

Stanovení retenčních faktorů pro minerální a stopové prvky u bezlepkových vloček

Bc. Karolína Vilišová

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Karolína Vilišová
Osobní číslo:	T23003
Studijní program:	N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Stanovení retenčních faktorů pro minerální a stopové prvky u bezpečkových vloček

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část:

Charakterizovat nutriční složení bezpečkových vloček použitých v experimentální části a popsat jejich technologii výroby.

II. Experimentální část:

Provést stravitelnost bezpečkových vloček v podmínkách *in vitro* a evaluovat retenční faktory pro jednotlivé prvky pro procesu simulace digestce.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] SUMCZYNSKI, Daniela; FIŠERA, Miroslav; SALEK, Richardos Nikolaos a ORSAVOVÁ, Jana, 2023. The Effect of Flake Production and In Vitro Digestion on Releasing Minerals and Trace Elements from Wheat Flakes: The Extended Study of Dietary Intakes for Individual Life Stage Groups. Online. *Nutrients*. Roč. 15, č. 11. ISSN 2072-6643.
- [2] KIEWLICZ, Justyna a RYBICKA, Iga. Minerals and their bioavailability in relation to dietary fiber, phytates and tannins from gluten and gluten-free flakes. Online. *Food Chemistry*. Roč. 2020, č. Volume 305.
- [3] ARENDT, Elke K. a ZANNINI, Emanuele, 2013. *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. Online. Woodhead Publishing. ISBN 978-0-85709-413-1.
- [4] AFFONFEREA, Marius; CHADAREA, Flora Josiane; FASSINOVA, Finagnon Toyi Kévin; LINNEMANN, Anita Rachel a DUODU, Kwaku Gyebi, 2021. In-vitro Digestibility Methods and Factors Affecting Minerals Bioavailability: A Review. Online. *Food Reviews International*. Roč. 2023, č. Volume 39.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Daniela Sumczynski, Ph.D.**
Ústav analýzy a chemie potravin

Datum zadání diplomové práce: **1. ledna 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 14. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 mohu užít 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 na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....

podpis autora

ABSTRAKT

V teoretické části jsou charakterizovány suroviny, které jsou používány pro výrobu bezlepkových vloček, s důrazem na jejich nutriční složení. Dále se teoretická část zaměřuje na popis technologie výroby vloček hydrotermálním způsobem a extruzí. V praktické části diplomové práce bylo provedeno stanovení obsahu sušiny, popele, hodnot *in vitro* stravitelnosti a příprava nestráveného podílu bezlepkových vloček. Nativní vzorky i jejich nestrávený podíl byly podrobeny mineralizaci a následnému měření na ICP-MS pro stanovení obsahu minerálních a stopových prvků. Z naměřených dat byl vypočten retenční faktor pro jednotlivé prvky. Byly stanoveny příspěvky konzumace vloček k referenčním hodnotám příjmů pro esenciální prvky. Následně byly vypočteny expozice pro toxické stopové prvky. Nejvyšší retence byla stanovena u sójových vloček. Hořčík a draslík vykazovaly nejvyšší koncentraci a dostupnost ve všech vzorcích analyzovaných vloček. Nízkou hodnotu retence vykazovaly prvky rtuť a nikl. Bezlepkové vločky významně přispívají k hodnotám RDA pro molybden, měď a hořčík a k hodnotám AI pro mangan a chrom. Bezlepkové vločky nejvíce přispívají k hodnotě PTWI pro rtuť a k hodnotě TDI pro nikl.

Klíčová slova: bezlepkové vločky, pseudocereálie, oves, sója, pohanka, quinoa, amarant, teff, *in vitro* stravitelnost, ICP-MS, minerální prvek, stopový prvek, toxický prvek, retenční faktor

ABSTRACT

In the theoretical part, a comprehensive characterization of the raw materials used in the production of gluten-free flakes is provided, with particular emphasis on their nutritional composition. Furthermore, attention is given to the description of flake production technologies, specifically hydrothermal processing and extrusion. In the experimental part of the thesis, the determination of dry matter content, ash content, *in vitro* digestibility, and the preparation of the undigested fraction of gluten-free flakes were carried out. Both the native samples and their undigested fractions were subjected to mineralization and subsequently analysed using ICP-MS to determine the content of mineral and trace elements. Retention factors for individual elements were calculated based on the measured data. The contributions of flake consumption to the reference intake values for essential elements were determined. Subsequently, exposure levels to toxic trace elements were calculated. The highest retention was observed in soy flakes. Magnesium and potassium exhibited the highest concentrations and bioavailability across all analysed flake samples. In contrast, mercury and nickel showed the lowest retention values. Gluten-free flakes make a significant contribution to the RDA for molybdenum, copper, and magnesium, as well as to the AI for manganese and chromium. Furthermore, they contribute most notably to the PTWI for mercury and the TDI for nickel.

Keywords: gluten-free flakes, pseudocereals, oats, soy, buckwheat, quinoa, amaranth, teff, *in vitro* digestibility, ICP-MS, mineral element, trace element, toxic element, retention factor

Tímto bych ráda poděkovala své vedoucí diplomové práce paní doc. Ing. Daniele Sumczynski, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost, cenné rady a pomoc při zpracování této práce a panu doc. Ing. Miroslavu Fišerovi, CSc. za pomoc při měření vzorků pomocí ICP-MS.

V neposlední řadě patří velké díky mým rodičům a bratrovi, kteří mi byli oporou i ve dnech, kdy to nebylo lehké.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OBILOVIN VYUŽÍVANÝCH PRO VÝROBU VLOČEK.....	15
1.1 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY	15
2 SUROVINY PRO VÝROBU BEZLEPKOVÝCH VLOČEK	16
2.1 OVES	16
2.1.1 Nutriční složení	17
2.1.2 Použití.....	17
2.2 SÓJA.....	18
2.2.1 Nutriční složení	18
2.2.2 Použití.....	19
2.3 POHANKA.....	19
2.3.1 Nutriční složení	20
2.3.2 Použití.....	20
2.4 QUINOA.....	21
2.4.1 Nutriční složení	21
2.4.2 Použití.....	22
2.5 AMARANT	23
2.5.1 Nutriční složení	23
2.5.2 Použití.....	23
2.6 TEFF	24
2.6.1 Nutriční složení	24
2.6.2 Použití.....	25
3 TECHNOLOGIE VÝROBY VLOČEK	26
3.1 VÝROBA VLOČEK HYDROTERMÁLNÍ ÚPRAVOU	26
3.1.1 Výroba ovesných vloček.....	26
3.1.2 Výroba sójových vloček.....	28
3.1.3 Výroba rýžových vloček	28
3.2 VÝROBA VLOČEK EXTRUZÍ.....	29
4 CÍL PRÁCE	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
5 METODIKA.....	32
5.1 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE A MATERIÁLY	32
5.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE	32
5.3 POUŽITÉ VZORKY	33

5.4	STANOVENÍ OBSAHU VLHKOSTI	36
5.5	STANOVENÍ POPELA.....	37
5.6	STANOVENÍ STRAVITELNOSTI METODOU <i>IN VITRO</i>	38
5.6.1	Příprava nestráveného podílu	40
5.7	STANOVENÍ MINERÁLNÍCH A STOPOVÝCH PRVKŮ METODOU ICP-MS.....	40
5.7.1	Mineralizace vzorků bezlepkových vloček	40
5.7.2	Stanovení obsahu prvků metodou ICP-MS	41
5.8	STANOVENÍ RETENCE PRO JEDNOTLIVÉ PRVKY	41
5.9	STANOVENÍ PŘÍSPĚVKŮ KONZUMACE VLOČEK K JEDNOTLIVÝM HODNOTÁM RDA, AI, PTWI A PTMI PRO MINERÁLNÍ A STOPOVÉ PRVKY.....	42
5.10	STATISTICKÁ ANALÝZA	43
6	VÝSLEDKY A DISKUZE	44
6.1	VÝSLEDKY STANOVENÍ SUŠINY A POPELA V BEZLEPKOVÝCH VLOČKÁCH.....	44
6.2	VÝSLEDKY STANOVENÍ STRAVITELNOSTI	45
6.3	VÝSLEDKY STANOVENÍ MINERÁLNÍCH A STOPOVÝCH PRVKŮ	46
6.4	VÝSLEDKY VÝPOČTU RETENCE PRO JEDNOTLIVÉ PRVKY V BEZLEPKOVÝCH VLOČKÁCH.....	54
6.5	VÝSLEDKY STANOVENÍ PŘÍSPĚVKŮ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ K HODNOTÁM RDA, AI, PTWI A PTMI.....	63
6.5.1	Výsledky stanovení příspěvků esenciálních prvků k hodnotám RDA a AI.....	63
6.5.2	Výsledky expozice k limitním příjmům PTWI a PTMI pro toxické prvky.....	69
	ZÁVĚR.....	75
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	79
	SEZNAM OBRÁZKŮ	89
	SEZNAM TABULEK	91
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	92
	SEZNAM PŘÍLOH.....	93

ÚVOD

Strava a její složení mají zásadní vliv na lidské zdraví a celkovou kvalitu života. V současné době roste zájem o funkční potraviny a zdravý životní styl, což vede ke zvýšené poptávce po výživově hodnotných potravinách pro různé skupiny obyvatel. Jednou z těchto skupin jsou lidé trpící celiakií – autoimunitním onemocněním způsobeným nesnášenlivostí lepku. U těchto osob může konzumace lepku vyvolat vážné zdravotní komplikace, jako je zánět tenkého střeva, poruchy vstřebávání živin, chronická únava či úbytek na váze. Pouze úplné vynechání potravin s obsahem lepku a přísné dodržování bezlepkové diety vede k minimalizaci komplikací a ústupu projevů celiakie.

Bezlepková strava však není určena výhradně celiakům. Stále častěji ji vyhledávají i lidé, kteří se rozhodli omezit lepek z osobních či preventivních důvodů. V souvislosti s tím roste obliba bezlepkových potravin, nejen kvůli absenci lepku, ale i díky jejich výživovým vlastnostem. Mezi často konzumované produkty patří bezlepkové vločky, které představují všestrannou surovinu pro přípravu snídaňových kaší nebo pečiva. Tyto vločky se vyrábí z přirozeně bezlepkových obilovin a pseudoobilovin, jako jsou rýže, kukuřice, pohanka, jáhly, quinoa nebo amarant. Vyznačují se nejen absencí lepku, ale také příznivým obsahem vlákniny, rostlinných bílkovin a dalších bioaktivních látek. Z nutričního hlediska je neméně důležitý i obsah minerálních a stopových prvků, jenž plní v lidském organismu řadu životně důležitých funkcí – podílí se na správné činnosti nervového systému, metabolismu, hormonální rovnováze i stavbě kostní tkáně.

Tato práce je zaměřena na stanovení stravitelnosti a obsahu minerálních a stopových prvků v různých druzích bezlepkových vloček. Pro minerální a stopové prvky byl vypočten retenční faktor a tím zjištěna potenciální míra využití daného prvku v organismu. Dále byly vypočteny příspěvky bezlepkových vloček k RDA (referenční hodnotě příjmu) a AI (adekvátnímu příjmu) pro esenciální prvky a hodnoty PTWI (prozatímního tolerovatelného týdenního příjmu) a PTMI (prozatímního tolerovatelného měsíčního příjmu) pro prvky toxické.

Výsledky této práce mohou být cenným přínosem nejen pro spotřebitele se zájmem o nutričně hodnotné bezlepkové potraviny, ale rovněž pro odborníky v oblasti výživy. Také mohou sloužit jako podklad pro navazující výzkumné aktivity zaměřené na hodnocení kvality bezlepkových potravin.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OBILOVIN VYUŽÍVANÝCH PRO VÝROBU VLOČEK

Pro výrobu vloček se využívají téměř všechny známé obiloviny patřící do čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Mezi běžně pěstované a využívané obiloviny pro potravinářské účely patří pšenice, žito, oves, rýže a kukuřice. V posledních letech jsou při výrobě vloček využívány i jiné obiloviny řadící se mezi pseudoobiloviny. Do této kategorie spadají pohanka, amarant nebo quinoa (Příhoda et al., 2004).

Z obilovin se pro zpracování využívá obilné zrno neboli obilka. Podle povrchu obilky se rozlišují na pluchaté (obilka uzavřena pluchou a pluškou) a nahé/bezpluché (povrch obilky tvoří oplodí). Obilka se skládá ze tří hlavních částí – obalových vrstev, endospermu a zárodku. Endosperm se nachází ve vnitřní části zrna a obsahuje především zásobní látky – škrob a bílkoviny. Mezi endospermem a obalovými vrstvami se nachází aleuronové buňky, jenž obsahují vysoký podíl bílkovin, tuků, vitaminů i minerálních látek. Zárodek neboli klíček, je část zrna, která je bohatá na tuky, jednoduché cukry, vitaminy a minerální látky, a dává vznik nové obilovině. Obalové vrstvy, tvořeny zejména vlákninou a minerálními látkami, mají ochrannou funkci a chrání obilku před vnějšími vlivy a poškozením (Burešová a Lorencová, 2013).

1.1 Legislativní požadavky

Dle Vyhlášky č. 18/2020 Sb. o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta jsou vločky definovány jako výrobky z vyčištěného a oloupaného obilného zrna nebo zrna bezpluchého nebo zbaveného pluch, získané jeho mačkáním nebo příčným řezem (Česko, 2020). Povolena vlhkost ovesných vloček je nejvýše 12,0 %. U ostatních druhů vloček může být vlhkost nejvýše 14,0 % (Česko, 2020). Dle Vyhlášky č. 329/1997 Sb. pro škrob a výrobky ze škrobu, luštěniny a olejnatá semena jsou luštěninovými vločkami příčně řezaná a mačkaná zrna luštěnin. Pokud jsou vločky vyráběny ze sóji, musí být semena sóji zbavená hořkosti – tzv. odhořčená (Česko, 1997).

2 SUROVINY PRO VÝROBU BEZLEPKOVÝCH VLOČEK

Pro výrobu bezlepkových vloček se nejčastěji využívají rýžová zrna a pseudocereálie. Pseudocereálie jsou plodiny, které sice nejsou botanicky zařazeny do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*), ale jejich semena mají podobné chemické složení a zpracovávají se obdobným způsobem jako obiloviny. Pseudocereálie mají vyšší nutriční hodnotu než tradiční obiloviny. Vynikají především vyšším obsahem vlákniny, nenasycených mastných kyselin, minerálních látek, vitaminů a bioaktivních látek. Vyznačují se také obsahem vysoce kvalitních bílkovin s vyváženým složením aminokyselin, vysokou stravitelností a biologickou dostupností minerálních a stopových prvků. Díky bohatému složení jsou pseudocereálie spojovány se zdravotními přínosy jako protizánětlivé, hypolipidemické, hepatoprotektivní a antidiabetické účinky. Navíc neobsahují lepkové bílkoviny, díky čemuž jsou využívány pro výrobu bezlepkových potravin (Burešová a Lorencová, 2013; Nandan et al., 2024). Bezlepkové vločky lze rovněž vyrábět z luštěnin. Pro tyto účely se často využívá sója, hrách nebo čočka. Luštěniny jsou zralá, suchá semena luskovin patřící do čeledi bobovitých (*Fabaceae*) a vyznačující se především vysokým obsahem bílkovin (Hrabě et al., 2007). Významný je i obsah nenasycených mastných kyselin, sterolů a isoflavonů, jenž mají příznivý vliv v prevenci kardiovaskulárních onemocnění. Také jsou bohatým zdrojem vlákniny, minerálních látek a vitaminů. Luštěniny obsahují i antinutriční látky (inhibitory proteáz, purinové látky, taniny, oxaláty a kyselinu fytovou), které mohou negativně ovlivňovat stravitelnost a využitelnost minerálních látek. Navzdory výše uvedeným skutečnostem se jedná o potraviny, které jsou hodnotné z hlediska výživy a jejich zařazení do pravidelné stravy je doporučováno (Bulková, 2011).

2.1 Oves

Oves je řazen mezi obiloviny s nejmladší pěstitelskou historií. K největším producentům ovsa patří USA, Kanada, Austrálie a Evropa. Pěstován je především oves setý (*Avena sativa*, viz Obrázek 1) a oves nahý (*Avena nuda*). Oves je využíván především jako krmivo, ale vzhledem k jeho vynikajícímu nutričnímu složení patří i k důležitým surovinám pro potravinářské účely (Příhoda et al., 2004). V potravinářství se oves nejčastěji používá ve formě mouky, ovesných vloček a expandovaných ovesných zrn (Burešová a Lorencová, 2013).



Obrázek 1 Oves setý – zrno (Zdroj: Procházka, 2009)

2.1.1 Nutriční složení

Plodem ova je obilka, jenž je složena ze tří hlavních částí – otrub, endospermu a klíčku. V endospermu jsou primárně uloženy bílkoviny, škrob, lipidy a β -glukan. Oves představuje významný zdroj sacharidů, tuků, především nenasycených mastných kyselin, bílkovin, vitaminů, antioxidantů a minerálních látek. Hlavní složkou jsou sacharidy, především škrob, jehož obsah se pohybuje od 40 do 50 %. Ovesné zrno obsahuje také vysoké množství neškrobových polysacharidů, jenž jsou hlavní složkou vlákniny, jejíž obsah činí 10–12 %. Ovesný β -glukan je zastoupen ve vyšší míře (2–8 g/100 g ovesných krup) a má významné benefity na lidské zdraví, například podporuje snížení glykémie a hladiny cholesterolu v krvi. Obsah bílkovin činí 15–20 %. Hlavním zásobním proteinem je globulin, v němž je ve vyšší míře zastoupen především lysin. Oproti jiným obilovinám má oves nižší obsah prolaminu. Obsah lipidů (v rozmezí od 3,1 do 11,8 %) je mnohem vyšší než u jiných obilovin, což z něj činí vynikající zdroj energie. Z minerálních látek jsou ve vysoké míře zastoupeny draslík (460 mg/100 g) a fosfor (340 mg/100 g), dále hořčík (140 mg/100 g), vápník (95 mg/100 g), železo a zinek. Ovesná zrna obsahují také velké množství minoritních složek zahrnující flavonoidy, steroly, kyselinu fytovou a felonové kyseliny. Mimo jiné jsou důležitou složkou vitamin E a avenanthramidy, které mají významné antioxidační účinky (Arendt a Zannini, 2013; Kaur et al., 2019).

2.1.2 Použití

Oves je používán pro výrobu mnoha potravinářských výrobků. Produkty získané mletím ovesných zrn zahrnují otruby, vločky, mouku, krupici a kroupy. Ovesné vločky jsou často

využívány pro přípravu kaší, cereálií, granoly, ovesných tyčinek a také jako ingredience pro obohacení běžného pečiva (Burešová a Lorencová, 2013). Oves je také využíván pro výrobu ovesného mléka, které je vhodnou alternativou mléka pro osoby mající alergii na bílkovinu kravského mléka. V neposlední řadě mohou být produkty získány z ovesných zrn (např. β -glukan) používány ve farmacii, kosmetickém a chemickém průmyslu (Arendt a Zannini, 2013; Leszczyńska et al., 2023).

2.2 Sója

Sója, jedna z ekonomicky nejvýznamnějších luštěnin na světě, poskytuje významný zdroj kvalitních bílkovin pro lidskou spotřebu. Sója luštinatá (*Glycine max* (L.) Merrill) patří do čeledi bobovitých (*Fabaceae*). Předními světovými producenty sóji jsou Brazílie a USA. Mezi další producenty se řadí také Argentina, Čína a Indie. Jedná se o luštěninu dosahující výšky až 120 cm, pěstovanou především pro sójové boby. Semena jsou umístěna v lusku ve shlucích a mohou mít různou barvu. Největší význam v potravinářství mají semena žlutá a zelená (Bulková, 2011; Edde, 2021).

2.2.1 Nutriční složení

Sójové boby mají vysokou nutriční hodnotu, především díky vysokému obsahu bílkovin (30–42 %) a tuků (18–22 %). V sóji jsou obsaženy všechny esenciální aminokyseliny, přičemž ve vyšší míře především leucin, lysin a arginin. Z tuků je nejvíce zastoupeny nenasycené mastné kyseliny, zejména kyselina linolová a α -linolenová. Sója je také důležitým zdrojem minerálních látek, jako je hořčík, fosfor, draslík a vápník. Z vitaminů je přítomna vyšší koncentrace vitaminu E, thiaminu, riboflavinu, kyseliny pantothenové a kyseliny listové. Z dalších bioaktivních látek jsou přítomny karotenoidy, lecitiny a isoflavony, z nichž je nejvíce zastoupen daidzein, genistein a glycitein. Negativní součástí je obsah antinutričních látek, kvůli kterým je nutné sóju před konzumací tepelně zpracovat a není vhodná pro nakličování. V sóji se nachází především kyselina fytová, saponiny, purinové látky, a goitrogenní látky, které mohou způsobit nedostatečnou biosyntézu hormonů štítné žlázy (Bulková, 2011; Montanha et al., 2024). Sójové boby jsou zařazeny mezi potraviny vyvolávající alergii pro vyšší obsah histidinu (Bulková, 2011). Díky obsahu bílkovin a isoflavonů je v současné době sója spojována s prevencí a léčbou mnoha chronických onemocnění, jakou jsou kardiovaskulární onemocnění, osteoporóza a různé typy rakoviny. Pravidelná konzumace sójových bobů může také zmírnit příznaky spojené s diabetem (Jooyandeh, 2011).

2.2.2 Použití

Sója má široké uplatnění v potravinářském, chemickém i kosmetickém průmyslu a její využití, především v potravinářském průmyslu, neustále roste. Tradiční sójové potraviny připraveny z celých sójových bobů se dělí na dvě kategorie – fermentované a nefermentované potraviny. Různý způsob zpracování může vést k rozdílům jak v chuti, tak struktuře výsledných produktů. Mezi nefermentované sójové produkty se řadí sójové mléko, sójová mouka, vločky a tofu. Sójové mléko je vyráběno namáčením celých sójových bobů, oplacováním, mletím a filtrováním. Tofu neboli sójový tvaroh, vzniká srážením sójového mléka po přidání koagulantu. Mezi fermentované produkty patří tempeh, natto, miso a sójová omáčka Shoyu (Hu et al., 2019; Jooyandeh, 2011).

2.3 Pohanka

Jeden z nejrozšířenějších druhů pohanky je pohanka setá (*Fagopyrum esculentum*, viz Obrázek 2) patřící do čeledi rdesnovitých (*Polygonaceae*). Řadí se mezi nejmladší evropské plodiny. Pěstována je především v oblasti střední a východní Evropy, přičemž její popularita roste i v dalších částech světa. Plodem pohanky je nažka, kterou je možno zpracovat celou nebo je před drcením mechanicky loupána (Burešová a Lorencová, 2013; Giménez-Bastida a Zieliński, 2015). Zrno pohanky má tvar trojboké nažky, což činí obtíže při jeho zpracování. Při loupání vzniká velký podíl neoloupaných nažek a velký podíl drtě. Při technologickém procesu je zrno nejprve očištěno od příměsí a nečistot. Následným krokem je hydrotermická úprava, kdy v napařovacím šneku dochází k provaření zrna a poté sušení. V tomto kroku dochází ke snížení soudržnosti obalových vrstev s endospermem. Současně se zpevní endosperm, což vede ke sníženému drobení a vyšší výtěžnosti. Zrna jsou následně tříděna dle velikosti na frakce a loupána. Vzniklé kroupy je možno rozemlít na mouku nebo vločkovat (Kučerová, 2016).



Obrázek 2 Pohanka setá – zrno (Foto: Karolína Vilišová)

2.3.1 Nutriční složení

Pohanka se vyznačuje vysokou nutriční hodnotou, ale současně obsahuje i antinutriční látky, které mají negativní vliv na využitelnost a stravitelnost bílkovin. Mezi antinutriční látky se řadí především inhibitory proteáz, taniny, fagopyrin a fytáty. Obsah taninů v nažce se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 4,5 %. V nažce pohanky může obsah škrobu dosahovat až 55 % a bílkovin 12 %. Škrob, vyskytující se v pohance, má vyšší obsah amylózy (18–47 %) oproti jiným pseudocereáliím. Také má vyšší hladiny rezistentního škrobu, který příznivě napomáhá regulovat hladinu glukózy v krvi a modulovat střevní mikrobiotu. Obsah tuku se pohybuje v rozmezí od 1,5 do 3,0 %. Významný je především obsah aktivních sterolů, které mají vliv na snížení vstřebávání cholesterolu. Pohanka se vyznačuje vysokým obsahem minerálních látek, zejména draslíku (460 mg/g), fosforu (347 mg/g), hořčíku (231 mg/g) a vápníku (18 mg/g). Významný je i obsah vitaminů. Vyšší hladiny dosahují vitaminy skupiny B, především thiamin, riboflavin a niacin. Následně jsou přítomny vitaminy C a E. Také je zdrojem přírodních antioxidantů, z nichž je v největší míře zastoupen rutin, dále kvercetin, katechin, epikatechin a myricetin. Díky obsahu rutinu a vitaminu C má pohanka velmi příznivé antidiabetické, protizánětlivé a antikancerogenní účinky (Burešová a Lorencová, 2013; Giménez-Bastida a Zieliński, 2015; Nandan et al., 2024).

2.3.2 Použití

Loupaná pohanka je světle hnědé barvy, na lomu bílá. Často je využívána jako příloha k pokrmům, ale také jako hlavní ingredience v polévkách nebo salátech. Pohanková mouka je vhodná pro výrobu různých pekařských výrobků jako chléb, bezlepkové pečivo, sušenky

a těstoviny. Pohankové vločky jsou vhodné k přípravě snídaňových kaší, případně mohou být použity jako základ pro přípravu palačinek a lívanců (Kučerová, 2016).

2.4 Quinoa

Quinoa neboli merlík chilský (*Chenopodium quinoa* Willd., viz Obrázek 3) je pseudoobilovina pěstována v oblasti Peru a Bolívie po tisíce let. Jedná se o jednoletou rostlinu, kterou je možné pěstovat až do nadmořské výšky 3 800 m (Burešová a Lorencová, 2013). Plodem quinoi je nažka. Semena jsou malá, zploštělá, kruhového tvaru, jejichž barva může být černá, červená, žlutá i bílá. V posledních letech se quinoa stává stále více komerční plodinou, přičemž zájem o její pěstování roste. Kromě Jižní Ameriky se její pěstování rozšiřuje i do dalších oblastí, jako jsou Asie, Evropa a Afrika. Tento trend je důsledkem zjištění, že zrna quinoi obsahují bílkoviny s vyváženějším poměrem aminokyselin ve srovnání s jinými obilovinami (Arendt a Zannini, 2013; Aziz et al., 2018; Laus et al., 2017).



Obrázek 3 Merlík chilský – zrno (Foto: Karolína Vilišová)

2.4.1 Nutriční složení

Semeno quinoi je složeno z oplodí, obalu semene a perispermu. Perisperm je bohatý na škrob, jehož buňky mají hranatý tvar, zatímco v endospermu a embryu jsou uloženy bílkoviny a lipidy. Semeno quinoi se vyznačuje především vyšším obsahem bílkovin a lipidů a nižším obsahem škrobu ve srovnání s jinými obilovinami jako pšenice, ječmen a kukuřice. Hlavní složkou semen je škrob, který zaujímá přibližně 60 % sušiny. Obsah bílkovin

se v zrnech quinoi pohybuje v rozmezí od 7,5 do 22,8 % s průměrem kolem 15 %. Hlavním zásobním proteinem je globulin zvaný chenopodin. Quinoa obsahuje široké spektrum aminokyselin, z nichž jsou nejvíce zastoupeny lysin a methionin. Průměrný obsah lipidů je 5–7 %. Až 85 % z celkového obsahu lipidů představují nenasycené mastné kyseliny. Nejvíce zastoupeny jsou kyselina linolová, olejová a linolenová. Olej z quinoi také obsahuje vysokou koncentraci lipidů skvalenu. Obsah vlákniny je 7,0–26,5 %. Quinoa je také bohatá na vitaminy a minerální látky. Z vitaminů jsou nejvíce zastoupeny niacin, kyselina listová, riboflavin, vitamin E a karotenoidy. Díky vysoké koncentraci kyseliny listové (až 177 µg ve 100 g sušiny) je quinoa považována za podstatný zdroj folátů především pro osoby trpící celiakií, které zpravidla konzumují mnohem nižší než doporučený denní příjem. Zrno quinoi se vyznačuje vysokým obsahem fosforu (360 mg/100 g sušiny), vápníku (110 mg/100 g sušiny) a hořčíku (42,7 mg/100 g sušiny). Vyšší jsou také koncentrace zinku, železa, mědi a manganu. Mezi hlavní fenolické sloučeniny vyskytující se v quinoi patří kyselina ferulová, kvercetin, daidzein a genistein. V quinoi jsou obsaženy i antinutriční látky, které snižují využitelnost živin. Mezi antinutriční látky nalezeny v quinoi patří především saponiny, taniny, inhibitory proteáz a kyselina fytová. Saponiny jsou spojeny zejména s hořkou chutí semen. Podle obsahu saponinů se quinoa dělí na sladkou, s obsahem saponinů <0,11 % a hořkou, s obsahem saponinů ≥0,11 %. Aby byla quinoa požitelná, musí být saponiny před konzumací odstraněny promytím, perlováním, fermentací nebo klíčením (Arendt a Zannini, 2013; Burešová a Lorencová, 2013; Chaudhary et al., 2023; Laus et al., 2017; Nandan et al., 2024).

2.4.2 Použití

Quinoa je známa pro své bohaté využití ve stravě. Konzumována jsou jak semena, tak listy. Listy se po uvaření podávají jako příloha. Uvařená semena se často využívají jako příloha k pokrmům, součást salátů nebo je přidávána do polévek a omáček k zahuštění. Semena je možno mlít na mouku a použít pro výrobu pečiva, těstovin, sušenek a jiných potravin. Quinoa vločky je vhodné přidávat do jogurtů nebo snídanových kaší. Ze semen quinoi je také možno díky pufování získat popcorn podobně jako z kukuřice. Protein izolovaný z quinoi vykazuje kvalitu srovnatelnou s bílkovinou kravského mléka, což představuje perspektivní možnost pro vývoj potravin určených osobám trpícím alergií na bílkovinu kravského mléka (Arendt a Zannini, 2013; Chaudhary et al., 2023).

2.5 Amarant

Amarant (*Amaranthus*) je řazen do čeledi laskavcovité (*Amaranthaceae*). Jedná se o rod plodiny zahrnující přes 50 druhů, z nichž jsou některé druhy využívány jako zelenina, obilnina nebo okrasná dřevina. V minulosti byl pěstován především v Mexiku a střední Americe. V současné době se jeho pěstování rozšířilo i do vybraných zemí Afriky, Asie a Evropy. Hlavní druhy, které se využívají pro potravinářské účely, jsou *Amaranthus cruentus* a *A. hypochondriacus*. V poslední době je amarant považován za perspektivní plodinu, nejen díky obsahu zdraví prospěšných látek, ale především díky své odolnosti vůči podmínkám pěstování (Arendt a Zannini, 2013; Jan et al., 2023).

2.5.1 Nutriční složení

Zrno amarantu se vyznačuje vyšším obsahem bílkovin a lipidů a nižším obsahem škrobu oproti běžným obilovinám. Ze sacharidů je zastoupen především škrob, který tvoří 48–69 % celkové hmotnosti sušiny. Škrob je uložen v perispermu a vyskytuje se ve formě velmi malých granulí, což má vliv na fyzikální vlastnosti a využití. Amarant se vyznačuje vysokým obsahem vlákniny, jenž se u jednotlivých druhů pohybuje v rozmezí od 8,0 do 20,6 %. Obsah bílkovin je 16–18 %. Bílkoviny amarantu, složené především z globulinů a albuminů, mají vynikající poměr esenciálních aminokyselin s vysokým podílem leucinu (0,879 g/100 g), lysinu (0,747 g/100 g) a threoninu (0,558 g/100 g). Ve srovnání s běžnými obilovinami má amarant vyšší koncentraci tuku (až 11 %). Je zdrojem především nenasycených mastných kyselin, z nichž jsou nejvíce zastoupeny kyselina linolová (33–56 % z celkového obsahu tuků), olejová (19–40 %) a palmitová (14–26 %). Také obsahuje významné množství bioaktivních látek, včetně polyfenolů, tokoferolů, fytosterolů a triterpenu skvalenu, který je prekurzorem cholesterolu a má bohaté využití především ve farmaceutickém průmyslu. Z minerálních látek je nejvíce zastoupen fosfor (557 mg/g), draslík (508 mg/g), hořčík (248 mg/g), vápník (159 mg/g), železo (7,61 mg/g) a zinek (2,87 mg/g). Amarant představuje významný zdroj riboflavinu, vitamínu C, kyseliny listové a vitamínu E, díky němuž má významné antioxidační účinky (Arendt a Zannini, 2013; Jan et al., 2023; Nandan et al., 2024; Zamudio et al., 2024).

2.5.2 Použití

Dříve bylo zrno amarantu základní potravinou Aztéků, v dnešní době se stává součástí běžných pokrmů. Zrna amarantu lze použít k výrobě extrudovaných výrobků, pečiva

a bezlepkových potravin. Jsou přidávána do těstovin, snídaňových cereálií, a také jsou vhodnou surovinou pro výrobu pochutin pro celiaky. Amarantový škrob má vysoký potenciál pro výrobu kosmetických přípravků nebo biologicky rozložitelných fólií (Arendt a Zannini, 2013; Jan et al., 2023).

2.6 Teff

Teff neboli milička habešská (*Eragrostis tef*) patří mezi méně známé tropické obiloviny. Jedná se o samosprašnou rostlinu, která je přizpůsobena širokému spektru podmínek pěstování. Často je pěstována v oblasti nížin až do nadmořské výšky 3 000 metrů. Tradičně je pěstována v Etiopii, kde představuje druhou nejčastěji pěstovanou plodinu po kukuřici. Mimo Etiopii se její pěstování postupně rozšiřuje v Kanadě, USA, Austrálii a dalších zemích. V současné době je o teff a produkty z něj vyšší zájem díky výhodnému nutričnímu složení. Jádra teffu jsou extrémně malá, bez slupky a mohou být charakterizována různými barvami – červená (hnědá), bílá a smíšená. Barva odrůd s červenými semeny je dána vysokým obsahem polyfenolů nebo tříslovin. Červená semena se navíc vyznačují vyšším obsahem železa (Arendt a Zannini, 2013; Burešová a Lorencová, 2013; Seyoum et al., 2024; Zhu, 2018).

2.6.1 Nutriční složení

V obilce miličky je primární složkou škrob, jehož obsah může činit až 80 %. Škrobové granule jsou uloženy především v endospermu, který představuje hlavní složku zrna. Obsah bílkovin se pohybuje v rozmezí od 8,7 do 11 %, hlavními proteinovými složkami jsou gluteliny a albuminy. Z aminokyselin jsou ve vyšší míře zastoupeny kyselina glutamová, alanin, prolin, kyselina asparagová a leucin. Zrno teffu obsahuje nižší koncentraci lipidů (přibližně 2–3 % celkové hmotnosti zrna) oproti jiným obilovinám, jako je oves (6,9 %), kukuřice (4,9 %) nebo proso (4,2 %). Z celkového množství lipidů jsou v největším zastoupení především nenasycené mastné kyseliny (až 73 %). Teff představuje významný zdroj vlákniny a minerálních látek. Vyznačuje se zejména vysokým obsahem fosforu (429 mg/100 g), draslíku (427 mg/100 g), hořčíku (184 mg/100 g), vápníku (180 mg/100 g), železa (7,63 mg/100 g), manganu a zinku. Vyšší obsah vlákniny je dán tím, že je teff konzumován včetně otrub a klíčku, neboť vzhledem k velmi malé velikosti zrna není možné tyto části při zpracování oddělit. Teff se také vyznačuje vyšším obsahem riboflavinu, thiaminu a niacinu (Anberbir et al., 2024; Arendt a Zannini, 2013; Burešová a Lorencová, 2013; Zhu, 2018).

2.6.2 Použití

Obilka miličky je v oblastech pěstování nejčastěji drcena na mouku obrušováním nebo pomocí kladivového mlýna. Z teffové mouky se nejčastěji vyrábí produkty známé pod názvem injera (fermentovaný, kyselý, plochý chléb) a kitta (sladký chléb). Dále se využívá k výrobě tradičních alkoholických nápojů, jako je tella (tradiční pivo s nízkým obsahem alkoholu). Jelikož obilka neobsahuje lepkové bílkoviny, může být používána pro výrobu bezlepkového pečiva, těstovin, oplatek, sušenek nebo do snídaňových kaší (Arendt a Zannini, 2013; Zhu, 2018).

3 TECHNOLOGIE VÝROBY VLOČEK

Obilné vločky jsou vyráběny z vyčištěného a oloupaného obilného zrna, bezpluchého nebo zbaveného pluch, získané mačkáním nebo příčným řezáním. Získané vločky mají konzistenci sypkých směsí. Barva, vůně i chuť odpovídá charakteru použité suroviny (Kučerová, 2016). K výrobě vloček se nejčastěji používají oves, rýže, pšenice a kukuřice. Snídaňové cereálie lze rozdělit do dvou kategorií: na cereálie připravené k okamžité konzumaci (RTE – ready to eat) a na cereálie, které je nutné před konzumací vařit, tzv. hot cereals. Většina je zařazena do kategorie RTE, jelikož při jejich konzumaci není nutná tepelná úprava. Mezi nejčastější způsoby výroby vloček patří výroba hydrotermální úpravou nebo extruzí (Serna-Saldivar, 2010).

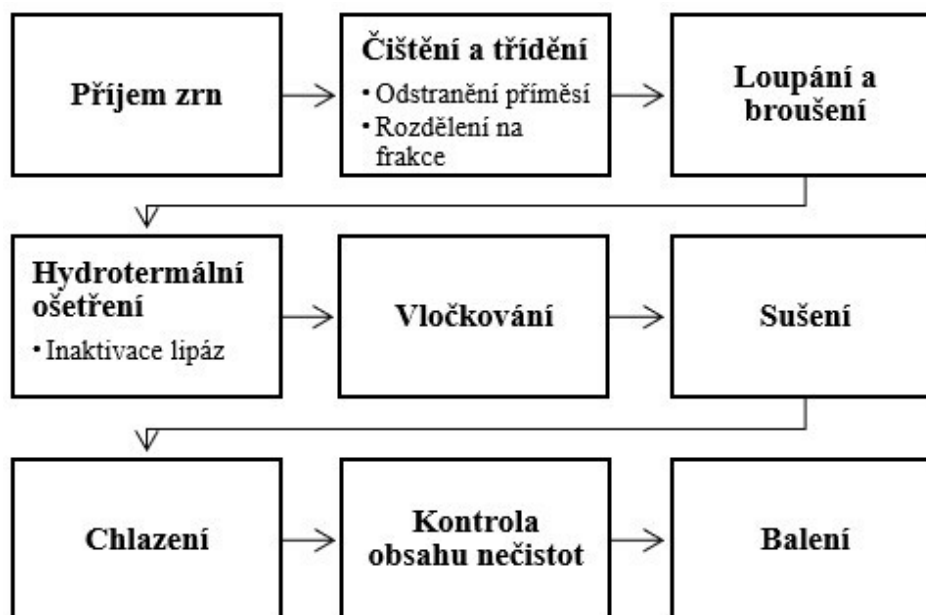
3.1 Výroba vloček hydrotermální úpravou

Hydrotermální úprava je základním způsobem ošetření při výrobě vloček. Jedná se o proces napařování za vysoké teploty, při němž dochází k inaktivaci lipáz a změnám obsahu nutričních složek. Vločkování je technologický proces, při němž jsou aplikovány vysoké teploty a napařování, což způsobuje degradaci fenolických sloučenin. Také dochází ke snížení obsahu flavonoidů. Na druhou stranu, proces vločkování zlepšuje stravitelnost bílkovin, neboť dochází k hydrolýze kyseliny fytové, což vede k uvolnění proteinů. V průběhu napařování dochází ke změně struktury škrobu, což má vliv na jeho stravitelnost, jelikož hydrotermální úpravy vedou ke zvýšení obsahu rychle stravitelného škrobu a naopak, ke snížení obsahu rezistentního škrobu. V neposlední řadě je procesem vločkování ovlivněna i biologická dostupnost minerálních prvků, především vápníku, hořčíku a zinku (Chauhan et al., 2024).

3.1.1 Výroba ovesných vloček

Oves je v současnosti jedna z nejpoužívanějších surovin pro výrobu vloček zejména kvůli jeho pozitivnímu nutričnímu složení a obsahu zdraví prospěšných látek. Ovesné vločky jsou často konzumovány v podobě snídaňových cereálií. Jedná se o vločky, které vznikají mačkáním obroušené a napařené ovesné rýže. Ovesné vločky jemné jsou vyráběny z příčně řezané ovesné rýže, jsou drobnější a slabší (Příhoda et al., 2004). Existují dva hlavní typy vloček – běžné ovesné vločky a instantní ovesné vločky. Běžné ovesné vločky se vyrábí přímo po procesu čištění zrna a inaktivace lipáz, což zabraňuje nežádoucímu rozkladu lipidů. Instantní ovesné vločky jsou zpracovávány hydrotermálním

ošetřením, jsou podrobeny napařování pod zvýšeným tlakem a teplotou. Tento proces zajišťuje inaktivaci enzymů a změkčení vloček, čímž se zkracuje doba potřebná k jejich přípravě před konzumací (Leszczyńska et al., 2023).



Obrázek 4 Schéma výroby ovesných vloček (Zdroj: Burešová a Lorencová, 2013; Jokinen et al., 2022; Příhoda et al., 2004; Serna-Saldivar, 2010)

Před samotným technologickým zpracováním ovsa (viz Obrázek 4) je nezbytné provést důkladné odstranění nečistot a příměsí a následně roztrdit zrna podle velikosti do 2–3 frakcí. Tento proces je klíčový pro zajištění vysoké kvality konečného produktu a zároveň ovlivňuje efektivitu následného zpracování. V loupacích strojích jsou odstraněny pluchy, což je důležitá operace pro vznik ovesné rýže. Následnými kroky zpracování jsou broušení, čímž dochází k odstranění škodlivých vousek z povrchu ovesné rýže. Důležitým krokem procesu je hydrotermální zpracování, což je napařovací metoda, která je prováděna za účelem inaktivace endogenních enzymů rozkládajících lipidy. Při hydrotermálním ošetření teplota ovesné rýže vzroste na 99–100 °C a vlhkost na 10–12 %. Tato operace trvá přibližně 12–15 minut a je považována za nejkritičtější, jelikož má vliv na výslednou chuť, aroma a trvanlivost konečného výrobku. Po napaření vstupuje rýže do vločkovací válcové stolice, kde dochází k jejímu zploštění a dosažení požadovaného tvaru. Válcovací stolice je tvořena dvěma válci s hladkým povrchem, které se otáčejí protisměrně rychlostí 250–450 ot/min. Po průchodu válci jsou vločky sušeny, chlazeny a kontrolovány

proti obsahu nečistot, aby se zajistila vysoká kvalita finálního produktu. Výtěžnost výroby vloček se pohybuje v rozmezí 50–60 % (Burešová a Lorencová, 2013; Jokinen et al., 2022; Příhoda et al., 2004; Serna-Saldivar, 2010).

3.1.2 Výroba sójových vloček

Výroba sójových vloček zahrnuje několik klíčových kroků, které vedou k výrobě finálního produktu ze sójových bobů. Boby jsou před technologickým zpracováním nejprve sušeny a temperovány. Aby mohly být sójové boby loupány, musí být vysušeny na obsah vlhkosti maximálně 10 %. Po ochlazení se sušené boby skladují po dobu 2–5 dnů v temperovacích zásobnících. Následným krokem je čištění, kdy jsou pomocí magnetických separátorů a vibračních sít odstraněny nečistoty a cizí příměsi. Po těchto krocích dochází k rozbití semen na menší částice. Tímto procesem se také uvolňují slupky, které jsou následně odstraňovány aspirací. Při přípravě na vločkování je nezbytným krokem kondicionování, během kterého dochází k zahřátí hmoty na teplotu 65–70 °C a ke zvýšení obsahu vlhkosti na 10,5–11,0 %. Samotné vločkování probíhá pomocí hladkých ocelových válců, které zplošťují sójové boby na vločky o tloušťce v rozmezí od 0,20 do 0,35 mm. Při procesu vločkování dochází k narušení buněčné struktury a uvolňování oleje. Tento olej lze extrahovat pomocí rozpouštědla, nejčastěji hexanu, přičemž vzniká vedlejší produkt – odtučněné sójové vločky, které mohou být využity k výrobě sójového proteinového koncentráту (Berk, 1992; Preece et al., 2017).

3.1.3 Výroba rýžových vloček

Rýže (*Oryza* spp.) je jednou z klíčových plodin pěstovaných v Asii. Jedná se surovinu s širokým funkčním využitím. Díky své nevýrazné chuti a nízkému alergennímu riziku se rýže stala základní složkou mnoha potravinářských produktů. Mezi nejběžnější produkty vyráběné z rýže patří rýžové nudle, snídaně cereálie, vločky, extrudované snacky, pečivo, rýžové mléko a mnoho dalších. Pro výrobu se využívá rýže získávaná v různých fázích procesu mletí (Pallas, 2016).

Rýžové vločky mohou být vyrobeny z celých zrn rýže nebo jejich zlomků, což je z ekonomického hlediska preferovanější. Celá zrna jsou upřednostňována při výrobě pufovaných cereálií. Před výrobou vloček je rýže podrobena procesu namáčení, při němž dochází k nasáknutí vody. Tento krok je nezbytný k dosažení požadovaného obsahu vlhkosti, který se obvykle pohybuje kolem 30 %. Následně probíhá pražení v horkém jemném písku o teplotě 250 °C. Pražená neloupaná rýže je od písku oddělena proséváním, obsah vlhkosti

v této fázi je 18–20 %. Takto prosetá rýže je ihned vločkována v zařízení s protichůdnými válci, jenž se pohybují rychlostí okolo 300 ot/min. Rýžová zrna jsou zploštěna opakovaným lisováním při průchodu mezi válci. Během procesu válcování dochází k mechanickému narušení obalových vrstev zrn, které jsou následně odstraněny pomocí rotačních sít. Po vychlazení a poklesu vlhkosti na 12–13 % jsou vločky baleny do spotřebitelských obalů (Mujoo et al., 1998).

3.2 Výroba vloček extruzí

Extruze patří mezi rychlé metody zpracování zahrnující vysokou teplotu, tlak a krátký čas výroby. Používá se k přípravě produktů k přímé spotřebě zahrnující snídaňové cereálie, dětské snacky, knäckebroty a další. Extrudované snídaňové vločky získávají na oblíbenosti zejména díky jejich textuře, chuti, trvanlivosti a snadné domácí přípravě. Běžnou surovinou pro výrobu snídaňových vloček extruzí je pšeničná bílá mouka (Sharma et al., 2012).

Výroba probíhá v extrudérech, což jsou zařízení skládající se ze systému předběžné úpravy, podávacího systému, šneku, válce a matrice s řezačkou. Výsledný tvar a kvalita výrobku závisí především na kvalitě vstupních surovin, jejich obsahu vlhkosti, teplotě válce, rychlosti, typu šneku a typu extrudéru, který může být jednošnekový nebo dvoušnekový. Před vstupem do extrudéru je mouka smíchána s vodou pro dosažení ideální vlhkosti. Tato směs je v extrudéru posunována a stlačována za vysokého tlaku a teploty (Lemmens et al., 2021). Podle charakteru finálního výrobku se parametry extruzního procesu mohou pohybovat v následujících rozmezích: tlak 2–20 MPa, teplota 80–250 °C, vlhkost 5–40 % a čas, po který může být materiál zadržen v extrudéru je 5–100 s (Kučerová, 2016). Na konci šneku je materiál protlačován matricí a řezán rotujícím nožem na požadovaný tvar. Při výrobě snídaňových vloček se extrudované pelety následně vločkují mezi dvěma ocelovými válci a poté opékají při teplotě 274–329 °C po dobu 90 s, což vede ke snížení obsahu vlhkosti. Dané tepelné zpracování vede ke vzniku specifické křupavé struktury a chuti (Lemmens et al., 2021).

I přes to, že je extruze krátkodobý výrobní proces, vlivem vysokých teplot může docházet ke změnám v nutričním složení vstupních surovin. Nejvýznamnější změny se vyskytují především u škrobu a bílkovin, přičemž dochází i ke změnám v polyfenolických sloučeninách, což může ovlivnit jejich antioxidační aktivitu (Sharma et al., 2012).

4 CÍL PRÁCE

Cílem praktické části diplomové práce bylo stanovit obsah sušiny, popele, a hodnoty *in vitro* stravitelnosti bezlepkových vloček. Dále bylo úkolem připravit nestrávený podíl vloček simulací procesu digesce v žaludku a tenkém střevu a tento společně s nativním vzorkem mineralizovat v prostředí silné anorganické kyseliny. Mineralizáty byly podrobeny následnému měření na ICP-MS pro obsah minerálních a stopových prvků. Z naměřených dat bylo úkolem evaluovat hodnotu retenčního faktoru, příspěvky konzumace vloček k esenciálním prvkům v rámci jejich požadavků na referenční hodnoty příjmů a také vypočítat expozice pro stopové prvky z řad kontaminantů.

II PRAKTICKÁ ČÁST

5 METODIKA

5.1 Použité chemikálie a materiály

- Ultrapure čistá voda (Purelab Classic Elga, Labwater/VWS Ltd., UK),
- HCl 37% Analpure (Analytik Jena, Německo),
- Pepsin – aktivita $\geq 2\,000$ FIP-U/g (Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Německo),
- Pankreatin z vepřové slinivky – proteázová aktivita 350 FIP-U/g, lipázová aktivita 6000 FIP-U/g, amylázová aktivita 7500 FIP-U/g (Merck KGaA, Darmstadt, Německo)
- KH_2PO_4 (Ing. Petr Švec, Penta, Chrudim, ČR),
- $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (Ing. Petr Lukeš, Uherský Brod, ČR),
- Redestilovaná voda (Aqua Osmotic, Tišnov, ČR),
- Ultrapure HNO_3 67% (Analytik Jena, Německo),
- Ultrapure H_2O_2 30% (Ing. Petr Švec, Penta, Chrudim, ČR),
- Filtrační sáčky F57, velikost pórů 50 μm (Ankom Technology, New York, USA),
- Inkubační lahve (Adam, AFA-210 LC, Schoeller Instruments, ČR),
- Laboratorní pomůcky: exsikátor, hliníkové misky, porcelánové kelímky, kádinky, odměrný válec, Petriho misky, pipety, lžičky plastové i nerezové.

5.2 Použité přístroje

- Analytické váhy (KERN AES, Německo),
- Obilný mlýnek Combi Star (Waldner Biotech, Linz, Rakousko)
- Laboratorní sušárna (Venticell 111 Comfort, BTM a.s., ČR),
- Páková pulzní svářečka KF-200H (Penta servis, Holice, Česká republika)
- Inkubátor Daisy^{II} (Ankom Technology, New York, USA),
- Muflová pec LM 112 10 ML W Elektro (VEBF, Německo),

- Mikrovlnný systém ETHOS One (Milestone Ethos 1, Sorisole, Itálie),
- Hmotnostní spektrofotometr ICP-MS ThermoScientific iCAP Q na bázi kvadrupólového analyzátoru (ThermoScientific, USA)

Pro analýzu minerálních a stopových prvků byly použity výhradně plastové laboratorní pomůcky.

5.3 Použité vzorky

Pro analýzu bylo použito šest druhů bezlepkových vloček. Vzorky bezlepkových vloček byly po otevření rozemlety na kamenném obilném mlýnku Combi Star na nejjemnější konzistenci a poté ihned analyzovány.

- **Ovesné vločky bezlepkové**



Obrázek 5 Vzorek ovesných vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí
(Foto: Karolína Vilišová)

- Instantní celozrnné bezlepkové ovesné vločky
- Výživové údaje na 100 g: Energetická hodnota: 1559 kJ/382 kcal; Tuky: 7,2 g, z toho nasycené mastné kyseliny: 1,3 g; Sacharidy: 60,0 g, z toho cukry: 1,2 g; Vlákna: 10,0 g; Bílkoviny: 13,6 g; Sůl: 0,01 g.
- Prodávající: Mediate, s.r.o., Česká republika

- **Vločky sójové jemné**



Obrázek 6 Vzorek sójových vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí
(Foto: Karolína Vilišová)

- Sójové boby loupané
- Výživové údaje na 100 g: Energetická hodnota: 1679 kJ/404 kcal; Tuky: 21,0 g, z toho nasycené mastné kyseliny: 3,0 g; Sacharidy: 3,0 g, z toho cukry: 3,0 g; Vlákna: 19,0 g; Bílkoviny: 41,0 g; Sůl: 0,04 g.
- Prodávající: Natural Jihlava JK s.r.o., Česká republika

- **Vločky pohankové bio**



Obrázek 7 Vzorek pohankových vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí
(Foto: Karolína Vilišová)

- Výživové údaje na 100 g: Energetická hodnota: 1456 kJ/348 kcal; Tuky: 1,6 g, z toho nasycené mastné kyseliny: 0,3 g; Sacharidy: 73 g, z toho cukry: 0,4 g; Vlákna: 3,2 g; Bílkoviny: 8,1 g; Sůl: <0,01 g.
- Prodávající: Country Life, s.r.o., Česká republika

- **Quinoa vločky bio**



Obrázek 8 Vzorek quinoa vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí
(Foto: Karolína Vilišová)

- Výživové údaje na 100 g: Energetická hodnota: 1496 kJ/354 kcal; Tuky: 5,0 g, z toho nasycené mastné kyseliny: 0,5 g; Sacharidy: 59 g, z toho cukry: <0,5 g; Vláknina: 6,6 g; Bílkoviny: 15 g; Sůl: 0,02 g.
- Prodávající: Alnatura GmbH, Německo

- **Vločky amarantové bio**



Obrázek 9 Vzorek amarantových vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí
(Foto: Karolína Vilišová)

- Výživové údaje na 100 g: Energetická hodnota: 1547 kJ/367 kcal; Tuky: 7,0 g, z toho nasycené mastné kyseliny: 1,5 g; Sacharidy: 59 g, z toho cukry: 1,7 g; Vláknina: 6,7 g; Bílkoviny: 13,0 g; Sůl: <0,01 g.
- Prodávající: Country Life, s.r.o., Česká republika

- **Teffové vločky**



Obrázek 10 Vzorek teffových vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí
(Foto: Karolína Vilišová)

- 100% teffové vločky
- Výživové údaje na 100 g: Energetická hodnota: 1495 kJ/353 kcal; Tuky: 3,3 g, z toho nasycené mastné kyseliny: 0,7 g; Sacharidy: 69 g, z toho cukry: 1,8 g; Vláknina: 6,7 g; Bílkoviny: 8,5 g; Sůl: <0,01 g.
- Prodávající: Govinda Natur GmbH, Německo

5.4 Stanovení obsahu vlhkosti

Prázdné hliníkové misky byly umístěny do předem vyhřáté sušárny s teplotou nastavenou na 130 ± 2 °C po dobu 1 hodiny. Po vychlazení v exsikátoru byly prázdné misky zváženy na analytických váhách, následně do nich byl navážen 1 g vzorku vloček s přesností na 0,0001 g. Misky s naváženými vzorky byly uloženy zpět do sušárny. Sušení probíhalo při teplotě 130 ± 2 °C po dobu 2 hodin. Po vysušení byly misky umístěny do exsikátoru k vychlazení. Po vychlazení byly misky zváženy na analytických váhách s přesností na 0,0001 g. Výsledkem stanovení byly průměrné hodnoty ze tří měření pro každý typ vloček. Stanovení bylo provedeno modifikací dle normy ČSN EN ISO 712-1 (461014) (Česká technická norma, 2025).

Výpočet obsahu vlhkosti V [%]:

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

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

m_1 ... hmotnost misky s navážkou vzorku před vysušením [g],

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

Výpočet obsahu sušiny [%]:

$$S = 100 - V , \quad (2)$$

kde: S ... obsah sušiny [%],

V ... obsah vlhkosti [%].

5.5 Stanovení popela

Prázdné porcelánové kelímky byly umístěny do muflové pece a vyžíhány při teplotě 550 ± 10 °C. Po vyžíhání byly vychlazeny v exsikátoru. Po vychlazení byly prázdné kelímky zváženy na analytických váhách a byl do nich navážen 1 g vzorku s přesností na 0,0001 g. Kelímky se vzorky byly vloženy do pece, kde byly spalovány při teplotě 550 ± 10 °C po dobu 5,5 hodiny. Po uplynutí této doby byly kelímky se spálenými vzorky uloženy do exsikátoru k vychlazení. Po vychlazení byly kelímky zváženy na analytických váhách s přesností na 0,0001 g. Výsledkem stanovení byly průměrné hodnoty ze tří měření pro každý typ vložek. Stanovení bylo provedeno modifikací dle normy ČSN ISO 2171 (461019) (Česká technická norma, 2023).

Výpočet pro stanovení popela [%]:

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_3 - m_2} \cdot 100 , \quad (3)$$

kde: m_1 ... hmotnost porcelánového kelímku s popelem [g],

m_2 ... hmotnost prázdného porcelánového kelímku [g],

m_3 ... hmotnost porcelánového kelímku s navázkou vzorku před spálením [g].

Výpočet obsahu popela v sušině [%]:

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

kde: P ... obsah popela [%],

S ... obsah sušiny [%].

5.6 Stanovení stravitelnosti metodou *in vitro*

Pro stanovení stravitelnosti byla využita metoda *in vitro*, která simuluje procesy digesce. Pro stanovení byly použity filtrační sáčky F57, které byly před použitím nejprve promyty acetone a důkladně osušeny. Následně byly suché filtrační sáčky zváženy na analytických váhách (m_1). Do sáčků bylo naváženo 0,25 g vzorku (m_2) s přesností na 0,0001 g. Jeden sáček byl ponechán prázdný jako korekční sáček. Filtrační sáčky byly uzavřeny zatavením pomocí svářečky a vloženy do inkubační lahve inkubátoru Daisy^{II}. Pro simulaci trávicích procesů v žaludku byl připraven roztok HCl o koncentraci 0,1 M a objemu 1,7 litru. Připravený roztok HCl byl přidán do inkubační lahve společně s 0,756 g pepsinu. Lahev byla uzavřena víčkem a umístěna do inkubačního přístroje. Inkubace probíhala při teplotě 37 °C po dobu 2 hodin. Po ukončení inkubace byly sáčky několikrát důkladně promyty redestilovanou vodou. Pro simulaci trávicích procesů v tenkém střevě byl připraven fosfátový pufr o pH 7,45 ve složení 3,09 g KH_2PO_4 a 32,49 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ o objemu 1,7 litru. Promyté filtrační sáčky byly vloženy do inkubační lahve spolu s fosfátovým pufrem a 2,25 g pankreatinu. Lahev byla opět uzavřena víčkem a umístěna do inkubátoru. Inkubace probíhala při teplotě 37 °C po dobu 24 hodin. Po ukončení inkubace byly sáčky vloženy do sušárny na 30 minut při teplotě 80 °C pro vysrážení zmazovatělého škrobu. Následně byly sáčky důkladně promyty redestilovanou vodou a vloženy zpět do sušárny na 24 hodin při teplotě 105 ± 3 °C. Po vysušení a vychlazení v exsikátoru byly sáčky zváženy na analytických váhách s přesností na 0,0001 g a vloženy do předem zvážených a vyžíhaných keramických kelímků. Keramické kelímky se sáčky byly umístěny do muflové pece, kde byly spalovány při teplotě 550 ± 10 °C po dobu 5,5 hodiny. Po této době byly kelímky se spálenými sáčky uloženy do exsikátoru k vychlazení. Po vychlazení byly kelímky zváženy na analytických váhách s přesností na 0,0001 g. Výsledkem stanovení jsou hodnoty stravitelnosti – stravitelnost sušiny vzorku (DMD – dry matter digestibility) a stravitelnost organické hmoty (OMD – organic matter digestibility) (Šťastná et al., 2021).

Výpočty DMD a OMD [%]:

$$DMD = 100 - \frac{100 \cdot DMR}{m_2 \cdot DM} , \quad (5)$$

$$DMR = m_3 - m_1 \cdot c_1 , \quad (6)$$

$$DM = \frac{S \cdot m_s}{100} ,$$
(7)

$$OMD = 100 - \frac{100 \cdot (DMR - AR)}{m_2 \cdot DM \cdot OM} ,$$
(8)

$$AR = m_4 - m_1 \cdot c_2 ,$$
(9)

$$OM = \frac{S - P}{100} ,$$
(10)

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

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

DM ... obsah sušiny ve vzorku vloček [g],

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

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

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

S ... obsah sušiny ve vzorku vloček [%],

P ... obsah popela ve vzorku vloček [%],

m_1 ... hmotnost prázdného sáčku [g],

m_2 ... hmotnost vzorku vloček [g],

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

m_4 ... hmotnost popela vysušeného sáčku se vzorkem vloček po inkubaci [g],

m_s ... hmotnost vzorku vloček pro stanovení sušiny [g],

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

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

Výpočet korekce [g]:

$$c_1 = \frac{m_s}{m_1}, \quad (11)$$

$$c_2 = \frac{m_p}{m_2}, \quad (12)$$

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

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

5.6.1 Příprava nestráveného podílu

Příprava nestráveného podílu byla provedena totožným způsobem jako u stanovení stravitelnosti metodou *in vitro*. Rozdíl ve stanovení nestráveného podílu spočíval v modifikaci podmínek simulačních procesů trávení. Pro simulaci žaludečního trávení bylo do experimentu přidáno 2 g pepsinu, zatímco pro simulaci trávení v tenkém střevě bylo použito 5 g pankreatinu. Tento postup byl aplikován v souvislosti s dávkováním dvojnásobného množství vzorku. Během stanovení byla vždy použita ultrapure redestilovaná voda kvůli dalšímu zpracování vzorků postupem mineralizace s následným měřením na ICP-MS. Pro získání nestráveného podílu bezlepkových vloček byl proces ukončen sušením sáčků se vzorky při teplotě 105 ± 3 °C po dobu 24 hodin bez následného spálení v muflové peci. Vzorky připraveny daným způsobem byly dále použity pro analýzu minerálních a stopových prvků v nestráveném podílu metodou ICP-MS.

5.7 Stanovení minerálních a stopových prvků metodou ICP-MS

ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, patří mezi analytické metody, které slouží ke stanovení obsahu minerálních a stopových prvků v analyzovaném vzorku.

5.7.1 Mineralizace vzorků bezlepkových vloček

Během přípravy mineralizátů byly k minimalizaci rizika kontaminace vzorků využívány výhradně plastové laboratorní pomůcky, čímž byla eliminována možnost uvolnění prvků z materiálů. Do teflonových nádobek bylo naváženo na analytických vahách 0,2 g vzorku s přesností na 0,0001 g. Ke každému vzorku v nádobce bylo přidáno 7 ml 67% ultrapure

HNO₃ a 1 ml 30% ultrapure H₂O₂. Teflonové nádoby byly uzavřeny a vloženy do mikrovlnného systému Ethos One. Vzorky byly rozloženy pomocí mikrovlnného systému nastaveného dle následujících parametrů: náběh – 10 minut, 180 °C, 1 500 W a výdrž – 10 minut, 180 °C, 1 500 W. Mineralizované vzorky byly kvantitativně převedeny do plastových zkumavek a doplněny na objem 25 ml ultrapure redestilovanou vodou. Vzorky byly následně nastříkovány na ICP-MS, kde bylo stanoveno prvkové složení vzorků.

Stejným postupem byly připraveny vzorky nestráveného podílu po procesu simulace digesce metodou *in vitro*.

5.7.2 Stanovení obsahu prvků metodou ICP-MS

Analýza byla provedena pomocí hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem ICP-MS ThermoScientific iCAP Q s kvadrupólovým analyzátozem (ThermoScientific, USA), který je vybaven technologií QCell (CCT – Collision Cell Technology). Jako kolizní plyn bylo použito hélium, k odstranění nežádoucích molekulárních iontů rozlišením jejich kinetické energie. Technologie QCell vyniká krátkou dobou analýzy, flexibilitou a spolehlivostí. Nastavení konkrétních pracovních parametrů bylo následující: výkon 1550 W, hloubka vzorkování 5 mm, průtok chladicího plynu 14,0 l/min, průtok pomocného plynu 0,8 l/min, průtok zmlžovacího plynu 1,015 l/min, průtoková rychlost He 4,1 ml/min, rychlost zmlžovače 40,0 ot/min a teplota uvnitř komory 2,7 °C (Koubová et al., 2018; Sumczynski et al., 2018).

Kalibrační standardní série byly již předem připraveny ve dvou sadách s očekávaným koncentračním rozsahem ve vzorcích: vysoká koncentrační řada standardů (28 prvků): ⁹Be, ²⁰⁹Bi, ⁶⁶Zn, ⁶³Cu, ⁶⁰Ni, ²⁷Al, ⁷¹Ga, ⁷³Ge, ²⁴Mg, ⁵⁹Co, ⁷Li, ¹⁰⁷Ag, ⁵⁵Mn, ⁹⁵Mo, ⁸⁸Sr, ¹³⁷Ba, ¹⁴⁰Ce, ¹³³Cs, ¹⁶⁵Ho, ¹²¹Sb, ⁴⁵Sc, ¹⁸¹Ta, ¹⁵⁹Tb, ²⁰⁵Tl, ²³⁸U, ⁵¹V, ⁸⁹Y a ⁹⁰Zr v koncentraci 3–35 µg/l a nižší koncentrační standardní řada (15 prvků): ⁷⁵As, ¹¹B, ⁴⁴Ca, ¹¹¹Cd, ⁵²Cr, ⁵⁷Fe, ²⁰²Hg, ³⁹K, ³¹P, ²³Na, ²⁰⁸Pb, ³²S, ⁷⁷Se, ¹¹⁸Sn a ⁴⁸Ti v koncentraci 0,5–1,0 µg/l. V této práci nebyly použity referenční certifikované materiály.

5.8 Stanovení retence pro jednotlivé prvky

Hodnoty koncentrací minerálních a stopových prvků byly stanoveny v nativní formě i v nestráveném podílu bezlepkových vloček (uvedeny v příloze I až V). Tyto hodnoty a hodnoty stravitelnosti (DMD) byly použity pro výpočet retenčního faktoru RF.

Pro jednotlivé prvky byla hodnota retenčního faktoru vypočtena dle vzorce:

$$RF = \frac{C_{\text{nestrávený podíl vzorku}} \times (100 - DMD)}{C_{\text{nativní vzorek}}}, \quad (13)$$

kde: c ... koncentrace prvku v nestráveném nebo nativním podílu vzorku [ng, μg nebo mg/g],

DMD ... hodnota stravitelnosti sušiny vzorku [%].

5.9 Stanovení příspěvků konzumace vložek k jednotlivým hodnotám

RDA, AI, PTWI a PTMI pro minerální a stopové prvky

Denní hladiny příjmu jednotlivých esenciálních prvků v analyzovaných bezlepkových vložkách byly porovnány s příslušnými hodnotami RDA (referenčními hodnotami příjmu) nebo AI (adekvátními příjmy) podle doporučení Institute of Medicine (National Academy of Sciences, Washington, DC, USA) (Institute of Medicine, 1997; Institute of Medicine, 2000; Institute of Medicine, 2001; Institute of Medicine, 2005). Denní hladiny dietárního příjmu byly v této práci evaluovány pro muže a ženy ve věkové kategorii 19–30 let.

Hladiny příjmu toxických prvků byly hodnoceny a porovnávány s hodnotami PTWI nebo PTMI (prozatímními tolerovatelnými týdenními/měsíčními příjmy) podle doporučení FAO/WHO (Evaluation of certain food additives, 2009; Evaluation of certain contaminants in food, 2011; Evaluation of certain food additives and contaminants, 2011; Evaluation of certain food additives and contaminants, 2013). Referenční hodnoty PTWI pro hliník (Al), cín (Sn) a rtuť (Hg) byly stanoveny na (2 000, 14 000 a 4) $\mu\text{g/kg}$ tělesné hmotnosti, zatímco referenční hodnota PTMI pro kadmium (Cd) byla stanovena na 25 $\mu\text{g/kg}$ tělesné hmotnosti. Pro hodnocení hladin příjmu Ni a As byly použity hodnoty TDI (tolerovatelný denní příjem) (13 a 0,3) $\mu\text{g/kg}$ tělesné hmotnosti (European Food Safety Authority, 2020; World Health Organization, 1985; Tran et al., 2015). V případě příjmu Ag byla k výpočtu expozice použita hodnota RfD (referenční dávka) 5 $\mu\text{g/kg}$ tělesné hmotnosti (U.S. Environmental Protection Agency). K definování rizika pro Pb byl použit výpočet MoE (poměr expozice). Byl vypočítán z poměru BMDL (Benchmark Dose Level) k odhadované hodnotě expozice DE_{bw} , přičemž byly uvažovány příslušné hodnoty BMDL pro vývojovou neurotoxicitu (BMDL 0,5 $\mu\text{g/kg bw/den}$), nefrotoxicitu (BMDL 0,63 $\mu\text{g/kg}$

bw/den) a kardiovaskulární účinky (BMDL 1,5 µg/kg bw/den), jak je určeno ve stanovisku EFSA (European Food Safety Authority, 2012; Kafouris et al., 2024). Příjmy toxických prvků byly evaluovány u žen a mužů s průměrnou tělesnou hmotností (bw) 60 kg, 80 kg a 100 kg.

Výpočet MoE:

$$MoE = \frac{BMDL}{DE_{bw}}, \quad (14)$$

kde: BMDL ... Benchmark Dose Level [µg/kg bw]

DE_{bw} ... odhadovaná hodnota expozice [µg/kg bw].

Vzhledem k absenci specifického doporučení pro denní příjem bezpečkových vložek byla velikost denní porce stanovena na 100 g pro každou hodnocenou skupinu.

5.10 Statistická analýza

Na základě získaných experimentálních dat bylo zvoleno vyhodnocení pomocí parametrického testu, při hladině významnosti 0,05. Byl použit Studentův *t*-test za účelem zjištění rozdílu mezi středními hodnotami.

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledky jednotlivých stanovení byly statisticky vyhodnoceny a vyjádřeny jako aritmetický průměr se směrodatnou odchylkou (SD).

6.1 Výsledky stanovení sušiny a popela v bezlepkových vločkách

Stanovení obsahu sušiny a popela jednotlivých vzorků bylo provedeno dle metod popsanych v kapitole 5. Výsledky stanovení jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1 Výsledky stanovení sušiny a popela

Vzorek	Obsah sušiny ± SD [%]	Obsah popela ± SD [%]	Obsah popela v sušině ± SD [%]
Ovesné vločky	93,6 ± 0,5 ^a	1,87 ± 0,02 ^a	2,00 ± 0,02 ^a
Sójové vločky	93,6 ± 0,2 ^a	5,05 ± 0,01 ^b	5,40 ± 0,01 ^b
Pohankové vločky	91,2 ± 0,4 ^b	2,06 ± 0,04 ^c	2,25 ± 0,04 ^c
Quinoa vločky	90,7 ± 0,1 ^c	2,44 ± 0,01 ^d	2,69 ± 0,01 ^d
Amarantové vločky	90,0 ± 0,1 ^d	2,47 ± 0,07 ^d	2,74 ± 0,08 ^d
Teffové vločky	87,7 ± 0,1 ^e	1,95 ± 0,03 ^e	2,23 ± 0,03 ^c

Výsledky stanovení jsou zapsány jako aritmetický průměr ± SD (n=3). Výsledky ve sloupcích se stejnými malými písmennými indexy mezi sebou statisticky významné rozdíly nevykazují ($p \geq 0,05$). Výsledky s odlišnými písmennými indexy se mezi sebou statisticky liší ($p < 0,05$).

Z Tabulky 1 vyplývá, že obsah sušiny se u jednotlivých vzorků bezlepkových vloček pohyboval v rozmezí od 87,7 % do 93,6 %. Dle Vyhlášky č. 18/2020 Sb. o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta je povolena vlhkost ovesných vloček nejvýše 12,0 %. U ostatních druhů vloček může být vlhkost nejvýše 14,0 % (Česko, 2020). Analyzované vzorky jsou v souladu s danými požadavky.

Obsah popela je hrubým ukazatelem množství minerálních látek ve vzorku. Z Tabulky 1 vyplývá, že obsah popela se u analyzovaných vzorků bezlepkových vloček pohyboval v rozmezí od 2,00 % do 5,40 %. Na základě výsledků měření lze konstatovat, že nejvyšší koncentrace minerálních a stopových prvků by měla být obsažena v sójových vločkách.

6.2 Výsledky stanovení stravitelnosti

Stanovení stravitelnosti bylo provedeno dle metody *in vitro*, jenž je uvedena v kapitole 5. Výsledky stanovení jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tabulka 2 Výsledky stanovení stravitelnosti

Vzorek	DMD [%]	OMD [%]
Ovesné vločky	93,7 ± 0,1 ^a	94,4 ± 0,1 ^a
Sójové vločky	88,1 ± 0,8 ^b	89,8 ± 0,7 ^b
Pohankové vločky	95,5 ± 0,2 ^c	96,3 ± 0,2 ^c
Quinoa vločky	90,4 ± 0,1 ^d	91,9 ± 0,1 ^d
Amarantové vločky	87,2 ± 0,5 ^e	89,3 ± 0,4 ^b
Teffové vločky	89,2 ± 0,1 ^f	91,1 ± 0,1 ^c

Výsledky stanovení jsou zapsány jako aritmetický průměr ± SD (n=3). Výsledky ve sloupcích se stejnými malými písmennými indexy mezi sebou statisticky významné rozdíly nevykazují ($p \geq 0,05$). Výsledky s odlišnými písmennými indexy se mezi sebou statisticky liší ($p < 0,05$).

Hodnoty DMD (stravitelnost sušiny) se u jednotlivých druhů bezlepkových vloček pohybovaly v rozmezí od 87,2 do 95,5 % a hodnoty OMD (stravitelnost organické hmoty) od 89,3 do 96,3 %. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u pohankových vloček (95,5 % DMD; 96,3 % OMD), naopak nejnižší hodnoty u vloček sójových a amarantových (87,2 % DMD; 89,3 % OMD). Na hodnoty stravitelnosti má vliv mnoho faktorů, především obsah vlákniny a škrobu. Škrob je klasifikován do tří kategorií: rychle stravitelný škrob (RDS), pomalu stravitelný škrob (SDS) a rezistentní škrob (RS). RDS je velmi rychle tráveno v tenkém střevě, způsobuje zvýšení hladiny glukózy v krvi, také je spojen s inzulínovou rezistencí a diabetem. Pomalu stravitelný škrob vyvolává pomalou glykemickou odezvu. Rezistentní škrob představuje frakci, která se obtížně vstřebává v tenkém střevě, a vykazuje příznivé účinky na lidské zdraví, neboť pozitivně ovlivňuje složení střevní mikroflóry. Stravitelnost škrobu je ovlivněna mnoha faktory jako fyzikální forma škrobu, poměr amylózy a amylopektinu a rozsah retrogradace. Vlivem tepelného zpracování, které je zpravidla součástí výroby vloček (hydrotermální ošetření, sušení, vločkování), může dojít ke snížení rezistentního škrobu a tím k vyšší míře stravitelnosti (Chauhan et al., 2024; Tao et al., 2023).

6.3 Výsledky stanovení minerálních a stopových prvků

Stanovení minerálních a stopových prvků bylo provedeno pomocí metody ICP-MS dle postupu uvedeného v kapitole 5.7. Kompletní výsledky stanovení minerálních a stopových prvků v nativní formě i nestráveném podílu jsou pro jednotlivé typy bezlepkových vloček uvedeny v Přílohách I až V. Obsah jednotlivých prvků dle jejich koncentračního zastoupení je uveden na Obrázcích 11 až 19.

Minerální látky zastávají nezbytnou součást lidského organismu. Ovlivňují funkci nervů a svalů. Jsou důležité pro tvorbu kostí a zubů. Udržují rovnováhu v těle a působí jako elektrolyty. Minerální prvky se dle nutričních potřeb organismu dělí na dvě skupiny: makrobiogenní (Ca, Mg, P, S, Na, K, Cl) a mikrobiogenní prvky (Fe a Zn). Ostatní prvky jsou řazeny mezi prvky stopové. Podle fyziologického významu jsou stopové prvky rozděleny na esenciální (např. Mn, Mo, Cu, Se a Si) a neesenciální (např. Li, Ti, Rb a Au). Z neesenciálních stopových prvků lze vyřadit skupinu prvků toxických, mezi něž patří Al, Pb, As, Hg, Cd, Ni, Ag a Sn. Je známo, že obsah minerálních a stopových prvků v obilovinách závisí na mnoha aspektech, jako jsou typ odrůdy, hnojení, stav půdy, podmínky pěstování a v neposlední řadě úpravy zrna při zpracování, včetně napařování a vločkování (Manzoor et al., 2024).

Z makrobiogenních prvků byly v bezlepkových vločkách nejvíce zastoupeny hořčík, draslík, vápník a fosfor. Zcela nejvyšší byla naměřena koncentrace draslíku v sójových vločkách, jehož obsah byl 0,73 mg/g. Vyšší obsah draslíku byl naměřen také u quinoa vloček (0,46 mg/g). Naměřená koncentrace se neshoduje s výsledky uvedenými ve studii Mota et al. (2016), kde byl obsah stanoven na 5,59 mg/g. Nejnižší obsah byl zjištěn u vloček ovesných (0,26 mg/g) a teffových (0,29 mg/g).

Dalším prvkem s vyšší koncentrací byl hořčík, jenž byl nejvíce zastoupen v pohankových (0,66 mg/g) a amarantových vločkách (0,63 mg/g). Ve studii Kiewlicz a Rybicka (2020) je koncentrace hořčíku v pohankových a amarantových vločkách 2,18 mg/g. Rozdíly v koncentracích mohou být způsobeny analýzou odlišných odrůd, původem i podmínkami pěstování. Nejnižší naměřená koncentrace byla ve vločkách ovesných (0,36 mg/g).

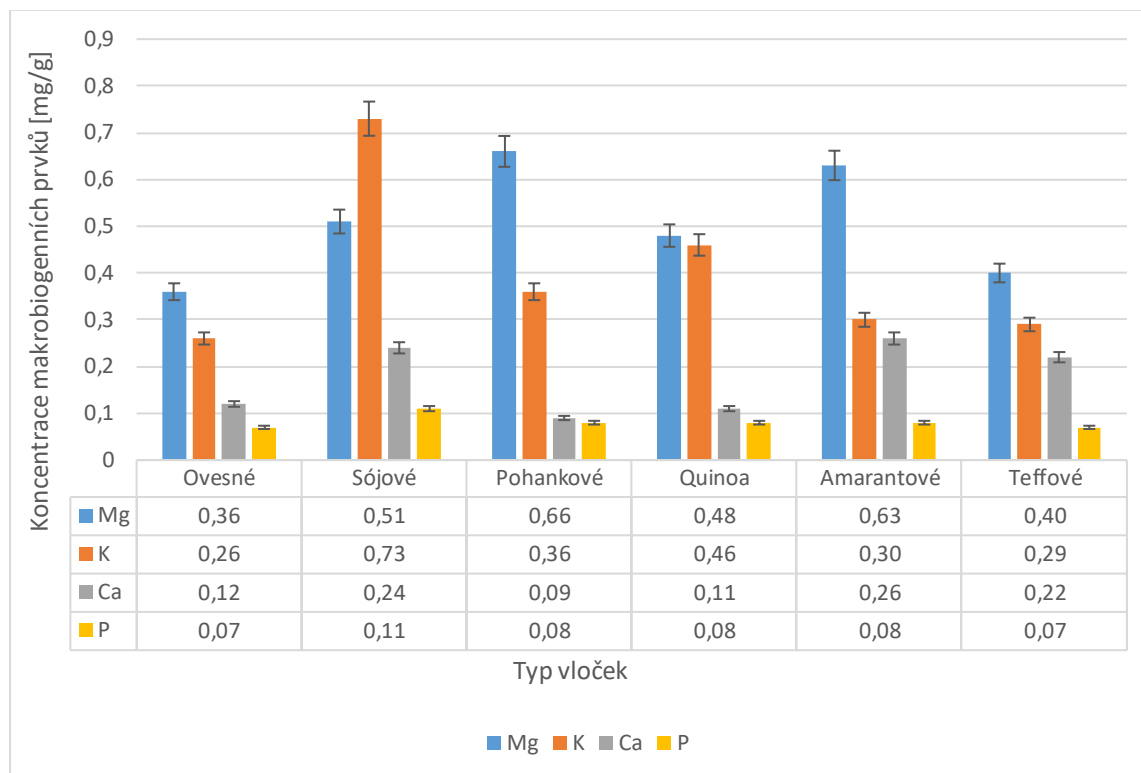
Vápník byl nejvíce zastoupen v amarantových vločkách (0,26 mg/g), zatímco nejnižší obsah byl naměřen v pohankových vločkách (0,09 mg/g). Ve studii Rybicka a Gliszczynska-Swigło (2017) byl obsah vápníku v pohankových vločkách 0,15 mg/g.

Koncentrace fosforu se u analyzovaných vzorků pohybovala v rozmezí od 0,07 do 0,11 mg/g. Fosfor je důležitým prvkem při transportu buněčné energie, spolu s vápníkem se podílí na stavbě kostí (Sumczynski et al., 2023).

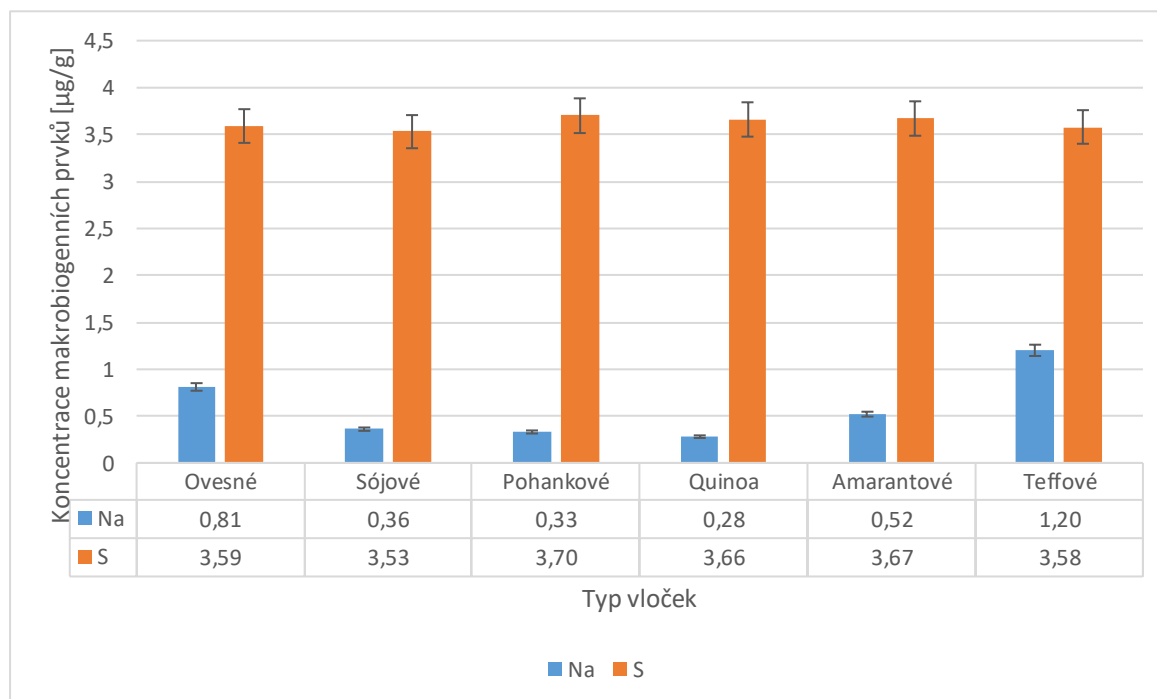
Sodík napomáhá udržovat osmotickou rovnováhu v těle a regulovat krevní tlak (Sumczynski et al., 2023). Nejvíce byl zastoupen v teffových vločkách (1,20 µg/g), naopak nejnižší hodnota byla naměřena v quinoa vločkách (0,28 µg/g).

Koncentrace síry byla u vzorků vloček podrobených analýze naměřena v rozmezí od 3,53 do 3,70 µg/g. Síra je důležitým makrobiogenním prvkem s podstatným biologickým významem. Je integrována do mnoha molekul včetně aminokyselin, bílkovin a enzymů a má významnou roli v mnoha fyziologických drahách (Hewlings a Kalman, 2019).

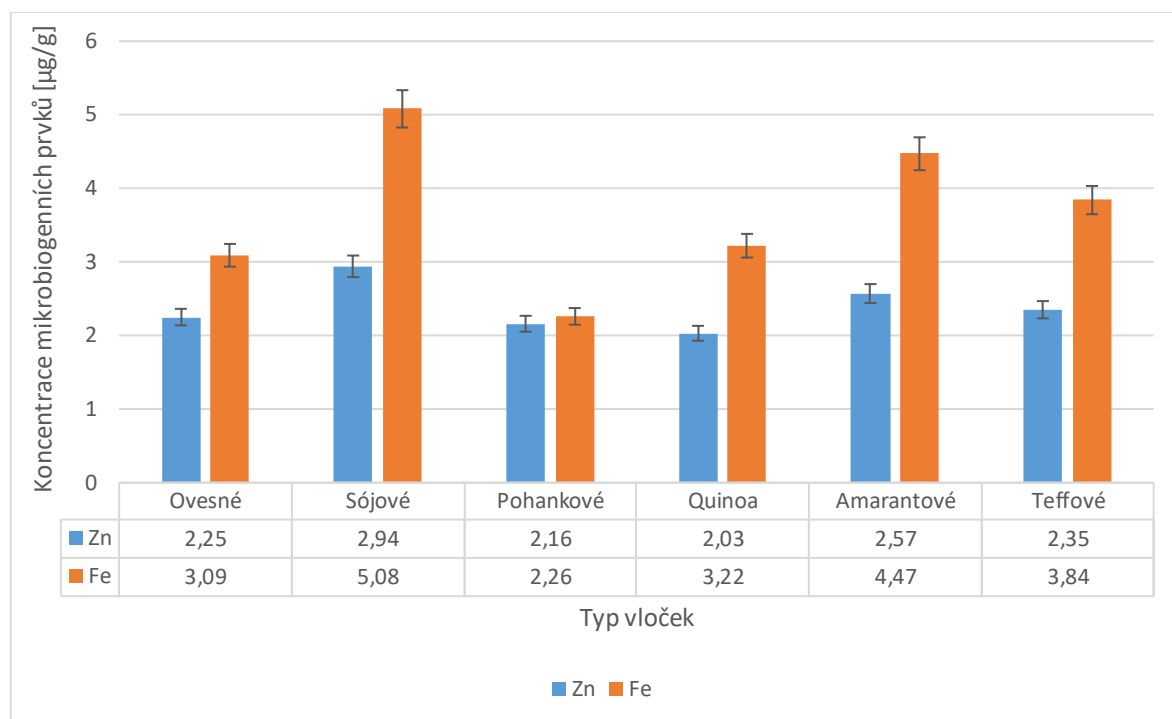
Z mikrobiogenních prvků byla naměřena nejvyšší hodnota u železa v sójových vločkách (5,08 µg/g), naopak nejnižší obsah byl zaznamenán ve vločkách pohankových (2,26 µg/g). Koncentrace železa v pohankových vločkách je v porovnání se studií Zvěřina et al. (2019) desetkrát nižší, přičemž v uvedené studii byl obsah železa stanoven na 23,7 µg/g. Železo je nezbytným prvkem pro organismus. Je součástí hemoglobinu, který slouží k transportu kyslíku (Zvěřina et al., 2019). Koncentrace zinku byla zaznamenána v analyzovaných vzorcích v rozsahu od 2,03 do 2,94 µg/g.



Obrázek 11 Koncentrace makrobiogenních prvků v nativních bezlepkových vločkách



Obrázek 12 Koncentrace makrobiogenních prvků Na a S v nativních bezlepkových vločkách



Obrázek 13 Koncentrace mikrobiogenních prvků v nativních bezlepkových vločkách

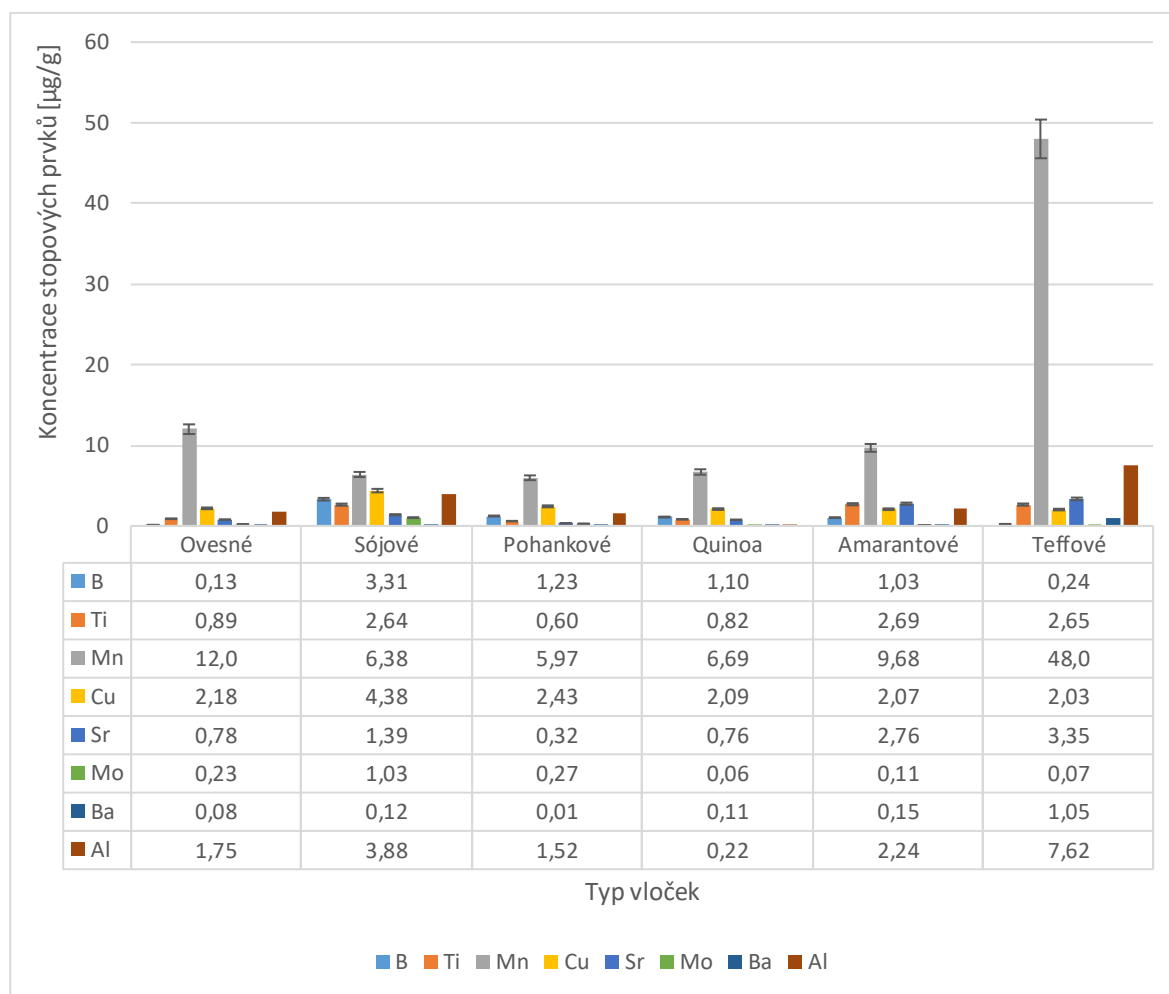
Mangan, který patří mezi esenciální stopové prvky, byl v teffových vločkách analyzován v nejvyšší koncentraci, přičemž obsah byl stanoven na 48,0 µg/g. Tento výsledek je téměř o polovinu nižší než hodnota, která je uvedena ve studii Kiewlicz a Rybicka (2020), kde byla koncentrace manganu stanovena na 75,5 µg/g. V ostatních analyzovaných vločkách se jeho obsah pohyboval v rozmezí od 5,97 do 12,0 µg/g.

Měď byla nejvíce zastoupena v sójových vločkách, kde byla naměřena hodnota 4,38 µg/g. V pohankových vločkách byl obsah mědi 2,43 µg/g, což je přibližně o polovinu méně, než uvádí studie Rybicka a Gliszczyńska-Swigło (2017), kde je její koncentrace 5,7 µg/g.

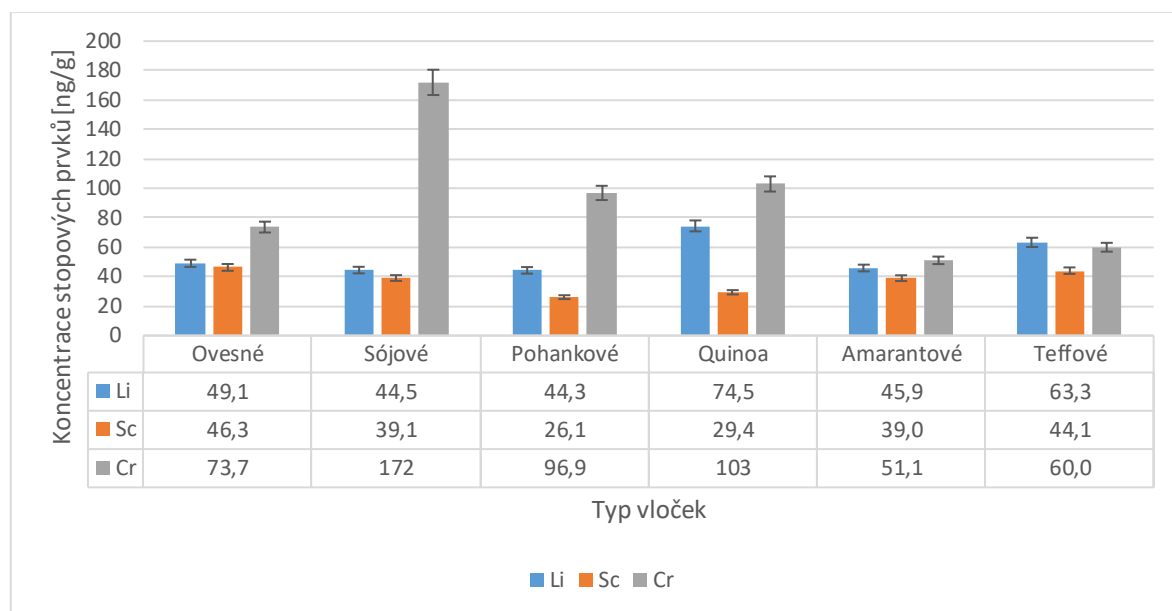
Chrom, řadící se mezi esenciální prvky, je pro organismus nezbytný jako složka redoxních enzymů, podílí se na buněčném metabolismu a tvorbě pojivové tkáně (Sumczynski et al., 2023). Nejvyšší hodnota chromu byla stanovena v sójových vločkách (172 ng/g), naopak nejnižší hodnota byla naměřena v amarantových vločkách (51,1 ng/g).

Hliník, patřící mezi toxické prvky, je spojován s neurodegenerativními onemocněními jako je Alzheimerova choroba a roztroušená skleróza (Sumczynski et al., 2023). Nejvyšší obsah hliníku byl zjištěn v teffových vločkách (7,62 µg/g), zatímco nejnižší koncentraci vykazovaly vločky quinoa (0,22 µg/g).

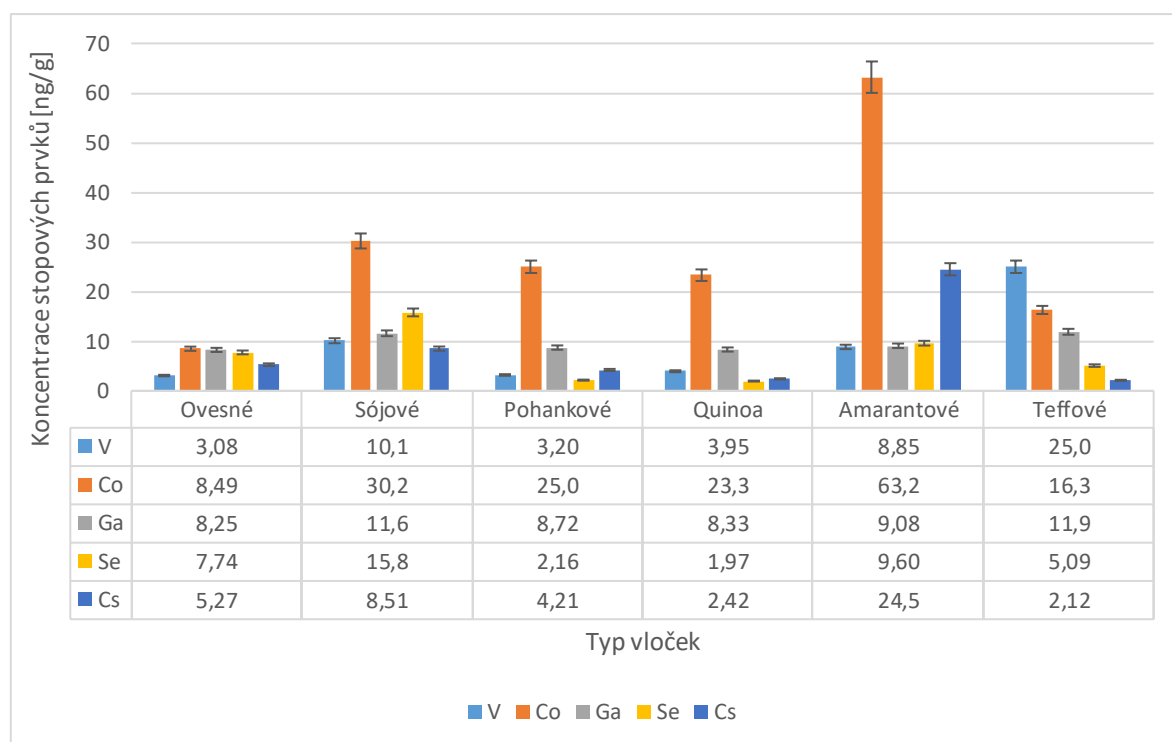
Ostatní stopové prvky jako jsou lithium, vanad, galium, baryum, thalium a další byly naměřeny ve velmi nízkých koncentracích (ng/g). Pro tyto prvky analyzované ve vzorcích bezlepkových vloček nejsou k dispozici dostatečně relevantní údaje, které by umožnily porovnání s literárními zdroji.



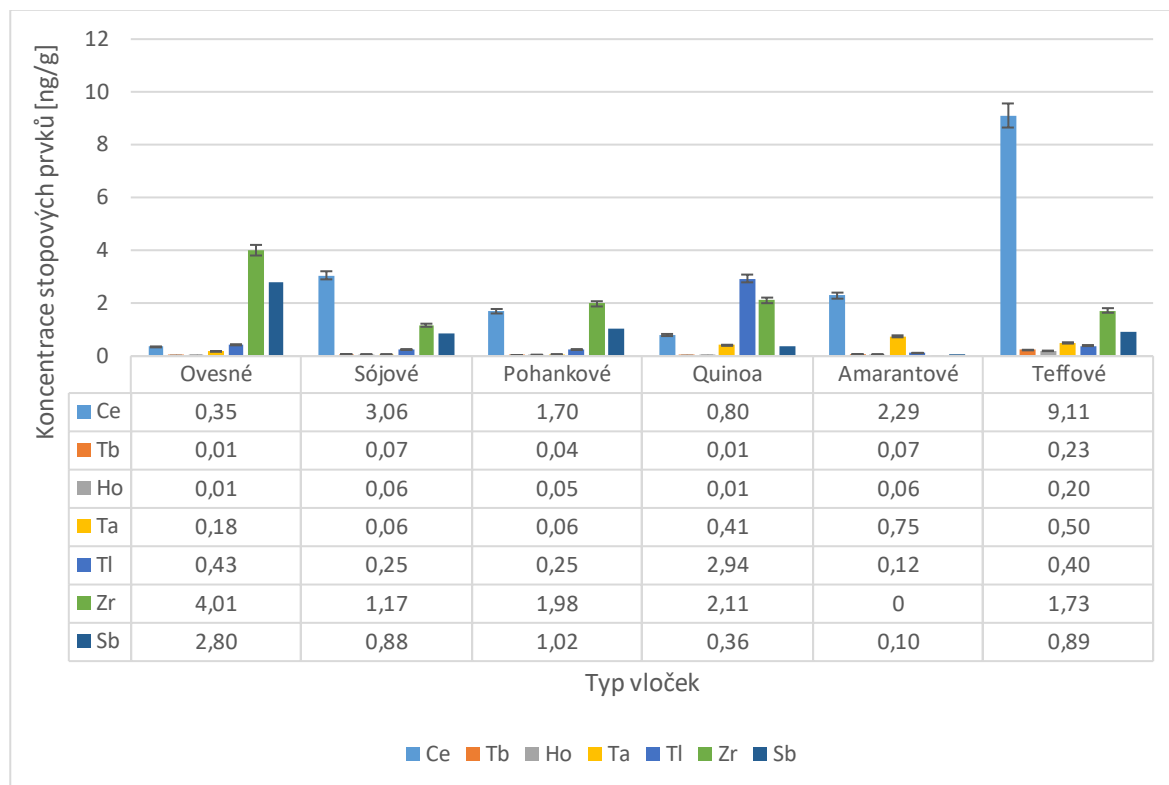
Obrázek 14 Koncentrace stopových prvků v nativních bezlepkových vločkách



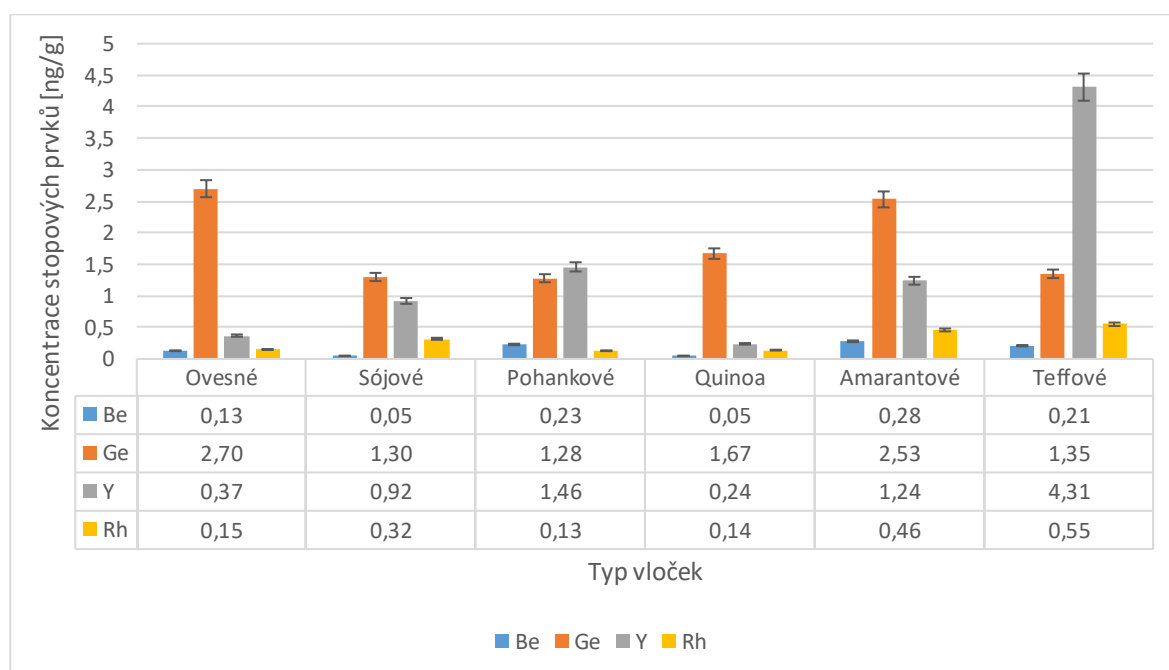
Obrázek 15 Koncentrace stopových prvků v nativních bezlepkových vložkách



Obrázek 16 Koncentrace stopových prvků v nativních bezlepkových vložkách



Obrázek 17 Koncentrace stopových prvků v nativních bezlepkových vločkách



Obrázek 18 Koncentrace stopových prvků v nativních bezlepkových vločkách

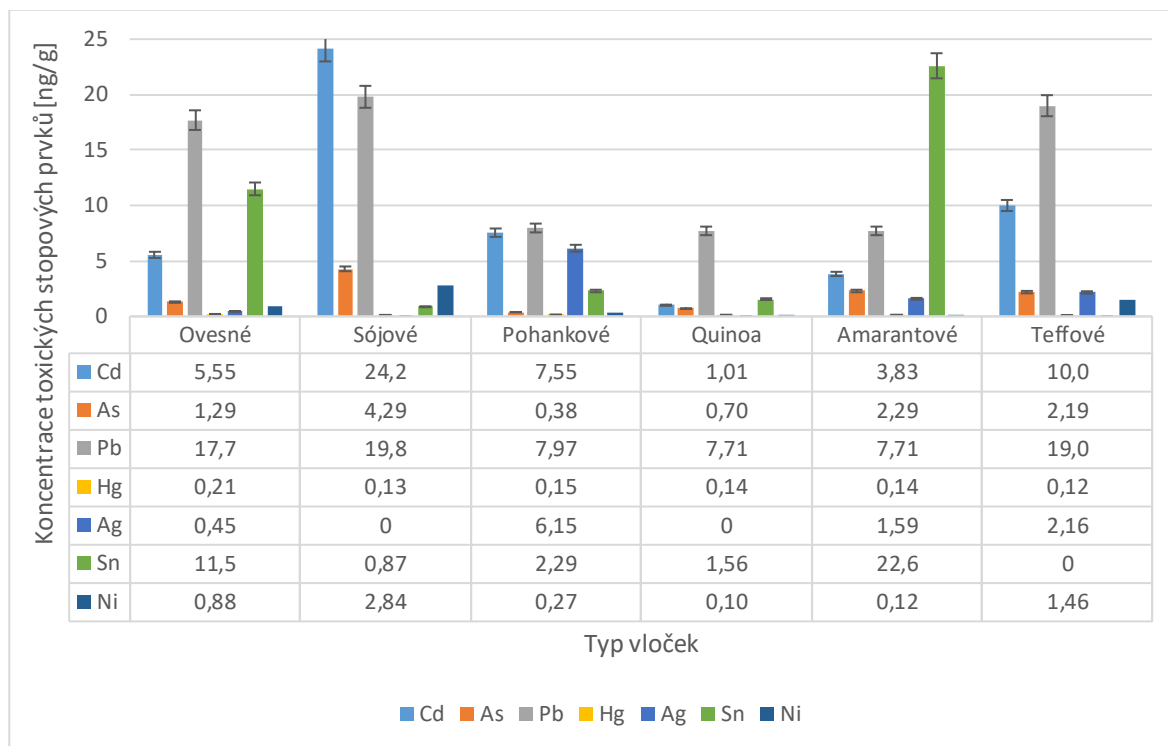
Kadmium, patřící mezi toxické prvky, je často kumulováno v rostlinách, především obilovinách. Jeho pravidelný příjem zvyšuje riziko onemocnění ledvin a rozvoje rakoviny (Zvěřina et al., 2019). Nejnižší hodnoty kadmia byly naměřeny v quinoa vločkách (1,01 ng/g), zatímco nejvyšší obsah byl v sójových vločkách (24,2 ng/g). Ve srovnání se studií Zvěřina et al. (2019) byly celkově naměřené hodnoty kadmia v této práci nižší. Například koncentrace kadmia v ovesných vločkách byla stanovena na 5,55 ng/g, zatímco v dané studii je uvedena koncentrace 39,8 ng/g, což je téměř osmkrát více.

Arsen je prvek, jehož toxicita se liší podle jeho chemické formy. Anorganická forma arsenu může způsobovat dermatitidu a mít až kancerogenní účinky (Sumczynski et al., 2018). V této práci byly stanoveny koncentrace arsenu od 0,38 do 4,29 ng/g.

Olovo způsobuje poruchy krvetvorby a je škodlivé pro nervový systém (Sumczynski et al., 2018). Nejvyšší koncentrace olova byla stanovena v sójových vločkách (19,8 ng/g), naopak nejnižší v amarantových a quinoa vločkách (7,71 ng/g).

Obsah rtuti se v této práci pohyboval v rozmezí od 0,12 do 0,21 ng/g. Toxicita rtuti je výrazně ovlivněna její chemickou formou, přičemž nejtoxičtější je rtuť vázaná v organických sloučeninách. Příznaky toxicity nejvíce postihují ledviny, játra, imunitní a nervový systém (Nekvapil et al., 2025).

Z dalších stopových prvků majících toxické účinky bylo analyzováno stříbro, cín a nikl. Maximální hodnota stříbra byla 6,15 ng/g v pohankových vločkách. Obsah stříbra v sójových a quinoa vločkách nebyl detekován. Cín nebyl detekován v teffových vločkách, nejvyšší hodnota byla stanovena v amarantových vločkách (22,6 ng/g). Obsah niklu byl stanoven v rozmezí 0,10–2,84 ng/g, nejvyšší hodnota byla naměřena v sójových vločkách.



Obrázek 19 Koncentrace toxických stopových prvků v nativních bezlepkových vložkách

6.4 Výsledky výpočtu retence pro jednotlivé prvky v bezlepkových vložkách

Jedním z cílů této práce bylo vyhodnotit retenci neboli retenční faktor (RF, %), který vyjadřuje procentuální zastoupení prvku zachyceného v matrici nestráveného podílu vzorku po simulaci procesu trávení metodou *in vitro*. Nižší hodnota retenčního faktoru (RF) naznačuje, že v matrici nestrávené frakce vloček zůstává menší množství prvků, což naznačuje vyšší pravděpodobnost jejich absorpce v trávicím traktu (Nekvapil et al., 2025). Výsledky vypočtených hodnot retenčních faktorů pro jednotlivé prvky v bezlepkových vložkách dle postupu uvedeného v kapitole 5.8 jsou uvedeny na Obrázcích 20 až 25.

V ovesných vložkách byly z makroprvků v nejnižších podílech zachovány v původní matrici především Mg a K, jejichž hodnota retence byla méně než 1 %. Dalšími makroprvky zachovanými v původní matrici v nízkém podílu byly P, Na, Ca a S s hodnotami retence 3, 6, 8 a 9 %. V ovesných vložkách byla nejvyšší hodnota retence vypočtena pro stopový prvek Sb (47 %). V případě toxických prvků byla nejvyšší hodnota retence vypočtena pro Pb (25 %), následně pro Ag a Sn, jejichž hodnoty RF byly 19 % a 17 %. Naopak toxické prvky

s nejnižšími hodnotami RF byly Ni (2 %), Cd (5 %) a Hg (5 %). Nízké hodnoty retence toxických prvků značí snadnější uvolňování prvků z matrice vzorku a potenciálně snazší absorpci v trávicím traktu.

Teoreticky nejvíce dostupnými markobiogenními prvky v sójových vložkách byly Mg, jenž se z matrice vzorku zcela uvolnil (RF 0 %) a K s hodnotou RF 1 %. Naopak nejvyšší retenci měla z makroprvků S s hodnotou RF 12 %. Celkově nejvyšší hodnoty retence byly vypočteny pro Sb (30 %), Sr (24 %), Ba (23 %) Rh (22 %) a Be (21 %), které se řadí mezi stopové prvky. Pokud jde o toxické prvky, nejvyšší hodnota RF (11 %) byla stanovena u Pb, Hg a Sn, oproti tomu nejnižší hodnotu vykazoval Ni (1 %). Retence se u všech analyzovaných prvků v sójových vložkách pohybovala do maximální hodnoty 30 %, což značí vysokou dostupnost pro využití organismem.

V pohankových vložkách se téměř všechny prvky pohybovaly s retencí do 20 %, což znamená více než 80% dostupnost pro organismus. Z makroprvků byly nejdostupnějšími prvky Mg a K, které byly z původní matrice vložek zcela uvolněny (RF 0 %). Také pouze 1 % P bylo zadrženo v původní matici. V nejvyšším podílu byl z makroprvků zadržen Na a Ca s hodnotami RF 14 % a 8 %. Z toxických prvků vykazovaly nejnižší hodnotu retence Sn (2 %) a Hg (5 %), zatímco nejvíce byl zadržen v matici vzorku Ag (RF 38 %). Nejvyšší hodnoty retence byly vypočteny pro stopové prvky V a Ba s hodnotami retence 56 a 50 %.

Také v quinoa vložkách byly v původní matici vzorku v nejmenším podílu zadrženy makroprvky Mg a K s hodnotou retence 1 %. Nejvyšší hodnotu retence vykazoval Ca, jehož podíl retence činil 17 %. Z esenciálních a neesenciálních stopových prvků byly nejvyšší hodnoty retence vypočteny pro Y, Ta, Tb a Ho. Hodnoty retence těchto prvků byly nad 58 %, v případě Y 90 %. Nejnižší hodnoty stopových prvků byly stanoveny pro Tl, Cs, Mn a Ga, jenž se pohybovaly v rozmezí 0–2 %. Z toxických prvků byl v matici vzorku nejméně zadržen Sn, jehož hodnota RF byla 3 %, zatímco nejvyšší hodnota byla vypočtena pro Hg (RF 53 %). Ostatní stopové toxické prvky byly v rozmezí hodnot retence 10–25 %.

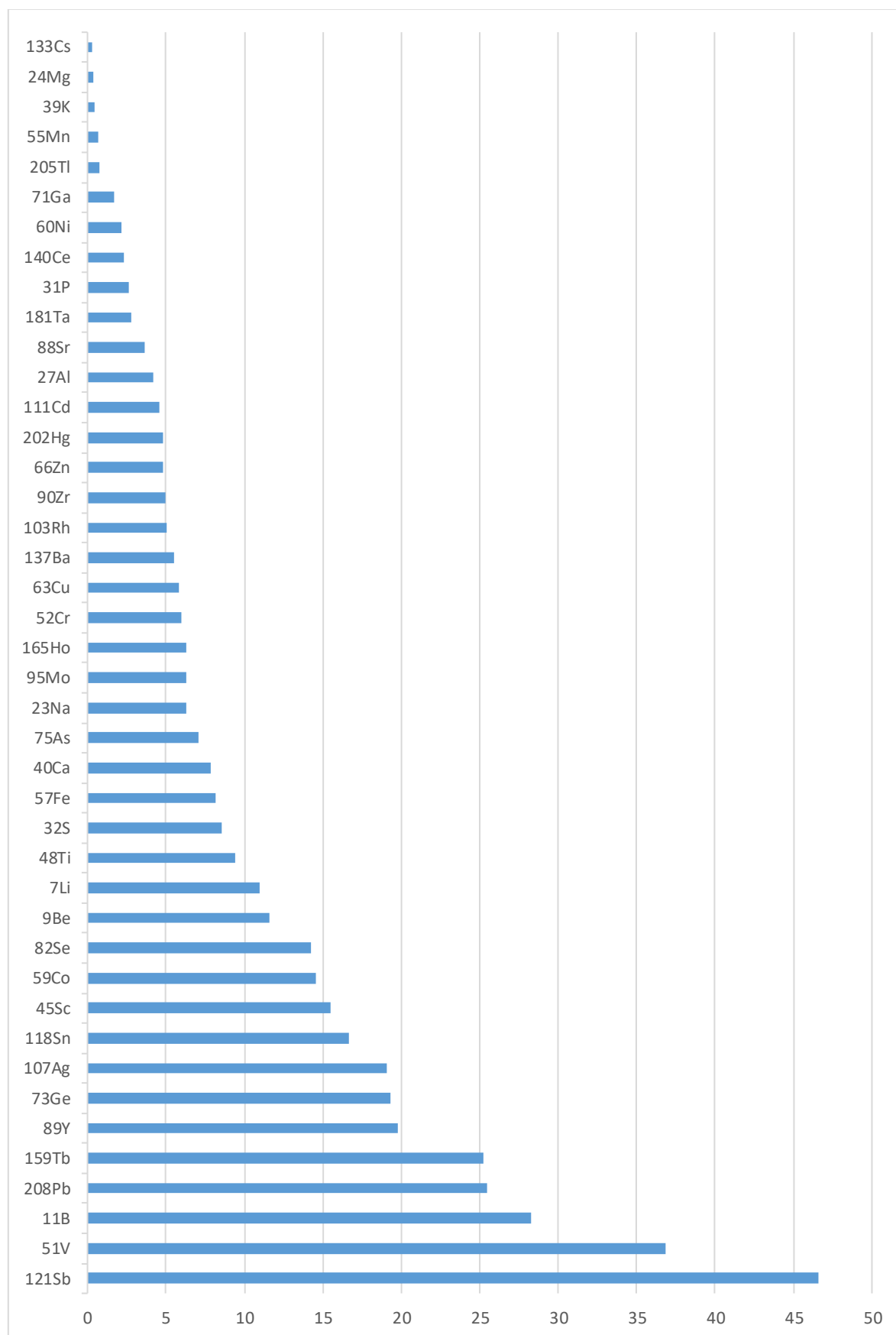
V amarantových vložkách byl celkově nejméně zachován v původní matici vzorku prvek Cs s hodnotou retence 1 %. Z makrobiogenních prvků byly nejdostupnějšími prvky Mg, K, Na a P, jejichž hodnoty retence byly 3, 4, 6 a 7 %. Na druhou stranu, Ca byl ve vzorku matrice zadržen v největší míře, hodnota retence byla 21 %. Celkově nejvyšší hodnota retence byla vypočtena pro Pb (87 %), což značí nízkou potenciální využitelnost při procesu trávení. Oproti tomu, stopové prvky Sn a Al vykazovaly retenci nižší než 10 %, což značí vysokou dostupnost pro využití organismem.

což vzhledem k jejich potenciálním toxickým účinkům představuje relativně vysokou hodnotu.

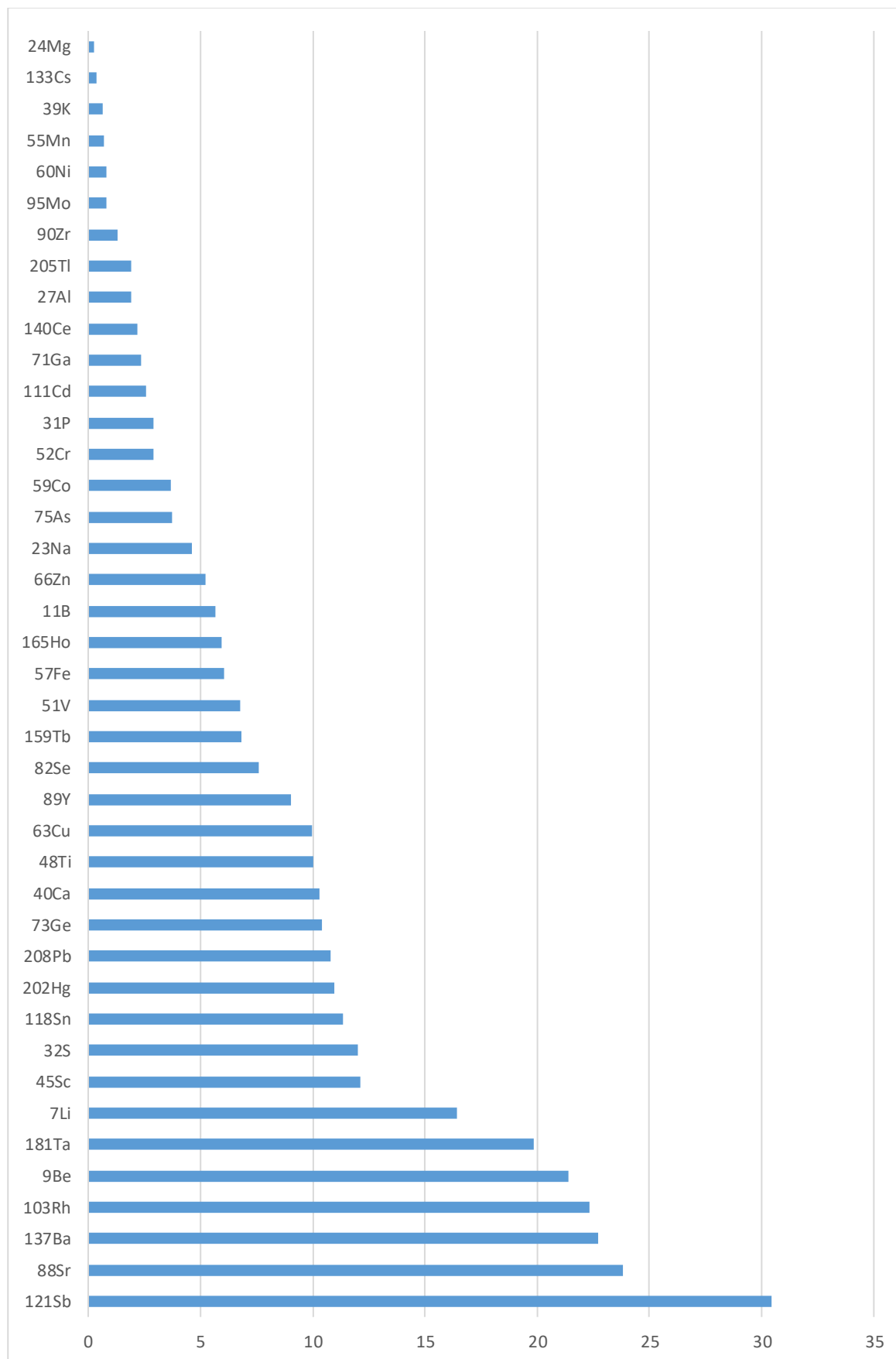
Všechny analyzované prvky v teffových vločkách s výjimkou stříbra vykazovaly retenci do 30 %. Stříbro řadí se mezi toxické stopové prvky mělo hodnotu retence nejvyšší (82 %). Ze skupiny makro a mikroprvků byly v nejvyšších podílech zadrženy v matrici vzorku Ca a Fe s hodnotami RF 24 a 18 %. Nejnižší hodnoty retence byly zaznamenány pro prvky Mg, Na, K, P a Zn, jejichž podíl retence se pohyboval v rozmezí 1–7 %. Většina stopových prvků s toxickými účinky vykazovala nízkou hodnotu retence. Nejnižší hodnota byla pozorována u Ni (3 %), Cd (5 %) a Al (8 %), vyšší hodnoty vykazovaly Hg a As (14 %), Pb (27 %).

Srovnání hodnot retence s jinými studiemi je omezené, jelikož tato oblast není dostatečně prozkoumána a nejsou k dispozici vhodné studie k diskutování získaných výsledků.

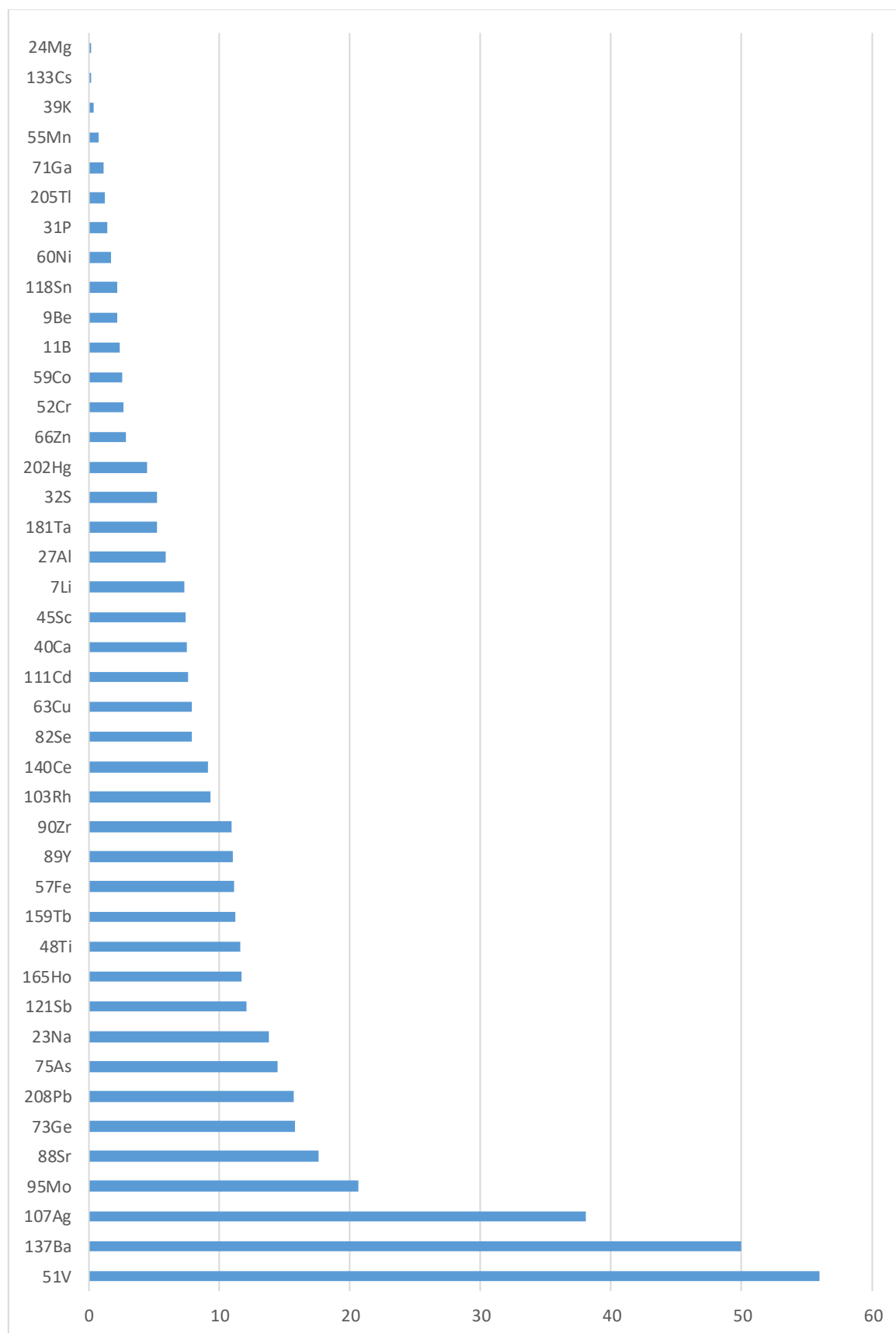
Biologická dostupnost je podíl složek potravy, které jsou během trávení uvolněny z matrice a dostupné pro absorpci v tenkém střevě. Biologická dostupnost minerálních a stopových prvků z obilovin závisí na různých faktorech, jako jsou podmínky pěstování, typ odrůdy, způsob zpracování, chemická forma minerálních prvků a jejich lokalizace v rostlinné tkáni. Biologická dostupnost může být negativně ovlivněna přítomností antinutričních látek (kyselina fytová, taniny), které mohou tvořit komplexy s minerálními prvky (Fe, Zn, Ca a Mg) a tím snižovat jejich vstřebatelnost. Různé techniky zpracování, jako jsou fermentace, vaření, máčení a klíčení, mohou výrazně zlepšit biologickou dostupnost a vstřebatelnost minerálních prvků (Manzoor et al., 2024).



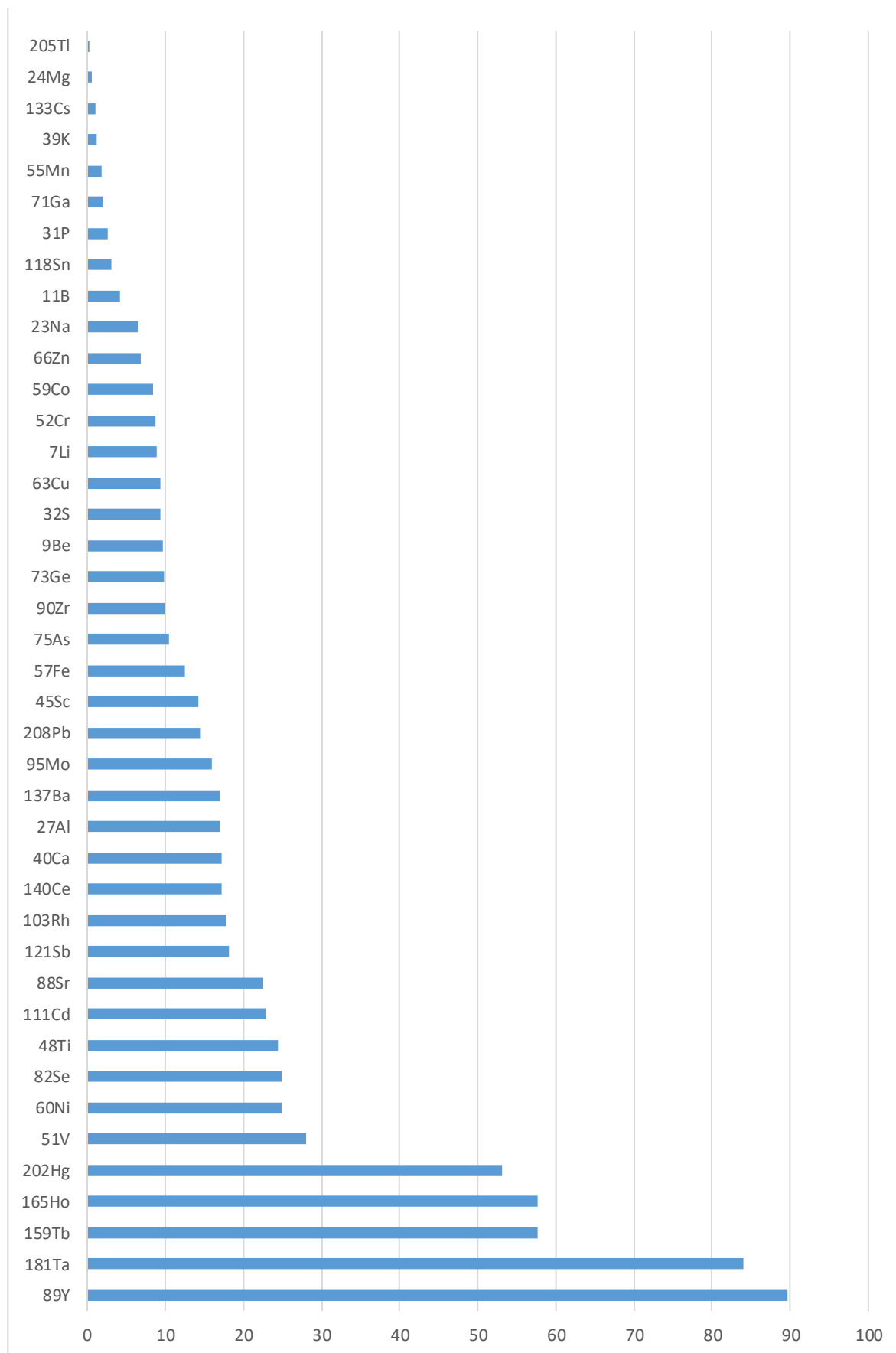
Obrázek 20 Retence minerálních a stopových prvků v ovesných vločkách



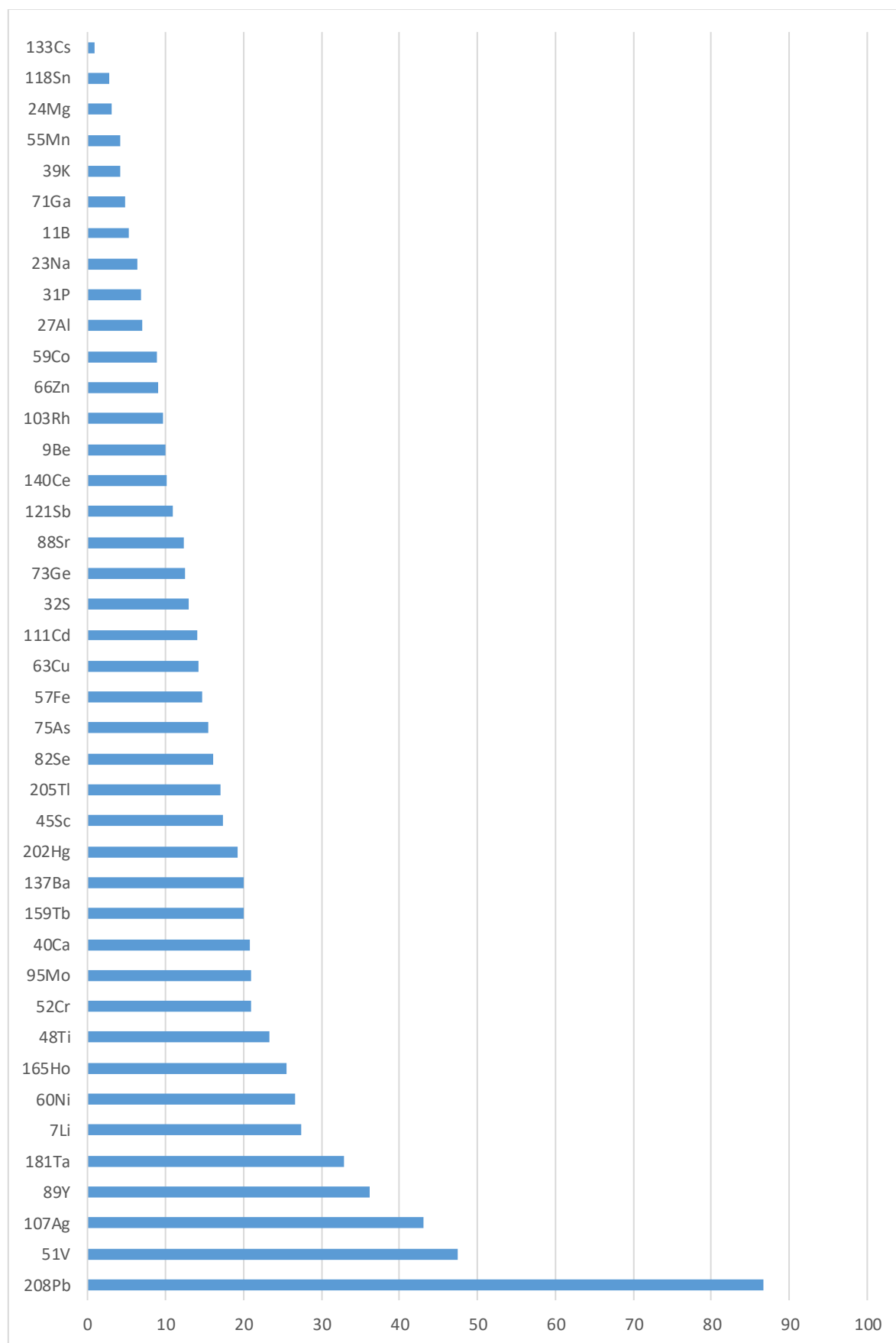
Obrázek 21 Retence minerálních a stopových prvků v sójových vložkách



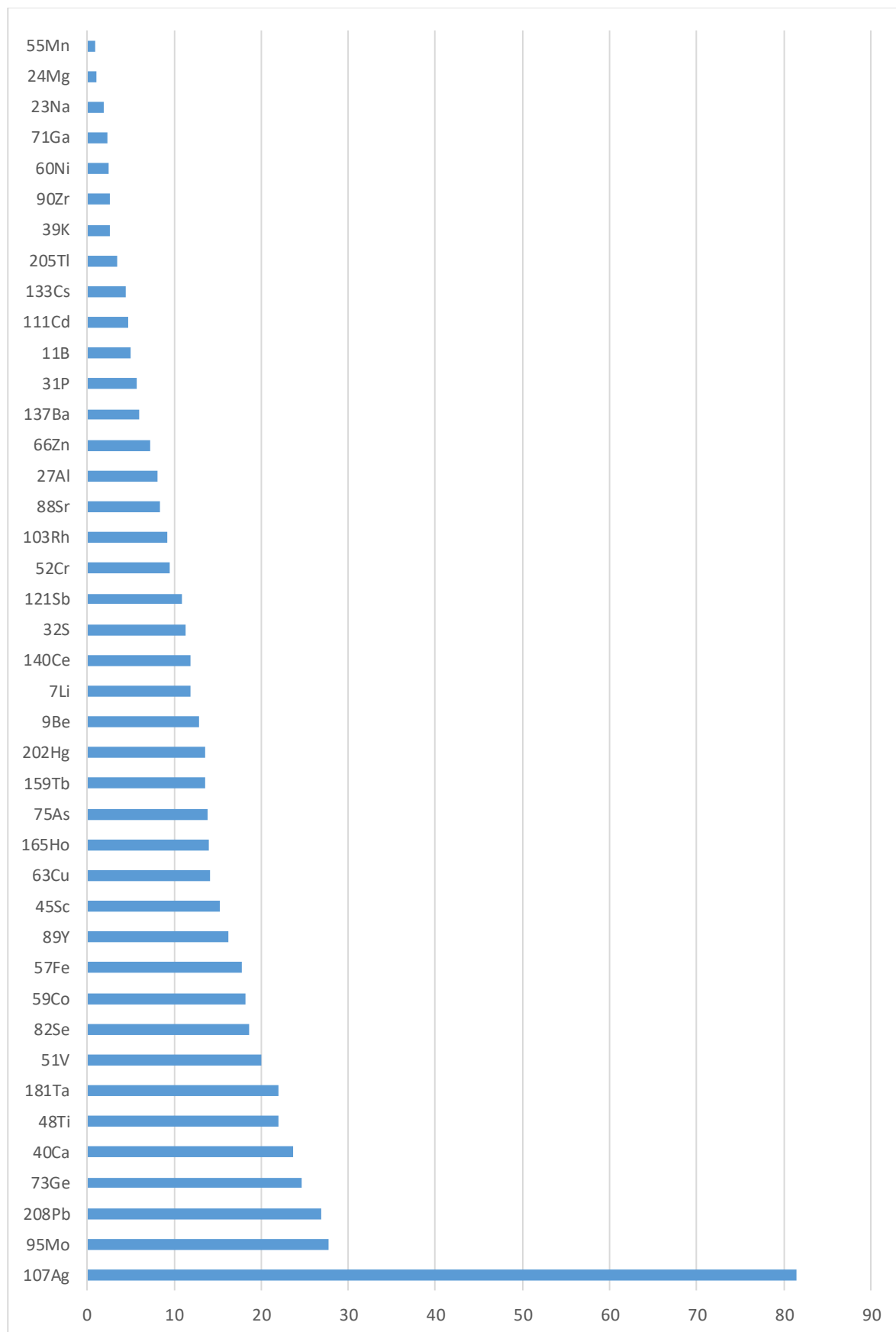
Obrázek 22 Retence minerálních a stopových prvků v pohankových vločkách



Obrázek 23 Retence minerálních a stopových prvků v quinoa vložkách



Obrázek 24 Retence minerálních a stopových prvků v amarantových vložkách



Obrázek 25 Retence minerálních a stopových prvků v teffových vložkách

6.5 Výsledky stanovení příspěvků jednotlivých prvků k hodnotám RDA, AI, PTWI a PTMI

6.5.1 Výsledky stanovení příspěvků esenciálních prvků k hodnotám RDA a AI

Je obecně známým faktem, že nedostatkem minerálních a stopových prvků trpí populace na celém světě. Mezi nejzranitelnější skupiny patří děti do pěti let a těhotné ženy. Minerální a stopové prvky jsou nezbytné pro udržení normálních metabolických funkcí v těle a jejich nedostatek může vést k nutričním deficitům, které se mohou projevit různými zdravotními komplikacemi (Affonfere et al., 2021). V této práci byly hodnoceny příspěvky esenciálních minerálních a stopových prvků bezlepkových vloček. Denní hladiny příjmu jednotlivých esenciálních prvků byly porovnány s příslušnými hodnotami RDA (referenčními hodnotami příjmu) nebo AI (adekvátními příjmy) podle doporučení Institute of Medicine (National Academy of Sciences, Washington, DC, USA) pro muže a ženy ve věkové kategorii 19–30 let. Kompletní výsledky stanovení příspěvků konzumace vloček k hodnotám RDA a AI pro danou věkovou kategorii jsou pro jednotlivé minerální a stopové prvky shrnuty v Příloze VII. Výsledky příspěvků jednotlivých prvků v analyzovaných bezlepkových vločkách jsou uvedeny na Obrázcích 26 až 31.

Z výsledků je patrné, že analyzované vzorky bezlepkových vloček se významně nepodílí na hodnotách RDA vápníku, fosforu, selenu, zinku a železa a na hodnotách AI sodíku a draslíku u mužů a žen ve věkové kategorii 19–30 let.

Vápník je významným prvkem, který se z největší míry nachází v kostech a zubech, kde má strukturální roli. Je nezbytný pro aktivaci enzymatických reakcí, sekreci hormonů a při strážení krve. Nedostatek vápníku vede k řídnutí kostí a osteoporóze (Affonfere et al., 2021). Analyzované bezlepkové vločky nepředstavují významný zdroj vápníku, neboť jejich obsah vápníku neovlivňuje hodnotu doporučené denní dávky (RDA), která je pro dospělé muže i ženy stanovena na 1 000 mg/den (Institute of Medicine, 1997).

Fosfor patří mezi nejrozšířenější minerální prvky v lidském těle. Hraje důležitou roli v transportu energie pomocí adenosintrifostátu a je nezbytnou stavební součástí kostí a zubů. Nedostatky fosforu se v minulosti projevovaly jako osteomalacie a křivice. Hlavním rezervoárem fosforu v obilovinách je kyselina fytová, která jako antinutriční látka negativně ovlivňuje biologickou dostupnost zinku, železa a vápníku a snižuje jejich absorpci ve střevě (Antoine et al., 2012; Kiewlicz a Rybicka, 2020). Doporučená hodnota RDA pro muže i ženy ve věkové kategorii 19–30 let je stanovena na 700 mg/den (Institute of Medicine, 1997).

Bezlepkové vločky zkoumány v této práci nepředstavují významný příspěvek k hodnotě RDA, jelikož poskytují méně než 2 % RDA jak pro muže, tak ženy v dané věkové kategorii.

Selen je esenciální stopový prvek, jehož funkce je zprostředkována začleněním do selenoproteinů (selenocystein a selenomethionin). Selenoproteiny mají zásadní roli při ochraně před oxidativním stresem, regulují imunitní systém a inhibují zánětlivé reakce. Nedostatek selenu může mít za následek různá onemocnění, včetně kardiovaskulárních, trávicích, respiračních a poruch imunitního systému. Také může vést k rozvoji Keshanovy a Kashin-Beckovy choroby (Du et al., 2024; Liu et al., 2024). Hodnota RDA selenu je pro muže i ženy ve věkové kategorii 19–30 let stanovena na 0,055 mg/den (Institute of Medicine, 2000). V této studii vzorky bezlepkových vloček neposkytly významný příspěvek k hodnotě RDA. Největší příspěvek k hladině RDA představovaly sójové vločky a činil 3 % RDA u mužů i žen.

Zinek, patřící mezi mikrobiogenní prvky, je složkou mnoha enzymů a působí jako kofaktor. Je nezbytným prvkem pro metabolické dráhy, genovou expresi, regulaci buněčného růstu a diferenciaci, hormonální funkci a imunitní obranné mechanismy. Nedostatek zinku je významným problémem, který postihuje až třetinu světové populace a týká se všech věkových kategorií. Projevuje se zhoršeným hojením ran, opakujícími se infekcemi a kognitivními poruchami (Affonfere et al., 2021; Lowe et al., 2024). Doporučená hodnota RDA je u žen ve věku 19–30 let stanovena na 8 mg/den, zatímco u mužů ve stejné věkové kategorii na 11 mg/den (Institute of Medicine, 2001). Největší podíl na hodnotě RDA z analyzovaných bezlepkových vloček měly vločky sójové, jejichž příjem u žen představoval 4 % RDA, u mužů 3 % RDA. Ostatní analyzované vločky se podílely stejným příspěvkem k hodnotám RDA (3 % RDA u žen, 2 % RDA u mužů).

Železo je v lidském těle přítomno v erytrocytech jako hemoglobin, kde vykonává hlavní funkci přenosu kyslíku. Nedostatek železa je asociován s vývojem anémie, zhoršením kognitivních funkcí a zhoršením fyzické výkonnosti (Affonfere et al., 2021). Hodnota RDA se u železa významně liší. V případě žen, je hodnota RDA 18 mg/den ženy, u mužů 8 mg/den (Institute of Medicine, 2001). Nejvíce železa je možno získat ze sójových vloček, kde jsou jednotlivé příspěvky 6 % RDA u mužů a 3 % RDA u žen. U mužů stejným příspěvkem k RDA přispívají i amarantové vločky.

Sodík je významným elektrolytem, který se podílí na regulaci a distribuci celkového objemu tělesné vody, na regulaci krevního tlaku, udržování osmotické rovnováhy buněk a interakci s draslíkem. Přebytek sodíku může vést k hypertenzi a onemocnění ledvin (Sumczynski

et al., 2023). Pro sodík je stanovena hodnota adekvátního příjmu AI pro muže i ženy na 1 500 mg/den (Institute of Medicine, 2005). Zkoumané bezlepkové vločky se nepodílely na příspěvku k hodnotám AI.

Draslík má důležitou roli v buněčném metabolismu. Účastní se přenosu energie, sekrece hormonů i regulace metabolismu bílkovin a glykogenu. Také je důležitým regulátorem osmotické rovnováhy buněk, podílí se na vedení nervového vzruchu a svalových kontrakcí (Affonfere et al., 2021). Draslík má hodnotu adekvátního příjmu stanovenou na 4 700 mg/den pro muže i ženy v kategorii 19–30 let (Institute of Medicine, 2005). Bezlepkové vločky použité v této práci se významně nepodílely na hodnotách AI. Nejvyšší příspěvek vykazovaly sójové vločky s hodnou AI 2 % u mužů i žen.

Hořčík, patřící mezi makrobiogenní prvky, má prostřednictvím své role ve struktuře krystalů hydroxyapatitu vliv na zdraví kostí a zubů. Také je složkou enzymových kofaktorů, a podílí se na správné funkci nervové soustavy a svalů. Nedostatek hořčíku je spojen s různými projevy a může mít mnoho příčin, včetně poruch ledvin a gastrointestinálního traktu (Affonfere et al., 2021). Doporučená hodnota RDA je pro ženy ve věkové kategorii 19–30 let stanovena na 310 mg/den, u mužů ve stejné věkové kategorii na 400 mg/den (Institute of Medicine, 1997). Tato práce prokázala, že největším zdrojem hořčíku z analyzovaných vzorků jsou pohankové a amarantové vločky. U žen příjem pohankových vloček představoval 21 % RDA, u mužů 17 % RDA. Podíl amarantových vloček na hodnotě RDA byl u žen 20 % a 16 % u mužů. Ostatní analyzované bezlepkové vločky představovaly nižší příspěvky na hodnoty RDA v klesajícím pořadí sójové, quinoa, teffové a ovesné vločky.

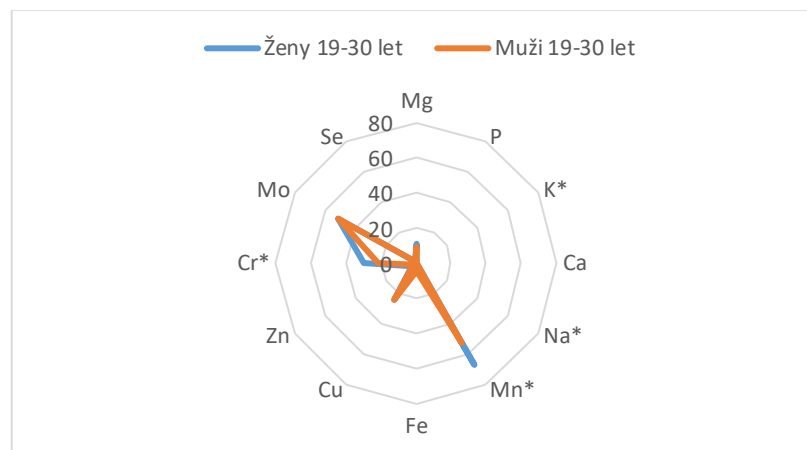
Měď je stopový esenciální prvek s primárně katalytickou funkcí. Napomáhá vstřebávání železa ze zažívacího traktu, zabudování železa do hemoglobinu a je nezbytná pro růst a tvorbu kostí. Nedostatek mědi je spojen s defekty pojivové tkáně, anémií, srdečním selháním a gastrointestinálními poruchami. Referenční hodnota příjmu (RDA) pro dospělé muže a ženy je 0,9 mg/den (Affonfere et al., 2021; Institute of Medicine, 2001). Nejvyšší příspěvek k RDA mědi pro muže i ženy vykazovaly vločky amarantové, quinoa a teffové, jejichž příspěvek byl 23 %. Následovaly vločky ovesné (24 % RDA) a pohankové (27 % RDA). Největší příspěvek k hladině RDA měly vločky sójové a představoval 49 % RDA u mužů i žen.

Chrom se nejčastěji vyskytuje ve dvou valenčních stavech: Cr^{3+} (nejstabilnější oxidační stav) a Cr^{6+} . Trojmocná forma Cr^{3+} zvyšuje aktivitu inzulínu a podílí se na metabolismu sacharidů, lipidů a bílkovin. Šestimocná forma chromu (Cr^{6+}) je vysoce toxická a je klasifikována

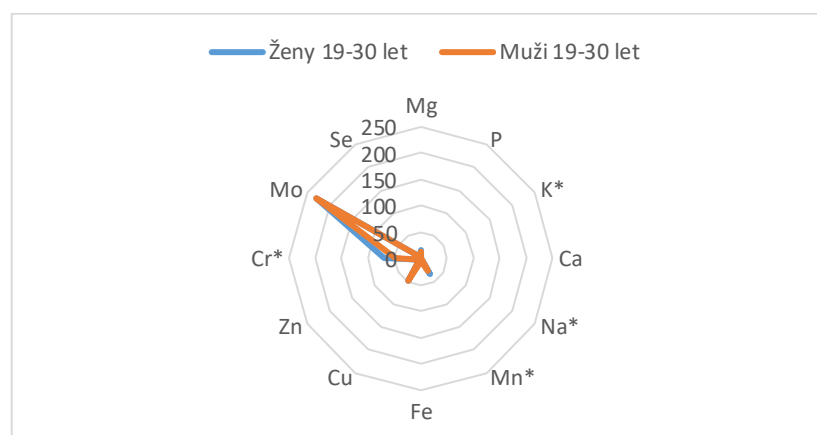
jako karcinogen. Má schopnost pronikat do buněk, kde může způsobovat poškození DNA. Symptomy nedostatku Cr^{3+} zahrnují intoleranci glukózy a neuropatie (Bjørklund et al., 2017). Adekvátní příjem chromu pro věkovou kategorii 19–30 let je stanoven na 0,035 mg/den u mužů a 0,025 mg/den u žen (Institute of Medicine, 2001). Nejvyšší příspěvek byl stanoven u sójových vloček. Sójové vločky poskytují 69 % hodnoty AI pro chrom u žen a 49 % hodnoty AI u mužů. Nejnižší příspěvek k hodnotě AI byl stanoven u amarantových vloček, kdy pro ženy byl příspěvek k hodnotě AI 20 %, pro muže činil pouze 15 %.

Molybden je stopovým esenciálním prvkem, který působí jako kofaktor pro enzymy sulfitoxidázu, xantinoxidázu a aldehydoxidázu. Tyto enzymy se podílí na katabolismu aminokyselin obsahujících síru a heterocyklických sloučenin. Příznaky nedostatku molybdenu nebyly pozorovány. Doporučená hodnota RDA pro dospělé muže a ženy je 0,045 mg/den (Institute of Medicine, 2001). Nejvýznamnější podíl na hodnotě RDA v této práci mají sójové vločky, jejichž příspěvek činí 229 % RDA pro muže i ženy. Dalšími vločkami, které významněji přispívají k hodnotám RDA, jsou pohankové (60 % RDA) a ovesné (51 % RDA).

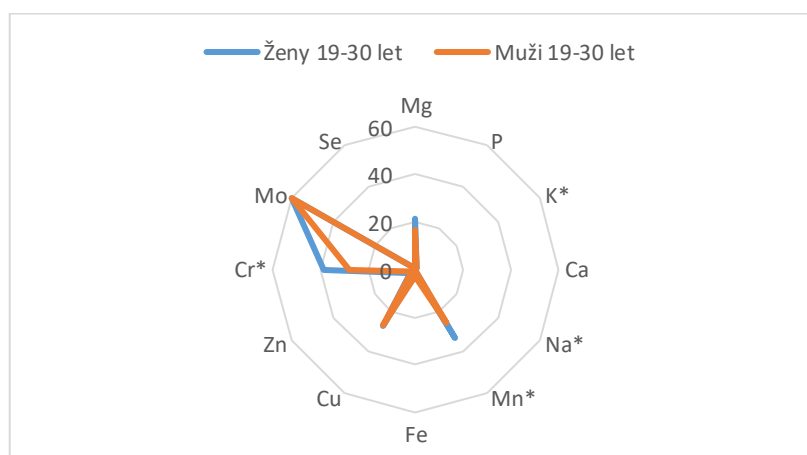
Mangan se podílí na mineralizaci kostí a metabolismu sacharidů, lipidů a bílkovin. Také je kofaktorem enzymů hydrolázy, transferázy a dekarboxylázy. Symptomy nedostatku manganu nejsou dosud popsány (Affonfere et al., 2021). Adekvátní příjem AI byl stanoven na 1,8 mg/den pro ženy a 2,3 mg/den pro muže (Institute of Medicine, 2001). Z analyzovaných bezlepkových vloček se nejvýrazněji na hodnotách AI podílí teffové vločky, jejichž příspěvek činí 267 % AI pro ženy a 209 % AI pro muže. Ostatní analyzované vločky se na hodnotách AI podílí v následujícím pořadí: ovesné vločky (67 % AI u žen; 52 % AI u mužů) > amarantové vločky (54 % AI u žen; 42 % AI u mužů) > quinoa vločky (37 % AI u žen; 29 % AI u mužů) > sójové (35 % AI u žen; 28 % AI u mužů) > pohankové (33 % AI u žen; 26 % AI u mužů).



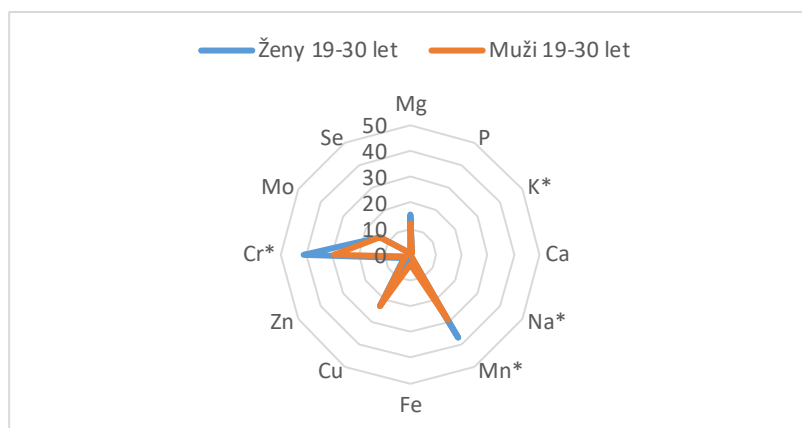
Obrázek 26 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v ovesných vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.



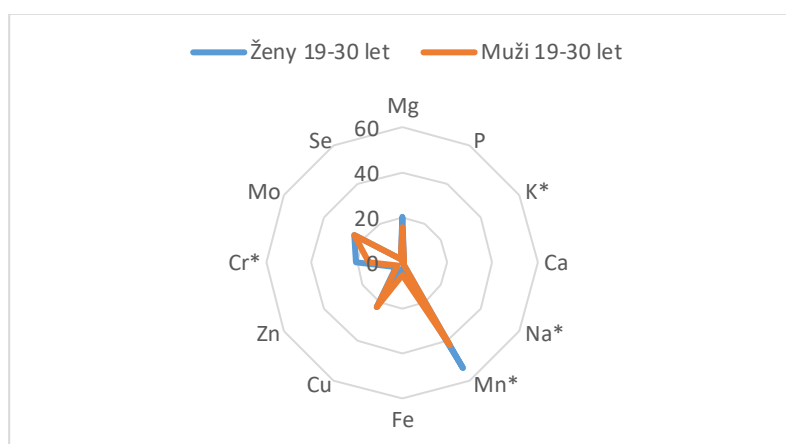
Obrázek 27 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v sójových vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.



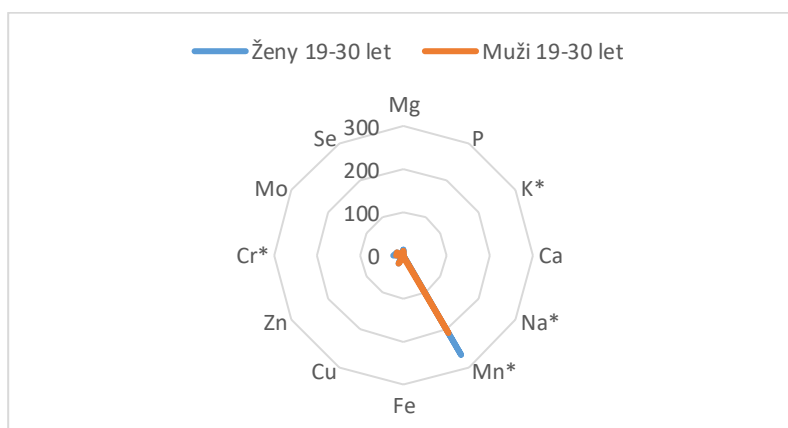
Obrázek 28 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v pohankových vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.



Obrázek 29 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v quinoa vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.



Obrázek 30 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v amarantových vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.



Obrázek 31 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v teffových vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.

6.5.2 Výsledky expozice k limitním příjmům PTWI a PTMI pro toxické prvky

Toxické stopové prvky představují potenciální riziko na zdraví organismu. Dlouhodobá expozice toxickým prvkům může vyvolávat nežádoucí účinky v mnoha orgánech lidského těla, jako je nefrototoxicita, hepatotoxicita, neurotoxicita a karcinogenní účinky. Vyskytují se nejčastěji v půdě, sedimentech, podzemních vodách a dalších přírodních zdrojích. Na základě výskytu, toxicity a potenciálních nežádoucích účinků jsou toxické prvky vedeny v seznamu SPL (Seznam prioritních látek) vytvořených ASTDR (Agentura pro registr toxických látek a nemocí). Mezi prvními deseti jsou uvedeny As, Pb, Hg a Cd. Obilná zrna mohou přijímat toxické elementy z přírodních půd, hnojiv, závlahové vody nebo atmosférického prachu. Obilniny, které představují základní surovinu pro výživu v mnoha regionech světa, jsou předmětem intenzivního výzkumu zaměřeného na získávání informací o jejich kontaminaci toxickými prvky (ATSDR, 2022; Ikem et al., 2023; Paiva et al., 2023).

Výsledky stanovení příjmů k hodnotám PTWI/PTMI* pro Al, Sn, Hg a Cd*, TDI pro Ni a As a RfD v případě Ag v analyzovaných bezpečkových vločkách jsou uvedeny v Tabulce 3. Na základě výpočtu MoE dle postupu uvedeného v kapitole 5.9 byla definována rizika pro Pb. Výsledky tohoto stanovení jsou uvedeny v Tabulce 4.

Rtuť se v životním prostředí ve formě různých chemických sloučenin. Organické druhy jako methylrtuť a ethylrtuť jsou výrazně toxičtější ve srovnání s anorganickými formami. Účinky vysoké expozice zahrnují především výskyt neurologických a kardiovaskulárních onemocnění, špatnou kognitivní výkonnost a reprodukční vady (Paiva et al., 2023). Vzhledem k přítomnosti Hg v analyzovaných vzorcích bezpečkových vloček byly vypočteny hodnoty denních příjmů pro jednotlivé vločky. Nejvyšší hodnota denního příjmu byla pozorována u ovesných vloček (21 $\mu\text{g}/\text{den}$), zatímco nejnižší hodnota byla pozorována u vloček teffových (12 $\mu\text{g}/\text{den}$). Hladina příjmu Hg byla porovnávána s hodnotou PTWI, která je stanovena na 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tělesné hmotnosti (Evaluation of certain contaminants in food, 2011). Bylo zjištěno, že z hodnocených vzorků ovesné vločky nejvýrazněji přispívají k hodnotě PTWI pro rtuť (Hg), přičemž jejich příspěvek činil 61 % u osob s tělesnou hmotností 60 kg. Příspěvky ostatních bezpečkových vloček byly stanoveny v následujícím pořadí: pohankové > amarantové > sójové > quinoa > teffové vločky, jejichž příspěvek se pohyboval v rozmezí od 35 do 44 % pro osoby vážící 60 kg. S ohledem na vysoký procentuální příspěvek u všech zkoumaných vzorků se bezpečkové vločky jeví jako potenciální zdroj příjmu rtuti (Hg).

Kadmium je toxický prvek, jehož kumulace v organismech může mít za následek teratogenní, karcinogenní a mutagenní účinky. Také může způsobovat demineralizaci kostí a renální dysfunkci (Ikem et al., 2023; Paiva et al., 2023). Vzhledem k tomu, že Cd je klasifikován jako karcinogen, je aktuálně uveden na sedmé pozici v seznamu SPL (ATSDR, 2022). Hladina příjmu Cd byla porovnávána s hodnotou PTMI, která je stanovena na 25 $\mu\text{g/kg}$ tělesné hmotnosti (Evaluation of certain food additives and contaminants, 2013). Přestože obilné produkty patří mezi hlavní kategorie potravin, které přispívají k dennímu příjmu Cd, hodnoty denního příjmu analyzovaných vzorků byly zanedbatelné. Nejvyšší příspěvek k hodnotě PTMI pro Cd vykazovaly sójové vločky, jejichž příspěvek byl 5 % u osob vážících 60 kg. Příspěvky dalších bezlepkových vloček v této studii byl menší než 2 % pro každou zvolenou hmotnostní kategorii.

Negativní účinky cínu jsou především závislé na jeho různých chemických formách, ve kterých se vyskytuje. Vysoká expozice anorganickým sloučeninám vede ke gastrointestinálním potížím, zatímco expozice organickým sloučeninám souvisí s metabolickými a neurologickými obtížemi. Primárním zdrojem kontaminace mohou být vnitřní stěny plechovek a jiných obalových materiálů, které jsou v přímém kontaktu s potravinou (Filippini et al., 2019). Referenční hodnota PTWI pro Sn byla stanovena na 14 000 $\mu\text{g/kg}$ tělesné hmotnosti (Evaluation of certain food additives, 2009). Porce 100 g amarantových vloček poskytovala maximální denní příjem 2,26 $\mu\text{g/den}$, přičemž příspěvek k hodnotě PTWI nebyl zjištěn u žádné zkoumané hmotnostní kategorie.

Hliník je třetím nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře a je obsažen především v půdě. Hlavním zdrojem Al jsou ovoce, zelenina a pitná voda. Příčinou nepříznivých účinků je jeho akumulace v plicích, játrech, mozku, ledvinách a štítné žláze. Je spojován především s anémií, poruchami trávicího, respiračního a imunitního systému, narušenou tvorbou kostí a neurotoxitou. Také je spojován s neurodegenerativními onemocněními jako jsou Parkinsonova a Alzheimerova choroba (Paiva et al., 2023). Referenční hodnota PTWI pro Al byla stanovena na 2 000 $\mu\text{g/kg}$ tělesné hmotnosti (Evaluation of certain food additives and contaminants, 2011). Hodnoty denního příjmu ve 100 g porci se pohybovaly v rozmezí od 22 $\mu\text{g/den}$ do 762 $\mu\text{g/den}$. Nejvyšší hodnota denního příjmu byla stanovena u teffových vloček, naopak nejnižší byla zjištěna u vloček z quino. Příspěvek k hodnotě PTWI byl nejvyšší u teffových vloček, kdy u osoby vážící 60 kg připadal na 4 %. U ostatních vloček podrobených analýze byl příspěvek k hladině PTWI nižší než 2 %.

Nikl je přirozeně vyskytujícím se prvkem, který může sloužit jako kofaktor nebo strukturální složka specifických metaloenzymů. Nachází se v různých potravinách včetně zeleniny, ovoce, obilovin a ořechů. Nadměrné vystavení niklu může vést k toxickým účinkům na lidský organismus v důsledku absorpce v gastrointestinálním traktu a následné distribuce do tkán. Dlouhodobá expozice může vést k rakovině plic, poškození ledvin a respiračním problémům (Paiva et al., 2023; Sumczynski et al., 2023). Pro hodnocení hladiny příjmu niklu byla použita hodnota TDI (tolerovatelný denní příjem) 13 $\mu\text{g/kg}$ tělesné hmotnosti dle doporučení EFSA (European Food Safety Authority, 2020). Odhad tolerovatelné horní úrovně příjmu je pro Ni 1 mg/den (Institute of Medicine, 2001). Z analyzovaných bezpečkových vloček vykazovaly nejvyšší příspěvek k denní dávce sójové vločky (284 $\mu\text{g/den}$), což nepřesahuje tolerovatelnou horní úroveň příjmu. Nejvyšší příspěvek k hodnotě TDI pro Ni byl zaznamenán u sójových vloček ve výši 36 % pro osoby o hmotnosti 60 kg. Nejnižší příspěvky vykazovaly vločky amarantové a quinoa s příspěvkem 1–2 % k hodnotě TDI.

Toxicita arsenu se odvíjí od jeho chemické formy. Dlouhodobá expozice anorganickému arsenu může mít za následek neurotoxicitu, kardiovaskulární onemocnění, dermatitidy, abnormální metabolismus glukózy a vývojovou toxicitu (Ikem et al., 2023). Pro hodnocení hladiny příjmu arsenu byla použita hodnota TDI (tolerovatelný denní příjem) 0,3 $\mu\text{g/kg}$ tělesné hmotnosti dle doporučení Světové zdravotnické organizace WHO (World Health Organization, 1985). Bezpečkové vločky podrobené analýze nebyly vyhodnoceny jako významný zdroj denního příjmu As. Denní příjem z porce 100 g poskytoval pouze 0,038–0,429 $\mu\text{g/den}$, což v případě nejvyšší hodnoty přispívá k hodnotě TDI 2 % u osob vážících 60 kg.

Stříbro nachází široké využití při výrobě různých produkt, přičemž expozice lidského organismu tomuto prvku probíhá primárně inhalací, dermálním kontaktem nebo orálním příjmem. Akutní účinky inhalace Ag zahrnují zvýšenou srdeční frekvenci, snížený tlak v arteriální krvi a selhání plic. Po dlouhodobé orální nebo dermální expozici se může objevit modrošedé zbarvení kůže (argyrie) v důsledku ukládání granulí obsahujících stříbro. Karcinogenita stříbra nebyla doposud prokázána, i přesto bylo přidáno do seznamu SPL toxických látek (ATSDR, 2022; Hadrup et al., 2020). V případě příjmu Ag byla k výpočtu expozice použita hodnota RfD (referenční dávka) 5 $\mu\text{g/kg}$ tělesné hmotnosti ze spotřeby necereálních mouk (U.S. Environmental Protection Agency). Stříbro nebylo detekováno

v sójových a quinoa vločkách. Porce 100 g poskytovala maximální denní příjem 0,615 µg/den u pohankových vloček, přičemž příspěvek k hodnotě RfD nebyl prokázán.

Olovo v životním prostředí pochází z fosilních paliv, těžby a výrobní činnosti. Je kumulováno především v půdě. K expozici olova ve stravě nejvíce přispívají obilné výrobky. Olovo se primárně hromadí v měkkých tkáních, později v kostech. U dětí způsobuje vývojovou neurotoxicitu, zatímco u dospělých jedinců je příčinou kardiovaskulárních onemocnění a nefrotoxicity. Pro charakterizaci zdravotních rizik expozice Pb bylo použito porovnání na základě výpočtu poměru expozice (MoE), který zahrnuje hodnoty BMDL pro neurotoxicitu (0,5 µg/kg bw/den), nefrotoxicitu (0,63 µg/kg bw/den) a kardiovaskulární účinky (1,5 µg/kg bw/den), jak je určeno ve stanovisku EFSA (European Food Safety Authority, 2012; Kafouris et al., 2024). Denní příjem se u bezlepkových vloček pohyboval v rozmezí od 0,771 do 1,98 µg/den. Hodnoty expozice DE pro osoby vážící 60 kg byly v následujícím pořadí: amarantové vločky (0,0129 µg/kg) < pohankové vločky < quinoa vločky < ovesné vločky < teffové vločky < sójové vločky (0,0330 µg/kg). Na základě stanoviska EFSA (European Food Safety Authority, 2012) bylo provedeno posouzení expozice za účelem zjištění potenciálních zdravotních rizik u analyzovaných vzorků. Získané hodnoty MoE byly u všech vzorků vyšší než 1, což je považováno za bezpečné rozpětí.

Tabulka 3 Výsledky stanovení příjmů k hodnotám PTWI/PTMI* pro Al, Sn, Hg a Cd*, TDI/RfD* pro Ni, As a Ag* v bezlepkových vločkách

	Ovesné vločky				Sójové vločky				Pohankové vločky				Quinoa vločky				Amarantové vločky				Teffové vločky			
Analyt	denní příjem	Příspěvek k PTWI (PTMI*)			denní příjem	Příspěvek k PTWI (PTMI*)			denní příjem	Příspěvek k PTWI (PTMI*)			denní příjem	Příspěvek k PTWI (PTMI*)			denní příjem	Příspěvek k PTWI (PTMI*)			denní příjem	Příspěvek k PTWI (PTMI*)		
	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)
Al	175	1	1	1	388	2	2	1	152	1	1	1	22	0	0	0	224	1	1	1	762	4	3	3
Sn	1,15	0	0	0	0,087	0	0	0	0,229	0	0	0	0,156	0	0	0	2,26	0	0	0	0	0	0	0
Hg	21	61	46	37	13	38	28	23	15	44	33	26	13	38	28	23	14	41	31	25	12	35	26	21
Cd*	0,555	1	1	1	2,42	5	4	3	0,755	2	1	1	0,101	0	0	0	0,383	1	1	0	1	2	2	1
Analyt	denní příjem	Příspěvek k TDI (RfD*)			denní příjem	Příspěvek k TDI (RfD*)			denní příjem	Příspěvek k TDI (RfD*)			denní příjem	Příspěvek k TDI (RfD*)			denní příjem	Příspěvek k TDI (RfD*)			denní příjem	Příspěvek k TDI (RfD*)		
	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)	µg/den	60 kg (%)	80 kg (%)	100 kg (%)
Ni	88	11	8	7	284	36	27	22	27	3	3	2	10	1	1	1	12	2	1	1	146	19	14	11
As	0,129	1	1	0	0,429	2	2	1	0,038	0	0	0	0,07	0	0	0	0,229	1	1	1	0,219	1	1	1
Ag*	0,045	0	0	0	0	0	0	0	0,615	0	0	0	0	0	0	0	0,159	0	0	0	0,216	0	0	0

Tabulka 4 Výsledky výpočtu hodnot MoE pro olovo

	Ovesné vločky				Sójové vločky				Pohankové vločky			
Pb	denní příjem	MoE			denní příjem	MoE			denní příjem	MoE		
	µg/den	60 kg	80 kg	100 kg	µg/den	60 kg	80 kg	100 kg	µg/den	60 kg	80 kg	100 kg
Neurotoxicita	1,77	17	23	28	1,98	15	20	25	0,797	38	50	63
Nefrotoxicita		21	28	36		19	25	32		47	63	79
Kardio efekt		51	68	85		45	61	76		113	151	188
DE _(bw) [µg/kg]		0,0295	0,0221	0,0177		0,0330	0,0248	0,0198		0,0133	0,0099	0,0080
	Quinoa vločky				Amarantové vločky				Teffové vločky			
	denní příjem	MoE			denní příjem	MoE			denní příjem	MoE		
	µg/den	60 kg	80 kg	100 kg	µg/den	60 kg	80 kg	100 kg	µg/den	60 kg	80 kg	100 kg
Neurotoxicita	1,42	21	28	35	0,771	39	52	65	1,9	16	21	26
Nefrotoxicita		27	35	44		49	65	82		20	27	33
Kardio efekt		63	85	106		117	156	195		47	63	79
DE _(bw) [µg/kg]		0,0237	0,0178	0,0142		0,0129	0,0096	0,0077		0,0317	0,0238	0,0190

ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce byla popsána charakteristika surovin používaných pro výrobu bezlepkových vloček se zaměřením na jejich nutriční složení a využití v potravinářství. Mezi tyto suroviny byly zařazeny oves, sója, pohanka, quinoa, amarant a teff. Dále byly popsány technologie výroby vloček hydrotermálním způsobem a extruzí.

V praktické části diplomové práce bylo provedeno stanovení obsahu sušiny, popele, hodnot *in vitro* stravitelnosti a příprava nestráveného podílu bezlepkových vloček. Nativní vzorky i jejich nestrávený podíl byly podrobeny mineralizaci a následnému měření na ICP-MS pro stanovení obsahu minerálních a stopových prvků. Z naměřených hodnot byl vypočten retenční faktor pro jednotlivé prvky. Dále byly stanoveny příspěvky konzumace vloček k esenciálním prvkům v rámci požadavků na referenční hodnoty příjmů. Také byly vypočteny expozice pro toxické stopové prvky a porovnány s hodnotami PTWI/PTMI*.

Obsah sušiny se u jednotlivých vzorků bezlepkových vloček pohyboval v rozmezí od 87,7 % u teffových vloček do 93,6 % u ovesných a sójových vloček. U ovesných vloček je maximální obsah vlhkosti stanoven na 12 %, u ostatních druhů vloček může být vlhkost nejvýše 14 %. Tyto limity byly splněny u všech analyzovaných vzorků. Obsah popela, což je hrubým ukazatelem množství minerálních látek, se pohyboval v rozmezí od 2,00 do 5,40 % v sušině. Nejvyšší obsah popela byl stanoven u sójových vloček, z čehož lze usuzovat výraznou přítomnost minerálních a stopových prvků. Hodnoty stravitelnosti byly stanoveny v úzkém rozpětí od 87,2 do 95,5 %, kdy nejvyšší hodnoty byly naměřeny u pohankových vloček, naopak nejnižší hodnoty u vloček amarantových.

V analyzovaných bezlepkových vločkách byly nejvíce zastoupeny makrobiogenní prvky. Zcela nejvyšší koncentrace byla naměřena u draslíku v sójových vločkách, jehož obsah byl 0,73 mg/g. Hořčík byl nejvíce zastoupen v pohankových (0,66 mg/g) a amarantových vločkách (0,63 mg/g). Významná byla koncentrace vápníku v amarantových (0,26 mg/g), sójových (0,24 mg/g) a teffových vločkách (0,22 mg/g). Koncentrace toxických stopových prvků byly naměřeny řádově v jednotkách ng/g. Nejvyšší koncentrace byla zjištěna u kadmia v sójových vločkách, jehož obsah byl 24,2 ng/g.

Hodnoty retence byly vypočteny pro jednotlivé prvky analyzovaných bezlepkových vloček. Z výsledků stanovení lze usuzovat, že největší dostupnost minerálních prvků vykazují sójové vločky. Bylo zjištěno, že sójové vločky vykazují nejvyšší dostupnost minerálních prvků, přičemž retence těchto prvků nepřesáhla 30 %. Nejvyšší dostupnost vykazovaly

makrobiogenní prvky hořčík a draslík, jejichž retence byla zpravidla nižší než 1 %, s výjimkou amarantových vloček (3 % pro hořčík a 4 % pro draslík). Vysoké hodnoty retence vykazovaly stopové prvky, především antimon, yttrium a vanad. Z toxických prvků byla nejvyšší hodnota retence stanovena pro olovo (87 %) v amarantových vločkách a pro rtuť (53 %) v quinoa vločkách. Nejnižší hodnoty retence vykazoval nikl v sójových (1 %), ovesných (2 %) a teffových vločkách (3 %). Nízkou hodnotu retence vykazovala také rtuť v ovesných a pohankových vločkách (5 %). Nízká hodnota retence toxických prvků značí snadnější uvolňování prvků z matrice vzorků a potenciálně vyšší expozici po průchodu trávicím traktem, což bylo potvrzeno stanovením příspěvků k hodnotám PTWI/PTMI*.

Příspěvky esenciálních minerálních a stopových prvků byly v této práci stanoveny pro muže a ženy ve věkové kategorii 19–30 let při velikosti porce 100 g. Z výsledků stanovení příspěvků esenciálních prvků bylo zjištěno, že analyzované bezlepkové vločky se významně nepodílí na příspěvcích k hodnotám RDA vápníku, fosforu, selenu, zinku a železa a k hodnotám AI sodíku a draslíku. Největší příspěvek k hodnotám doporučeného denního příjmu (RDA) železa byl zaznamenán u sójových a amarantových vloček, přičemž u mužů dosahoval tento příspěvek hodnoty 6 %. Byl zjištěn významný příspěvek k hodnotám RDA molybdenu, mědi a hořčíku a k hodnotám AI manganu a chromu. Nejvyšší příspěvek molybdenu byl stanoven u sójových vloček, ve kterých byl pro muže i ženy příspěvek ve výši 229 % RDA. Dalšími vločkami, které významně přispěly k hodnotám RDA, byly vločky pohankové (60 % RDA) a ovesné (51 % RDA). Nejvyšší příspěvek k RDA mědi vykazovaly vločky sójové (49 % RDA u mužů i žen). Nejnižší příspěvek 23 % RDA vykazovaly vločky quinoa, amarantové a teffové. K hodnotě RDA hořčíku nejvíce přispěly pohankové vločky, zatímco nejmenší příspěvek byl zaznamenán u vloček ovesných. U žen příjem pohankových vloček představoval 21 % RDA, u mužů 17 % RDA. Teffové vločky významně přispěly k hodnotě AI manganu, jejichž příspěvek představoval 267 % AI pro ženy a 209 % AI pro muže.

Bezlepkové vločky lze z hlediska obsahu toxických prvků považovat za relativně bezpečné, s výjimkou zvýšeného potenciálu expozice rtuti a niklu. Nejvýraznější příspěvek k hodnotě PTWI pro rtuť (Hg) byl stanoven u ovesných vloček (61 % u osob s tělesnou hmotností 60 kg). Příspěvky ostatních bezlepkových vloček byly stanoveny v pořadí: pohankové > amarantové > sójové > quinoa > teffové vločky. K hodnotě TDI niklu nejvýznamněji přispěly vločky sójové (36 %), teffové (19 %) a ovesné (11 %). Příspěvky bezlepkových vloček k hodnotám PTWI/PTMI u ostatních prvků byly zanedbatelné.

Výsledky této diplomové práce potvrzují, že bezlepkové vločky představují hodnotný a bohatý zdroj minerálních a stopových prvků s výrazným potenciálem pro aplikaci v oblasti výživy a potravinářství. Zařazením těchto vloček do každodenního jídelníčku je možné dosáhnout nutričně vyváženější stravy, která je obohacena o esenciální minerální látky, vlákninu a další biologicky aktivní složky s prokazatelnými zdravotními přínosy. Tento výzkum jednoznačně potvrzuje význam bezlepkových vloček jako funkčních potravin, které mají potenciál zásadně přispět ke zlepšení výživy a podpoře zdraví populace. Otevírá tak nové perspektivy pro jejich širší aplikaci v moderní dietetice a potravinářské výrobě, čímž posiluje jejich roli v podpoře zdravého životního stylu a udržitelného rozvoje výživových trendů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AFFONFERE, Marius; CHADARE, Flora Josiane; FASSINOU, Finagnon Toyi Kévin; LINNEMANN, Anita Rachel a DUODU, Kwaku Gyebi, 2021. In-vitro Digestibility Methods and Factors Affecting Minerals Bioavailability: A Review. Online. *Food Reviews International*. Roč. 2023, č. Volume 39. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1928692>. [cit. 2025-04-19].

ANBERBIR, Sofonyas M.; SATHEESH, Neela; ABERA, Agimassie A.; KASSA, Messenbet G.; TENAGASHAW, Mefin W. et al., 2024. Evaluation of nutritional composition, functional and pasting properties of pearl millet, teff, and buckwheat grain composite flour. Online. *Applied Food Research*. Roč. 2024, č. vol. 4, 1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100390>. [cit. 2025-05-01].

ANTOINE, Johann M.R.; HOO FUNG, Leslie A.; GRANT, Charles N.; DENNIS, Haile T. a LALOR, Gerald C., 2012. Dietary intake of minerals and trace elements in rice on the Jamaican market. Online. *Journal of Food Composition and Analysis*. Roč. 2012, č. 26. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.01.003>. [cit. 2025-04-19].

ARENDT, Elke K. a ZANNINI, Emanuele, 2013. *Cereal grains for the food and beverage industries*. Online. Woodhead publishing series in food science, technology and nutrition. Philadelphia, PA: Woodhead Pub. ISBN 978-0-85709-892-4. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/natl-ebooks/detail.action?docID=1575058>. [cit. 2025-03-23].

ATSDR, 2022. *Substance Priority List*. Online. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Dostupné z: <https://www.atsdr.cdc.gov/programs/substance-priority-list.html>. [cit. 2025-04-21].

AZIZ, Aniq; AKRAM, Nudrat Aisha a ASHRAF, Muhammad, 2018. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. Online. *Plant Physiology and Biochemistry*. Roč. 2018, č. vol. 123, s. 192-203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.004>. [cit. 2025-05-01].

BERK, Zeki, 1992. *Technology of Production of Edible Flours and Protein Products from Soybeans*. Online. FAO Agrocultural Services Bulletin. Rome: United Nations. ISBN 92-510-3118-5. Dostupné z: <https://www.fao.org/4/t0532e/t0532e00.htm>. [cit. 2025-04-06].

BJØRKLUND, Geir; AASETH, Jan; SKALNY, Anatoly V.; SULIBURSKA, Joanna; SKALNAYA, Margarita G. et al., 2017. Interactions of iron with manganese, zinc, chromium, and selenium as related to prophylaxis and treatment of iron deficiency. Online. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. Roč. 2017, č. Volume 41. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.02.005>. [cit. 2025-04-19].

BULKOVÁ, Věra, 2011. *Rostlinné potraviny*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů. ISBN 978-80-7013-532-7. Dostupné také z: http://toc.nkp.cz/NKC/201106/contents/nkc20112194219_1.pdf.

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

ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, 2023. ČSN EN ISO 2171 (461019), *Obiloviny, luštěniny a výrobky z nich - Stanovení obsahu popela spalováním*. 2023.

ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, 2025. ČSN EN ISO 712-1 (461014), *Obiloviny a výrobky z obilovin - Stanovení vlhkosti - Část 1: Referenční metoda*. 2025.

ČESKO, 1997. *Vyhláška č. 329/1997 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí §18 písm. a), d), h), i), j) a k) zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro škrob a výrobky ze škrobu, luštěniny a olejnatá semena*. Online. *Zákony pro lidi*. 1997. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-329/zneni-20140101>. [cit. 2025-03-16].

ČESKO, 2020. *Vyhláška č. 18/2020 Sb. o požadavcích na mlýnské obilné výrobky, těstoviny, pekařské výrobky a cukrářské výrobky a těsta*. Online. *Zákony pro lidi*. 2020. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-18/zneni-20200201>. [cit. 2025-03-14].

DU, Yongzhen; XIA, Yu; XU, Tong; HU, Haojie; HE, Yujiao et al., 2024. Selenoprotein o as a regulator of macrophage metabolism in selenium deficiency-induced lung inflammation. Online. *International Journal of Biological Macromolecules*. Roč. 2024, č. Volume 281. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.136232>. [cit. 2025-04-20].

EDDE, Peter A., 2021. *Field Crop Arthropod Pests of Economic Importance*. Online. Academic Press. ISBN 978-0-12-818621-3. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2018-0-04342-X>. [cit. 2025-04-03].

European Food Safety Authority: Lead dietary exposure in the European population, 2012. Online. *EFSA Journal*. Roč. 2012, č. 10(7):2831. Dostupné z: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2831>. [cit. 2025-04-18].

European Food Safety Authority: Update of the risk assessment of nickel in food and drinking water, 2020. Online. *EFSA Journal*. 18. Roč. 2020. Dostupné z: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6268>. [cit. 2025-04-18].

Evaluation of certain food additives: sixty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2009. Online. WHO technical report series. Geneva: World Health Organization. ISBN 978-92-4-120952-6. Dostupné z: <https://1url.cz/MJz2O>. [cit. 2025-04-18].

Evaluation of certain contaminants in food: seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2011. Online. WHO technical report series. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 978-92-4-120959-5. [cit. 2025-04-18].

Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2011. Online. No. 966. WHO technical report series. Geneva: World Health Organization. ISBN 978-92-4-120966-3. [cit. 2025-04-18].

Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2013. Online. WHO Technical Report Series. Geneva: World Health Organization. ISBN 978-92-4-120983-0. [cit. 2025-04-18].

FILIPPINI, Tommaso; TANCREDI, Stefano; MALAGOLI, Carlotta; CILLONI, Silvia; MALAVOLTI, Marcella et al., 2019. Aluminum and tin: Food contamination and dietary intake in an Italian population. Online. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. Roč. 2019, č. Volume 52. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.01.012>. [cit. 2025-04-20].

GIMÉNEZ-BASTIDA, Juan Antonio a ZIELIŃSKI, Henryk, 2015. Buckwheat as a Functional Food and Its Effects on Health. Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Roč. 2015, č. Vol. 63. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02498>. [cit. 2025-04-05].

HADRUP, Niels; SHARMA, Anoop K.; LOESCHNER, Katrin a JACOBSEN, Nicklas R., 2020. Pulmonary toxicity of silver vapours, nanoparticles and fine dusts: A review. Online. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. Roč. 2020, č. vol. 115. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104690>. [cit. 2025-04-21].

HEWLINGS, Susan a KALMAN, Douglas, 2019. Sulfur and Human Health. Online. *EC Nutrition*. Roč. 2019, č. 14.9. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/335653705_Sulfur_and_Human_Health. [cit. 2025-04-16].

HRABĚ, Jan; BUŇKA, František a HOZA, Ignác, 2007. *Technologie výroby potravin rostlinného původu: pro kombinované studium*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7318-520-6.

HU, Chengshen; WONG, Wing-Tak; WU, Runyu a LAI, Wing-Fu, 2019. Biochemistry and use of soybean isoflavones in functional food development. Online. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Č. Volume 60 (12). Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1630598>. [cit. 2025-04-05].

CHAUDHARY, Neha; WALIA, Swati a KUMAR, Rakesh, 2023. Functional composition, physiological effect and agronomy of future food quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review. Online. *Journal of Food Composition and Analysis*. Roč. 2023, č. vol. 118. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105192>. [cit. 2025-05-01].

CHAUHAN, Deepti; GUJRAL, Hardeep Singh; PERERA, Dilini a DHITAL, Sushil, 2024. Flaking of millets and its impact on bioactivity, pasting, digestibility, structural and thermal properties. Online. *Food Chemistry*. Roč. 2024, č. vol. 458. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140240>. [cit. 2025-04-21].

IKEM, Abua; ODUMOSU, Patricia O. a UDOUSORO, Imaobong, 2023. Elemental composition of cereal grains and the contribution to the dietary intake in the Nigerian population. Online. *Journal of Food Composition and Analysis*. Roč. 2023, č. Volume 118. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105207>. [cit. 2025-04-20].

INSTITUTE OF MEDICINE, 1997. *Dietary Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride*. Online. Washington, DC, USA: National Academies Press. Dostupné z: <https://doi.org/10.17226/5776>. [cit. 2025-04-18].

INSTITUTE OF MEDICINE, 2000. *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*. Online. Washington, DC, USA: The National Academy Press. Dostupné z: <https://doi.org/10.17226/9810>. [cit. 2025-04-18].

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*. Online. Washington, DC, USA: The National Academy Press. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222310/>. [cit. 2025-04-18].

INSTITUTE OF MEDICINE, 2005. *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate*. Online. Washington, DC, USA: The National Academy Press. Dostupné z: <https://nap.nationalacademies.org/read/10925/chapter/1>. [cit. 2025-04-18].

JAN, Nusrat; HUSSAIN, Syed Zameer; NASEER, Bazila a BHAT, Tashooq A., 2023. Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: A review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors. Online. *Food Chemistry*: X. Roč. 2023, č. vol. 18. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100687>. [cit. 2025-05-01].

JOKINEN, Iina; SILVENTOINEN-VEIJALAINEN, Pia; LILLE, Martina; NORDLUND, Emilia a HOLOPAINEN-MANTILA, Ulla, 2022. Variability of carbohydrate composition and pasting properties of oat flakes and oat flours produced by industrial oat milling process – Comparison to non-heat-treated oat flours. Online. *Food Chemistry*. Roč. 2023, č. Vol 405. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814622028643>. [cit. 2025-03-16].

JOOYANDEH, Hossein, 2011. Soy Products as Healthy and Functional Foods. Online. *Middle-East Journal of Scientific Research*. Roč. 2011, č. 7 (1). Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/284893010_Soy_products_as_healthy_and_functional_foods. [cit. 2025-04-05].

KAUR, Sukhdeep; BHARDWAJ, Rachana D.; KAPOOR, Rahul a KAUR GREWAL, Satvir, 2019. Biochemical characterization of oat (*Avena sativa* L.) genotypes with high nutritional potential. Online. *LWT - Food Science and Technology*. Roč. 2019, č. Volume 110, s. 32-39. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819303755>. [cit. 2025-03-16].

KIEWLICZ, Justyna a RYBICKA, Iga, 2020. Minerals and their bioavailability in relation to dietary fiber, phytates and tannins from gluten and gluten-free flakes. Online. *Food Chemistry*. Roč. 2020, č. Volume 305. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125452>. [cit. 2025-04-16].

KOUBOVÁ, Eva; SUMCZYNSKI, Daniela; ŠENKÁROVÁ, Lenka; ORSAVOVÁ, Jana a FIŠERA, Miroslav, 2018. Dietary Intakes of Minerals, Essential and Toxic Trace Elements for Adults from *Eragrostis tef* L.: A Nutritional Assessment. Online. *Nutrients*. Roč. 2018, č. 10. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/nu10040479>. [cit. 2025-04-06].

KUČEROVÁ, Jindřiška, 2016. *Technologie cereálií*. Druhé přepracované vydání. Brno: Vydavatelství Mendelovy univerzity. ISBN 978-80-7509-442-1.

LAUS, Maura N.; CATALDI, Mariagrazia P.; ROBBE, Carlo; D'AMBROSIO, Tiziana; AMODIO, Maria L. et al., 2017. Antioxidant Capacity, Phenolic and Vitamin C Contents of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as Affected by Sprouting and Storage Conditions. Online. *Italian Journal of Agronomy*. Roč. 2017, č. vol. 12, 1. Dostupné z: <https://doi.org/10.4081/ija.2017.816>. [cit. 2025-05-01].

LEMMENS, Elien; DELEU, Lomme J.; DE BRIER, Niels; SMOLDERS, Erik a DELCOUR, Jan A., 2021. Mineral bio-accessibility and intrinsic saccharides in breakfast flakes manufactured from sprouted wheat. Online. *LWT*. Roč. 2021, č. vol. 143. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111079>. [cit. 2025-04-22].

LESZCZYŃSKA, Danuta; WIRKIJOWSKA, Anna; GASIŃSKI, Alan; ŚREDNICKA-TOBER, Dominika; TRAFIAŁEK, Joanna et al., 2023. Oat and Oat Processed Products—Technology, Composition, Nutritional Value, and Health. Online. *Applied Sciences*. Roč. 2023, č. 13(20). Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app132011267>. [cit. 2025-04-06].

LIU, Sishuo; LIN, Tingting; WANG, Wenguang; JING, Fangyuan a SHENG, Jinghao, 2024. Selenium deficiency in inflammatory bowel disease: A comprehensive meta-analysis. Online. *Heliyon*. Roč. 2024, č. Volume 10. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40139>. [cit. 2025-04-20].

LOWE, Nicola M; HALL, Andrew G; BROADLEY, Martin R; FOLEY, Jennifer; BOY, Erick et al., 2024. Preventing and Controlling Zinc Deficiency Across the Life Course: A Call to Action. Online. *Advances in Nutrition*. Roč. 2024, č. Volume 15. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100181>. [cit. 2025-04-19].

MANZOOR, Muhammad Faisal; ALI, Anwar; AIN, Huma Badar Ul; KAUSAR, Samina; KHALIL, Anees Ahmed et al., 2024. Bioaccessibility mechanisms, fortification strategies, processing impact on bioavailability, and therapeutic potentials of minerals in cereals. Online. *Future Foods*. Roč. 2024, č. Volume 10. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100425>. [cit. 2025-04-18].

MONTANHA, Gabriel Sgarbiero; PEREZ, Lucas Coan; BRANDÃO, Julia Rossatto; FERRAZ DE CAMARGO, Rachel; TAVARES, Tiago Rodrigues et al., 2024. Profile of mineral nutrients and proteins in soybean seeds (*Glycine max* (L.) Merrill): Insights from 95 varieties cultivated in Brazil. Online. *Journal of Food Composition and Analysis*. Č. Volume 134. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106536>. [cit. 2025-04-03].

MOTA, Carla; NASCIMENTO, Ana Cláudia; SANTOS, Mariana; DELGADO, Inês; COELHO, Inês et al., 2016. The effect of cooking methods on the mineral content of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus* sp.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). Online. *Journal of Food Composition and Analysis*. Roč. 2016, č. Volume 49. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.02.006>. [cit. 2025-04-16].

MUJOO, R.; CHANDRASHEKAR, A. a ZAKI UDDIN ALI, S., 1998. Rice Protein Aggregation During the Flaking Process. Online. *Journal of Cereal Science*. Roč. 1998, č. vol. 28, 2, s. 187-195. Dostupné z: <https://doi.org/10.1006/jcrs.1998.0199>. [cit. 2025-04-24].

NANDAN, Alisha; KOIRALA, Pankaj; DUTT TRIPATHI, Abhishek; VIKRANTA, Urvashi; SHAH, Kartik et al., 2024. Nutritional and functional perspectives of pseudocereals. Online. *Food Chemistry*. Roč. 2024, č. vol. 448. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139072>. [cit. 2025-04-21].

NEKVAPIL, Jiří; VILIŠOVÁ, Karolína; PETŘÍK, Zdeněk; YALÇIN, Erkan; FIŠERA, Miroslav et al., 2025. The ICP-MS Study on the Release of Toxic Trace Elements from the Non-Cereal Flour Matrixes After In Vitro Digestion and Metal Pollution Index Evaluation. Online. *Foods*. Roč. 2025, č. 14(8). Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods14081350>. [cit. 2025-04-17].

PAIVA, Esther Lima de; ALI, Sher; REIS VASCO, Elsa; ALVITO, Paula Cristina a OLIVEIRA, Carlos Augusto Fernandes de, 2023. Bioaccessibility data of potentially toxic elements in complementary foods for infants: A review. Online. *Food Research*

International. Roč. 2023, č. Volume 174. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113485>. [cit. 2025-04-20].

PALLAS, L., 2016. Rice Processing: Beyond the Farm Gate. Online. *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)*. Roč. 2013, č. Volume 3, s. 446-452. ISBN 9780123947864. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00169-8>. [cit. 2025-04-24].

PREECE, K.E.; HOOSHYAR, N. a ZUIDAM, N.J., 2017. Whole soybean protein extraction processes: A review. Online. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Roč. 2017, č. Volume 43. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.024>. [cit. 2025-04-06].

PROCHÁZKA, Ivan, 2009. *Oves setý - zrno*. Online. In: BioLib.cz. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/image/id89148/>. [cit. 2025-04-24].

PŘÍHODA, Josef; SKŘIVAN, Pavel a HRUŠKOVÁ, Marie, 2004. *Cereální chemie a technologie I: cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin*. Online. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 80-7080-530-7. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-530-7/pages-pdf/001.html. [cit. 2025-03-16].

RYBICKA, Iga a GLISZCZYNSKA-SWIGŁO, Anna, 2017. Minerals in grain gluten-free products. The content of calcium, potassium, magnesium, sodium, copper, iron, manganese, and zinc. Online. *Journal of Food Composition and Analysis*. Roč. 2017, č. 59. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.006>. [cit. 2025-04-16].

SERNA-SALDIVAR, Sergio O., 2010. *Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes*. Online. CRC Press. ISBN 9780429112119. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781439882092>. [cit. 2025-04-06].

SEYOUM, Moges Kebede; FAYISSA, Girma Regassa a GELETA, Girma Selale, 2024. Comparative assessment of levels and dietary intake of mineral nutrients and toxic metals in different varieties of teff from Hidabu Abote, Ethiopia. Online. *Food Chemistry Advances*. Roč. 2024, č. vol. 4. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100713>. [cit. 2025-05-01].

SHARMA, Paras; GUJRAL, Hardeep Singh a SINGH, Baljeet, 2012. Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. Online. *Food Chemistry*. Roč. 2012, č. vol. 131,

4, s. 1406-1413. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.009>. [cit. 2025-04-22].

SUMCZYNSKI, Daniela; KOUBOVÁ, Eva; ŠENKÁROVÁ, Lenka a ORSAVOVÁ, Jana, 2018. Rice flakes produced from commercial wild rice: Chemical compositions, vitamin B compounds, mineral and trace element contents and their dietary intake evaluation. Online. *Food Chemistry*. Roč. 2018, č. Volume 264. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.061>. [cit. 2025-04-06].

SUMCZYNSKI, Daniela; FIŠERA, Miroslav; SALEK, Richardos Nikolaos a ORSAVOVÁ, Jana, 2023. The Effect of Flake Production and In Vitro Digestion on Releasing Minerals and Trace Elements from Wheat Flakes: The Extended Study of Dietary Intakes for Individual Life Stage Groups. Online. *Nutrients*. Roč. 2023, č. 15 (11). Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/nu15112509>. [cit. 2025-04-06].

ŠŤASTNÁ, Kristýna; SUMCZYNSKI, Daniela a YALCIN, Erkan, 2021. Nutritional Composition, In Vitro Antioxidant Activity and Phenolic Profile of Shortcrust Cookies Supplemented by Edible Flowers. Online. *Foods*. Roč. 2021, č. 10(11). Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/11/2531>. [cit. 2025-03-16].

TAO, Jincai; WAN, Chenxi; LENG, Jiajun; DAI, Shuangrong; WU, Yixin et al., 2023. Effects of biochar coupled with chemical and organic fertilizer application on physicochemical properties and in vitro digestibility of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) starch. Online. *International Journal of Biological Macromolecules*. Roč. 2023, č. vol. 246. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125591>. [cit. 2025-04-21].

TRAN, Nga L.; BARRAJ, Leila M.; SCRAFFORD, Carolyn; BI, Xiaoyu a TROXELL, Terry, 2015. Partitioning of Dietary Metal Intake—A Metal Dietary Exposure Screening Tool. Online. *Risk Analysis*. Roč. 2015, č. Volume 35, s. 872-881. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/risa.12322>. [cit. 2025-04-18].

U.S. Environmental Protection Agency. Online. *Integrated Risk Information System (IRIS): Silver; CASRN 7440-22-4*. Dostupné z: https://iris.epa.gov/static/pdfs/0099_summary.pdf. [cit. 2025-04-18].

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1985. *Guidelines for the study of dietary intakes of chemical contaminants*. Online. No. 87. Geneva, Switzerland: WHO Offset Publication. ISBN 92-417-0087-4. Dostupné

z: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/39255/WHO_OFFSET_87.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [cit. 2025-04-18].

ZAMUDIO, Francisco Valenzuela; HERRERA, Rafael Rojas a SEGURA CAMPOS, Maira Rubi, 2024. Unlocking the potential of amaranth, chia, and quinoa to alleviate the food crisis: a review. Online. *Current Opinion in Food Science*. Roč. 2024, č. Volume 57. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101149>. [cit. 2025-04-06].

ZHU, Fan, 2018. Chemical composition and food uses of teff (*Eragrostis tef*). Online. *Food Chemistry*. Roč. 2018, č. vol. 239, s. 402-415. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.101>. [cit. 2025-04-22].

ZVĚŘINA, Ondřej; KUTA, Jan; COUFALÍK, Pavel; KOSEČKOVÁ, Pavlína a KOMÁREK, Josef, 2019. Simultaneous determination of cadmium and iron in different kinds of cereal flakes using high-resolution continuum source atomic absorption spectrometry. Online. *Food Chemistry*. Roč. 2019, č. Volume 298. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125084>. [cit. 2025-04-16].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Oves setý – zrno (Zdroj: Procházka, 2009).....	17
Obrázek 2 Pohanka setá – zrno (Foto: Karolína Vilišová)	20
Obrázek 3 Merlík chilský – zrno (Foto: Karolína Vilišová).....	21
Obrázek 4 Schéma výroby ovesných vloček (Zdroj: Burešová a Lorencová, 2013; Jokinen et al., 2022; Příhoda et al., 2004; Serna-Saldivar, 2010)	27
Obrázek 5 Vzorek ovesných vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí (Foto: Karolína Vilišová).....	33
Obrázek 6 Vzorek sójových vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí (Foto: Karolína Vilišová).....	34
Obrázek 7 Vzorek pohankových vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí (Foto: Karolína Vilišová).....	34
Obrázek 8 Vzorek quinoa vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí (Foto: Karolína Vilišová).....	35
Obrázek 9 Vzorek amarantových vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí (Foto: Karolína Vilišová).....	35
Obrázek 10 Vzorek teffových vloček – vlevo před mletím, vpravo po rozemletí (Foto: Karolína Vilišová).....	36
Obrázek 11 Koncentrace makrobiogenních prvků v nativních bezlepkových vločkách.....	48
Obrázek 12 Koncentrace makrobiogenních prvků Na a S v nativních bezlepkových vločkách	48
Obrázek 13 Koncentrace mikrobiogenních prvků v nativních bezlepkových vločkách.....	49
Obrázek 14 Koncentrace stopových prvků v nativních bezlepkových vločkách.....	50
Obrázek 15 Koncentrace stopových prvků v nativních bezlepkových vločkách.....	51
Obrázek 16 Koncentrace stopových prvků v nativních bezlepkových vločkách.....	51
Obrázek 17 Koncentrace stopových prvků v nativních bezlepkových vločkách.....	52
Obrázek 18 Koncentrace stopových prvků v nativních bezlepkových vločkách.....	52
Obrázek 19 Koncentrace toxických stopových prvků v nativních bezlepkových vločkách.....	54
Obrázek 20 Retence minerálních a stopových prvků v ovesných vločkách.....	57
Obrázek 21 Retence minerálních a stopových prvků v sójových vločkách.....	58
Obrázek 22 Retence minerálních a stopových prvků v pohankových vločkách.....	59
Obrázek 23 Retence minerálních a stopových prvků v quinoa vločkách	60
Obrázek 24 Retence minerálních a stopových prvků v amarantových vločkách	61
Obrázek 25 Retence minerálních a stopových prvků v teffových vločkách.....	62
Obrázek 26 Denní hladina příjmu [%] esenciálních prvků v ovesných vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.....	67

- Obrázek 27 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v sójových vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.....67
- Obrázek 28 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v pohankových vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.....67
- Obrázek 29 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v quinoa vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.....68
- Obrázek 30 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v amarantových vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.....68
- Obrázek 31 Denní hladina příjmů [%] esenciálních prvků v teffových vločkách v poměru k RDA hodnotě. S hvězdičkou uveden denní příjem v poměru k hodnotě AI pro K, Na, Mn a Cr.....68

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Výsledky stanovení sušiny a popela	44
Tabulka 2 Výsledky stanovení stravitelnosti	45
Tabulka 3 Výsledky stanovení příjmů k hodnotám PTWI/PTMI* pro Al, Sn, Hg a Cd*, TDI/RfD* pro Ni, As a Ag* v bezlepkových vločkách	73
Tabulka 4 Výsledky výpočtu hodnot MoE pro olovo	74

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AI	Adekvátní příjem
ASTDR	Agentura pro registr toxických látek a nemocí (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
BMDL	(Benchmark Dose Lower Limit)
BW	Průměrná tělesná hmotnost (Body weight averages)
ČSN	České technické normy
DE _{bw}	Odhadovaná hodnota expozice
DMD	Stravitelnost sušiny (Dry Matter Digestibility)
EFSA	Evropský úřad pro bezpečnost potravin (European Food Safety Authority)
FAO	Organizace pro výživu a zemědělství (Food and Agriculture Organization)
ICP-MS	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plasmatem (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)
MoE	Poměr expozice (Margin of exposure)
ND	Nezjištěno
OMD	Stravitelnost organické hmoty (Organic Matter Digestibility)
PTMI	Prozatimní tolerovatelný měsíční příjem
PTWI	Prozatimní tolerovatelný týdenní příjem
RDA	Referenční hodnota příjmu
RF	Retenční faktor
RfD	Referenční dávka
SD	Směrodatná odchylka
SPL	Seznam prioritních látek (Substance Priority List)
TDI	Tolerovatelný denní příjem
WHO	Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výsledky stanovení minerálních a stopových prvků v ovesných vločkách

Příloha P II: Výsledky stanovení minerálních a stopových prvků v sójových vločkách

Příloha P III: Výsledky stanovení minerálních a stopových prvků v pohankových vločkách

Příloha P IV: Výsledky stanovení minerálních a stopových prvků v quinoa vločkách

Příloha P V: Výsledky stanovení minerálních a stopových prvků v amarantových vločkách

Příloha P VI: Výsledky stanovení minerálních a stopových prvků v teffových vločkách

Příloha P VII: Výsledky stanovení příspěvků konzumace vloček k hodnotám RDA, AI* minerálních a stopových prvků

**PŘÍLOHA P I: VÝSLEDKY STANOVENÍ MINERÁLNÍCH A
STOPOVÝCH PRVKŮ V OVESNÝCH VLOČKÁCH**

Ovesné vločky bezlepkové							
Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
	Koncentrace [ng/g]	Koncentrace [ng/g]			Koncentrace [μg/g]	Koncentrace [μg/g]	
⁷ Li	49,1	85,3	11	¹¹ B	0,13	0,59	28
⁹ Be	0,13	0,24	12	²³ Na	0,81	0,81	6
⁴⁰ Ca	122	152	8	²⁷ Al	1,75	1,16	4
⁴⁵ Sc	46,3	114	16	³¹ P	74,4	31,0	3
⁵¹ V	3,08	18,0	37	³² S	3,59	4,88	9
⁵² Cr	73,7	70,1	6	⁴⁸ Ti	0,89	1,33	9
⁵⁹ Co	8,49	19,6	15	⁵⁵ Mn	12,0	1,30	1
⁷¹ Ga	8,25	2,26	2	⁵⁷ Fe	3,09	4,02	8
⁷³ Ge	2,70	8,28	19	⁶⁰ Ni	0,88	0,30	2
⁷⁵ As	1,29	1,45	7	⁶³ Cu	2,18	2,03	6
⁸² Se	7,74	17,5	14	⁶⁶ Zn	2,25	1,72	5
⁸⁹ Y	0,37	1,16	20	⁸⁸ Sr	0,78	0,45	4
⁹⁰ Zr	4,01	3,07	5	⁹⁵ Mo	0,23	0,23	6
¹⁰³ Rh	0,15	0,12	5	¹³⁷ Ba	0,08	0,07	6
¹⁰⁷ Ag	0,45	1,36	19	²⁰² Hg	0,21	0,16	5
¹¹¹ Cd	5,55	4,05	5				
¹¹⁵ In	ND	ND	ND				
¹¹⁸ Sn	11,5	30,4	17	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
¹²¹ Sb	2,80	20,7	47		Koncentrace [mg/g]	Koncentrace [mg/g]	
¹³³ Cs	5,27	0,27	0	²⁴ Mg	0,36	0,02	0
¹⁴⁰ Ce	0,35	0,13	2		³⁹ K	0,26	0,02
¹⁵⁹ Tb	0,01	0,04	25				
¹⁶⁵ Ho	0,01	0,01	6				
¹⁸¹ Ta	0,18	0,08	3				
²⁰⁵ Tl	0,43	0,05	1				
²⁰⁸ Pb	17,7	71,5	25				
²⁰⁹ Bi	ND	ND	ND				
²³⁸ U	ND	ND	ND				

PŘÍLOHA P II: VÝSLEDKY STANOVENÍ MINERÁLNÍCH A STOPOVÝCH PRVKŮ V SÓJOVÝCH VLOČKÁCH

Sójové vločky							
Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
	Koncentrace [ng/g]	Koncentrace [ng/g]			Koncentrace [μg/g]	Koncentrace [μg/g]	
⁷ Li	44,5	61,4	16	¹¹ B	3,31	1,58	6
⁹ Be	0,05	0,09	21	²³ Na	0,36	0,14	5
⁴⁰ Ca	241	208	10	²⁷ Al	3,88	0,63	2
⁴⁵ Sc	39,1	39,9	12	³¹ P	105	25,7	3
⁵¹ V	10,1	5,73	7	³² S	3,53	3,56	12
⁵² Cr	172	42,4	3	⁴⁸ Ti	2,64	2,22	10
⁵⁹ Co	30,2	9,35	4	⁵⁵ Mn	6,38	0,37	1
⁷¹ Ga	11,6	2,31	2	⁵⁷ Fe	5,08	2,58	6
⁷³ Ge	1,30	1,14	10	⁶⁰ Ni	2,84	0,19	1
⁷⁵ As	4,29	1,34	4	⁶³ Cu	4,38	3,68	10
⁸² Se	15,8	10,1	8	⁶⁶ Zn	2,94	1,29	5
⁸⁹ Y	0,92	0,70	9	⁸⁸ Sr	1,39	2,78	24
⁹⁰ Zr	1,17	13,3	1	⁹⁵ Mo	1,03	0,07	1
¹⁰³ Rh	0,32	0,60	22	¹³⁷ Ba	0,12	0,23	23
¹⁰⁷ Ag	ND	ND	ND	²⁰² Hg	0,13	0,12	11
¹¹¹ Cd	24,2	5,25	3				
¹¹⁵ In	ND	ND	ND				
¹¹⁸ Sn	0,87	0,83	11	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
¹²¹ Sb	0,88	2,25	30		Koncentrace [mg/g]	Koncentrace [mg/g]	
¹³³ Cs	8,51	0,26	0	²⁴ Mg	0,51	0,01	0
¹⁴⁰ Ce	3,06	0,56	2				
¹⁵⁹ Tb	0,07	0,04	7	³⁹ K	0,73	0,04	1
¹⁶⁵ Ho	0,06	0,03	6				
¹⁸¹ Ta	0,06	0,10	20				
²⁰⁵ Tl	0,25	0,04	2				
²⁰⁸ Pb	19,8	18,0	11				
²⁰⁹ Bi	ND	ND	ND				
²³⁸ U	ND	ND	ND				

PŘÍLOHA P III: VÝSLEDKY STANOVENÍ MINERÁLNÍCH A STOPOVÝCH PRVKŮ V POHANKOVÝCH VLOČKÁCH

Pohankové vločky							
Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
	Koncentrace [ng/g]	Koncentrace [ng/g]			Koncentrace [μg/g]	Koncentrace [μg/g]	
⁷ Li	44,3	71,8	7	¹¹ B	1,23	0,65	2
⁹ Be	0,23	0,11	2	²³ Na	0,33	1,01	14
⁴⁰ Ca	92,8	155	8	²⁷ Al	1,52	2,00	6
⁴⁵ Sc	26,1	43,1	7	³¹ P	84,0	25,6	1
⁵¹ V	3,20	39,8	56	³² S	3,70	4,30	5
⁵² Cr	96,9	57,0	3	⁴⁸ Ti	0,60	1,54	12
⁵⁹ Co	25,0	14,4	3	⁵⁵ Mn	5,97	1,03	1
⁷¹ Ga	8,72	2,09	1	⁵⁷ Fe	2,26	5,60	11
⁷³ Ge	1,28	4,50	16	⁶⁰ Ni	0,27	0,10	2
⁷⁵ As	0,38	1,22	14	⁶³ Cu	2,43	4,24	8
⁸² Se	2,16	3,80	8	⁶⁶ Zn	2,16	1,37	3
⁸⁹ Y	1,46	3,57	11	⁸⁸ Sr	0,32	1,25	18
⁹⁰ Zr	1,98	4,82	11	⁹⁵ Mo	0,27	1,24	21
¹⁰³ Rh	0,13	0,27	9	¹³⁷ Ba	0,01	0,11	50
¹⁰⁷ Ag	6,15	52,0	38	²⁰² Hg	0,15	0,15	5
¹¹¹ Cd	7,55	12,7	8				
¹¹⁵ In	ND	ND	ND				
¹¹⁸ Sn	2,29	1,08	2	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
¹²¹ Sb	1,02	2,74	12		Koncentrace [mg/g]	Koncentrace [mg/g]	
¹³³ Cs	4,21	0,15	0				
¹⁴⁰ Ce	1,70	3,45	9		²⁴ Mg	0,66	0,02
¹⁵⁹ Tb	0,04	0,10	11	³⁹ K	0,36	0,03	0
¹⁶⁵ Ho	0,05	0,13	12				
¹⁸¹ Ta	0,06	0,07	5				
²⁰⁵ Tl	0,25	0,07	1				
²⁰⁸ Pb	7,97	27,7	16				
²⁰⁹ Bi	ND	ND	ND				
²³⁸ U	ND	ND	ND				

PŘÍLOHA P IV: VÝSLEDKY STANOVENÍ MINERÁLNÍCH A STOPOVÝCH PRVKŮ V QUINOA VLOČKÁCH

Vločky quinoa							
Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
	Koncentrace [ng/g]	Koncentrace [ng/g]			Koncentrace [μg/g]	Koncentrace [μg/g]	
⁷ Li	74,5	68,8	9	¹¹ B	1,10	0,48	4
⁹ Be	0,05	0,05	10	²³ Na	0,28	0,19	7
⁴⁰ Ca	114	204	17	²⁷ Al	0,22	0,39	17
⁴⁵ Sc	29,4	43,5	14	³¹ P	81,9	23,0	3
⁵¹ V	3,95	11,5	28	³² S	3,66	3,59	9
⁵² Cr	103	93,3	9	⁴⁸ Ti	0,82	2,08	24
⁵⁹ Co	23,3	20,4	8	⁵⁵ Mn	6,69	1,30	2
⁷¹ Ga	8,33	1,75	2	⁵⁷ Fe	3,22	4,20	13
⁷³ Ge	1,67	1,70	10	⁶⁰ Ni	0,10	0,26	25
⁷⁵ As	0,70	0,76	10	⁶³ Cu	2,09	2,04	9
⁸² Se	1,97	5,11	25	⁶⁶ Zn	2,03	1,46	7
⁸⁹ Y	0,24	2,24	90	⁸⁸ Sr	0,76	1,78	22
⁹⁰ Zr	2,11	2,21	10	⁹⁵ Mo	0,06	0,10	16
¹⁰³ Rh	0,14	0,26	18	¹³⁷ Ba	0,11	0,20	17
¹⁰⁷ Ag	ND	ND	ND	²⁰² Hg	0,13	0,72	53
¹¹¹ Cd	1,01	2,40	23				
¹¹⁵ In	ND	ND	ND				
¹¹⁸ Sn	1,56	0,49	3	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
¹²¹ Sb	0,36	0,70	18		Koncentrace [mg/g]	Koncentrace [mg/g]	
¹³³ Cs	2,42	0,28	1	²⁴ Mg	0,48	0,03	1
¹⁴⁰ Ce	0,80	1,44	17	³⁹ K	0,46	0,06	1
¹⁵⁹ Tb	0,01	0,06	58				
¹⁶⁵ Ho	0,01	0,06	58				
¹⁸¹ Ta	0,41	3,59	84				
²⁰⁵ Tl	2,94	0,07	0				
²⁰⁸ Pb	14,2	21,6	15				
²⁰⁹ Bi	ND	ND	ND				
²³⁸ U	ND	ND	ND				

PŘÍLOHA P V: VÝSLEDKY STANOVENÍ MINERÁLNÍCH A STOPOVÝCH PRVKŮ V AMARANTOVÝCH VLOČKÁCH

Amarantové vločky							
Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
	Koncentrace [ng/g]	Koncentrace [ng/g]			Koncentrace [μg/g]	Koncentrace [μg/g]	
⁷ Li	45,9	98,2	27	¹¹ B	1,03	0,42	5
⁹ Be	0,28	0,22	10	²³ Na	0,52	0,26	6
⁴⁰ Ca	259	422	21	²⁷ Al	2,24	1,24	7
⁴⁵ Sc	31,0	42,0	17	³¹ P	82,3	43,8	7
⁵¹ V	8,85	32,8	47	³² S	3,67	3,70	13
⁵² Cr	51,1	83,9	21	⁴⁸ Ti	2,69	4,91	23
⁵⁹ Co	63,2	44,1	9	⁵⁵ Mn	9,68	3,17	4
⁷¹ Ga	9,08	3,42	5	⁵⁷ Fe	4,47	5,15	15
⁷³ Ge	2,53	2,46	12	⁶⁰ Ni	0,12	0,25	27
⁷⁵ As	2,29	2,77	15	⁶³ Cu	2,07	2,29	14
⁸² Se	9,60	12,1	16	⁶⁶ Zn	2,57	1,81	9
⁸⁹ Y	1,24	3,50	36	⁸⁸ Sr	2,76	2,67	12
⁹⁰ Zr	ND	ND	ND	⁹⁵ Mo	0,11	0,18	21
¹⁰³ Rh	0,46	0,35	10	¹³⁷ Ba	0,15	0,23	20
¹⁰⁷ Ag	1,59	5,35	43	²⁰² Hg	0,14	0,21	19
¹¹¹ Cd	3,83	4,19	14				
¹¹⁵ In	ND	ND	ND				
¹¹⁸ Sn	22,6	4,81	3	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
¹²¹ Sb	0,10	0,09	11		Koncentrace [mg/g]	Koncentrace [mg/g]	
¹³³ Cs	24,5	1,61	1	²⁴ Mg	0,63	0,15	3
¹⁴⁰ Ce	2,29	1,81	10		³⁹ K	0,30	0,10
¹⁵⁹ Tb	0,07	0,11	20				
¹⁶⁵ Ho	0,06	0,12	26				
¹⁸¹ Ta	0,75	1,93	33				
²⁰⁵ Tl	0,12	0,16	17				
²⁰⁸ Pb	7,71	52,2	87				
²⁰⁹ Bi	ND	ND	ND				
²³⁸ U	ND	8,67	ND				

PŘÍLOHA P VI: VÝSLEDKY STANOVENÍ MINERÁLNÍCH A STOPOVÝCH PRVKŮ V TEFFOVÝCH VLOČKÁCH

Teffové vločky							
Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
	Koncentrace [ng/g]	Koncentrace [ng/g]			Koncentrace [μg/g]	Koncentrace [μg/g]	
⁷ Li	63,3	69,8	12	¹¹ B	0,24	0,11	5
⁹ Be	0,21	0,25	13	²³ Na	1,20	0,22	2
⁴⁰ Ca	261	573	24	²⁷ Al	7,62	5,70	8
⁴⁵ Sc	44,1	62,4	15	³¹ P	65,5	34,6	6
⁵¹ V	25,0	46,2	20	³² S	3,58	3,75	11
⁵² Cr	60,0	52,9	10	⁴⁸ Ti	2,65	5,41	22
⁵⁹ Co	16,3	27,4	18	⁵⁵ Mn	48,0	4,19	1
⁷¹ Ga	11,9	2,54	2	⁵⁷ Fe	3,84	6,31	18
⁷³ Ge	1,35	3,08	25	⁶⁰ Ni	1,46	0,34	3
⁷⁵ As	2,19	2,80	14	⁶³ Cu	2,03	2,66	14
⁸² Se	5,09	8,76	19	⁶⁶ Zn	2,35	1,58	7
⁸⁹ Y	4,31	6,47	16	⁸⁸ Sr	3,35	2,61	8
⁹⁰ Zr	1,73	0,41	3	⁹⁵ Mo	0,07	0,18	28
¹⁰³ Rh	0,55	0,47	9	¹³⁷ Ba	1,05	0,58	6
¹⁰⁷ Ag	2,16	16,3	82	²⁰² Hg	0,12	0,15	14
¹¹¹ Cd	10,0	4,40	5				
¹¹⁵ In	ND	ND	ND				
¹¹⁸ Sn	ND	ND	ND	Minerální prvek	Nativní vzorek	Nestrávený podíl	Retence [%]
¹²¹ Sb	0,89	0,90	11		Koncentrace [mg/g]	Koncentrace [mg/g]	
¹³³ Cs	2,12	0,88	4				
¹⁴⁰ Ce	9,11	9,98	12				
¹⁵⁹ Tb	0,23	0,29	14	²⁴ Mg	0,40	0,04	1
¹⁶⁵ Ho	0,20	0,26	14	³⁹ K	0,29	0,07	3
¹⁸¹ Ta	0,50	1,02	22				
²⁰⁵ Tl	0,40	0,13	4				
²⁰⁸ Pb	19,0	47,4	27				
²⁰⁹ Bi	ND	ND	ND				
²³⁸ U	ND	14,0	ND				

**PŘÍLOHA P VII: VÝSLEDKY STANOVENÍ PŘÍSPĚVKŮ KONZUMACE VLOČEK K HODNOTÁM RDA, AI*
MINERÁLNÍCH A STOPOVÝCH PRVKŮ**

	Ovesné vločky			Sójové vločky			Pohankové vločky			Quinoa vločky			Amarantové vločky			Teffové vločky		
Analyt	Denní příjem	¹ RDA /AI*	¹ RDA /AI*	Denní příjem	¹ RDA /AI*	¹ RDA /AI*	Denní příjem	¹ RDA /AI*	¹ RDA /AI*	Denní příjem	¹ RDA /AI*	¹ RDA /AI*	Denní příjem	¹ RDA /AI*	¹ RDA /AI*	Denní příjem	¹ RDA /AI*	¹ RDA /AI*
	mg/g	(Ž) (%)	(M) (%)	mg/g	(Ž) (%)	(M) (%)	mg/g	(Ž) (%)	(M) (%)	mg/g	(Ž) (%)	(M) (%)	mg/g	(Ž) (%)	(M) (%)	mg/g	(Ž) (%)	(M) (%)
Mg	36	12	9	51	16	13	66	21	17	48	15	12	63	20	16	40	13	10
P	7,44	1	1	10,5	2	2	8,4	1	1	8,19	1	1	8,23	1	1	6,55	1	1
K*	26	1	1	73	2	2	36	1	1	46	1	1	30	1	1	29	1	1
Ca	0,0122	0	0	0,0241	0	0	0,00928	0	0	0,0114	0	0	0,0259	0	0	0,0261	0	0
Na*	0,081	0	0	0,036	0	0	0,033	0	0	0,028	0	0	0,052	0	0	0,12	0	0
Mn*	1,2	67	52	0,638	35	28	0,597	33	26	0,669	37	29	0,968	54	42	4,8	267	209
Fe	0,309	2	4	0,508	3	6	0,226	1	3	0,322	2	4	0,447	2	6	0,384	2	5
Cu	0,218	24	24	0,438	49	49	0,243	27	27	0,209	23	23	0,207	23	23	0,203	23	23
Zn	0,225	3	2	0,294	4	3	0,216	3	2	0,203	3	2	0,257	3	2	0,235	3	2
Cr*	0,00737	29	21	0,0172	69	49	0,00969	39	28	0,0103	41	29	0,00511	20	15	0,006	24	17
Mo	0,023	51	51	0,103	229	229	0,027	60	60	0,006	13	13	0,011	24	24	0,007	16	16
Se	0,000774	1	1	0,00158	3	3	0,000216	0	0	0,000197	0	0	0,00096	2	2	0,000509	1	1

¹Příspěvek 100 g bezlepkových vloček k RDA nebo AI