

Stravitelnost a nutriční znaky technologicky zpracovaných pšeničných zrn

Bc. Tereza Mrlíková

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. Tereza Mrlíková |
| Osobní číslo: | T19473 |
| Studijní program: | N0721A210004 Technologie potravin |
| Studijní obor: | Technologie potravin |
| Forma studia: | Prezenční |
| Téma práce: | Stravitelnost a nutriční znaky technologicky zpracovaných pšeničných zrn |

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

1. Nutriční znaky pšeničných zrn.
2. Shrnutí metody stravitelnosti.

II. Experimentální část

1. Stanovení jakostních znaků u technologicky zpracovaných zrn pšenice před a po stravitelnosti technikou *in vitro*.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Pérez-Alvarez, J.A., Fernández-López, J. (2018). *In vitro* digestion models suitable for foods: Opportunities for new fields of application and challenges. *Food Research International* 107, 423-436
- [2] Delamare, G.Y.F. et al. (2020). Incorporation of a novel leguminous ingredient into savoury biscuits reduces their starch digestibility: Implications for lowering the Glycemic Index of cereal products. *Food Chemistry: X* 5, 100078
- [3] Muge Hendek, E., Muberra, B., Rabia, A. (2020). Effect of cereals milling on the contents of phytic acid and digestibility of minerals and protein. *Ukrainian Food Journal* 9, 136-147
- [4] Mustafa, Y., Hafsa Sena, S., Omer Faruk, M. (2019). Free sugar content, *in vitro* starch digestibility and predicted glycemic index of ready-to-eat breakfast cereals commonly consumed in Turkey: An evaluation of nutritional quality. *International Journal of Biological Macromolecules* 135, 1082-1087
- [5] Iris, J. (2019). Protein digestibility of cereal products. *Foods* 8, 199

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Daniela Sumczynski, 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

Diplomová práce se zabývá analýzou nutričních hodnot netradičních druhů pšeničných zrn a jejich stravitelností *in vitro*. Byly stanoveny základní nutriční ukazatele pšeničného zrna jako jsou vlhkost, obsah popela, hrubé bílkoviny, lipidů, škrobu, hrubé a neutrálně-detergentní vlákniny, stravitelnost a obsah minerálních a stopových prvků metodou ICP-MS. Stravitelnost zrn a vloček se pohybovala v rozmezí 85,4–90,5 %. Ztráty prvků při výrobě vloček dosahovaly až 72 %. Nejlepších hodnot biodostupnosti bylo dosaženo u draslíku, hořčíku a barya (až 99 %). Porce 100 g pšeničných vloček může přispět k referenčnímu dennímu příjmu (RDA, Recommended Dietary Allowance) manganu až 162 %, ale také bohužel 32 % k tolerovatelnému týdennímu příjmu (PTWI, Provisional Tolerable Weekly Intake) rtuti.

Klíčová slova: netradiční pšenice, Dickkopf, Samtrot, nutriční analýza, ICP-MS, *in vitro* stravitelnost, *T. aestivum*, *T. compactum*

ABSTRACT

This thesis focuses on analysis of nutritional values of non-traditional wheats and their *in vitro* digestibility values. Basic nutritional analysis of wheat grain like moisture, ash content, crude protein, lipid, starch and crude fiber and neutral-detergent fiber were determined, including digestibility and ICP-MS mineral and trace elements assessments. Digestibility of grains and flakes was between 85.4–90.5 %. In the production of flakes mineral and trace element concentrations decreased by up to 72 %. The top values of bioavailability were achieved with potassium, magnesium and barrium. A serving of 100 g of wheat flakes can contribute up to 162 % of RDA for manganese intake and 32 % of PTWI for mercury intake was calculated.

Keywords: non-traditional wheat, Dickkopf, Samtrot, nutritional analysis, ICP-MS, *in vitro* digestibility, *T. aestivum*, *T. compactum*

Děkuji mé vedoucí práce doc. Ing. Daniele Sumczynski, Ph.D. za odborné vedení, podporu a trpělivost. Ráda bych také poděkovala Ing. Lence Fojtíkové za její ochotu mi kdykoliv poskytnout pomoc při práci v laboratoři. V neposlední řadě díky patří také doc. Ing. Miroslavovi Fišerovi, CSc. za ochotu a spolupráci při stanovení prvků metodou ICP-MS.

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

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 9 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1 OBILOVINY | 11 |
| 1.1 ANATOMIE OBILNÉHO ZRNA | 11 |
| 1.2 NUTRIČNÍ HODNOTA A CHEMICKÉ SLOŽENÍ PŠENIČNÉHO ZRNA | 12 |
| 1.2.1 Sacharidy | 13 |
| 1.2.2 Bílkoviny | 15 |
| 1.2.3 Lipidy | 16 |
| 1.2.4 Vitaminy a minerální látky..... | 16 |
| 1.2.5 Barviva | 18 |
| 1.2.6 Enzymy | 19 |
| 1.2.7 Další látky | 19 |
| 2 STRAVITELNOST | 21 |
| 2.1 TRÁVICÍ TRAKT ČLOVĚKA | 21 |
| 2.2 TRÁVENÍ A VSTŘEBÁVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ŽIVIN | 22 |
| 2.2.1 Trávení a vstřebávání sacharidů..... | 22 |
| 2.2.2 Trávení a vstřebávání bílkovin..... | 23 |
| 2.2.3 Trávení a vstřebávání tuků | 24 |
| 2.3 METODY STANOVENÍ STRAVITELNOSTI | 25 |
| 2.3.1 Studium vlivu vnějších faktorů na stravitelnost..... | 25 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 27 |
| 3 CÍL PRÁCE | 28 |
| 4 METODIKA PRÁCE | 29 |
| 4.1 POUŽITÉ POMŮCKY A PŘÍSTROJE..... | 29 |
| 4.2 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE..... | 29 |
| 4.3 CHARAKTERISTIKA VZORKŮ..... | 30 |
| 4.4 PŘÍPRAVA VZORKŮ..... | 33 |
| 4.5 STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH JAKOSTNÍCH ZNAKŮ..... | 34 |
| 4.5.1 Metoda stanovení vlhkosti | 34 |
| 4.5.2 Metoda stanovení popela..... | 35 |
| 4.5.3 Metoda stanovení dusíkatých látek s následným přepočtem na obsah hrubé bílkoviny | 35 |
| 4.5.4 Metoda stanovení celkových lipidů | 36 |
| 4.5.5 Metoda stanovení škrobu dle Ewerse..... | 37 |
| 4.5.6 Metoda stanovení vlákniny | 38 |
| 4.6 METODA STANOVENÍ STRAVITELNOSTI | 41 |
| 4.7 STANOVENÍ MINERÁLNÍCH PRVKŮ POMOCÍ METODY ICP-MS | 43 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.8 | INDEX BIODOSTUPNOSTI PRVKŮ, PŘÍSPĚVKY PRVKŮ K REFERENČNÍM HODNOTÁM RDA, AI, PTWI A PTMI A ZTRÁTY PRVKŮ PŘI VÝROBĚ VLOČEK | 44 |
| 4.9 | STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ | 45 |
| 5 | VÝSLEDKY A DISKUZE | 46 |
| 5.1 | VÝSLEDKY STANOVENÍ VLHKOSTI | 46 |
| 5.2 | VÝSLEDKY STANOVENÍ POPELA | 47 |
| 5.3 | VÝSLEDKY STANOVENÍ OBSAHU HRUBÉ BÍLKOVINY | 48 |
| 5.4 | VÝSLEDKY STANOVENÍ LIPIDŮ | 49 |
| 5.5 | VÝSLEDKY STANOVENÍ ŠKROBU | 50 |
| 5.6 | VÝSLEDKY STANOVENÍ VLÁKNINY | 51 |
| 5.7 | VÝSLEDKY STANOVENÍ STRAVITELNOSTI | 53 |
| 5.8 | VÝSLEDKY STANOVENÍ MINERÁLNÍCH A STOPOVÝCH PRVKŮ METODOU ICP-MS | 54 |
| 5.8.1 | Výsledky stanovení obsahu minerálních a stopových prvků ve vzorcích | 54 |
| 5.8.2 | Biodostupnost a teoretické příspěvky pšeničných vloček k hodnotám RDA, AI, PTMI a PTWI pro jednotlivé prvky | 61 |
| 5.8.3 | Ztráty minerálních a stopových prvků při výrobě vloček | 72 |
| | ZÁVĚR | 76 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 78 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 95 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 96 |
| | SEZNAM TABULEK | 97 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 98 |

ÚVOD

Obiloviny tvoří základní složku jídelníčku téměř všech obyvatel. Představují významný zdroj energie, ale i základních živin, vlákniny, minerálních látek, vitaminů a fytochemikálií ([1], [2]). Nejvyužívanější obilninou je pšenice. Výhodou pšenice je její široké využití, nejčastěji se z ní vyrábí chléb a těstoviny [3].

V současné době se výzkum zaměřuje na netradiční druhy pšenice, které doplňují současné odrůdy klasické pšenice seté (*Triticum aestivum*) [3]. Je to zejména kvůli vyšším nutričním hodnotám a potenciálnímu benefitu pro lidské zdraví [2]. Termín „netradiční druhy pšenice“ není přesně definován, Guerrini et al. [4] pojem vysvětluje jako druhy pšenice pěstované před tzv. zelenou revolucí, která proběhla ve druhé polovině 20. století. Tímto termínem se označuje „zavedení mechanizace, používání umělých hnojiv a používání nově vyšlechtěných výnosnějších a odolnějších odrůd zemědělských plodin (kukuřice, pšenice, rýže)“ [5]. Netradiční druhy pšenice jsou dnes také velmi oblíbené mezi konzumenty, jelikož jsou většinou spojeny s ekologickým pěstováním ([3], [4]). Z netradičních pšenic jsou v popředí pozornosti zejména pšenice jednozrnka (*Triticum monococcum*), dvouzrnka (*T. dicoccum*), špalda (*T. aestivum spelta*) a kamut (*T. turgidum* subsp. *turanicum*) [3].

Z výše uvedených důvodů byla v naší práci pro výrobu vloček využita zrna netradičních odrůd a druhů pšenice Samtrot (*T. compactum*) a Dickkopf (*T. aestivum* x *T. spelta* Schlegel).

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBILOVINY

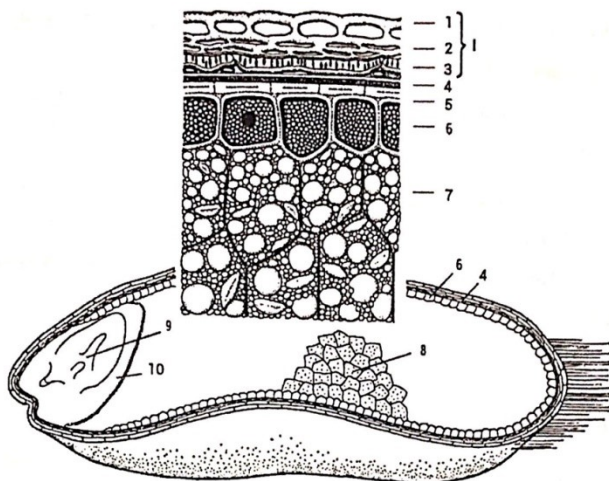
Obilniny jsou nejpěstovanější skupinou plodin na světě. Mezi nejznámější patří pšenice, žito, kukuřice, rýže, oves a proso [6]. Hrají významnou roli ve výživě člověka, a to především díky své vyšší energetické hodnotě, kdy hlavní složku tvoří sacharidy ([6], [7]). V jídelníčku člověka by se měly vyskytovat především celozrnné obilné výrobky. Pod pojmem celozrnný si většina konzumentů představí výrobky tmavšího zbarvení, obecně pro ně však platí, že by surovinou měla být obilka obsahující tři základní složky – endosperm, klíček a obalové vrstvy (z nich otruby získané mlýnským zpracováním) [8]. Přesněji, celozrnnou moukou je „mlýnský obilný výrobek získaný drcením celého zrna obilovin nebo pseudoobilovin nebo rozemláním jeho jednotlivých složek a obsahující všechny složky zrna, tedy endosperm, otruby a klíček, ve stejném poměru jako má původní zrno“ [9].

1.1 Anatomie obilného zrna

Obilky různých druhů obilovin jsou si velmi podobné. Jejich hlavní strukturu tvoří obalové vrstvy, klíček a endosperm [1]. Jednotlivé druhy se od sebe liší tvarem, podílem jednotlivých vrstev, velikostí zrna a přítomností pluch. To vše je ovlivněno klimatickými podmínkami, kvalitou půdy, agrotechnikou a mnohými dalšími faktory [10]. Jako pluchy označujeme součásti obalových vrstev, které mají za úkol chránit obilku před mechanickým poškozením. Jsou velmi pevné, jejich struktura je vláknitá a jsou tvořeny hemicelulózami, ligninem, pentózany a celulózou ([7], [11]), které jsou považovány za významný zdroj vlákniny [12]. Kromě toho obsahují také malé množství popela, bílkovin a jiných látek. Mezi pluchaté obiloviny se řadí například ječmen [11]. Ostatní obilky, které pluchy neobsahují, označujeme jako nahé [10]. Obalové vrstvy se nazývají termínem ektosperm a skládají se z oplodí a osemení. V mlýnské technologii bývá označován jako otruby a chrání endosperm a klíček před vysycháním a mechanickým poškozením. Otruby zhoršují kvalitu a zpracovatelnost těsta, a tedy i vzhled konečného výrobku [12].

Endosperm obilného zrna je považován za zásobárnu nutričních složek pro klíčící rostlinu, tvoří ho zejména škrob (asi 80 %) a bílkoviny (15 %). Obvykle tvoří 80–90 % hmotnosti zrna [1]. Jedná se o technologicky nejvýznamnější složku zrna, a to kvůli obsaženým bílkovinám. Ceněny jsou zejména bílkoviny pšenice, které mají specifické vlastnosti při tvorbě těsta [12]. Endosperm lze rozdělit na měkký a tvrdý [7].

Obilný klíček zastává nejmenší podíl zrna, u pšenice tato hodnota kolísá mezi 2,5–3,0 %. Díky klíčku (jinak také nazývanému embryo) vzniká nová rostlina. Je tedy nositelem genetických informací, kromě toho také obsahuje nutriční složky pro rostlinu, jako lipidy, monosacharidy, bílkoviny a jiné látky. Obilné klíčky jsou využívány pro krmné účely, ale také v potravinářství či farmaceutickém průmyslu [12]. Části obilného zrna jsou znázorněny na obrázku č. 1.



Obrázek č. 1: Řez obilkou: obalové vrstvy (1–5), vnější obalové vrstvy (1–3), vnitřní obalové vrstvy (4–5); Pericarp (I): epidermis (1), epicarp (2), endocarp (3), testa (4), hyalinová membrána (5), aleuronové buňky (6), vnější endosperm (7), vnitřní endosperm (8), zárodek (9), scutellum (10) [13]

1.2 Nutriční hodnota a chemické složení pšeničného zrna

Zrno se skládá z vody, sacharidů, bílkovin, lipidů, minerálních látek, vitaminů a enzymů. Chemické složení zrna obilovin se liší v závislosti na podmínkách pěstování, použité agrotechnice, na odrůdě a na environmentálních podmínkách ([6], [14]). Faměra a Petr [6] uvádí, že potravinářská pšenice, pěstována ve vyšší kvalitě než krmná pšenice, obsahuje vyšší množství dusíkatých látek a lepkových bílkovin, čehož lze dosáhnout pěstováním v teplejších a sušších oblastech s vyšší intenzitou slunečního záření. Tabulka č. 1 znázorňuje obsah nutričně významných látek v jednotlivých částech zrna.

Tabulka č. 1: Chemické složení jednotlivých částí pšeničného zrna [10]

| | Obsah složky (hm. %) | | | |
|--------------------------|----------------------|-------------------|--------|-----------|
| | Celé zrnno | Aleuronová vrstva | Klíček | Endosperm |
| Bílkoviny | 10–17 | 23–33 | 36–42 | 9–14 |
| Škrob | 60–70 | – | – | 78–84 |
| Celulóza | 2,5–3,3 | 12–20 | 3–5 | 0,13–0,18 |
| Ostatní sacharidy | 3–6 | 3–5 | 22–28 | 3–4 |
| Lipidy | 2,0–2,5 | 7,0–8,5 | 12–16 | 0,5–0,7 |
| Minerální látky | 1,4–2,3 | 9–11 | 5–6 | 0,3–0,5 |

1.2.1 Sacharidy

Ze všech živin je obilka nejbohatší na sacharidy (85 %) [15], z nichž většinu tvoří škrob ([16], [17]). Monosacharidy se v obilce vyskytují zejména jako strukturní jednotky polysacharidů. Nejvýznamnější z nich je glukóza, která je složkou škrobu, celulózy a β -glukanů [7]. V nepatrném množství se v obilce nacházejí volné monosacharidy a neškrobové polysacharidy. Co se monosacharidů týče, do mouky se dostává pouze 1–3 %. Mezi zástupce řadíme pentózy (arabinóza, xylóza, ribóza) a hexózy (glukóza, fruktóza, galaktóza, manóza). Zdravé, suché a neporušené zrnno obsahuje minimum oligosacharidů, nejčastěji jsou to sacharóza a maltóza. Významné množství maltózy se nachází v žitě a při naklíčení dále stoupá ([16], [17]).

1.2.1.1 Škrob

Škrob se v obilovinách vyskytuje ve formě škrobových granulí. Obilné zrnno, konkrétně endosperm, je tvořen škrobem z 55–75 % ([7], [12], [18]).

Škrobové granule se skládají ze dvou glukózových polymerů, amylozy a amylopektinu. Glukózové jednotky amylozy i amylopektinu jsou navzájem spojeny kovalentní glykosidickou vazbou. V případě amylozy je to vazba α -1,4- a v případě amylopektinu α -1,4- a α -1,6-. Řetězec amylozy je lineární v porovnání s amylopektinem, jehož řetězec je hojně rozvětvený ([18], [19]).

Zrna škrobu nejsou ve vodě rozpustná, ve studené vodě pouze mírně bobtnají. Zvyšováním teploty se zvyšuje i rychlost a míra bobtnání. Při určité teplotě (asi 55–70 °C) dochází k mazovatení škrobu a vytváří se homogenní maz, který je nejdříve velmi viskózní

a s nadále se zvyšující teplotou jeho viskozita klesá. Škrob představuje také významný zdroj zkvasitelných cukrů pro kvasinky během kypření těsta ([7], [12], [13]).

Škroby jsou hydrolyzovány enzymy α - a β -amylázou. Amylóza je těmito enzymy lehce štěpena na maltózu, z amylopektinu poté vzniká maltóza (asi ze 60 %) a dextriny (asi ze 40 %) [20]. Obsah amyλόzy ve většině obilovin se pohybuje kolem 20–35 % [7]. Škroby s vyšším obsahem amyλόzy jsou hůře stravitelné, jelikož jsou molekuly amyλόzy velmi malé a pevně na sebe navázané, tím tedy i odolnější vůči hydrolytickým enzymům. Zrna s vyšším obsahem amyλόzy se označují jako škrobnatá. Delší a více členitý řetězec amylopektinu je lépe stravitelný ([7], [19], [20]), zrna s vyšším obsahem amylopektinu bývají označována jako vosková ([7], [10]). Kromě zmíněného má také na stravitelnost škrobu vliv množství glykosidických vazeb [18] a přítomnost ostatních složek potravy (vláknina, bílkoviny, rozpustné neškrobové polysacharidy) [21].

Podle stravitelnosti lze rozdělit škrob na tři kategorie:

- rychle stravitelný škrob (Rapidly Digestible Starch – RDS),
- pomalu stravitelný škrob (Slowly Digestible Starch – SDS),
- rezistentní škrob (Resistant starch – RS) ([18], [19]).

RDS je primárně složen z amorfního škrobu, který je rychle hydrolyzován na glukózu v tenkém střevě, a to již během 20 minut. Je přítomen hlavně v potravinách se zmazovatělym škrobem (brambory, chléb). Nadměrná konzumace RDS zvyšuje riziko vzniku diabetu 2. typu, kvůli rychlejšímu vzestupu glykemie. SDS je, stejně jako RDS, zcela stravitelný v tenkém střevě, ale pomaleji (zhruba během 20 až 110 minut), což má za následek kontrolované uvolňování glukózy do krve po delší dobu. Zahrnuje surový škrob a škrob, který prošel retrogradací v tepelně upravených pokrmech ([18], [22]).

Rezistentní škrob (RS) představuje frakci škrobu, která odolává trávení nebo štěpení enzymem α -amyláza v trávicím traktu, a může být tedy dopraven až do tlustého střeva [20]. V tlustém střevě dále funguje jako prebiotikum [18]. Štěpením vzniká glukóza a oligosacharidy obsahující glukózu, které podléhají bakteriální fermentaci. Bakteriální fermentací vzniká vodík, uhlík, metan a mastné kyseliny s krátkým řetězcem, zejména kyselina propionová, máselná, mléčná a převažující octová. Tyto organické kyseliny udržují pH tlustého střeva, mohou inhibovat růst patogenních bakterií a podporovat růst probiotických kmenů. Nestravitelnosti rezistentního škrobu se využívá zejména v prevenci a léčbě diabetu 2. typu a obezity ([18], [22]). Kyselina máselná je také významná

z hlediska prevence vzniku karcinomu tlustého střeva [20]. Jako hlavní zdroje rezistentního škrobu se udávají zelené banány, syrové brambory, uvařené a následně zchladené brambory. Nižší množství je také ve fazolích nebo např. ve špagetách [23]. Jeho přirozené množství, např. v chlebu, je velmi nízké (<2 %) [18].

1.2.1.2 Vlákna

Vlákna obilovin představuje neškrobové polysacharidy, RS, oligosacharidy (hlavně fruktany) a lignin a některé vosky. Hlavní neškrobové polysacharidy v obilovinách jsou arabinoxylany, β -glukany a celulóza. Tyto polymery se nacházejí v buněčné stěně rostlinné buňky spolu s ligniny, lignany a fenolovými kyselinami [24]. Kromě nich se však také v obilovinách nacházejí další hemicelulózy, mezi které patří xylany, manany, glukomanany, galaktany a arabinogalaktany. V obilovinách se vyskytují zejména xylany [22].

Dle rozpustnosti ve vodě lze vlákninu rozdělit na rozpustnou a nerozpustnou. Jako nerozpustná vlákna jsou označovány celulózy (zcela nerozpustné), někteří zástupci hemicelulózy (částečně rozpustné) [22] a lignin. Rozpustné ve vodě jsou pentózy, pektiny, gumy a slizy ([25], [26]). Je doporučeno přijímat tyto druhy vlákniny v poměru 1:3–4 (rozpustná:nerozpustná vlákna) [27].

Vlákna hraje významnou roli ve výživě člověka z důvodu pozitivního vlivu na zdraví. Je částečně fermentována v tlustém střevě bakteriemi za vzniku produktů, které již byly zmíněny v předchozí kapitole. Jelikož zpomaluje trávení živin, upravuje také hodnoty cholesterolu, cukru v krvi a upravuje trávení ([1], [7], [12]).

1.2.2 Bílkoviny

Asi polovinu obilných bílkovin tvoří lepkové bílkoviny, proteinové frakce nerozpustné ve vodě. Lepkové bílkoviny pšenice jsou rozděleny do dvou skupin – gliadiny (řadí se mezi prolaminy) a gluteniny (řadí se mezi gluteliny) [28]. Bílkoviny obilovin se nacházejí v aleuronové vrstvě ([10], [16]) a endospermu. Zrna obsahují podle druhů v průměru asi 9–13 % bílkovin [12]. Množství bílkovin bývá nižší u konvenčně pěstovaných vysoce výnosných druhů obilovin [29].

Co se lepkových bílkovin týče, bylo zjištěno, že konvenčně pěstované druhy pšenice obsahují více lepkových bílkovin v porovnání s netradičními druhy pšenice [30]. Popsaný

jev by mohl být důsledkem nadměrného užívání dusíkatých hnojiv během pěstování klasické pšenice a šlechtění ([2], [4]).

Převládající aminokyselinou bývá kyselina glutamová, přesněji její amin glutamin. Více než z 10 % na hmotnost proteinů je poté v pšeničné obilce přítomna aminokyselina prolin ([7], [12]), díky které vzniká pružná prostorová bílkovinná struktura těsta [12]. Pšeničné gliadiny jsou složeny hlavně z několika zbytků aminokyseliny glutaminu (35 %) spojenými s prolinem (15 %) [31] a jsou chudé na esenciální aminokyseliny lyzin [32] a treonin [3]. Nejvíce aminokyseliny lyzinu obsahuje oves a rýže, nejvíce treoninu rýže [7].

Mezi bílkovinné složky zrna se řadí i enzymy (kapitola 1.2.6).

1.2.3 Lipidy

Místem s nejvyšší koncentrací lipidů v mlýnsky zpracovaném zrně je jednoznačně endosperm. Zde se lipidy nacházejí především ve formě triglyceridů. Dále jsou přítomny také v aleuronové vrstvě ([32], [33]). Suchowilska et al. [33] ve své studii zjistila, že obsah tuku netradičních druhů pšenice je vyšší než obsah tuku konvenční pšenice. Například u pšenice špaldy byla naměřena hodnota 2,4 %, u pšenice jednozrnky (*T. monococcum*) 2,7 % a u dvouzrnky (*T. dicoccum*) 2,3 %. Obsah tuku konvenční pšenice (*T. aestivum*) činil jen 1,7 %.

Mezi převládající mastné kyseliny vázané v lipidech obilovin nebo volně se vyskytující se řadí kyseliny linolová, olejová, palmitová a linolenová [32]. Zastoupení mastných kyselin se liší podle druhu pšeničného zrna. Převládající mastné kyseliny v jarní pšenici jsou linolová (C18:2), palmitová (C16) a olejová (C18:1), kdežto α -linolenová (α -C18:3) a stearová (C18) jsou zde zastoupeny pouze minoritně [33]. Netradiční druhy pšenice se od pšenice seté liší zejména zastoupením kyselin olejové, linolové, linolenové a palmitové [30].

1.2.4 Vitaminy a minerální látky

Na obsah vitaminů a minerálních látek v zrně obilniny mají vliv genetické faktory, okolní prostředí a geografické místo [34]. Pšeničné zrno, zejména i s obalovými vrstvami, je bohaté na vitaminy B₁, B₂, B₃, B₆ a B₉ ([2], [20], [35]). Průměrný obsah vybraných vitaminů skupiny B v pšeničném klíčku a otrubách zobrazuje tabulka č. 2. Ve významném množství se v obilovinách nachází také vitamin E (obsah v klíčku dosahuje až 25 mg.100 g⁻¹) [36], který je tvořen tokoferoly a tokotrienoly. V perikarpu a endospermu

pšenice a ječmene se vyskytují zejména tokotrienoly. U nich byla zjištěna schopnost snižovat hodnotu LDL cholesterolu ([37], [38]). V porovnání s netradičními druhy pšenice nejvíce vitamínu E obsahovala jednozrnka [20].

Tabulka č. 2: *Průměrný obsah vybraných vitaminů skupiny B (na 100 g) [35]*

| Vitaminy | B₁ | B₂ | B₃ | B₉ |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Pšeničný klíček | 2,01 mg | 0,72 mg | 45,0 mg | – |
| Pšeničné otruby | 0,89 mg | 0,36 mg | 29,6 mg | 260 µg |

Nejvyšší obsah minerálních látek v obilném zrně se nachází v aleuronové vrstvě ([10], [16]). Mezi hlavní zdroje minerálních látek a vitaminů z obilovin se však řadí otruby, které vznikají jako vedlejší surovina při mlýnském zpracování obilovin. Obiloviny jsou významným zdrojem draslíku, jehož obsah v klasické pšenici může dosahovat až 5 g·kg⁻¹ sušiny [20]. Netradiční druhy pšenice (jednozrnka, dvouzrnka, špalda) obsahují oproti klasické pšenici více železa, zinku a mědi ([20], [34]) (tabulka č. 3). Vzhledem k tomu, že kyselina fytová snižuje vstřebatelnost některých minerálních prvků (např. Fe, Zn a Ca), je zapotřebí brát v úvahu jejich dostupnost zažívacím traktem ([37], [39]). Obiloviny jsou také významným zdrojem selenu, který bývá součástí enzymů podporujících antioxidační reakce. Kromě toho také selen hraje důležitou roli v metabolismu hormonů štítné žlázy, testosteronu atd. [40]. Jiné jsou esenciální pro správný chod lidského metabolismu a slouží např. jako katalytické komponenty pro bílkoviny a enzymy (zinek, měď). Nadměrný příjem i těchto prvků však může vést k poškození zdraví [41].

Tabulka č. 3: Porovnání obsahu minerálních prvků pšenice seté a netradičních druhů pšenice (převzato od [20])

| | Jednozrnka | Dvouzrnka | Špalda | Pšenice setá |
|--------------------------------------|------------|-----------|--------|--------------|
| Fosfor (g.kg ⁻¹) | 5,2 | 5,1 | 4,7 | 4,2 |
| Draslík (g.kg ⁻¹) | 4,3 | 4,4 | 4,2 | 5 |
| Síra (g.kg ⁻¹) | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,4 |
| Hořčík (g.kg ⁻¹) | 1,6 | 1,7 | 1,5 | 1,4 |
| Vápník (g.kg ⁻¹) | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Železo (mg.kg ⁻¹) | 49 | 49 | 50 | 38 |
| Zinek (mg.kg ⁻¹) | 53 | 54 | 47 | 35 |
| Mangan (mg.kg ⁻¹) | 28 | 24 | 27 | 26 |
| Měď (mg.kg ⁻¹) | 4 | 4,1 | 5 | 3,9 |
| Sodík (mg.kg ⁻¹) | 7 | 12 | 10 | 10 |

Těžké kovy jsou považovány za velmi nebezpečné kontaminanty. Obiloviny pěstované v kontaminovaném prostředí mohou být pro člověka významným zdrojem těchto prvků [41]. Schopnost rostlin absorbovat mikronutrienty z půdy je ovlivněna zejména jejím pH [42]. Někteří zástupci těžkých kovů mohou ve větším množství poškodit lidský organismus (kadmium, arsen, rtuť, olovo, chrom v oxidačním stupni VI⁺, nikl aj.). Arsen, kadmium, olovo a rtuť patří mezi kovy přirozeně se vyskytující v půdě, vodě nebo atmosféře. Do potravin se mohou také dostat ve své anorganické formě jako kontaminanty z prostředí, nejčastěji důsledkem lidské činnosti (agrotechnika, průmysl, výfukové plyny, nesprávná technologie výroby, nesprávné skladování). U těchto látek je nejčastěji zaznamenána chronická toxicita z důvodu kumulace v lidském organismu ([43], [44]).

1.2.5 Barviva

Obsah barviv v zrna obilovin závisí na genetických faktorech, podmínkách růstu a technologickém zpracování zrna [45]. Barviva se vyskytují v osemeni a určují vnější zabarvení zrna [16]. V zrna obilovin se nacházejí zejména lipofilní karotenoidy [20]. Karotenoidy jsou ceněné díky antioxidační aktivitě a možné funkci provitaminu A. Dělí se na karoteny a xantofyly [46]. U pšenice je to zejména lutein (žluté barvivo), β-karoten a zeaxantin se zde nacházejí pouze v nízkém množství ([20], [47]). Nejvyšší množství luteinu bylo naměřeno v jednozrnce (až 7,28 μg.g⁻¹ v porovnání s 1,55 μg.g⁻¹ v pšenici seté [48]), což bylo pozitivně korelováno s vyššími hodnotami antioxidační aktivity [20] a pozitivním vlivem na podporu zraku [48]. Kromě již zmíněných látek se v obilovinách také nacházejí β-kryptoxantin a α-karoten [46]. Obiloviny s barevnými obalovými vrstvami mohou být zdrojem antokyanů a mohou tak být využívány pro produkci specifických

výrobků (ve formě celých zrn či celozrnných mouk) [45]. Nejvíce zastoupeným antokyanovým barvivem v pšenici je kyanidin-3-glukosid, modré zbarvení způsobují delfinidinové antokyany [49]. Obsah barviv bývá ovlivněn i technologickými procesy. Například válcové mletí zajišťuje vyšší retenci karotenoidů, přesněji luteinu, ve žluté pšenici. Pro ječmen, oves a pšenici znamená odstranění klíčku, který je velmi bohatý na karotenoidy, významný pokles obsahu celkových karotenoidů v mouce [50].

1.2.6 Enzymy

Enzymy patří mezi látky ovlivňující jakost obilovin. Většinou jsou přítomny v inaktivní formě [14], k aktivaci dochází při nevhodném skladování, které může mít za následek klíčení ([7], [17]) nebo při technologickém zpracování, (přítomné živiny jsou pak dostupnější pro enzymatickou činnost) [7]. Množství přítomných enzymů závisí na podmínkách růstu, druhu obiloviny a na počasí před sklizní ([13], [14]). Mezi nativní enzymy v obilce se řadí amylázy (α -amyláza, β -amyláza), proteázy a lipázy [13]. Jejich hlavní úlohou je štěpení zásobních látek pro získání rychle dostupných živin [14]. Amylázy jsou důležité při výrobě chleba. Hydrolýzou škrobu se uvolňují dextriny a maltóza, které slouží jako zdroj energie pro přítomné kvasinky. Jejich činností dochází k expanzi těsta. Při vyšších teplotách pečení se snižuje aktivita amyláz [51].

1.2.7 Další látky

1.2.7.1 Antinutriční látky

Mezi tzv. antinutriční látky hojně se vyskytující v obalových vrstvách obilovin patří např. kyselina fytová. Stejně jako obsah makro- a mikronutrientů v znu, i obsah kyseliny fytové kolísá a je závislý na mnoha faktorech. Tato antinutriční látka má schopnost snižovat nejen biologickou dostupnost minerálních prvků, ale i vstřebatelnost bílkovin, díky svým chelatačním schopnostem ([7], [39]). Nejstabilnější komplexy tvoří kyselina fytová se zinkem a mědí [7]. Množství kyseliny fytové lze snížit oddělováním obalových vrstev, namáčením [39], mléčným kvašením [52] či klíčením [37]. Mezi další antinutriční látky v pšenici se řadí saponiny, taniny, oxaláty a kyanogenní glykosidy ([20], [37]). Taniny mají schopnost snižovat vstřebatelnost bílkovin, ovlivňují také chuť a zbarvení suroviny [7].

1.2.7.2 Polyfenolické sloučeniny

Polyfenolické látky jsou předmětem vědeckého zkoumání zejména díky jejich antioxidačním vlastnostem, hojným výskytem v potravinách a jejich pravděpodobné roli v prevenci mnoha onemocnění spojených s oxidativním stresem, jako je rakovina, kardiovaskulární a neurodegenerativní onemocnění [53].

Fenolické a polyfenolické látky se nacházejí ve všech potravinách rostlinného původu, včetně obilného zrna. Mezi fenoly řadíme fenolické kyseliny, lignany, flavonoidy a taniny apod. V obilném zrně jsou fenolické sloučeniny volně nebo navázány estericky či etericky na glykosidy, nebo jsou součástí polysacharidů a proteinů. Fenolické látky v zrně jsou lokalizovány ve vnějších vrstvách obilky ([47], [54]). Mezi nejvýznamnější zástupce se řadí kyselina ferulová, jejím hlavním zdrojem ve výživě jsou celozrnné výrobky a otruby (až 100 mg při pravidelném zařazování) [47]. Nejvíce biologicky dostupná je volná ferulová kyselina, hůře poté pokud je vázána na arabinoxylany buněčných stěn obilovin ([40], [49]). Obsah fenolických látek se snižuje během skladování [49].

2 STRAVITELNOST

Stravitelnost je termín popisující množství živin „absorbovaných“ z gastrointestinálního traktu do krevního oběhu. Stravitelnost se měří jako rozdíl mezi příjmem a výdejem [55].

Obiloviny, na rozdíl od jiných druhů rostlin, nejsou v syrovém stavu obvykle konzumovány. Jejich stravitelnost omezují obalové vrstvy, před konzumací je tedy nutné je odstranit či rozdrtit (mechanicky, při kousání v ústech apod.). Strávení obsahu zrna napomáhá i zgelovatění jeho obsahu ([7], [49]) nebo klíčení [50].

2.1 Trávicí trakt člověka

Mezi základní orgány člověka podílející se na trávení potravy se řadí dutina ústní, hltan, jícn, žaludek a tenké a tlusté střevo. Mezi přídatné orgány se řadí játra, slinivka břišní a žlučník [56] pro jejich schopnost produkovat hydrolytické enzymy a žlučové soli [57]. Dále jazyk, zuby a slinné žlázy [58].

Během trávení je strava štěpena na jednotlivé složky potravy (nutrienty), které slouží jako zdroj energie a také pro růst a opravu buněk. Mechanické trávení probíhá v ústech a žaludku a představuje rozmělnění stravy na menší sousta. Jako enzymatický proces trávení označujeme schopnost enzymů rozštěpit jednotlivé složky stravy a umožnit tak jejich lepší vstřebání do krve. Trávení pomocí enzymů probíhá v celé trávicí trubici [57]. Celý proces trávení je uskutečněn díky svalům trávicího traktu, trávicím šťávám a hormonům gastrointestinálního traktu (GIT) [58]. Lukáš a Žák [56] uvádí, že důležitou vlastností trávicího traktu je také obrana organismu, jelikož velmi často přichází do kontaktu s cizorodými látkami.

Jazyk, zuby a slinné žlázy – tyto tři základní specializované orgány dutiny ústní se významně podílejí na prvním zpracování potravy. Jazyk potravu v ústech převaluje, zuby mechanicky rozmělní za činnosti žvýkacích svalů a slinné žlázy vyprodukují sliny. Právě díky slinám a látkám v nich obsažených začíná první štěpení. Sliny obsahují enzym α -amylázu, která má za úkol štěpit sacharidy z potravy. Kromě toho také zvlhčují dutinu ústní a sousto, usnadňují žvýkání a obsahují imunitní složky (lysozym, laktoferin, IgA protilátky likvidující bakterie a viry) ([56], [58], [59]).

Poté, co potrava putuje hltanem a jícnem, je dopravena do žaludku (*gaster*). Žaludek neslouží pouze pro trávení. Nejdříve je v něm potrava skladována, a to přibližně jednu hodinu. Po tuto dobu se rozdělují složky potravy podle hustoty a tekutosti. Zcela vespod

pomyslného žebříčku se nachází tekutiny a na povrchu poté lipidy. V tomto pořadí také přecházejí do další části trávicího traktu – tenkého střeva. Předtím však musí proběhnout samotné trávení, které se děje pomocí pohybů žaludku a žaludeční šťávy, která je secernována buňkami v žaludeční stěně [60]. Žaludeční šťáva obsahuje enzymy a HCl. Z enzymů je významný pepsin, který vzniká díky HCl přeměnou z pepsinogenu a má za úkol štěpit bílkoviny. Kromě pepsinu je v žaludku také v malé míře produkována lipáza pro štěpení tuků ([58], [61]). Neméně důležitý je také např. vnitřní faktor, ten umožňuje vstřebání vitamínu B₁₂ v terminálním ileu [62].

Tenké střevo rozdělujeme na dvanáctník (*duodenum*), lačník (*jejunum*) a kyčelník (*ileum*). Trávení a štěpení kašovitého chymu (tráveniny) probíhá nejdříve v duodenu za pomoci šťávy tenkého střeva, žluče a pankreatické šťávy [62]. Poslední dvě vyjmenované složky se do duodena dostávají Vaterskou papilou, společným vývodem [56]. Probíhá zde štěpení všech hlavních složek potravy – bílkovin, tuků i sacharidů. Šťáva slinivky břišní (*pankreatu*) obsahuje α -amylázu, lipázu (a další lipolytické enzymy štěpící tuky), trypsin, chymotrypsin (a další peptidázy štěpící bílkoviny) a enzymy štěpící nukleové kyseliny [60]. Žluč je tvořena v játrech a uskladňována ve žlučníku [56]. Má schopnost emulgovat tuky, aby byly lépe přístupné pro lipolytické enzymy [59]. V tenkém střevě také probíhá vstřebávání živin do krve pomocí střevních klků. Krev obohacená o živiny je dopravována do jater [59] anebo do mízního oběhu [58].

V tlustém střevě žádné trávení neprobíhá, probíhá zde pouze sekrece hlenu, který usnadňuje pohyb stolice směrem ke konečníku. Vstřebává se zde také velké množství vody. Putují sem nestravitelné zbytky potravy, jako například nerozpustná vláknina ([60], [62]).

2.2 Trávení a vstřebávání jednotlivých živin

2.2.1 Trávení a vstřebávání sacharidů

Trávení sacharidů začíná v dutině ústní pomocí slinného enzymu α -amylázy (ptyalin) [58]. Přestože dle Petřeka [58] by v dutině ústní mohlo probíhat i vstřebávání živin, kvůli dobrým resorpčním vlastnostem sliznice, dochází jen k natrávení sacharidů v závislosti na délce pobytu sousta v ústech a vstřebávání živin zde neprobíhá. Jandová et al. [60] dále přibližuje, že enzym ptyalin má schopnost štěpit vnitřní α -1,4-glykosidové vazby škrobu, díky čemuž vznikají oligosacharidy maltóza, maltotrióza a α -limitní dextrin. Tento proces

však probíhá primárně v tenkém střevě [60], a to v duodenu a jejunu [63]. V kartáčovém lemu mikroklků střevní sliznice se oligosacharidy štěpí na monosacharidy – glukózu, fruktózu a galaktózu [58], a to pomocí disacharidáz. Mezi základní disacharidázy se řadí sacharáza, laktáza a maltáza [62]. Monosacharidy dále putují přes střevní stěnu a enterocyty (buňky tenkého střeva) do vrátnicové žíly, odkud se dostanou do jater ([58], [63]). Většina monosacharidů se však přeměňuje na glukózu v játrech nebo v enterocytech [62]. Vstřebaná glukóza je využívána jako zdroj energie pro buňky lidského těla, k čemuž jí dopomáhá inzulin ([62], [63]).

Některé druhy vlákniny mohou být částečně degradovány už v tenkém střevě, většina však v nezměněné formě přechází do tlustého střeva [24]. Edwards et al. [64] uvádí, že kvůli rezistenci vlákniny buněčných stěn rostlin vůči trávicím enzymům, mohou tyto buněčné stěny chránit uzavřené nutrienty a limitovat jejich biologickou dostupnost. Rozpustná vláknina (β -glukany, arabinoxylany, pektiny, galaktomanany, inulin, fruktooligosacharidy [FOS] a galaktooligosacharidy [GOS]) je fermentována bakteriemi tlustého střeva a degradována do fyziologicky aktivních metabolitů (mastných kyselin s krátkým řetězcem – Short-chain fatty acids, SCFAs) a plynů (CO_2 , vodíku a metanu) ([24], [62], [65]). Velká část SCFAs je absorbována buňkami epitelu střeva a jimi také přeměňována na např. nové střevní buňky. Pouze 5–10 % SCFAs je vyloučeno stolicí [65]. Nerozpustná vláknina může být buď metabolicky nezměněná, nebo může být fermentována v tlustém střevě (stěny rostlinných buněk, různé formy rezistentního škrobu a chitin). Fermentace celulózy je velmi omezená [65].

Ve střevě se nacházejí i hnilobné bakterie, které produkují nežádoucí látky. Ty však odcházejí stolicí a způsobují charakteristický zápach, anebo jsou odbourány v játrech, pokud se dostanou do krve ([60], [62]). Merkunová et al. [62] tvrdí, že dostačující příjem vlákniny by měl tyto pochody udržovat v rovnováze.

2.2.2 Trávení a vstřebávání bílkovin

Počáteční trávení bílkovin a jejich peptidových vazeb probíhá díky pepsinům v žaludku. Pepsiny jsou schopny rozštěpit asi 10–20 % zkonsumovaných bílkovin na polypeptidy o různé velikosti [58]. Polypeptidy dále putují do duodena, kde jsou pankreatickými a střevními proteolytickými enzymy dále štěpeny na aminokyseliny. Tyto enzymy se nazývají peptidázy ([58], [62]). Odštěpené aminokyseliny se vstřebávají pomocí speciálních přenašečů pro každou aminokyselinu [63]. Pokorný [63] uvádí, že některé

aminokyseliny se mohou vstřebat i jako dipeptidy či tripeptidy a na jednotlivé aminokyseliny jsou štěpeny až v enterocytech. Příjem aminokyselin je pro lidské tělo esenciální. Jsou základní složkou pro syntézu RNA, DNA, enzymů a hormonů, důležité pro tvorbu svalů, reparaci orgánů a tkání, pro imunitní systém atd. [66]. Slouží také jako zdroj energie, protože játra je mohou přeměňovat na glukózu (glukoneogenezi) a na mastné kyseliny (lipogenezi) [62].

Během trávení lepkových bílkovin se může projevit onemocnění celiakie. Ogilvie et al. [67] uvádí, že patogeneze celiakie není stoprocentně známá, ale probíhá v duodenu. Dle známých informací jsou lepkové bílkoviny natráveny enzymy trávicího traktu (pepsin, chymotrypsin, trypsin), díky kterým se odštěpí peptidy, které však již nejsou dále stravitelné [67]. Yoosuf et al. [31] dodává, že rezistenci lepkové bílkoviny získávají kvůli přítomnosti prolinu. Tyto neporušené lepkové peptidy naruší střevní stěnu, kde enzym transglutamináza katalyzuje deaminaci glutaminu na glutamát. Tento krok je rozhodující pro přeměnu nativních lepkových peptidů na potencionální antigeny. Zbytek závisí na genetických vlastnostech jedince ([67], [68]).

2.2.3 Trávení a vstřebávání tuků

Trávicí enzymy pro trávení tuků se nacházejí již v dutině ústní. Sousto zde však nezůstává dostatečně dlouho, aby mohly zafungovat. Jazyková lipáza se tedy projevuje až v žaludku, stále však není schopná trávit velké množství tuku, a to jednak kvůli malému množství samotného enzymu, jednak kvůli schopnosti štěpit pouze triacylglyceroly (TAG), jejichž mastné kyseliny obsahují méně než 10 uhlíků [58]. Samotná hydrolyza lipidů probíhá až v tenkém střevě [69], kde se poté jejich produkty také vstřebávají [63]. Nejdříve dochází k emulgaci tuků pomocí žluči, aby byly lépe přístupné pro pankreatickou lipázu ([59], [69]). Pankreatická lipáza rozkládá TAG na diacylglyceroly, monoacylglyceroly, volné mastné kyseliny a glycerol [69]. V případě živočišných tuků se zde ještě nachází cholesterol [63]. Po spojení se solemi žlučových kyselin vytvářejí micely, které enterocyty opět rozkládají a jejich obsah prostupuje střevní stěnou. Způsob vstřebávání mastných kyselin závisí na velikosti jejich molekuly [58], tedy počtu uhlíků [62]. Mastné kyseliny s krátkým řetězcem se dostávají do portální krve, mastné kyseliny s dlouhým řetězcem jsou chemickými reakcemi přetvořeny na chylomikrony, které prostupují rovnou do lymfatických cév a dále do krevního oběhu ([58], [62]).

2.3 Metody stanovení stravitelnosti

Nejpřesnější výsledky stanovení stravitelnosti poskytuje metoda *in vivo*, která je založená na využití trávicího traktu člověka či zvířete. S touto metodou jsou však spojovány vyšší náklady, a navíc je velmi složité vyvodit závěry z tak komplexního procesu, jako je trávení lidského či zvířecího těla, které je velmi individuální. Navíc je zde také otázka etického hlediska. Proto se široce využívá spíše metoda *in vitro*, která do jisté míry simuluje pochody trávicího traktu za přesně definovaných podmínek. Výhodou je také možnost zkoumání zvláště ústních, žaludečních a střevních trávicích procesů, někdy i fermentačních procesů tlustého střeva ([57], [70]). Při *in vitro* metodě se využívá tekutin, které simulují sliny (Simulated Salivary Fluid, SSF), žaludeční šťávy (Simulated Gastric Fluid, SGF) a střevní šťávy (Simulated Intestinal Fluid, SIF) (tabulka č. 4) [71]. Jako enzymy se používají α -amyláza (při simulaci trávení v dutině ústní), pepsin (při simulaci trávení v žaludku) ([71], [72]) a pankreatin (při simulaci trávení ve střevě) ([71], [72]). Pankreatin obsahuje enzymy proteázu, lipázu a amylázu [72]. Pro stanovení stravitelnosti škrobu se může navíc používat enzym amyloglukosidáza [73]. Pepsin je enzym štěpící bílkoviny [71].

Tabulka č. 4: Kompozice SSF, SGF a SIF (převzato od [71])

| Sloučenina | Koncentrace (mol.l ⁻¹) | SSF | SGF | SIF |
|---|------------------------------------|-------------|------|------|
| KCl | 0,5 | 15,1 | 6,9 | 6,8 |
| KH ₂ PO ₄ | 0,5 | 3,7 | 0,9 | 0,8 |
| NaHCO ₃ | 1 | 6,8 | 12,5 | 42,5 |
| NaCl | 2 | – | 11,8 | 9,6 |
| MgCl ₂ (H ₂ O) ₆ | 0,15 | 0,5 | 0,4 | 1,1 |
| (NH ₄) ₂ CO ₃ | 0,5 | 0,06 | 0,5 | – |
| NaOH | 1 | Dle potřeby | | |
| HCl | 6 | | | |

2.3.1 Studium vlivu vnějších faktorů na stravitelnost

Aby se snížil výskyt chorob spojených s výživou, jako je obezita či *diabetes mellitus* 2. typu, měla by se zvýšit dostupnost a konzumace zdravých potravin. Obiloviny a výrobky z nich jsou po celém světě významným zdrojem dostupných (stravitelných) sacharidů, hlavně ve formě škrobu. Tyto potraviny jsou tedy často upravovány za cílem zlepšit zdraví populace. Nejvíce bývá zaměřeno na škrob, který má různý vliv na postprandiální metabolické reakce, podle toho, jak lehce je stravitelný. Například je obecně známo, že potraviny obsahující rezistentní škrob tlumí rychlý vzestup glykemie a produkci inzulínu.

Dlouhodobá konzumace těchto potravin může potencionálně snížit riziko výše uvedených chorob. Většina sacharidů je však konzumována ve formě rafinovaných potravin jako je bílá mouka, která je většinou chudá na rezistentní škrob a mívá vysoký glykemický index [74]. V této souvislosti Chen et al. [21] upozorňuje na to, že trend použití rozpustných neškrobových polysacharidů jako zahušťovadel do nápojů nebo tekutých jídel se zvyšuje, a to díky jejich schopnosti redukovat vstřebatelnost glukózy. Pokud fortifikujeme potraviny s vyšším obsahem škrobu například xantanovou gumou, může to jedinci pomoci upravit výkyvy glykemie [21]. Mezi zmíněné polysacharidy se řadí i pektin, jemuž se věnuje studie Bai et al. [75]. Přídavek pektinu může například ovlivnit velikost tráveniny, a tím zabránit přístupu části amyláz.

Stravitelnost škrobu může být ovlivněna i polyfenoly vyskytujícími se v čajových listech [76]. Studie Xie et al. [77] se zaměřuje na konkrétní polyfenoly – epigallokatechin (EGC) a epigallokatechin gallát (EGCG) a jejich využití pro snížení stravitelnosti syrového a tepelně upraveného škrobu v chlebu. Využívá se přitom jejich vlastností navázat se na škrob a enzym α -amylázu. Závěrem studie bylo zjištění, že EGCG má schopnost snižovat stravitelnost škrobu až o 30 %, ale v přítomnosti lepkových bílkovin se jeho účinek významně snižuje. Využití EGC nepřineslo žádné výsledky [77].

Některé studie, používající model trávení simulující podmínky v dutině ústní, žaludku a duodenu, poukázaly na to, že pečení snižuje rozpustnost lepkových bílkovin v chlebu a jsou tedy více rezistentní vůči proteolýze [28]. Po upečení jsou škrobové granule a bílkoviny méně dostupné pro trávicí enzymy, než je tomu u mouk, a to kvůli vzniklé síti z agregovaných proteinů, ve kterých jsou upevněny škrobové granule a lipidy ([28], [50]).

Na stravitelnost škrobu mají vliv také ostatní nutrienty nacházející se v potravě člověka. Ovlivňují jeho biologickou dostupnost a následnou odpověď metabolismu (zvýšení glykemie atd.) [64].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍL PRÁCE

Cílem experimentální části diplomové práce bylo vyrobit vzorky vloček ze zrn pšenice procesem hydrotermálního ošetření s následným rozválnčováním zrn. U vzorků analyzovat základní nutriční znaky a stanovit hodnoty stravitelnosti metodou *in vitro*. Mimo základní nutriční znaky dále stanovit pomocí ICP-MS obsahy minerálních prvků v pšeničných zrnech, vločkách a nestravitelném podílu vloček s následným výpočtem hodnoty biodostupnosti pro jednotlivé prvky. Dále poté zpracovat teoretické hodnoty denního (týdenního, měsíčního) příjmu esenciálních prvků (toxických prvků) při konzumaci stanovené porce pšeničných vloček.

4 METODIKA PRÁCE

4.1 Použité pomůcky a přístroje

- Elektrický mlýnek a vločkovač Combi-Star (Waldner Biotech)
- Laboratorní sušárna Venticell (BMT a.s., MMM-Group)
- Předvážky ABC plus
- Analytické váhy
- Hliníkové misky a porcelánové kelímky
- Elektrická muflová pec (Veb Elektro Bad Franken Hausen)
- Exsikátor
- Mineralizátor Block Digest 12
- Destilační zařízení Behr S2
- Automatický titrátor
- Vodní lázeň GFL typ 1031
- Polarimetr Krüs
- Extraktor Soxtherm Gerhardt
- Varná hnízda
- Ankom Fiber analyzátor²²⁰ (Ankom Technology)
- Inkubátor Daisy^{II} (Ankom Technology)
- Extrakční patrony, extrakční baňky, vata
- Laboratorní sklo a další běžné laboratorní pomůcky

4.2 Použité chemikálie

- H_2SO_4
- H_2O_2
- Na_2SO_4 a $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ katalyzátor v poměru 1:10
- NaOH

- H_3BO_3
- Indikátor Tashiro
- n-hexan
- Carrez I (30% $ZnSO_4$)
- Carrez II (15% $K_4[Fe(CN)_6]$)
- HCl
- Aceton
- Neutrálně-detergentní činidlo laurylsulfátu sodného, disodné soli ethylendiamintetraoctové kyseliny, boritanu sodného, dihydrogenfosforečnanu sodného (Ankom Technology)
- Neutrálně detergentní roztok: neutrálně detergentní činidlo a siřičitan sodný s α -amylázou (Ankom Technology)
- Pepsin (E.C. 3.4.23.1)
- Fosfátový pufr o pH 7,45 (roztok KH_2PO_4 a $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$)
- Pankreatin (směs proteázy – 350 FIG-U/g, amylázy – 7500 FIG-U/g a lipázy – 6000 FIG-U/g pro 24hodinovou analýzu, Merck)

4.3 Charakteristika vzorků

Laboratorní analýze byly podrobeny vzorky pšenice Dickkopf, Samtrot a Megali, sklizeň z roku 2020. Všechna zrna byla pěstována ve stejné geografické lokalitě okolí Bempflingenu (Německo). Všechny vzorky byly poskytnuty společností Bäckerhaus Veit (Bempflingen).

Odrůda pšenice zvaná Dickkopf (obrázek č. 2) je původem z Německa. Jedná se o křížence *Triticum aestivum* a *Triticum spelta* Schlegel. Profesor Jan Sneyd (Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen) začal s její kultivací v roce 2008, v roce 2011 byla odrůda zařazena do německého tzv. červeného seznamu ohrožených druhů rostlin [78]. Pšenice Dickkopf se řadí mezi širokozrnné druhy pšenice, má vysoký obsah žlutých pigmentů, železa a zinku. Vyzdvihován je také její obsah vitamínu E, B, polyfenolů a dalších antioxidantů [78].



Obrázek 2: *Pšenice Dickkopf*

https://de.wikipedia.org/wiki/Schw%C3%A4bischer_Dickkopf-Landweizen

Pro pšenici Samtrot (*Triticum compactum*), německy označovanou Samtrot Ur-Binkel, jsou charakteristická malá kulatá zrna s osinami (obrázek č. 3) [79].

Posledním vzorkem byla klasická pšenice setá (*Triticum aestivum*) (obrázek č. 4), odrůda Megali.



Obrázek č. 3: *Pšenice Samtrot Ur-Binkel*

[\[https://de.wikipedia.org/wiki/Echter_Binkelweizen#cite_ref-4_5-0\]](https://de.wikipedia.org/wiki/Echter_Binkelweizen#cite_ref-4_5-0)



Obrázek č. 4: *Triticum aestivum* L.

[\[http://www.e-herbar.net/main.php?g2_itemId=40368\]](http://www.e-herbar.net/main.php?g2_itemId=40368)

Označení vzorků je sepsáno v tabulce č. 5. U všech vzorků byla stanovována stravitelnost a nutriční znaky, včetně obsahu minerálních prvků.

Tabulka č. 5: Označení vzorků

| Označení | Vzorek |
|----------|-----------------|
| SZ | Samtrot zrno |
| SV | Samtrot vločky |
| MZ | Megali zrno |
| MV | Megali vločky |
| DZ | Dickkopf zrno |
| DV | Dickkopf vločky |

4.4 Příprava vzorků

Vločky byly zhotoveny přímo v laboratoři. Nejdříve byla zrna povařena v ultrapure redestilované vodě (zařízení Purelab Classic Elga, 18,2 MΩcm). Zrna odrůdy Samtrot byla povařena po dobu 20–22 minut, Dickkopf a Megali 18–20 minut, teplota vodní lázně byla nastavena na 95 °C. Poté byla voda scezena a zrna byla ihned rozválcována na vločkovači Combi-Star. Vyrobené vločky byly sušeny při teplotě 30 °C po dobu 3–5 hodin v horkovzdušné sušárně Venticell a následně byly uskladněny do tmavých hnědých PET zásobních lahví. Před započítáním analýz byly vzorky pomlety na obilném mlýnku Combi-Star v režimu jemného mletí s deklarovanou velikostí částic cca 250 μm. Vzorky byly skladovány ne déle než 1 měsíc v klimatizované laboratoři bez přístupu světla. Na obrázcích č. 5 až 7 jsou vyfotografována zrna jednotlivých odrůd, z nich vyrobené a následně pak pomleté vzorky. Od každé odrůdy bylo k dispozici cca po 200 g laboratorního vzorku.



Obrázek č. 5: Fotografie zrn (zleva: Samtrot, Dickkopf, Megali)



Obrázek č. 6: Fotografie vloček (zleva: Samtrot, Dickkopf, Megali)



Obrázek č. 7: Fotografie pomletých zrn (zleva: Samtrot, Dickkopf, Megali)

4.5 Stanovení základních jakostních znaků

K analýze základních jakostních znaků vzorků pšenice byly použity metody stanovení vlhkosti, popela, hrubé bílkoviny, celkových lipidů a vlákniny (hrubé i neutrálně-detergentní).

4.5.1 Metoda stanovení vlhkosti

Stanovení vlhkosti vzorků pšenice bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 712 (461014).

Do čisté, předem vysušené a vychladlé misky byl na analytických vahách s přesností na 0,1 mg navážen 1 g zhomogenizovaného vzorku. Misky se vzorkem byly následně vloženy do sušárny a sušeny při 130 ± 3 °C po dobu 1 hodiny. Po vysušení a vychladnutí v exsikátoru byly opět zváženy s přesností na 0,1 mg. Výsledek stanovení se získá jako průměr ze tří hodnot.

Výpočet obsahu vlhkosti v %:

$$v = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \cdot 100 \quad (1)$$

kde: m_0 ... hmotnost hliníkové prázdné misky [g],

m_1 ... hmotnost hliníkové misky se vzorkem před vysušením [g],

m_2 ... hmotnost hliníkové misky se vzorkem po vysušení [g].

Výpočet sušiny v %:

$$S = 100 - v \quad (2)$$

4.5.2 Metoda stanovení popela

Stanovení popela spalováním definuje ČSN ISO 2171 (461019).

Před provedením stanovení popela byly do předem vyžíhaných, vychladlých a zvážených porcelánových kelímků naváženy 2 g vzorku s přesností na 0,1 mg. Poté byly kelímky se vzorky páleny v muflové peci při teplotě 550 ± 10 °C po dobu 5,5 hodin. Po zchlazení v exsikátoru byly kelímky i s popelem zváženy s přesností na 0,1 mg. Výsledek stanovení byl získán průměrem ze tří hodnot.

Výpočet obsahu popela v %:

$$P = \frac{m_a - m_b}{m_c - m_b} \cdot 100 \quad (3)$$

kde: m_a ... hmotnost kelímku s popelem po vyžihání [g],

m_b ... hmotnost prázdného porcelánového kelímku [g],

m_c ... hmotnost kelímku se vzorkem před vyžiháním [g].

Výpočet obsahu popela v sušině v %:

$$P_s = \frac{P \cdot 100}{S} \quad (4)$$

kde: S ... průměrná hodnota sušiny vzorku [%].

4.5.3 Metoda stanovení dusíkatých látek s následným přepočtem na obsah hrubé bílkoviny

Pro stanovení obsahu hrubé bílkoviny je třeba nejdříve znát obsah dusíku. Norma ČSN EN ISO 20483 (461401) definuje jako použitou metodu Kjeldahlovu metodu. Pro přepočet na hrubou bílkovinu byl použit koeficient 5,83, specifický pro pšenici [80]. Stanovení probíhalo za použití mineralizační jednotky Block Digest 12 a destilačního zařízení Behr S2.

Navážka 0,25 g vzorku s přesností na 0,1 mg byla převedena do mineralizačních baněk. Ke vzorku se v následujícím pořadí přidalo 10 ml koncentrované 96% kyseliny sírové, pár

kapek 30% peroxidu vodíku (do vytvoření malého množství pěny) a lžička katalyzátoru ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ v poměru 1:10). Mineralizace probíhala při 400 °C po dobu 1 hodiny. Po vychladnutí byl mineralizát převeden do 25ml odměrných baněk a doplněn po rysku destilovanou vodou. Do destilační baňky bylo pipetováno 10 ml mineralizátu, ke kterému bylo následně přidáno 20 ml 30 hm.% roztoku NaOH. Uvolněný amoniak byl během destilace zachycován do 50 ml roztoku 2 hm.% kyseliny trihydrogenborité. Po destilaci a přidání pár kapek indikátoru Tashiro následovala titrace 0,025M kyselinou sírovou do červenofialového zbarvení. Výsledek byl získán jako průměr ze čtyř stanovení.

Výpočet obsahu hrubé bílkoviny v g:

$$m_B = a \cdot 10^{-3} \cdot c \cdot M_N \cdot f_t \cdot f_z \cdot f_{př} \quad (5)$$

kde: a ... spotřeba odměrného roztoku H_2SO_4 při titraci [ml],
c ... přesná koncentrace odměrného roztoku H_2SO_4 ($c = 0,02451 \text{ M}$),
 M_N ... molární hmotnost dusíku ($M_N = 14,01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$),
 f_t ... titrační faktor ($f_t = 2$),
 f_z ... zředovací faktor ($25 \text{ ml}/10 \text{ ml} = 2,5$),
 $f_{př}$... přepočítávací faktor pro pšeničnou bílkovinu (5,83) [80].

Výpočet obsahu hrubé bílkoviny v %:

$$B = \frac{m_B}{n} \cdot 100 \quad (6)$$

kde: n ... hmotnost navážky vzorku [g].

Výpočet obsahu hrubé bílkoviny v sušině v %:

$$B_S = \frac{B}{S} \cdot 100 \quad (7)$$

kde: S ... průměrná hodnota sušiny vzorku [%].

4.5.4 Metoda stanovení celkových lipidů

Obsah celkových lipidů byl stanovován pomocí přístroje Soxtherm od firmy Gerhardt. Lipidy, jakožto nepolární látky, jsou ze vzorku rostlinné matrice izolovány pomocí nepolárního extrakčního rozpouštědla (hexanu).

Do extrakční patrony byly naváženy 2 g zhomogenizovaného vzorku s přesností na 0,1 mg, přikryty vatou a patrona byla vložena do drátěného držáku. Předem vysušená extrakční baňka byla zvážena na analytických vahách společně se třemi varnými kamínky s přesností na 0,1 mg. Do každé baňky byla zasunuta extrakční patrona s drátěným držákem a k ní bylo přilito 100 ml hexanu. Poté byla extrakční baňka i s patronou vložena do přístroje Soxtherm, spuštěna chladicí voda a přívod tlakového vzduchu. Extrakce probíhala celkem 2,5 hodiny, zároveň probíhalo také částečné odpaření hexanu. Zbytkový obsah hexanu byl odpařen za pomoci topného hnízda v digestoři. Extrakční baňky se následně nechaly vysušit v sušárně při teplotě 105 ± 3 °C po dobu 1 hodiny. Po vychlazení extrakční baňky v exsikátoru se baňka s tukem a varnými kamínky zvážíly. Výslednou hodnotu získáme jako průměr ze tří stanovení.

Výpočet obsahu celkových lipidů v %:

$$T = \frac{m_b - m_a}{n} \cdot 100 \quad (8)$$

kde: m_a ... hmotnost prázdné baňky [g],

m_b ... hmotnost baňky s tukem [g],

n ... navážka vzorku [g].

Výpočet obsahu lipidů v sušině v %:

$$T_s = \frac{T}{S} \cdot 100 \quad (9)$$

kde: S ... průměrná hodnota sušiny vzorku [%].

4.5.5 Metoda stanovení škrobu dle Ewerse

Jako výchozí norma pro stanovení škrobu sloužila ČSN EN ISO 10520 (566120), která stanovuje jako základní metodu Ewersovu polarimetrickou metodu.

Na analytických vahách se do 100ml odměrné baňky naváží 3 g vzorku s přesností na 0,1 mg. Následně se přidá 25 ml 1,124 hm. % HCl, směs se promíchá a opět se přidá 25 ml 1,124 hm. % HCl. Odměrná baňka se vloží do vroucí vodní lázně a ponechá varu po dobu 30 minut od zahřátí směsi (doporučena cca 10 min časová rezerva). Po uplynutí stanovené doby se do baňky opět přidá 20 ml 1,124 hm. % HCl. Po důkladném zchlazení ve vodní lázni mohou být do baňky přidány Carrezova činidla sloužící k čiření roztoku. Nejdříve se přidá 3 ml činidla Carrez I a po řádném promíchání 3 ml činidla Carrez II. Obsah se

promíchá a nechá 5 minut stát. Poté se baňka doplní destilovanou vodou po rysku a vzorek se přefiltruje přes filtrační papír. Získaný filtrát se převede do polarimetrické trubice o specifické délce a pomocí polarimetru se změří úhel otočení. Výsledek se získá jako průměr ze čtyř stanovení.

Výpočet obsahu škrobu v %:

$$\check{S} = \frac{\alpha \cdot 100}{[\alpha]_{\lambda}^t \cdot l \cdot n \cdot 100} \quad (10)$$

kde: α ...změřený úhel otočení [°],

$[\alpha]_{\lambda}^t$...specifická otáčivost při teplotě t a vlnové délce λ (pšeničný škrob: 182,7°) [81],

l ... délka polarimetrické trubice ($l = 2$ dm),

n ... přesná navážka vzorku [g].

Výpočet obsahu škrobu v sušině v %:

$$\check{S}_s = \frac{\check{S}}{S} \cdot 100 \quad (11)$$

kde: S ... průměrná hodnota sušiny vzorku [%].

4.5.6 Metoda stanovení vlákniny

4.5.6.1 Metoda stanovení hrubé vlákniny

Podíl hrubé vlákniny (Crude Fiber, CF) lze stanovit neenzymaticko-gravimetrickou metodou. Za hrubou vlákninu lze v tomto případě považovat pouze ve vodě nerozpustné sloučeniny, konkrétně lignin a celulózu, a získává se jako zbytek po hydrolytickém rozkladu vzorku vlákniny [82].

Pro stanovení se používají filtrační sáčky F57, které se nejdříve zvažují na analytických vahách s přesností na 0,1 mg, odmastí v acetonu a následně nechají vysušit v digestoři. Do každého sáčku (vyjma korekčního) se naváže 0,5 g vzorku s přesností na 0,1 mg, sáčky se popíšu fixem na textil a zataví. Zatavené sáčky se vloží do zařízení Ankom Fiber²²⁰. Do něj se nalije roztok H₂SO₄ o koncentraci 0,1275 M a sáčky se nechají promíchávat s kyselinou při teplotě 100 °C po dobu 45 minut. Po uplynutí stanovené doby se zahřívání a míchání vypne a kyselina se nechá odpustit. Aby se sáčky zbavily zbytků kyseliny, musí se promýt horkou destilovanou vodou (85–90 °C) po dobu 5 minut za stálého míchání, a to

celkem 3x. Poté se přidá roztok NaOH o koncentraci 0,313 M a opět se obsah nechá promíchávat při teplotě 100 °C po dobu 45 minut. Po této době se na přístroji vypne míchání a zahřívání a sáčky se znovu 3x properou za stálého míchání horkou destilovanou vodou a 1x studenou destilovanou vodou po dobu 5 minut. Sáčky se rozloží na filtrační papír a po „odejmutí“ většiny přebytečné vody se namočí do acetonu a nechají odvětrat v digestoři. Následně se sáčky vloží do předem zahřáté sušárny a nechají se sušit při teplotě 105±3 °C po dobu 4 hodin. Vysušené sáčky se nechají důkladně vychladnout v exsikátoru a zváží se na analytických vahách s přesností na 0,1 mg. Stejným způsobem se zváží prázdné, předem vyžíhané porcelánové kelímky, do kterých se sáčky vloží. Porcelánové kelímky se sáčky se nechají 5,5 hodin spalovat v muflové peci při 550±10 °C. Po řádném zchladnutí kelímků v exsikátoru se kelímky i s popelem zváží na analytických vahách. Každý vzorek byl analyzován třikrát [83].

Výpočet obsahu hrubé vlákniny v %:

$$CF = \frac{(m_3 - m_1 \cdot c_1) - (m_4 - m_1 \cdot c_2)}{m_2} \cdot 100 \quad (12)$$

kde: m_1 ... hmotnost prázdného popsaného sáčku [g],
 m_2 ... hmotnost přesné navážky vzorku [g],
 m_3 ... hmotnost vysušeného sáčku se vzorkem po hydrolýze [g],
 m_4 ... hmotnost popela po spálení sáčku se vzorkem [g],
 c_1 ... korekce hmotnosti sáčku po hydrolýze [g],
 c_2 ... korekce hmotnosti sáčku po spálení [g].

Výpočet korekce hmotnosti v g:

$$c_1 = \frac{m_s}{m_1} \quad (13)$$

$$c_2 = \frac{m_p}{m_1} \quad (14)$$

kde: m_s ... hmotnost vysušeného korekčního sáčku po hydrolýze [g],
 m_p ... hmotnost popela korekčního sáčku [g].

4.5.6.2 Metoda stanovení neutrálně-detergentní vlákniny

Mezi neutrálně-detergentní vlákninu (Neutral Detergent Fiber, NDF) lze zařadit lignin, celulózu a nerozpustné hemicelulózy. Jelikož škrob může zkreslit výsledky analýzy a zvyšovat hodnoty množství vlákniny, využívá se při této metodě enzym α -amyláza ([82], [84]). Neutrálně-detergentní roztok obsahuje laurylsulfát sodný, disodnou sůl etylendiamintetraoctové kyseliny, boritan sodný, dihydrogenfosforečnan sodný a přídavek α -amylázy.

Prvním krokem je příprava neutrálně-detergentního činidla (NDC), které je tvořeno 120 g činidla a 20 ml trietylglykolu do 2 l. Následuje příprava neutrálně-detergentního roztoku (NDR), kdy se do 2 l NDC přidá 20 g siřičitanu sodného a 4 ml α -amylázy. Sáčky pro stanovení vlákniny se ponoří do acetonu, nechají odvětrat v digestoři na filtračním papíře a poté se s přesností na 0,1 mg zváží a popíšou. Vyjma korekčního se do každého sáčku naváží 0,5 g suchého vzorku s přesností na 0,1 mg a všechny sáčky se zataví. Stanovení probíhá pomocí přístroje Ankom Fiber²²⁰, do kterého se sáčky vloží a poté se zalijí neutrálně-detergentním roztokem. Zapne se míchání a vyhřívání na 100 °C a za těchto podmínek se nechá roztok působit celkem 75 minut. Po uplynutí stanoveného času se vypne vyhřívání, míchání a pomalu se vypustí NDR. Sáčky a zařízení je třeba 3x promýt horkou destilovanou vodou vždy za přídavku 4 ml α -amylázy a za stálého míchání po dobu 5 minut. Nakonec se sáčky promyjí studenou destilovanou vodou. Po vyjmutí ze zařízení se sáčky rozloží na filtrační papír pro odsátí většího podílu vody a ponoří na 3 minuty do acetonu. Po opětovném vysušení na filtračním papíře a odvětrání v digestoři se sáčky přemístí do sušárny a nechají se sušit při 105±3 °C po dobu 4 hodin. Vysušené sáčky se následně nechají vychladnout v exsikátoru a zváží na analytické váze. Zvážené sáčky se vloží do předem vyžíhaných, zvážených a popsaných porcelánových kelímků pro stanovení popela a nechají se žíhat při teplotě 550±10 °C po dobu 5,5 hodin. Po vychladnutí v exsikátoru se kelímky zváží [85].

Výpočet obsahu neutrálně-detergentní vlákniny v %:

$$NDF = \frac{(m_3 - m_1 \cdot c_1) - (m_4 - m_1 \cdot c_2)}{m_2} \cdot 100 \quad (15)$$

kde: m_1 ... hmotnost prázdného popsaného sáčku [g],

m_2 ... hmotnost přesné navážky vzorku [g],

m_3 ... hmotnost vysušeného sáčku se vzorkem po hydrolyze [g],

m_4 ... hmotnost popela po spálení sáčku se vzorkem [g],

c_1 ... korekce hmotnosti sáčku po hydrolýze [g],

c_2 ... korekce hmotnosti sáčku po spálení [g].

Korekce hmotnosti sáčku v g:

$$c_1 = \frac{m_s}{m_1} \quad (16)$$

$$c_2 = \frac{m_p}{m_1} \quad (17)$$

kde: m_s ... hmotnost vysušeného korekčního sáčku po hydrolýze [g],

m_p ... hmotnost popela korekčního sáčku [g].

4.6 Metoda stanovení stravitelnosti

Metodou, která napodobuje proces trávení v lidském traktu je metoda stanovení stravitelnosti *in vitro*. Využívá se enzymů pepsin a pankreatin, který je tvořen směsí enzymů proteázy, lipázy a amylázy. Při metodě samotného stanovení stravitelnosti u vloček a zrn byla použita redestilovaná voda. Při přípravě nestravitelného podílu vloček (kdy postup práce uvedený níže končil po vysušení vzorků v sušárně bez následného spálení nestráveného podílu) byla použita voda v ultrapure kvalitě. To bylo z důvodu následného stanovení prvků pomocí ICP-MS.

Pro stanovení stravitelnosti se používají sáčky F57, které se nechají odmastit v acetonu, důkladně odvětrat v digestoři a následně se zváží pomocí analytické váhy a popíší. Do každého sáčku kromě korekčního se naváží 0,25 g vzorku s přesností na 0,1 mg. Všechny sáčky se pečlivě zataví a vloží do inkubační lahve přístroje Daisy^{II}. Společně s nimi se do lahve přidá 1,7 l HCl o koncentraci 0,1M a 3 g pepsinu. Lahev se uzavře a vloží do inkubátoru Daisy^{II} na 4 hodiny při 37 °C. Po skončení doby inkubace se sáčky několikrát promyjí destilovanou vodou. Před druhou inkubací je nutno zhotovit fosfátový pufr o pH 7,45, který obsahuje 3,09 g KH₂PO₄ a 32,49 g Na₂HPO₄·12H₂O na 1,7 l. Ten se nalije do inkubační lahve s promytými sáčky se vzorky a přidají se 3 g pankreatinu. Vzorky se nechají inkubovat v inkubátoru Daisy^{II} po dobu 24 hodin při 37 °C. Inkubované vzorky se po uplynutí doby inkubace dají do sušárny o teplotě 80 °C za účelem vysrážení zmazovatělého škrobu, který se následně důkladně vymyje redestilovanou vodou. Následně se sáčky vloží do sušárny na 24 hodin při 105±3 °C. Zchladlé sáčky z exsikátoru

se zváží na analytické váze s přesností na 0,1 mg a nechají spálit. Do předem vyžíhaných, zvážených a popsáných porcelánových kelímků se vloží sáček tak, aby se dokonale spálil, kelímky se vloží do muflové pece a jsou spalovány při teplotě 550 ± 10 °C po dobu 5,5 hodin. Po vychlazení v exsikátoru se kelímky i s popelem zváží s přesností na 0,1 mg. Následujícími výpočty se zjistí podíl stravitelné sušiny (DMD) a stravitelnost organické hmoty (OMD) [86].

Výpočet stravitelnosti sušiny v %:

$$DMD = 100 - \frac{100 \cdot DMR}{m_2 \cdot DM} \quad (18)$$

Výpočet hmotnosti vzorku bez sáčku po inkubaci a vysušení v g:

$$DMR = m_3 - m_1 \cdot c_1 \quad (19)$$

Výpočet obsahu sušiny ve vzorku v g:

$$DM = \frac{S \cdot m_S}{100} \quad (20)$$

Výpočet stravitelnosti organické hmoty v %:

$$OMD = 100 - \frac{100 \cdot (DMR - AR)}{m_2 \cdot DM \cdot OM} \quad (21)$$

Výpočet hmotnosti popela vzorku bez sáčku v g:

$$AR = m_4 - m_1 \cdot c_1 \quad (22)$$

Výpočet obsahu organické hmoty v sušině vzorku v g:

$$OM = \frac{S - P}{100} \quad (23)$$

kde: DMD ... hodnota stravitelnosti sušiny vzorku [%],

DMR ... hmotnost vzorku bez sáčku po inkubaci a vysušení [g],

DM ... obsah sušiny ve vzorku [g],

OMD ... hodnota stravitelnosti organické hmoty ve vzorku [%],

AR ... hmotnost popela vzorku bez sáčku [g],

OM ... obsah organické hmoty v sušině vzorku [g],

S ... sušina vzorku [%],

P ... popel vzorku [%],

- m_S ... hmotnost vzorku na stanovení sušiny [g],
 m_1 ... hmotnost prázdného popsaného sáčku [g],
 m_2 ... hmotnost vzorku [g],
 m_3 ... hmotnost vysušeného sáčku se vzorkem po inkubaci [g],
 m_4 ... hmotnost popela vysušeného sáčku se vzorkem po inkubaci [g],
 c_1 ... korekce hmotnosti sáčku po inkubaci [g],
 c_2 ... korekce hmotnosti sáčku po spálení [g].

Výpočet korekce hmotnosti v g:

$$c_1 = \frac{m_S}{m_1} \quad (24)$$

$$c_2 = \frac{m_P}{m_1} \quad (25)$$

kde: m_S ... hmotnost vysušeného korekčního sáčku po inkubaci [g],

m_P ... hmotnost spáleného sáčku se vzorkem [g].

4.7 Stanovení minerálních prvků pomocí metody ICP-MS

ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem) je analytická metoda sloužící ke stanovení obsahu minerálních a stopových prvků ve vzorku.

Nejprve se do teflonových nádobek odváží 0,2 g vzorku s přesností na 0,1 mg a přidá se 7 ml 67% ultrapure HNO_3 a 1 ml 30% ultrapure H_2O_2 . Vzorky se vloží do mikrovlnného systému Milestone Ethos One. Pro rozklad vzorků byl nastaven následující program: 10 minut, 180 °C, 1500 W náběh a 15 minut, 180 °C a 1500 W výdrž. Mineralizát byl po ustálení doplněn na objem 25 ml ultrapure redestilovanou vodou [87]. Analýza byla provedena na vzorcích syrových zrn, vloček a v nestravitelném podílu vloček.

Při měření byly použity sady kalibračních standardních sérií s předpokládaným koncentračním rozsahem ve vzorcích: vyšší koncentrační řada: ^9Be , ^{66}Zn , ^{63}Cu , ^{60}Ni , ^{27}Al , ^{71}Ga , ^{24}Mg , ^{59}Co , ^7Li , ^{45}Sc , ^{107}Ag , ^{55}Mn , ^{88}Sr , ^{137}Ba , ^{205}Tl , ^{209}Bi , ^{140}Ce , ^{133}Cs , ^{165}Ho , ^{181}Ta , ^{159}Tb , ^{238}U a ^{89}Y v koncentraci 3–35 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ a nižší koncentrační řada standardů: ^{75}As , ^{44}Ca , ^{111}Cd , ^{52}Cr , ^{57}Fe , ^{202}Hg , ^{39}K , ^{31}P , ^{23}Na , ^{208}Pb , ^{118}Sn a ^{48}Ti v koncentraci 0,5–1,0 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Rhodium (^{103}Rh) v koncentraci 10–100 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ byl použit jako vnitřní standard. V této práci

nebyly měřeny certifikované referenční materiály a byly využity kalibrace z předchozích měření, které jsou uloženy v paměti PC.

K analýze byl použit hmotnostní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem ICP-MS ThermoScientific iCAP Q na bázi kvadrupólového analyzátoru (ThermoScientific, USA) vybaveného technologií QCell (CCT – Collision Cell Technology, využívá He jako kolizní plyn). Pracovní parametry byly nastaveny následovně: výkon 1550 W, hloubka vzorkování 5 mm, průtok chladicího plynu 14,0 l.min⁻¹, průtok pomocného plynu 0,8 l.min⁻¹, průtok zmlžovacího plynu 1,015 l.min⁻¹, průtoková rychlost He 4,1 ml.min⁻¹, rychlost zmlžovače 40,00 ot.min⁻¹ a teplota uvnitř komory byla nastavena na 2,7 °C [88].

4.8 Index biodostupnosti prvků, příspěvky prvků k referenčním hodnotám RDA, AI, PTWI a PTMI a ztráty prvků při výrobě vloček

Z naměřených výsledků obsahu minerálních a stopových prvků metodou ICP-MS byla poté vypočítána jejich teoretická biodostupnost v %:

$$B = 100 - \left(\frac{c \text{ prvku v } 1 \text{ g NPV} \cdot (100 - \text{OMD})}{c \text{ prvku v } 1 \text{ g vločky}} \right) \quad (26)$$

kde: c ... koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ nebo $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$] v 1 g nestravitelného podílu vloček

(NPV)

OMD ... hodnota stravitelnosti organické hmoty [%].

Denní příjem minerálních a stopových prvků při konzumaci vloček byl vypočten na základě jejich příslušných koncentrací a srovnán s jejich referenční hodnotou příjmu (Recommended Daily Allowance, RDA) nebo adekvátního příjmu (Adequate Intake, AI), pokud hodnoty RDA pro daný prvek nejsou stanoveny, a to dle doporučení Institute of Medicine ([89], [90], [91]). Týdenní či měsíční příjem toxických prvků byl také vypočten a porovnán s odpovídajícími údaji PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake) nebo PTMI (Provisional Tolerable Monthly Intake), pokud PTWI hodnota nebyla stanovena, a to dle ([90], [92], [93], [94]). Hodnoty příjmu byly stanoveny pro dospělého člověka ve věku 31 až 50 let, pro ženy vážící 65 kg a muže vážící 80 kg. Jelikož neexistuje doporučení pro denní příjem pšeničných vloček, byla porce vloček stanovena na 100 g.

U všech prvků byla vypočítána jejich ztráta v %, po technologickém opracování zrna na vločku:

$$Z = 100 - \frac{c \text{ prvku v 1 g syr.zrna}}{c \text{ prvku v 1 g vločky}} \cdot 100 \quad (27)$$

kde: c ... koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ nebo $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$].

4.9 Statistické zpracování výsledků

Naměřená data byla vyjádřena jako střední hodnota \pm směrodatná odchylka (Microsoft Office Excel). Pro statistické vyhodnocení byl použit statistický program StatK25. Výsledky byly vyhodnocovány na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Výsledky byly podrobeny parametrickému testu srovnávajícímu střední hodnoty dvou nezávislých souborů, tzv. Studentovu t -testu.

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Naměřené výsledky u jednotlivých stanovení byly vzájemně statisticky zpracovány a zapsány jako střední hodnota se směrodatnou odchylkou (SD).

5.1 Výsledky stanovení vlhkosti

Stanovení vlhkosti proběhlo dle postupu v kapitole 4.4.1 s použitím vzorců č. 1 a 2. k výpočtu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6: *Výsledky stanovení vlhkosti*

| Vzorek | Vlhkost [%] \pm SD |
|--------|--------------------------------|
| SZ | 8,40 \pm 0,10 ^{a,A} |
| MZ | 9,70 \pm 0,20 ^{b,A} |
| DZ | 10,2 \pm 0,1 ^{c,A} |
| SV | 7,60 \pm 0,11 ^{a,B} |
| MV | 8,40 \pm 0,30 ^{b,B} |
| DV | 6,21 \pm 0,20 ^{c,B} |

Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním malým indexem (v případě všech zrn nebo všech vloček) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním velkým indexem (v případě zrna a vločky dané odrůdy) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty s rozdílnými indexy pak vykazují statisticky významný rozdíl ($P \geq 0,05$).

Vlhkost lze charakterizovat jako úbytek hmotnosti při sušení při určité teplotě. Je to jedna z analýz pro hodnocení kvality [13]. Vyhláška č. 18/2020 Sb. [9] stanovuje maximální hodnotu vlhkosti pšeničných vloček na 14,0 %. Naměřená vlhkost analyzovaných vzorků se pohybovala v rozmezí 6,21–10,2 %. Nejvyšší vlhkost (10,2 %) vykazoval vzorek zrna pšenice Dickkopf, nejnižší (6,21 %) opět vzorek Dickkopf, tentokrát vločky. Všechny hodnoty vlhkosti jsou v souladu s vyhláškou. Obecně, pokud je vyšší vlhkost obilných zrn (obvykle nad zmiňovaných 14,0 %), mohlo by dojít k naklíčení zrn, k pomnožení mikroorganismů, rozvoji plísňových chorob a iniciaci žluknutí či oxidace ([17], [32]).

5.2 Výsledky stanovení popela

Stanovení popela v sušině proběhlo dle postupu v kapitole 4.4.2 a jeho obsah byl vypočten za použití vzorců č. 3 a 4. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tabulka č. 7: *Výsledky stanovení popela*

| Vzorek | Popel v sušině [%] ± SD |
|--------|----------------------------|
| SZ | 1,91 ± 0,04 ^{a,A} |
| MZ | 1,85 ± 0,02 ^{b,A} |
| DZ | 1,80 ± 0,05 ^{c,A} |
| SV | 1,86 ± 0,01 ^{a,B} |
| MV | 1,89 ± 0,03 ^{a,A} |
| DV | 1,75 ± 0,01 ^{b,B} |

Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním malým indexem (v případě všech zrn nebo všech vloček) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním velkým indexem (v případě zrna a vločky dané odrůdy) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty s rozdílnými indexy pak vykazují statisticky významný rozdíl ($P \geq 0,05$).

Jako popel jsou označovány minerální látky zbylé po spálení vzorku. Obecně se obsah minerálních látek v obilce pohybuje v hodnotách 1,25–2,50 % ([13], [17]). Nejnižší množství popela bylo naměřeno v syrovém zrně pšenice Dickkopf (1,80 %) a jeho vloček (1,75 %). Naměřené množství se shoduje například se studií Sumczynski et al. [83]. Se zmíněnou studií může být také porovnán obsah popela ve vzorku zrn a vloček konvenční pšenice, který byl naměřen v hodnotě 1,7 %, tedy nižší než zde u zrn a vloček pšenice Megali (1,85 % a 1,89 %). Konečný obsah minerálních látek je závislý především na technologickém zpracování zrna, jinak je ovlivněn půdními a klimatickými podmínkami, odrůdou, agrotechnikou apod. [17]. Vyšší podíl popela zde může být vysvětlen zachováním obalových vrstev při výrobě vloček.

5.3 Výsledky stanovení obsahu hrubé bílkoviny

Stanovení hrubé bílkoviny proběhlo dle postupu v kapitole 4.4.3 a výpočet byl proveden za použití vzorců č. 5 až 7. Výsledky stanovení jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Tabulka č. 8: *Výsledky stanovení hrubé bílkoviny*

| Vzorek | Bílkoviny v sušině [%] ± SD |
|--------|-----------------------------|
| SZ | 14,7 ± 0,4 ^{a,A} |
| MZ | 10,8 ± 0,4 ^{b,A} |
| DZ | 14,2 ± 0,5 ^{c,A} |
| SV | 15,1 ± 0,2 ^{a,B} |
| MV | 12,1 ± 0,5 ^{b,B} |
| DV | 13,9 ± 0,2 ^{c,A} |

Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním malým indexem (v případě všech zrn nebo všech vloček) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním velkým indexem (v případě zrna a vločky dané odrůdy) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty s rozdílnými indexy pak vykazují statisticky významný rozdíl ($P \geq 0,05$).

Obsah hrubé bílkoviny u zrn a z nich vyrobených vloček se pohyboval v širším rozmezí 10,8–15,1 %. Obsah bílkovin v zrně pšenice může dosahovat hodnot 10–14 %, jsou i odrůdy či druhy pšeničných zrn, kdy obsah hrubé bílkoviny může dosahovat běžně 17 % [10]. Nejvyšší obsah hrubé bílkoviny v sušině byl zjištěn ve vzorcích pšenice Samtrot, a to 14,7 a 15,1 %, což je více, než popisují studie zabývající se analýzou *T. compactum* (13,7 % a 12,7 % ([95], [96])). Analýza na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně ukázala vysoký obsah bílkovin, vlákniny, vitamínu B a E v zrnech pšenice Samtrot. Mouka z tohoto druhu pšenice je vhodná pro pečení chleba nebo k vaření kaší [79]. Nejnižší množství bílkovin mají vzorky pšenice Megali (10,8 a 12,1 %), což se shoduje s tvrzením Suchowilska et al. [29], že konvenčně pěstované obiloviny mají nižší podíl bílkovin kvůli vyššímu podílu škrobu. Obsah bílkovin pšenice Dickkopf byl naměřen v hodnotách 14,2 % pro zrno a 13,9 % pro vločky. Studie, zabývající se analýzou bílkovin ve vločkách zmíněného druhu pšenice, uvádějí hodnotu 14,9 % ([83], [97]). Pro porovnání, pšenice špalda obsahuje průměrně 14,8 % bílkovin, jednozrnka 17,9 %, dvouzrnka 8,9–14,2 % [98].

Na obsah bílkovin v obilovinách má vliv mnoho faktorů, mezi něž patří genotyp a vlivy životního prostředí (období růstu, poloha, způsob hnojení). Obecně však platí, že čím více je v půdě přítomno dusíku, tím více bílkovin obilovina může obsahovat ([99], [100]).

Pšenice s nižším podílem bílkovin jsou využívány spíše k výrobě těstovin a pečivářských výrobků, jako jsou sušenky a oplatky. Obiloviny s vyšším podílem bílkovin jsou naopak využívány spíše k výrobě pekářských výrobků, jako je chléb [7].

5.4 Výsledky stanovení lipidů

Stanovení lipidů proběhlo dle postupu v kapitole 4.4.4 za použití vzorců č. 8 a 9 k výpočtu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka č. 9: *Výsledky stanovení lipidů*

| Vzorek | Lipidy v sušině [%] ± SD |
|--------|----------------------------|
| SZ | 1,40 ± 0,10 ^{a,A} |
| MZ | 1,47 ± 0,20 ^{a,A} |
| DZ | 1,66 ± 0,10 ^{b,A} |
| SV | 1,39 ± 0,10 ^{a,A} |
| MV | 1,59 ± 0,10 ^{b,A} |
| DV | 1,72 ± 0,10 ^{c,A} |

Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním malým indexem (v případě všech zrn nebo všech vloček) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním velkým indexem (v případě zrna a vločky dané odrůdy) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty s rozdílnými indexy pak vykazují statisticky významný rozdíl ($P \geq 0,05$).

Výsledky stanovení obsahu lipidů v sušině se pohybovaly v relativně úzkém rozmezí, a to 1,40–1,72 %. Nejvyšší obsah byl naměřen ve vzorcích pšenice Dickkopf (1,66 a 1,72 %), což je méně, než uvádí studie Sumczynski et al. [83], kde byly naměřeny hodnoty 2,9 %. U komerční pšenice obsah tuku dosahoval 1,59 %, je tedy nižší, než udávají studie [29] a [83], kde v obou případech bylo naměřeno 2,1 % lipidů. Z vybraných vzorků se mezi obiloviny s nejnižším obsahem tuku řadí odrůda Samtrot s podílem 1,40 % a 1,39 % lipidů v zrně a vločkách. Z obilovin vyššího obsahu lipidů dosahují zrna ovsu, udává se průměrný obsah tuku 5–7 %, daleko více potom u zrn prosa (až 12 %) ([7], [101]). U vloček pšenice Kamut bylo naměřeno 2,6 %, u špaldy 2,5 % lipidů [83].

I přes nízké množství je obsah lipidů v obilce důležitý, hlavně při výrobě těsta. Záleží však také na polaritě. Polární lipidy (glykolipidy, fosfolipidy [102]) zajišťují vyšší objem pečiva, nepolární objem těsta snižují [17]. Nejvíce polárních lipidů bývá v endospermu [32]. V potravinářství i kosmetice se využívá olej z pšeničných klíčků pro své antioxidační

vlastnosti [35]. Tuky, především v celozrnných výrobcích, jsou náchylné k oxidačnímu i enzymatickému žluknutí, z důvodu přítomnosti lipáz, ovlivňují tedy stabilitu těchto výrobků během skladování [26]. Během mlýnského zpracování dochází k uvolnění lipáz a degradaci triglyceridů na volné mastné kyseliny [103]. Obecně platí, že náchylnost ke žluknutí stoupá s vyšší nenasyceností mastných kyselin [104]. Jelikož se v obilovinách nacházejí ve větším množství i nenasycené mastné kyseliny polyenové a monoenové ([30], [33]), a to především v obalových vrstvách, mají výrobky obsahující tyto části zrna tendenci rychleji žluknout. Důsledkem žluknutí pak mohou zhořknout [105]. Aktivitu lipáz inhibuje vyšší teplota, např. právě při výrobě vloček [103].

5.5 Výsledky stanovení škrobu

Stanovení škrobu bylo provedeno dle postupu popsáno v kapitole 4.4.5, k výpočtu jeho obsahu bylo použito vzorců č. 10 a 11. Výsledky stanovení jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Tabulka č. 10: *Výsledky stanovení škrobu*

| Vzorek | Škrob v sušině [%] ± SD |
|-----------|---------------------------|
| SZ | 58,8 ± 0,4 ^{a,A} |
| MZ | 57,6 ± 0,6 ^{b,A} |
| DZ | 64,1 ± 0,5 ^{c,A} |
| SV | 58,0 ± 0,9 ^{a,A} |
| MV | 60,6 ± 0,8 ^{b,B} |
| DV | 61,6 ± 0,8 ^{c,B} |

Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním malým indexem (v případě všech zrn nebo všech vloček) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním velkým indexem (v případě zrna a vločky dané odrůdy) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty s rozdílnými indexy pak vykazují statisticky významný rozdíl ($P \geq 0,05$).

Výsledné hodnoty stanovení obsahu škrobu ve vzorcích zrn a vloček se pohybovaly od 57,6 do 64,1 %. Průměrný obsah škrobu v pšenici je publikován v celkem širokém rozmezí, a to 55–75 % ([12], [18]). Nejnižší množství škrobu bylo naměřeno v zrně pšenice Megali (57,6 %), nejvyšší množství potom v zrně pšenice Dickkopf (64,1 %). Studie Sumczynski et al. [83] uvádí hodnotu obsahu škrobu pro vločky Dickkopf 51,4 %. Podíváme-li se do odborné literatury, vyšší množství škrobu bylo naměřeno například u zrn špaldy (62,4 %) [106].

Škrob se v endospermu obilky tvoří pravděpodobně ze sacharózy, a to za pomoci mnoha enzymatických reakcí [32]. Na celkový obsah škrobu má vliv genetická výbava rostliny (šlechtění), klimatické podmínky a počasí. Vyšší podíl škrobu byl zaznamenán u plodin rostoucích v chladnějších oblastech ve vyšší nadmořské výšce ([6], [107]).

5.6 Výsledky stanovení vlákniny

Stanovení hrubé vlákniny (CF) proběhlo dle postupu popsáno v kapitole 4.4.6.1 za použití vzorců č. 12 až 14. Stanovení neutrálně-detergentní vlákniny (NDF) proběhlo dle postupu v kapitole 4.4.6.2 a výpočet byl proveden za použití vzorců č. 15 až 17. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č. 11.

Tabulka č. 11: *Výsledky stanovení CF a NDF*

| Vzorek | CF v sušině [%] ± SD | NDF v sušině [%] ± SD |
|-----------|----------------------------|----------------------------|
| SZ | 2,58 ± 0,11 ^{a,A} | 10,6 ± 0,1 ^{a,A} |
| MZ | 2,42 ± 0,10 ^{b,A} | 12,7 ± 0,3 ^{b,A} |
| DZ | 2,56 ± 0,20 ^{a,A} | 9,72 ± 0,20 ^{c,A} |
| SV | 2,77 ± 0,10 ^{a,B} | 10,0 ± 0,3 ^{a,B} |
| MV | 2,55 ± 0,11 ^{b,B} | 10,5 ± 0,4 ^{a,B} |
| DV | 2,45 ± 0,10 ^{c,B} | 9,48 ± 0,20 ^{b,A} |

Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním malým indexem (v případě všech zrn nebo všech vloček) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním velkým indexem (v případě zrna a vločky dané odrůdy) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty s rozdílnými indexy pak vykazují statisticky významný rozdíl ($P \geq 0,05$).

Výsledky stanovení CF se pohybovaly v rozmezí koncentrací 2,42–2,77 % a NDF 9,48–12,7 %. CF označuje stanovení vlákniny, kdy za podmínek metody získáme frakce ligninu a celulózy, NDF představuje frakci ligninu, celulózy a nerozpustných hemicelulóz. Nejvíce hrubé vlákniny CF bylo naměřeno ve vločkách pšenice Samtrot (2,77 %), méně v zrně pšenice Megali a vločkách Dickkopf (2,42 % a 2,45 %). Nejvíce frakce vlákniny označené jako NDF bylo stanoveno v zrně pšenice Megali (12,7 %), nejméně ve vločkách pšenice Dickkopf (9,48 %). CF vloček pšenice Dickkopf bylo změřeno ve studii Sumczynski et al. [83] a dosahovalo hodnoty 2,09 %. Množství hrubé vlákniny v konvenční pšenici bylo v této studii naměřeno v hodnotě 1,68 %, ve studii Suchowilska et al. [29] v hodnotě až 2,60 %. Je ovšem nutno také brát v úvahu podmínky metody, za kterých ke stanovení jednotlivých frakcí vlákniny dochází. Špalda v poslední studii [29] vykazovala nižší podíl

vlákniny, a to 2,25 %. V naší studii byly stanovovány frakce tzv. nerozpustné vlákniny. Vhodné by do budoucna bylo nastavit metodiku na stanovení tzv. celkové dietetické vlákniny (TDF, Total Dietary Fibre), která zahrnuje jak rozpustnou, tak nerozpustnou frakci. Nerozpustná vláknina obilovin je však významná z toho důvodu, že se na ni váží polyfenolické látky, které jsou významnými antioxidanty. Tyto polyfenoly se z těchto frakcí vlákniny postupně uvolňují při průchodu trávicím traktem a ty, které jsou pevně vázané, se uvolňují až v tlustém střevě. Tam jsou využity tamní mikroflórou za současné produkce organických kyselin jako jsou kyselina octová, mléčná, máselná apod., které okyselují okolní prostředí a brání tak rozvoji nežádoucích bakterií [108].

Vláknina je ceněná složka stravy hlavně pro její pozitivní vliv na zdraví. Výhody pravidelné konzumace vlákniny jsou popsány v kapitole 1.2.1.2. Cereální výrobky tvoří hlavní složku jídelníčku většiny obyvatel, proto by mělo být hlavním cílem právě navyšování obsahu vlákniny. Toho můžeme docílit například zachováním obalových vrstev při mletí zrn na mouku nebo konzumací celozrnných vloček a celozrnných pekařských výrobků [74].

5.7 Výsledky stanovení stravitelnosti

Stanovení stravitelnosti proběhlo dle postupu prezentovaného v kapitole 4.4.7, k výpočtu byly použity vzorce č. 18–25. Výsledky stanovení jsou uvedeny v tabulce č. 12. Stanovení stravitelnosti bylo provedeno jak u syrových zrn, tak u vyrobených vloček. Syrová zrna se samozřejmě zpravidla v tomto stavu nekonzumují. Nicméně v naší studii jde spíše o srovnání, jak se tato hodnota změní po tepelném ošetření a rozvácování vloček. Poté také byla využita tato metodika pro přípravu nestravitelného podílu vločky, který nebyl ovšem dále spálen, ale byl dále analyzován pro obsah minerálních prvků metodou ICP-MS.

Tabulka č. 12: *Výsledky stanovení DMD a OMD*

| Vzorek | DMD [%] ± SD | OMD [%] ± SD |
|-----------|---------------------------|---------------------------|
| SZ | 85,4 ± 0,4 ^{a,A} | 86,2 ± 0,4 ^{a,A} |
| MZ | 86,5 ± 0,6 ^{b,A} | 87,0 ± 0,6 ^{b,A} |
| DZ | 87,8 ± 0,1 ^{c,A} | 88,3 ± 0,1 ^{c,A} |
| SV | 88,4 ± 0,1 ^{a,B} | 89,2 ± 0,2 ^{a,B} |
| MV | 87,7 ± 0,1 ^{b,B} | 88,7 ± 0,1 ^{b,B} |
| DV | 89,4 ± 0,3 ^{c,B} | 90,5 ± 0,2 ^{c,B} |

Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním malým indexem (v případě všech zrn nebo všech vloček) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním velkým indexem (v případě zrna a vločky dané odrůdy) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty s rozdílnými indexy pak vykazují statisticky významný rozdíl ($P \geq 0,05$).

Stravitelnost vybraných vzorků je prezentována jako stravitelnost sušiny (Dry Matter Digestibility, DMD) a stravitelnost organické hmoty (Organic Matter Digestibility, OMD). Hodnoty DMD se pohybovaly od 85,4–89,4 %, hodnoty OMD poté 86,2–90,5 %. Nejnížší hodnoty DMD i OMD vykazovala zrna Samtrotu, což koreluje s nižším obsahem škrobu. Bylo prokázáno, že technologické zpracování potravin zlepšuje stravitelnost bílkovin, je totiž enzymům trávicího traktu umožněn snazší přístup a bílkoviny tak mohou být dokonaleji rozštěpeny [109]. Zrna Samtrotu také obsahovala vyšší množství hrubé vlákniny. Nejlépe stravitelná byla zrna a vločky pšenice Dickkopf, u zrna bylo naměřeno 89,4 % a u vloček 90,5 %. Pšenice Dickkopf je považována za dobře stravitelnou a často se využívá pro výrobu vloček do müsli a pro výrobu chleba [78]. Vyšší stravitelnost je dána pravděpodobně vyšším obsahem škrobu a nižším podílem vlákniny v tomto druhu obiloviny. Stravitelnost živin bývá ovlivněna i přítomností antinutričních látek, v případě

obilovin to bývají taniny, kyselina fytoová a inhibitory proteáz. Všechny vyjmenované antinutriční látky mají tendenci inhibovat stravitelnost především bílkovin (až o 10 %), některé z nich i škrobu ([109], [110]).

5.8 Výsledky stanovení minerálních a stopových prvků metodou ICP-MS

5.8.1 Výsledky stanovení obsahu minerálních a stopových prvků ve vzorcích

Stanovení minerálních a stopových prvků proběhlo dle postupu uvedeného v kapitole 4.4.8. a výsledky jsou přehledně uvedeny v tabulce č. 13. Vlastní stanovení bylo provedeno u vzorků syrových zrn, vloček a také nestravitelného podílu vloček.

Minerální látky v rámci prvkové analýzy a nutričního významu lze rozdělit na makrobiogenní prvky (Na, K, P, Ca, Mg, S a Cl), mikrobiogenní (Fe a Zn) a stopové (Cu, Co, Cr, Se, Sn, Mo, B, V, Ni, Cd, Pb, As, Hg aj.) ([111], [112]). Na obsah těchto prvků v rostlinách má vliv několik faktorů, mezi které se řadí genotyp, obsah prvků v půdě a jejich dostupnost a schopnost akumulace v různých částech rostlin ([113], [114]). Například z půdy s vyšším obsahem vápníku a vyšším pH je dostupnost prvků, především zinku, značně inhibována. Vstřebatelnost z půdy může být také ovlivněna přítomností jiných prvků, např. absorpce zinku může být inhibována mědí a vodíkem, absorpce mědi může být inhibována zinkem, vápníkem a draslíkem [113]. Kromě již zmíněných údajů výše příjem minerálních prvků rostlinou ovlivňují také např. klimatické podmínky nebo obsah jílu v půdě, jeho chemická forma [114]. Rostliny přijímají živiny zejména kořeny, ale mohou i listy nebo stonky ([112], [114], [115]). Nejhůře vstřebatelné z půdy jsou např. prvky Ag, Cr, Sn, Ti, Y, nejlépe poté např. Cd, Se, Zn, Ni, M, Cu [114]. Obsah živin v půdě může být ovlivněn agrotechnickými zásahy ([112], [115]). Toho se využívá především u zinku a železa ([114], [116]). Vysoká koncentrace některých minerálních prvků v půdě však může inhibovat růst a vývoj plodin. Mezi tyto látky se řadí Mn, Al, B, Na, Cl a Fe [112]. Také je známo, že pokud použité hnojivo obsahuje vyšší množství fosforu, může v plodině stoupat množství kyseliny fytoové, do které se fosfor ukládá [113].

Z tabulky č. 13 vyplývá, že nejvíce zastoupeným prvkem ve všech vzorcích byl hořčík. Jeho hodnoty koncentrací se pohybovaly v rozmezí 658–1020 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Ze vzorků syrového zrna bylo nejnižší množství naměřeno v pšenici Megali (878 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a nejvyšší v pšenici Samtrot (1020 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Výhodou při srovnání výsledků je také fakt, že pšeničná zrna byla

pěstována ve stejné lokalitě, tudíž se očekává, že by mohla mít podobný profil zastoupení některých prvků. Ze vzorků vloček nejnižší podíl Mg obsahovaly vločky Samtrot ($658 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), nejvyšší poté vločky Dickkopf ($758 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). U vloček jsou naměřeny nižší koncentrace prakticky všech prvků. To souvisí se ztrátami při opracování zrn na vločky a blíže je této problematice věnována kapitola 5.8.3. Hořčík má významný vliv na aktivitu enzymů účastnících se při fotosyntéze a syntéze proteinů v rostlinných buňkách [115]. Obecně se hodnoty hořčíku v rostlinách pohybují v rozmezí $0,05\text{--}1,91 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ [117]. Ve studii Hussain et al. [118] bylo v jarní pšenici naměřeno $1280 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, v pšenici ozimé $1250 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Studie Hendek-Ertop et al. [39] udává množství hořčíku v pšenici $765 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, v ovsu $735 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Draslík je v rostlinách akumulován v listech a stoncích v iontové formě ([111], [115]). Ovlivňuje osmotický tlak v rostlině, aktivuje také enzymy a koenzymy zapojené do procesu fotosyntézy, při jeho nedostatku je tedy fotosyntéza inhibována [115]. Množství draslíku v rostlinách se pohybuje od $0,2$ do $7,3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (na hmotnost čerstvé suroviny) [117]. Jako bohaté na draslík se označují fazole, špenát, brambory [111], ořechy obsahují až $2,24 \text{ mg K na } 1 \text{ g}$ [117]. Analyzované vzorky obsahovaly draslík v množství od 424 do $728 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (tabulka č. 13). Syrová zrna pšenice Megali obsahovala statisticky stejné množství draslíku jako syrová zrna Dickkopf (728 a $725 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Množství draslíku naměřeného ve vločkách Megali se statisticky lišilo od koncentrace draslíku u odrůdy Dickkopf (621 a $616 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Množství draslíku může v pšenici dosahovat až $4160 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ve špaldě $4150 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ [118] a v žitě $4440 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ [39]. U našich vzorků byly obsahy draslíku nižší.

Fosfor hraje klíčovou roli v energetickém metabolismu jakožto součást adenosintrifosfátu (ATP), DNA a RNA ([111], [115]). Je přítomen zejména v semenech a jeho dostatečné množství zkracuje vegetační dobu rostliny [115]. Naměřené hodnoty fosforu se dle tabulky č. 13 pohybují v rozmezí $129\text{--}192 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U syrových zrn bylo nejvíce fosforu naměřeno u pšenice Samtrot ($192 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), nejméně u Megali ($176 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Co se vloček týče, nejvyšší hodnota odpovídala hodnotě $154 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Dickkopf). Dle studie Hendek-Ertop et al. [39] obsahuje pšenice $1770 \mu\text{g P v } 1 \text{ g}$, ječmen $1820 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a dle studie Hussain et al. [118] jarní pšenice $3870 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ozimá pšenice $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a špalda $4280 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Nedostatek železa v rostlinách je celosvětovým problémem, a to obzvláště v rozvojových zemích (Asie, Afrika). Právě zde obiloviny a luštěniny tvoří základní součást jídelníčku ([111], [116]). Rostliny potřebují železo z hlediska normálního růstu a vývoje [119]. Obsah

železa v analyzovaných vzorcích se pohyboval v koncentracích 7,46–12,3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Ze syrových zrn nejvíce železa obsahovala odrůda Samtrot (12,3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). U vloček byla nejvyšší hodnota naměřena u odrůdy Dickkopf (9,07 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Železa se v nestravitelném podílu vloček Samtrot nacházelo 12,1 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Ve studii Hussain et al. [118] bylo naměřeno 47,5 μg Fe na 1 g zrn jarní pšenice a 32,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ v pšenici ozimé. Ve špaldě bylo naměřeno méně železa, a to 38,0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ [118]. Pšenice ve studii [39] obsahovala železo v množství 11,9 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, v ovsu hodnota činila 24,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a například v žitě 3,30 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U pšenic analyzovaných v této studii byly obsahy Fe spíše nižší.

Kromě železa jsou rostliny deficitní také na zinek. Podobně jako u železa jsou nejvíce ohroženy rozvojové země ([111], [116]). Možností, jak podíl zinku (i železa) v půdě zvýšit, se jeví genetická modifikace obilovin a luštěnin a využití hnojiva obohaceného o zinek (železo) [111]. Za dostatečně zinkem zásobenou plodinu je považována ta plodina, která ho obsahuje více než 20 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, hodnoty nižší než 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ značí zinkovou deficienci. Tento prvek je pro rostlinu důležitý zejména v období růstu, zajišťuje také její vyšší výnos [116]. Z analýzy vzorků (tabulka č. 13) lze vyčíst, že obsah zinku se pohybuje v rozmezí 6,37–15,4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Nejvíce zinku bylo naměřeno v zrnech a vločkách odrůdy Dickkopf (15,4 a 9,67 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Pšenice setá může obsahovat až 11,3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ječmen až 12,7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a například oves obsahuje 7,9 μg Zn na 1 g [39].

Sodík je důležitým prvkem pro regulaci objemu plasmy, mimo jiné má také vliv na nervovou soustavu a funkci svalů [120]. Nejvyšší naměřená koncentrace tohoto prvku byla ve vzorcích zrn i vloček pšenice Dickkopf (10,6 a 5,51 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

Síra je důležitým prvkem sirných aminokyselin. Studie Platel a Srinivasan [121] naznačuje, že by sloučeniny obsahující síru mohly mít pozitivní vliv na vstřebávání železa a zinku. Nejvyšší koncentrace S byla naměřena ve vzorcích pšenice Dickkopf, jak v znu (6,51 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), tak ve vločkách (5,70 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

Mn se řadí mezi esenciální prvky pro člověka vzhledem k jeho funkci kofaktoru při mnoha metabolických reakcích [120]. Koncentrace Mn ve vzorcích se pohybovala v rozmezí 25,2–38,7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Kabata-Pendias [114] uvádí, že koncentrace Mn v rostlinách bývá velmi variabilní, v zrně obilovin se pohybuje v hodnotách 18–48 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Metabolismus Cu v těle člověka může být ovlivňován koncentrací Mo a nadměrný příjem Mo může způsobovat deficienci mědi [120]. Ve vzorcích bylo naměřeno 8,16–9,73 μg Cu na 1 g syrových zrn, v případě vloček to bylo 5,00–6,25 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Nejvyšší množství bylo

naměřeno v syrovém zrně i vločkách pšenice Dickkopf, kde byl zároveň i nejvyšší obsah Mo (657 ng.g^{-1} pro syrové zrně, 574 ng.g^{-1} pro vločky).

Koncentrace titanu se ve vzorcích pohybovala v rozmezí $2,00\text{--}2,26 \text{ }\mu\text{g.g}^{-1}$. Jsou dostupné i studie, které uvádějí např. koncentraci Ti v rýžových zrnech dosahující hodnoty $1,39 \text{ }\mu\text{g.g}^{-1}$ [122]. V porovnání s tím potom obsah u vzorků pšenice byly vyšší. Koncentrace titanu se snižuje se stářím rostliny až o 1/3 [114].

Obsah Cr v rostlinách je v současné době středem pozornosti zejména díky účinkům chromu na metabolismus glukózy v těle člověka ([114], [120]). Naměřené koncentrace Cr ve vzorcích byly vyšší, než udává zdroj [114] ($0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$) pro pšeničné zrně. V našem případě se hodnoty Cr v syrovém zrně analyzovaných vzorků pohybovaly od 117 do 169 ng.g^{-1} .

Z toxických prvků byl nejvíce zastoupen Al. Crisponi et al. [123] udává, že průměrný obsah hliníku v rostlinách se pohybuje pod $25 \text{ }\mu\text{g.g}^{-1}$ sušiny. Hliník bývá kumulován zejména v kořenech [114]. Koncentrace Al se pohybovala v rozmezí $1,48\text{--}1,67 \text{ }\mu\text{g.g}^{-1}$ (tabulka č. 13). V případě syrových zrn nejvyšší koncentrace dosahovala zrna odrůdy Megali, nejnižší zrna odrůdy Samtrot. V připravených vločkách se hodnoty koncentrace Al pohybovaly ve stejném trendu.

Ve vzorcích byl naměřen poměrně vysoký obsah Hg. Pro syrová zrně byly naměřeny hodnoty v rozmezí $199\text{--}209 \text{ ng.g}^{-1}$. Pro vločky vyrobené z těchto druhů obilovin se hodnoty pohybovaly v rozmezí $124\text{--}148 \text{ ng.g}^{-1}$, kdy nejvyšší koncentrace byla naměřena ve vločkách pšenice Samtrot.

Co se kadmia týče, jeho obsah v pšeničných zrnech a otrubách je regulován Nařízením (ES) č. 1881/2006 [124] na maximální limit $0,20 \text{ mg.kg}^{-1}$ čerstvé hmotnosti. Koncentrace Cd ve vzorcích se pohybovala v poměrně širokém rozmezí $5,60\text{--}52,9 \text{ ng.g}^{-1}$ (tabulka č. 13). Nejvyšší naměřený obsah byl v syrových zrnech a vločkách pšenice Dickkopf ($52,9 \text{ ng.g}^{-1}$ a $45,2 \text{ ng.g}^{-1}$), nejnižší v zrně a vločkách pšenice Megali ($6,66$ a $5,60 \text{ ng.g}^{-1}$). Nejvyšší naměřené hodnoty jsou v souladu s nařízením. Pro porovnání byl ve studii Asdeo [125] obsah kadmia v zrně pšenice naměřen v hodnotě 40 ng.g^{-1} a ve studii Ludajic et al. [126] bylo naměřeno v otrubách 121 ng.g^{-1} . Bylo zjištěno, že hlavním zdrojem kontaminace kadmiiem jsou fosforečnanová hnojiva, která Cd obsahují [43].

Také pro olovo je stanoven maximální limit nařízením [124], u obilovin a luštěnin činí $0,20 \text{ mg.kg}^{-1}$ čerstvé hmotnosti. Nejvyšší naměřená koncentrace Pb v analyzovaných

vzorcích činí $68,3 \text{ ng.g}^{-1}$ v případě syrových zrn pšenice Samtrot. Z toho vyplývá také nejvyšší naměřené množství ve vločkách vyrobených z této odrůdy pšenice, koncentrace v tomto případě činila $57,8 \text{ ng.g}^{-1}$. I přes vysoké hodnoty koncentrace nepřesahovala maximální limit stanovený nařízením. Pro porovnání, ve studii [125] bylo v zrně pšenice naměřeno celkem 850 ng.g^{-1} , ve studii [126] bylo v pšeničných otrubách naměřeno 143 ng.g^{-1} .

Nikl je považován za závažný kontaminující prvek, který se do půdy dostává během zpracování kovů, spalování uhlí a olejů [114]. V lidském těle zastává funkci kofaktoru pro enzymy zapojené do metabolismu dusíku [120]. Nejvyšší koncentrace byla naměřena v syrovém zrně odrůdy Samtrot a Dickkopf (299 a 286 ng.g^{-1}) a vločkách z nich vyrobených (197 a 183 ng.g^{-1}).

Tabulka č. 13: Celkový obsah minerálních a stopových prvků ve vzorcích

| Prvky | SZ | SV | NPSV | MZ | MV | NPMV | DZ | DV | NPDV |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ | | | | | | | | | |
| ²³ Na | 4,13 ± 0,12 ^{a,A} | 1,33 ± 0,03 ^{a,B} | 3,41 ± 0,06 ^a | 4,44 ± 0,08 ^{b,A} | 1,26 ± 0,02 ^{b,B} | 2,90 ± 0,05 ^b | 10,6 ± 0,2 ^{c,A} | 5,51 ± 0,1 ^{c,B} | 25,5 ± 0,6 ^c |
| ²⁴ Mg | 1020 ± 20 ^{a,A} | 658 ± 19 ^{a,B} | 117 ± 2 ^a | 878 ± 9 ^{b,A} | 679 ± 12 ^{b,B} | 112 ± 2 ^b | 981 ± 15 ^{c,A} | 758 ± 11 ^{c,B} | 102 ± 3 ^c |
| ²⁷ Al | 1,56 ± 0,05 ^{a,A} | 1,48 ± 0,03 ^{a,B} | 4,02 ± 0,08 ^a | 1,67 ± 0,03 ^{b,A} | 1,59 ± 0,03 ^{b,B} | 2,10 ± 0,04 ^b | 1,60 ± 0,03 ^a | 1,52 ± 0,03 ^{a,A} | 2,31 ± 0,04 ^c |
| ³¹ P | 192 ± 4 ^{a,A} | 129 ± 4 ^{a,B} | 38,9 ± 1,2 ^a | 176 ± 4 ^{b,A} | 140 ± 4 ^{b,B} | 32,8 ± 0,6 ^b | 191 ± 4 ^{a,A} | 154 ± 3 ^{c,B} | 30,4 ± 0,6 ^c |
| ³² S | 6,11 ± 0,18 ^{a,A} | 4,45 ± 0,09 ^{a,B} | 6,78 ± 0,13 ^a | 6,24 ± 0,12 ^{a,A} | 5,17 ± 0,10 ^{b,B} | 6,41 ± 0,12 ^b | 6,51 ± 0,13 ^{b,A} | 5,70 ± 0,11 ^{c,B} | 6,19 ± 0,12 ^c |
| ³⁹ K | 574 ± 11 ^{a,A} | 424 ± 8 ^{a,B} | 65,6 ± 1,9 ^a | 728 ± 11 ^{b,A} | 621 ± 11 ^{b,B} | 64,5 ± 1,2 ^b | 725 ± 13 ^{b,A} | 616 ± 12 ^{c,B} | 63,2 ± 1,2 ^c |
| ⁴⁸ Ti | 2,00 ± 0,06 ^{a,A} | 1,18 ± 0,02 ^{a,B} | 2,46 ± 0,07 ^a | 2,26 ± 0,05 ^{b,A} | 1,41 ± 0,03 ^{b,B} | 2,38 ± 0,04 ^b | 2,24 ± 0,04 ^{b,A} | 1,52 ± 0,03 ^{c,B} | 2,40 ± 0,04 ^a |
| ⁵⁵ Mn | 38,7 ± 1,2 ^{a,A} | 29,2 ± 0,5 ^{a,B} | 103 ± 2 ^a | 31,5 ± 0,6 ^{b,A} | 25,8 ± 0,5 ^{b,B} | 75,2 ± 1,5 ^b | 25,2 ± 0,5 ^{c,A} | 20,2 ± 0,4 ^{c,B} | 50,9 ± 1,0 ^c |
| ⁵⁷ Fe | 12,3 ± 0,2 ^{a,A} | 7,89 ± 0,16 ^{a,B} | 12,1 ± 0,2 ^a | 10,2 ± 0,2 ^{b,A} | 7,46 ± 0,14 ^{b,B} | 11,7 ± 0,2 ^b | 11,9 ± 0,2 ^{c,A} | 9,07 ± 0,18 ^{c,B} | 11,2 ± 0,2 ^c |
| ⁶³ Cu | 8,56 ± 0,17 ^{a,A} | 5,28 ± 0,16 ^{a,B} | 3,76 ± 0,11 ^a | 8,16 ± 0,16 ^{b,A} | 5,00 ± 0,10 ^{b,B} | 3,39 ± 0,06 ^b | 9,73 ± 0,19 ^{c,A} | 6,25 ± 0,12 ^{c,B} | 3,71 ± 0,07 ^a |
| ⁶⁶ Zn | 9,01 ± 0,27 ^{a,A} | 6,37 ± 0,13 ^{a,B} | 2,46 ± 0,01 ^a | 7,89 ± 0,16 ^{b,A} | 6,44 ± 0,12 ^{a,B} | 3,73 ± 0,07 ^b | 15,4 ± 0,3 ^{c,A} | 9,67 ± 0,19 ^{b,B} | 2,55 ± 0,05 ^c |
| $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ | | | | | | | | | |
| ⁷ Li | 30,8 ± 0,6 ^{a,A} | 16,8 ± 0,3 ^{a,B} | 15,8 ± 0,4 ^a | 35,7 ± 0,7 ^{b,A} | 14,7 ± 0,3 ^{b,B} | 18,3 ± 0,3 ^b | 59,8 ± 1,1 ^{c,A} | 43,6 ± 0,8 ^{c,B} | 19,3 ± 0,3 ^c |
| ⁹ Be | 0,13 ± 0,01 ^{a,A} | 0,11 ± 0,02 ^{a,A} | 0,11 ± 0,01 ^a | 0,09 ± 0,01 ^{b,A} | 0,06 ± 0,01 ^b | 0,16 ± 0,02 ^b | 0,07 ± 0,01 ^{c,A} | 0,05 ± 0,01 ^{b,A} | 0,13 ± 0,01 ^c |
| ¹¹ B | 242 ± 7 ^{a,A} | 224 ± 6 ^{a,B} | 133 ± 5 ^a | 279 ± 7 ^{b,A} | 260 ± 5 ^{b,B} | 95,6 ± 1,9 ^b | 282 ± 6 ^{b,A} | 234 ± 4 ^{c,B} | 91,2 ± 1,8 ^c |
| ⁴⁰ Ca | 261 ± 5 ^{a,A} | 141 ± 6 ^{a,B} | 253 ± 9 ^a | 300 ± 4 ^{b,A} | 195 ± 4 ^{b,B} | 250 ± 5 ^a | 302 ± 6 ^{b,A} | 204 ± 4 ^{c,B} | 269 ± 5 ^b |
| ⁴⁵ Sc | 65,6 ± 1,9 ^{a,A} | 51,9 ± 1,1 ^{a,B} | 65,5 ± 1,9 ^a | 74,4 ± 1,5 ^{b,A} | 62,6 ± 1,3 ^{b,B} | 64,3 ± 1,2 ^b | 73,6 ± 1,5 ^{b,A} | 63,4 ± 1,2 ^{b,B} | 60,1 ± 1,2 ^c |
| ⁵¹ V | 23,5 ± 0,5 ^{a,A} | 20,2 ± 0,6 ^{a,B} | 162 ± 4 ^a | 20,5 ± 0,4 ^{b,A} | 17,4 ± 0,5 ^{b,B} | 142 ± 3 ^b | 25,3 ± 0,5 ^{c,A} | 21,4 ± 0,4 ^{c,B} | 144 ± 3 ^b |
| ⁵² Cr | 169 ± 5 ^{a,A} | 60,5 ± 1,2 ^{a,B} | 136 ± 3 ^a | 117 ± 4 ^{b,A} | 61,1 ± 1,2 ^{b,B} | 90,7 ± 1,8 ^b | 142 ± 3 ^{c,A} | 67,0 ± 1,3 ^{c,B} | 121 ± 2 ^c |
| ⁵⁹ Co | 9,51 ± 0,19 ^{a,A} | 7,19 ± 0,29 ^{a,B} | 26,9 ± 0,8 ^a | 9,17 ± 0,18 ^{b,A} | 7,39 ± 0,14 ^{b,B} | 19,1 ± 0,4 ^b | 8,61 ± 0,17 ^{c,A} | 6,11 ± 0,12 ^{c,B} | 19,5 ± 0,3 ^c |
| ⁶⁰ Ni | 299 ± 11 ^{a,A} | 197 ± 6 ^{a,B} | 253 ± 8 ^a | 115 ± 2 ^{b,A} | 62,8 ± 1,2 ^{b,B} | 130 ± 4 ^b | 286 ± 5 ^{c,A} | 183 ± 4 ^{c,B} | 153 ± 5 ^c |

| Prvky | SZ | SV | NPSV | MZ | MV | NPMV | DZ | DV | NPDV |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| ng.g ⁻¹ | | | | | | | | | |
| ⁷¹ Ga | 13,6 ± 0,3 ^{a,A} | 9,25 ± 0,27 ^{a,B} | 3,31 ± 0,01 ^a | 12,6 ± 0,4 ^{b,A} | 9,56 ± 0,19 ^{b,B} | 3,08 ± 0,06 ^b | 13,4 ± 0,2 ^{a,A} | 11,0 ± 0,2 ^{c,B} | 3,33 ± 0,06 ^a |
| ⁷³ Ge | 4,95 ± 0,15 ^{a,A} | 4,33 ± 0,13 ^{a,B} | 13,6 ± 0,4 ^a | 4,29 ± 0,09 ^{b,A} | 3,90 ± 0,07 ^{b,B} | 10,5 ± 0,2 ^b | 4,85 ± 0,09 ^{c,A} | 4,35 ± 0,08 ^{a,B} | 13,6 ± 0,2 ^a |
| ⁷⁵ As | 10,7 ± 0,2 ^{a,A} | 9,28 ± 0,19 ^{a,B} | 8,37 ± 0,25 ^a | 10,7 ± 0,2 ^{b,A} | 8,86 ± 0,17 ^{b,B} | 6,46 ± 0,12 ^b | 8,03 ± 0,16 ^{c,A} | 6,40 ± 0,12 ^{c,B} | 7,77 ± 0,15 ^c |
| ⁸⁸ Sr | 1460 ± 20 ^{a,A} | 756 ± 15 ^{a,B} | 1050 ± 20 ^a | 1650 ± 20 ^{b,A} | 809 ± 14 ^{b,B} | 728 ± 15 ^b | 1850 ± 20 ^{c,A} | 1060 ± 15 ^{c,B} | 881 ± 15 ^c |
| ⁸⁹ Y | 0,53 ± 0,01 ^{a,A} | 0,42 ± 0,08 ^{a,B} | 3,56 ± 0,07 ^a | 0,41 ± 0,08 ^{b,A} | 0,35 ± 0,07 ^{b,B} | 2,53 ± 0,05 ^b | 0,49 ± 0,09 ^{c,A} | 0,40 ± 0,08 ^{a,B} | 4,04 ± 0,08 ^c |
| ⁹⁰ Zr | 42,7 ± 1,3 ^{a,A} | 19,7 ± 0,4 ^{a,B} | 35,1 ± 0,7 ^a | 35,1 ± 0,7 ^{b,A} | 14,8 ± 0,2 ^{b,B} | 26,8 ± 0,6 ^b | 45,0 ± 0,9 ^{c,A} | 33,1 ± 0,6 ^{c,B} | 26,3 ± 0,5 ^c |
| ⁹⁵ Mo | 568 ± 11 ^{a,A} | 458 ± 13 ^{a,B} | 655 ± 15 ^a | 326 ± 6 ^{b,A} | 282 ± 5 ^{b,B} | 383 ± 8 ^b | 657 ± 12 ^{c,A} | 574 ± 9 ^{c,B} | 604 ± 12 ^c |
| ¹⁰⁷ Ag | 4,40 ± 0,09 ^{a,A} | 2,12 ± 0,06 ^{a,B} | 6,45 ± 0,13 ^a | 7,84 ± 0,15 ^{b,A} | 5,07 ± 0,10 ^{b,B} | 30,1 ± 0,6 ^b | 6,70 ± 0,13 ^{c,A} | 3,98 ± 0,8 ^{c,B} | 18,5 ± 0,3 ^c |
| ¹¹¹ Cd | 19,7 ± 0,4 ^{a,A} | 15,4 ± 0,5 ^{a,B} | 18,7 ± 0,4 ^a | 6,66 ± 0,13 ^{b,A} | 5,60 ± 0,11 ^{b,B} | 13,3 ± 0,2 ^b | 52,9 ± 1,1 ^{c,A} | 45,2 ± 0,9 ^{c,B} | 123 ± 2 ^c |
| ¹¹⁸ Sn | 146 ± 6 ^{a,A} | 107 ± 3 ^{a,B} | 81 ± 1,5 ^a | 180 ± 3 ^{b,A} | 117 ± 3 ^{b,B} | 413 ± 9 ^b | 143 ± 3 ^{a,A} | 110 ± 4 ^{a,B} | 644 ± 12 ^c |
| ¹²¹ Sb | 4,66 ± 0,09 ^{a,A} | 4,15 ± 0,12 ^{a,B} | 3,21 ± 0,03 ^a | 6,14 ± 0,12 ^{b,A} | 5,45 ± 0,13 ^{b,B} | 2,84 ± 0,06 ^b | 4,76 ± 0,01 ^{c,A} | 4,03 ± 0,08 ^{a,B} | 3,27 ± 0,06 ^c |
| ¹³³ Cs | 0,31 ± 0,01 ^{a,A} | 0,28 ± 0,01 ^{a,B} | 0,41 ± 0,08 ^a | 0,36 ± 0,07 ^{b,A} | 0,29 ± 0,01 ^{a,B} | 0,36 ± 0,01 ^b | 0,36 ± 0,03 ^{b,A} | 0,31 ± 0,02 ^{b,B} | 0,39 ± 0,07 ^c |
| ¹³⁷ Ba | 283 ± 10 ^{a,A} | 218 ± 7 ^{a,B} | 55,2 ± 1,1 ^a | 274 ± 5 ^{b,A} | 228 ± 4 ^{b,B} | 53,5 ± 1,1 ^b | 978 ± 17 ^{c,A} | 810 ± 15 ^{c,B} | 43,0 ± 0,1 ^c |
| ¹⁴⁰ Ce | 1,89 ± 0,06 ^{a,A} | 0,63 ± 0,02 ^a | 4,00 ± 0,12 ^a | 1,54 ± 0,03 ^{b,A} | 0,60 ± 0,02 ^{a,B} | 4,61 ± 0,09 ^b | 1,19 ± 0,02 ^{c,A} | 0,63 ± 0,01 ^{a,B} | 4,18 ± 0,08 ^c |
| ¹⁵⁹ Tb | 0,03 ± 0,01 ^{a,A} | 0,02 ± 0,01 ^{a,A} | 0,06 ± 0,01 ^a | 0,03 ± 0,01 ^{a,A} | 0,02 ± 0,01 ^{a,A} | 0,05 ± 0,01 ^a | 0,04 ± 0,01 ^{a,A} | 0,03 ± 0,01 ^{a,A} | 0,06 ± 0,01 ^a |
| ¹⁶⁵ Ho | 0,03 ± 0,01 ^{a,A} | 0,02 ± 0,01 ^{a,A} | 0,11 ± 0,01 ^a | 0,03 ± 0,01 ^{a,A} | 0,02 ± 0,01 ^{a,A} | 0,07 ± 0,01 ^b | 0,03 ± 0,01 ^{a,A} | 0,02 ± 0,01 ^{a,A} | 0,13 ± 0,02 ^a |
| ¹⁸¹ Ta | 9,32 ± 0,19 ^{a,A} | 8,26 ± 0,20 ^{a,B} | 23,7 ± 0,7 ^a | 8,07 ± 0,16 ^{b,A} | 7,50 ± 0,15 ^{b,B} | 25,4 ± 0,5 ^b | 9,65 ± 0,19 ^{c,A} | 8,72 ± 0,17 ^{c,B} | 37,1 ± 0,7 ^c |
| ²⁰² Hg | 209 ± 8 ^{a,A} | 148 ± 5 ^{a,B} | 586 ± 11 ^a | 199 ± 6 ^{b,A} | 124 ± 3 ^{b,B} | 243 ± 5 ^b | 206 ± 4 ^{a,A} | 128 ± 3 ^{c,B} | 268 ± 5 ^c |
| ²⁰⁵ Tl | 0,07 ± 0,01 ^{a,A} | 0,04 ± 0,01 ^{a,B} | 0,22 ± 0,01 ^a | 0,06 ± 0,01 ^{a,A} | 0,04 ± 0,01 ^{a,B} | 0,22 ± 0,01 ^a | 0,09 ± 0,01 ^{b,A} | 0,06 ± 0,01 ^{b,B} | 0,18 ± 0,02 ^b |
| ²⁰⁸ Pb | 68,3 ± 1,4 ^{a,A} | 57,8 ± 1,2 ^{a,B} | 215 ± 4 ^a | 40,8 ± 1,2 ^{b,A} | 37,9 ± 0,8 ^{b,B} | 185 ± 4 ^b | 50,2 ± 1,0 ^{c,A} | 46,9 ± 0,9 ^{c,B} | 225 ± 4 ^c |
| ²⁰⁹ Bi | 2,84 ± 0,06 ^{a,A} | 1,44 ± 0,04 ^{a,B} | 1,61 ± 0,02 ^a | 1,38 ± 0,03 ^{b,A} | 0,79 ± 0,01 ^{b,B} | 0,13 ± 0,01 ^b | 1,24 ± 0,02 ^{c,A} | 0,73 ± 0,01 ^{c,B} | 0,28 ± 0,02 ^c |
| ²³⁸ U | 0,65 ± 0,01 ^{a,A} | 0,45 ± 0,01 ^{a,B} | 4,02 ± 0,08 ^a | 1,03 ± 0,02 ^{b,A} | 0,58 ± 0,01 ^{b,B} | 4,15 ± 0,08 ^b | 0,52 ± 0,01 ^{c,A} | 0,35 ± 0,02 ^{c,B} | 3,12 ± 0,01 ^c |

NP = nestravitelný podíl (z vložek dané odrůdy.) Výsledky jsou uvedeny jako střední hodnota na sušinu vzorku ± SD (n=6–8)

Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním malým indexem (v případě všech zrn nebo všech vloček) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty ve sloupci s nejméně jedním identickým horním velkým indexem (v případě zrna a vločky dané odrůdy) se statisticky významně neliší ($P < 0,05$). Hodnoty s rozdílnými indexy pak vykazují statisticky významný rozdíl ($P \geq 0,05$).

5.8.2 Biodostupnost a teoretické příspěvky pšeničných vloček k hodnotám RDA, AI, PTMI a PTWI pro jednotlivé prvky

Studie této práce byla zaměřena na výpočet indexu biodostupnosti na základě stanovených hodnot *in vitro* stravitelnosti pro vločky a na základě stanovení prvků ve vločkách a v nestravitelném podílu vloček. Z těchto naměřených údajů byla vypočtena hodnota biodostupnosti (neboli indexu biodostupnosti). Tato hodnota neříká, kolik prvku naše tělo využije strávením, ale kolik ho má k potenciálnímu využití. Jednotlivé výsledné % hodnoty biodostupnosti pro jednotlivé prvky jsou uvedeny na obrázcích č. 8–10. Číselné údaje k těmto hodnotám jsou uvedeny v příloze PI-PIII.

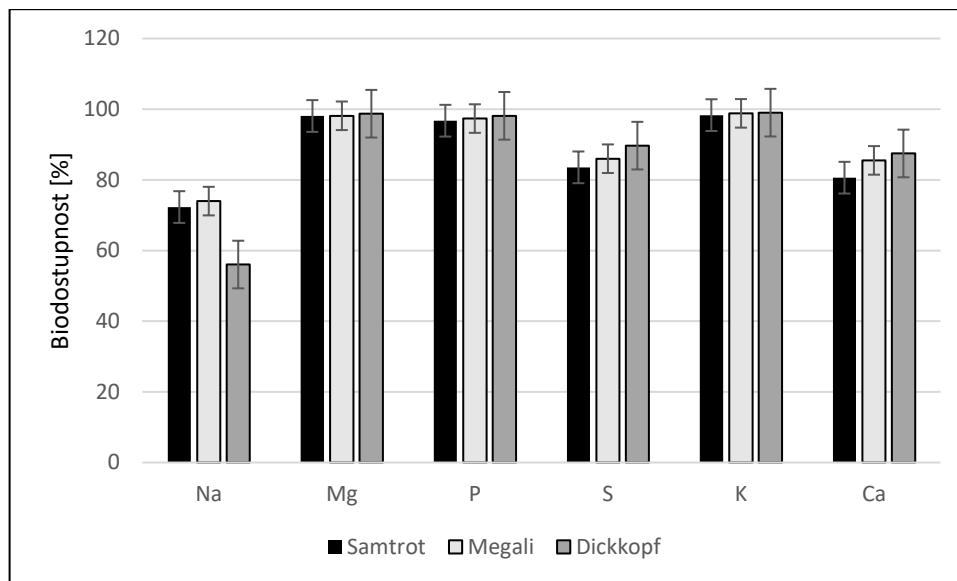
Dále bylo cílem pomocí teoretických výpočtů nastínit, za podmínky, že si zvolíme denní příjem vloček 100 g, jakou měrou se nám budou podílet na jednotlivých příspěvcích k referenčním hodnotám příjmu (RDA). Pokud nejsou stanoveny hodnoty RDA pro daný prvek, volí se obvykle pro výpočet hodnota AI (adekvátního příjmu). Zdrojem těchto údajů byla literatura Institute of Medicine ([89], [90], [91]). Vločky samozřejmě neobsahují pouze esenciální prvky, ale také ty toxické. Proto podobně byly vypočteny i příspěvky konzumace vloček k hodnotám PTWI nebo PTMI pro Cd, As, Al, Hg a Sn. Pro jiné prvky tyto hodnoty definovány nejsou. PTWI a PTMI hodnoty byly převzaty z následujících zdrojů: [90], [92], [93], [94]. Výsledky jsou vypočteny pro muže a ženy věkové kategorie 31–50 let, pro váhu ženy 65 kg a váhu muže 80 kg.

5.8.2.1 Biodostupnost

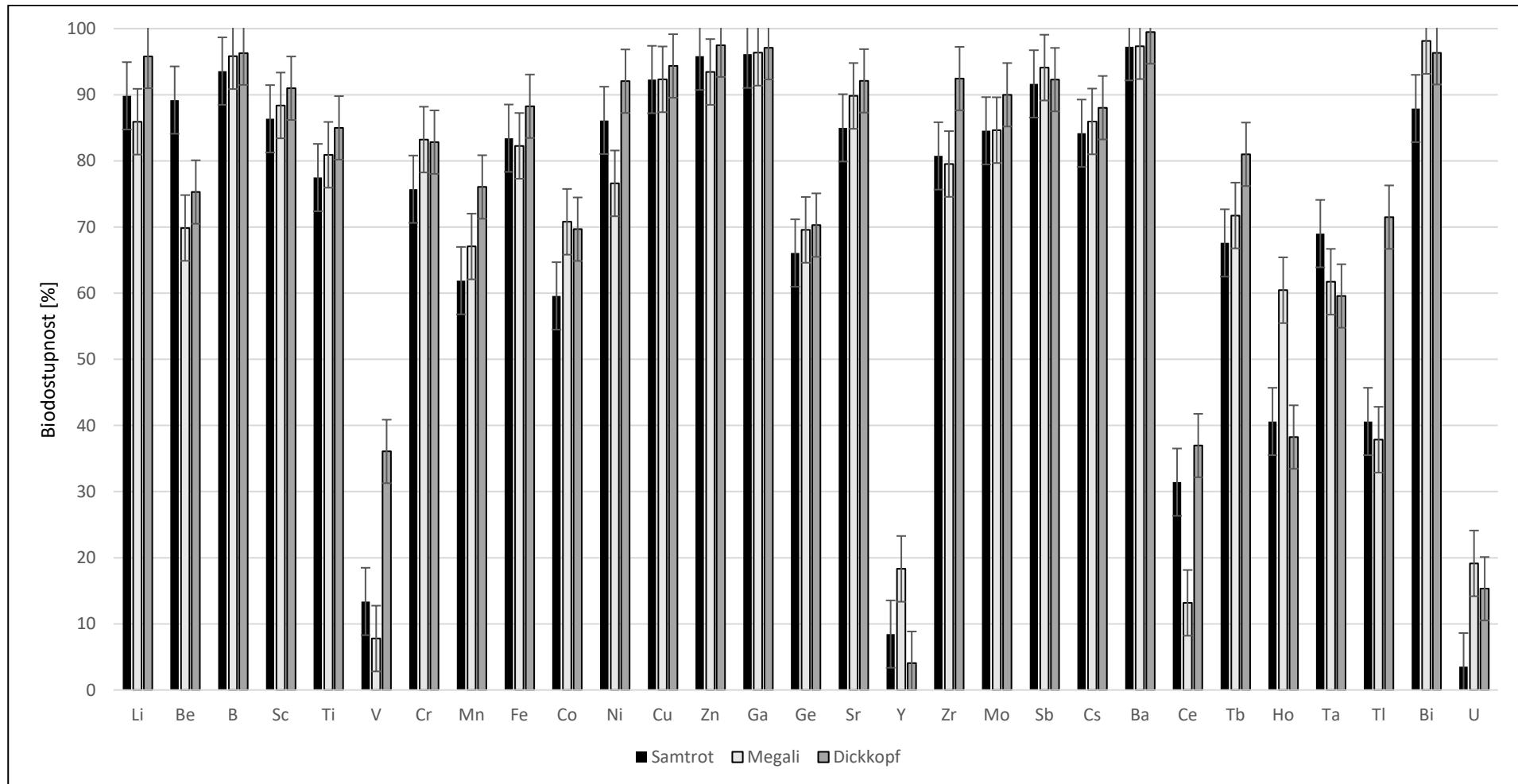
Biodostupnost, neboli index biodostupnosti, může být vysvětlena jako dostupnost látky z prostředí pro fyziologické pochody organismu [127]. Biodostupnost vápníku z pšeničných vloček, podobně jako dalších makroprvků, je zobrazena na obrázku č. 8. Hodnota indexu biodostupnosti se pohybovala mezi 81–87 %, přičemž nejvyšší hodnoty dosahovala ve vločkách odrůdy Dickkopf. Tento vzorek zároveň patřil mezi vzorky s vyšším obsahem vápníku (204 ng.g^{-1}). Jeho biodostupnost bývá ale značně omezena kyselinou fytovou, která s vápníkem vytváří nestravitelné komplexy ([121], [128]). Velmi

dobrých hodnot biodostupnosti bylo dosaženo i pro prvky K (98–99 %), P (97 %), Mg (98 %) a S (90 %). Z makroprvků měl nejnižší hodnotu biodostupnosti Na (56–74 %).

Dle údajů v publikaci [129] se vstřebává přibližně polovina z přijatého hořčíku. Výzkumy naznačují, že draslík biodostupnost hořčíku narušuje [120]. Dostupná data o vzácném výskytu nemocí z deficiencie tohoto prvku mohou vypovídat právě o jeho dobré biodostupnosti z potravin [111].



Obrázek č. 8: Biodostupnost makrogenních prvků



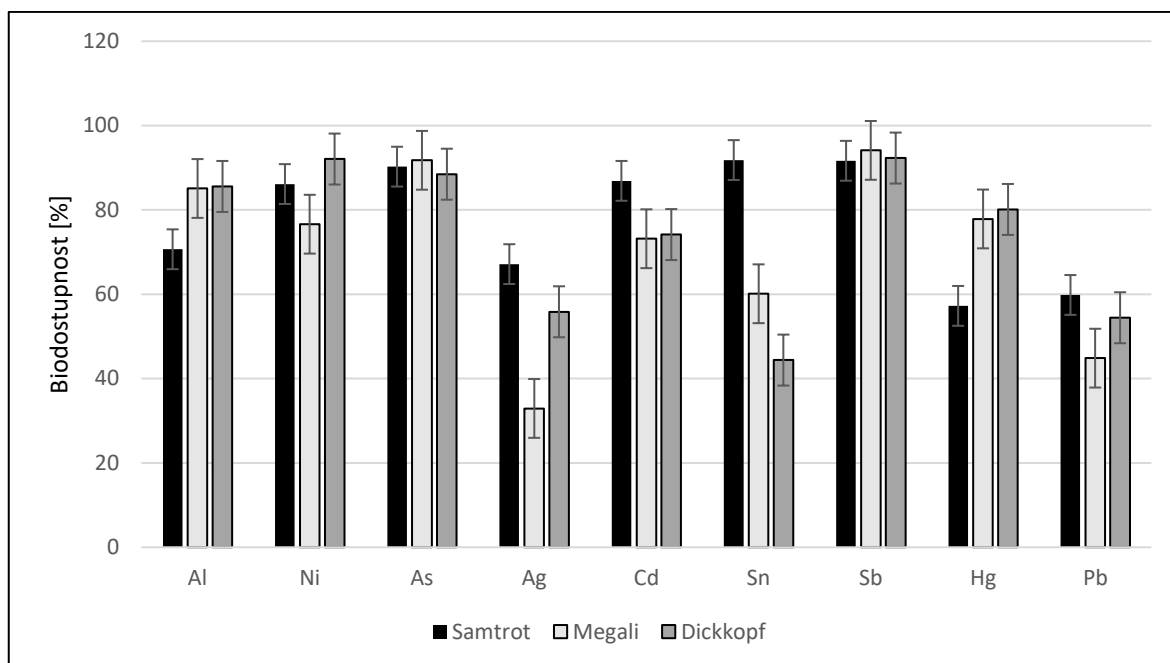
Obrázek č. 9: Biodostupnost mikrobiogenních a stopových prvků

Z obrázku č. 9 je patrné, že hodnoty biodostupnosti, které byly vyšší než 80 %, byly vypočítány pro prvky Li, Be, B, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Zr, Mo, Sb, Cs, Ba, Tb a Bi. Nejnížší hodnoty biodostupnosti byly vypočteny pro uran (4 % z vloček odrůdy Samtrot) a yttrium (4 % z vloček pšenice Dickkopf). Číselné hodnoty dat jsou součástí přílohy PII.

Biodostupnost Fe ze vzorků činila 82–88 %, nejvíce z vloček pšenice Dickkopf (88 %) (obrázek č. 9). Vstřebání železa napomáhá např. přítomnost organických kyselin [121] a vitamínu C ([129], [130]), inhibuje ho kyselina fytová [121].

Rýže, pšenice a kukuřice obsahují vysoké množství kyseliny fytové, která se váže na zinek a činí ho méně dostupným [113]. Obecně se udává, že zinek je více dostupný z luštěnin než z obilovin. Vstřebatelnost z obilovin a luštěnin podporuje vaření v tlakovém hrnci, mikrovlnný ohřev, klíčení, přítomnost kyseliny citronové [121]. Biodostupnost zinku ze vzorků je zobrazena na obrázku č. 9, bližší hodnoty jsou uvedeny v tabulce v příloze P II. Nejvyšší využitelnost byla naměřena u vzorků Dickkopf a Samtrot (97 a 96 %).

Mezi další stopové prvky významné pro lidské tělo se řadí Cr, Mn, Co, Cu a Mo, které jsou součástí enzymů a hormonů v lidském těle nebo se podílejí na udržení osmotického tlaku tělních tekutin [120]. Z nich byla nejvyšší biodostupnost vypočtena pro měď (92–94 %) (obrázek č. 9). Nejnížší biodostupnost z vyjmenovaných prvků byla vypočtena pro Co (60–71 %) a Mn (62–76 %).



Obrázek č. 10: Biodostupnost toxických prvků

Jako minerální látky se označují i toxické prvky v potravinách. Mezi ně můžeme zařadit např. Pb, Cd, As a Hg, které mají toxický vliv na organismus díky jejich schopnosti narušovat metabolismus enzymů [43]. Biodostupnost toxických prvků se pohybovala v hodnotách 33–94 % (obrázek č. 10). Blíže jsou hodnoty biodostupnosti vypsány v tabulce v příloze PIII. Nejvyšších hodnot biodostupnosti dosahoval Sb (92–94 %), v případě vloček z pšenice Megali dosahovala hodnota až 94 %. Tento vzorek zároveň obsahoval nejvyšší naměřené množství zmíněného prvku ($5,45 \text{ ng.g}^{-1}$). Velmi dobré biodostupnosti dále dosahoval As (88–92 %), nejvíce rovněž ve vločkách Megali (92 %). Biodostupnost vyšší než 80 % byla dále vypočítána u prvků Al, Ni, Cd a Sn. Hodnoty 80 % dosáhla i Hg v případě vloček z pšenice Dickkopf. Ve vločkách pšenice Samtrot, kde bylo naměřeno nejvyšší množství Hg ze všech vzorků vloček (148 ng.g^{-1}), byla biodostupnost nejnižší, a to jen 57 %. Biodostupnost hliníku se zvyšuje v kyselém prostředí [123], lze ji však omezit přidavkem křemíku, resp. kyselinou křemičitou [120]. Vypočítána byla na 71–86 %.

Vstřebatelnost a následně využitelnost prvků z rostlinných surovin ovlivňují negativně antinutriční látky, mezi které se řadí kyselina fytová, oxaláty a taniny [121]. Do jisté míry se mezi tyto látky může řadit i vláknina, jejíž záporně nabitě částice přitahují a vážou zejména železo [119]. Kyselina fytová vzniká v rostlinách během vývoje semen a může vázat 60–90 % celkového obsahu fosforu. Vyskytuje se především v obilovinách a ořechách,

semenech a luštěninách. Inhibice biodostupnosti spočívá v její schopnosti tvořit komplexy především s měďnatými, vápenatými, zinečnatými a železitými ionty. Vzniklé komplexy jsou nerozpustné v neutrálním pH (6–7), které je ve střevě, a nemohou být tedy rozštěpeny trávicími enzymy ([121], [128]). Její obsah lze snížit namáčením, fermentací, klíčením a vařením. Společně s těmito procesy se snižuje i množství minerálních látek, ale jejich dostupnost může být tímto způsobem zvýšena [128]. Oxaláty jsou soli kyseliny šťavelové, běžně se vyskytují v zelených rostlinách [43], v obilovinách jen v nižším množství. Pracují na podobném principu jako kyselina fytová, navíc se však vážou i na sodík a draslík [128]. Taniny (trísloviny [43]) se řadí mezi polyfenolické látky a jsou zodpovědné za trpkou chuť mnoha druhů ovoce a nápojů. Byla prokázána jejich antioxidační, antikarcinogenní a imunomodulární schopnost, snižují ale vstřebatelnost a využitelnost železa, zinku a mědi. Jako hlavní zdroje je uváděno ovoce, luštěniny, obiloviny, čaje atd. ([43], [128]). Vstřebatelnost látek z potravin může být ovlivněna i technologickým zpracováním, zejména mletím, odstraněním obalových vrstev a vařením (viz dále). Různá onemocnění mohou vést k deficienci určitých minerálních látek, k nadměrné exkreci dochází nejčastěji při vážných a dlouhotrvajících průjmech, při dialýze či při rozsáhlém traumatu [132].

5.8.2.2 Teoretické příspěvky konzumace pšeničných vloček k hodnotám RDA, AI, PTMI a PTWI pro dané prvky

Doporučená referenční dávka Ca pro osobu ve věkové kategorii 31 až 51 let je pro muže a ženy 1000 mg na den [89]. I v případě, že budeme konzumovat jako denní porci 100 g vloček, nám tyto prakticky k denní RDA hodnotě nepřispívají. Stejně tomu tak je i v případě Na. Vápník je v lidském těle důležitý zejména pro výstavbu kostí a zubů, podporuje také činnost nervové soustavy a funkci svalů, podílí se na srážení krve ([120], [133]). V krevní plazmě je jeho hladina regulována vitaminem D a kalcitoninem (hormonem štítné žlázy), díky němuž je vápník ukládán do kostí ([111], [129]). Mezi potraviny bohaté na vápník se řadí mléčné výrobky a sardinky s kostmi. Rostlinné zdroje mohou také obsahovat vyšší množství vápníku (luštěniny), ale např. u špenátu je jeho absorpce inhibována přítomností kyseliny šťavelové ([111], [120], [133]). Na je naopak prvek, kterého máme v naší stravě spíše nadbytek a jeho vyšší koncentrace v našem těle je nebezpečná z hlediska hypertenze [133]. Adekvátní příjem sodíku (AI) je stanoven na hodnotu 1500 mg na den pro muže i ženy ve věku 31 až 51 let [91].

Příjem fosforu úzce souvisí s příjmem vápníku. Fosfor je v kostech uložen ve formě fosfátů, které jsou těsně spjaty s vápenatými ionty a při exkreci fosfátu z kostí dochází

současně i k exkreci vápníku [129]. Nedostatek tohoto prvku není příliš často zaznamenán kvůli jeho vysokému obsahu ve stravě, avšak může k němu docházet při poruchách funkce ledvin [133]. RDA pro fosfor je uvedeno v tabulce č. 14 a jeho maximální hodnota je udávána na 700 mg za den pro muže i ženy ve věku 31 až 51 let [89]. Porce 100 g vloček přispěla k RDA nízkou hodnotou, a to 2 %.

RDA hodnoty pro příjem Zn pro danou kategorii konzumentů jsou uvedeny v tabulce č. 14 [90]. Z výpočtu příspěvku konzumace vloček (100 g) k hodnotě RDA pro Zn vyplývá příspěvek 12 % pro ženy a 9 % pro muže. Tyto hodnoty jsou stále poměrně nízké, ale nezanedbatelné. V lidském těle se zinek nachází především v mozkové, svalové a kostní tkáni, v ledvinách, prostatě a některých částech oka. Zinek také hraje roli při růstu a vývoji organismu, funkci imunitního systému a správné funkci reprodukčních orgánů ([111], [116]). Nedostatek se projevuje také ztrátou vlasů, zhoršení paměti, kožními problémy a svalovou slabostí [116]. Co se týče dostupnosti je zinek dostupnější z živočišných zdrojů [111], nachází se především v mase, snídaňových cereáliích, ořechách a mléčných výrobcích ([116], [134]).

Jelikož je hořčík důležitým kofaktorem mnoha enzymů energetického metabolismu, syntézy proteinů, RNA a DNA a udržování elektrického potenciálu buněk, jeho nedostatek ovlivňuje také tyto procesy [111]. Nedostatek hořčíku se projevuje křečemi, poruchami srdečnímu rytmu, zvracením, zmateností a svalovou slabostí ([129], [133]). Maximální příspěvek k RDA hodnotě pro ženy činil 24 %, pro muže 18 % při konzumaci 100 g porce vloček.

RDA hodnoty pro příjem Fe jsou uvedeny pro ženy i muže v tabulce č. 14. Zároveň z této tabulky můžeme vidět, že příjem 100 g pšeničných vloček nám může přispívat pouze 5 a 11 % (v případě žen a mužů, 31–51 let). V lidském těle se železo nachází ve všech buňkách. Je součástí hemoglobinu a myoglobinu v krvi, kde má za úkol vázat kyslík a transportovat jej do všech buněk organismu ([111], [134]). Hlavním zdrojem železa nejsou potraviny rostlinného původu, jelikož vstřebávání brání antinutriční látky ([112], [120]), lépe se vstřebává z potravin živočišného původu ([111], [129]). Při nedostatku železa nastává anémie, únava, oslabení imunitního systému ([111], [134]) a bledostí [133].

Mangan je prvkem, který aktivuje mnoho metabolických reakcí v lidském těle, příkladem může být syntéza cholesterolu a bílkovin či správná funkce nervové soustavy ([111], [134]). Příjem 100 g vloček vyrobených z našich vzorků dokonce přesahuje hodnoty RDA pro ženu a muže ve věku 31–51 let, a byl vypočítán na 162 % pro ženy a 127 % pro muže

zmíněného věku. Nedostatečný příjem Mn může vést např. k hypocholesterolemii, poruše růstu nebo demineralizaci kostí. Toxicita byla zpozorována zejména u pracovníků v ocelářském průmyslu [111].

Cu je esenciálním prvkem pro správnou funkci orgánů a metabolických procesů (metabolismus železa a bílkovin) [134]. Její adekvátní příjem je důležitý také pro tvorbu krevních buněk [111]. RDA pro měď je zobrazena v tabulce č. 14. Příjem 100 g vloček přispěl k této hodnotě 69 % pro muže i ženu již zmíněné věkové kategorie. Jejím zdrojem jsou zejména vločky Dickkopf.

Dostatečný příjem Cr má pozitivní vliv na funkci inzulinu a tím i na hladinu glukózy v krvi ([111], [132]). AI tohoto prvku je uveden v tabulce č. 14. Maximální příspěvek pro ženy ve věku 31 až 51 let činil 27 %, pro muže stejného věku 19 % při konzumaci 100 g vloček vyrobených z našich vzorků odrůd pšenice.

Druhý nejvyšší příspěvek při konzumaci 100 g vloček byl zaznamenán u Mo. Činil 128 % pro ženy a muže již zmíněné věkové kategorie. Molybden je potřebný pro tvorbu energie v mitochondriích buněk, aktivaci enzymů v lidském těle [134] a jeho příjem ovlivňuje vstřebatelnost mědi [120].

Tabulka č. 14: RDA (AI) prvků a příspěvky konzumace vložek k jejich hodnotám

| Prvky | Min hodnota | Max hodnota | Min denní příjem | Max denní příjem | RDA nebo AI* | RDA nebo AI* | Min příspěvek k RDA nebo AI* | Max příspěvek k RDA nebo AI* | Min příspěvek k RDA nebo AI* | Max příspěvek k RDA nebo AI* |
|------------|-------------|-------------|------------------|------------------|--------------|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | mg/g | mg/g | mg/den | mg/den | (Ž) mg/den | (M) mg/den | (Ž) (%) | (Ž) (%) | (M) (%) | (M) (%) |
| Mg | 0,658 | 0,758 | 65,8 | 75,8 | 320 | 420 | 21 | 24 | 16 | 18 |
| P | 0,129 | 0,154 | 12,9 | 15,4 | 700 | 700 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| K* | 0,424 | 0,621 | 42,4 | 62,1 | 4700 | 4700 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ca | 0,000141 | 0,000204 | 0,0141 | 0,0204 | 1000 | 1000 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,002 |
| Na* | 0,00126 | 0,00551 | 0,126 | 0,551 | 1500 | 1500 | 0,008 | 0,037 | 0,008 | 0,037 |
| Mn | 0,0202 | 0,0292 | 2,02 | 2,92 | 1,8 | 2,3 | 112 | 162 | 88 | 127 |
| Fe | 0,00746 | 0,00907 | 0,746 | 0,907 | 18 | 8 | 4 | 5 | 9 | 11 |
| Cu | 0,005 | 0,00625 | 0,5 | 0,625 | 0,9 | 0,9 | 56 | 69 | 56 | 69 |
| Zn | 0,00637 | 0,00967 | 0,637 | 0,967 | 8 | 11 | 8 | 12 | 6 | 9 |
| Cr* | 0,0000605 | 0,000067 | 0,00605 | 0,0067 | 0,025 | 0,035 | 24 | 27 | 17 | 19 |
| Mo | 0,000282 | 0,000574 | 0,0282 | 0,0574 | 0,045 | 0,045 | 63 | 128 | 63 | 128 |

Vztaženo na porci vložek 100 g, věková kategorie: 31–51 let

RDA = Recommended Dietary Allowance, AI = Adequate Intake (označeno hvězdičkou *).

Zdroje hodnot RDA a AI ([89], [90], [91]).

Nejvýznamnější příspěvek k hodnotě PTWI byl zaznamenán u rtuti a je zobrazen v tabulce č. 15. Při konzumaci 100 g vloček z analyzovaných druhů obilovin dosáhl příspěvek až ke 40 % u žen (vážících 65 kg) a 32 % u mužů (vážících 80 kg). Zvýšené naměřené hodnoty rtuti se v rostlinách vyskytují často kvůli hnojení [43]. Za nejvíce toxickou formu rtuti je považována methylrtuť [135]. Toxicita rtuti spočívá ve vazbě na buněčné membrány, čímž snižuje aktivní transport živin, ovlivňuje také funkci bílkovin a enzymů [43]. Významným zdrojem methylrtuti jsou mořské ryby a plody [135]. Kabata-Pendias [114] uvádí, že nejvýznamnějším zdrojem Hg v obilovinách jsou obalové vrstvy.

Kromě z půdy se Al do potravin dostává i kontaktem s jakýmkoliv materiálem obsahujícím Al [123]. Oproti jiným prvkům u hliníku nebyla shledána prospěšnost pro lidské tělo. Jelikož se hliník v lidském těle ukládá zejména v mozkové tkáni [136], je podezření, že jeho dlouhodobý příjem může způsobit např. demenci, Alzheimerovu či Parkinsonovu chorobu ([43], [123]). Stanovená porce 100 g vloček přinesla pouze malý příspěvek k PTWI. V případě žen činil 0,9 %, u mužů 0,7 % (tabulka č. 15).

Dlouhodobý příjem kadmia způsobuje narušení funkce především ledvin, jeho účinek byl však zaznamenán i v oblasti plic [135], pravděpodobně má i karcinogenní účinky. Velmi dobře se kumuluje v těle a jeho exkrece je velmi nízká [43]. PTMI stanovené pro Cd je znázorněno v tabulce č. 15. Jeho příspěvek ze 100 g porce vloček není vysoký, ale je nezanedbatelný. U žen byl zjištěn příspěvek až 8 %, u mužů 7 %.

Posledním vyhodnoceným prvkem z hlediska PTMI a PTWI byl cín. V přírodě se Sn vyskytuje v organické i anorganické formě, za více toxickou je považována jeho organická forma [43]. Pokud jeho toxicitu porovnáme s Hg, Cd a Pb, je nejméně toxický. Jeho hlavním zdrojem jsou konzervované potraviny v obalech, které obsahují cínový nátěr [135]. Dle [135] není jeho toxicita dostatečně prozkoumána. Jeho příspěvek ze stanovené porce 100 g vloček byl velmi nízký, u žen 0,009 % a u mužů nižší než 0,007 %.

Tabulka č. 15: PTWI (PTMI) toxických prvků a kontaminantů a příspěvky konzumace vložek k jejich hodnotám

| Prvky | Min hodnota | Max hodnota | Min denní příjem | Max denní příjem | Min týdenní/měsíční příjem | Max týdenní/měsíční příjem | PTWI, PTMI* | Na 65 kg | Na 80 kg | Min příspěvek k PTWI (PTMI*) | Max příspěvek k PTWI (PTMI*) | Min příspěvek k PTWI (PTMI*) | Max příspěvek k PTWI (PTMI*) |
|------------|-------------|-------------|------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|----------|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | µg/g | µg/g | µg/den | µg/den | µg | µg | µg/kg | µg | µg | (Ž) 65 kg, (%) | (Ž) 65 kg, (%) | (M) 80 kg, (%) | (M) 80 kg, (%) |
| Al | 1,48 | 1,59 | 148 | 159 | 1036 | 1113 | 2000 | 130000 | 160000 | 0,8 | 0,9 | 0,6 | 0,7 |
| Sn | 0,107 | 0,117 | 10,7 | 11,7 | 74,9 | 81,9 | 14000 | 910000 | 1120000 | 0,0082 | 0,009 | 0,0067 | 0,0073 |
| Hg | 0,124 | 0,148 | 12,4 | 14,8 | 86,8 | 103,6 | 4 | 260 | 320 | 33 | 40 | 27 | 32 |
| Cd* | 0,0056 | 0,0452 | 0,56 | 4,52 | 16,8 | 135,6 | 25 | 1625 | 2000 | 1 | 8 | 0,8 | 7 |

Vztaženo na porci vložek 100 g

PTWI = Provisional Tolerable Weekly Intake, PTMI = Provisional Tolerable Monthly Intake (označeno hvězdičkou *).

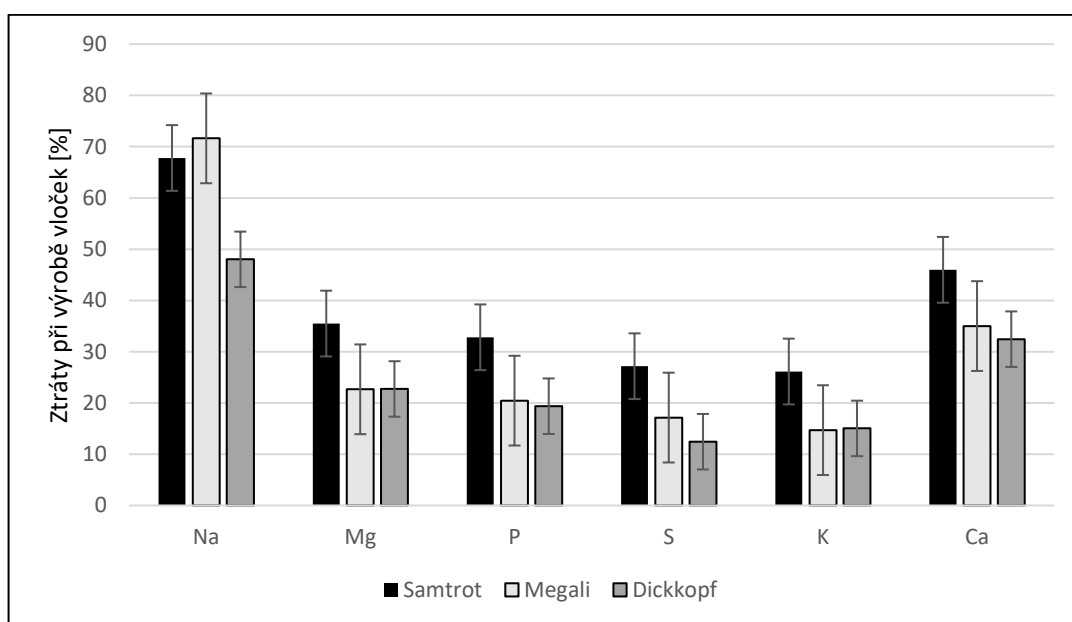
Pro PTWI bylo zvoleno 7 dní, pro PTMI 30 dní.

Zdroje hodnot PTWI a PTMI ([90], [92], [93], [94]).

5.8.3 Ztráty minerálních a stopových prvků při výrobě vloček

Minerální látky jsou oproti vitaminům stabilnější vůči technologickému, zejména tepelnému, zpracování. Ztráty jsou závislé na rozpustnosti prvků a jejich odolnosti vůči vyšší teplotě. Tepelná úprava (vaření, sušení, smažení, tlakové vaření, vaření v páře a sterilace) může snížit množství makrobiogenních prvků (Ca, Mg, P, K a Na), ale i mikrobiogenních (Fe a Zn) a stopových (Cu a Mn). Nejvyšší ztráty bývají během domácího vaření, protože jsou prvky uvolňovány do tekutiny ([127], [134]). Mikrovlnné vaření může zachovávat některé prvky (Ca, Mg, K, Na, P, Fe a Cu). Ke ztrátě minerálních a stopových prvků dochází i během mletí a odstranění obalových vrstev. Mezi takovéto prvky patří vápník, železo a hořčík. Při zpracování pšenice na pšeničnou mouku může dojít ke ztrátám až 70 % vitaminů a minerálních látek (k 90% ztrátě Mn, 85% ztrátě Zn a 80% ztrátě Mg, K a Cu) [137].

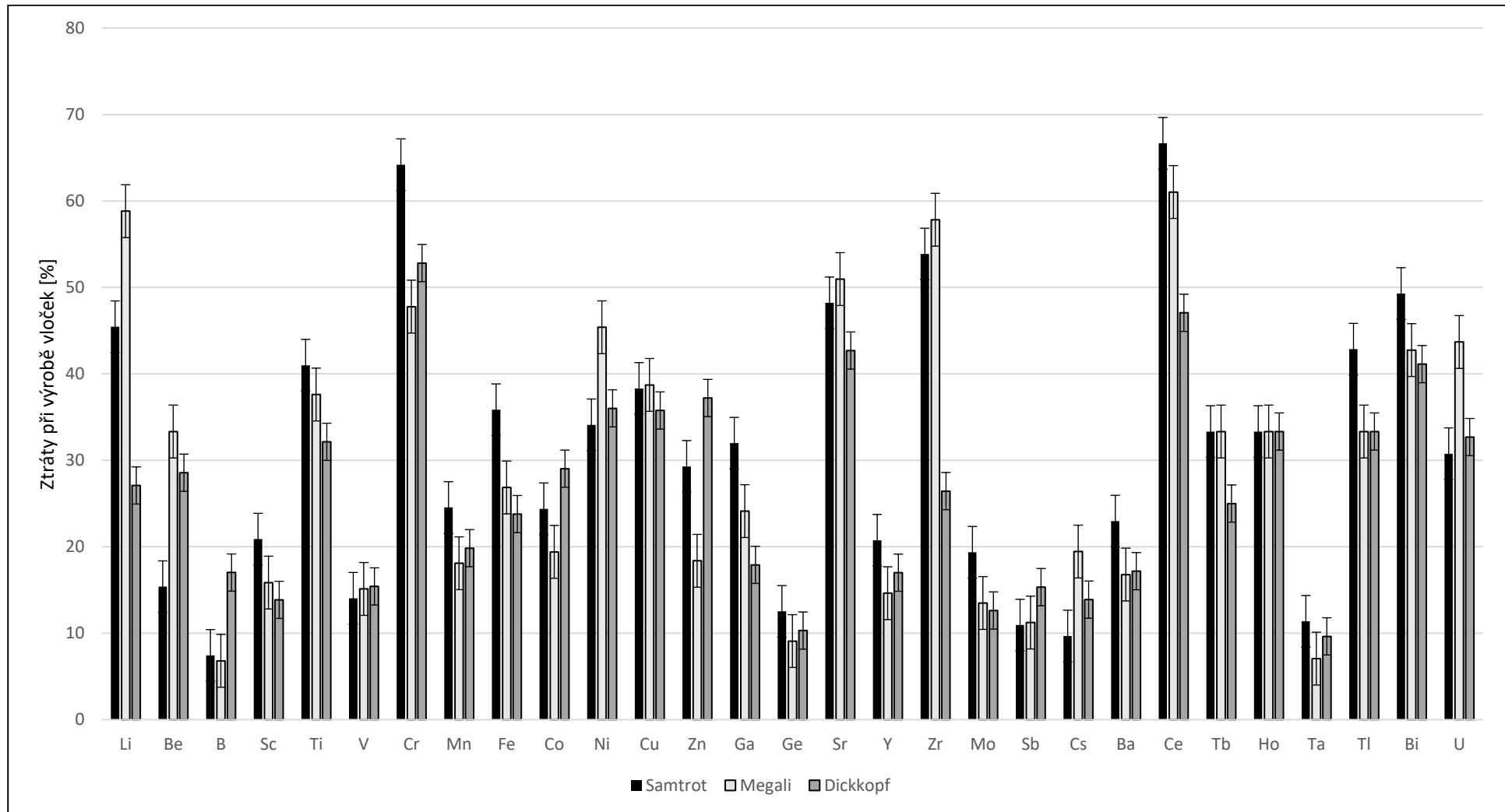
Ztráty makrobiogenních prvků při výrobě vloček z pšeničných zrn se pohybovaly v širokém rozmezí hodnot, od 12 do 72 % (obrázek č.11, číselné hodnoty jsou v tabulce v příloze PIV). Během přípravy vloček z pšenice Samtrot došlo k nejvyšším ztrátám sodíku (68 %) a k nejnižším ztrátám draslíku (26 %). U vloček z pšenice Megali činily ztráty sodíku 72 % a ztráty draslíku 15 %. Ve vločkách pšenice Dickkopf byly nejvyšší ztráty naměřeny u sodíku (48 %) a nejnižší u obsahu síry (12 %).



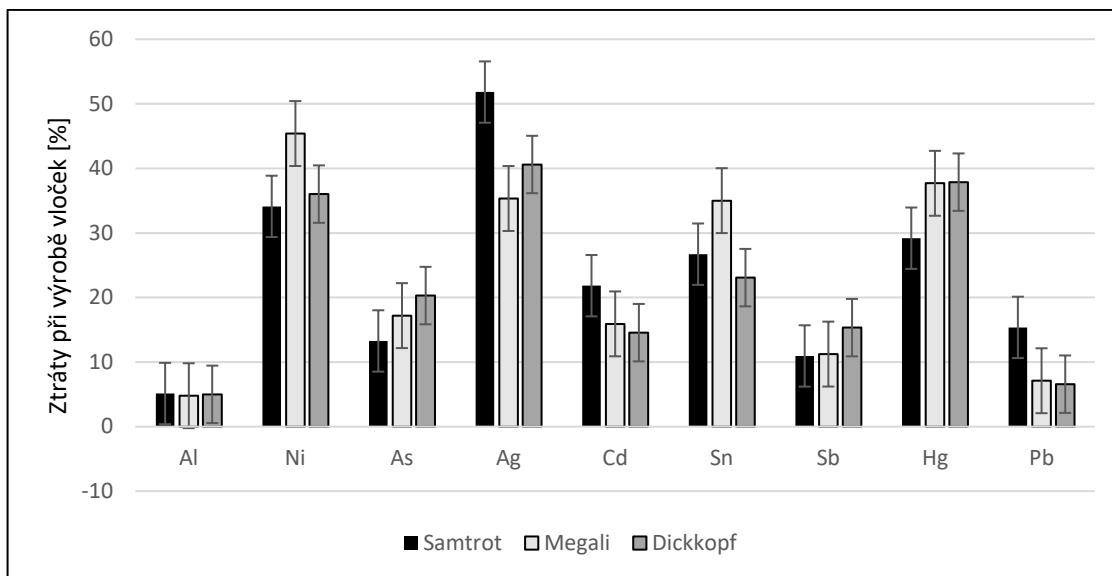
Obrázek č. 11: Ztráty makrobiogenních prvků

Ztráty mikrobiogenních a stopových prvků se pohybovaly v rozmezí 7–67 % (obrázek č. 12, číselné hodnoty jsou uvedeny v tabulce v příloze PV). Při přípravě vloček z pšenice Samtrot došlo k nejvyšším ztrátám u obsahu Ce (67 %) a nejnižšímu u B (7 %). Ve vzorku vloček z pšenice Megali byly zaznamenány nejvyšší ztráty Ce (61 %) a nejnižší u B a Ta (7 %). Nejvyšší ztráty Cr (53 %) a nejnižší ztráty Ge a Ta (10 %) byly vypočítány u vloček Dickkopf.

Dalšími prvky, u kterých došlo k významným ztrátám (tj. nad 50 %) při opracování zrna na vločku byly Ni, Sr, Zr, Bi a Cu.



Obrázek č. 12: Ztráty mikrobiogenních a stopových prvků



Obrázek č. 13: Ztráty toxických prvků

Ztráty toxických prvků se pohybovaly v širokém rozmezí 5–52 % (obrázek č. 13, číselné hodnoty jsou rozepsány v tabulce v příloze PVI). K nejvyšším ztrátám docházelo u Ag v případě vloček pšenice Samtrot (52 %), k nejnižším u hliníku (5 %) ve všech vzorcích. Ztráty arsenu byly naměřeny nejvíce ve vločkách pšenice Dickkopf (20 %). K nejvyšším ztrátám rtuti došlo při výrobě vloček z pšenice Dickkopf a Megali (38 %). Ztráty kadmia dosahovaly v případě vloček Samtrot až 22 %, ztráty Ni u vloček pšenice Megali až 45 %.

ZÁVĚR

Teoretická část práce popisuje anatomické části zrna a jejich základní chemické složení a nutriční hodnoty. Druhá část teoretické práce se zaměřuje na funkci trávicího traktu člověka, trávení a vstřebávání jednotlivých živin a metody stanovení stravitelnosti. V neposlední řadě jsou popsány faktory ovlivňující stravitelnost.

Pro výrobu vloček v experimentální části byly vybrány odrůdy netradičních pšeničných zrn Dickkopf (*Triticum aestivum* x *T. spelta* Schlegel), Samtrot (*T. compactum*) a Megali (*T. aestivum*) pocházející z Německa od soukromého šlechtitele. U vzorků byly stanoveny základní nutriční charakteristiky včetně obsahu minerálních prvků, které byly stanoveny metodou ICP-MS. Navíc tato metoda byla použita i pro stanovení prvků v nestravitelném podílu vloček.

Obsah vlhkosti pšeničných zrn a vloček byl u všech vzorků v souladu s vyhláškou 18/2020 Sb. Obecně lze shrnout, že obsah bílkovin i popela byl jak u zrn, tak i u vloček vyšší, v porovnání s běžnými konvenčně pěstovanými odrůdami pšenice. Nižší hodnoty stravitelnosti korelovaly s vyšším obsahem vlákniny a nižším podílem škrobu ve vzorcích. Vzhledem k tomu, že byla stanovována pouze nerozpustná frakce vlákniny, bylo dáno doporučení k zavedení metodiky pro celkovou dietetickou vlákninu. Nejlépe stravitelné byly vločky pšenice Dickkopf, pravděpodobně z důvodu vyššího podílu škrobu.

Bylo očekáváno, že obsah minerálních a stopových prvků se nebude řádově mezi jednotlivými vzorky příliš lišit vzhledem k tomu, že všechny vzorky byly pěstovány ve stejné lokalitě. Co se makrobiogenních prvků týče, vzorky syrových zrn netradičních druhů pšenice obsahovaly vždy vyšší koncentrace těchto prvků než konvenční pšenice Megali. Podobně tomu bylo u prvků mikrobiogenních. Výjimkou byl obsah toxických prvků. Surová zrna pšenice Dickkopf obsahovala téměř 8krát více kadmia než zrna pšenice Megali a téměř 3krát více než zrna pšenice Samtrot. Výše koncentrace minerálních a stopových prvků v syrových zrnech koresponduje s vyšší koncentrací těchto prvků ve vločkách z nich vyrobených.

Biodostupnost makrobiogenních prvků (Mg, P, S, K, Ca) ve vločkách byla u zmíněných prvků v průměru nad 90 %. Nejnížší byla vypočtena u Na. Vysoká biodostupnost (nad 80 %) byla zjištěna také u Li, B, Be, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Zr, Mo, Sb, Cs, Ba, Tb a Bi. Tato práce se však nezabývala stanovením antinutričních látek v daných vzorcích, které biodostupnost významně inhibují. Vysoká biodostupnost toxických prvků byla

zjištěna zejména u netradičních odrůd pšenice. I když vločky pšenice Dickkopf obsahovaly nejvíce kadmia, nejvyšší biodostupnost tohoto prvku byla vypočítána pro vločky Samtrot.

Pro esenciální prvky byl dále vypočítán příspěvek k RDA (nebo AI) a pro toxické prvky k PTWI (nebo PTMI) při stanovené konzumaci 100 g porce vloček. Příspěvek Mn dosahoval až 162 % pro ženy a 127 % pro muže, příspěvek Mo až 128 % pro muže i ženy. Významně také k RDA (AI) přispěly vločky u příjmu Mg, Cu a Cr. Naopak, příspěvek k RDA a AI hodnotě Ca a Na nebyl vyšší než 0,1 %. Co se toxických prvků týče, nejvyšší příspěvek byl zaznamenán u Hg (nad 30 %), dále také u Cd (nad 7 %). Příspěvek konzumace vloček k ostatním toxickým prvkům byl nižší než 1 %.

Při přípravě vloček dochází k přirozeným ztrátám minerálních a stopových prvků, jak tepelným opracováním, vyluhováním, technologickým zpracováním rozválcováním apod. Z makrobiogenních prvků (Na, Mg, P, S, K, Ca) byly nejvyšší ztráty zjištěny u Na, poté u Ca. K významným ztrátám z řad stopových prvků (nad 50 %) došlo u Li, Cr, Sr, Zr a Ce. Z toxických prvků byly nejvyšší ztráty (nad 50 %) zaznamenány u Ag, nejnižší (pod 10 %) u Al a Pb.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GABROVSKÁ, D. et al., 2015. Obiloviny v lidské výživě. Praha: Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny. Publikace České technologické platformy pro potraviny. ISBN 978-808-7250-280.
- [2] SHEWRY, P. R., 2018. Do ancient types of wheat have health benefits compared with modern bread wheat? *Journal of Cereal Science* [online]. 79, 469-476 [cit. 2021-03-08]. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521017308263>
- [3] ABDEL-AAL, E.-S.M. a P. HUCL, 2002. Amino Acid Composition and In Vitro Protein Digestibility of Selected Ancient Wheats and their End Products. *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. 15(6), 737-747 [cit. 2021-03-08]. ISSN 08891575. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088915750291094X>
- [4] GUERRINI, L. et al., 2019. The bread making process of ancient wheat: A semi-structured interview to bakers. *Journal of Cereal Science* [online]. 87, 9-17 [cit. 2021-03-08]. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073352101830986X>
- [5] JENÍČEK, V. a V. KREPL, 2002. Trendy vývoje světového zemědělství. *Agricultural Economics* [online]. 48(11), s. 520 [cit. 2021-03-08]. ISSN 1805-9295. Dostupné z: <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/59343.pdf>
- [6] FAMĚRA, O. a J. PETR, 2005. Obilniny. ŠNOBL, J., J. PULKRÁBEK a kol. *Základy rostlinné produkce. 2.* Praha: Česká zemědělská univerzita, s. 65-84. ISBN 978-80-213-1340-8.
- [7] ROSENTRATER, K. A. a A. D. EVERS, 2018. *Kent's Technology of Cereals: An Introduction for Students of Food Science and Agriculture.* 5. vydání. Elsevier. ISBN 978-0-08-100529-3.
- [8] KOPÁČOVÁ, O., 2008. Celozrnné potraviny. *Výživa a potraviny.* 3(2008), s. 81-83. ISSN 1211-846X.
- [9] Vyhláška č. 18/2020 Sb., o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit.2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-18>

- [10] SLUKOVÁ, Marcela, Pavel SKŘIVAN a Marie HRUŠKOVÁ, 2017. Cereální chemie a technologie: zpracování obilovin – mlýnská a těstářenská výroba. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7592-000-3. (https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-978-80-7592-000-3)
- [11] Obiloviny v lidské výživě: Slovníček pojmů z cereální oblasti, 2019. Praha: Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny. Publikace České technologické platformy pro potraviny. ISBN 978-80-88019-38-1.
- [12] KUČEROVÁ, J., 2016. Technologie cereálií. Druhé přepracované vydání. V Brně: Mendelova univerzita. ISBN 978-807-5094-421.
- [13] BUREŠOVÁ, Iva a Eva LORENCOVÁ, 2013. Výroba potravin rostlinného původu: zpracování obilovin. Zlín: Univerzita Tomáše Bati. ISBN 9788074542787.
- [14] KRAJČOVÁ, J., 2007. Zbožíznalství. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vysoká škola hotelová v Praze 8. ISBN 978-80-86578-68-2.
- [15] ARENDT, E. K. a E. ZANNINI. Cereal Grains for the Food and Beverage Industries. Elsevier. ISBN 978-0-85709-892-4.
- [16] KOPÁČOVÁ, O., 2007. Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům. Praha: ÚZPI: Ministerstvo zemědělství. ISBN 978-80-7271-184-0.
- [17] PŘÍHODA, J., 2012. Cereální suroviny a mlynářství. KADLEC, P. Přehled tradičních potravinářských výrob. Ostrava: Key Publishing, s. 459-476. ISBN 978-80-7418-145-0.
- [18] SULLIVAN, W.R., SMALL, D. M., 2019. Resistant Starch (RS) in Breads: What It Is and What It Does. In: PREEDY, V., WATSON, R. (Eds.) Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention (2nd Edition). Academic Press. s.375-384. ISBN: 978-0-1281-4640-8.
- [19] OBADI, M. et al., 2020. Relationship between starch fine molecular structures and cooked wheat starch digestibility. Journal of Cereal Science [online]. 95 [cit. 2020-08-22]. DOI: 10.1016/j.jcs.2020.103047. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521020303635>
- [20] ARZANI, A. a M. ASHRAF, 2017. Cultivated Ancient Wheats (Triticum spp.): A Potential Source of Health-Beneficial Food Products. Comprehensive Reviews in Food

- Science and Food Safety [online]. 16(3), 477-488 [cit. 2020-09-09]. DOI: 10.1111/1541-4337.12262. ISSN 15414337. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/1541-4337.12262>
- [21] CHEN, M. et al., 2020. The effect of viscous soluble dietary fiber on nutrient digestion and metabolic responses I: In vitro digestion process. Food Hydrocolloids [online]. 107 [cit. 2020-08-22]. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.105971. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X19318831>
- [22] COULTATE, T. P., 2016. Food: The Chemistry of Its Components. 6th Edition. Cambridge: Royal Society of Chemistry. ISBN 978-1-84973-880-4.
- [23] SAJILATA, M.G., R. S. SINGHAL a P. R. KULKARNI, 2006. Resistant Starch-A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety [online]. 5(1), 1-17 [cit. 2020-11-12]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x>. DOI:10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x
- [24] BACH KNUDSEN, K. E., 2015. Microbial Degradation of Whole-Grain Complex Carbohydrates and Impact on Short-Chain Fatty Acids and Health. Advances in Nutrition [online]. 6(2), 206-213 [cit. 2020-08-21]. DOI: 10.3945/an.114.007450. ISSN 2156-5376. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4352179/>
- [25] CHAWLA, R. a G.R. PATIL, 2010. Soluble Dietary Fiber. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety [online]. 9(2), 178-196 [cit. 2021-4-29]. ISSN 15414337. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1541-4337.2009.00099.x>
- [26] TACER-CABA, Z., NILUFER-ERDIL, D. a Y. AI, 2015. Chemical Composition of Cereals and Their Products. CHEUNG, P.C.K. Handbook of Food Chemistry. Springer Reference, p.301-330. ISBN 978-3-642-36604-8.
- [27] ZHANG, N., C. HUANG a S. OU, 2011. In vitro binding capacities of three dietary fibers and their mixture for four toxic elements, cholesterol, and bile acid. Journal of Hazardous Materials [online]. 186(1), 236-239 [cit. 2021-4-29]. ISSN 03043894.
- [28] SMITH, F. et al., 2015. Digestibility of gluten proteins is reduced by baking and enhanced by starch digestion [online]. 59(10), 2034-2043 [cit. 2020-07-18]. DOI:

- 10.1002/mnfr.201500262. ISSN 16134125. Dostupné z: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4949995/?fbclid=IwAR0jpfyvTtQbDd_uM3G8oBTxFW8T0zebwubWyJZI9e4vzAaUBnoFoW0zgE3w
- [29] SUCHOWILSKA, E. et al., 2020. Do Triticum aestivum L. and Triticum spelta L. Hybrids Constitute a Promising Source Material for Quality Breeding of New Wheat Varieties? *Agronomy* [online]. 10(1) [cit. 2021-03-02]. ISSN 2073-4395. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/338207746_Do_Triticum_aestivum_L_and_Triticum_spelta_L_Hybrids_Constitute_a_Promising_Source_Material_for_Quality_Breeding_ofNew_Wheat_Varieties
- [30] TAVOLETTI, S. et al., 2018. Comparison between fatty acid profiles of old and modern varieties of *T. turgidum* and *T. aestivum*: A case study in central Italy. *Journal of Cereal Science* [online]. 82, 198-205 [cit. 2020-09-14]. DOI: 10.1016/j.jcs.2018.06.012. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521018301322>
- [31] YOOSUF, S. a G. K. MAKHARIA, 2019. Evolving Therapy for Celiac Disease. *Frontiers in Pediatrics* [online]. 7(193), s. 1-18 [cit. 2020-08-23]. DOI: 10.3389/fped.2019.00193. ISSN 2296-2360. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fped.2019.00193/full>
- [32] ESKIN, N.A. a F. SHAHIDI, 2012. *Biochemistry of Foods: 3rd Edition*. 3. vydání. Academic Press. ISBN 978-0-12-242352-9.
- [33] SUCHOWILSKA, E. et al., 2009. Discriminant analysis of selected yield components and fatty acid composition of chosen *Triticum monococcum*, *Triticum dicoccum* and *Triticum spelta* accessions. *Journal of Cereal Science* [online]. 49(2), 310-315 [cit. 2020-09-09]. DOI: 10.1016/j.jcs.2008.12.003. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733521009000034>
- [34] DINU, M. et al., 2018. Ancient wheat species and human health: Biochemical and clinical implications. *The Journal of Nutritional Biochemistry* [online]. 52, 1-9 [cit. 2021-03-21]. ISSN 09552863. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955286317300359?via%3Dihub>
- [35] KUMAR, P. et al., 2011. Nutritional Contents and Medicinal Properties of Wheat: A Review. *Life Sciences and Medicine Research* [online]. 2011, 10 s. [cit. 2020-11-12]. ISSN 19487886. Dostupné z:

- https://www.researchgate.net/publication/280920597_Nutritional_Contents_and_Medical_Properties_of_Wheat_A_Review
- [36] LACHMAN, J., K. HEJTMÁNKOVÁ a Z. KOTÍKOVÁ, 2013. Tocols and carotenoids of einkorn, emmer and spring wheat varieties: Selection for breeding and production. *Journal of Cereal Science* [online]. 57(2), 207-214 [cit. 2021-03-22]. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521012001075?via%3Dihub>
- [37] HAMAKER, B.R., 2008. *Technology of Functional Cereal Products* [online]. Woodhead Publishing [cit. 2021-03-01]. ISBN 978-1-84-569388-6.
- [38] LACHMAN, J. et al., 2018. Tocotrienols and tocopherols in colored-grain wheat, tritordeum and barley. *Food Chemistry* [online]. 240, 725-735 [cit. 2021-03-01]. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881461731275X?via%3Dihub#b0045>
- [39] HENDEK-ERTOP, M., M. BEKTAŞ a R. ATASOY, 2020. Effect of cereals milling on the contents of phytic acid and digestibility of minerals and protein. *Ukrainian Food Journal* [online]. 9(1), 136-147 [cit. 2020-07-18]. ISSN 2304974X. Dostupné z: doi: <https://nuft.edu.ua/doi/doc/ufj/2020/1/12.pdf>
- [40] TUCKER, G. et al., 2005. Cereals as a Source of Dietary Antioxidants. SALMON, S. S. a L. S. YOUNG. *Using Cereal Science and Technology for the Benefit of Consumers*. Velká Británie: Elsevier, s. 102-106. ISBN 978-1-85573-961-1.
- [41] HUANG, M. et al., 2008. Heavy metals in wheat grain: Assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China. *Science of The Total Environment* [online]. 405(1-3), 54-61 [cit. 2021-03-12]. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969708007213>
- [42] BOSE, S. a A.K. BHATTACHARYYA, 2008. Heavy metal accumulation in wheat plant grown in soil amended with industrial sludge. *Chemosphere* [online]. 70(7), 1264-1272 [cit. 2021-03-12]. ISSN 00456535. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653507009514>

- [43] BABIČKA, L., 2017. Toxicky významné látky v potravinách [online]. Praha: Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny [cit. 2021-4-26]. Publikace České technologické platformy pro potraviny. ISBN 978-80-88019-28-2. Dostupné z: <http://ctpp.cz/data/files/toxique%202017.pdf>
- [44] EFSA: Metals as contaminants in food [online]. [cit. 2021-03-20] <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/metals-contaminants-food>
- [45] LACHMAN, J. et al., 2017. Genetics and chemistry of pigments in wheat grain - A review. *Journal of Cereal Science* [online]. 74, 145-154 p. [cit. 2020-09-14]. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.02.007. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521017301510>
- [46] SHAHIDI, F. *Handbook of Antioxidants for Food Preservation*. Elsevier. ISBN 978-1-78242-097-2.
- [47] GIBSON, G.R., 2008. *Food Science and Technology Bulletin - Functional Foods, Volume 4*. International Food Information Service (IFIS Publishing). ISBN 978-1-60119-617-0.
- [48] SHEWRY, P. R. a S. HEY, 2015. Do “ancient” wheat species differ from modern bread wheat in their contents of bioactive components? *Journal of Cereal Science* [online]. 65, 236-243 [cit. 2021-04-12]. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073352101530045X>
- [49] BETA, T. a M. E. CAMIRE, 2019. *Cereal Grain-Based Functional Foods - Carbohydrate and Phytochemical Components*. Royal Society of Chemistry. ISBN 978-1-5231-2298-1.
- [50] CAMIRE, M. E., 2019. Overview of Grain Components and Changes Occurring in Grain Constituents with Different Forms of Processing. In: BETA, T. *Cereal Grain-Based Functional Food – Carbohydrate and Phytochemical Components*. Royal Society of Chemistry, s. 12-27. ISBN 978-1-5231-2298-1.
- [51] BHATTACHARYA, S., 2015. *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*. John Wiley. ISBN 978-1-118-40632-8.
- [52] CAUVAIN, S. P., S. S. SALMON a L. S. YOUNG, 2005. *Using Cereal Science and Technology for the Benefit of Consumers*. Velká Británie: Elsevier. ISBN 978-1-85573-961-1.

- [53] BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A. et al., 2018. Overview of polyphenols and their properties. GALANAKIS, C. M. Polyphenols – Properties, Recovery, and Application. Elsevier, s. 135-175. ISBN 978-0-12-813572-3.
- [54] TYLEWICZ, U. et al., 2018. Target source of polyphenols in different food products and their processing by-products. GALANAKIS, C. M. Polyphenols – Properties, Recovery, and Application. Elsevier, s. 135-175. ISBN 978-0-12-813572-3.
- [55] INTERNATIONAL FOOD INFORMATION SERVICE. Dictionary of Food Science and Technology [online]. 2. vydání. International Food Information Service (IFIS Publishing) [cit. 2021-03-29]. ISBN 978-1-61583-120-3.
- [56] LUKÁŠ, K., ŽÁK, A., 2007. Gastroenterologie a hepatologie: učebnice. Praha: Grada. ISBN 978-802-4717-876.
- [57] LUCAS-GONZÁLEZ, R. et al., 2018. In vitro digestion models suitable for foods: Opportunities for new fields of application and challenges. Food Research International [online]. 107, 423-436 [cit. 2020-07-18]. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.02.055. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996918301480>
- [58] PETŘEK, J., 2019. Základy fyziologie člověka pro nelékařské zdravotnické obory. Praha: Grada Publishing. s. 301-396. ISBN 978-80-271-2208-0.
- [59] MOUREK, J., VELEMÍNSKÝ M. a ZEMAN M., 2013. Fyziologie, biochemie a metabolismus pro nutriční terapeut. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. ISBN 978-80-7394-438-4.
- [60] JANDOVÁ, K., V. RILJAK a J. POKORNÝ, 2011. Fyziologie trávení a vstřebávání. KITTNAR, O. Lékařská fyziologie. Praha: Grada, s. 315-377. ISBN 978-80-247-3068-4.
- [61] VELEMÍNSKÝ, M. et al., 2019. Vybrané kapitoly z fyziologie, patofyziologie a klinické medicíny: pro studijní program Nutriční terapeut. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích: Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-80-7394-727-9
- [62] MERKUNOVÁ, A. a M. OREL, 2008. Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory. Praha: Grada. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-1521-6.

- [63] POKORNÝ, J., 2009. Funkce trávicího traktu. LANGMEIER, M. a et al. Základy lékařské fyziologie. Praha: Grada, s. 137-162. ISBN 978-80-247-2526-0.
- [64] EDWARDS, C. H. et al., 2015. Manipulation of starch bioaccessibility in wheat endosperm to regulate starch digestion, postprandial glycemia, insulinemia, and gut hormone responses: a randomized controlled trial in healthy ileostomy participants. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 102(4), 791-800 [cit. 2020-08-23]. DOI: 10.3945/ajcn.114.106203. ISSN 0002-9165. Dostupné z: <https://academic.oup.com/ajcn/article/102/4/791/4564576>
- [65] WANG, M. et al., 2019. In vitro colonic fermentation of dietary fibers: Fermentation rate, short-chain fatty acid production and changes in microbiota [online]. 88, 1-9 [cit. 2020-08-22]. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.03.005. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224418307878>
- [66] WU, G., 2010. Functional Amino Acids in Growth, Reproduction, and Health. *Advances in Nutrition* [online]. 1(1), 31-37 [cit. 2021-04-02]. ISSN 2156-5376. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3042786/>
- [67] OGILVIE, O. et al., 2020. Proteomic modelling of gluten digestion from a physiologically relevant food system: A focus on the digestion of immunogenic peptides from wheat implicated in celiac disease. *Food Chemistry* [online]. 333 [cit. 2020-08-24]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127466. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814620313285>
- [68] COLGRAVE, M. L., K. BYRNE a C. A. HOWITT, 2017. Food for thought: Selecting the right enzyme for the digestion of gluten. *Food Chemistry* [online]. 234, 389-397 [cit. 2020-08-24]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.008. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617307835>
- [69] VERKEMPINCK, S.H.E. et al., 2019. From single to multiresponse modelling of food digestion kinetics: The case of lipid digestion. *Journal of Food Engineering* [online]. 260, 40-49 [cit. 2020-08-24]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.04.018. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877419301761>
- [70] COLES, L.T., P.J. MOUGHAN a A.J. DARRAGH, 2005. In vitro digestion and fermentation methods, including gas production techniques, as applied to nutritive

- evaluation of foods in the hindgut of humans and other simple-stomached animals. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 123-124, 421-444 [cit. 2020-08-13]. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2005.04.021. ISSN 03778401. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840105001641?via%3Dihub>
- [71] YU, J. et al., 2021. Phenolic profiles, bioaccessibility and antioxidant activity of plum (*Prunus Salicina Lindl*). *Food Research International* [online]. 143 [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399692100199X?via%3Dihub>
- [72] MIŠURCOVÁ, L., 2008. Nové nutriční aspekty a využití mořských a sladkovodních řas ve výživě člověka. Dizertační práce. Zlín. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
- [73] WANG, Z. et al., 2021. Effect of the degree of milling on the physicochemical properties, pasting properties and in vitro digestibility of Simiaomi rice [online]. [cit. 2021-5-2]. ISSN 25902598. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590259821000121>
- [74] DELAMARE, G. Y.F. et al., 2020. Incorporation of a novel leguminous ingredient into savoury biscuits reduces their starch digestibility: Implications for lowering the Glycaemic Index of cereal products. *Food Chemistry: X* [online]. 5 [cit. 2020-07-18]. DOI: 10.1016/j.fochx.2020.100078. ISSN 25901575. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259015752030002X>
- [75] BAI, Y. et al., 2021. Structural reasons for inhibitory effects of pectin on α -amylase enzyme activity and in-vitro digestibility of starch. *Food Hydrocolloids* [online]. 114 [cit. 2021-03-01]. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X20329556>
- [76] CORKE, H., ZHU, F., 2018. Starch Properties and Modification in Grains and Grain Products. In: BETA, T., CAMIRE, M. E. (Eds.) *Cereal Grain-Based Functional Food – Carbohydrate and Phytochemical Components*. Royal Society of Chemistry. s. 85-102. ISBN: 978-1-5231-2298-1.
- [77] XIE, F. et al., 2019. Effects of tea polyphenols and gluten addition on in vitro wheat starch digestion properties. *International Journal of Biological Macromolecules* [online]. 126, 525-530 [cit. 2020-10-25]. ISSN 01418130. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813018361907?via%3Dihub>

- [78] Schwäbischer Dickkopf-Landweizen, 2021. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: https://de.wikipedia.org/wiki/Schw%C3%A4bischer_Dickkopf-Landweizen
- [79] Echter Binkelweizen, 2021. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: https://de.wikipedia.org/wiki/Echter_Binkelweizen#cite_ref-4_5-0
- [80] MARIOTTI, F., D. TOMÉ a P. P. MIRAND, 2008. Converting Nitrogen into Protein—Beyond 6.25 and Jones' Factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 48(2), 177-184 [cit. 2021-4-29]. ISSN 1040-8398. Dostupné z: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02105858/document>
- [81] Nařízení Komise (ES) č. 152/2009 ze dne 27. ledna 2009, kterým se stanoví metody odběru vzorků a laboratorního zkoušení pro úřední kontrolu krmiv.
- [82] ELLEUCH, M. et al., 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications. *Food Chemistry* [online]. 124(2), 411-421 [cit. 2021-02-09]. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610007880?via=ihub>
- [83] SUMCZYNSKI, D. et al., 2015. Total phenolics, flavonoids, antioxidant activity, crude fibre and digestibility in non-traditional wheat flakes and muesli. *Food Chemistry* [online]. 174, 319-325 [cit. 2021-02-11]. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814614017944#b0145>
- [84] VAN SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON a B.A. LEWIS, 1991. SYMPOSIUM: CARBOHYDRATE METHODOLOGY, METABOLISM, AND NUTRITIONAL IMPLICATIONS IN DAIRY CATTLE: Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition [online]. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597 p. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(91\)78551-2/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(91)78551-2/pdf)
- [85] SUMCZYNSKI, D., Z. BUBELOVÁ a M. FIŠERA, 2015. Determination of chemical, insoluble dietary fibre, neutral-detergent fibre and in vitro digestibility in rice types commercialized in Czech markets. *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. 40, 8-13 [cit. 2021-02-11]. ISSN 08891575. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157515000216>

- [86] ALTANGEREL, B. et al., 2011. The determination of water-soluble vitamins and in vitro digestibility of selected Czech cheeses. *International Journal of Science & Technology* [online]. 46(6), 1225-1230 [cit. 2021-02-11]. ISSN 09505423. Dostupné z: https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2621.2011.02601.x?saml_referrer
- [87] KOLÁČKOVÁ, T. et al., 2020. Free and bound amino acids, minerals and trace elements in matcha (*Camellia sinensis* L.): A nutritional evaluation. *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. 92 [cit. 2021-02-12]. ISSN 08891575. Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157520303896#bib0165>
- [88] KOUBOVÁ, E., 2020. *Vliv skladování a technologických úprav na obsah vybraných biologicky aktivních látek u netradičních obilovin*. Zlín. Disertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [89] Institute of Medicine, 1997. *Dietary Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D and Fluoride*. Food and Nutrition Board. National Academy of Sciences. [online]. Washington: The National Academy Press. [cit. 2021-05-02]. ISBN: 0-309-06403-1.
- [90] Institute of Medicine, 2001. *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium and Zinc*. Food and Nutrition Board. National Academy of Sciences. [online]. Washington: The National Academy Press. [cit. 2021-05-02]. ISBN: 0-309-07279-4.
- [91] Institute of Medicine, 2005. *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride and Sulfate*. Food and Nutrition Board. National Academy of Sciences. [online]. Washington: The National Academy Press. [cit. 2021-05-02]. ISBN: 0-309-53049-0.
- [92] JECFA, 2011. Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. [online]. WHO [cit. 2021-4-26]. ISBN 978-92-4-120959-5. Dostupné z: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44514/WHO_TRS_959_eng.pdf;jsessionid=9E496D3D9CF23D5DF06D02CC36BA8841?sequence=1
- [93] JECFA, 2011. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. [online]. WHO

- [cit. 2021-4-26]. ISBN 978 92 4 120960 1. Dostupné z: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44515/WHO_TRS_960_eng.pdf?sequence=1
- [94] JECFA, 2011. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants: seventy-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. [online]. WHO [cit. 2021-4-27]. ISBN: 978 92 4 120966 3. Dostupné z: <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=298>
- [95] JIANG, X. et al., 2008. Protein Content and Amino Acid Composition in Grains of Wheat-Related Species. *Agricultural Sciences in China* [online]. 7(3), 272-279 [cit. 2021-03-02]. ISSN 16712927. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1671292708600668>
- [96] RAKSZEGI, M. et al., 2009. Puroindoline genes and proteins in tetraploid and hexaploid species of Triticum. *Journal of Cereal Science* [online]. 49(2), 202-211 [cit. 2021-03-02]. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521008001653>
- [97] DOLEŽELOVÁ, E., 2013. Výroba pšeničného müsli a jeho hodnocení. Zlín. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [98] ZAMARATSKAIA, G., K. GERHARDT a K. WENDIN, 2021. Biochemical characteristics and potential applications of ancient cereals - An underexploited opportunity for sustainable production and consumption [online]. 107, 114-123 [cit. 2021-04-03]. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224420307184>
- [99] RUSTGI, S. et al., 2019. Wheat Seed Proteins: Factors Influencing Their Content, Composition, and Technological Properties, and Strategies to Reduce Adverse Reactions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 18(6), 1751-1769 [cit. 2021-03-03]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12493>
- [100] TORBICA, A. a J. MASTILOVIĆ, 2008. Influence of Different Factors on Wheat Proteins Quality. *Food & Feed Research* [online]. 35(2), 47-52 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: http://fins.uns.ac.rs/e-journal/uploads/Magazines/magazine_63/influence-of-different-factors-on-wheat-proteins-quality.pdf

- [101] GONZÁLEZ-THUILLIER, I. et al., 2015. Distribution of Lipids in the Grain of Wheat (cv. Hereward) Determined by Lipidomic Analysis of Milling and Pearling Fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 63(49), 10705-10716 [cit. 2021-04-08]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.5b05289>
- [102] GONZÁLEZ-THUILLIER, I. et al., 2021. Accumulation and deposition of triacylglycerols in the starchy endosperm of wheat grain. *Journal of Cereal Science* [online]. 98 [cit. 2021-04-03]. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521021000084>
- [103] MEERA, M.S., M.K. BHASHYAM a S.Z. ALI, 2011. Effect of heat treatment of sorghum grains on storage stability of flour. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 44(10), 2199-2204 [cit. 2021-5-1]. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381100168X>
- [104] BARDEN, L. a E. A. DECKER, 2015. Lipid Oxidation in Low-moisture Food: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 56(15), 2467-2482 [cit. 2021-5-1]. ISSN 1040-8398. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2013.848833?journalCode=bf sn20>
- [105] HEINIÖ, R.L. et al., 2016. Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods – A review [online]. 47, 25-38 [cit. 2021-5-1]. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224415002575>
- [106] ABDEL-AAL, E.-S. M. a I. RABALSKI, 2008. Effect of baking on nutritional properties of starch in organic spelt whole grain products. *Food Chemistry* [online]. 111(1), 150-156 [cit. 2021-04-08]. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814608003452>
- [107] BECKLES, D. M. a M. THITISAKSAKUL, 2014. How environmental stress affects starch composition and functionality in cereal endosperm. *Starch - Stärke* [online]. 66(1-2), 58-71 [cit. 2021-03-25]. ISSN 00389056. Dostupné z: <https://escholarship.org/content/qt9q16h3rv/qt9q16h3rv.pdf?t=ojx46n>
- [108] SHAHIDI, F. a P. AMBIGAIPALAN, 2015. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of*

- Functional Foods [online]. 18, 820-897 [cit. 2021-5-5]. ISSN 17564646. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464615003023>
- [109] JOYE, I., 2019. Protein Digestibility of Cereal Products. Foods [online]. 8(6) [cit. 2021-4-27]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2304-8158/8/6/199/htm>
- [110] SARWAR GILANI, G., C. WU XIAO a K. A. COCKELL, 2012. Impact of Antinutritional Factors in Food Proteins on the Digestibility of Protein and the Bioavailability of Amino Acids and on Protein Quality. British Journal of Nutrition [online]. 108(S2), S315-S332 [cit. 2021-5-1]. ISSN 0007-1145. Dostupné z: <https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-nutrition/article/impact-of-antinutritional-factors-in-food-proteins-on-the-digestibility-of-protein-and-the-bioavailability-of-amino-acids-and-on-protein-quality/052B66B8F1BA8DBBCEE94E3607A63402>
- [111] PRASAD, R. et al., 2016. Minerals in Plant and Human Nutrition and Health [online]. International Plant Nutrition Institute [cit. 2021-4-24]. ISBN 978-0-9960199-5-8. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/337160797_Minerals_in_Plant_and_Human_Nutrition_and_Health_i
- [112] WHITE, P. J. a P. H. BROWN, 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. Annals of Botany [online]. 105(7), p. 1073-1080 [cit. 2021-4-25]. ISSN 1095-8290. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2887071/>
- [113] ALLOWAY, B. J., 2005. Bioavailability of Elements in Soil. SELLINUS, O. Essentials of Medical Geology - Impacts of the Natura Environment on Public Health. Elsevier, p. 347-372. ISBN 978-0-12-636341-8.
- [114] KABATA-PENDIAS, A., 2011. Trace Elements in Soils and Plants. 4. vydání. CRC Press. ISBN 978-1-4200-9368-1.
- [115] VANĚK, V. a P. TLUSTOŠ, 2005. Výživa rostlin a hnojení polních plodin. ŠNOBL, J. Základy rostlinné produkce. Praha: Česká zemědělská univerzita, s. 34-45. ISBN 978-80-213-1340-8.

- [116] HAFEEZ, B., 2013. Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review. American Journal of Experimental Agriculture [online]. 3(2), 374-391 [cit. 2021-4-25]. ISSN 22310606. Dostupné z: <https://www.journaljeai.com/index.php/JEAI/article/view/1040/1468>
- [117] MARTÍNEZ-BALLESTA, M.C. et al., 2010. Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. Agronomy for Sustainable Development [online]. 30(2), 295-309 [cit. 2021-4-25]. ISSN 1774-0746. Dostupné z: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886538/document>
- [118] HUSSAIN, A. et al., 2010. Mineral Composition of Organically Grown Wheat Genotypes: Contribution to Daily Minerals Intake. International Journal of Environmental Research and Public Health [online]. 7(9), 3442-3456 [cit. 2021-4-25]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2954555/>
- [119] RAES, K. et al., 2014. Role of processing on bioaccessibility of minerals: Influence of localization of minerals and anti-nutritional factors in the plant [online]. 37(1), 32-41 [cit. 2021-4-25]. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224414000260>
- [120] SOETAN, K. O., C. O. OLAIYA a O. E. OYEWOLE, 2010. The Importance of Mineral Elements for Humans, Domestic Animal and Plants: A Review. African Journal of Food Sciences [online]. 4(5), 200-222 [cit. 2021-4-25]. ISSN 1996-0794. Dostupné z: https://www.betterbiohealth.com/wp-content/uploads/2020/10/article1380713863_Soetan-et-all.pdf
- [121] PLATEL, K. a K. SRINIVASAN, 2016. Bioavailability of Micronutrients from Plant Foods: An Update. Critical Reviews in Food Science and Nutrition [online]. (56), 1608-1619 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/273325919_Bioavailability_of_Micronutrients_from_Plant_Foods_An_Update
- [122] ANTOINE, J. M.R. et al., 2012. Dietary intake of minerals and trace elements in rice on the Jamaican market. Journal of Food Composition and Analysis [online]. 26(1-2), 111-121 [cit. 2021-5-5]. ISSN 08891575. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157512000166>
- [123] CRISPONI, G. et al., 2013. The meaning of aluminium exposure on human health and aluminium-related diseases. BioMolecular Concepts [online]. 4(1), 77-87 [cit.

- 2021-4-27]. ISSN 1868-503X. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/269114736_The_meaning_of_aluminium_exposure_on_human_health_and_aluminium-related_diseases
- [124] Nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách.
- [125] ASDEO, A., 2014. Toxic Metal Contamination of Staple Crops (Wheat and Millet) in Periurban Area of Western Rajasthan. International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES) [online]. 3(4), p. 8-18 [cit. 2021-4-27]. ISSN 2319-183X. Dostupné z: <http://www.irjes.com/Papers/vol3-issue4/Vesion%201/B340818.pdf>
- [126] LUDAJIC, G. et al., 2015. The content of essential and toxic elements in wheat bran and flour. Hemijska industrija [online]. 69(4), 417-423 [cit. 2021-4-27]. ISSN 0367-598X. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/270468969_The_content_of_essential_and_toxic_elements_in_wheat_bran_and_flour
- [127] BARCIELA-ALONSO, M. C. a P. BERMEJO-BARRERA, 2015. Variation of food mineral content during industrial and culinary processing. Handbook of Mineral Elements in Food [online]. Chichester, UK, 163-176 [cit. 2021-4-27]. ISBN 9781118654316. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/283030681_Variation_of_food_mineral_content_during_industrial_and_culinary_processing
- [128] PETROSKI, W. a D. M. MINICH, 2020. Is There Such a Thing as “Anti-Nutrients”? A Narrative Review of Perceived Problematic Plant Compounds. Nutrients [online]. 12(10) [cit. 2021-4-25]. ISSN 2072-6643. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/10/2929/htm>
- [129] ZLATOHLÁVEK, L., 2016. Klinická dietologie a výživa. Praha: Current Media. Medicus. ISBN 978-80-88129-03-5.
- [130] FERRUZZI, M. G. et al., 2020. Insights from in vitro exploration of factors influencing iron, zinc and provitamin A carotenoid bioaccessibility and intestinal absorption from cereals. Journal of Cereal Science [online]. 96 [cit. 2021-04-03]. ISSN 07335210. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521020307918>

- [131] Nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách.
- [132] SHENKIN, A, 2006. Micronutrients in health and disease. *Postgraduate Medical Journal* [online]. 82(971), 559-567 [cit. 2021-4-25]. ISSN 0032-5473. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2585731/>
- [133] STRÁNSKÝ, M. a L. PECHAN, 2014. *Fyziologie a patofyziologie výživy. 2., dopl. vyd.* České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-80-7394-478-0.
- [134] GHARIBZAHEDI, S. M. T. a S. M. JAFARI, 2017. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation [online]. 62, 119-132 [cit. 2021-4-25]. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224416306203>
- [135] FSAI: Mercury, Lead, Cadmium, Tin and Arsenic in Food. 2009. *Toxicology Factsheets* [online]. [cit. 2021-03-20].
- [136] KLOTZ, K. et al., 2017. The Health Effects of Aluminum Exposure. *Deutsches Arzteblatt Online* [online]. [cit. 2021-4-27]. ISSN 1866-0452. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5651828/>
- [137] OGHBAEI, M., J. PRAKASH a F. YILDIZ, 2016. Effect of primary processing of cereals and legumes on its nutritional quality: A comprehensive review [online]. 2(1) [cit. 2021-4-25]. ISSN 2331-1932. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311932.2015.1136015>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|--------|--|
| ATP | Adenosintrifosfát |
| CF | Crude Fiber (hrubá vláknina) |
| DMD | Dry Matter Digestibility (stravitelnost sušiny) |
| EGC | Epigallokatechin |
| EGCG | Epigallokatechin gallát |
| FOS | Fruktooligosacharidy |
| GIT | Gastrointestinální trakt |
| GOS | Glukooligosacharidy |
| ICP-MS | Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry |
| NDC | Neutrálně-detergentní činidlo |
| NDF | Neutral-detergent fiber (neutrálně-detergentní vláknina) |
| NDR | Neutrálně-detergentní roztok |
| OMD | Organic Matter Digestibility (stravitelnost organické hmoty) |
| RDA | Recommended Daily Allowance |
| RDS | Rapidly Digestible Starch (rychle stravitelný škrob) |
| SCFAs | Short-chain Fatty Acids (mastné kyseliny s krátkým řetězcem) |
| SD | Směrodatná odchylka |
| SDS | Slowly Digestible Starch (pomalu stravitelný škrob) |
| TAG | Triacylglyceridy |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek č. 1: Řez obilkou..... | 12 |
| Obrázek č. 2: Pšenice Dickkopf..... | 31 |
| Obrázek č. 3: Pšenice Samtrot Ur-Binkel..... | 32 |
| Obrázek č. 4: <i>Triticum aestivum</i> L..... | 32 |
| Obrázek č. 5: Fotografie zrn | 33 |
| Obrázek č. 6: Fotografie vloček..... | 34 |
| Obrázek č. 7: Fotografie pomletých zrn | 34 |
| Obrázek č. 8: Biodostupnost makrobiogenních prvků..... | 62 |
| Obrázek č. 9: Biodostupnost mikrobiogenních a stopových prvků | 63 |
| Obrázek č. 10: Biodostupnost toxických prvků..... | 65 |
| Obrázek č. 11: Ztráty makrobiogenních prvků | 72 |
| Obrázek č. 12: Ztráty mikrobiogenních a stopových prvků | 74 |
| Obrázek č. 13: Ztráty toxických prvků | 75 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka č. 1: Chemické složení jednotlivých částí pšeničného zrna..... | 13 |
| Tabulka č. 2: Průměrný obsah vybraných vitaminů skupiny B..... | 17 |
| Tabulka č. 3: Porovnání obsahu minerálních látek pšenice seté a netradičních druhů pšenice | 18 |
| Tabulka č. 4: Kompozice SSF, SGF a SIF | 25 |
| Tabulka č. 5: Označení vzorků | 33 |
| Tabulka č. 6: Výsledky stanovení vlhkosti..... | 46 |
| Tabulka č. 7: Výsledky stanovení popela | 47 |
| Tabulka č. 8: Výsledky stanovení hrubé bílkoviny | 48 |
| Tabulka č. 9: Výsledky stanovení lipidů | 49 |
| Tabulka č. 10: Výsledky stanovení škrobu..... | 50 |
| Tabulka č. 11: Výsledky stanovení CF a NDF | 51 |
| Tabulka č. 12: Výsledky stanovení DMD a OMD | 53 |
| Tabulka č. 13: Celkový obsah minerálních a stopových prvků ve vzorcích | 59 |
| Tabulka č. 14: RDA (AI) vybraných prvků a příspěvky konzumace vloček k jejich hodnotám | 69 |
| Tabulka č. 15: PTWI (PTMI) toxických prvků a kontaminantů a příspěvky konzumace vloček k jejich hodnotám..... | 71 |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI: Biodostupnost makrobiogenních prvků z vložek [%]

| Prvek | SV | MV | DV |
|------------------|----|----|----|
| ²³ Na | 72 | 74 | 56 |
| ²⁴ Mg | 98 | 98 | 99 |
| ³¹ P | 97 | 97 | 98 |
| ³² S | 84 | 86 | 90 |
| ³⁹ K | 98 | 99 | 99 |
| ⁴⁰ Ca | 81 | 86 | 87 |

SV = Samtrot vložky

MV = Megali vložky

DV = Dickkopf vložky

Příloha P II: Biodostupnost mikrobiogenních prvků vložek [%]

| Prvek | SV | MV | DV | Prvek | SV | MV | DV |
|------------------|----|----|----|-------------------|----|----|----|
| ⁷ Li | 90 | 86 | 96 | ⁸⁸ Sr | 85 | 90 | 92 |
| ⁹ Be | 89 | 70 | 75 | ⁸⁹ Y | 8 | 18 | 4 |
| ¹¹ B | 94 | 96 | 96 | ⁹⁰ Zr | 81 | 80 | 92 |
| ⁴⁵ Sc | 86 | 88 | 91 | ⁹⁵ Mo | 85 | 85 | 90 |
| ⁴⁸ Ti | 77 | 81 | 85 | ¹²¹ Sb | 92 | 94 | 92 |
| ⁵¹ V | 13 | 8 | 36 | ¹³³ Cs | 84 | 86 | 88 |
| ⁵² Cr | 76 | 83 | 83 | ¹³⁷ Ba | 97 | 97 | 99 |
| ⁵⁵ Mn | 62 | 67 | 76 | ¹⁴⁰ Ce | 31 | 13 | 37 |
| ⁵⁷ Fe | 83 | 82 | 88 | ¹⁵⁹ Tb | 68 | 72 | 81 |
| ⁵⁹ Co | 60 | 71 | 70 | ¹⁶⁵ Ho | 41 | 60 | 38 |
| ⁶⁰ Ni | 86 | 77 | 92 | ¹⁸¹ Ta | 69 | 62 | 60 |
| ⁶³ Cu | 92 | 92 | 94 | ²⁰⁵ Tl | 41 | 38 | 72 |
| ⁶⁶ Zn | 96 | 93 | 97 | ²⁰⁹ Bi | 88 | 98 | 96 |
| ⁷¹ Ga | 96 | 96 | 97 | ²³⁸ U | 4 | 19 | 15 |
| ⁷³ Ge | 66 | 70 | 70 | | | | |

SV = Samtrot vložky

MV = Megali vložky

DV = Dickkopf vložky

Příloha P III: Biodostupnost toxických prvků z vloček [%]

| Prvek | SV | MV | DV |
|-------------------|----|----|----|
| ²⁷ Al | 71 | 85 | 86 |
| ⁶⁰ Ni | 86 | 77 | 92 |
| ⁷⁵ As | 90 | 92 | 88 |
| ¹⁰⁷ Ag | 67 | 33 | 56 |
| ¹¹¹ Cd | 87 | 73 | 74 |
| ¹¹⁸ Sn | 92 | 60 | 44 |
| ¹²¹ Sb | 92 | 94 | 92 |
| ²⁰² Hg | 57 | 78 | 80 |
| ²⁰⁸ Pb | 60 | 45 | 54 |

SV = Samtrot vločky

MV = Megali vločky

DV = Dickkopf vločky

Příloha P IV: Ztráta makrobiogenních prvků vloček [%]

| Prvky | SV | MV | DV |
|------------------|----|----|----|
| ²³ Na | 68 | 72 | 48 |
| ²⁴ Mg | 35 | 23 | 23 |
| ³¹ P | 33 | 20 | 19 |
| ³² S | 27 | 17 | 12 |
| ³⁹ K | 26 | 15 | 15 |
| ⁴⁰ Ca | 46 | 35 | 32 |

SV = Samtrot vločky

MV = Megali vločky

DV = Dickkopf vločky

Příloha P V: Ztráta mikrobiogenních prvků z vloček [%]

| Prvky | Samtrot | Megali | Dickkopf | Prvky | Samtrot | Megali | Dickkopf |
|------------------|---------|--------|----------|-------------------|---------|--------|----------|
| ⁷ Li | 45 | 59 | 27 | ⁸⁸ Sr | 48 | 51 | 43 |
| ⁹ Be | 15 | 33 | 29 | ⁸⁹ Y | 21 | 15 | 17 |
| ¹¹ B | 7 | 7 | 17 | ⁹⁰ Zr | 54 | 58 | 26 |
| ⁴⁵ Sc | 21 | 16 | 14 | ⁹⁵ Mo | 19 | 13 | 13 |
| ⁴⁸ Ti | 41 | 38 | 32 | ¹²¹ Sb | 11 | 11 | 15 |
| ⁵¹ V | 14 | 15 | 15 | ¹³³ Cs | 10 | 19 | 14 |
| ⁵² Cr | 64 | 48 | 53 | ¹³⁷ Ba | 23 | 17 | 17 |
| ⁵⁵ Mn | 25 | 18 | 20 | ¹⁴⁰ Ce | 67 | 61 | 47 |
| ⁵⁷ Fe | 36 | 27 | 24 | ¹⁵⁹ Tb | 33 | 33 | 25 |
| ⁵⁹ Co | 24 | 19 | 29 | ¹⁶⁵ Ho | 33 | 33 | 33 |
| ⁶⁰ Ni | 34 | 45 | 36 | ¹⁸¹ Ta | 11 | 7 | 10 |
| ⁶³ Cu | 38 | 39 | 36 | ²⁰⁵ Tl | 43 | 33 | 33 |

| | | | | | | | |
|------------------|----|----|----|-------------------|----|----|----|
| ⁶⁶ Zn | 29 | 18 | 37 | ²⁰⁹ Bi | 49 | 43 | 41 |
| ⁷¹ Ga | 32 | 24 | 18 | ²³⁸ U | 31 | 44 | 33 |
| ⁷³ Ge | 13 | 9 | 10 | | | | |

SV = Samtrot vločky

MV = Megali vločky

DV = Dickkopf vločky

Příloha P VI: Ztráty toxických prvků z vloček [%]

| Prvek | Samtrot | Megali | Dickkopf |
|-------------------|---------|--------|----------|
| ²⁷ Al | 5 | 5 | 5 |
| ⁶⁰ Ni | 34 | 45 | 36 |
| ⁷⁵ As | 13 | 17 | 20 |
| ¹⁰⁷ Ag | 52 | 35 | 41 |
| ¹¹¹ Cd | 22 | 16 | 15 |
| ¹¹⁸ Sn | 27 | 35 | 23 |
| ¹²¹ Sb | 11 | 11 | 15 |
| ²⁰² Hg | 29 | 38 | 38 |
| ²⁰⁸ Pb | 15 | 7 | 7 |

SV = Samtrot vločky

MV = Megali vločky

DV = Dickkopf vločky