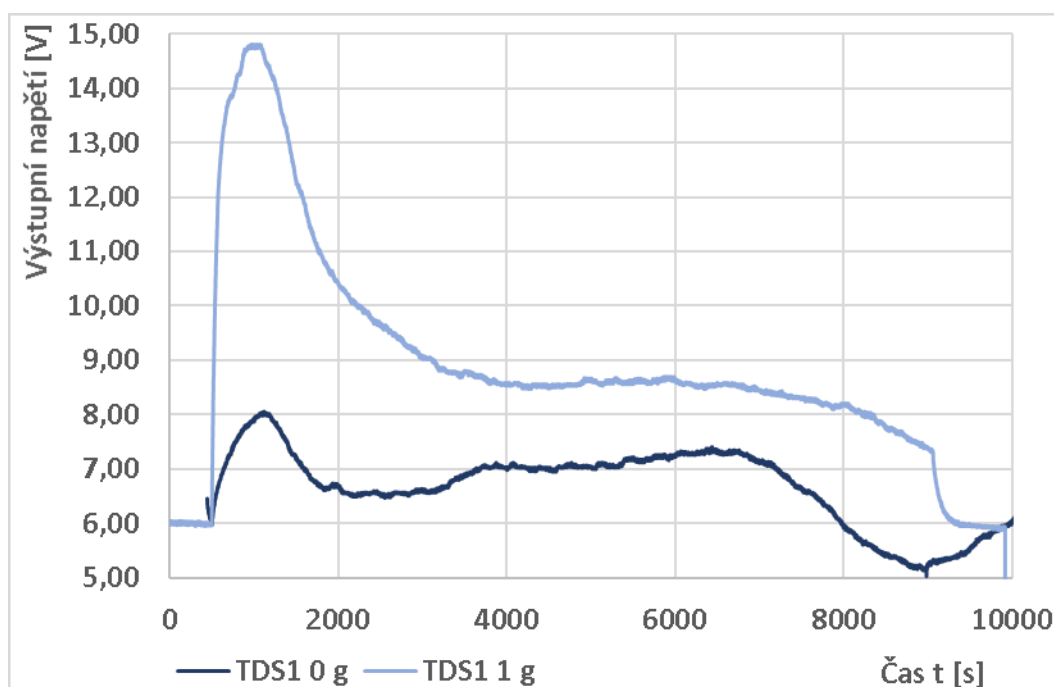


Obrázek 26 – Měření eCO<sub>2</sub> kombinovaným senzorem SGP-30

Kombinované senzory SGP-30 určené k měření TVOC a eCO<sub>2</sub> mají nedostatečný měřicí rozsah pro měření. Čidlo pro měření organických těkavých látek velmi rychle překročilo svůj měřicí rozsah vzniklými plyny a po dobu měření ukazovalo maximální hodnotu. Vzorky s 0 % a 5 % přídavky hmyzí moučky mají nárůst strmější. Při měření ekvivalentu oxidu uhličitého došlo nejprve k nasycení čidla u vzorku bez přídavku hmyzí moučky. Vzorky s přídavkem hmyzu měly nárůst křivky pozvolnější. Předpokládá se, že důvodem je lepší elasticita těsta, která zadržuje více plynu, proto dojde k uvolnění do vzduchu později.

### 6.3 Aktivované droždí

Po měření těst s bezlepkovou moukou Nature's promise univerzal bylo vyzkoušeno měření aktivovaného bezlepkového droždí. Jeden vzorek byl připraven jako u přípravy aktivace kvasinek u těst využívajících bezlepkovou mouku Nature's promise univerzal (droždí, mléko a cukr). U druhého vzorku byl navíc přidán 1 g moučky z larev potměníka moučného. Výsledný graf pro systém s menší citlivostí ukazuje obrázek 27. Z obrázku je zřejmé, že po přidání hmyzu dojde k větším změnám teplotních vlastností, což by mohlo znamenat zvýšení aktivity kvasinek. Vzorek obohacený hmyzí moučkou vykazuje vyšší tepelnou odezvu a senzoricky (vizuálně) zlepšuje průběh fermentace.

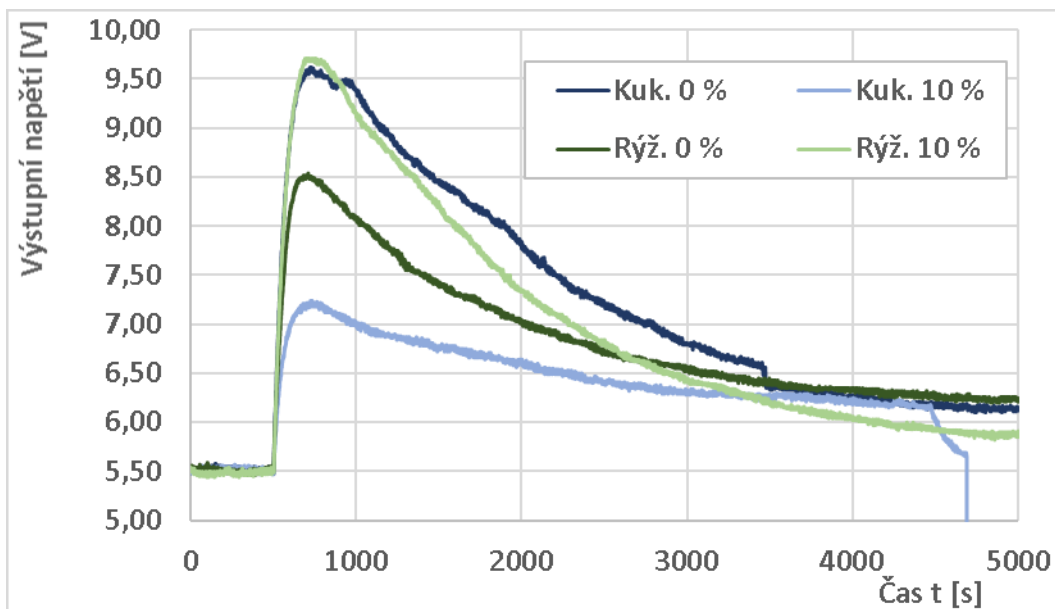


Obrázek 27 – Měření aktivovaného droždí bez hmyzu a hmyzem na systému TDS1

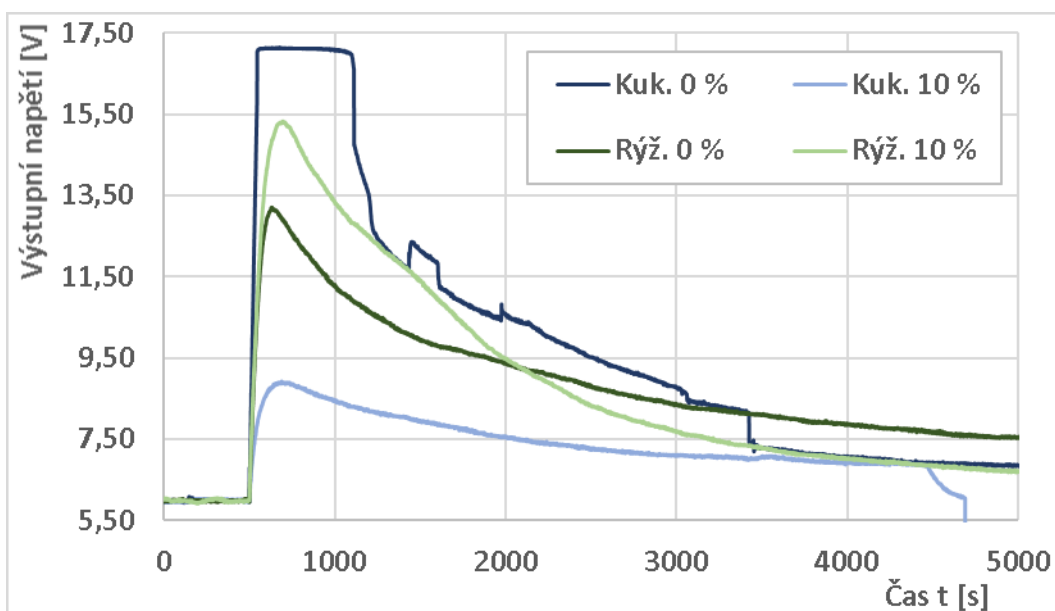
### 6.4 Rýžová a kukuřičná mouka

Nakonec byly změřeny jednodruhové mouky – rýžová a kukuřičná. Záznam fermentačního průběhu pro rýžovou a kukuřičnou mouku pomocí systému TDS1 a TDS2 je na obrázku 28 a obrázku 29. Průběh výstupního signálu ze senzoru byl u rýžové mouky obdobný jako u dříve používané univerzální mouky. Po náhradě 10 % univerzální mouky moučkou z larev potměníka moučného dochází ke zvýšení výstupního signálu a k předpokládané vyšší aktivitě kvasinek. K tomuto však nedochází u mouky kukuřičné, kde je ukázán pokles signálu po přidavku moučky z hmyzu. Důvodem může být jiné nutriční složení mouky.

Vzhledem k měření těchto výsledků bez opakování z časových důvodů, by však bylo nutné tyto výsledky v budoucnosti potvrdit dalším měřením.



Obrázek 28 – Záznam fermentačního průběhu pro rýžovou a kukuřičnou mouku pomocí systému TDS1



Obrázek 29 – Záznam fermentačního průběhu pro rýžovou a kukuřičnou mouku pomocí systému TDS2

## 7 DISKUZE

Článek Adámek *et al.* (2020) uvádí vliv přídavku moučky z larev potměníka moučného v množství 0 %, 10 % a 20 % na vlastnosti vniklého těsta z pšeničné mouky. Měření bylo prováděno pomocí experimentálního elektronického nosu, kde se zvyšováním koncentrace prášku z larev potměníka moučného dochází ke zvyšování množství jednotlivých sledovaných plynů do 20 % prášku z larev v těstě, avšak při měření samostatné moučky z potměníka moučného byla stanovena velmi nízká odezva pro jednotlivé plyny. U termodynamických senzorů dochází k postupnému snižování výstupních signálů při zvyšování koncentrace moučky z hmyzu v těstě.

Toto je rozdílné oproti výsledkům zjištěným v této práci, kdy při zvyšování koncentrace hmyzí moučky v těstě dochází ke zvyšování výstupní odezvy systému. Výrazně je tento vliv vidět u termodynamického systému, kdy už při zvýšení koncentrace hmyzí moučky v těstě o 5 % dochází k výraznému zvýšení signálu z čidel. Ještě více je pak tento vliv zřetelný při koncentraci 10 %. Předpokládá se, že při dalším zvyšování koncentrace hmyzí moučky by výstupní signály dosáhly určitého maxima a dále by se nezvětšovaly a docházelo by k poklesu obdobně, jako je tomu u článku Adámek *et al.* (2020). Ve srovnání s článkem Adámek *et al.* (2020) nedochází na počátku ke snížení křivky s následným nárůstem, ale dochází již přímo k nárůstu výstupní odezvy. To je způsobeno jiným postupem a recepturou při výrobě vzorků. V této práci, jak ukazuje obrázek 20 a 21, dochází k velmi rychlému nárůstu signálů a následnému pozvolnému poklesu, zatím co v porovnávaném článku dochází podle obsahu hmyzí moučky ve vzorku k mírnému nárůstu. Z těchto důvodů je v této práci doporučováno množství 10 %. To je ale v protikladu s ostatními autory, kteří prováděli u těst s hmyzem jiné analýzy. Např. Roncoliny *et al.* (2019) ve své studii posuzují vliv přídavku prášku z potměníka moučného do pšeničného chlebového těsta. Pro svůj experiment zvolili obsah hmyzího prášku 5 % a 10 %. Pro kynoucí vlastnosti je nejvhodnější podle jejich experimentu přídavek 5 % hmyzího prášku, takový chléb měl největší objem a nízkou tuhost střídky.

Kowalczewski *et al.* (2017) ve své práci nahrazovali škrob u bezlepkového chleba cvrččí moukou. Tato práce ukázala, že přídavkem cvrččí mouky došlo ke snížení tvrdosti chleba a zlepšení jeho konzistence z důvodu změny vaznosti vody.

Conté *et al.* (2017) hodnotili vlastnosti kynutí bezlepkového těsta pomocí metody Image Analysis. Autor přidával hmyzí produkt (pyl) do těsta. Jeho studie prokázala při přidavku 3 % a 4 % pylu do těsta, dojde ke zlepšení viskoelastických a fermentačních vlastností těsta.

Při fermentaci dochází k produkci plynu, který je možné detekovat pomocí elektronického nosu. Přestože v této práci téměř neexistují rozdíly výstupních signálů pro různé přídavky mouky z hmyzu v případě jednoduchých senzorů MQ 8, MQ135 a MQ 3, je charakter křivek stejný jako uvádí Adámek *et al.* (2020). Při podrobnějším srovnání je možné odhadnout, že v této práci dochází se zvyšováním koncentrace k poklesu signálů z jednotlivých senzorů, zatímco v článku Adámek *et al.* (2020) dochází ve stejném rozsahu k mírnému nárůstu. U kombinovaného senzoru jsou křivky v této práci v souladu s prací Adámek *et al.* (2020) – se zvyšující se koncentrací hmyzu v těstě dochází k poklesu směrnice křivky.

Pro optimalizaci technologických vlastností bezlepkové mouky se využívají „pekařské zlepšující prostředky“ k dosažení kvalitnějších pekařských výrobků. Tyto prostředky slouží např. k urychlení kynutí, zvětšení objemu výrobků, prodlužují trvanlivost a v neposlední řadě zkracují čas výroby, uvádí ve své práci Mondal a Datta (2007). Zlepšující prostředky se podle účinku a charakteru dělí do několika skupin: enzymové přípravky, chemické prostředky, povrchově aktivní látky a hydrokoloidy.

Často využívaným zlepšujícím prostředkem vhodným jako náhrada pšeničné mouky pro bezlepkové výrobky je guma guar. Galaktomanan označovaný jako guma guar je rostlinný polysacharid získávaný z luštěnin, který zlepšuje objem výrobků, viskoelasticitu těsta a zpomaluje stárnutí. Významné zastoupení chitinu (polysacharid) v těle hmyzu je možným důvodem, že dochází k podobným změnám v těstě jako při použití gumy guar popisuje Gallagher (2004).

Bezlepkové těsto má na rozdíl od pšeničného těsta kratší bílkoviny a proto vykazuje horší fermentační vlastnosti. Za účelem zvýšení kvality kynutí bezlepkového těsta je vhodné přidávat zlepšující prostředky nebo kombinovat různé druhy přirozeně bezlepkových mouk.

Experimentální měření bylo provedeno za účelem ověření vlivu interakce hmyzí moučky a aktivity kvasinek. Předpokládá se, že chemické složení hmyzí moučky, tak jako chemické zlepšovací prostředky mohou ovlivnit strukturu bílkovin a glykoproteinů bezlepkové mouky a tím ovlivnit pružnost, zpracovatelnost a objem výrobků jak uvedla Burešová (2014).

Autorka práce přidala moučku z potemníka moučného přímo do směsi k aktivaci droždí. Z výsledných grafů je zřejmé, že dochází ke zvýšení aktivity kvasinek, které se může projevit v nakypřenosti těsta. K tomuto účelu se běžné přidávají do směsi mouky zlepšující přípravky Burešová (2014).

## 8 ZÁVĚR

Celiakie je jednou z nejčastějších střevních malabsorpčních onemocnění u člověka. Jedinou léčbou je přísné dodržování bezlepkové diety. Pečení bezlepkových výrobků s dobrými sensorickými vlastnostmi pro nemocné celiakií je proto výzva nejen pro pekaře, ale i pro výzkumníky v oblasti cereálií. Důvodem je ztráta významných technologických vlastností těsta, které vytváří právě lepek, díky svým viskoelastickým vlastnostem.

V práci byla popsána celiakie, její formy a důvody používání bezlepkového pečiva. V této kapitole bylo obsaženo porovnání pšeničných a bezlepkových těst.

Další část práce byla zaměřena na jedlý hmyz, zejména na potměníka moučného. V kapitole jsou hlavně uvedeny jeho nutriční hodnoty, jejichž znalost byla důležitá pro experimentální část.

Cílem experimentální části práce bylo fortifikovat bezlepkové mouky moučkou z larev potměníka moučného (0 %; 5 %; 10 %) a výsledky zaznamenat pomocí experimentálního elektronického nosu a systému s termodynamickými senzory. Experimenty byly prováděny v domácích podmínkách na zapůjčených zařízeních.

Z výsledků práce vyplývá, že přídavek hmyzí moučky do těsta ovlivňuje technologické vlastnosti těsta a průběh fermentace je možné monitorovat jak pomocí termodynamických senzorů, tak i pomocí e-nosu. Rozdíl mezi bezlepkovou moukou (Nature's promise – směs univerzal) a moukou s přídavkem hmyzu potvrdil systém s termodynamickými senzory. U elektronického nosu se sice rozdíl nepodařilo detekovat, avšak drobné posuvy v jednotlivých signálech zaznamenány byly.

V další části experimentu bylo provedeno jednoduché měření, kde byla sledována aktivace droždí bez a s přídavkem jedlého hmyzu. Výsledky ukazují, že vzorek obohacený hmyzí moučkou vykazuje vyšší tepelnou odezvu a sensoricky (vizuálně) zlepšuje průběh fermentace.

Nakonec byl v práci proveden experiment s jednodruhovými moukami (hladká kukuřičná a rýžová mouka). Při použití jednodruhové rýžové mouky byl charakter křivek stejný jako v prvním experimentu s univerzální moukou – se vzrůstající koncentrací přídavku hmyzí moučky vzrůstá výstupní odezva systému s termodynamickými senzory. Při použití kukuřičné mouky tento trend potvrzen nebyl.



Přínosem práce spočívá v získání nových poznatků o fortifikaci bezlepkového těsta moučkou z larev potměníka moučného, které umožní zlepšení technologických vlastností těsta, jako je zvýšení objemu těsta, získání vyšší pružnosti, lepší zpracovatelnosti při hnětení a v neposlední řadě zlepšení organoleptických vlastností.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ADÁMEK M, ŘEZNÍČEK M, ADÁMKOVÁ A. *The simple thermodynamic sensors for process monitoring in milk production* [online], Západočeská Univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Copyright © 2007 [cit. 01. 04. 2021]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/574>.

ADÁMEK M., ADÁMKOVÁ A., MLČEK J., VOJÁČKOVÁ K., FAMERA O., BURAN M., HLOBILOVÁ V., BUČKOVÁ M., BARON., SOCHOR J. *Sensor Systems for Detecting Dough Properties Fortified with Grape Pomace and Mealworm Powders*. MDPI - Publisher of Open Access Journals [online]. Copyright © 2020 [cit. 02. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/12/3569>.

ADÁMKOVÁ A., MLČEK J., ADÁMEK M., FÍŠERA M., BORKOVCOVÁ M., BEDNÁŘOVÁ M., HLOBILOVÁ V., VOJÁČKOVÁ K. *Effect of temperature and feed on the mineral content and the content of selected heavy metals in mealworm*. *Journal of Elementology* 2020. [online]. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/343641018\\_Effect\\_of\\_temperature\\_and\\_feed\\_on\\_the\\_mineral\\_content\\_and\\_the\\_content\\_of\\_selected\\_heavy\\_metals\\_in\\_mealworm](https://www.researchgate.net/publication/343641018_Effect_of_temperature_and_feed_on_the_mineral_content_and_the_content_of_selected_heavy_metals_in_mealworm).

ADÁMKOVÁ, A, ADÁMEK, M, MLČEK, J, ET AL. *Welfare of the Mealworm (Tenebrio molitor) Breeding With Regard to Nutrition Value and Food Safety*. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences* [online]. HACCP Consulting, 2017, 11(1), 460-465 [cit. 03. 04. 2021]. ISSN 1337-0960. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/69920>.

ADÁMKOVÁ, A.; KOUŘIMSKÁ, L.; BORKOVCOVÁ, M.; KULMA, M.; MLČEK, J. *Nutritional values of edible Coleoptera (Tenebrio molitor, Zophobas morio and Alphitobius diaperinus) reared in the Czech Republic*. [online]. *Potr. S. J. F. Sci.* 2016, 10, 663–671. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: [https://publikace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/1007166/Fulltext\\_1007166.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://publikace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/1007166/Fulltext_1007166.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

ADAMS, M. R. a M.O MOOS. *Food Microbiology*. 2nd Ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2000. ISBN 0-85404-611-9.

Aktin.cz. *Přílohy*. Sportovní výživa, spalovače tuků, proteinové nápoje, fitness vybavení. Aktin [online]. Copyright © 2021 Selltime s.r.o. [cit. 05. 04. 2021]. Dostupné z: <https://aktin.cz/prilohy>.

AMBIENTE. *V hlavní roli kvasnice - Jídlo a radost*. Jídlo a radost - Ukazujeme, jak to funguje u nás v Ambiente 2020 [online]. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <https://www.jidloaradost.ambi.cz/clanky/v-hlavni-rol-i-kvasnice/>.

Anamneza.cz. *Hrdlo (fauces) - Portál o zdraví - Anamneza.cz* [online]. Copyright © 2003 [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <https://www.anamneza.cz/Hrdlo-fauces-/lidske-telo/30>.

BAEK, M., KIM, M. A., KWON, Y.-S., HWANG, J.-S., GOO, T.-W., JUN, M., AND YUN, E.-Y. ( 2019) *Effects of processing methods on nutritional composition and antioxidant activity of mealworm (Tenebrio molitor) larvae*. Entomological Research, 49: 284– 293. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12363>.

BEDNÁŘOVÁ M, BORKOVCOVÁ M, KOMPRDA T. 2014. *Purine derivat content and amino acid profile in larval stages of three edible insects*. Journal of the Science of Food and Agriculture.

BEDNÁŘOVÁ, M., BORKOVCOVÁ, M., ZORNÍKOVÁ, G., ZEMAN, L. 2010. *Přijatelnost a senzorické hodnocení energetických tyčinek a proteinových tyčinek obohacených o jedlý hmyz*. Potravinarstvo.com [online]. Mendelova Universita Brno. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <http://www.potravinarstvo.com/journal1/index.php/potravinarstvo/article/viewArticle/925>.

BEDNÁŘOVÁ, M.; BORKOVCOVÁ, M.; MLČEK, J.; ROP, O.; ZEMAN, L. *Edible insects species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic*. Acta Univ. Agric. Silv. Mendel. Brun. 2013, LXI, 587–593.

BJARNADOTTIR A. *What is gluten, and why is it bad for some people? Gluten is controversial these days*. 2017 Medical News Today [online]. [cit. 05. 04. 2021].

BORKOVCOVÁ, M., BEDNÁŘOVÁ, M., FIŠER, V., OCKNECHT, P. 2009. *Kuchyně hmyzem zpestřená I*. Lynx. Brno. 135 s. ISBN 978-80-86787-37-4.

BOUVIER G. (1945): Some questions of veterinary entomology and the fight against certain arthropods in tropical Africa. *Acta tropica*, 2: 42–59 (in French).

BUREŠOVÁ, I., KRÁČMAR, S., DVOŘÁKOVÁ, P. a STŘEDA, T. *The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread*. *Journal of Cereal Science*. 2014, 60(2), s. 271-275. ISSN 0733-5210.

BUREŠOVÁ, I., KRÁČMAR, S., DVOŘÁKOVÁ, P. a STŘEDA, T. *The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread*. *Journal of Cereal Science*. 2014, 60(2), s. 271-275. ISSN0733-5210.

Celiak.cz. *CELIAKIE*. Společnost pro bezlepkovou dietu. [online]. © Copyright 2020. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <https://celiak.cz/onemocneni/celiakie/>.

CIHLÁŘOVÁ Eva. *Jak pracovat s bezlepkovými moukami*. Víím, co jím - zdravý životní styl [online]. Copyright © 2021 [cit. 04. 04. 2021]. Dostupné z: [https://www.vimcojim.cz/magazin/clanky/o-vyzive/Jak-pracovat-s-bezlepkovymi-moukami\\_\\_s10010x9765.html](https://www.vimcojim.cz/magazin/clanky/o-vyzive/Jak-pracovat-s-bezlepkovymi-moukami__s10010x9765.html).

CONTE P., CARO A.D, BALESTRA F., PIGA A., FADDA C., *Bee pollen as a functional ingredient in gluten-free bread: A physical-chemical, technological and sensory approach - ScienceDirect*. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Copyright © 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved. [cit. 13. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817308800?via%3Dihub>.

ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. 2., upr. a dopl. vyd. Ilustroval Milan MED, ilustroval Ivan HELEKAL. Praha: Grada, 2004. ISBN isbn80-7169-970-5.

ČSN 46 1011-9. *Rostlinné výrobky, všeobecně – Obiloviny, luštěniny a z nich získávané výrobky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 1988, 4 s., 46 1011.

ČUREČKOVÁ, K. *Srovnání produkce kypřicího plynu v bezlepkových těstech*. Zlín 2016. Diplomová práce, UTB ve Zlíně, Fakulta technologická [online]. [cit. 02. 04. 2021] Dostupné z: <https://digilib.k.utb.cz/handle/10563/38245>.

DEFOLIART, G. R. *Insects as human food: Gene DeFoliart discusses some nutritional and economic aspects*. *Crop Protection*. 1992, 11(5), 395-399.

DYLEVSKÝ, Ivan. *Funkční anatomie*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3240-4.

EFSA, *Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed*. *EFSA Journal*. 2015, 13(10), 4257.

ELIAS J. A., HOMER R. J., HAMID Q., CHUN G. L. (2005): *Chitinases and chitinase-like proteins in TH2 inflammation and asthma*. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 116(3): 497–500.

ENTOMOPHAGY (Eating insects). *Center for Invasive Species* [online]. Copyright © 2021 Regents of the University of California [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <https://civr.ucr.edu/entomophagy-eating-insects>.

FINKE, M. D. 2002. *Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores*. *Zoo Biology*. 21 (3). 269-285.

FINKE, M. D. *Nutrient Content of Insects—Organic Value Recovery Solution Studies*. *Encyclopedia of Entomology* No. 10.1007/0-306-48380-7\_2920, Springer Verlag. 2004 [online]. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/0-306-48380-7\\_2920](https://doi.org/10.1007/0-306-48380-7_2920).

FLEISCHMANN, Jaroslav a Rudolf LINC. *Anatomie člověka II*. 2. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1964, 240 s. ISBN 14-375-73.

FREYE H. B., ESCH R. E., LITWIN C. M., SORKIN L. (1996): *Anaphylaxis to the ingestion and inhalation of Tenebrio molitor (mealworm) and Zophobas morio (superworm)*. *Allergy & Asthma Proceedings*, 17(4): 215–219.

FRIČ, Přemysl a Olga MENGEROVÁ. *Celiakie: bezlepková dieta a rady lékaře*. Čestlice: Medica Publishing, c2008. Dieta (Medica Publishing). ISBN 978-80-85936-62-9.

FRKAL Jan. *Entomofagie*. [Entomofagie.sweb.cz](http://entomofagie.sweb.cz) [online]. Copyright 2001. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <http://entomofagie.sweb.cz/entomofagie.htm>.

FRÜHAUF, Pavel. *Pediatric pro praxi* [online]. 06. 08. 2006 [cit. 27. 03. 2021]. <https://www.pediatricpropraxi.cz>. Dostupné z WWW: <https://www.pediatricpropraxi.cz/pdfs/ped/2016/03/16.pdf>.

GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R. a ARENDT, E. K. *Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products*. Trends in Food Science & Technology. 2004, 15(3-4), s. 143-152. ISSN 0924-2244.

GHOSH S, LEE SM, JUNG C, MEYER-ROCHOW V. B. 2017. *Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea*. Journal of Asia-Pacific Entomology 20:686-694.

GONZÁLEZ, C. M.; GARZÓN, R.; ROSELL, C. M. *Insects as ingredients for bakery goods*. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. Innov. Food. Sci. Emerg. Technol. 2019, 51, 205–210.

HAHN T, ROTH A, FEBEL E, FIJALKOWSKA M, SCHMITT E, ARSIWALLA T, ZIBEK S. 2018. *New methods for high-accuracy insect chitin measurement*. Journal of the Science of Food and Agriculture 98:5069-5073.

HOLIBKOVÁ, Alžběta a Stanislav LAICHMAN. *Přehled anatomie člověka*. 3. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2002. ISBN 80-244-0495-8.

HUBÁLEK J., DRBOHLAVOVÁ J., PRÁŠEK J., BUŠINOVÁ P. a BENDO VÁ M. *Mikrosenzory a mikroelektromechanické systémy* [online]. 1. Brno, 2012 [cit. 03.04.2021]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/absn/filesp/skripta\\_mikrosenzory\\_hubalek.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/absn/filesp/skripta_mikrosenzory_hubalek.pdf).

JÁNEŠ, Pavel. *Monitorovací zařízení pro kvasné procesy využívající termodynamické senzory* [online]. Brno, 2020 [cit. 03. 04. 2021]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/190338>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Martin Adámek.

JOHNSON D. V., LESLIE R. N., SHONO K. (eds): *Forest insects as food: humans bite back*. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, 2008, Chiang Mai, Thajsko, 231 s.

JONGEMA, Y. *List of edible insects of the world. Wageningen* [online]. Wageningen University & Research, the Netherlands: Wageningen, 2015 [cit. 03. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>.

KOHOUT, Pavel, PAVLÍČKOVÁ, Jaroslava. *Celiakie a bezlepková dieta: dieta a rady lékaře*. 3. vyd. Praha: Maxdorf, 2006. 166 s. ISBN 80-7345-070-4.

KOHOUT, Pavel. *Celiakie v ambulantní praxi*. Medicinapropraxi.cz [online]. Copyright © 2007. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <https://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2007/06/02.pdf>.

KOPECKÁ, J., MATOULKOVÁ, D. a NĚMEC, M. *Kvasinky a jejich využití*. Kvasný průmysl 2012, 58(11-12), s. 326-335. ISSN 0023-5830.

KOŠÍK.CZ [online]. *Produkt Dukátové buchtičky*. Copyright © Košík.cz, s. r. o. 2015 [cit. 05. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.kosik.cz/produkt/penam-buchticky-dukatove>.

KOUŘIMSKÁ, L., ADÁMKOVÁ, A. *Nutritional and sensory quality of edible insects. Find and share research* [online]. Copyright © 2016 The Auth [cit. 03. 04. 2021]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/305396814\\_Nutritional\\_and\\_sensory\\_quality\\_of\\_edible](https://www.researchgate.net/publication/305396814_Nutritional_and_sensory_quality_of_edible).

KOWALCZEWSKI P. L., WALKOWIAK K., MASEWICZ L., BARTCZAK O., LEWANDOWICZ J., KUBIAK P., BARANOWSKA H. M., *Gluten-Free Bread with Cricket Powder—Mechanical Properties and Molecular Water Dynamics in Dough and Ready Product* | HTML. MDPI - Publisher of Open Access Journals [online]. Copyright © 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution [cit. 14. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2304-8158/8/7/240/htm>.

KUČEROVÁ, J. *Technologie cereálií*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004. 141 s. ISBN 80-7157-811-8.

LATTA, Jiří. *Celiakie – od screeningu k diagnóze*. Internimedicina.cz [online]. Copyright © 2012. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2012/05/09.pdf>.

LI, L. Y., ZHAO, Z. R., LIU, H.. *Feasibility of feeding yellow mealworm (Tenebrio molitor L.) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans*. Acta Astronautica. 2013, 92(1), 103-109.

*Lidské tělo: srozumitelný a zevrubný průvodce po strukturách a funkcích lidského organismu*. 2. vyd. Bratislava: Gemini, 1992. ISBN 80-85265-59-1.

LUKÁŠ, Karel a Jiří HOCH, ed. *Nemoci střev*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0353-9.

LUKÁŠ, Karel. *Gastroenterologie a hepatologie pro zdravotní sestry*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1283-0.

LÜLLMANN-RAUCH, Renate. *Histologie*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3729-4.

MAHMOUD RM., YOUSIF E. I., GADALLAH M. GE, ALAWNEH A.R., *Formulations and quality characterization of gluten-free Egyptian balady flat bread*. Annals of Agricultural Sciences, 2013 [online]. [cit. 05. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0570178313000055>.

MANDITSERA F. A., LUNING P., FOGLIANO V., LAKEMOND C. *Effect of domestic cooking methods on protein digestibility and mineral bioaccessibility of wild harvested adult edible insects* [online]. Copyright © 2016 American Society of Animal Science. All rights reserved. [cit. 03. 04. 2021]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/332040996\\_Effect\\_of\\_domestic\\_cooking\\_methods\\_on\\_protein\\_digestibility\\_and\\_mineral\\_bioaccessibility\\_of\\_wild\\_harvested\\_adult\\_edible\\_insects](https://www.researchgate.net/publication/332040996_Effect_of_domestic_cooking_methods_on_protein_digestibility_and_mineral_bioaccessibility_of_wild_harvested_adult_edible_insects).

MARIOD A. A., ABDEL-WAHAB S. I., AIN N. M., 2011. *Proximate amino acid, fatty acid and mineral composition of two Sudanese edible pentatomid in-sects*. International Journal of Tropical Insect Science, 31 (3): 145–153.

Medicina.cz. *Střeva*. [online]. Copyright © 2001 [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <http://medicina.cz/clanky/2566/34/Streva/>.

MENDEZ, M. L.; PREEDY, V. *Electronic Noses and Tongues in Food Science*, 3rd ed.; Academic Press, Elsevier Inc.: London, UK, 2016; 332. ISBN 9780128002438.



MERKUNOVÁ A., OREL M. *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory*. Praha: Grada, 2008. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-1521-6.

MITSUHASHI, J. *The future use of insects as human food*. In *Forest Insects as Food: Humans Bite Back, Proceedings of the a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development*, Chiang Mai, Thailand, 19–21 February 2008.

MLCEK, J., ROP, O., BORKOVCOVA, M., BEDNAROVA, M. 2014. *A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe - A Review*. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 64 (3). 147-157.

MLČEK, J., ADÁMEK, M., ADÁMKOVÁ, A., BORKOVCOVÁ, M., BEDNÁŘOVÁ, M., SKÁCEL, J. 2017. *Detection of selected heavy metals and micronutrients in edible insect and their dependency on the feed using XRF spectrometry*. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences [online]. [cit. 27. 03. 2021] Dostupné z: <https://www.potravinarstvo.com/journal1/index.php/potravinarstvo/article/view/850>.

MONDAL Arpita, DATTA A. K., *Bread baking*. ScienceDirect.com. [online]. Copyright © 2007 [cit. 14. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877407005869>

MONDAL, A. a DATTA, A. K. *Bread baking - A review*. Journal of Food Engineering. 2008, 86(4), s. 465-474. ISSN 0260-8774.

MORALES-RAMOS J. A., GUADALUPE R. M., SHELBY S. K., COUDRON A. T. *Nutritional Value of Pupae Versus Larvae of Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae) as Food for Rearing Podisus maculiventris (Heteroptera: Pentatomidae)*. Journal of Economic Entomology | Oxford Academic. Document Moved [online]. Copyright © 2015 Oxford University Press [cit. 05. 04. 2021]. Dostupné z: <https://academic.oup.com/jee/article/109/2/564/2379517>.

MUCHOVÁ, Zdenka. *Technológia spracovania cereálií*: Pre SPU. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2005. ISBN 80-8069-590-3.

NOWAK V, PERSIJN D, RITTENSCHOBBER D, CHARRONDIERE UR. 2016. *Review of food composition data for edible insects*. Food Chemistry 193:39-46.

PAUL, A., FREDERICH, M., UYTENBROECK, R., HATT, S., MALIK, P., LEBECQUE, S., HAMAIDIA, M., MIAZEK, K., GOFFIN, D., WILLEMS, L., DELEU, M., FAUCONNIER, M. L., RICHEL, A., DE PAUW, E., BLECKER, C., MONTY, A., FRANCIS, F., HAUBRUGE, E., DANTHINE, S. 2016. *Grasshoppers as a food source? A review*. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. 20 (1). 337-352.

PERIS, M., ESCUDER-GILABERT L. *A 21st century technique for food control: Electronic noses*. *Analytica Chimica Acta*. 2009, 638(1), 1-15. DOI: 10.1016/j.aca.2009.02.009. ISSN 00032670. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003267009002268>.

PERSAUD K, DODD G. *Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose*. *Nature*. 1982 Sep 23;299(5881):352-5. DOI: 10.1038/299352a0. PMID: 7110356.

PROTEIN.CZ. *Bezlepkový protein*. E-shop Protein.cz [online]. Copyright © 2000-2021 [cit. 04. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.protein.cz/mate-celiakii-vyzkousejte-bezlepkovy-protein-469-clanok>.

RAMOS-ELORDUY J., MORENO J. M. P., PRADO E. E., PEREZ M. A., OTERO J. L., DE GUEVARA O. L., 1997: *Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10: 142-157.

RAMOS-ELORDUY, J. 1998. *Creepy Crawly Cuisine: The Gourmet Guide to Edible Insects*. Rochester, Vermont, USA: Park Street Press, Inner Traditions/Bear & Co, p. 150. ISBN 10089281747X.

RAVZANAADII N., SEONG-HYUN K., WON HO CH., SEONG-JIN H. A NAM JUNG K. *Nutritional Value of Mealworm, Tenebrio molitor as Food Source*. *International Journal of Industrial Entomology* [online]. [cit. 04. 04. 2021]. 2012, 2012(25), 93-98.

RAVZANAADII N., SEONG-HYUN K., WON-HO CH., SEONG-JIN H., NAM-JUNG K. *International Journal of Industrial Entomology*. Copyright © 2008 [cit. 03. 04. 2021] [online]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/journal/International-Journal-of-Industrial-Entomology-1598-3579>.

RÖCK, F., BARSAN N. a WEIMAR U. *Electronic Nose: Current Status and Future Trends. Chemical Reviews*. 2008, 108(2), 705-725. DOI: 10.1021/cr068121q. ISSN 0009-2665. [cit. 02. 04. 2021]. Dostupné také z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr068121q>.

ROKYTA, R., MAREŠOVÁ D. a TURKOVÁ Z., *Somatologie*. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2010. ISBN 978-80-7357-454-3.

RONCOLINI A., MILANOVIĆ V., CARDINALI F., OSIMANI A., CRISTIANA GAROFALO C., SABBATINI R., CLEMENTI F., PASQUINI M., MOZZON M., FOLIGNI R., RAFFAELLI N., ZAMPORLINI F., MINAZZATO G., *Protein fortification with mealworm (Tenebrio molitor L.) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread*. [online]. Copyright © 2019 Roncolini et al. This is an open access article distributed under the terms of the [cit. 13. 04. 2021]. Dostupné z: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0211747>.

RUMPOLD BIRGIT A., SCHLÜTER OLIVER K. *Nutritional composition and safety aspects of edible insects*. Wiley Online Library 2013 [online]. [cit. 02. 04. 2021]. Dostupné z: <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/jhome/109582333>.

ŘEZNÍČEK M. *Termodynamické senzory na principu bilanční rovnováhy*; Ing. Michal Řezníček, Ph.D. 2014 - 80047 – VUT. Vysoké učení technické v Brně [online]. Copyright © 2021 VUT [cit. 02. 04. 2021]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp\\_id=80047](https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=80047).

SENS Foods CZ s.r.o., Společnost SENS Radek Hušek a Daniel Vach.

ŠKRABALOVÁ, B. *Entomofágie – hmyz na talíři*. Brno, 2009 [online]. Bakalářská práce. Masarykova Universita, pedagogická fakulta, katedra biologie [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/c6lkv/text\\_bc.prace.pdf](https://is.muni.cz/th/c6lkv/text_bc.prace.pdf).

ŠKRABALOVÁ, B. *Vytvoření webové stránky zaměřené na chov hmyzu, entomofáгии a přežití v přírodě*. Brno, 2011 [online]. Diplomová práce. Masarykova Universita, pedagogická fakulta, katedra biologie [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/ajr63/text\\_dip.prace.skrabalova.finalIS.pdf](https://is.muni.cz/th/ajr63/text_dip.prace.skrabalova.finalIS.pdf).

TANČINOVÁ, D., MAKOVÁ, J., FELŠÖCIOVÁ, S. et al., 2008. *Mikrobiológia potravín*. 2. upravené vydanie. Nitra: SPU. 2008, 150 p. ISBN 978-80-552-0145-0.

TZOMPA-SOSA DA, YI L., VAN VALENBERG H. J. F., VAN BOEKEL M., LAKEMOND CMM. *Insect lipid profile: Aqueous versus organic solvent-based extraction methods*(Article) 2014 [online]. [cit. 27. 03. 2021]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84902602875&origin=inward&txGid=0e87dee9db77927c58c3e3cb0d719ca1>.

van HUIS A., *Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security* [online]. Annual Review of Entomology, 2013 [cit. 27. 03. 2021]. ISSN 563-583. Dostupné z: [https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-ento-120811-153704#\\_i24](https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-ento-120811-153704#_i24).

VERKERK M. C., TRAMPER J., VAN TRIJP J. C. M., MARTENS D. E., 2007: *Insect cells for human food*. Biotechnology Advances, 25: 198–202.

Vitalia.cz. *Bezlepkové pivo má být k nerozeznání od klasiky*. Vitalia.cz - chytře na život [online]. Copyright © 2009 [cit. 05. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.vitalia.cz/clanky/bezlepkove-pivo-ma-byt-k-nerozeznani-od-klasiky/>.

WANG M., LICHTENDONK W. J., PLIJTER J.J., HAMER R.J., *An explanation for the combined effect of xylanase–glucose oxidase in dough systems*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005 [online]. [cit. 05. 04. 2021]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.2107>.

WHO and FAO, 2007 WHO (5th ed.), WHO, FAO, Rome (2007).

WILSON, AD A BAIETTO, M. Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies. *Senzory*, 2009. [cit. 05. 04. 2021] 5099-5148. <https://doi.org/10.3390/s90705099>.

WORMUP! - *Křupaví červíci*. Koupit jedlý hmyz. [online]. Copyright © 2021 WormUP [cit. 03. 04. 2021]. Dostupné z: <https://www.wormup.com/>.

XIAOMING CH., YING F., HONG Z., ZHIYONG CH., 2008: *Review of the nutritive value of edible insects*. Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects, s 65-84. In: DURST P. B.

ZAHRADNÍK, J. *Brouci*. Praha: AVENTINUM, 2008. ISBN 978-80-86858-43-2.

ZIELIŇSKA, E., BARANIAK, B., KARAŠ, M., RYBCZYŇSKA, K., JAKUBCZYK, A..  
*Se-lected species of edible insects as a source of nutrient composition*. 2015 Food Re-search  
International. 77 (3). 460-466.

ŽENA-IN - *Věda v kuchyni: Ono to kvasí, ono to bobtná!*. ŽENA-IN [online]. Copyright ©  
2000 [cit. 04. 04. 2021]. Dostupné z: <https://zena-in.cz/clanek/veda-v-kuchyni-ono-to-kvasi-ono-to-bobtna>.

ŽIJ BEZ LEPKU. *Dukátové buchtičky bez lepku 400*. Žij bez lepku - e-shop s bezlepkovými  
potravunami 2021 [online]. [cit. 05. 04. 2021] Dostupné z:  
<https://www.zijbezlepku.cz/dukatove-buchticky-bez-lepku>

## **SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

AMK Aminokyselina

EFSA European Food Safety Authority, Evropský úřad pro bezpečnost potravin

FAO Organization of the United Nations, Organizace pro výživu a zemědělství

GIT Gastrointestinální systém

MK Mastná kyselina

TDS Termodynamický senzor

UN United Nations, Organizace spojených národů

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Mikrokšky v tenkém střevě zdravé vs. postižené celiakií (Protein.cz) .....	14
Obrázek 2 Běžné dukátové buchtičky Penam (Košík.cz, 2015) .....	18
Obrázek 3 Bezlepkové dukátové Buchtičky (Zijbezlepku.cz, 2021) .....	18
Obrázek 4 Potemník moučný – larva na litu rýmovníku (Autor DP) .....	24
Obrázek 5 Potemník moučný – larva (Autor DP) .....	25
Obrázek 6 Potemník moučný – kukla (Autor DP) .....	25
Obrázek 7 Potemník moučný – dospělý brouk (Autor DP) .....	25
Obrázek 8 Chovná nádoba s <i>Tenebrio molitor</i> (Autor DP) .....	26
Obrázek 9 Měření kynutí těsta elektronickým nosem (Autor DP) .....	31
Obrázek 10 Schéma tepelného obvodu termodynamických senzorů (Autor DP) .....	32
Obrázek 11 Bezlepková směs univerzal Nature's promise (Autor DP) .....	36
Obrázek 12 Čerstvé pekařské droždí (Autor DP) .....	36
Obrázek 13 Potemník moučný (Autor DP) .....	37
Obrázek 14 Potemník moučný homogenizát (Autor DP) .....	37
Obrázek 15 Rýžová mouka (Autor DP) .....	40
Obrázek 16 Kukuřičná mouka (Autor DP) .....	40
Obrázek 17 Schéma zapojené termodynamických senzorů (Autor DP) .....	42
Obrázek 18 – Fotografie těst (zleva 0 %, 5 %, 10 % hmyzí moučky v těstě) (Autor DP)	
a) Těsta na začátku kynutí .....	43
b) Těsta v průběhu kynutí .....	43
Obrázek 19 Porovnání struktury fermentovaných těst s bezlepkovou moukou Nature's promise – směs univerzal (Autor DP)	
a) Bez přídavku hmyzu .....	44
b) 10% přídavek hmyzu .....	44

Obrázek 20 – Záznam fermentačního průběhu – TDS 1 .....	45
Obrázek 21 – Záznam fermentačního průběhu – TDS 2 .....	45
Obrázek 22 – Měření vodíku senzorem MQ 8 .....	46
Obrázek 23 – Měření amoniaku senzorem MQ 135 .....	47
Obrázek 24 – Měření ethanolu senzorem MQ 3 .....	47
Obrázek 25 – Měření TVOC kombinovaným senzorem SGP-30 .....	48
Obrázek 26 – Měření eCO2 kombinovaným senzorem SGP-30 .....	48
Obrázek 27 – Měření aktivovaného droždí bez hmyzu a hmyzem na systému TDS1 .....	49
Obrázek 28 – Záznam fermentačního průběhu pro rýžovou a kukuřičnou mouku pomocí systému TDS1 .....	50
Obrázek 29 – Záznam fermentačního průběhu pro rýžovou a kukuřičnou mouku pomocí systému TDS2 .....	50



## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2 Srovnání výživových hodnot bezlepkové/ tradiční dukátové buchtičky .....	18
Tabulka 2 Množství aminokyselin (g/kg) u larev, dospělců a svleků <i>Tenebrio molitor</i> ( <sup>1</sup> Finke, 2002; <sup>2</sup> Ravzanaadii et al., 2012) .....	25
Tabulka 3 Množství nasycených a nenasycených mastných kyselin <i>Tenebrio molitor</i> včetně poměrů u larvy, kukly a dospělého brouka ( <sup>1</sup> Adámková (2017), <sup>2</sup> Bednářová (2013), <sup>3</sup> Finke (2002)) .....	26
Tabulka 4 Nutriční hodnoty .....	35
Tabulka 5 Nutriční hodnoty .....	35
Tabulka 6 Nutriční hodnoty .....	39