



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

VLIV KYSELINY FYTOVÉ NA STRAVITELNOST MINERÁLNÍCH LÁTEK A DALŠÍCH NUTRIENTŮ V ROSTLINNÝCH DOPLŇCÍCH STRAVY

INFLUENCE OF PHYTIC ACID ONN DIGESTIBILITY OF MINERAL COMPOUNDS AND OTHER NUTRIENTS
IN PLANT NUTRITION SUPPLEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Andrea Čulíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaromír Pořízka, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP2104/2024 Akademický rok: 2024/25
Ústav: Ústav fyzikální a spotřební chemie
Studentka: **Bc. Andrea Čulíková**
Studijní program: Chemie pro medicínské aplikace
Studijní obor: Procesy a materiály medicínských aplikací
Vedoucí práce: **Ing. Jaromír Pořízka, Ph.D.**

Název diplomové práce:

Vliv kyseliny fytové na stravitelnost minerálních látek a dalších nutrientů v rostlinných doplňcích stravy

Zadání diplomové práce:

1. Sepsat literární rešerši pojednávající o problematice významu kyseliny fytové v humánní výživě. Shrnout dostupné poznatky o vlivu kyseliny fytové na stravitelnost základních nutrientů s důrazem na minerální látky.
2. Testování migrace minerálních látek skrze modelové střevo v přítomnosti různých koncentrací kyseliny fytové in vitro
3. Testování vstřebatelnosti minerálních látek s reálnými matricemi doplňků stravy jako jsou proteinové izoláty in vitro
4. Analýza vzorků pomocí ICP–OES
5. Zpracování experimentálních dat a definování závěrů práce

Termín odevzdání diplomové práce: 12.5.2025:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Andrea Čulíková
studentka

Ing. Jaromír Pořízka, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 3.2.2025

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Kyselina fytová je antinutriční faktor přirozeně přítomný v rostlinných potravinách, kde ovlivňuje biologickou dostupnost minerálních látek a dalších nutrientů. Tato sloučenina tvoří nerozpustné komplexy s esenciálními minerálními látkami, jako je železo, zinek, vápník a hořčík, čímž snižuje jejich využitelnost v organismu.

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit vliv kyseliny fytové na stravitelnost minerálních látek nejen na základě literární rešerše, ale také pomocí experimentálních měření. V rámci experimentální části byly analyzovány vzorky rostlinných doplňků stravy, proteinové izoláty pocházející ze sóji, hrachu, rýže a konopí a následně otruby a protein připravený z těchto otrub z hlediska obsahu minerálních látek a kyseliny fytové. Byla simulována trávicí fáze in vitro a následně sledována vstřebatelnost minerálních látek v závislosti na koncentraci kyseliny fytové. K analýze byly použity metody komplexometrické titrace, ICP-OES a gravimetrie. Výsledky ukázaly, že vyšší koncentrace kyseliny fytové u některých vzorků výrazně snižují vstřebatelnost železa, zinku a vápníku. Železo nebylo u konopného proteinu, u kterého stanoven vysoký obsah kyseliny fytové, vstřebáno téměř vůbec, méně než 2 %, zatímco vstřebažené množství železa u hrachového proteinu s nižším obsahem kyseliny fytové bylo 33,6 %.

KLÍČOVÁ SLOVA

Antinutriční látky, kyselina fytová, minerální látky, nutrienty, vstřebatelnost, biologická dostupnost, in vitro simulace trávení, ICP-OES, proteinové izoláty, rostlinné doplňky stravy, železo, zinek, vápník, hořčík, draslík, mangan, sójový protein, protein z otrub, hrachový protein, konopný protein, rýžový protein, otruby

ABSTRACT

Phytic acid is an antinutritional factor naturally present in plant foods, where it affects the bioavailability of minerals and other nutrients. This compound forms insoluble complexes with essential minerals such as iron, zinc, calcium and magnesium, thereby reducing their availability in the body.

The purpose of this thesis was to evaluate the effect of phytic acid on mineral digestibility not only by literature search but also by experimental measurements. In the experimental part, samples of plant-based dietary supplements, protein isolates derived from soybean, pea, rice and hemp, and subsequently bran and protein prepared from these bran were analysed for mineral and phytic acid content. The in vitro digestion phase was simulated and the absorption of minerals was subsequently monitored as a function of phytic acid concentration. Complexometric titration, ICP-OES and gravimetric methods were used for the analysis. The results showed that higher concentrations of phytic acid in some samples significantly reduce the absorption of iron, zinc and calcium. Iron was not absorbed at all in hemp protein, which was found to have a high phytic acid content, less than 2%, and while the amount of iron absorbed in pea protein with a lower phytic acid content was 33.6%,

KEYWORDS

Antinutrients, phytic acid, mineral compound, nutrients, absorption, bioavailability, in vitro digestion simulation, ICP-OES, , protein isolates, plant-based dietary supplements, iron, zinc, calcium, magnesium, potassium, manganese, soy protein, bran protein, pea protein, hemp protein, rice protein, bran

ČULÍKOVÁ, Andrea. *Vliv kyseliny fytové na stravitelnost minerálních látek a dalších nutrientů v rostlinných doplňcích stravy*. Online, diplomová práce. Jaromír POŘÍZKA (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/164019>. [cit. 2025-02-21].

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou vypracovala samostatně a všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně odcitovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....

podpis studenta

Poděkování: Chtěla bych poděkovat vedoucímu této diplomové práce panu Ing. Jaromíru Pořízkovi, Ph.D., za odborné vedení a cenné rady. Dále bych ráda poděkovala Ing. Zuzaně Slavíkové, Ph.D. za rady, pomoc a čas, který mi věnovala. V neposlední řadě bych ráda poděkovala rodině a přátelům, kteří mi byli podporou jak po celou dobu studia, tak i při psaní této diplomové práce.

OBSAH

1 ÚVOD	8
2 TEORETICKÁ ČÁST	9
2.1 Nutriční látky v potravinách	9
2.1.1 Proteiny.....	10
2.1.2 Sacharidy.....	11
2.1.3 Lipidy.....	12
2.1.4 Minerální látky.....	14
2.1.5 Význam rostlinných doplňků stravy z pohledu obsahu nutrientů.....	17
2.2 Antinutriční látky	19
2.2.1 Kyselina fytová.....	20
2.2.2 Oxaláty.....	21
2.2.3 Taniny.....	22
2.2.4 Glukosinoláty.....	23
2.2.5 Vlákna.....	23
2.2.6 Strategie pro snižování účinků antinutričních látek.....	24
2.3 Vliv kyseliny fytové na minerální látky	25
2.3.1 Důsledky pro absorpci jednotlivých minerálních látek.....	25
2.4 Vliv kyseliny fytové na další nutrienty	27
2.4.1 Proteiny.....	27
2.4.2 Sacharidy.....	28
2.4.3 Lipidy.....	29
2.5 Analytické metody používané ke stanovení fytátů a fixační schopnosti kyseliny fytové	30
2.5.1 Metoda ICP OES.....	31
2.5.2 Komplexometrická titrace.....	32
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	34
3.1 Materiály a zařízení	34
3.1.1 Pomůcky.....	34
3.1.2 Chemikálie.....	34
3.1.3 Použité přístroje.....	34
3.1.4 Použité vzorky rostlinných doplňků.....	34
3.2 Stanovení koeficientu vaznosti mezi železitými ionty a kyselinou fytovou	35
3.3 Stanovení obsahu kyseliny fytové v rostlinných doplňcích stravy	35
3.4 Stanovení obsahu minerálních látek v rostlinných doplňcích stravy ...	36

3.5	Stanovení vlivu kyseliny fytové na vstřebatelnost minerálních látek ...	37
3.6	Stanovení vlivu kyseliny fytové na vstřebatelnost bílkovin	37
3.7	Vyhodnoce ní statistiky	38
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	39
4.1	Stanovení fixačního koeficientu mezi železitými ionty a kyselinou fytovou	39
4.2	Stanovení obsahu kyseliny fytové v rostlinných doplňcích stravy	40
4.3	Stanovení obsahu popela a minerálních látek v rostlinných doplňcích stravy	42
4.4	Stanovení vlivu kyseliny fytové na vstřebatelnost minerálních látek ...	46
4.5	Stanovení vlivu kyseliny fytové na vstřebatelnost bílkovin	53
5	ZÁVĚR.....	56
6	SEZNAM ZKRATEK.....	58
7	SEZNAM LITERATURY	59

1 ÚVOD

Výživa člověka je složitý a multidisciplinární obor, který zahrnuje výzkum biologických, chemických, fyziologických a technologických aspektů potravin a jejich složek. Pro správnou funkci organismu je klíčové nejen množství, ale i biologická dostupnost a stravitelnost jednotlivých živin, což se týká jak základních makronutrientů, tak i esenciálních minerálních látek a vitamínů. Tyto procesy jsou ovlivněny řadou faktorů, mezi nimiž významnou roli hrají přirozeně se vyskytující antinutriční látky. Jednou z nejvýznamnějších a nejvíce zkoumaných antinutričních látek je kyselina fytová (myo-inositol-1,2,3,4,5,6-hexafosfát), která se běžně vyskytuje v rostlinných tkáních. V rostlinách má kyselina fytová primárně zásobní funkci pro fosfor a podílí se na regulaci různých buněčných procesů, nicméně její přítomnost v potravinách může mít nepříznivý vliv pro výživu člověka.

V kontextu lidské výživy se kyselina fytová považuje za faktor, který může negativně ovlivnit metabolismus minerálních látek a dalších esenciálních nutrientů. Vytvářením nerozpustných fytátů s dvojmocnými a trojmocnými kationty, jako je železo, zinek, vápník či hořčík, kyselina fytová omezuje jejich absorpci v gastrointestinálním traktu, což může mít závažné důsledky pro zdraví. Nedostatek těchto minerálních látek může vést k různým zdravotním komplikacím, jako jsou anémie, osteoporóza, poruchy imunity či zpomalení růstu a kognitivního vývoje.

Z tohoto důvodu se problematika kyseliny fytové stala dlouhodobě předmětem intenzivního vědeckého výzkumu. Zvláštní pozornost je věnována vývoji potravinářských technologií, které by umožnily její eliminaci nebo alespoň snížení jejího obsahu v potravinách. Mezi tradiční přístupy, jako je fermentace, klíčení, namáčení nebo enzymatická hydrolyza pomocí fytáz, patří i novější a inovativní metody, které zahrnují aplikaci sorbentů. Tyto sorbenty dokážou selektivně odstraňovat kyselinu fytovou z potravinových matric, aniž by negativně ovlivnily nutriční profil potravin.

Cílem této diplomové práce je komplexní analýza vlivu kyseliny fytové na biologickou dostupnost minerálních látek a dalších nutrientů, přičemž důraz bude kladen na pochopení jejich chemických vlastností a interakcí s klíčovými složkami stravy. Předpokládá se, že přítomnost kyseliny fytové ve vybraných potravinových matricích významně snižuje biologickou dostupnost esenciálních minerálních látek, zejména jako jsou železo, zinek a vápník, a to v důsledku tvorby nerozpustných fytátových komplexů. Tato hypotéza bude zkoumána a zhodnocena.

2 TEORETICKÁ ČÁST

Již od útlého dětství jsme vystaveni opakovanému tvrzení, že konzumace velkého množství ovoce, zeleniny a luštěnin je klíčem ke zdravému životnímu stylu. Tyto potraviny jsou propagovány jako bohatý zdroj vitamínů, vlákniny a dalších prospěšných látek, přičemž jejich přirozený, minimálně technologicky zpracovaný charakter je považován za důkaz jejich zdravotní nezávadnosti a prospěšnosti. Avšak jen málokdy se zdůrazňuje skutečnost, že některé potraviny vyžadují určitou formu zpracování, aby z nich lidský organismus dokázal efektivně vstřebat minerální látky či jiné živiny v co nejvyšší možné míře. Příkladem mohou být luštěniny či obilniny, které obsahují antinutriční látky, jako je kyselina fytová, jež může snižovat biologickou dostupnost některých minerálních látek, například železa, zinku nebo vápníku. Správná příprava těchto potravin, například namáčení, fermentace či tepelná úprava, může výrazně zvýšit jejich nutriční význam a zajistit, že tělo z nich získá maximum prospěšných látek.[1]

V posledních letech došlo k výraznému nárůstu zájmu o zdravou výživu, přičemž internetové platformy se staly prostředím pro šíření různých nutričních doporučení. Často zde vystupují jednotlivci, kteří se sami označují za odborníky na výživu, přestože jejich znalosti nejsou podloženy vědeckým vzděláním či odbornou praxí. Svá tvrzení obvykle zakládají na osobní zkušenosti s konkrétním stravovacím režimem, přičemž předpokládají, že stejný přístup bude univerzálně účinný i pro ostatní jedince, bez zohlednění individuálních metabolických a fyziologických odlišností. Zatímco některým lidem může prospívat vysoký příjem syrové zeleniny a ovoce, jiní mohou mít kvůli s jejich trávením a vstřebáváním živin potíže.

Aby bylo možné si pro jedince správně nastavit vlastní stravovací návyky, je nezbytné nejen porozumět složení jednotlivých potravin, ale také pochopit jejich vzájemné interakce a další komplexní aspekty výživy. Kromě individuálních odlišností je třeba zohlednit i vědecky podložené poznatky o biochemii potravin a jejich vlivu na lidské zdraví. Pouhé následování populárních dietních trendů bez hlubšího pochopení principů výživy tak může vést spíše k nerovnováze a potenciálním zdravotním rizikům než ke skutečnému zlepšení zdraví a životní pohody.

2.1 Nutriční látky v potravinách

Při plánování výživy je klíčové porozumět optimálnímu poměru základních makroživin – bílkovin, sacharidů a lipidů – které by měl jedinec přijímat v závislosti na svém cíli, ať už se jedná o nárůst svalové hmoty, redukci tělesné hmotnosti nebo udržení optimálního zdraví. Každá z těchto složek plní v organismu specifické funkce: bílkoviny jsou nezbytné pro regeneraci tkání a syntézu enzymů, sacharidy slouží jako primární zdroj energie a lipidy nejen poskytují dlouhodobou zásobu energie, ale také podporují vstřebávání vitamínů rozpustných v tucích (A, D, E, K). Správně nastavený poměr těchto živin je proto zásadní nejen pro dosažení konkrétního cíle, ale i pro celkovou vitalitu a dlouhodobé zdraví.[2]

Nicméně stejně důležité jako správné zastoupení makroživin je i sledování příjmu minerálních látek, které hrají nezastupitelnou roli v řadě fyziologických procesů v organismu. Minerální látky jako vápník, hořčík, železo, zinek či selen jsou nezbytné pro udržení zdravých kostí, správnou funkci svalů, podporu imunitního systému a optimální fungování enzymatických reakcí. Nedostatek těchto minerálních látek může vést k závažným metabolickým a zdravotním komplikacím, například křehkým kostem (osteoporóze) při nedostatku vápníku, svalovým křečím a únavě při nedostatku hořčíku nebo oslabené imunitě v důsledku nízkého příjmu zinku.

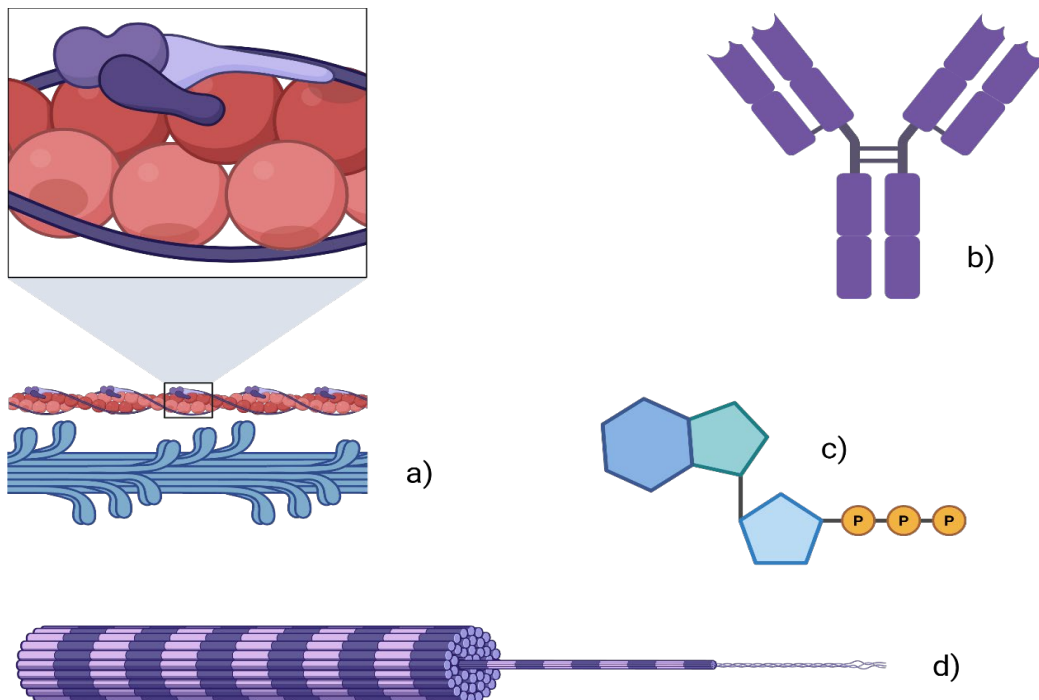
Zajištění dostatečného příjmu minerálních látek je proto klíčové, přičemž ideálním způsobem je konzumace pestré a vyvážené stravy zahrnující přirozené zdroje těchto živin, jako jsou mléčné výrobky, luštěniny, ořechy, celozrnné produkty či mořské plody. [2][3]

V některých případech však běžná strava nemusí pokrýt individuální potřeby – například u sportovců, osob s omezeným jídelníčkem nebo lidí se zvýšenými nároky v důsledku zdravotního stavu. V takových situacích může být vhodné zařazení obohacených potravin, například proteinových izolátů s přidanými minerálními látkami, nebo cíleně formulovaných doplňků stravy. Tyto produkty mohou pomoci kompenzovat případné deficity, podporovat správné fungování organismu a zajistit optimální přísun nezbytných mikroživin.

2.1.1 Proteiny

Bílkoviny představují jednu ze základních složek lidské výživy, což je zcela opodstatněné vzhledem k jejich klíčovému biologickým funkcím. (Obrázek 1) Strukturní proteiny, jako například kolagen, elastin nebo keratin, tvoří základ pojivových tkání, svalů, kostí a chrupavek. Transportní bílkoviny, jako je hemoglobin, umožňují přenos důležitých látek, například kyslíku v krevním oběhu. Obrannou funkci zastávají imunoglobuliny (protilátky), které chrání organismus před patogenními mikroorganismy, jako jsou bakterie a viry. Kromě toho existují regulační proteiny, mezi něž patří enzymy a hormony, jež řídí a koordinují metabolické pochody na buněčné i systémové úrovni. Například enzymy katalyzují biochemické reakce, čímž umožňují efektivní průběh metabolismu, zatímco hormonální proteiny, jako je inzulin, regulují hladinu krevního cukru a ovlivňují energetický metabolismus.[4]

Na rozdíl od některých jiných živin si však lidské tělo nedokáže vytvářet bílkoviny do zásoby. Místo toho je schopno rozložit přijaté bílkoviny či již přítomné tělesné proteiny na jednotlivé aminokyseliny a z nich následně syntetizovat nové proteiny podle aktuálních potřeb organismu. Tento dynamický proces, označovaný jako proteosyntéza, je řízen genetickými instrukcemi uloženými v DNA a je nezbytný pro udržení normálních fyziologických funkcí.[4]



Obrázek 1: Příklady bílkovin v lidském organismu: a) komplex aktinu s myozinem při uvolnění svalů, b) protilátka IgG, c) zjednodušená struktura ATP a d) struktura kolagenu[5]

Bílkoviny, podobně jako většina bioorganických sloučenin, obsahují uhlík, vodík a kyslík, avšak na rozdíl od ostatních makroživin v nich hraje zásadní roli i dusík. Jsou tvořeny dvaceti různými kódovanými aminokyselinami, z nichž každá má specifické chemické a biologické vlastnosti. Bílkovinná struktura se skládá z řetězců obsahujících 50 až 2000 aminokyselin propojených peptidovými vazbami. Složení a uspořádání aminokyselin v těchto řetězcích určují nejen fyzikálně–chemické vlastnosti proteinu, ale i jeho biologickou funkci.[4]

Zatímco některé aminokyseliny si organismus dokáže syntetizovat z jiných dostupných aminokyselin, osm z nich – tzv. esenciální aminokyseliny – musí být přijímáno prostřednictvím potravy, jelikož je tělo není schopno samo produkovat. K nim se řadí leucin, isoleucin, valin, lysin, methionin, fenylalanin, threonin a tryptofan. V období růstu, zejména v dětství a dospívání, je navíc potřeba dvou dalších aminokyselin – histidinu a argininu – natolik vysoká, že jsou v tomto životním období považovány rovněž za esenciální.[4]

Nutriční hodnota konkrétní bílkoviny závisí na jejím aminokyselinovém složení a biologické dostupnosti. Čím více se složení přijaté bílkoviny blíží ideálnímu poměru aminokyselin potřebných pro lidský organismus, tím vyšší je její kvalita a využitelnost. Plnohodnotné bílkoviny, obsahující všechny esenciální aminokyseliny v optimálním poměru, se nacházejí především v živočišných produktech, jako jsou vejce, maso, ryby a mléčné výrobky. Naproti tomu rostlinné bílkoviny bývají často limitovány jednou či více esenciálními aminokyselinami, což lze kompenzovat kombinací různých rostlinných zdrojů, například luštěnin a obilovin.[6]

Denní příjem bílkovin se stanovuje pro dospělého okolo 1 gramu bílkovin na 1 kilogram tělesné hmotnosti, často bývá uváděno i 1,2-1,5 gramů na 1 kilogram tělesné váhy. Příjem 1 gramu bílkoviny může posloužit k využití jakožto zdroje energie při zátěži či hladovění v množství přibližně 4 kcal, což odpovídá 17 kJ.[6]

2.1.2 Sacharidy

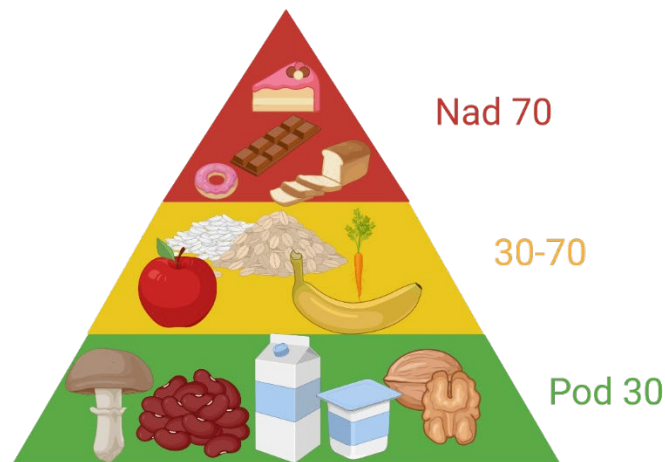
Sacharidy představují jednu ze tří základních makroživin nezbytných pro správné fungování lidského organismu. Primárně slouží jako hlavní a nejrychleji dostupný zdroj energie, přičemž jejich metabolismus je klíčový zejména pro činnost mozku a centrálního nervového systému. Mozek jakožto energeticky velmi náročný orgán spotřebovává přibližně 20 % celkové energie organismu, přičemž glukóza představuje jeho preferovaný palivový substrát. Při jejím nedostatku, například během dlouhodobého hladovění či nízkosacharidové diety, přechází mozek na alternativní zdroje energie, jako jsou ketolátky, které vznikají z metabolismu tuků.[4]

Kromě okamžitého energetického využití hrají sacharidy zásadní roli v regulaci metabolismu a udržování stabilní hladiny krevní glukózy, což je nezbytné pro správné fungování všech buněk, zejména svalových a nervových. Přebytečné sacharidy jsou v těle ukládány ve formě glykogenu – polysacharidu složeného z větvených řetězců glukózových jednotek, který slouží jako zásobní forma energie. Hlavním místem jeho ukládání jsou játra a kosterní svaly. Játerní glykogen se podílí na udržování normální hladiny krevní glukózy, zatímco svalový glykogen je primárním energetickým zdrojem pro svalovou práci, zejména při intenzivní fyzické aktivitě.[4]

Podle výživových doporučení by sacharidy měly tvořit 55–60 % celkového energetického příjmu, kdy 1 gram sacharidů je jako u bílkovin zdrojem energie v množství 4kcal.[7] Důraz je kladen na konzumaci komplexních sacharidů s nízkým glykemickým indexem. Glykemický index je ukazatel, který vyjadřuje, jak rychle daná potravinu zvyšuje hladinu krevního cukru po konzumaci. Závisí na faktorech jako je druh sacharidů obsah vlákniny, množství přítomných lipidů a bílkovin, způsob příjmu a další. Potraviny s vysokým GI (hodnota je vyšší než 70), jako jsou sladké pečivo, slazené nápoje nebo bílé pečivo,

způsobují rychlé zvýšení hladiny glukózy v krvi, což vede k následnému prudkému poklesu, jenž může vyvolat pocit hladu, únavy a podrážděnosti. Naopak potraviny s nízkým GI (menších než 30), jako jsou luštěniny či celozrnné obiloviny, uvolňují energii postupně, čímž zajišťují dlouhodobější pocit sytosti a stabilní hladinu krevního cukru. [8] [9]

Nicméně hodnota GI se počítá z celého jídla, takže ne všechny potraviny jsou hned v červené nebo žluté části grafu (Obrázek 2), ale pokud například chleba či ovesné vločky doplním správnými potravinami bohaté na bílkoviny a tuky, glykemický index celého jídla se tím sníží.[8]



Obrázek 2: Rozdělení potravin dle glykemického indexu [5]

Nadměrná konzumace jednoduchých cukrů může vést k metabolickým poruchám, zvýšené tvorbě tukových zásob a souvisejícím zdravotním komplikacím, jako je obezita, inzulinová rezistence a diabetes 2. typu. Opakované vystavování organismu vysokým dávkám rafinovaných sacharidů může vést k narušení citlivosti buněk na inzulin, což je klíčový hormon regulující hladinu glukózy v krvi. Pokud tento stav přetrvává dlouhodobě, může se rozvinout inzulinová rezistence, která je často spojována se vznikem metabolického syndromu – komplexního onemocnění zahrnujícího obezitu, hypertenzi, poruchy metabolismu tuků a zvýšené riziko kardiovaskulárních onemocnění. [10][11][12][13]

Vliv sacharidů na organismus je mnohostranný – zatímco rychle vstřebatelné jednoduché cukry mohou krátkodobě zlepšit kognitivní a fyzickou výkonnost, jejich nadměrný příjem vede k nežádoucím výkyvům hladiny krevního cukru a dlouhodobým zdravotním rizikům. Naopak komplexní sacharidy poskytují stabilní zdroj energie, podporují metabolickou homeostázu a přispívají k optimálnímu fungování organismu. Proto je z hlediska nutriční optimalizace klíčové upřednostňování přirozených zdrojů sacharidů, jako jsou celozrnné obiloviny, luštěniny, zelenina a ovoce, a omezení rafinovaných cukrů s nízkou nutriční hodnotou.[7][12][13]

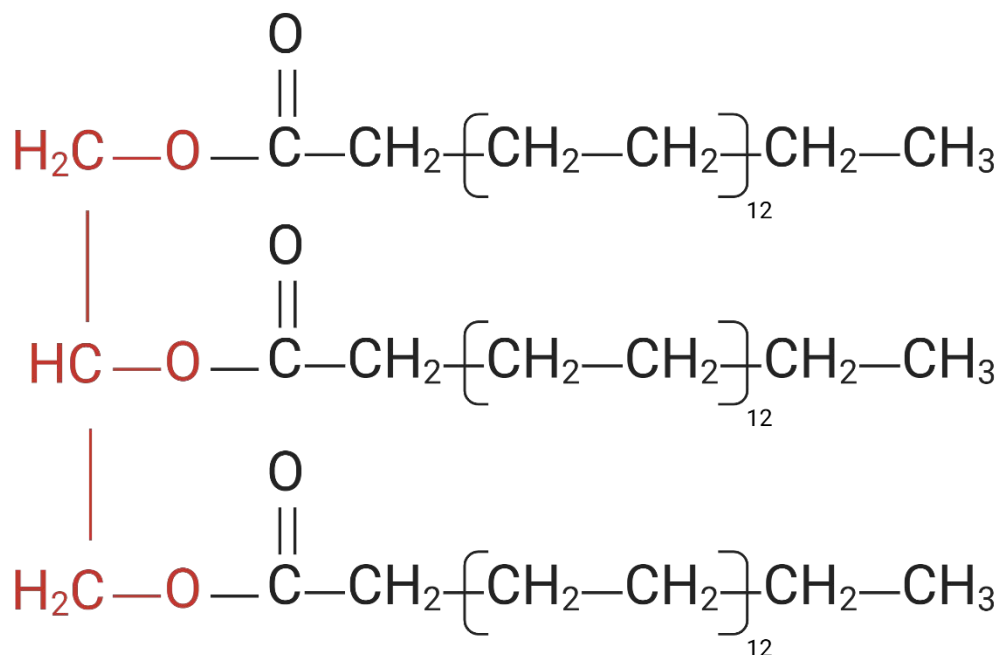
2.1.3 Lipidy

Lipidy (Obrázek 3), běžně označované jako tuky, představují nepostradatelnou složku lidské výživy a zároveň nejkoncentrovanější zdroj energie, poskytující přibližně 9 kcal na gram. Ve srovnání s bílkovinami a sacharidy disponují více než dvojnásobnou energetickou hodnotou, čímž hrají klíčovou roli v energetickém metabolismu organismu. Díky své vysoké kalorické hodnotě jsou zásadním prvkem energetické bilance a umožňují dlouhodobé ukládání energie v tukové tkáni.[14]

Denní doporučený příjem tuků se pohybuje v rozmezí 50–80 g, což odpovídá 30 % denního energetického příjmu v závislosti na individuálních metabolických potřebách a životním stylu. Vyvážený příjem kvalitních tuků je nezbytný nejen pro správnou funkci buněk a hormonální regulaci, ale také pro optimální fyzickou i mentální výkonnost.[14][15]

Kromě energetické funkce plní tuky řadu biologicky významných úloh. Jsou nezbytné pro správnou stavbu buněčných membrán, přičemž fosfolipidy tvoří hlavní složku lipidové dvojvrstvy, která zajišťuje stabilitu a selektivní propustnost buněk. Lipidy se rovněž podílejí na tvorbě myelinových pochv nervových vláken, které umožňují efektivní přenos nervových vzruchů a hrají klíčovou roli v kognitivních funkcích i motorické koordinaci. Dále slouží jako prekurzory řady biologicky aktivních látek, včetně hormonů, cholesterolu, žlučových kyselin a eikosanoidů, které ovlivňují zánětlivé reakce, krevní tlak či agregaci krevních destiček.[4]

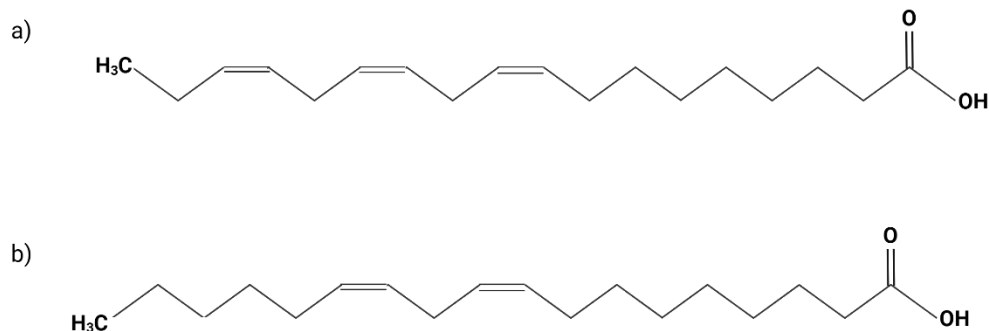
Jedním z nejvýznamnějších aspektů lipidů je jejich schopnost transportovat a umožňovat vstřebávání lipofilních vitaminů A, D, E a K. Tyto vitaminy jsou klíčové pro celou řadu fyziologických procesů – od správného vývoje kostí a imunitních funkcí až po antioxidační ochranu buněk. Bez dostatečného příjmu tuků by využití těchto vitaminů v organismu bylo značně omezené, což by mohlo vést k deficitům s vážnými zdravotními důsledky[4][16; 17]



Obrázek 3:Příklad struktury lipidu [5]

Tuky obsahují esenciální mastné kyseliny, mezi něž patří jak omega–3 (například kyselina α -linolenová), tak omega–6 (např. kyselina linolová) (Obrázek 4), které organismus nedokáže syntetizovat a je nezbytné je přijímat ze stravy. Tyto látky hrají zásadní roli v regulaci zánětlivých procesů, funkci kardiovaskulárního systému a celkové homeostáze organismu. Omega–3 mastné kyseliny, obsažené zejména v tučných rybách (losos, makrela, sardinky), lněných semínkách a vlašských ořeších, mají protizánětlivé účinky, podporují zdraví mozku a snižují riziko kardiovaskulárních onemocnění. Naproti tomu nadměrná konzumace omega–

6 mastných kyselin, obsažených v rafinovaných rostlinných olejích (např. slunečnicový, kukuřičný), může přispívat k prozánětlivým procesům v těle.[14; 18]



Obrázek 4: a) př. 3 MK kys. linolová, b) př. Omega 6 MK kys. α -linolenová [5]

Přestože tuky jsou klíčovou makroživinou, jejich nadměrná konzumace, zejména ve formě nasycených mastných kyselin a trans-tuků, může negativně ovlivnit zdraví. Nasycené tuky, nacházející se především v živočišných produktech (máslo, sádlo, tučné maso, plnotučné mléčné výrobky), jsou spojovány se zvýšeným rizikem kardiovaskulárních onemocnění, pokud jsou konzumovány v nadměrném množství. Jejich příjem by měl být omezen na maximálně 10 % celkového denního energetického příjmu. [14][19]

Ještě škodlivější jsou trans-mastné kyseliny, které vznikají při průmyslové hydrogenaci rostlinných olejů a nacházejí se v mnoha ultrazpracovaných potravinách, jako jsou margaríny, sušenky, smažené pokrmy a fast food. Tyto tuky nejen zvyšují hladinu „špatného“ LDL cholesterolu, ale také snižují „dobrý“ HDL cholesterol a přispívají k rozvoji inzulínové rezistence, chronických zánětů a srdečně-cévních onemocnění. [14][19]

Další důležitou vlastností tuků je jejich vliv na sensorické vlastnosti potravin. Tuky slouží jako nosiče chuťových a aromatických látek, čímž významně ovlivňují celkový požitek z jídla. Jejich přítomnost zvyšuje krémovitost, jemnost a plnost chuti, což je důvodem, proč jsou tučné potraviny často vnímány jako chutnější a sytější.[14][19]

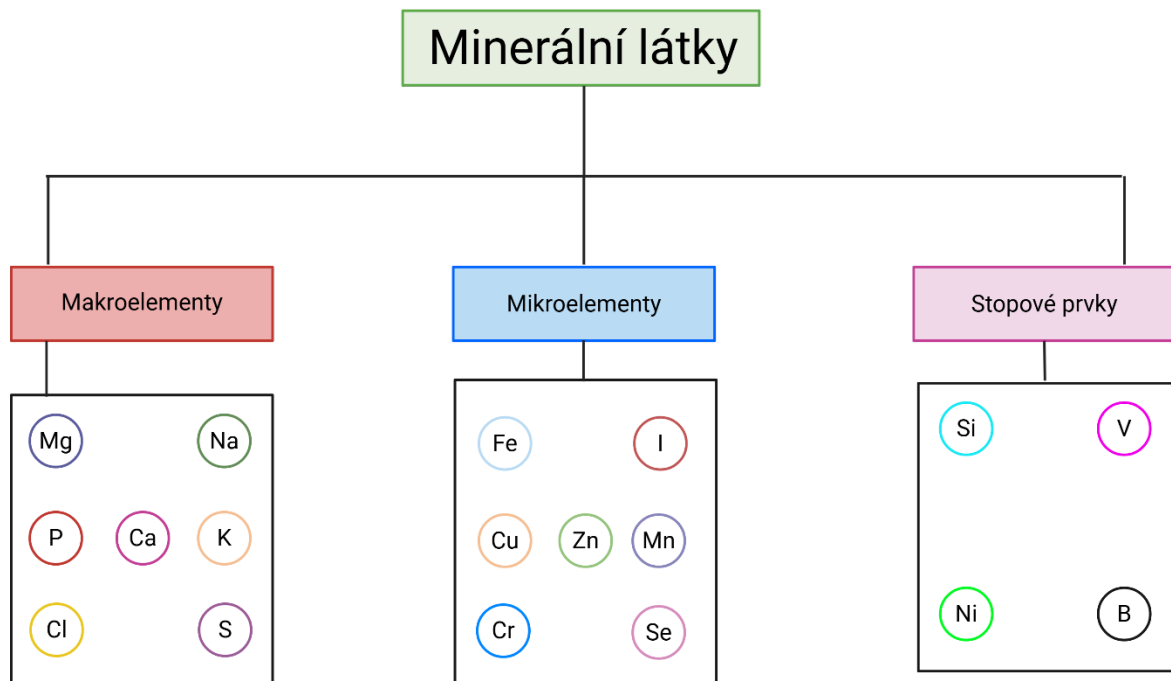
2.1.4 Minerální látky

Lidský organismus vyžaduje ke svému optimálnímu fungování nejen základní makroživiny, tedy sacharidy, tuky a bílkoviny, které představují hlavní zdroje energie, ale rovněž mikroživiny, jež sice nemají energetický význam, avšak jsou nezbytné pro řádný průběh mnoha fyziologických a biochemických procesů. Mezi tyto mikroživiny patří zejména vitaminy, enzymy a minerální látky.[4][20]

Minerální látky hrají klíčovou roli v růstu a tvorbě tkání, metabolismu makroživin, přenosu nervových vzruchů a dalších životně důležitých procesech. Přispívají k prevenci aterosklerózy, regulaci látkové výměny a stabilizaci hladiny cholesterolu v krvi. Jelikož si lidské tělo nedokáže minerální látky samo syntetizovat, je nezbytné je přijímat prostřednictvím pestré a vyvážené stravy, vody či v určitých případech doplňků stravy.[4][21; 22]

Z hlediska množství přítomnosti v organismu a jeho potřeb se minerální látky dělí na makroelementy, mikroelementy a stopové prvky (Obrázek 5). Makroelementy, kam patří vápník, fosfor, hořčík, draslík, sodík, chlor a síra, jsou zásadní pro stabilitu tělesných tkání, enzymatické reakce, homeostázu elektrolytů a nervosvalový přenos. Mikroelementy, mezi něž řadíme železo, zinek, měď, jód, mangan, chróm, selen a fluor mají klíčovou biologickou funkci

i přes jejich nízké koncentrace v těle. Stopové prvky zahrnují například křemík, vanad, nikl a bor, přičemž některé jsou pro tělo mírně prospěšné, zatímco jiné toxické. [23]



Obrázek 5: Rozdělení minerálních látek dle potřeb lidského organismu [5]

Z pohledu biologického významu lze minerální látky rozdělit na esenciální, biogenní, neutrální a abiogenní prvky. Esenciální prvky, jako hořčík, sodík, draslík, vápník či železo, jsou nezbytné pro udržení homeostázy. Biogenní prvky, například bór a vanad, přispívají ke správné funkci organismu, ale jejich absence se nemusí projevit okamžitými patologickými příznaky. Neutrální prvky nemají jednoznačný vliv na lidské zdraví, zatímco abiogenní prvky, jako arsen, kadmium, olovo a rtuť, jsou toxické již v nízkých koncentracích.[24] Níže jsou uvedeny vybrané minerální látky a jejich význam pro organismus.

Vápník je klíčový pro zdraví kostí a zubů, podílí se na svalové kontrakci, nervovém přenosu a srážlivosti krve. Jeho hlavními zdroji jsou mléčné výrobky, ořechy, luštěniny, tmavozelená listová zelenina, semena a ryby. Nedostatek může vést k osteoporóze, svalovým křečím a srdečním arytmiím. Vstřebatelnost vápníku ovlivňuje hladina vitamínu D, věk a poměr vápníku k fosforu.[25]

Železo je nezbytné pro transport kyslíku a elektronů v těle. Vyskytuje se ve formě hemového železa (v mase) a nehemového železa (v rostlinných potravinách). Mezi zdroje patří játra, červené maso, drůbež, ryby, luštěniny a listová zelenina. Nedostatek železa způsobuje anémii, únavu a sníženou imunitu.[26]

Hořčík podporuje nervový a svalový systém, regulaci srdečního rytmu a syntézu DNA. Nachází se v ořechách, luštěninách, celozrnných obilovinách, rybách a zelené listové zelenině. Nedostatek hořčíku může vést k svalovým křečím, únavě a poruchám koncentrace.[27]

Fosfor je klíčový pro tvorbu kostí, metabolismus energie a syntézu nukleových kyselin. Hlavními zdroji jsou maso, ryby, mléčné výrobky, vejce a luštěniny. Nadbytečný příjem fosforu může snižovat vstřebávání vápníku a vést k oslabení kostí.[28]

Chlór se podílí na udržování acidobazické rovnováhy a tvorbě žaludečních šťáv. Jeho hlavním zdrojem je kuchyňská sůl. Nadměrná konzumace soli může způsobit hypertenzi a zvýšené riziko kardiovaskulárních onemocnění.[29]

Sodík je nezbytný prvek, který se nachází ve všech buňkách a tělesných tekutinách. Často se vyskytuje ve formě kuchyňské soli, tedy sloučeniny sodíku a chloru. Spolu s chlórem hraje důležitou roli v udržování stálého vnitřního prostředí organismu, regulaci rovnováhy tekutin, minerálních látek a krevního tlaku. Sodík je také klíčový pro správnou činnost svalů a nervů a podílí se na přenosu látek přes buněčné obaly. Nadbytek sodíku obvykle vzniká při nedostatečném příjmu tekutin nebo jejich nadměrné ztrátě, například při zvracení či průjmu, a může způsobit vážné zdravotní potíže. Naopak nedostatek sodíku je vzácný a často souvisí s nadměrným příjmem tekutin, poruchou hormonální rovnováhy nebo užíváním léků na odvodnění. [29]

Draslík je důležitý pro přenos nervových signálů, regulaci krevního tlaku a svalovou činnost. Nachází se v banánech, bramborách, špenátu, avokádu a rajčatech. Nedostatek může vést k únavě, svalovým křečím a arytmii.[30]

Selen je esenciální stopový prvek, který je nezbytný pro správnou funkci štítné žlázy, syntézu DNA a antioxidační ochranu. Nachází se v potravinách jako maso, ryby, vejce, ořechy a houby, přičemž jeho obsah v rostlinných potravinách závisí na složení půdy. Nadbytek může způsobit toxické účinky, jako je vypadávání vlasů nebo poruchy nervového systému. Nedostatek selenu je vzácný, ale může vést k poruchám svalů, imunity a reprodukce, zejména při špatně vyvážené stravě. [31]

Fluor je stopový prvek důležitý pro pevnost kostí a zubů, pomáhá chránit sklovinu před zubním kazem. U dětí do šesti let je třeba opatrnosti při používání fluoridových zubních past, aby nedošlo k nadměrnému příjmu. Mezi hlavní zdroje fluoru patří mořské ryby, černý čaj a fluoridovaná sůl, přičemž dříve byla fluoridována i pitná voda. Nadměrný příjem fluoru může vést k fluoróze zubů a kostí, zatímco jeho nedostatek zvyšuje riziko zubního kazu. Smrtelná dávka fluoru je 40–80 mg/kg tělesné hmotnosti, přičemž akutní otrava se projevuje zvracením, průjmem a poruchami srdeční činnosti.[32]

Jod je nezbytný stopový prvek, který je součástí hormonů štítné žlázy a ovlivňuje metabolismus, nervovou soustavu a tělesnou teplotu. Hlavními zdroji jsou mořské ryby, mořské plody a jodizovaná kuchyňská sůl, přičemž v České republice je jodizace soli klíčová kvůli nízkému obsahu jodu v půdě. Nedostatek jodu může vést ke zvětšení štítné žlázy (strumě), hypotyreóze nebo vývojovým poruchám u dětí. Nadměrný příjem je vzácný, ale může způsobit jodovou strumu nebo tyreotoxickou krizi.[33]

Zinek je důležitý stopový prvek, který se podílí na mnoha enzymatických procesech v těle, podporuje imunitní systém, růst, plodnost a chuť k jídlu. Nejvíce ho najdeme v mase, vejcích, mléčných výrobcích a celozrnných potravinách, přičemž živočišné zdroje se vstřebávají lépe. Nedostatek zinku může vést ke zpomalenému růstu, kožním problémům, vypadávání vlasů a oslabení imunity, zatímco nadbytek může způsobit zažívací potíže a narušení metabolismu mědi. Zinek se vstřebává v tenkém střevě a vylučuje se potem, močí a stolicí, přičemž jeho využití ovlivňují různé dietní faktory. [34]

Zajištění dostatečného příjmu minerálních látek pestrou stravou je klíčové pro udržení homeostázy a prevenci zdravotních komplikací. Denní přísun jednotlivých minerálních látek zpravidla nebývá každý den zcela vyvážený, a ani to není nezbytné — stačí, když je průměrná denní potřeba doplněna v rámci zhruba jednoho týdne. Přestože v některých případech mohou být doplňky stravy přínosné, primární důraz by měl být kladen na vyváženou

a rozmanitou dietu, neboť nadměrná suplementace může vést k nerovnováze minerálních látek a negativním zdravotním důsledkům. [3]

Dle národního zdravotnického informačního portálu ČR[3], národní zdravotnické služby Velké Británie a úřadu pro kontrolu potravin a léčiv USA by denní příjem minerálních látek pro dospělé ve věku 25–50,99 let (dle některých zdrojů se to rozpětí uvádí 19–64) měl být takový, jaký je uveden níže (Tabulka 1). Samozřejmě se u žen referenční hodnota některých prvků může lišit v závislosti na tom, zda jsou těhotné či kojící. Proto je mnohokrát to rozpětí u žen tak vysoké.

Tabulka 1: Referenční hodnoty denního příjmu pro skupinu 25 až <51 let [mg][3]

Minerální látka	Ženy	Muži
Sodík	1500-2300	1500
Chlorid	2300	2300
Draslík	3500–4700	3500–4000
Vápník	700–1300	1000
Fosfor	700–1250	700
Hořčík	270–420	300–420
Železo	14,8–30	8,7–10
Jod	0,140–0,26	0,2
Fluorid	3,1	3,8
Zinek	7–11	9,5–10,0
Selen	0,055–0,075	0,07-0,075
Mangan	2,3	2,3

2.1.5 Význam rostlinných doplňků stravy z pohledu obsahu nutrientů

Ve výše uvedených kapitolách bylo diskutováno optimální množství makro– a mikroživin potřebných pro správné fungování organismu, avšak otázkou zůstává, zda lze těchto hodnot dosáhnout běžným stravováním, a to i v případě vegetariánství, veganství nebo potravinových intolerancí. Pro ilustraci bude analyzován modelový příklad jídelníčku ženy vegetariánky, s váhou 75 kg, výškou 180 cm, sedavým zaměstnáním a doporučeným denním příjmem 1906 kcal (dle [35]). Při optimálním rozložení makroživin by její dieta měla obsahovat přibližně 250 g sacharidů (55 % celkového příjmu), 90 g bílkovin (1,2 g/kg tělesné hmotnosti) a 56 g tuků (odpovídající zbývajícím 500 kcal). Vzhledem k tomu, že maso představuje významný zdroj bílkovin, je nutné zvážit alternativní potraviny, které by umožnily dosažení požadovaného nutričního příjmu. Následující analýza se zaměří na konkrétní složení jídelníčku splňujícího tyto požadavky (Tabulka 2: Jídelníček pro splnění denního příjmu makroživin [36]).

Tabulka 2: Jídelníček pro splnění denního příjmu makroživin [36]

	Jídlo	Složení	Nutriční hodnoty
Snídaně	Ovesná kaše s rostlinným mlékem, ořechy a banánem	60 g ovesných vloček 200 ml mandl. mléka 10 g sirupu čekankového 60 g malin 50 g borůvek 50 g jahod	448 kcal 12,6 g B 66,2 g S 10,6 g T
Svačina	Řecký jogurt s medem a granolou čokoládovou s mandlemi	150 g řeckého jogurtu 15 g medu 30 g granoly	257 kcal 21,3 g B 26 g S 5,7 g T
Oběd	Čočka na kyselo s vejcem a chlebem	100 g suché čočky 1 vejce (55 g) 1 lžička oleje 50 g cibule 60 g celozrnného chleba	575 kcal 36,6 g B 64,2 g S 12,5 g T
Svačina	Celozrnný chléb s arašídovým máslem a plátky jablka	60 g celozrnného chleba 15 g arašídového másla 60 g jablka	281 kcal 8 g B 36 g S 11 g T
Večeře	Pečené batáty s hummusem a zeleninou	200 g batátů 40 g hummusu 150 g dušené brokolice 1 lžička oleje	365 kcal 10 g B 41,7 g S 15 g T
Celkový příjem			1926 kcal 88,9 g B 235 g S 55,2 g T

Takovýto jídelníček by umožnil pokrýt denní příjem makroživin, avšak při čistě rostlinné stravě dochází k výrazně vyššímu příjmu vlákniny, který v tomto případě přesahuje 70 g, zatímco doporučená hodnota je přibližně 30 g. To může vést k trávicím potížím a snížené absorpci některých živin, proto je vhodné zařadit alternativní zdroje bílkovin s nižším obsahem vlákniny, například sójové proteiny, které obsahují pouze 5 g vlákniny na 100 g [37] oproti čočce s 23 g [36]. Dále vyvstává otázka, zda organismus dokáže efektivně využít veškeré přijaté bílkoviny, neboť rostlinné proteiny mají odlišný aminokyselinový profil a jejich biologická dostupnost bývá nižší než u živočišných zdrojů. Proto je vhodné kombinovat různé rostlinné bílkoviny, aby bylo dosaženo optimálního spektra esenciálních aminokyselin a zajištěna jejich maximální využitelnost v organismu.

Pro posouzení, zda analyzovaný jídelníček pokrývá doporučený denní příjem mikroživin, byla využita databáze FoodData Central spravovaná U.S. Department of Agriculture [38], která poskytuje detailní nutriční složení potravin. Na základě těchto údajů byl dopočítán obsah minerálních látek odpovídající hmotnostem jednotlivých složek jídelníčku (Tabulka 3). Výsledky analýzy ukazují, že příjem sodíku a chloridů není v tabulce plně pokryt, avšak tento údaj nezahrnuje přirozený příjem soli ve stravě a množství soli přidané dle vlastní chuti. Doporučená denní dávka soli činí přibližně 5 g, což odpovídá zhruba 3 g chloridů a určitému množství sodíku, přičemž část tohoto sodíku již pravděpodobně spadá do vykázaného množství. Celkově lze tedy předpokládat, že příjem těchto minerálních látek je v běžné stravě dostatečný, a není nutné jejich umělé doplňování.

Další esenciální minerální látky, jako je draslík, vápník, železo, hořčík a zinek, jsou v analyzovaném jídelníčku zastoupeny v dostatečném množství, a to i v případě vegetariánské stravy. Problémem je nadbytečný příjem fosforu, který dosahuje téměř dvojnásobku doporučeného denního množství. Nejvýznamnějšími zdroji fosforu jsou ovesné vločky, čočka a celozrnný chléb, přičemž jeho nadměrný příjem může být regulován substitucí těchto potravin variantami s nižším obsahem fosforu.

Specifickým problémem je nedostatečné zastoupení jódu a fluoridů, jejichž nejbohatším přirozeným zdrojem jsou mořské ryby a mořské plody. Z tohoto důvodu je v bezmasé stravě doporučována suplementace těchto prvků formou doplněných potravinových produktů, jako jsou jodizovaná sůl, některé proteinové izoláty či potravinové doplňky.

Tabulka 3: Porovnání referenčních a stanovených hodnot [mg] [38]

Minerální látka	Referenční hodnota pro ženy	Stanoveno
Sodík	1500–2300	939,3
Chlorid	2300	–
Draslík	3500–4700	3852,45
Vápník	700–1300	1009,15
Fosfor	700–1250	1609,45
Hořčík	270–420	489,385
Železo	14,8–30	17,44
Jod	0,140–0,26	0,027005
Fluorid	3,1	–
Zinek	7–11	12,179
Selen	0,055–0,075	0,09379

Nicméně, minerální látky často reagují s antinutričními látkami obsaženými v potravinách, což může významně snížit jejich biologickou dostupnost i skutečnou využitelnost v organismu. Proto nelze příjem minerálních látek hodnotit pouze na základě teoretických výpočtů, ale je nutné zohlednit i faktory ovlivňující jejich skutečnou dostupnost pro organismus. [39]

2.2 Antinutriční látky

Antinutriční látky, označované také jako antinutrienty, jsou přírodní složky rostlinných potravin, které mohou negativně ovlivnit vstřebávání a využití živin v lidském těle. Mezi hlavní antinutriční látky patří kyselina fytová, inhibitory enzymů, fytoestrogeny, lignany, saponiny, třísloviny, lektiny a šťavelany. [39]

Mechanismy působení antinutrientů jsou různorodé. Některé z nich, jako kyselina fytová, se vážou na minerální látky, například železo, zinek nebo vápník, a vytvářejí s nimi nerozpustné komplexy, což ztěžuje jejich vstřebávání v trávicím traktu. Jiní antinutrienty, jako inhibitory enzymů, zpomalují trávení a snižují efektivitu rozkladu makroživin. Fytoestrogeny mohou ovlivňovat hormonální rovnováhu, zatímco lektiny a šťavelany mohou způsobovat podráždění trávicího traktu. [40]

Antinutrienty se vyskytují ve významných množstvích v luštěninách, obilovinách, ořechách, semenech a některých druzích zeleniny, jako je špenát, kapusta nebo brokolice. Přestože mohou v nadměrném množství snižovat využitelnost živin, některé z nich vykazují i prospěšné účinky. Například fytáty mají antioxidační vlastnosti a mohou pomoci chránit tělo před oxidačním stresem, což může přispět ke zpomalení procesu stárnutí buněk. Taniny a lignany mají protizánětlivé účinky, které mohou podpořit zdraví kardiovaskulárního systému. [41]

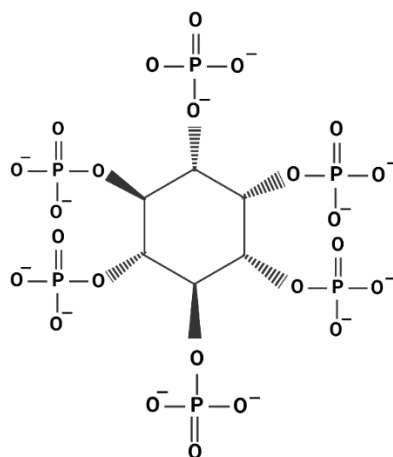
Ačkoli antinutrienty mohou mít negativní vliv na metabolismus živin, některé z nich přinášejí zdravé prospěšné účinky. Saponiny, které se nacházejí v luštěninách, mají antimikrobiální a protizánětlivé účinky, a mohou přispět k nižší hladině cholesterolu. Fytoestrogeny, přítomné například v sóji, mohou pozitivně ovlivnit hormonální rovnováhu a pomoci zmírnit symptomy menopauzy. [42]

Osoby s vyšší konzumací rostlinných potravin, jako jsou vegetariáni a vegané, mohou být více vystaveny riziku snížené dostupnosti minerálních látek z důvodu přítomnosti antinutrientů v jejich stravě. V takových případech je důležité dbát na správnou úpravu surovin a kombinaci potravin, aby byla zajištěna dostatečná dostupnost esenciálních živin, zejména minerálních látek jako je železo, zinek a vápník. [42][43]

2.2.1 Kyselina fytová

Kyselina fytová, známá také jako inositol hexafosfát (IP6), je přirozeně se vyskytující organická sloučenina, která hraje významnou roli nejen v rostlinném metabolismu, ale také v lidské výživě. Tato látka se nachází především v obilovinách, luštěninách, ořechách a semenech, kde funguje jako hlavní zásobárna fosforu. Přestože má fytová kyselina řadu biologických vlastností, její účinky na lidský organismus jsou předmětem intenzivního vědeckého zkoumání a často vzbuzují kontroverze. [43]

Kyselina fytová je derivátem myo–inositolu a obsahuje šest fosfátových skupin (Obrázek 6), což jí umožňuje silnou schopnost vázat minerální ionty. Tato chelatační schopnost je klíčová pro její biologickou aktivitu. V rostlinách slouží především jako zásobní forma fosforu, který je nezbytný pro klíčení a růst semen. Fosfor vázaný ve fytátu však není snadno dostupný pro nepřežvýkavé živočichy, včetně člověka, což má zásadní dopady na jeho nutriční využitelnost. [44]



Obrázek 6: Strukturní vzorec kyseliny fytové v ionizované podobě [5]

Kyselina fytová je přítomna především v otrubových vrstvách zrn, což znamená, že její obsah je vysoký v celozrnných výrobcích. V průběhu rafinace dochází k jejímu částečnému odstranění, což má za následek snížení antinutričních účinků, ale také možné ztráty některých bioaktivních látek.[45]

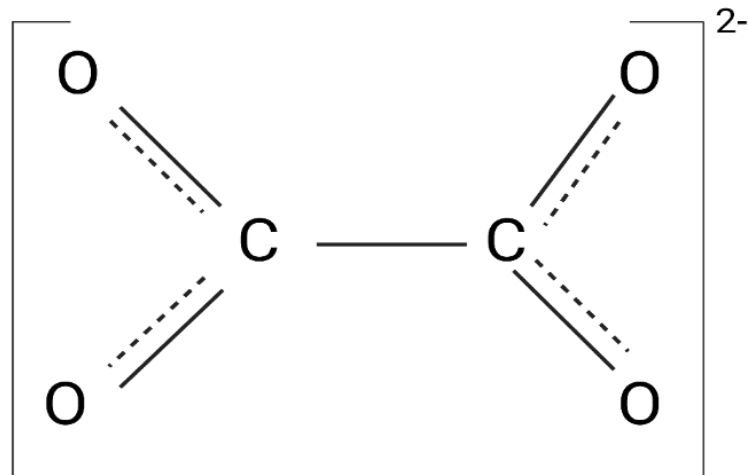
Navzdory rozsáhlému zkoumání zůstává fytová kyselina předmětem vědecké debaty. Vedle své primární funkce v rostlinách se kyselina fytová vyznačuje také významnými biologickými účinky u člověka. Především působí jako přirozený antioxidant díky své schopnosti vázat volné radikály a chránit tak buňky před oxidačním stresem. Volné radikály, které vznikají v důsledku normálního metabolismu nebo působením vnějších faktorů, jako je znečištění nebo UV záření, mohou přispívat k rozvoji chronických onemocnění, včetně kardiovaskulárních chorob a rakoviny. Některé studie naznačují, že fytová kyselina může mít potenciál v prevenci nádorových onemocnění díky své schopnosti ovlivňovat buněčnou signalizaci a regulaci apoptózy, tedy programované buněčné smrti. Přesto je třeba provést další výzkum, aby byl jednoznačně potvrzen její protektivní účinek u člověka. [46]

Navzdory svým antioxidačním vlastnostem je kyselina fytová často označována za antinutriční faktor, protože omezuje biologickou dostupnost některých esenciálních minerálních látek, jako je železo, zinek, vápník a hořčík. Tento jev nastává v důsledku tvorby nerozpustných komplexů mezi fytátem a minerálními ionty v trávicím traktu, což vede ke snížení jejich vstřebávání. To může mít významné důsledky zejména v populacích, které konzumují velké množství rostlinných potravin bohatých na fytovou kyselinu, aniž by přijímaly dostatečné množství minerálních látek z jiných zdrojů. Například u vegetariánů a veganů může být riziko deficitu železa nebo zinku vyšší, pokud jejich strava není pečlivě vyvážená. Vzhledem k možným negativním účinkům kyseliny fytové na vstřebávání minerálních látek bylo vyvinuto několik technologických a dietních strategií ke snížení jejího obsahu v potravinách jako namáčení a fermentace. [46]

2.2.2 Oxaláty

Oxaláty, označované také jako šťavelany (Obrázek 7), představují specifickou skupinu solí kyseliny šťavelové. Tato látka se vyskytuje zejména v listové zelenině, jako je rebarbora, mangold, špenát a červená řepa. Hlavním negativním efektem oxalátů je jejich schopnost vázat ionty vápníku, čímž dochází k tvorbě kalcium-oxalátu, který se následně může ukládat v ledvinách. Mohou mít také vliv na železo či zinek, dle zdroje nicméně není tak velký jako právě na zmíněný vápník. [47] Dlouhodobě zvýšený příjem potravin bohatých na oxaláty tak může vést k tvorbě ledvinových kamenů složených z oxalátů, což v konečném důsledku může

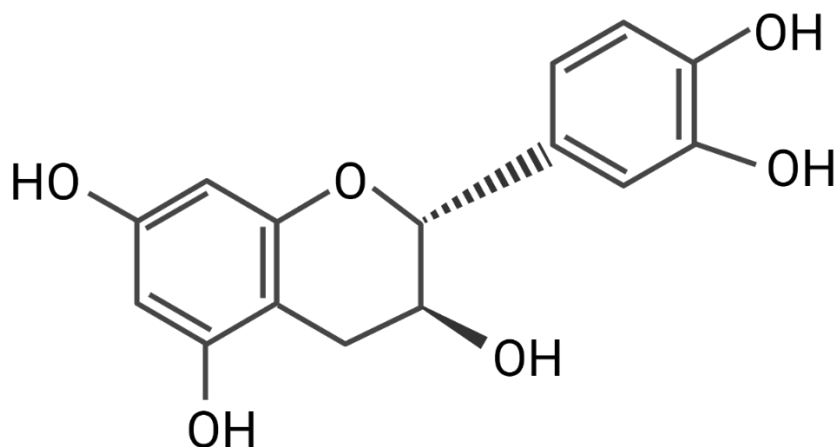
způsobit poškození ledvin. Zajímavé je, že i syntetická forma vitamínu C se v organismu může metabolizovat na oxalát, a jeho nadměrná konzumace tak může přispět ke vzniku ledvinových kamenů, i když se tento jev vyskytuje méně často. [48]



Obrázek 7. Struktura šťavelanového iontu [5]

2.2.3 Taniny

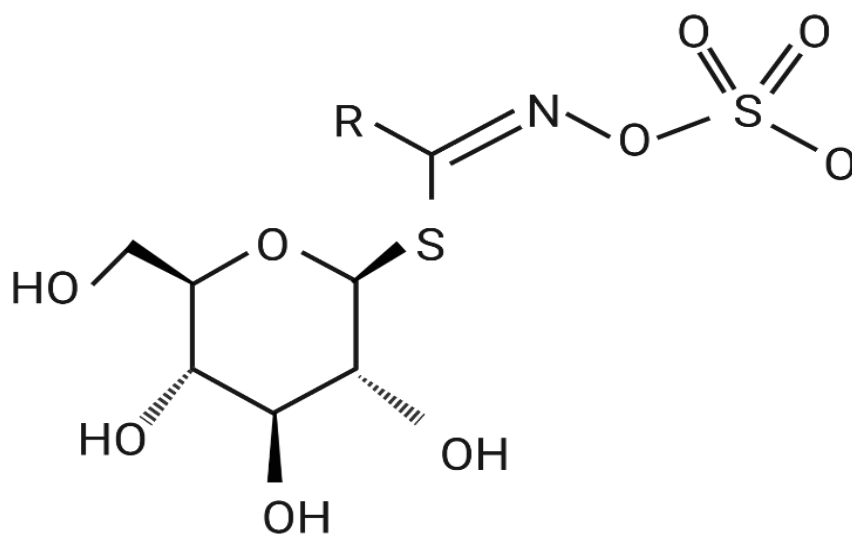
Další významnou skupinou antinutričních látek jsou taniny, známé také jako třísloviny. Taniny představují polyfenolické sloučeniny s antioxidačními vlastnostmi, které jsou přítomny v mnoha potravinách a nápojích, jako čirok, proso, suché fazole, mnoho druhů ovoce či třeba ve vínech a čaji. Ačkoliv mohou mít negativní vliv na aktivaci trávicích enzymů, zhoršovat stravitelnost bílkovin a snižovat vstřebávání železa, jejich příznivé účinky často převažují nad těmito negativy. [49] Třísloviny obsažené v čaji (zejména theaflaviny vzniklé oxidací například katechinu (Obrázek 8)) působí v organismu především jako silné antioxidanty, čímž chrání buňky před poškozením volnými radikály a snižují riziko vzniku nádorových a mutagenních změn. Díky svým antioxidačním vlastnostem napomáhají také odstraňovat škodlivé mikroby – bojují proti bakteriím, virům i houbám. Navíc usnadňují srážení krve, což urychluje hojení drobných ran, a přispívají ke stabilizaci krevního tlaku. [50]



Obrázek 8: Katechin – zástupce taninů [5]

2.2.4 Glukosinoláty

Další skupinou antinutričních látek, které ovlivňují metabolismus minerálních látek, jsou glukosinoláty (Obrázek 9). Tyto sírné glykosidy se nacházejí v brukvovité zelenině, například v brokolici, zelí a kvěťáku. Jejich negativní vliv spočívá v interferenci s příjmem jódu, což může vést k poruchám funkce štítné žlázy v důsledku snížené syntézy jejích hormonů. Navíc mají schopnost tvořit komplexy s ionty kovů, jako je železo a zinek, což snižuje jejich biologickou dostupnost a následně i absorpci. [51] Při nadměrné a dlouhodobé konzumaci mohou způsobit zažívací obtíže, případně i toxicitu, která může vést k poškození jater, ledvin a nadledvin, zatímco u dětí může způsobit zpomalení růstu, ale toto riziko je minimální. Zároveň ale mají velké množství i pozitivních účinků, které vyrovnávají negativní vliv. Bylo identifikováno přes 130 různých glukosinolátů, které vykazují silné antioxidační, protirakovinné, fungicidní i baktericidní účinky. Z jejich metabolitů, zejména isothiokyanátů, plyne celá řada biologických benefitů: tlumí oxidační stres, modulují imunitní odpověď snížením nadměrné produkce chemokinů, podporují programovanou buněčnou smrt (apoptózu) nádorových buněk a blokují jejich neregulovaný buněčný cyklus. Dále brání angiogenezi, čímž zabraňují tvorbě nových nádorových cév, a současně prokazují účinnost proti širokému spektru patogenů – mají antibakteriální, antivirové i fungicidní vlastnosti. Primární funkcí glukosinolátů v rostlinách je jejich obranná úloha proti škůdcům, přičemž zároveň odpovídají za charakteristickou štiplavou chuť brukvovité zeleniny. [52]

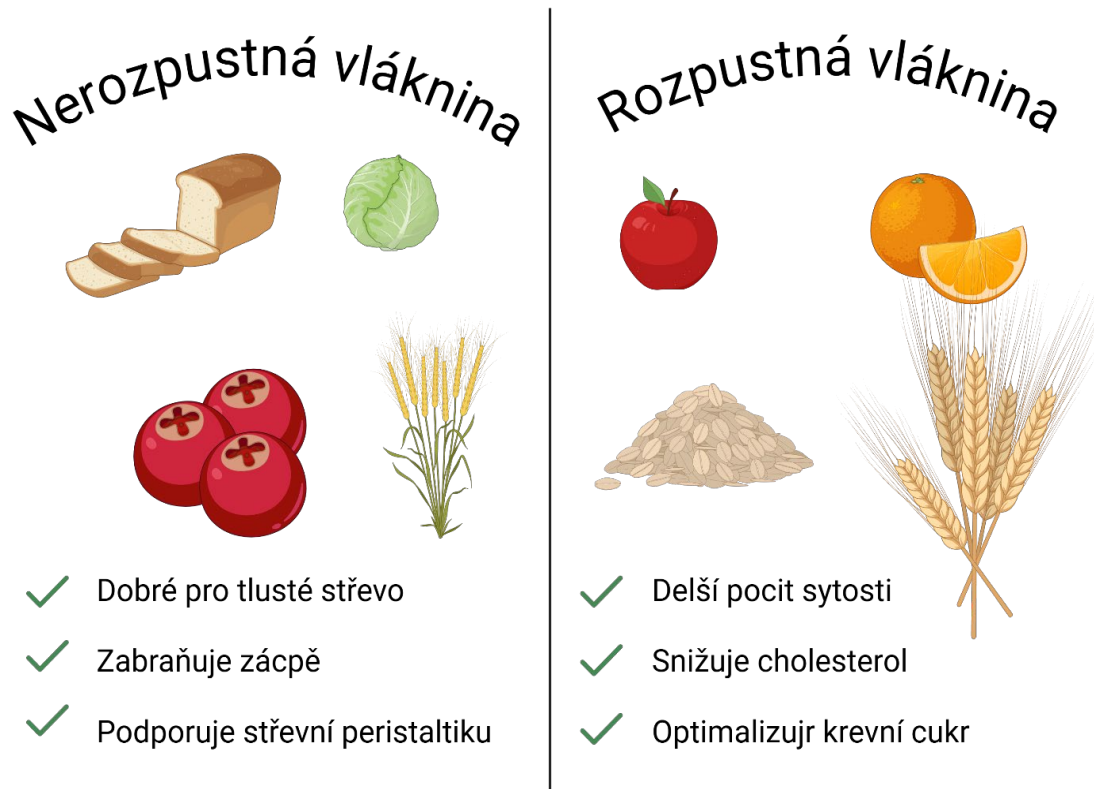


Obrázek 9: Obecný vzorec Glukosinolátu [5]

2.2.5 Vlákna

V neposlední řadě je třeba zmínit vlákninu, která se řadí mezi antinutriční faktory, i když jejím primárním účinkem není inhibice vstřebávání minerálních látek. Nadměrný příjem vlákniny však může ovlivnit absorpci glukózy (což je často považováno za žádoucí efekt), částečně inhibovat vstřebávání cholesterolu a zasahovat do trávení bílkovin. Na druhou stranu je vláknina nezbytnou složkou vyvážené stravy, jelikož zajišťuje správnou funkci střev, zvyšuje pocit sytosti a podporuje pravidelné vyprazdňování. Vlákna se skládá z nestravitelných či částečně stravitelných polysacharidů. [53] Lze ji rozdělit na rozpustnou a nerozpustnou frakci (Obrázek 10). Rozpustná vláknina absorbuje vodu, bobtná a fermentuje v trávicím traktu, kde působí jako prebiotikum podporující růst prospěšné střevní mikroflóry. Tato forma vlákniny je přítomna v luštěninách, obilninách, ovoci, zelenině a bramborách. Naopak nerozpustná

vláknina zvětšuje objem střevního obsahu a zkracuje dobu setrvání potravy ve střevech, což přispívá k prevenci zácpy. Jelikož není fermentována v trávicím traktu, její hlavní přínos spočívá v mechanickém zlepšení průchodu potravy střevy a v eliminaci odpadních látek. Nerozpustná vláknina se nachází především v celozrnných výrobcích, ořechách, semenech, hnědé rýži a slupkách ovoce a zeleniny. [54]



Obrázek 10: Rozdělení vlákniny a její zdroje [5]

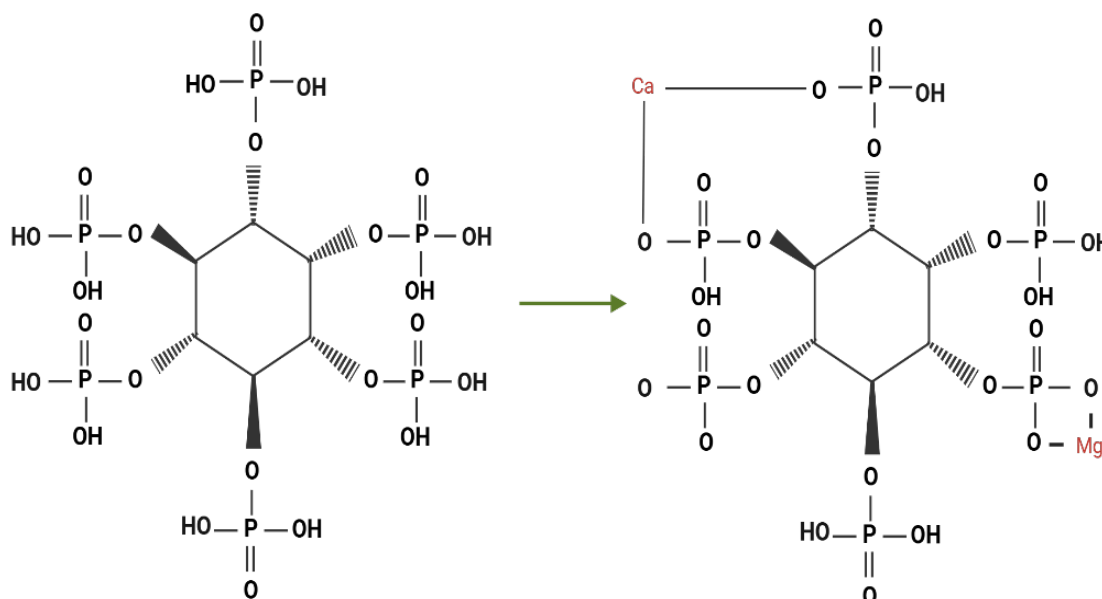
2.2.6 Strategie pro snižování účinků antinutričních látek

Antinutriční látky, jako je kyselina fytová, mohou negativně ovlivňovat vstřebávání minerálních látek a dalších nutrientů. Existuje několik strategií, které umožňují snížit jejich obsah nebo omezit jejich negativní vliv na nutriční hodnotu potravin. Namáčení je jednoduchá a efektivní metoda, která podporuje aktivaci endogenních enzymů, zejména fytáz, jež přirozeně degradují kyselinu fytovou. Namáčení je běžně využíváno u luštěnin, obilovin a olejnin. Při fermentaci mikroorganismy, jako jsou bakterie mléčného kvašení nebo kvasinky, rozkládají kyselinu fytovou na jednodušší sloučeniny. Tento proces nejen redukuje obsah antinutričních látek, ale zároveň zlepšuje biodostupnost minerálních látek a dalších živin. Fermentace se využívá například při výrobě tradičních produktů, jako jsou kysané zelí nebo kváskový chléb. Klíčení semen a obilovin stimuluje enzymatické procesy, které vedou k přirozenému štěpení fytátů. Dochází k aktivaci fytáz, což zvyšuje biologickou hodnotu rostlinných potravin. Klíčení navíc zlepšuje stravitelnost a nutriční profil potravin, zejména zvýšením obsahu vitaminů a esenciálních aminokyselin. Fytázy jsou enzymy schopné degradovat kyselinu fytovou na menší, biologicky dostupnější formy. Přidání komerčně dostupných fytáz do potravin a krmiv je jednou z nejefektivnějších strategií pro zlepšení využitelnosti minerálních látek. Strategie ke snížení obsahu antinutričních látek se široce využívají v potravinářském průmyslu. Přidání fytáz se uplatňuje zejména v průmyslové výrobě potravin a výživových doplňků, kde se využívají rekombinantní enzymy s vysokou účinností. Všechny tyto metody přispívají k optimalizaci nutriční hodnoty potravin a zajišťují lepší využitelnost minerálních látek v lidské výživě. [55]

2.3 Vliv kyseliny fytové na minerální látky

Problém minerálních interakcí lze rozdělit do několika kategorií. První skupinu tvoří situace, kdy přebytek jednoho minerálu ovlivňuje vstřebávání druhého. Například nadměrná konzumace vápníku může snížit absorpci zinku, železa a hořčíku, zatímco vysoký příjem zinku může narušit využití mědi. Další kategorií jsou organické látky, jako je právě kyselina fytová, které tvoří s minerálními látkami nestrukturované komplexy, čímž blokují jejich absorpci. Poslední skupinu tvoří faktory ovlivňující metabolické využití minerálních látek bez přímého zásahu do jejich vstřebávání. Mezi ně patří například goitrogeny, které snižují využitelnost jódu a mohou vést k dysfunkci štítné žlázy, a to i při dostatečném příjmu tohoto prvku. Interakce mezi minerálními látkami mohou být ovlivněny i jejich chemickou podobností. Například měď, zinek a kadmium sdílejí podobnou elektronovou strukturu a mají tendenci soutěžit o vazebná místa v enzymech a proteinech. Tento antagonismus může narušit jejich biologické funkce a způsobit nerovnováhu v organismu. Vliv kyseliny fytové na dostupnost minerálních látek lze do značné míry zmírnit technologickými postupy, jako je máčení, klíčení, fermentace nebo enzymatická hydrolýza fytázami. Tyto metody snižují obsah fytátů v potravinách a umožňují lepší využití minerálních látek organismem. Přestože má kyselina fytová určité negativní dopady na absorpci minerálních látek, správnými stravovacími návyky a úpravou potravin lze tyto účinky minimalizovat a zároveň využít některých jejích potenciálních přínosů, například antioxidačních vlastností.[56]

Kyselina fytová tvoří stabilní nerozpustné komplexy s minerálními látkami (Obrázek 11), což snižuje jejich absorpci. Vazba je ovlivněna pH prostředí, přítomností dalších ligandů (např. organických kyselin) a koncentrací minerálních látek. [56]



Obrázek 11: Mechanismus chelatace kyseliny fytové s minerálními látkami [5]

2.3.1 Důsledky pro absorpci jednotlivých minerálních látek

Kyselina fytová výrazně snižuje vstřebávání nehemového železa tím, že vytváří s touto minerální látkou nerozpustné komplexy. Tento efekt je zvláště problematický u osob konzumujících převážně rostlinnou stravu, protože nehemové železo je hlavním zdrojem tohoto prvku v rostlinných potravinách. Nedostatek železa může vést k anémii, únavě a snížené kognitivní výkonnosti. [26]

Také snižuje biodostupnost zinku, obdobným mechanismem jako u železa – váže se na něj a vytvářejí nerozpustné sloučeniny. Dlouhodobý deficit zinku může mít vážné důsledky, včetně oslabené imunity, zpomaleného růstu, problémů s hojením ran a narušení reprodukčních funkcí. Strategie pro zlepšení absorpce zinku zahrnují fermentaci, enzymatickou hydrolyzu fytátů a konzumaci zinkem obohacených potravin.[34]

Kyselina fytová může negativně ovlivňovat absorpci vápníku, což má přímý dopad na zdraví kostí. Tento účinek je však závislý na poměru vápníku k fytátům a na přítomnosti dalších inhibitorů, jako jsou oxaláty, které mohou dále snižovat dostupnost vápníku. Adekvátní příjem vápníku ve stravě a správná kombinace potravin mohou tento negativní efekt částečně kompenzovat. [57]

Hořčík je kyselinou fytovou ovlivněn v menší míře než železo a zinek, ale při velmi vysokém příjmu fytátů může dojít ke snížení jeho absorpce. Podobně může být ovlivněna dostupnost dalších minerálních látek, jako jsou měď a mangan, jejichž nedostatek může mít vliv na enzymatické procesy v těle. [27]

Kyselina fytová je známá svou schopností chelatovat dvou- a trojmocné kationty, což může negativně ovlivnit biologickou dostupnost esenciálních minerálních látek, jako jsou železo ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$), zinek (Zn^{2+}) a vápník (Ca^{2+}).

Gibson a kol. (2010) [58] provedli přehled fytátových a minerálních koncentrací v rostlinných doplňkových potravinách používaných v nízkopříjmových zemích. Zjistili, že mnoho těchto potravin má vysoký obsah fytátů a nízký obsah železa, zinku a vápníku, což vede k nepříznivým molárním poměrům fytát:minerál. Například 62 % zkoumaných tradičních potravin mělo alespoň dva molární poměry fytát:minerální látka překračující doporučené hodnoty pro optimální absorpci minerálních látek.

Zhang a kol. (2020) [59] ve své přehledové studii analyzovali, že kyselina fytová významně ovlivňuje biologickou dostupnost minerálních látek, přičemž nejcitlivější na její přítomnost je zinek. Jeho absorpce je inhibována přímo úměrně koncentraci fytátů i stupni jeho fosforylace, přičemž nižší fosforylované formy (např. IP3) mají na biologickou dostupnost výrazně menší dopad. U železa se rovněž prokazuje inhibiční efekt IP6, zejména u nehemového Fe, ačkoliv některé studie po odstranění fytátů uvádějí pouze mírné zlepšení absorpce. V případě vápníku zůstávají výsledky rozporuplné – část studií poukazuje na negativní vliv IP6, jiné však neprokázaly žádnou změnu dostupnosti, což souvisí i s odlišným mechanismem jeho vstřebávání. Pro hodnocení dostupnosti se často využívají molární poměry fytátů k minerálním látek, přičemž za kritické jsou považovány hodnoty PA:Zn nad 15:1, PA:Fe nad 1:1 a PA:Ca nad přibližně 5:1, ačkoliv právě u vápníku je prediktivní hodnota tohoto poměru sporná. Výsledné účinky fytátů jsou silně ovlivněny nejen koncentrací a strukturou IP6, ale také složením potravinové matrice, pH prostředí a přítomností dalších látek či enzymů, například fytázy, jejíž aktivita může negativní vliv fytátů výrazně zmírnit.

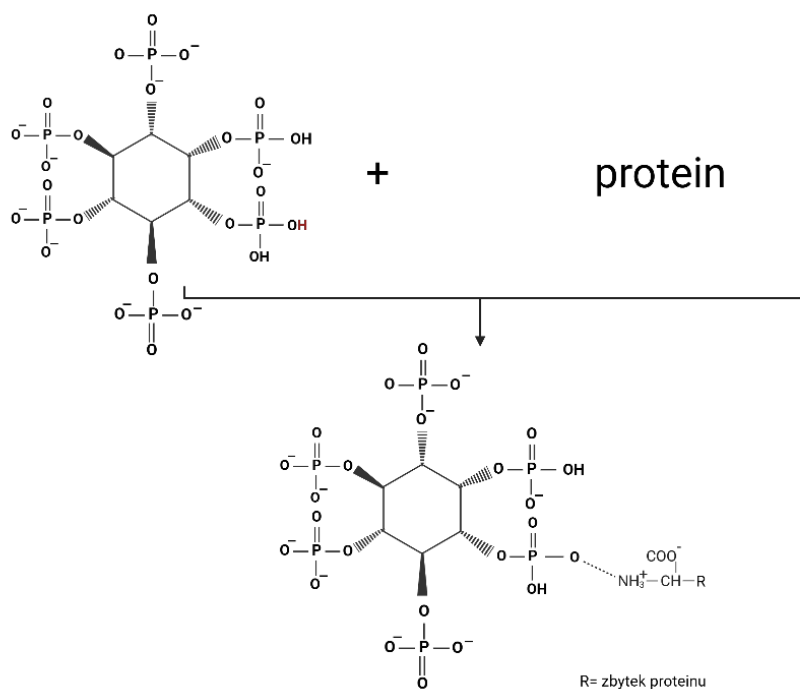
Obě studie potvrzují, že kyselina fytová významně ovlivňuje biologickou dostupnost železa, zinku a vápníku. Zatímco Zhang et al. (2022) zdůrazňují komplexnost interakcí fytátů s minerálními látkami a dalšími složkami potravy, Gibson et al. (2010) poskytují konkrétní data o obsahu fytátů a minerálních látek v potravinách a navrhují praktická řešení ke zlepšení jejich dostupnosti. Tyto poznatky jsou klíčové pro vývoj výživových strategií, zejména v oblastech s vysokou konzumací rostlinných potravin a rizikem nedostatku minerálních látek.

2.4 Vliv kyseliny fytové na další nutrienty

2.4.1 Proteiny

Kyselina fytová je známá svou schopností tvořit komplexy s bílkovinami, což může ovlivnit jejich stravitelnost a biologickou dostupnost. Při nízkém pH se kyselina fytová elektrostaticky váže na zásadité aminokyseliny, jako jsou arginin, lysin a histidin. V izoelektrickém bodě bílkovin se tyto komplexy mohou rozpadat, avšak za přítomnosti dvojmocných kationtů, zejména vápníku, mohou vznikat nerozpustné komplexy mezi kyselinou fytovou a bílkovinami. Tyto komplexy jsou odolnější vůči proteolytickému štěpení, což může vést ke snížené stravitelnosti bílkovin. [44]

Kyselina fytová také inhibuje aktivitu důležitých trávicích enzymů, včetně pepsinu, trypsinu, α -amylázy a lipázy. Tato inhibice může dále snižovat účinnost trávení bílkovin a dalších látek. Interakce kyseliny fytové s bílkovinami (Obrázek 12) může mít za následek sníženou využitelnost esenciálních aminokyselin z potravy. Přídavek enzymu fytázy do stravy byl prokázán jako účinný prostředek ke zlepšení stravitelnosti bílkovin a dostupnosti minerálních látek. [44]



Obrázek 12. Schéma reakce kyseliny fytové s proteinem [5]

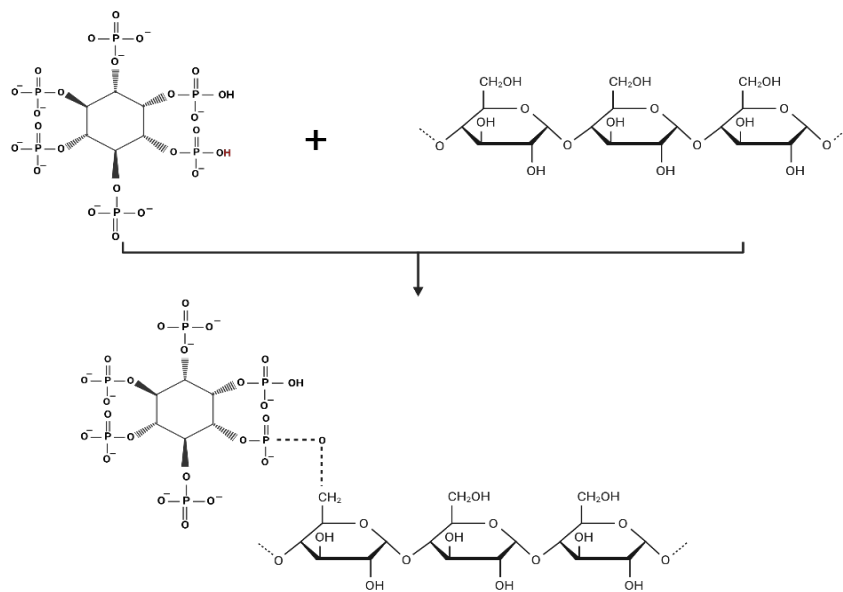
Studie zaměřené na tento problém ukazují, jak významně může kyselina fytová ovlivnit biologickou hodnotu rostlinných bílkovin, přičemž účinky závisí na typu potravin a dalších podmínkách.

Studie "Effects of Phytic Acid on Protein Digestibility (In Vitro) and HCl-Extractability of Minerals in Pearl Millet Sprouts" publikovaná v roce 1993 v časopise *Cereal Chemistry*, zkoumala vliv klíčení na obsah fytové kyseliny, stravitelnost bílkovin a extrahovatelnost minerálních látek v perlmilletových klíčcích. Studie prokázala, že například klíčení perlového prosa po dobu 48–60 hodin při 25–40°C vedlo k snížení obsahu fytové kyseliny, což bylo spojeno s významným zvýšením in vitro stravitelnosti bílkovin, až o 12 %. Toto zlepšení bylo přímo závislé na poklesu hladiny fytátu, což potvrzuje jeho inhibiční vliv na proteolytické enzymy a celkovou využitelnost bílkovin. [60]

V práci Bye et al. (2013) [61] autoři zkoumali, jak fytát sodný, tedy sodná sůl kyseliny fytové, ovlivňuje strukturu a rozpustnost tří modelových proteinů – lysozymu, myoglobinu a lidského sérového albuminu. Ukázalo se, že při neutrálním pH se fytát sodný silně váže na kladně nabitý lysozym, vytváří mezi jeho molekulami tzv. „cross-linking“ a snižuje jeho rozpustnost. Naproti tomu myoglobin a albumin, které nesou neutrální, respektive záporný náboj, s fytátem spíše asociují, aniž by vznikaly nerozpustné komplexy. DSC odhalila, že ve všech třech případech fytát sodný proteiny destabilizuje, aniž by je však vedl k úplné denaturaci. Autoři proto souvisejí tyto výsledky s trávicím procesem, v němž by fytát mohl vázat kladně nabitě trávicí enzymy – například pepsin či trypsin – a tím omezovat jejich aktivitu. Zároveň však upozorňují, že zvýšená koncentrace aniontů, například chloridů, dokáže tuto inhibici enzymů neutralizovat.

2.4.2 Sacharidy

Kyselina fytová má schopnost vytvářet komplexy nejen s bílkovinami, ale také se sacharidy. Tyto komplexy zpomalují trávení a absorpci sacharidů, což vede ke snížení glykemického indexu. Tento efekt může být přínosný zejména pro jedince s diabetem, neboť jim umožňuje efektivnější regulaci hladiny glukózy v krvi. Vazba sacharidů na kyselinu fytovou může probíhat buď přímo (Obrázek 13), nebo častěji prostřednictvím bílkovin, které již s fytáty tvoří komplexy. Ke zpomalení trávení sacharidů dále přispívá skutečnost, že vápenaté ionty, které se podílejí na tvorbě komplexů s kyselinou fytovou, inhibují aktivitu amyláz. Jelikož mnohé enzymy vyžadují přítomnost vápenatých iontů pro svou funkci, jejich navázání na kyselinu fytovou může vést ke snížení enzymatické aktivity a tím k ovlivnění procesu trávení sacharidů. [62][63]



Obrázek 13: Schéma reakce kyseliny fytové s amyložou [5]

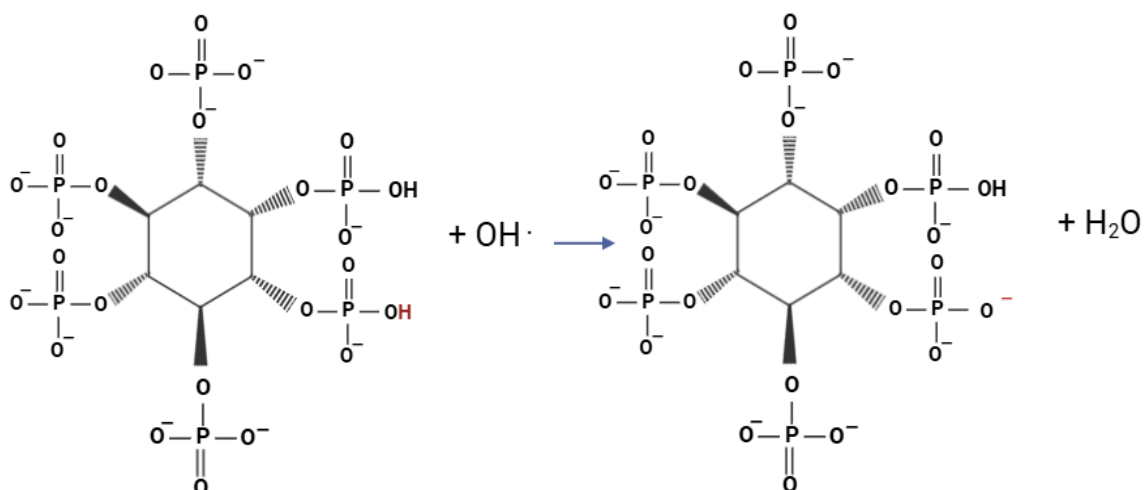
Studie Starch Digestibility as Affected by Polyphenols and Phytic Acid (1984) se zaměřila na vliv kyseliny fytové a polyfenolů na stravitelnost škrobu in vitro. Výsledky ukázaly, že přítomnost fytátu snížila stravitelnost škrobu o 28 %. Tento pokles byl spojen s tvorbou komplexů mezi fytátem a škrobem, které zpomalily enzymatickou degradaci škrobu.[64]

Studie The effect of phytic acid on in vitro rate of starch digestibility and blood glucose response (1983) zkoumala vliv kyseliny fytové na rychlost in vitro trávení škrobu a následnou glykemickou odpověď u zdravých dobrovolníků. Bylo zjištěno, že přítomnost fytátu zpomalila trávení škrobu a vedla k nižší hladině glukózy v krvi, což naznačuje potenciální vliv na glykemický index potravin.[62]

Výše uvedené studie potvrzují, že kyselina fytová může ovlivnit stravitelnost sacharidů, přičemž účinky závisí na koncentraci fytátu, typu sacharidů a dalších složkách potravin. Například studie *Starch Digestibility as Affected by Polyphenols and Phytic Acid* (2012) ukázala, že fytát může snížit stravitelnost škrobu o 28 %, což může mít vliv na glykemický index potravin. Další studie naznačují, že snížení obsahu fytátu může zlepšit dostupnost minerálních látek a ovlivnit sacharidový profil potravin.

2.4.3 Lipidy

Peroxidace lipidů vede k tvorbě široké škály nasycených a nenasycených aldehydů a dalších karbonylových sloučenin s různou délkou řetězce, které se podílejí na peroxidativním poškození buněk. Tento proces může inhibovat syntézu DNA, RNA a proteinů a narušovat buněčné dýchání. Kyselina fytová vykazuje řadu biologických aktivit, včetně antioxidačních, antikarcinogenních, hypoglykemických a hypolipidemických účinků. V kontextu interakcí s lipidy, respektive s volnými radikály (Obrázek 14), se její antioxidační aktivita projevuje vychytáváním těchto radikálů, čímž zabraňuje oxidativnímu poškození lipidů. [65]



Obrázek 14: Reakce kyseliny fytové s volným hydroxylovým radikálem [5]

Kromě toho může kyselina fytová ovlivňovat metabolismus lipidů snížením kontaktu lipidů s přítomnými lipázami či vyvázáním iontů vápníku a tím inhibovat lipázy. Negativní vliv kyseliny fytové na trávení lipidů byl prokázán v několika studiích, které ukazují, že fytát může tvořit komplexy s ionty vápníku, čímž snižuje dostupnost vápníku pro trávení lipidů a následně snižuje aktivitu lipáz.

Pei a kol. (2019) [66] zkoumali vliv kyseliny fytové na trávení lipidů a biologickou dostupnost kurkuminu v olej-ve-vodě nanoemulzích pomocí simulovaného gastrointestinálního traktu. Zjistili, že přidání 0,5 % kyseliny fytové do nanoemulzí vedlo k významnému zvýšení počáteční rychlosti trávení lipidů, ale snížení celkového množství uvolněných volných mastných kyselin z $105,7 \pm 5,9$ % na $78,4 \pm 6,4$ %. Tento pokles byl přičítán schopnosti fytátu vázat ionty vápníku, které jsou klíčové pro aktivitu pankreatické lipázy, a tím inhibovat pozdější fáze trávení lipidů.

Lee a kol. (2015) [67] ve své studii zkoumali vliv kyseliny fytové na biologickou dostupnost živin a antioxidační vlastnosti různých odrůd rýže. Zjistili, že vysoký obsah fytátu (18,20 až 32,36 g/kg) může ovlivnit biologickou dostupnost lipidů a dalších živin, což naznačuje, že fytát může mít širší dopad na nutriční hodnotu potravin bohatých na lipidy.

Výše uvedené studie potvrzují, že kyselina fytová může negativně ovlivnit trávení lipidů. Pei et al. (2019) prokázali, že přítomnost fytátu v nanoemulzích snižuje množství uvolněných volných mastných kyselin, což může být důsledkem vazby fytátu na ionty vápníku a následné inhibice aktivity lipáz. Lee et al. (2014) naznačují, že vysoký obsah fytátu v potravinách může ovlivnit biologickou dostupnost lipidů, což má důsledky pro nutriční hodnotu těchto potravin. Tyto poznatky jsou důležité pro vývoj potravin a dietních strategií zaměřených na optimalizaci trávení a vstřebávání lipidů.

2.5 Analytické metody používané ke stanovení fytátů a fixační schopnosti kyseliny fytové

Stanovení kyseliny fytové a jejích derivátů, zejména různých forem inositolfosfátů, je důležité jak z hlediska hodnocení výživové hodnoty potravin, tak při studiu jejich biologických funkcí. Existuje celá řada analytických metod, které se pro tyto účely využívají, přičemž volba konkrétního postupu závisí na požadované citlivosti, selektivitě, dostupném vybavení a povaze samotného vzorku. Tyto metody se dají rozdělit do čtyř hlavních kategorií – klasické techniky, senzory, spektroskopie a separační metody. Každá z těchto skupin přináší specifické výhody i určité limity a v praxi se často vzájemně doplňují. [68]

Klasické analytické metody pro stanovení kyseliny fytové zahrnují srážkové techniky, které byly poprvé vyvinuty v roce 1914 a spočívají v extrakci mletých částic zrna kyselinou HCl a titraci pomocí železitého roztoku a thiokyanatanu amonného. Tato metoda byla postupně vylepšována, ale stále vykazuje problémy, jako je nekonzistentní stechiometrie a neselektivita, což může ovlivnit přesnost výsledků. Přesto se používala pro rutinní analýzu potravin, ačkoliv byla postupně nahrazena přesnějšími technikami. Klasickými metodami jsou také potenciometrické titrace, které se rozvinuly kolem roku 2000 a využívají pokročilou analýzu acidobazických vlastností fytátu a jeho interakcí s vícemocnými kovy. Tyto titrace umožňují přesnou standardizaci kyseliny fytové a minimalizují chyby způsobené její nedostatečnou čistotou. Potenciometrické titrace se staly oblíbenými pro studium komplexace fytátu s kovy, díky své vysoké přesnosti a spolehlivosti.[68]

Další skupinou jsou separační metody, sloužící pro analýzu inositolfosfátů a zde patří například kapalinová chromatografie, iontová chromatografie, plynová chromatografie a chromatografie na tenké vrstvě. Kapalinová chromatografie je široce používaná metoda pro separaci inositolfosfátů, zejména díky své schopnosti oddělovat různé izomery a poskytovat vysokou citlivost detekce. Využívá interakce mezi analytickými molekulami a stacionární fází, což umožňuje jejich separaci na základě rozdílů v afinitě k této fázi. Je vhodná pro analýzu komplexních směsí a je často kombinována s různými detektory pro zvýšení citlivosti a selektivity. Iontová chromatografie je specifická metoda zaměřená na separaci iontů a polárních molekul, jako jsou inositolfosfáty. Využívá iontově výměnných kolon a je efektivní při analýze vzorků, kde je potřeba oddělit různé iontové formy analytů. Je ceněna pro svou schopnost rychlé a efektivní separace s vysokou reprodukovatelností. Plynová chromatografie je vhodná pro analýzu těkavých a termicky stabilních sloučenin. Pro analýzu inositolfosfátů je však často nutná předchozí derivatizace, aby se zvýšila těkavost analytů. Tato metoda je ceněna pro svou vysokou rozlišovací schopnost a je schopna detekovat velmi nízké koncentrace analytů. Chromatografie na tenké vrstvě je jednoduchá a rychlá metoda pro separaci inositolfosfátů, která nevyžaduje složité přístrojové vybavení. Je vhodná pro rychlou kontrolu čistoty vzorků a pro separaci menších množství analytů. I když není tak citlivá jako LC nebo GC, je ceněna pro svou jednoduchost a nízké náklady. [68]

Vedle srážecích a separačních technik představují různé druhy spektroskopie důležitou skupinu metod používaných pro stanovení kyseliny fytové a dalších inositolfosfátů. Mezi tyto metody patří zejména UV-VIS spektrofotometrie, fluorescenční spektroskopie, nukleární magnetická rezonance a metody využívající indukčně vázanou plazmu.[68]

Posledním možným přístupem k detekci kyseliny fytové je využití senzorových metod, které umožňují citlivé a často velmi specifické stanovení i v komplexních maticích. Nejčastěji se využívají elektrochemické biosenzory a fluorescenční nanosondy.[68]

2.5.1 Metoda ICP OES

Indukčně vázaná plazmová optická emisní spektrometrie představuje moderní a široce využívanou analytickou metodu pro stanovení koncentrací kovových i některých nekovových prvků v různých maticích. Tato technika se vyznačuje vysokou citlivostí, selektivitou a schopností multielementární analýzy, což ji činí vhodnou pro aplikace v oblasti environmentální chemie, potravinářství, farmacie, metalurgie a dalších oborů.[69; 70]

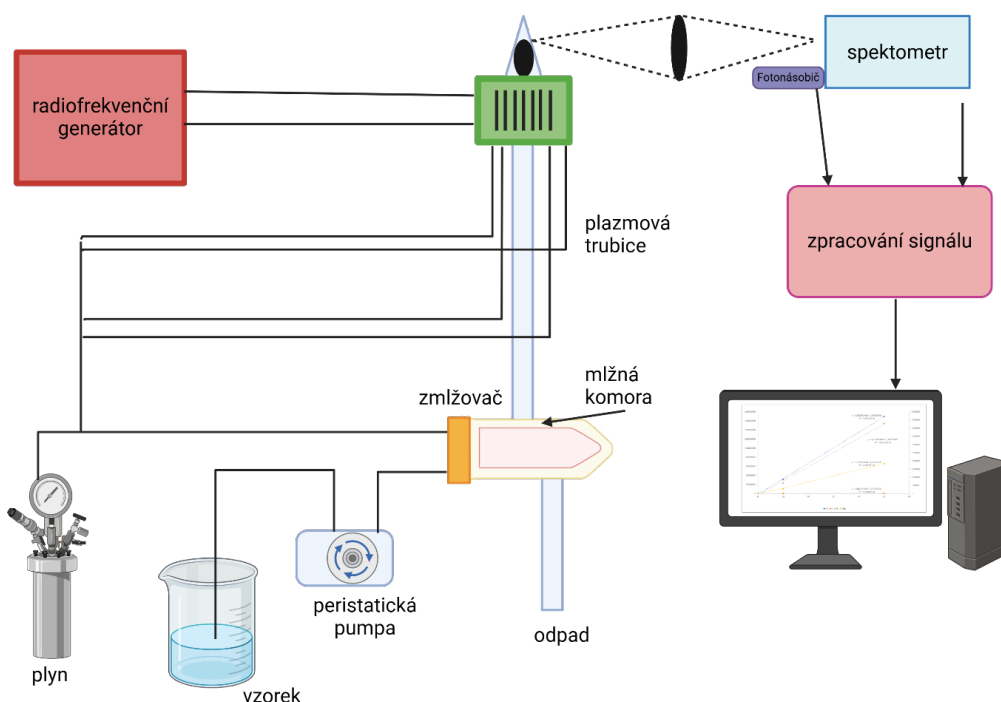
ICP–OES je založena na excitaci atomů a iontů vzorku pomocí indukčně vázaného plazmatu, které je generováno vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem. Vzorek je nejprve převeden do kapalné formy a poté zaveden do plazmatu, kde dojde k jeho rozkladu na jednotlivé atomy a ionty. Vysoká teplota plazmatu způsobí excitaci těchto částic, které následně emitují světlo na charakteristických vlnových délkách. Spektrometr následně detekuje intenzitu emisních čar a kvantifikuje přítomnost jednotlivých prvků.[71][72]

Přístroj ICP–OES se skládá z několika klíčových komponent(Obrázek 15). Plazmový zdroj tvořený argonovým plynem zajišťuje excitaci atomů a iontů vzorku. Vzorkovací systém, zahrnující nebulizátor a rozprašovací komoru, umožňuje efektivní transport vzorku do plazmatu. Optický systém obsahuje monochromátor nebo polychromátor, který rozkládá emitované světlo na jednotlivé spektrální čáry. Detekční systém tvoří fotonásobiče nebo CCD detektory, které registrují intenzitu emisního spektra. Výpočetní a vyhodnocovací jednotka zpracovává získaná data a umožňuje kvantifikaci prvků. Schéma metody lze vidět na níže uvedeném obrázku (Obrázek 15).

Metoda ICP–OES nabízí řadu výhod. Schopnost multielementární analýzy umožňuje stanovit koncentrace mnoha prvků současně. Vysoká citlivost umožňuje detekční limity v řádu mikrogramů až nanogramů na litr. Široký lineární dynamický rozsah umožňuje měření prvků v různých koncentracích. Analýza je relativně rychlá a většina měření trvá v řádu desítek sekund na vzorek. Oproti jiným optickým metodám ICP–OES vykazuje nízké spektrální interference, což umožňuje lepší separaci signálů jednotlivých prvků.[73]

Metoda má však i své nevýhody. Vysoké provozní náklady souvisejí se spotřebou argonu, údržbou přístroje a potřebou kvalifikované obsluhy. Při analýze složitých matic může docházet k překryvu emisních čar různých prvků, což vyžaduje vhodné korekční metody. Některé vzorky vyžadují mineralizaci nebo jiné úpravy k odstranění interferujících složek, což prodlužuje přípravu analýzy.[73]

ICP–OES nachází široké uplatnění v různých oblastech výzkumu a průmyslové analýzy. V environmentální analýze se využívá ke stanovení těžkých kovů ve vodách, půdách a odpadech. V potravinářské chemii umožňuje kvantifikaci esenciálních minerálních látek a sledování kontaminantů v potravinách. Ve farmaceutickém průmyslu se používá pro analýzu stopových prvků v léčivech. V metalurgii a materiálových vědách slouží k monitorování složení kovových materiálů. V biomedicínské analýze se využívá ke sledování stopových prvků v biologických vzorcích.[70][72]



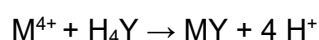
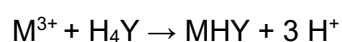
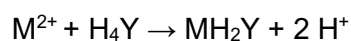
Obrázek 15: Schéma ICP–OES metody [74][5]

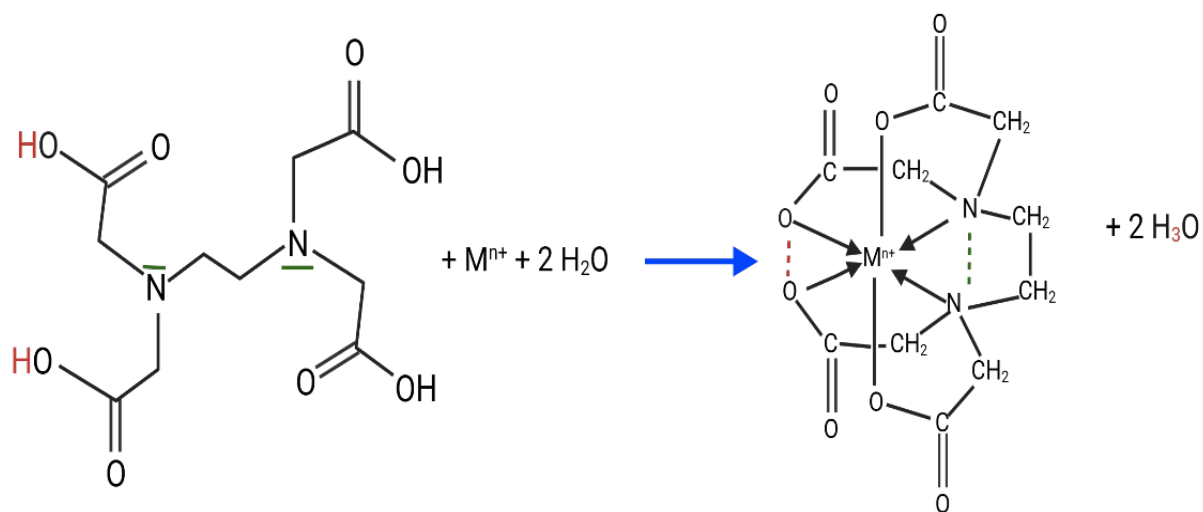
2.5.2 Komplexometrická titrace

Komplexometrická titrace představuje kvantitativní analytickou metodu sloužící ke stanovení koncentrace kovových iontů ve vzorcích. Tato metoda je založena na tvorbě stabilních komplexních sloučenin mezi kovovými ionty a chelatačním činidlem, přičemž nejčastěji používaným ligandem je ethylendiamintetraoctová kyselina. EDTA vytváří silné chelátové komplexy s většinou kovových iontů a je dostupná ve formě dihydrátu pod označením Chelaton 3.[75][76]

Princip komplexometrické titrace spočívá v reakci kovového iontu s chelatačním činidlem za vzniku stabilního komplexu. Při výběru indikátoru je nezbytné, aby stabilita komplexu kovu s Chelatonem byla vyšší než stabilita komplexu kovu s indikátorem a zároveň aby komplex kovu s indikátorem vykazoval odlišné zbarvení oproti volnému indikátoru při daném pH titračního prostředí.[77] Titrace se provádí za pečlivě kontrolovaných podmínek pH, které optimalizují tvorbu komplexu a minimalizují interferenci jiných iontů. K indikaci bodu ekvivalence se běžně využívají metalochromní indikátory nebo samotné roztoky, pokud jsou zbarvené.

V rámci stechiometrie reakce platí, že jedna molekula EDTA (označená jako „Y“) reaguje vždy s jedním iontem kovu (obecně značeným „M“) (Obrázek 16), a to nezávisle na jeho mocnství. Tato vlastnost EDTA umožňuje přesné stanovení kovových iontů na základě molárního poměru v reakci.[78]





Obrázek 16: Navázání iontů kovů pomocí EDTA[5][75; 79]

Komplexometrická titrace se vyznačuje několika významnými výhodami, mezi něž patří vysoká selektivita a citlivost, což umožňuje přesné stanovení širokého spektra kovových iontů. Metoda je zároveň relativně rychlá a nenáročná na provedení, což ji činí vhodnou pro rutinní analytické aplikace v různých oblastech, včetně environmentální, farmaceutické a potravinářské analýzy. Nicméně pro dosažení přesných výsledků je nezbytné zajistit optimální podmínky titrace. Mezi klíčové faktory patří především správná kontrola pH, které ovlivňuje stabilitu komplexů kovů s chelatačním činidlem. Rovněž je často nutné použití maskovacích činidel k eliminaci interferujících iontů, jež by mohly ovlivnit průběh titrace a zkreslit výsledky analýzy.[80]

Komplexometrická titrace nachází široké uplatnění v různých oblastech analytické chemie díky své přesnosti a univerzálnosti. V environmentální analýze je klíčovou metodou pro stanovení tvrdosti vody, která je určena obsahem vápenatých a hořečnatých iontů. V potravinářství se využívá k analýze obsahu kovových iontů v potravinách a nápojích, čímž přispívá ke kontrole kvality a bezpečnosti potravinářských produktů. Ve farmaceutickém průmyslu je komplexometrická titrace důležitým nástrojem pro kvantifikaci kovových nečistot v léčivech, kde přítomnost stopových kovů může ovlivnit stabilitu a účinnost farmaceutických přípravků. Další významné aplikace zahrnují kontrolu kvality v metalurgii, kde umožňuje přesné stanovení kovových složek ve slitinách a rudách, a analýzu biologických vzorků, například při monitorování esenciálních i toxických kovů v krvi, tkáních či jiných biologických matricích.[76]

Komplexometrická titrace představuje spolehlivou a široce využívanou analytickou metodu, která hraje klíčovou roli v moderní analytické chemii. Její význam spočívá nejen v přesném stanovení koncentrace kovových iontů, ale také v její univerzálnosti, umožňující analýzu rozmanitých typů vzorků napříč různými obory.

Neustálý vývoj nových indikátorů, optimalizace experimentálních podmínek a zdokonalování analytických postupů přispívají k dalšímu rozšíření této metody. Díky těmto inovacím se komplexometrická titrace stále častěji uplatňuje v moderních analytických laboratořích, kde nachází využití v environmentální analýze, potravinářství, farmaceutickém průmyslu i biomedicínských aplikacích.[81][82]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V rámci této kapitoly jsou sepsány všechny použité vzorky, chemikálie a také sepsány všechny postupy použitých metod.

3.1 Materiály a zařízení

3.1.1 Pomůcky

- standartní chemické sklo (pipety, kádinky, titrační baňky, byrety, odměrné baňky, odsávací baňky)
- Büchnerova nálevka
- automatické pipety (Thermo Scientific)
- plastové špičky
- plastové zkumavky se závitovým uzávěrem 10 ml
- plastové centrifugační zkumavky 50 ml
- plastové stříkačky, jednorázové, 10 ml
- skleněné tyčinky
- lodičky na vážení
- Stříkačkový filtr, pore size 0,45 μm , Chromservis s.r.o.
- teploměr

3.1.2 Chemikálie

- demineralizovaná voda, destilovaná voda
- hydroxid sodný (NaOH perly p.a., Lach-Ner, s. r. o., ČR)
- kyselina chlorovodíková (36% HCl Analpure, Analytika, spol. s r.o., ČR)
- Ethylenediamine–tetraacetic acid disodium salt dihydrát (SIGMA)
- Iron (III) chloride hexahydrát (SIGMA–ALDRICH, Co.)
- Phytic acid Solution 50% (w/w) in H₂O (SIGMA–ALDRICH, Co.)
- Kyselina 5–sulfosalicylová dihydrát p.a. (Lachema s.p.)
- Sodium sulfate (SIGMA–ALDRICH, Co.)
- pancreatin from porcine pankreas (SIGMA–ALDRICH, Co.)
- pepsin from porcine gastric mucosa ≥ 250 units/mg solid (SIGMA–ALDRICH, Co.)
- bile extract porcine (SIGMA–ALDRICH, Co.)

3.1.3 Použité přístroje

- předvážky A&D EK–600H
- analytické váhy A&D HR–120
- centrifuga (Rotofix 32 A, Hettich)
- pH metr (VWR® pHenomenal® MD 8000 H Multi-Parameter Instruments, Handheld)
- freeze dry system / freezone 4.5, LABCONCO
- pec muflová, LAC, s.r.o.
- plotýnky (RSM-H, Phoenix Instrument)
- ICP-OES Horiba Jobin Yvonne Ultima 2

3.1.4 Použité vzorky rostlinných doplňků

- Protein izolovaný z otrub (FCH VUT, otruby od mlýn Voženílek)
- Otruby od mlýn Voženílek
- Sójový protein IMPACT, neochucený (MYVEGAN)
- Hrachový protein IMPACT, neochucený (MYVEGAN)
- Bio konopný protein, neochucený (VANAVITA)
- Bio rýžový protein, neochucený (VANAVITA)

3.2 Stanovení koeficientu vaznosti mezi železitými ionty a kyselinou fytoovou

Měření bylo provedeno ve dvou opakováních pro každou ze dvou různých koncentrací kyseliny fytoové a dále pro kontrolní vzorek obsahující pouze destilovanou vodu. Do centrifugačních zkumavek bylo odměřeno 10,0 ml destilované vody nebo 10,0 ml roztoku kyseliny fytoové obsahujícího 5,8 mg či 11,2 mg této sloučeniny. Následně bylo do každé zkumavky přidáno 10,0 ml 0,4M roztoku HCl, 10,0 ml 0,02M roztoku FeCl₃ a 10,0 ml 20% roztoku kyseliny sulfosalicylové. Připravené směsi byly jemně promíchány, uzavřeny pryžovou zátkou s úzkou skleněnou trubičkou sloužící k minimalizaci odpařování, a poté zahřívány ve vroucí vodní lázni po dobu 15 minut. Po vyjmutí z lázně byly zkumavky ponechány k vychladnutí.

Vzorky byly následně odstředovány při 5000 otáčkách za minutu po dobu 10 minut. Sraženina byla promyta malým objemem destilované vody a celý proces odstředování byl zopakován. Supernatant, včetně promyté části, byl poté zředěn destilovanou vodou na konečný objem 100,0 ml.

Z připraveného roztoku bylo odebráno 20,0 ml, jehož pH bylo upraveno na hodnotu $2,45 \pm 0,05$ pomocí roztoku glycinu. Následně byl roztok doplněn destilovanou vodou na objem 200 ml. Tento roztok byl ohřát na 70 °C, a ještě za tepla titrován roztokem 50 mM EDTA. Obsah volných železitých iontů c_{Fe_v} ve všech vzorcích, včetně slepého pokusu s vodou, po provedení experimentu byl spočítán jako:

$$c_{Fe_v} [M] = \frac{c_{EDTA} \cdot V_{EDTA} \cdot F_{zř}}{V}, \quad (1)$$

kde c_{EDTA} je koncentrace použitého roztoku EDTA, V_{EDTA} je spotřebovaný objem EDTA při titraci, $F_{zř}$ je faktor zředění a V je objem titrovaného roztoku kyseliny fytoové.

Obsah navázaného množství železa kyselinou fytoovou $c_{Fe_{PA}}$ byl spočítán dle vzorce:

$$c_{Fe_{PA}} = c_{Fe_z} - c_{Fe_{Bl}} - c_{Fe_v}, \quad (2)$$

kde c_{Fe_z} koncentrace železa na začátku v roztoku, $c_{Fe_{Bl}}$ je koncentrace železa, která byla spotřebována v rámci slepého pokusu a c_{Fe_v} je koncentrace volných iontů v příslušném roztoku kyseliny fytoové.

Poměr vaznosti (Z) byl potom určen z poměru množství kyseliny fytoové ve vzorku a koncentrace navázaných železitých iontů a dle vzorce:

$$Z = \frac{m_{PA}}{c_{Fe_{PA}} \cdot M_{Fe} \cdot V}, \quad (3)$$

kde m_{PA} je množství kyseliny fytoové přidané do roztoku, $c_{Fe_{PA}}$ je obsah navázaného množství železa kyselinou fytoovou, M_{Fe} je molární hmotnost železa a V je objem vzorku na začátku experimentu před ředěním. Poměr vaznosti Z byl určen jako průměr mezi jednotlivými poměry návaznosti pro obsah kyseliny 5,8 a 11,2 mg kyseliny fytoové

3.3 Stanovení obsahu kyseliny fytoové v rostlinných doplňcích stravy

Přibližně 2,5 g vzorku bylo naváženo a extrahováno pomocí 40,0 ml extrakčního činidla, tvořeného 10% roztokem Na₂SO₄ v 0,4M kyselině chlorovodíkové. Směs byla umístěna na třepačku a protřepávána po dobu 3 hodin při laboratorní teplotě. Po extrakci byla vzniklá suspenze odstředována při 5000 otáčkách za minutu po dobu 30 minut. Získaný supernatant byl následně přefiltrován.

Z přefiltrovaného supernatantu bylo odpipetováno 10,0 ml do centrifugační zkumavky. K tomuto objemu bylo přidáno 10,0 ml 0,4M HCl, 10,0 ml 0,02M roztoku FeCl₃ a 10,0 ml 20% roztoku kyseliny sulfosalicylové. Směs byla jemně promíchána a zkumavka byla uzavřena pryžovou zátkou s úzkou skleněnou trubičkou pro minimalizaci odpařování. Takto připravený vzorek byl zahříván ve vroucí vodní lázni po dobu 15 minut a po vyjmutí ponechán k vychladnutí.

Následovalo odstředování při 5000 otáčkách za minutu po dobu 10 minut. Zbylá sraženina byla promyta malým objemem destilované vody a celý proces odstředování byl zopakován. Výsledný supernatant, včetně promyté frakce, byl zředěn destilovanou vodou na objem 100,0 ml.

Z tohoto roztoku bylo odebráno 20,0 ml a pH bylo upraveno na hodnotu 2,45 ± 0,05 pomocí roztoku glycinu. Roztok byl poté doplněn destilovanou vodou na konečný objem 200 ml. Následně byl ohřát na 70 °C, a ještě za tepla titrován roztokem 50 mM EDTA.

K vyjádření obsahu kyseliny fytové byl použit vzorec:

$$m_{PA} \text{ [mg/g]} = \frac{c_{Fe} \cdot V \cdot M_{Fe} \cdot F_{zř} \cdot Z \cdot 1000}{m_0}, \quad (4)$$

kde c_{Fe} je koncentrace zbytkových volných železitých iontů stanovená při titraci, V je objem původního vzorku před ředěním, M_{Fe} je molární hmotnost železa, $F_{zř}$ je faktor zředění, Z je stanovený poměr návaznosti Fe/P a m_0 je navážka vzorku dána k extrakci.

3.4 Stanovení obsahu minerálních látek v rostlinných doplňcích stravy

Byl navážen 1 g vzorku, který byly následně umístěn do žíhacích kelímků a spalován v muflové peci. Proces žíhání probíhal ve dvou fázích: nejprve po dobu 30 minut při teplotě 400 °C a poté při teplotě 750 °C po dobu 3 hodin. Po vychladnutí byl vzniklý popel kvantitativně přemístěn do kádinek, ke kterým bylo přidáno 10 ml 1M kyseliny chlorovodíkové. Kádinky byly zakryty hodinovými sklíčky a umístěny na hřející desku, kde byly zahřívány až těsně pod bod varu, poté odstaveny a ponechány k vychladnutí. Následně byl jejich obsah kvantitativně převeden do odměrných baněk o objemu 50 ml, avšak bez doplnění po rysku.

Do stejných kádinek, které byly použity při předchozím zahřívání, bylo opět přidáno 10 ml 1M kyseliny chlorovodíkové a obsah byl ponechán vařit po dobu 10 minut. Po vychladnutí byl tento roztok rovněž kvantitativně převeden do příslušných odměrných baněk. Objem ve všech baňkách byl následně doplněn demineralizovanou vodou po rysku na celkový objem 50 ml. Vzniklé roztoky byly přefiltrovány a připravené vzorky následně analyzovány metodou optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem za podmínek uvedených v tabulce 4.

Tabulka 4: Nastavení přístroje ICP–OES

Parametr	Hodnota
Výkon radiofrekvenčního generátoru	1350,0 W
Průtok hlavního plazmového plynu	12,5 l/min
Průtok stínícího plynu	0,2 l/min
Průtok zmlžovacího plynu	1,0 l/min
Tlak na zmlžovači	3,0 bar

3.5 Stanovení vlivu kyseliny fytové na vstřebatelnost minerálních látek

Veškerá stanovení vstřebatelnosti minerálních látek byla provedena v duplikátech. K navážce vzorku o hmotnosti přibližně 1,0 g bylo přidáno 10,0 ml destilované vody nebo 10,0 ml vodného roztoku obsahujícího 15,0 nebo 30,0 mg kyseliny fytové. pH vzorků bylo upraveno na $2,0 \pm 0,05$ pomocí 1M roztoku HCl. Následně bylo přidáno 0,3 g pepsinu rozpuštěného v 6,0 ml 0,1M roztoku HCl za účelem simulace žaludeční fáze trávení.

Vzorky byly inkubovány po dobu 2 hodin při teplotě 37 °C v laboratorní sušárně. Během inkubace byly v pravidelných pětiminutových intervalech jemně protřepávány. Po uplynutí této doby bylo pH vzorků upraveno na $6,0 \pm 0,05$ pomocí 1M roztoku NaOH a následně bylo přidáno 10,0 ml pankreatického extraktu, připraveného rozpuštěním 0,06 g pankreatinu a 0,36 g žlučových solí ve 0,1M roztoku NaOH. Vzorky byly inkubovány dalších 30 minut za shodných podmínek (37 °C, pravidelné protřepávání každých 5 minut). Po ukončení inkubace byly centrifugovány při 6000 otáčkách za minutu po dobu 15 minut.

Druhá série vzorků byla zpracována totožným způsobem s jednou modifikací v závěrečné fázi. Po přidavku pankreatického extraktu a 30minutové inkubaci bylo pH upraveno na $7,40 \pm 0,05$ přidáním 1M roztoku NaOH. Následně probíhala další fáze trávení po dobu 2 hodin při teplotě 37 °C za pravidelného promíchávání po 5 minutách. Poté byly vzorky centrifugovány za stejných podmínek (6000 rpm, 15 minut).

Všechny supernatanty byly přefiltrovány a získané roztoky byly následně analyzovány metodou ICP-OES za podmínek uvedených v tabulce 5.

Tabulka 5: Nastavení přístroje ICP–OES

Parametr	Hodnota
Výkon radiofrekvenčního generátoru	1350 W
Průtok hlavního plazmového plynu	12,5 l/min
Průtok stínícího plynu	0,2 l/min
Průtok zmlžovacího plynu	1 l/min
Tlak na zmlžovači	3 bar

3.6 Stanovení vlivu kyseliny fytové na vstřebatelnost bílkovin

V rámci kroku, jehož úkolem je simulace trávení bílkovin v organismu, byly provedeny experimenty odpovídající procesům v žaludku a tenkém střevě.

Pro simulaci byly použity výše uvedené vzorky o navážce přibližně 1 g, veškerá stanovení stravitelnosti byla provedena v duplikátech. K navážce bylo přidáno 10 ml vody nebo 10 ml roztoku, který obsahoval 15 nebo 30 mg kyseliny fytové připravený ve vodě. Přidáním 1M HCl bylo pH vzorků upraveno na $2,0 \pm 0,05$. Následně bylo přidáno 0,3 g pepsinu rozpuštěného v 6 ml 0,1M HCl pro simulaci trávení bílkovin v žaludku. Po 2 hodinách inkubaci při 37 °C v sušárně, které bylo prokládáno promícháváním obsahu zkumavek po 5 minutových intervalech, bylo pH vzorku zvýšeno na $6,0 \pm 0,05$ přidáním 1M NaOH a následně bylo přidáno 10 ml pankreatického extraktu, připraveného z 0,06 g pankreatinu s přidavkem 0,36 g žlučových solí rozpuštěných v 0,1M NaOH. Opět byly vzorky vloženy do sušárny a protřepávány za stejných podmínek jako předtím. Po 30 minutách od zavedení pankreatického extraktu bylo pH vzorku zvýšeno na $7,40 \pm 0,05$ přidáním příslušného

množství 1M NaOH. V této fázi probíhala digesce další 2 hodiny při teplotě 37 °C s promícháváním po 5 minutách. Vzorky byly centrifugovány při 6000 rpm po dobu 15 minut.

Sediment zbylý po centrifugaci byl hluboce zmražen při –80 °C a následně lyofilizován ve vakuu při teplotě –50 °C a tlaku $133 \cdot 10^{-3}$ mbar. Lyofilizace byla ukončena po úplném vysušení vzorků, přibližně po 72 hodinách.

Výsledný produkt po enzymatickém štěpení a lyofilizaci byl zvážen. Z této hmotnosti byla stanovena stravitelnost proteinových izolátů za podmínek metody na základě vzorce:

$$\% \text{ stravitelnost} = \frac{m_{st}}{m_0} \cdot 100\%, \quad (5)$$

kde m_0 je původní navážka proteinového izolátu a m_{st} je množství, o které se snížila původní navážka při simulaci trávení bílkovin.

3.7 Vyhodnocení výsledků pomocí softwaru Statistica

Všechna naměřená data byla podrobena vyhodnocování pomocí statistického softwaru Statistica, verze 14.0.0.15 [83]. Tento software umožňuje provádět pokročilé statistické analýzy a vizualizace dat. V rámci zpracování byla provedena analýza rozptylu (ANOVA), která slouží k posouzení, zda existují statisticky významné rozdíly mezi průměry více skupin dat. ANOVA pomáhá zjistit, zda rozdíly mezi skupinami nejsou jen náhodné, ale skutečně závisí na zkoumaných faktorech.

Následně byl aplikován Tukeyho test (Tukey's HSD – Honest Significant Difference test), což je post-hoc test používaný po provedení ANOVA. Tukeyho test umožňuje zjistit, mezi kterými konkrétními skupinami byly nalezeny statisticky významné rozdíly. Tento test se vyznačuje tím, že zohledňuje vícenásobné porovnávání, a tím minimalizuje riziko falešně pozitivních výsledků (typ I chyba).

Cílem analýzy bylo ověřit, zda experimentální podmínky měly významný vliv na sledované parametry a které konkrétní skupiny se mezi sebou významně liší.

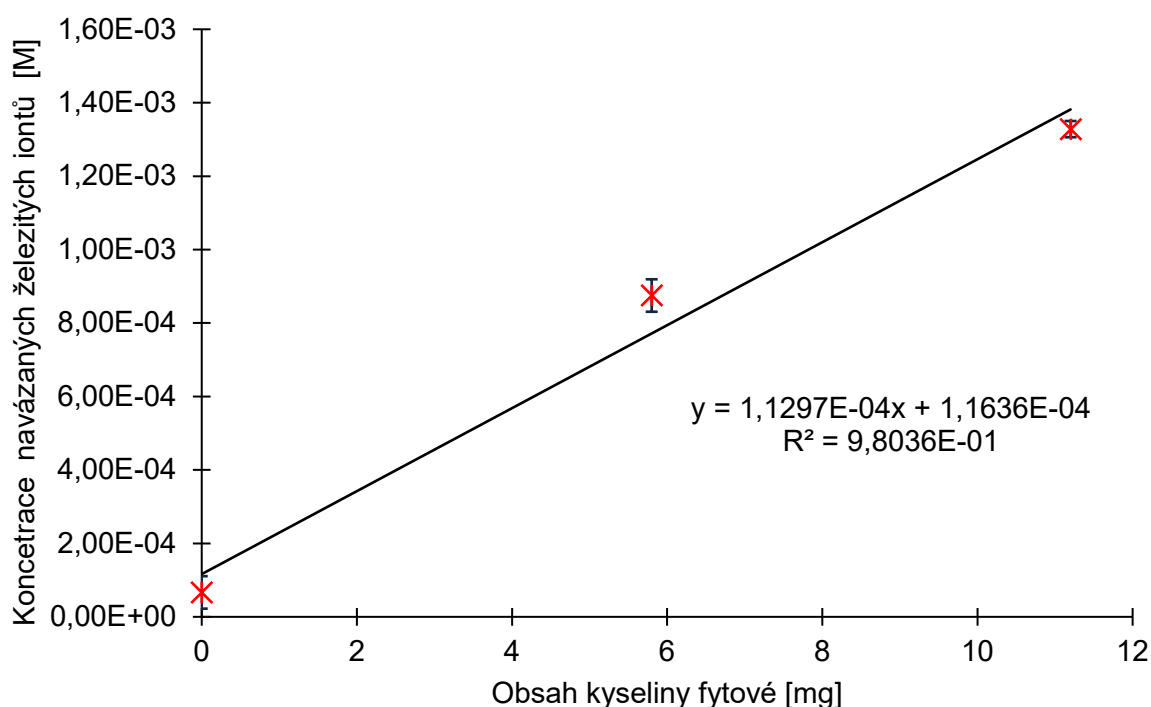
4 VÝSLEDKY A DISKUZE

Tato kapitola shrnuje výsledky jednotlivých experimentálních částí zaměřených na interakci kyseliny fytové s vybranými minerálními látkami a bílkovinami. Získaná data jsou diskutována z hlediska komplexačních vlastností kyseliny fytové, jejích možných vlivů na biologickou dostupnost minerálních látek a vlivu experimentálních podmínek na průběh těchto interakcí. Výsledky jednotlivých stanovení jsou prezentovány formou grafických výstupů a následně porovnány s dostupnou literaturou.

4.1 Stanovení fixačního koeficientu mezi železitými ionty a kyselinou fytovou

Tato část se zaměřuje na stanovení fixačního koeficientu mezi železitými ionty a kyselinou fytovou za definovaných podmínek. Cílem bylo kvantifikovat podíl železa, který zůstává ve volné formě po vytvoření komplexů s kyselinou fytovou. Vzhledem k tomu, že kyselina fytová vykazuje vysokou afinitu k polyvalentním kationtům, bylo očekáváno, že se významná část železa naváže do nerozpustných nebo těžko dostupných komplexů. [84]

Výsledky byly získány na základě titrace zbytkového volného železa roztokem EDTA a porovnány mezi vzorky s různou koncentrací kyseliny fytové a kontrolním vzorkem obsahujícím pouze vodu. Tyto údaje umožňují stanovit míru vazby železitých iontů a posoudit, jak koncentrace kyseliny fytové ovlivňuje dostupnost tohoto esenciálního minerálu.



Obrázek 17: Závislost návaznosti mezi železitými ionty a kyselinou fytové

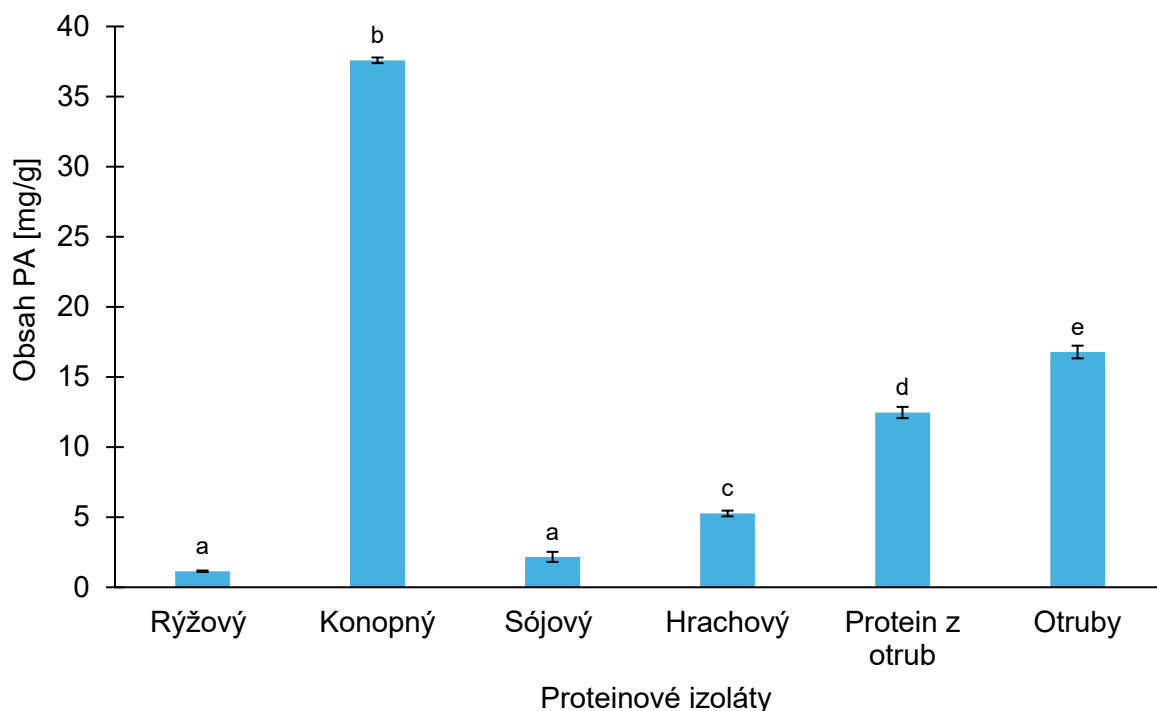
Tabulka 6: Navázané množství železitých iontů kyselinou fytovou

Množství kyseliny fytové [mg]	Navázané množství železitých iontů [mg]
5,8	1,950 ± 0,001
11,2	3,000 ± 0,140

Poměr návaznosti železa na kyselinu fytovou byl stanoven 2:6,6. Rozdíl mezi výsledným poměrem železa a kyseliny fytové, který vyšel v tomto experimentu (2:6,6), a hodnotou uváděnou v literatuře (4:6) [85], může být způsoben několika faktory. Prvním faktorem je koncentrace kyseliny fytové v roztoku. V různých studiích mohou používat odlišné koncentrace kyseliny fytové, což může ovlivnit intenzitu vazby mezi železem a fytáty. Vyšší koncentrace kyseliny fytové by totiž mohla vést k silnější vazbě železa na fytáty, což by vysvětlovalo vyšší poměr. Dále mohou být rozdíly způsobeny i vlastnostmi samotného roztoku kyseliny fytové, jako je pH nebo čistota kyseliny fytové, což ovlivňuje její interakci s železem. Další možnou příčinou může být rozdílný čas kontaktu železa s kyselinou fytovou v různých studiích; například prodloužení doby reakce nebo změna teploty může ovlivnit sílu vazby. Také metodické rozdíly, jako je způsob homogenizace vzorku nebo použití jiných technik, mohou vést k odlišným výsledkům. V neposlední řadě může být rozdíl v poměru dán jemnými experimentálními podmínkami, jako je způsob míchání roztoku nebo příprava vzorků, které mohou ovlivnit výsledné hodnoty. Proto i přesto, že se používá podobná metodika, mohou se výsledky lišit v závislosti na výše uvedených faktorech. [86]

4.2 Stanovení obsahu kyseliny fytové v rostlinných doplňcích stravy

Rostlinné proteinové doplňky stravy jsou často vyráběny z luštěnin, obilovin či olejnin, tedy surovin přirozeně bohatých na kyselinu fytovou. Vzhledem k tomu, že při výrobě těchto přípravků nemusí docházet k technologickým zásahům, které by vedly k jejímu významnému odbourání (např. fermentace, klíčení nebo enzymatická degradace), lze předpokládat, že obsah fytátů v těchto produktech bude relativně vysoký. Cílem této části práce bylo experimentálně stanovit množství kyseliny fytové ve vybraných rostlinných proteinových doplňcích a posoudit jeho význam z hlediska výživové hodnoty těchto produktů. Pomocí stanoveného poměru vaznosti železa na kyselinu fytovou 2:6,6 byl stanoven obsah kyseliny fytové v jednotlivých vzorcích dle vzorce uvedeného v kapitole 3.3.



Obrázek 18: Stanovený průměrný obsah kyseliny fytové v jednotlivých rostlinných proteinových izolátech. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

Po provedení statistické analýzy bylo zjištěno, že v obsahu kyseliny fytové jsou mezi jednotlivými proteinové izoláty rozdíly ($p=1,9 \cdot 10^{-10}$). Statistická podobnost byla zjištěna pouze mezi sójovým a rýžovým proteinem. Ostatní proteiny se od sebe vzájemně signifikantně liší, dokonce i otruby a protein připravený z otrub.

Nejvyšší zastoupení kyseliny fytové bylo pozorováno v proteinovém izolátu z konopí, u kterého byla naměřena hodnota $37,6 \pm 0,2$ mg/g. Tato hodnota je nejen nejvyšší ze všech analyzovaných vzorků, ale zároveň potvrzuje, že konopné produkty obecně bývají bohaté na antinutriční látky, což se často uvádí i v literatuře.[87] Tento vysoký obsah může negativně ovlivňovat biologickou dostupnost minerálních látek, především železa, zinku a vápníku. Přestože má konopný protein výhodu v tom, že obsahuje kompletní aminokyselinové spektrum, z hlediska obsahu kyseliny fytové se řadí mezi méně vhodné volby, pokud je cílem minimalizovat příjem antinutričních látek a zvýšit příjem minerálních látek.[88]

Druhým vzorkem s nejvyšším obsahem kyseliny fytové byly samotné mleté otruby, koncentrace kyseliny fytové zde byla stanovena na $16,8 \pm 0,5$ mg/g. Tyto hodnoty odpovídají údajům z dostupné literatury, kde se uvádí obsah fytátů v otrubách v rozmezí 2–7 % v sušině. [85; 46] Při porovnání s proteinem izolovaným z těchto otrub bylo zjištěno, že obsah kyseliny fytové v něm oproti otrubám klesl na $12,5 \pm 0,4$ mg/g, což je sice stále relativně vysoká hodnota, ale oproti výchozí surovině došlo ke snížení obsahu. Tento pokles je pravděpodobně způsoben technologickým postupem izolace proteinu, při kterém část kyseliny fytové zůstává v odpadních frakcích. Přesto je nutné zmínit, že obsah kyseliny fytové v proteinu z otrub je stále vyšší než u dalších analyzovaných proteinů.

Hrachový protein obsahoval již výrazně méně kyseliny fytové, konkrétně $5,30 \pm 0,2$ mg/g. Tento výsledek odpovídá průměrným hodnotám uváděným v literatuře, kde je obsah fytátů v hrachu udáván v rozmezí 0,2–2 %.[89; 46] Přestože se jedná o luštěninu, která bývá obecně řazena mezi potraviny s vyšším obsahem antinutričních látek, hrachový protein izolovaný moderními technologiemi vykazuje poměrně nízké hodnoty.

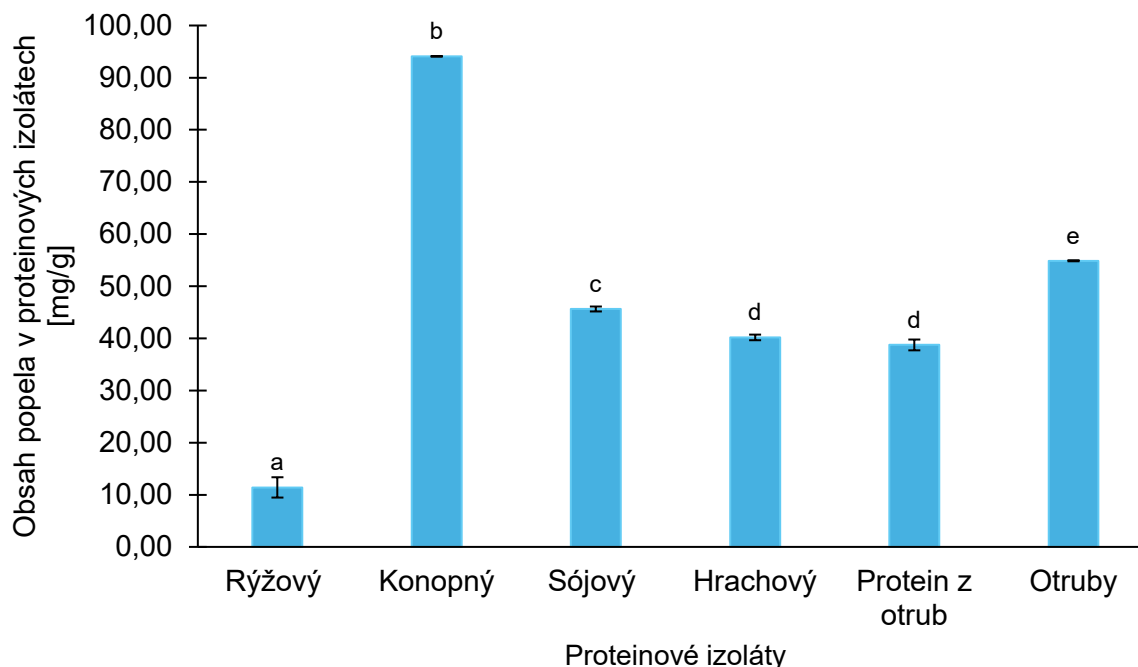
Sója, která patří mezi nejčastěji používané rostlinné zdroje bílkovin, obsahovala v proteinu z ní připraveného $2,2 \pm 0,4$ mg/g kyseliny fytové. Tato hodnota je výrazně nižší než u hrachového proteinu, což je v souladu se současnými trendy v potravinářství, kde se pro výrobu sójového proteinu využívají přečišťovací a fermentační technologie, které dokážou antinutriční látky významně eliminovat. [90]

Nejnižší průměrný obsah kyseliny fytové byl stanoven u rýžového proteinu, u kterého byla stanovena hodnota pouze $1,15 \pm 0,05$ mg/g. Tento protein tak představuje nejvhodnější volbu pro skupiny osob, které se snaží minimalizovat příjem antinutričních látek, například kvůli vstřebávání železa, zinku a vápníku. Rýžový protein navíc neobsahuje běžné alergeny, jako je lepek, laktóza nebo sója, a proto se stále častěji uplatňuje ve funkčních potravinách a veganských produktech. [91]

Výsledky analýzy ukazují na značné rozdíly v obsahu kyseliny fytové mezi jednotlivými rostlinnými proteinovými izoláty. Statistická analýza potvrdila, že tyto rozdíly jsou významné. Zjištěné rozdíly lze přičíst jak rostlinnému původu původních surovin, tak i možným rozdílným technologickým postupům použitým při izolaci bílkovin. Tyto výsledky poskytují důležité informace pro další hodnocení nutriční kvality rostlinných doplňků stravy.

4.3 Stanovení obsahu popela a minerálních látek v rostlinných doplňcích stravy

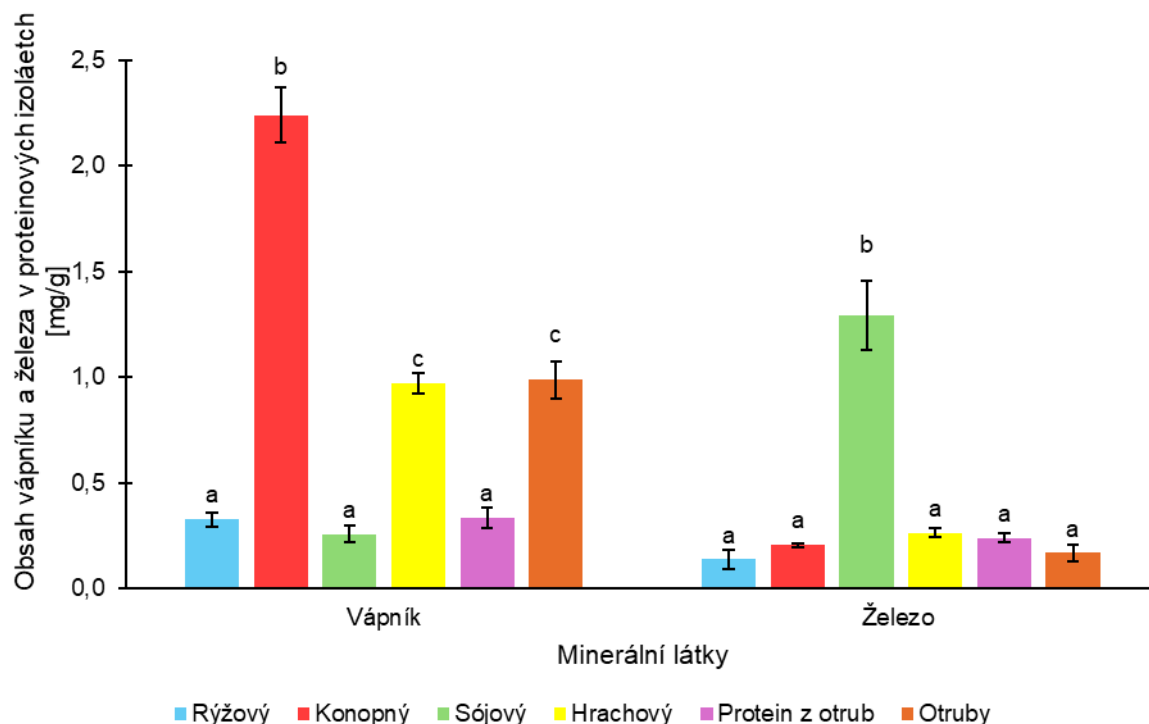
V rámci této práce byl také stanoven obsah popela, který slouží jako orientační ukazatel celkového množství minerálních látek ve vzorcích po spálení organické hmoty. Výsledky obsahu popela poskytují informaci o celkovém zastoupení anorganických složek ve vzorku a umožňují posoudit případné rozdíly mezi jednotlivými variantami.



Obrázek 19: stanovený průměrný obsah popela v proteinových izolátech. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

Stanovením obsahu popela byly zjištěny statisticky významné rozdíly v množství anorganických látek mezi jednotlivými analyzovanými proteinovými izoláty ($p = 2,6 \cdot 10^{-9}$). Výjimku tvořila pouze dvojice hrachového proteinu a proteinu izolovaného z otrub, mezi nimiž nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Nejnižší obsah popela vykazoval rýžový protein ($11,40 \pm 1,9$ mg/g), zatímco nejvyšší hodnota byla naměřena u konopného proteinu ($94,08 \pm 0,01$ mg/g). Relativně vysoký obsah anorganických látek byl dále zjištěn u otrub ($54,9 \pm 0,1$ mg/g), sójového proteinu ($45,6 \pm 0,5$ mg/g), hrachového proteinu ($40,2 \pm 0,5$ mg/g) a proteinu z otrub ($38,8 \pm 1,0$ mg/g). Uvedené výsledky potvrzují výrazné rozdíly v zastoupení minerálních látek mezi jednotlivými rostlinnými proteiny.

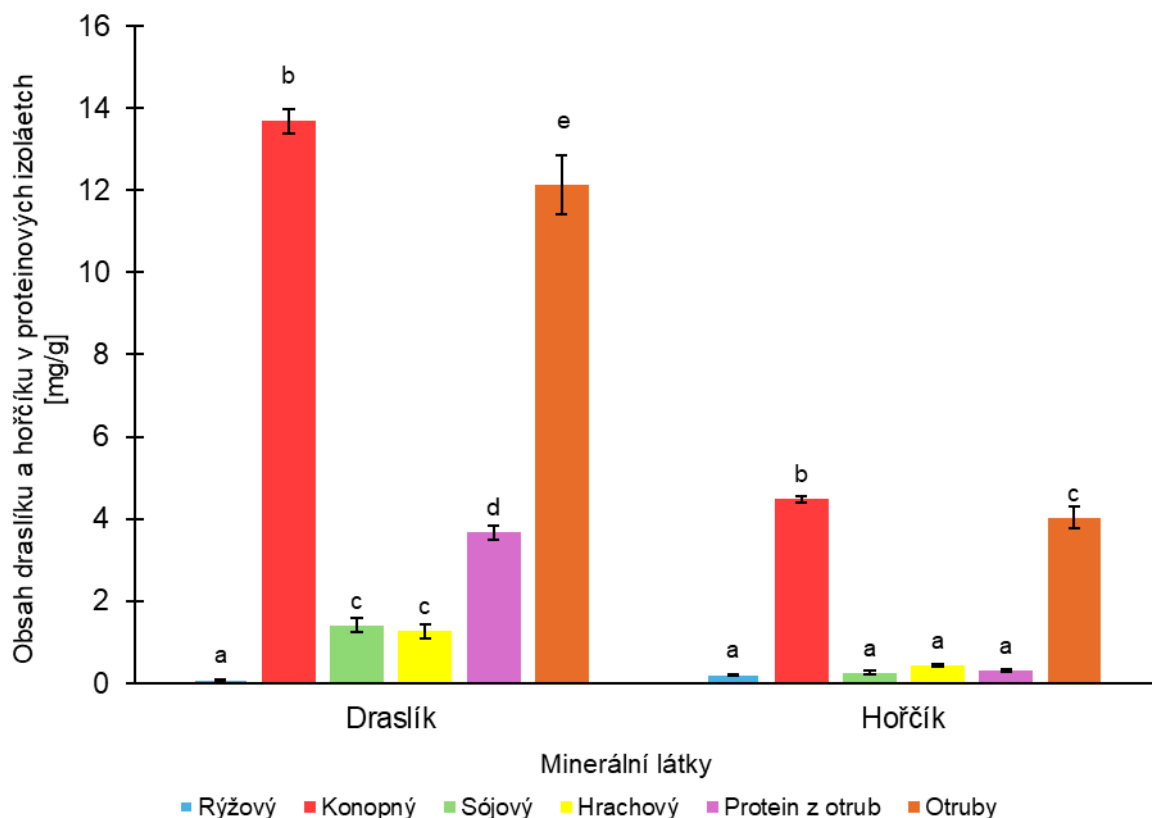
Stanovení minerálních prvků v jednotlivých proteinových izolátech bylo provedeno s cílem lépe porozumět jejich nutriční hodnotě, zejména ve vztahu k biologické dostupnosti esenciálních minerálních látek. Ve druhé části experimentu byl obsah vybraných minerálních prvků analyzován v popelu jednotlivých vzorků pomocí metody ICP-OES. Tato technika umožnila přesnou a detailní charakterizaci minerálního složení a poskytla podklady pro srovnání zastoupení jednotlivých prvků mezi analyzovanými proteinovými izoláty. V rámci statistického zhodnocení bylo určeno, že u obsahu všech minerálních látek, které byly v rámci této diplomové práce zkoumány, jsou signifikantní rozdíly v zastoupení v jednotlivých proteinových izolátech.



Obrázek 20: Průměrné koncentrace vápníku a železa v jednotlivých proteinových izolátech. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

Výsledky prvkové analýzy byly podrobeny statistické analýze. Obsah vápníku se mezi jednotlivými proteinovými materiály lišil ($p = 0,00009$). Mezi jednotlivými proteinovými materiály byly zaznamenány statisticky významné rozdíly v obsahu vápníku ($p = 0,00009$). Nejvyšší koncentrace tohoto prvku byla stanovena u konopného proteinu, a to $2,20 \pm 0,13$ mg/g, čímž výrazně převyšovala ostatní analyzované vzorky. Relativně vyšší obsah vápníku byl dále zjištěn u otrub ($1,00 \pm 0,09$ mg/g) a hrachového proteinu ($0,97 \pm 0,05$ mg/g). Naopak nejnižší průměrný obsah vápníku byl naměřen u rýžového proteinu ($0,33 \pm 0,03$ mg/g), proteinu izolovaného z otrub ($0,33 \pm 0,05$ mg/g) a sójového proteinu ($0,26 \pm 0,04$ mg/g). Tyto výsledky poukazují na výrazné rozdíly v přirozeném zastoupení vápníku mezi jednotlivými proteinovými izoláty.

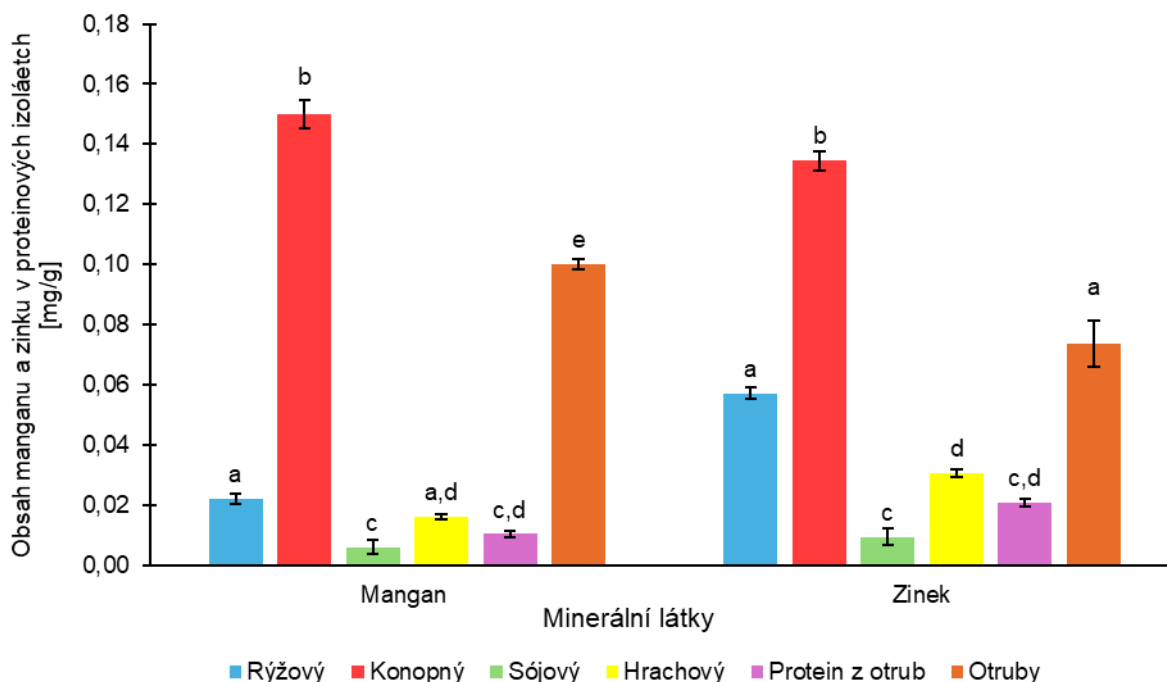
Také v případě obsahu železa byly mezi analyzovanými vzorky zjištěny statisticky významné rozdíly ($p = 0,0002$). Nejvyšší koncentrace tohoto prvku byla naměřena u sójového proteinu, kde dosahovala $1,30 \pm 0,16$ mg/g, což jej výrazně odlišovalo od ostatních proteinových izolátů. U ostatních vzorků se obsah železa pohyboval v nižším rozmezí a rozdíly mezi nimi již nebyly statisticky signifikantní. Koncentrace železa byla stanovena u hrachového proteinu na $0,26 \pm 0,02$ mg/g, u proteinu z otrub na $0,24 \pm 0,04$ mg/g, u konopného proteinu na $0,200 \pm 0,008$ mg/g, u otrub na $0,17 \pm 0,04$ mg/g a nejnižší hodnota byla zaznamenána u rýžového proteinu, tedy $0,14 \pm 0,05$ mg/g. Tyto výsledky ukazují na výrazně vyšší akumulaci železa v sójovém proteinu oproti ostatním analyzovaným materiálům.



Obrázek 21: Průměrné koncentrace draslíku a hořčíku v jednotlivých proteinových izolátech. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

V případě draslíku byly rovněž zjištěny statisticky významné rozdíly mezi analyzovanými vzorky ($p = 0,000004$). Nejvyšší koncentrace draslíku byla stanovena u konopného proteinu ($13,6 \pm 0,3$ mg/g), přičemž srovnatelně vysoké množství bylo detekováno také u otrub ($12,2 \pm 0,6$ mg/g). Výrazný pokles koncentrace byl zaznamenán u proteinu izolovaného z otrub ($3,70 \pm 0,05$ mg/g) a ostatní proteinové izoláty – sójový ($1,4 \pm 0,2$ mg/g) a hrachový ($1,3 \pm 0,2$ mg/g) – vykazovaly ještě nižší hodnoty. Nejnižší koncentrace tohoto prvku byla stanovena u rýžového proteinu, kde činila pouhých $0,08 \pm 0,01$ mg/g, což jej řadí k proteinům s minimálním přínosem tohoto prvku.

Statisticky průkazné rozdíly byly zjištěny i v obsahu hořčíku ($p = 0,0000037$). Na základě výsledků lze vzorky rozdělit do dvou výrazně odlišných skupin. První skupinu tvořil konopný protein ($4,50 \pm 0,07$ mg/g) a otruby ($4,04 \pm 0,3$ mg/g), které vykazovaly jednoznačně nejvyšší koncentrace hořčíku. U ostatních analyzovaných vzorků byla koncentrace tohoto v rozmezí několika desetin miligramu na gram: hrachový protein $0,40 \pm 0,03$ mg/g, protein z otrub $0,300 \pm 0,008$ mg/g, sójový protein $0,26 \pm 0,05$ mg/g a rýžový protein $0,20 \pm 0,01$ mg/g. Tyto výsledky potvrzují výraznou variabilitu v akumulaci hořčíku mezi jednotlivými rostlinnými materiály.



Obrázek 22. Průměrné koncentrace manganu a zinku v jednotlivých proteinových izolátech. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

V případě manganu byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi analyzovanými vzorky ($p = 0,00002$), přičemž nejvyšší koncentrace tohoto prvku byla stanovena u konopného proteinu ($0,150 \pm 0,004$ mg/g). Druhým vzorkem s vysokou koncentrací manganu byly otruby ($0,10 \pm 0,01$ mg/g). Ostatní proteinové izoláty vykazovaly výrazně nižší koncentrace – u rýžového proteinu byla stanovena hodnota $0,020 \pm 0,002$ mg/g, u hrachového $0,016 \pm 0,001$ mg/g, u proteinu z otrub $0,011 \pm 0,001$ mg/g a nejnižší obsah byl zaznamenán u sójového proteinu ($0,006 \pm 0,002$ mg/g). Tato data poukazují na významné rozdíly v obsahu manganu, přičemž nejvyšší hodnoty byly opět spojeny s konopným materiálem.

Rovněž u zinku byly mezi vzorky prokázány statisticky významné rozdíly ($p = 0,000003$). Nejvyšší koncentrace byla zaznamenána u konopného proteinu ($0,140 \pm 0,003$ mg/g), následovaného otrubami ($0,070 \pm 0,007$ mg/g), rýžovým proteinem ($0,060 \pm 0,002$ mg/g) a hrachovým proteinem ($0,030 \pm 0,007$ mg/g). Protein, který byl izolovaný z otrub, obsahoval $0,020 \pm 0,002$ mg/g a nejnižší koncentrace zinku byla opět naměřena u sójového proteinu ($0,009 \pm 0,003$ mg/g).

Z výsledků stanovení obsahu jednotlivých minerálních prvků vyplývá, že konopný protein je nejbohatším zdrojem minerálních látek ze všech analyzovaných vzorků, což koresponduje i s jeho nejvyšším obsahem popela. Naopak nejnižší koncentrace minerálních látek byly konzistentně zaznamenávány u sójového a rýžového proteinu, které zároveň vykazovaly i nejnižší obsah anorganického podílu.

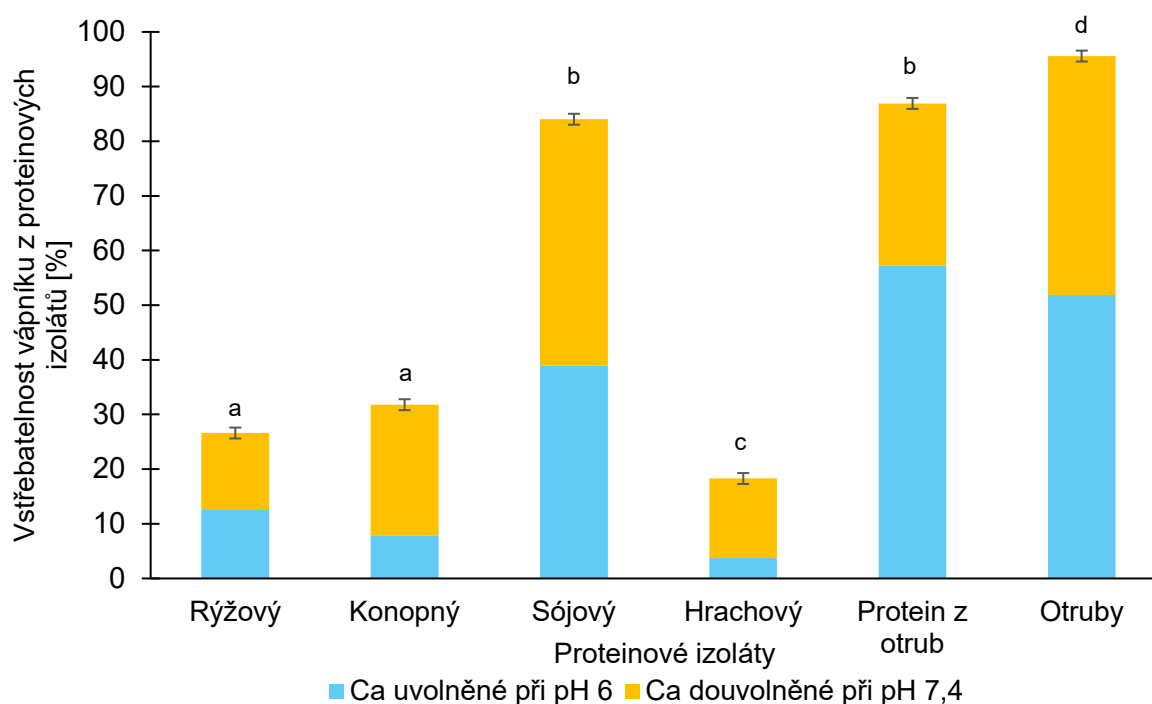
4.4 Stanovení vlivu kyseliny fytové na vstřebatelnost minerálních látek

Samotné množství minerálních látek, ať už uvedené výrobcem nebo stanovené v rámci předchozího experimentu – výrobce daných proteinových izolátů množství neuvedl, nelze považovat za směrodatné pro hodnocení jejich nutriční hodnoty, jelikož rozhodující je podíl, který je skutečně vstřebán.

Za účelem zhodnocení dostupnosti minerálních látek z různých rostlinných zdrojů byl proveden in vitro model simulující trávení v lidském trávicím traktu uvedený v kapitole 3.5. Tento přístup umožňuje posoudit, jak se mění uvolňování minerálních látek v závislosti na pH prostředí, které se v jednotlivých částech trávicího systému liší. V rámci simulace byly vzorky vystaveny podmínkám odpovídajícím žaludku (pH 2), začátku tenkého střeva (pH 6), kde dochází k počáteční absorpci některých minerálních látek, a dále podmínkám pH 7,4, které napodobují prostředí na konci tenkého střeva, kde může vstřebávání pokračovat. Sledováním množství uvolněných minerálních látek za těchto podmínek lze posoudit, jak kyselina fytová ovlivňuje jejich biologickou dostupnost. Porovnáním hodnot uvolněných minerálních látek při pH 6 a při pH 7,4 bylo možné určit, ve které části tenkého střeva dochází k intenzivnějšímu uvolnění jednotlivých prvků. Z rozdílů mezi těmito hodnotami je patrné, že většina minerálních látek se uvolnila především v rané fázi trávení (pH 6).

Za účelem usnadnění interpretace výsledků a zajištění vzájemné porovnatelnosti údajů mezi jednotlivými vzorky byly veškeré parametry stravitelnosti a obsahu minerálních látek následně přepočítány a vztaženy na standardizovanou dávku proteinového izolátu, která odpovídá 30 g. Přijaté množství z 30 g proteinového izolátu bylo poté srovnáno s doporučeným denním příjmem těchto minerálních látek.

Vápník je esenciální minerální látka, která je nezbytná pro zdraví kostí a zubů, a také hraje důležitou roli v kontrakci svalů, přenosu nervových impulsů a v celkovém fungování kardiovaskulárního systému.[25; 57] Vápník se mnohem lépe vstřebává z živočišné stravy, například z mléka, protože v rostlinných produktech je často blokován přítomnými oxaláty (například ve špenátu či batátech) nebo kyselinou fytovou (v luštěninách či obilovinách). [92]

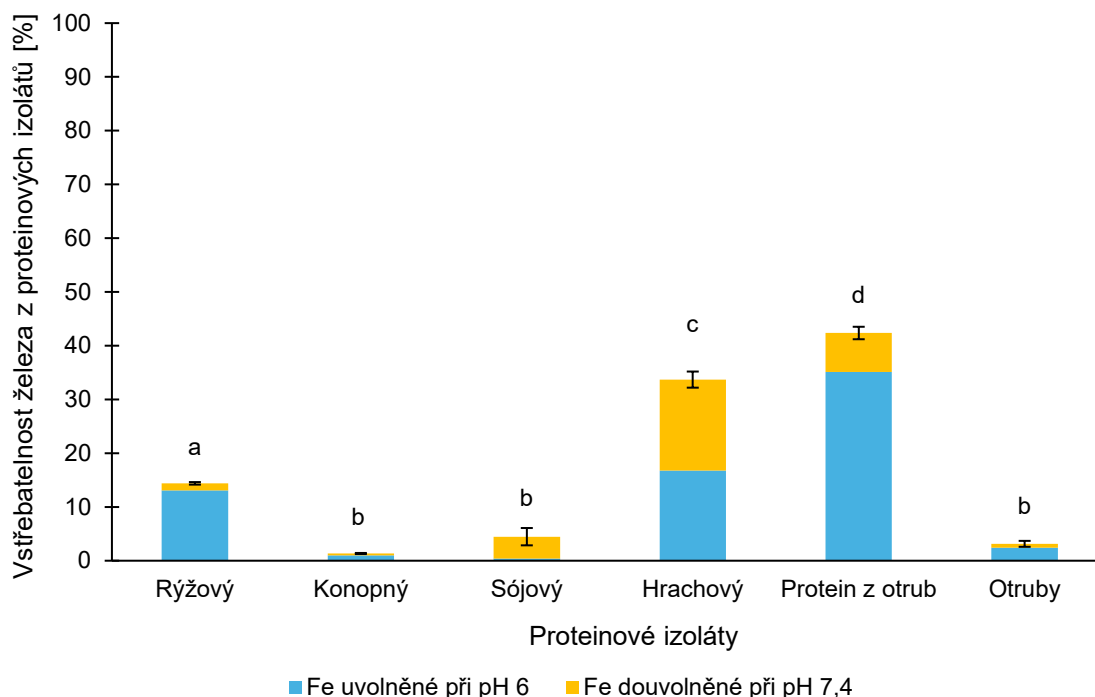


Obrázek 23: Vliv kyseliny fytové na vstřebatelnost vápníku z různých proteinových izolátů. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

Analýza rozptylu zjistila, že ve vstřebatelnosti vápníku (Obrázek 23) jsou značné rozdíly ($p=0,00000001$). Nejvyšší hodnota vstřebatelnosti byla zjištěna u otrub $95,5 \pm 1,09 \%$. Jako otruby měl podobnou vstřebatelnost protein z otrub ($86,9 \pm 1,09 \%$) a sójový protein ($95,5 \pm 1,09 \%$). Od nich se signifikantně lišila druhá trojice proteinů, kdy u konopného byla stanovena vstřebatelnost na $31,8 \pm 1,0 \%$, u rýžového $26,6 \pm 0,4 \%$ a nejhůře dopadl hrachový protein, u kterého byla vstřebatelnost vápníku stanovena na $18,3 \pm 1,09 \%$. Přesto ani tyto hodnoty nejsou vypovídající o nutričním významu jednotlivých proteinových izolátů.

Doporučený denní příjem vápníku je z teoretického hlediska možný splnit i pomocí rostlinné stravy, jak lze vidět v modelovém jídelníčku uvedeném v kapitole 2.1.5. Navíc doporučený denní příjem vápníku je tak vysoký (700-1300 mg), že ani jedna dávka 30 g kteréhokoliv proteinového izolátu by tento příjem nepokryla. Nejvyšší příjem vápníku lze získat z otrub a konopného proteinu, kdy z otrub lze získat 28,9 mg vápníku a z konopného 21,3 mg. Z ostatních se vstřebá méně než 10 mg, což je méně než 1 % doporučeného denního příjmu. Z těchto výsledků lze říct, že ač jsou otruby a konopný protein nejlepšími zdroji vápníku ve srovnání s ostatními, nelze je považovat za náhradu příjmu vápníku a je třeba do jídelníčku zařazovat jiné potraviny bohatší na vápník.

Železo je klíčovým prvkem pro transport kyslíku v těle, protože je součástí hemoglobinu v červených krvinkách. Množství železa v potravinách může značně ovlivnit prevenci anémie a podporu energetických procesů.[93] Železo se v potravinách objevuje v hemové a nehemové formě. Hemová forma je lépe vstřebatelná a vyskytuje se opět převážně v živočišné stravě, zatímco v rostlinné stravě je nehemová forma.[94]

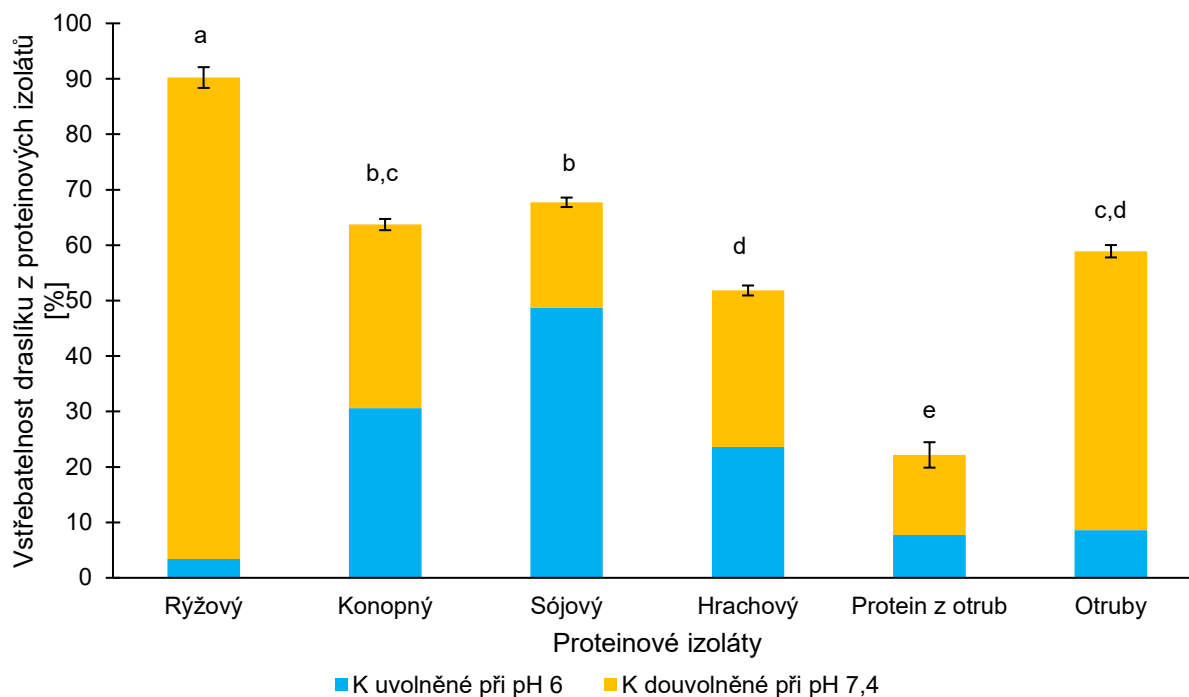


Obrázek 24: Vliv kyseliny fytové na vstřebatelnost železa z různých proteinových izolátů. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

U vstřebatelnosti železa (Obrázek 24) jsou takto rozdíly mezi jednotlivými proteinovými izoláty ($p=0,000002$). Nejvyšší hodnota vstřebatelnosti byla zjištěna u proteinu z otrub $42,3 \pm 1,2 \%$. Blízko k tomuto proteinu měl i hrachový, ze kterého se vstřebalo $33,6 \pm 1,5 \%$. Další protein v pořadí byl rýžový, jeho vstřebatelnost byla $14,4 \pm 0,2 \%$. Ze zbylých třech proteinových izolátů se železo vstřebalo minimálně, pouze v jednotkách procent. Konkrétně ze sójového pouze $4,5 \pm 1,6 \%$, z otrub $3,13 \pm 0,05 \%$ a z konopného proteinu $1,3 \pm 0,1 \%$.

V jídelníčku stanoveném v teoretické části došlo tak tak k dosažení nějaké minimální potřebné denní dávky, a navíc není zaručeno vstřebání v plném rozsahu. Vzhledem k důležitosti železa v organismu je vhodné ho doplnit u lidí stravujících se výhradně rostlinnými produkty. Pokud je doporučený denní příjem pro ženy $14,8\text{--}30$ mg a muže $8,7\text{--}10$ mg, tak sice žádný z produktů nepokryje tento denní příjem železa, ale určitě mohou přispět. Nejvyšší příjem železa lze získat z 30 g proteinu z otrub, 3,04 mg, pak z hrachového proteinu 2,7 mg a ze sójového proteinu 1,7 mg, ze zbylých proteinových izolátů dojde ke vstřebání minimálního množství. Což znamená, že muži si tím mohou zajistit přibližně 20-30 % denního příjmu jednou dávkou hrachového proteinu, sójového proteinu nebo proteinu z otrub. U žen by procentuální splnění bylo nižší, zvláště v období, kdy je potřeba zvýšit příjem železa. Ale pořád by tyto tři doplňky stravy mohli podpořit dosažení doporučeného denní příjmu, proto je vhodné z tohoto důvodu tyto produkty do svého jídelníčku.

Draslík je nezbytný pro správnou funkci svalů a nervového systému, pomáhá udržovat rovnováhu elektrolytů v těle a reguluje krevní tlak. [30] Uvádí se, že kyselina fytová reaguje s minerálními látkami dvojmocnými a trojmocnými. Zároveň se uvádí, že reaguje i právě s draslíkem, který se vyskytuje pouze v jednomocném stavu. Dle článku [95] kyselina fytová reaguje i s draslíkem, ale problém nastává pouze u železa, zinku a právě vápníku, se kterými interaguje ve větší míře.

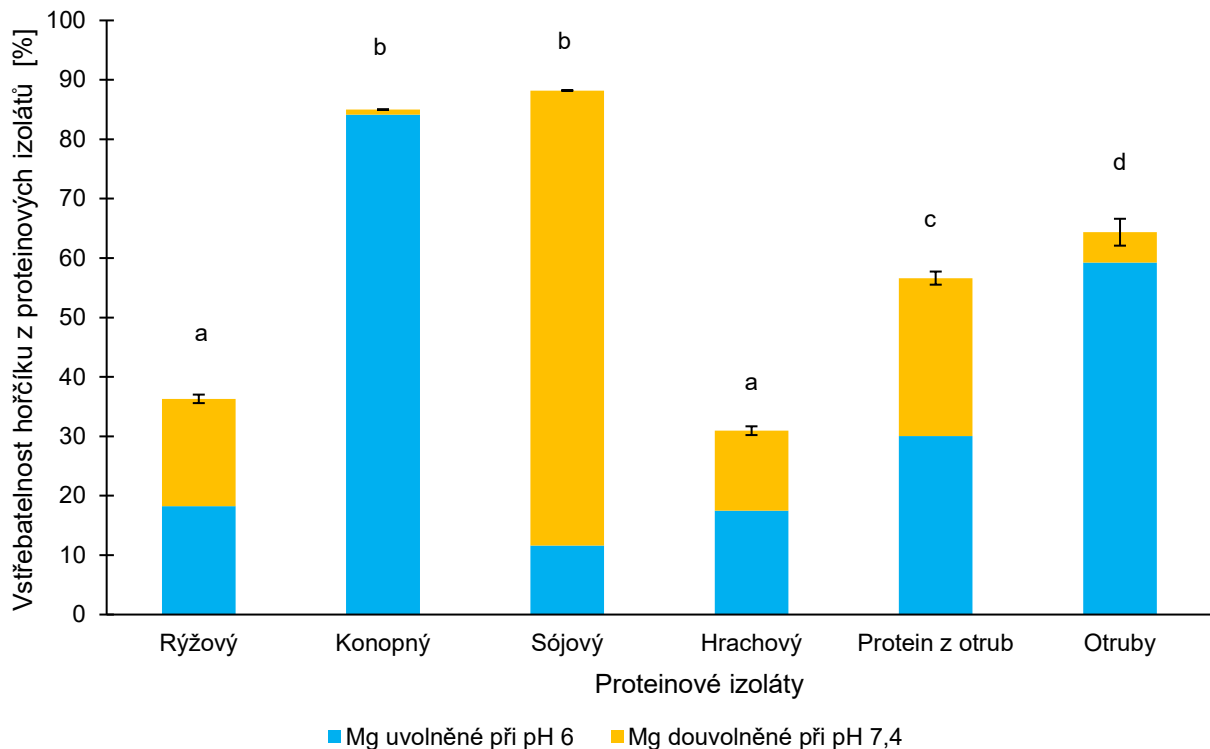


Obrázek 25: Vliv kyseliny fytové na vstřebatelnost draslíku z různých proteinových izolátů. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

Tvrzení o vlivu kyseliny fytové na vstřebatelnost draslíku nejsou podporovány výsledky této diplomové práce. Rozdíly mezi těmito proteiny byly statisticky významné ($p = 0,000001$) (Obrázek 25). Z rýžového proteinu se vstřebalo $90,2 \pm 1,9$ % draslíku, ze sójového $67,7 \pm 0,9$ %, z konopného $63,7 \pm 1,0$ %, z otrub $58,9 \pm 1,1$ %, hrachového $51,8 \pm 0,9$ % a protein z otrub pouze $22,2 \pm 2,2$ %.

Dle bezmasého jídelníčku sestaveného v kapitole 2.1.5 je příjem draslíku sice dostatečný, ale do maximální hladiny je zde prostor ještě pro celý gram draslíku. Draslík se hodně vyskytuje v ovoci, jako jsou banány, ale i v mléčných produktech, včetně alternativních bez laktózy. [96] Přesto, že měl sójový protein tak vysokou vstřebatelnost, nebylo dodané množství tak vysoké na začátku, proto bychom přijmli v jedné dávce proteinového prášku okolo 29 mg. Zatímco u otrub nebo konopného proteinu byla stravitelnost přibližně 67 %, obsah draslíku v těchto potravinách je tak vysoký, že v jedné dávce proteinového izolátu je okolo 214 mg pro otruby a pro konopný protein dokonce 261 mg, což odpovídá zhruba 7–8 % doporučeného denního příjmu. Proto jsou tyto dva doplňky stravy vhodnou volbou, pokud někdo má problémy s nízkým příjmem draslíku.

Hořčík je důležitý pro enzymatické procesy, funkci svalů a nervového systému, a hraje roli v prevenci srdečních onemocnění. [27]



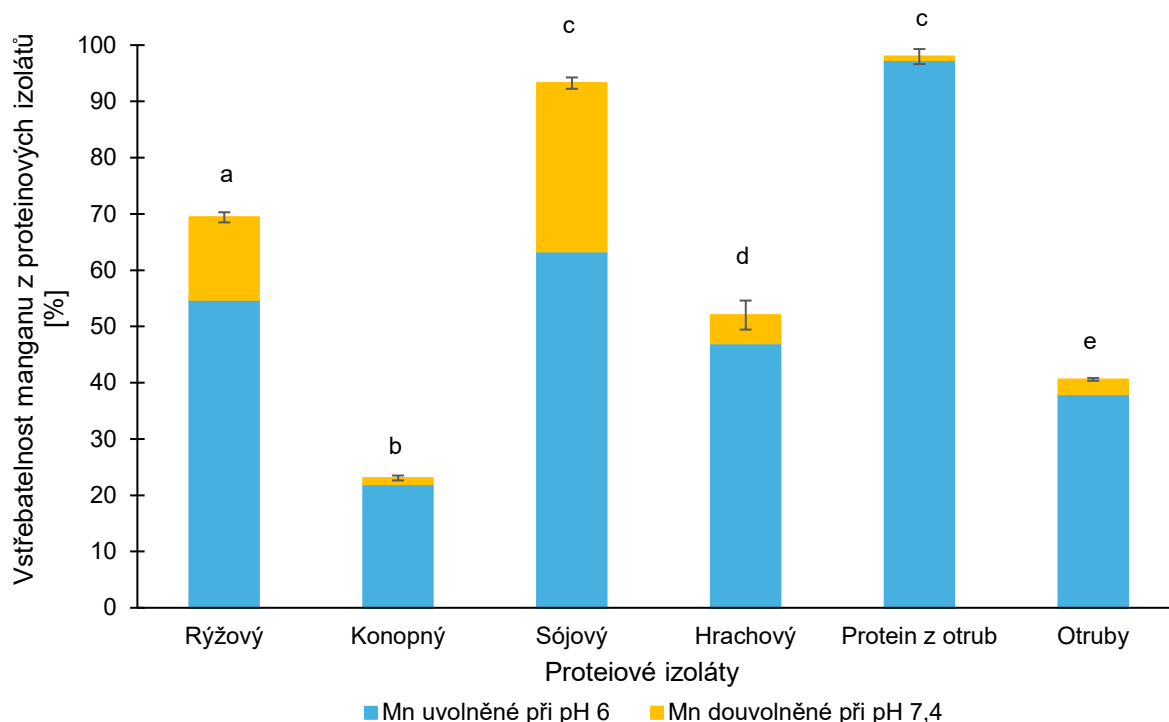
Obrázek 26: Vliv kyseliny fytové na vstřebatelnost hořčíku z různých proteinových izolátů. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

Vliv kyseliny fytové na biologickou dostupnost hořčíku (Obrázek 26) je v tomto případě zřetelný, neboť mezi jednotlivými proteinovými izoláty byly zaznamenány statisticky významné rozdíly ve vstřebatelnosti hořčíku ($p = 0,0008$). Nejvyšší vstřebatelnosti dosahovaly sójový ($88,20 \pm 0,01$ %) a konopný protein ($85,00 \pm 0,05$ %), následovány otrubami ($64,4 \pm 2,3$ %) a proteinem z otrub ($56,6 \pm 1,1$ %). Výrazně nižších hodnot bylo dosaženo u rýžového ($36,3 \pm 0,7$ %) a hrachového proteinu ($30,9 \pm 0,7$ %).

Ačkoliv v modelovém jídelníčku došlo k překročení teoretického doporučeného denního příjmu hořčíku, v praxi si řada osob tuto minerální látku i nadále doplňuje prostřednictvím suplementů. Často je k tomu vede vnímaný deficit způsobený stresem nebo fyziologickými projevy, jako je brnění končetin, u nichž mohou hořčíkové doplňky přinášet úlevu.

Případ hořčíku dobře ilustruje, že samotná vysoká vstřebatelnost či vysoký obsah minerální látky v surovině nemusí být samy o sobě určujícím faktorem pro její přínos v praxi. Například sójový protein sice vykazuje velmi vysokou vstřebatelnost hořčíku, ale jeho celkový obsah v sušině je nízký, což vede k nízkému reálnému příjmu – pouhých 6,8 mg ze 30 g prášku. Naproti tomu konopný protein poskytne organismu 114,4 mg a otruby 77,9 mg hořčíku, přestože jejich vstřebatelnost je nižší. Zbylé izoláty přispívají ještě méně – protein z otrub 5,3 mg, hrachový 4,0 mg a rýžový pouze 2,3 mg. Nižší příspěvek těchto proteinů je dán nejen nižší vstřebatelností, ale především velmi nízkým obsahem hořčíku, jak bylo uvedeno v kapitole 4.3.

Mangan je esenciální stopový prvek, který se podílí na metabolismu tuků, sacharidů a bílkovin a na ochraně buněk před oxidačním stresem. [97] Studie prováděna na opicích [98] došla k závěru, že vliv kyseliny fytové na vstřebatelnost manganu sice je, ale není tak pozoruhodná jako u zinku a jiných minerálních látek. Tato práce došla k závěru, že v jeho vstřebávání manganu (Obrázek 27) jsou vykazovány signifikantní rozdíly ($p=0,00000008$).

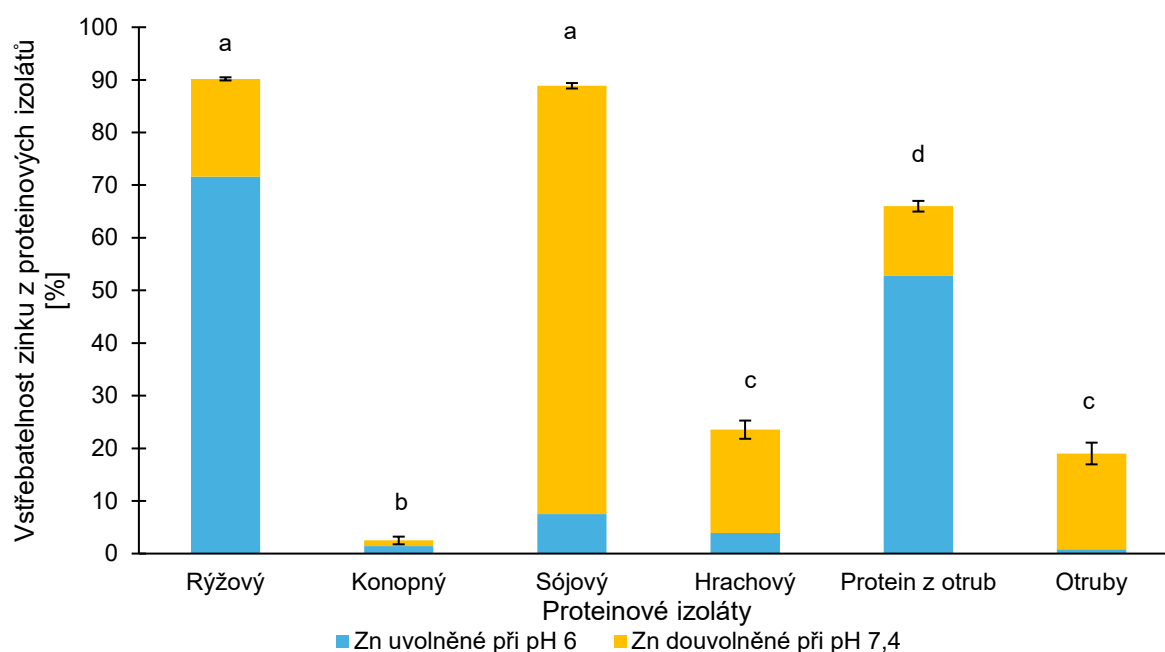


Obrázek 27: Vliv kyseliny fytové na vstřebatelnost manganu z různých proteinových izolátů. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

Nejvyšší biologickou dostupnost manganu vykázal protein připravený z otrub, u něhož byla vstřebatelnost stanovena na $98,0 \pm 1,3$ %, následovaný sójovým proteinem s hodnotou $93,2 \pm 0,1$ %. Tyto dva izoláty tvoří samostatnou statistickou skupinu s významně vyšší využitelností ve srovnání s ostatními analyzovanými materiály. Rýžový protein dosáhl vstřebatelnosti manganu $69,4 \pm 0,9$ %, hrachový protein $52,02 \pm 2,6$ %, zatímco u samotných otrub byla stanovena hodnota $40,6 \pm 0,2$ %. Nejnižší vstřebatelnost byla pozorována u konopného proteinu, kde činila pouze $23,07 \pm 0,40$ %.

Doporučený denní příjem manganu činí přibližně 2 mg, jak uvádí zdroj [97]. Významné množství tohoto prvku se nachází například ve slávce modré, zatímco více než polovina doporučené denní dávky je obsažena v běžné porci lískových či pekanových ořechů nebo v hnědé rýži. Přestože biologická dostupnost manganu z některých rostlinných zdrojů může být nižší, vzhledem k relativně nízké doporučené denní dávce lze většinu analyzovaných proteinových izolátů považovat za potenciálně vhodné doplňky tohoto prvku. Konopný protein a otruby poskytují ze 30 g více než 1 mg manganu na doporučenou porci, což představuje přes 50 % denní potřeby. Rýžový protein poskytuje přibližně 0,5 mg, tedy zhruba 25 %, a i ostatní analyzované izoláty mohou pokrýt 18–20 % doporučeného denního příjmu tohoto esenciálního stopového prvku.

Zinek je důležitý pro imunitní funkce a hojení ran [34]. Studie prováděna pro stanovení vlivu kyseliny na mangan, stanovovala i vliv na zinek [98], u kterého byly rozdíly větší. v jejich vzorcích byl vyšší obsah ať už kyseliny fytové, ale i samotného zinku. Navíc zkoumali sójové mléko, nikoliv proteinová izolát. To mohlo způsobit rozdíly vaznosti mezi studií [98] a touto diplomovou prací.



Obrázek 28: Vliv kyseliny fytové na vstřebatelnost zinku z různých proteinových izolátů. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

Analýza rozptylu prováděná pro stravitelnost zinku stanovila, že jsou mezi jednotlivými proteiny rozdíly ($p = 0,00000001$) (Obrázek 28). Nejvyšší hodnoty vstřebatelnosti dosáhl rýžový protein ($90,2 \pm 0,3$ %) a hned v závěsu za ním byl sójový protein ($88,9 \pm 0,5$ %).

Z pohledu biologické dostupnosti minerálních látek vykazoval nejvyšší vstřebatelnost protein z otrub, a to $98,0 \pm 1,3$ %, následovaný sójovým proteinem s hodnotou $93,2 \pm 0,1$ %. Tyto dva materiály tvořily samostatnou statistickou skupinu s výrazně lepší využitelností ve srovnání s ostatními analyzovanými vzorky. Pro srovnání, proteinový izolát z otrub (tj. jiný než samotné otruby) vykazoval stravitelnost $66,00 \pm 1,01$ %. Rýžový protein dosáhl vstřebatelnosti $69,4 \pm 0,9$ %, což jej řadí na třetí místo. Výrazně nižší hodnoty byly zaznamenány u hrachového proteinu ($52,02 \pm 2,6$ %), otrub ($40,6 \pm 0,2$ %) a nejnižší vstřebatelnost byla stanovena u konopného proteinu, a to pouze $23,07 \pm 0,40$ %.

Zinek se dá v dostatečné míře přijmout v potravě, pokud jsou v ní zařazeny potraviny jako ovesné vločky, hovězí maso nebo dýňová semínka, cheddar či mléko. [99] Denní příjem doporučený je mezi 7-11 mg pro ženy, muži mají 9,5–10,0 mg. Z hodnocených izolátů vykázal nejvyšší využitelný obsah zinku rýžový protein, který díky relativně dobré vstřebatelnosti a vyššímu obsahu umožňuje příjem přibližně 1,5 mg na porci proteinového izolátu, což představuje zhruba 15 % doporučené denní dávky. U ostatních proteinů bylo vstřebatelné množství nižší — u otrub a proteinu z otrub se pohybovalo kolem 0,4 mg, u sójového a hrachového proteinu přibližně 0,2 mg. V případě konopného proteinu činil vstřebatelný podíl zinku pouze 0,1 mg, a tento izolát proto nelze považovat za vhodný zdroj této minerální látky.

Na základě provedených analýz nelze jednoznačně označit jeden proteinový izolát za nejlepší ve všech hodnocených parametrech, nicméně některé z nich vykazovaly komplexně výhodnější složení z hlediska obsahu a vstřebatelnosti minerálních látek. Nejlepšími kandidáty z tohoto pohledu se jeví konopný protein a otruby, případně protein z nich připravený. Tyto materiály obsahovaly jak vysoké absolutní množství minerálních prvků (zejména vápníku, draslíku, hořčíku, zinku a manganu), tak i relativně dobrou vstřebatelnost, což potvrzuje i jejich vysoký obsah popelovin. Hrachový protein sice nepatřil mezi nejbohatší na minerálními látkami, ale překvapil vysokou vstřebatelností železa, což z něj činí vhodný zdroj tohoto prvku i vzhledem k jeho vysokému obsahu. Sójový protein dosahoval velmi dobrých hodnot vstřebatelnosti některých minerálních látek, například manganu, avšak jejich celkový obsah byl často nízký, a tím se snižuje jeho nutriční přínos. Rýžový protein naopak vykazoval hodně nízký obsah minerálních látek, občas i nízkou vstřebatelnost sledovaných minerálních látek, a proto se z hodnocených vzorků jeví jako nejméně vhodný zdroj minerálních látek. Celkově lze tedy říct, že z hlediska optimalizace příjmu minerálních látek při současné konzumaci rostlinných proteinů se jako nejvýhodnější jeví využití konopného proteinu a otrub, případně jejich kombinace s dalšími izoláty podle konkrétní nutriční potřeby.

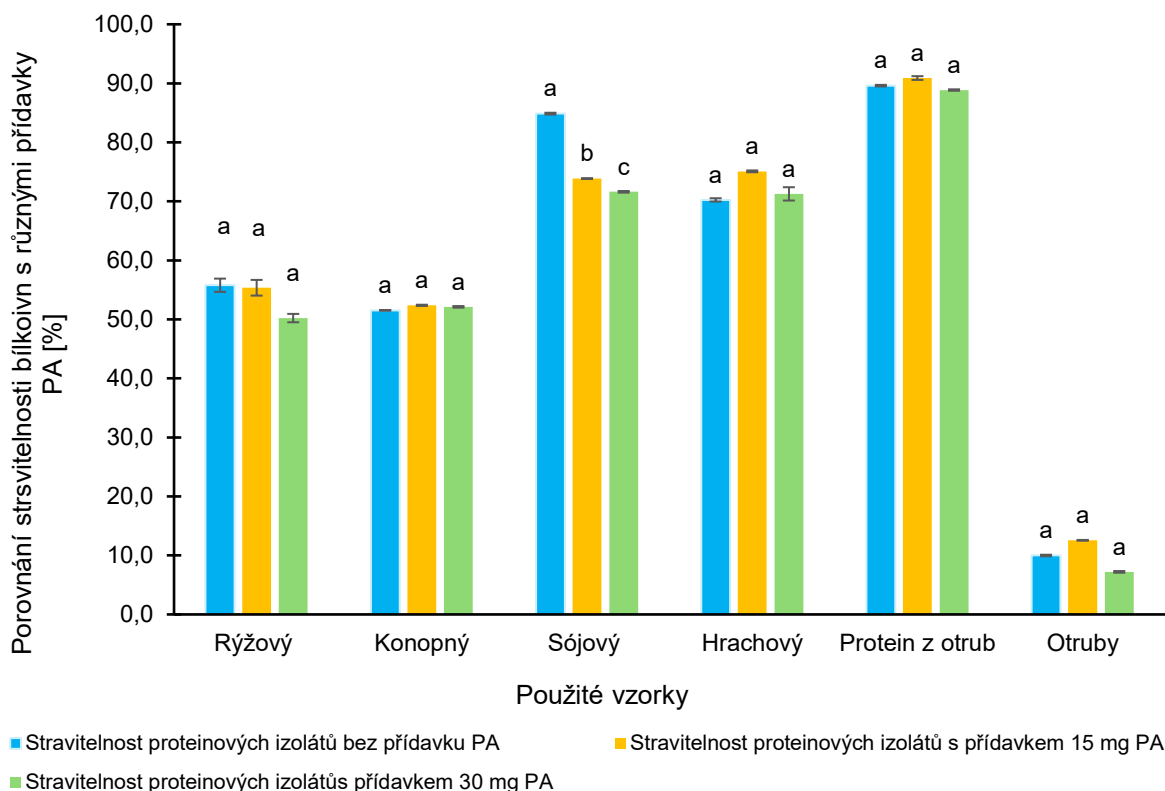
Byl prokázán jednoznačný vliv kyseliny fytové na biologickou dostupnost železa, přičemž s klesající koncentrací této antinutriční látky dochází k výraznému zlepšení uvolňování železa. Přesto však vstřebatelnost železa u žádného z analyzovaných proteinových izolátů nepřekročila hodnotu 50 %. Zinek vykazoval nejvyšší míru vazby u konopného proteinu, otrub a hrachového proteinu, což kontrastovalo se zbývajícími třemi typy proteinů. Zejména u konopného proteinu, obsahujícího nejvyšší množství kyseliny fytové, byla absorpce zinku téměř nulová. Naproti tomu u rýžového proteinu, jenž obsahuje přibližně 37krát méně kyseliny fytové, byla vstřebatelnost zinku až 90 %.

Podobný trend byl pozorován i u vápníku: konopný a hrachový protein vykazovaly silnou vazbu s kyselinou fytovou, zatímco u sójového proteinu s nižším obsahem této látky činila vstřebatelnost vápníku až 86 %. Kromě toho byl u konopného proteinu pozorován významný pokles absorpce manganu, kdy vstřebatelnost klesla na 23 %. U proteinu z otrub bylo oproti ostatním sledovaným izolátům zaznamenáno snížení vstřebatelnosti draslíku.

Z výsledků diplomové práce jednoznačně vyplývá, že kyselina fytová významně ovlivňuje vstřebávání esenciálních minerálních látek, přičemž míra tohoto vlivu závisí nejen na její koncentraci, ale i na koncentraci samotných minerálních látek. Při technologické přípravě proteinových doplňků stravy je proto nezbytné usilovat o maximální redukci obsahu kyseliny fytové a současně dbát na obohacení produktů o klíčové minerální látky.

4.5 Stanovení vlivu kyseliny fytové na vstřebatelnost bílkovin

Vzhledem k rozdílnému obsahu kyseliny fytové v jednotlivých proteinových izolátech lze očekávat i odlišný vliv na bílkoviny. Kyselina fytová může s bílkovinami přímo interagovat nebo ovlivňovat enzymy podílející se na jejich trávení. Cílem této části je proto posoudit, do jaké míry dochází ke změnám ve využitelnosti bílkovin v závislosti na zvyšující se koncentraci kyseliny fytové. Stravitelnost byla stanovena pomocí metody uvedené v kapitole 3.6. Výsledky vyjadřují procentuální strávení proteinových izolátů po simulovaném trávení.



Obrázek 29: Porovnání stravitelnosti proteinových izolátů s různými přídavky kyseliny fytové. (Indexy indikují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.)

Obrázek 29 uvádí průměrné hodnoty stravitelnosti jednotlivých proteinových izolátů bez přídavku kyseliny fytové a se dvěma přídavky (15 mg a 30 mg). Výsledky ukazují, že vliv kyseliny fytové na stravitelnost proteinových izolátů je závislý na zdroji bílkoviny a použité koncentraci.

Nejvyšší pokles stravitelnosti byl sledován sójového proteinu, u kterého došlo k poklesu v průměru o 13,25 %. U rýžového proteinu byla zaznamenána mírná tendence ke snižování stravitelnosti s rostoucí koncentrací kyseliny fytové. Výsledky naznačují, že vyšší koncentrace kyseliny fytové mohou ovlivňovat trávení těchto dvou proteinových izolátů, a to pravděpodobně v důsledku komplexace s trávicími enzymy nebo vazby na bílkoviny.

Konopný protein vykazoval velmi stabilní stravitelnost ve všech podmínkách. To naznačuje, že kyselina fytová má v tomto případě minimální vliv na stravitelnost. Hrachový protein, samotné otruby a protein připravený z otrub naopak vykazovaly zvýšení stravitelnosti při nižším přídavku kyseliny fytové a vyšší přídavek způsobil opět snížení stravitelnosti oproti přídavku 15 mg. Tyto výsledky mohou ukazovat na určité synergické nebo modulační efekty nízkých koncentrací kyseliny fytové u některých druhů proteinů.

Přídavek kyseliny fytové vyvolal určitou změnu stravitelnosti téměř u každého vzorku, ale je otázkou, zda v takové míře, která má závažný vliv na stravitelnost. Při statistické analýze bylo zjištěno, že pouze u jednoho proteinu dochází k významnému vlivu přídavku kyseliny fytové na stravitelnost produktu. Jedná se o sójový protein, kde rozdíl byl obrovský ($\alpha=0,00018$).

V teoretické části (kap. 2.4.1) bylo popsáno, že kyselina fytová může vytvářet elektrostatické interakce se zásaditými aminokyselinami. Tento mechanismus je závislý na náboji aminokyselin, který se mění v závislosti na pH prostředí. Při pH nižším než izoelektrický bod (pI) je aminokyselina protonována a nese kladný náboj, zatímco při pH vyšším, než pI dochází k deprotonaci a výsledný náboj je záporný.[4]

Mezi zásadité aminokyseliny se řadí lysin (pI 9,59), arginin (pI 10,76) a histidin (pI 7,49). Pro srovnání lze uvést také tryptofan (pI 5,89), asparagin (pI 5,41) a glutamin (pI 5,65), které se řadí mezi neutrální či mírně zásadité aminokyseliny.[100]

Simulace trávení probíhala ve třech fázích s různým pH, které odpovídaly jednotlivým úsekům trávicího traktu. První fáze představovala žaludeční prostředí (pH 2), druhá fáze simulovala počáteční část tenkého střeva (pH 6) a třetí fáze odpovídala distálnímu tenkému střevu (pH 7,4).

Při pH 2 jsou všechny uvedené aminokyseliny protonovány a nesou kladný náboj, což vytváří příznivé podmínky pro elektrostatické interakce s kyselinou fytovou (která je při tomto pH záporně nabitá). Ve fázi s pH 6 jsou tryptofan, asparagin a glutamin již blízko svým izoelektrickým bodům nebo mírně za nimi, což znamená, že mohou být neutrální až slabě záporně nabité. Naopak lysin, arginin a histidin si i při tomto pH stále udržují kladný náboj, a tudíž mají potenciál se vázat na kyselinu fytovou i v prostředí na začátku tenkého střeva. Ve třetí fázi (pH 7,4) se již histidin nachází v blízkosti svého pI a jeho náboj může být neutrální až slabě kladný. Lysin a arginin však i nadále zůstávají protonovaní a interakce s kyselinou fytovou může stále probíhat.

Dále je vhodné zohlednit zastoupení těchto aminokyselin v jednotlivých proteinových izolátech. Nejvyšší zastoupení zásaditých aminokyselin vykazuje sójový protein, který obsahuje přibližně 6,2–6,3 g lysinu a 7,5–7,8 g argininu na 100 g produktu. Tento rozsah byl stanoven po prozkoumání několika komerčně dostupných sójových proteinových izolátů. Tyto hodnoty jsou srovnatelné s některými živočišnými bílkovinami. [101] Tato skutečnost může vysvětlovat, proč byl u sójového proteinu zaznamenán nejvýraznější pokles stravitelnosti po přídavku kyseliny fytové. Vysoký obsah zásaditých aminokyselin zvyšuje pravděpodobnost interakce s kyselinou fytovou, a tím může docházet k omezení enzymatické dostupnosti těchto aminokyselin při trávení. U ostatních rostlinných proteinů je obsah těchto aminokyselin nižší. Nebo například u konopného, který dle výsledků z kapitoly 4.2 obsahuje 17krát vyšší množství kyseliny fytové, obsahuje lysin většinou rozsahu 1,9–3,9 g/100 a 5,6–12,3 g/100 g argininu. Obsah lysinu je nižší než u sójového a obsah argininu je v průměru přibližně stejný. [101] Proto už vyšší přídavek kyseliny fytové na stravitelnost konopného proteinu neměl takový vliv, protože kyselina fytová už v podstatě neměla žádnou volnou aminokyselinu, se kterou by mohla reagovat.

Výsledky této práce ukazují, že technologické úpravy rostlinných surovin vedoucí ke snížení obsahu kyseliny fytové – jako je fermentace, klíčení nebo tepelná úprava – mohou výrazně omezit její negativní vliv na využitelnost bílkovin. Rostlinné proteinové produkty zpracované těmito metodami tak představují vhodnou alternativu i pro osoby se zvýšenými nároky na kvalitní příjem bílkovin. Přesto je potřeba mít na paměti, že některé esenciální aminokyseliny, zejména lysin, methionin a arginin, mohou být v rostlinných zdrojích stále

zastoupeny v nižších množstvích. Je proto důležité dbát na pestrou stravu a vhodné kombinace rostlinných proteinů, aby byl zajištěn dostatečný příjem všech esenciálních aminokyselin.

Je však třeba podotknout, že tato tvrzení se nemusí a s vysokou pravděpodobností nebudou vztahovat na původní, nezpracované (syrové) suroviny, které mohou obsahovat podstatně vyšší množství kyseliny fytové. V těchto případech může vysoký obsah PA teoreticky negativně ovlivnit stravitelnost bílkovin. Tuto problematiku by bylo vhodné dále zkoumat, zejména s ohledem na stále rostoucí trend konzumace celistvých a minimálně zpracovaných potravin v rostlinné výživě.

5 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zaměřila na stanovení obsahu kyseliny fytové v různých proteinových prášcích a na zhodnocení jejího vlivu na biologickou dostupnost minerálních látek, železa, zinku, vápníku a dalších nutričně významných iontů. Analyzovány byly vzorky proteinů z různých rostlinných zdrojů – konkrétně hrách, sója, rýže, konopí, otrub a posledním vzorkem byly i samotné otruby – které představují běžně dostupné složky rostlinné výživy využívané jak v potravinářství, tak ve výrobě funkčních potravin a výživových doplňků.

Výsledky této práce jednoznačně potvrdily, že obsah kyseliny fytové se mezi jednotlivými proteinovými izoláty liší. Nejvyšší koncentrace byla zjištěna v konopném proteinu, který zároveň vykazoval i nejvyšší podíl anorganických složek dle obsahu popela. Tento fakt může mít negativní dopad na vstřebávání klíčových minerálních látek, neboť vysoká koncentrace fytátů vede k jejich chelataci a následnému snížení jejich biologické dostupnosti v lidském organismu. Ve srovnání s ostatními vykazuje rýžový protein nejnižší obsah kyseliny fytové, což z něj činí potenciálně nejvhodnější variantu z hlediska zachování biologické dostupnosti klíčových minerálních látek.

V této práci bylo dále studováno, zda rostlinné proteinové izoláty mohou být dobrým zdrojem minerálních látek. Nejvyšší podíl anorganických látek, reprezentovaný obsahem popela, byl zjištěn u konopného proteinu a otrub, zatímco nejnižší hodnoty vykazoval rýžový protein. Detailní analýza minerálního složení potvrdila rozdílné zastoupení jednotlivých prvků, přičemž např. konopný protein a otruby vynikaly vysokým obsahem vápníku, hořčíku, draslíku, manganu a zinku, zatímco sójový protein dominoval z hlediska obsahu železa.

Následná simulace trávicího procesu ukázala, že samotný obsah minerálních látek neodpovídá jejich biologické dostupnosti. U většiny vzorků docházelo k výraznějšímu uvolnění minerálních látek při pH 6, které odpovídá počáteční části tenkého střeva. Výjimku tvořil draslík, jehož uvolnění narůstalo až při pH 7,4, což může souviset se změnou rozpustnosti komplexů či nízkým vlivem kyseliny fytové na draslík. Konopný protein a otruby prokázaly nejvyšší hodnoty uvolněného vápníku a hořčíku, i přes nižší procento vstřebatelnosti než u jiných proteinových izolátů. Rýžový protein vykazoval nízkou dostupnost téměř všech prvků při obou částech trávicího traktu s pH 6 a 7,4. to ale je spojeno i s nízkým obsahem minerálních látek v tomto konkrétním proteinu. Tyto výsledky zdůrazňují důležitost hodnocení nejen celkového obsahu minerálních látek, ale také jejich skutečné vstřebatelnosti, která je významně ovlivněna přítomností antinutričních faktorů, jako je studovaná kyselina fytová.

Na základě výsledků diplomové práce lze konstatovat, že jednotlivé rostlinné proteinové izoláty se výrazně liší ve své schopnosti dodávat a zpřístupňovat esenciální minerální látky. Nejvyšší biologickou dostupnost vápníku prokázaly otruby, sójový a protein z otrub, nicméně nejvyšší množství vstřebatelného vápníku poskytly otruby a konopný protein, i přes jeho vstřebatelnost pouhých 31 %. V případě železa byly jako nejvhodnější identifikovány protein z otrub a hrachový protein, které dosáhly jak vysoké vstřebatelnosti, tak i relativně významného obsahu tohoto prvku. Sójový protein, ač dominoval v obsahu železa, měl nízkou vstřebatelnost a přijaté množství by bylo ve srovnání s proteinem z otrub a hrachového proteinu poloviční. Pro doplnění draslíku byly nejlépe hodnoceny konopný protein a otruby díky vysokému absolutnímu obsahu a zároveň uspokojivé vstřebatelnosti. Největší přínos v oblasti hořčíku opět vykazoval konopný protein, následovaný otrubami, přičemž sójový protein exceloval svou vstřebatelností, nikoliv však obsahem. Nejvyšší biologickou dostupnost manganu dosáhl protein z otrub a sójový protein, zatímco konopný protein poskytl nejvyšší množství manganu na porci. Pro splnění doporučeného denního příjmu manganu ale není tolik třeba dbát na výběr proteinového izolátu. Protože i ten nejméně vstřebatelný protein či protein

s nejnižším obsahem manganu dokáží pokrýt víc než 1/5 denního příjmu. Z hlediska zinku pak dominoval rýžový protein svou vstřebatelností i obsahem. Sójový a konopný protein byly hodnoceny příznivě pouze díky využitelnosti, skutečný příjem ale byl nižší kvůli nižšímu počátečnímu obsahu. Žádný z testovaných proteinových izolátů nelze označit za univerzálně optimální, avšak kombinace konopného proteinu a otrub představuje z hlediska biologické dostupnosti a zastoupení minerálních látek nejperspektivnější variantu pro doplnění minerálních látek v rostlinné stravě.

Další oblastí této práce bylo studium vlivu kyseliny fytové na stravitelnost bílkovin. Zatímco u některých proteinů, jako je sójový nebo rýžový, bylo pozorováno mírné až výraznější snížení stravitelnosti s rostoucí koncentrací kyseliny fytové, jiné – například konopný nebo protein z otrub – vykazovaly stabilní nebo dokonce mírně zvýšenou stravitelnost při nižší dávce fytátu. U hrachového proteinu a otrub se projevil jistý modulační efekt, kdy nižší přídavek kyseliny fytové vedl ke zlepšení stravitelnosti, zatímco vyšší měl opačný účinek. Tyto rozdíly mohou být částečně vysvětleny zastoupením zásaditých aminokyselin, jako je lysin, arginin a histidin, které mají tendenci se elektrostaticky vázat na fytát zejména při nižších hodnotách pH, čímž mohou být do určité míry vyvázány z enzymatického trávení. Nejvyšší obsah těchto aminokyselin byl zjištěn rešerší právě u sójového proteinu, což odpovídá i jeho největšímu poklesu stravitelnosti. Přestože byly při měřeních pozorovány určité změny, kormě u sójového proteinu statistická analýza neprokázala jejich významnost ($p > 0,05$). Naopak u syrových nebo minimálně zpracovaných surovin s vysokým obsahem kyseliny fytové může být potenciální negativní vliv na využití bílkovin reálný, a tuto problematiku by bylo vhodné dále zkoumat s ohledem na rostoucí zájem o přirozené formy rostlinné výživy.

Celkově výsledky experimentů potvrdily úvodní hypotézu – tedy že kyselina fytová má negativní dopad na biologickou dostupnost minerálních látek, a to jak z pohledu jejich absolutního množství ve vzorcích, tak z pohledu jejich uvolnění a dostupnosti při simulovaných podmínkách trávení. Zároveň se fenomén fixace živin neřídí jednotným jednoduchým mechanismem a do tohoto procesu jistě zasahují i další faktory, které bude třeba do budoucna dále studovat.

6 SEZNAM ZKRATEK

ICP-OES	Optický/á emisní spektrometr/ie s indukčně vázaným plazmatem
IP6	Inositol-hexakisfosfát
IP	Inositol-1,4,5-trisfosfát
CCD	Charge–Coupled Device
GI	Glykemický index
pI	Izoelektrický bod
PA	Kyselina fytová

7 SEZNAM LITERATURY

- [1] PÁVKOVÁ MÁLKOVÁ, Hana. Antinutriční látky v luštěninách. *Zdravý životní styl a hubnutí s rozumem* [online]. c2012 [cit. 2025-03-26]. Dostupné z: <https://www.stobklub.cz/clanek/antinutricni-latky-v-lusteninach/>
- [2] Mikroživiny vs makroživiny. *Mujvit* [online]. [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://mujvit.cz/mikroziviny-vs-makroziviny/>
- [3] GESUNDHEIT.GV.AT. Minerální látky – pokrytí denní potřeby. *Národní zdravotnický informační portál* [online]. 3. 12. 2021 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1143-mineralni-latky-pokryti-denni-potreby>
- [4] VALENTOVÁ, Olga a Radovan HYNEK. *Biochemie: chemický pohled na biologický svět*. 2. přepracované. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2018. ISBN 978-80-7592-013-3.
- [5] *BioRENDER* [online]. c2025 [cit. 2025-03-29]. Dostupné z: <https://app.biorender.com/>
- [6] GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Bílkoviny (proteiny) a aminokyseliny. *NZIP.cz* [online]. Národní zdravotnický informační portál [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1415-bilkoviny-proteiny>
- [7] Sacharidy ve výživě. In: *KRAJSKÁ HYGIENICKÁ STANICE MORAVSKOSLEZSKÉHO KRAJE SE SÍDLEM V OSTRAVĚ* [online]. c2007 - 2025 [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: https://www.khsova.cz/docs/01_aktuality/files/sacharidy_ve_vyzive.pdf
- [8] PÁVKOVÁ MÁLKOVÁ, Hana. Glykemický index v praxi. *STOBKlub* [online]. c2012 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.stobklub.cz/clanek/glykemicky-index-v-praxi/>
- [9] KUNOVÁ, Václava. *Zdravá výživa a hubnutí v otázkách a odpovědích*. Praha: Grada, 2005. Zdraví & životní styl. ISBN 8024710501.
- [10] Sacharidy a vláknina. *Víš, co jíš* [online]. [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://viscojis.cz/teens/kategorie/iviny-a-voda/sacharidy-ve-vyiv/>
- [11] Cukr ve výživě. *Bezpečnost potravin* [online]. [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://bezpecnostpotravin.cz/termin/cukr-ve-vyzive/>
- [12] GESUNDHEIT.GV.AT a BIOCHEMICKÝ ÚSTAV LF MU. Sacharidy a vláknina. *NZIP.cz* [online]. 14. 8. 2024 [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1414-sacharidy-a-vlaknina>
- [13] BRAINMARKET.CZ. Co jsou sacharidy a kterým dávat ve stravě přednost? *Brainmarket.cz* [online]. 2024, 5.6.2024 [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://www.brainmarket.cz/nase-novinky/co-jsou-sacharidy-a-kterym-dat-prednost/?srsltid=AfmBOooWtovghKrK7MIAiJXCyEbaAyAzI7gyoH1yyEoLz4lr9iruVfkB>

- [14] ČR, Úzis. Tuky (lipidy) a mastné kyseliny. *NZIP.cz* [online]. [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1416-tuky-lipidy-mastne-kyseliny>
- [15] RUIZ, Lyndsey D. a Sheri ZIDENBERG-CHERR. Nutrition & Health Info Sheets for Health Professionals - Fat. *UC Davis Nutrition Department* [online]. c2020 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://nutrition.ucdavis.edu/outreach/nutr-health-info-sheets/pro-fat>
- [16] Lipidy (tuky). *Fórum zdravé výživy* [online]. c2025 [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://www.fzv.cz/lipidy-tuky/>
- [17] Lipidy. *NZIP.cz* [online]. [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/853>
- [18] Tuky a cholesterol. *Víš, co jíš* [online]. [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://viscojis.cz/teens/kategorie/iviny-a-voda/tuky-ve-vyiv/>
- [19] GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Tuky (lipidy) a mastné kyseliny. *NZIP.cz* [online]. [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1416-tuky-lipidy-mastne-kyseliny>
- [20] PERLÍN, Ctibor. Minerální látky a stopové prvky. *Ordinace.cz* [online]. c2025 [cit. 2025-03-10]. Dostupné z: <https://www.ordinace.cz/clanek/mineralni-latky-a-stopove-prvky/>
- [21] ČR, Úzis. Minerální látky. *NZIP.cz* [online]. [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/kategorie/170-mineralni-latky>
- [22] Minerální látky ve výživě. *Fórum zdravé výživy* [online]. c2025 [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://www.fzv.cz/mineralni-latky-ve-vyzive/>
- [23] Minerální látky. *Bezpečnost potravin* [online]. [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://bezpecnostpotravin.cz/termin/mineralni-latky/>
- [24] Minerální látky. In: *VŠCHT Praha* [online]. [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~dolezala/CHPP/3%20Miner%c3%a1n%c3%ad%20l%c3%a1tky.pdf>
- [25] GESUNDHEIT.GV.AT a BIOCHEMICKÝ ÚSTAV LF MU. Vápník. *Národní zdravotnický informační portál* [online]. 2021, 7. 7. 2021 [cit. 2025-03-10]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1146-vapnik>
- [26] GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Železo. *NZIP.cz* [online]. 17. 4. 2024 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1149-zelezo>
- [27] GESUNDHEIT.GV.AT, a Biochemický ústav LF MU. Hořčík. *NZIP.cz* [online]. 29. 7. 2022 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1148-horcik>
- [28] GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Fosfor. *NZIP.cz* [online]. 26. 4. 2024 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1147-fosfor>
- [29] GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Sodík a chlor. *NZIP.cz* [online]. <https://www.nzip.cz>, 21. 2. 2024 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1144-sodik-a-chlorid>

- [30] GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Draslík. *NZIP.cz* [online]. 21. 2. 2024 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1145-draslik>
- [31] GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Selen. *NZIP.cz* [online]. 17. 4. 2024 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1153-selen>
- [32] ČR, Úzis, GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Fluor. *NZIP.cz* [online]. 26. 4. 2024 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1151-fluorid>
- [33] GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Jod. *NZIP.cz* [online]. 15. 8. 2022 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1150-jod>
- [34] GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Zinek. *NZIP.cz* [online]. 19. 10. 2021 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1152-zinek>
- [35] Jak si spočítat svůj kalorický příjem. *4fitness.cz* [online]. [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://4fitness.cz/jak-si-spocitat-svuj-kaloricky-prijem-clanek-233/>
- [36] *Kalorické tabulky* [online]. c2024 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.kaloricketabulky.cz/>
- [37] Protein Sójový Izolát 90% VALKNUT 1000 g v prášku bez příchuti. *Valknut* [online]. c2025 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.valknut.cz/protein-sojovy-izolat-90--valknut-1000-g-v-prasku-bez-prichuti/?srsltid=AfmBOoqyS9HZzqsWVe6eR9G5FI93CXffnIkbZTEVyCmcVZLg50AvpN0o>
- [38] U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE: AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE [USDA]. *FoodData Central* [online]. c2025 [cit. 2025-04-25]. Dostupné z: <https://fdc.nal.usda.gov/>
- [39] Antinutriční látky. *Bezpečnost potravin* [online]. <https://bezpecnostpotravin.cz> [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://bezpecnostpotravin.cz/termin/antinutricni-latky/>
- [40] KRČOVÁ, Daniela. Antinutriční a toxické látky v rostlinných potravinách. *Ronniec* [online]. 2017, 29. 06. 2017 [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://kulturstika.ronniec.cz/c-25482-antinutricni-a-toxicke-latky-v-rostlinnych-potravinach.html>
- [41] PÁVKOVÁ MÁLKOVÁ, Hana. Antinutriční látky v luštěninách. *STOPKlub* [online]. c2012 [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://www.stobklub.cz/clanek/antinutricni-latky-v-lusteninach/>
- [42] HAMID, NS Thakur a Kumar PRADEEP. Anti-nutritional factors, their adverse effects and need for adequate processing to reduce them in food. *AgricINTERNATIONAL* [online]. 2017, 4(1), 56-60 [cit. 2025-03-28]. ISSN 2454-8634. Dostupné z: doi:10.5958/2454-8634.2017.00013.4
- [43] SALIM, Rehana, Iqra Bashir NEHVI, Rakeeb Ahmad MIR, Anshika TYAGI, Sajad ALI a Owais M. BHAT. A review on anti-nutritional factors: unraveling the natural gateways to human health. *Frontiers in Nutrition* [online]. 2023, 31.8.2023, 10(8),

- 1-15 [cit. 2025-03-28]. ISSN 2296-861X. Dostupné z: doi:10.3389/fnut.2023.1215873
- [44] WANG, Ruican a Shuntang GUO. Phytic acid and its interactions: Contributions to protein functionality, food processing, and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2021, **20**(2), 2081-2105 [cit. 2025-05-03]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: doi:10.1111/1541-4337.12714
- [45] Are Anti-Nutrients Harmful? *The Nutrition Source* [online]. c2025 [cit. 2025-05-04]. Dostupné z: <https://nutritionsource.hsph.harvard.edu/anti-nutrients/>
- [46] Phytic Acid 101: Everything You Need to Know. *Healthline* [online]. c2025 [cit. 2025-04-30]. Dostupné z: <https://www.healthline.com/nutrition/phytic-acid-101>
- [47] NOONAN, S.C . a G. P. SAVAGE. Oxalate content of foods and its effect on humans. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*. March 1999, **8**(1), 64-74.
- [48] Can too much vitamin C lead to kidney stones? *Nebraska Medicine Omaha, NE* [online]. 2022, March 14, 2022 [cit. 2025-05-04]. Dostupné z: <https://www.nebraskamed.com/primary-care/can-too-much-vitamin-c-lead-to-kidney-stones>
- [49] CHUNG, King-Thom, Tit Yee WONG, Cheng-I WEI, Yao-Wen HUANG a Yuan LIN. Tannins and Human Health: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 1998, **38**(6), 421-464 [cit. 2025-05-04]. ISSN 1040-8398. Dostupné z: doi:10.1080/10408699891274273
- [50] What are Tannins in Tea. *Tea 101 - Your tea companion from Teabox* [online]. c2021 [cit. 2025-05-04]. Dostupné z: <https://tea101.teabox.com/tannins-in-tea>
- [51] ISHIDA, Masahiko, Masakazu HARA, Nobuko FUKINO, Tomohiro KAKIZAKI a Yasujiro MORIMITSU. Glucosinolate metabolism, functionality and breeding for the improvement of Brassicaceae vegetables. *Breeding Science* [online]. 2014, **64**(1), 48-59 [cit. 2025-05-04]. ISSN 1344-7610. Dostupné z: doi:10.1270/jsbbs.64.48
- [52] SALIM, Rehana, Iqra Bashir NEHVI, Rakeeb Ahmad MIR, Anshika TYAGI, Sajad ALI a Owais M. BHAT. A review on anti-nutritional factors: unraveling the natural gateways to human health. *Frontiers in Nutrition* [online]. 2023, 2023-8-31, **10** [cit. 2025-05-04]. ISSN 2296-861X. Dostupné z: doi:10.3389/fnut.2023.1215873
- [53] Vliv vlákniny na hladinu cholesterolu. *Brainmarket.cz* [online]. c2025 [cit. 2025-05-04]. Dostupné z: <https://www.brainmarket.cz/nase-novinky/vliv-vlakniny-na-hladinu-cholesterolu/>
- [54] JHA, Rajesh a Pravin MISHRA. Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology* [online]. 2021, **12**(1) [cit. 2025-05-04]. ISSN 2049-1891. Dostupné z: doi:10.1186/s40104-021-00576-0
- [55] GUPTA, Raj Kishor, Shivraj Singh GANGOLIYA a Nand Kumar SINGH. Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains.

- Journal of Food Science and Technology* [online]. 2015, **52**(2), 676-684 [cit. 2025-05-04]. ISSN 0022-1155. Dostupné z: doi:10.1007/s13197-013-0978-y
- [56] DAVIES, N. T. Anti-nutrient factors affecting mineral utilization. *Proceedings of the Nutrition Society* [online]. 1979, **38**(1), 121-128 [cit. 2025-05-04]. ISSN 0029-6651. Dostupné z: doi:10.1079/PNS19790016
- [57] GESUNDHEIT.GV.AT a Biochemický ústav LF MU. Vápník. *NZIP.cz* [online]. 7. 7. 2021 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1146-vapnik>
- [58] GIBSON, Rosalind S, Victor RABOY a Janet C KING. Implications of phytate in plant-based foods for iron and zinc bioavailability, setting dietary requirements, and formulating programs and policies. *Nutrition Reviews* [online]. 2018, 2018-11-01, **76**(11), 793-804 [cit. 2025-05-01]. ISSN 0029-6643. Dostupné z: doi:10.1093/nutrit/nuy028
- [59] ZHANG, Yianna Y., Regine STOCKMANN, Ken NG a Said AJLOUNI. Revisiting phytate-element interactions: implications for iron, zinc and calcium bioavailability, with emphasis on legumes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 2022, 2022-02-16, **62**(6), 1696-1712 [cit. 2025-05-01]. ISSN 1040-8398. Dostupné z: doi:10.1080/10408398.2020.1846014
- [60] KUMAR, A. a B. M. CHAUHAN. Effects of Phytic Acid on Protein Digestibility (In Vitro) and HCl-Extractability of Minerals in Pearl Millet Sprouts. *Cereal Chemistry* [online]. 1993, **70**(5), 504-506 [cit. 2025-05-03]. Dostupné z: <https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1993/Documents/CC1993a123.html>
- [61] BYE, Jordan W., Nathan P. COWIESON, Aaron J. COWIESON, Peter H. SELLE a Robert J. FALCONER. Dual Effects of Sodium Phytate on the Structural Stability and Solubility of Proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2013, 2013-01-16, **61**(2), 290-295 [cit. 2025-05-03]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf303926v
- [62] YOON, JH, LU THOMPSON a DJ JENKINS. The effect of phytic acid on in vitro rate of starch digestibility and blood glucose response. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1983, **38**(6), 835-842 [cit. 2025-05-03]. ISSN 00029165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/38.6.835
- [63] KUMAR, Awadhesh, Chandrasekhar SAHU, Puja A PANDA, et al. Phytic acid content may affect starch digestibility and glycemic index value of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 2020, 2020-03-15, **100**(4), 1598-1607 [cit. 2025-05-03]. ISSN 0022-5142. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.10168
- [64] THOMPSON, LILIAN U. a JANE H. YOON. Starch Digestibility as Affected by Polyphenols and Phytic Acid. *Journal of Food Science* [online]. 1984, **49**(4), 1228-1229 [cit. 2025-05-03]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.1984.tb10443.x
- [65] ZAJDEL, Alicja, Adam WILCZOK, Ludmiła WĘGLARZ a Zofia DZIERŻEWICZ. Phytic Acid Inhibits Lipid Peroxidation In Vitro. *BioMed Research International*

- [online]. 2013, **2013**, 1-6 [cit. 2025-05-03]. ISSN 2314-6133. Dostupné z: doi:10.1155/2013/147307
- [66] PEI, Yaqiong, Tingyang AI, Ziyu DENG, Di WU, Hongshan LIANG, David Julian MCCLEMENTS a Bin LI. Impact of plant extract on the gastrointestinal fate of nutraceutical-loaded nanoemulsions: phytic acid inhibits lipid digestion but enhances curcumin bioaccessibility. *Food & Function* [online]. 2019, 2019-06-19, **10**(6), 3344-3355 [cit. 2025-05-01]. ISSN 2042-6496. Dostupné z: doi:10.1039/C9FO00545E
- [67] LEE, H. H., S. P. LOH, C. F. J. BONG, S. R. SARBINI a P. H. YIU. Impact of phytic acid on nutrient bioaccessibility and antioxidant properties of dehusked rice. *Journal of Food Science and Technology* [online]. 2015, **52**(12), 7806-7816 [cit. 2025-05-01]. ISSN 0022-1155. Dostupné z: doi:10.1007/s13197-015-1918-9
- [68] MAROLT, Gregor a Mitja KOLAR. Analytical Methods for Determination of Phytic Acid and Other Inositol Phosphates: A Review. *Molecules* [online]. 2021, **26**(1) [cit. 2025-05-03]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules26010174
- [69] ICP-OES Data Analysis. *Thermo Fisher Scientific* [online]. c2006-2025 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/uk/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/trace-elemental-analysis-tea-information/icp-oes-information/icp-oes-data-analysis.html>
- [70] An Introduction to the Principles of Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES). *Agilent* [online]. c2025 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <https://www.agilent.com/en/support/atomic-spectroscopy/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectroscopy-icp-oes/icp-oes-faq>
- [71] The Principle of ICP-OES: How ICP-OES Works Explained. *Spectro Ametek* [online]. c2025 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: www.spectro.com/icp-oes-principle
- [72] CARUSO, Francesco, Sara MANTELLATO, Marta PALACIOS a Robert J. FLATT. ICP-OES method for the characterization of cement pore solutions and their modification by polycarboxylate-based superplasticizers. *Cement and Concrete Research* [online]. 2017, **91**(1), 52-60 [cit. 2025-03-27]. ISSN 00088846. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconres.2016.10.007
- [73] LEVINE, Mindy. ICP-OES – ICP Chemistry, ICP-OES Analysis, Strengths and Limitations. *Technology Networks* [online]. c2025, December 18, 2023 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <http://www.technologynetworks.com/analysis/articles/icp-oes-icp-chemistry-icp-oes-analysis-strengths-and-limitations-342265>
- [74] TAWFIK, Walid, Mohamed EL-SAEED, Ahmed KHALIL a Mohamed FIKRY. Detection of heavy metal elements by using advanced optical techniques. *Journal of the Egyptian Society for Basic Sciences-Physics* [online]. 2024, 2024-03-05, **1**(1), 99-127 [cit. 2025-03-29]. ISSN 3009-7274. Dostupné z: doi:10.21608/jesbsp.2024.255191.1002

- [75] EDTA. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. c2025, 11. 6. 2024 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/EDTA>
- [76] Complexometric Titration. *BYJU'S* [online]. c2025 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <https://byjus.com/chemistry/complexometric-titration/>
- [77] LADISLAVOVÁ, N. a L. HABARTOVÁ. VÁŽKOVÉ A KOMPLEXOMETRICKÉ STANOVENÍ NIKLU V PEVNÉM VZORKU. In: <https://www.vscht.cz/> [online]. c2025, 2019 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <https://uanlch.vscht.cz/files/uzel/0012437/0007~~cy9KzkjNic87vLAsP6Uy3sjAyAA.pdf?redirected>
- [78] Chelatometrie. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. c2025 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Chelatometrie>
- [79] Photometric complexometric titration. *Metrohm* [online]. 2022 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <https://www.metrohm.com/en/discover/blog/20-21/photometric-complexometric-titration.html>
- [80] *BYJU'S* [online]. c2025 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <https://byjus.com/>
- [81] Komplexometrické titrace. *Vyšší odborná škola zdravotnická a Střední zdravotnická škola Hradec Králové - Analýza léčiv* [online]. c2025 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <https://anl.zshk.cz/vyuka/komplexometricke-titrace.aspx>
- [82] HARVEY, David. Complexation Titration. *Chemistry LibreTexts* [online]. c2025 [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Demos_Techniques_and_Experiments/General_Lab_Techniques/Titration/Complexation_Titration
- [83] TIBCO. *STATISTICA: data analysis software system, version 14* [software]. c1978-2020. Dostupné také z: <https://statistica.pro/produkty-category/tibco-desktop/>
- [84] AL HASAN, Syed Mahfuz, Mahedi HASSAN, Sonjoy SAHA, Mominul ISLAM, Masum BILLAH a Shimul ISLAM. Dietary phytate intake inhibits the bioavailability of iron and calcium in the diets of pregnant women in rural Bangladesh: a cross-sectional study. *BMC Nutrition* [online]. 2016, **2**(1) [cit. 2025-05-03]. ISSN 2055-0928. Dostupné z: doi:10.1186/s40795-016-0064-8
- [85] GARCÍA-ESTEPA, Rosa Ma, Eduardo GUERRA-HERNÁNDEZ a Belén GARCÍA-VILLANOVA. Phytic acid content in milled cereal products and breads. *Food Research International* [online]. 1999, **32**(3), 217-221 [cit. 2025-04-30]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/S0963-9969(99)00092-7
- [86] PONTOPPIDAN, Katrine, Dan PETERSSON a Ann-Sofie SANDBERG. Interaction of phytate with protein and minerals in a soybean–maize meal blend depends on pH and calcium addition. *The Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 15 August 2007, **87**(10), 1886-1892 [cit. 2025-04-30]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.2917>
- [87] ALONSO-ESTEBAN, José Ignacio, María Esperanza TORIJA-ISASA a María de Cortes SÁNCHEZ-MATA. Mineral elements and related antinutrients, in whole and

- hulled hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds. *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. 2022, **109**(3) [cit. 2025-04-30]. ISSN 08891575. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfca.2022.104516
- [88] TELESZKO, Miroslava, Adam ZAJĄC a Tomasz RUSAK. Hemp Seeds of the Polish 'Bialobrzzeskie' and 'Henola' Varieties (*Cannabis sativa* L. var. *sativa*) as Prospective Plant Sources for Food Production. *Molecules* [online]. 2022, **27**(4) [cit. 2025-05-07]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules27041448
- [89] NACZK, M., L.J. RUBIN a F. SHAHIDI. Functional Properties and Phytate Content of Pea Protein Preparations. *Journal of Food Science* [online]. 1986, **51**(5), 1245-1247 [cit. 2025-04-30]. ISSN 0022-1147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.1986.tb13096.x
- [90] HURRELL, RF, MA JUILLERAT, MB REDDY, SR LYNCH, SA DASSENKO a JD COOK. Soy protein, phytate, and iron absorption in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1992, **56**(3), 573-578 [cit. 2025-04-30]. ISSN 00029165. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0002916523313819>
- [91] WU, Wei, Fang-min CHENG, Zheng-hui LIU a Ke-su WEI. Difference of Phytic Acid Content and its Relation to Four Protein Composition Contents in Grains of Twenty-nine japonica Rice Varieties from Jiangsu and Zhejiang Provinces, China. *Rice Science* [online]. 2007, **14**(4), 311-314 [cit. 2025-04-30]. ISSN 16726308. Dostupné z: doi:10.1016/S1672-6308(08)60010-4
- [92] INSTITUTE OF MEDICINE. *Exploring the Nutritional Potential and Functionality of Hemp and Rapeseed Proteins: A Review on Unveiling Anti-Nutritional Factors, Bioactive Compounds, and Functional Attributes* [online]. 4. Washington (DC): National Academies Press (USA); 1997 [cit. 2025-04-30]. Dostupné z: doi:10.17226/5776
- [93] GESUNDHEIT.GV.AT a BIOCHEMICKÝ ÚSTAV LF MU. Železo. *Národní zdravotnický informační portál* [online]. 17. 4. 2024 [cit. 2025-03-10]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/1149-zelezo>
- [94] Foods high in iron. *Healthdirect* [online]. c2025 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.healthdirect.gov.au/foods-high-in-iron>
- [95] BEKHIT, Alaa El-Din A., Amin SHAVANDI, Teguh JODJAJA, et al. Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* [online]. 2018, **13**, 129-152 [cit. 2025-05-01]. ISSN 18788181. Dostupné z: doi:10.1016/j.bcab.2017.11.017
- [96] Foods high in potassium. *Healthdirect* [online]. c2025 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.healthdirect.gov.au/foods-high-in-potassium>
- [97] Manganese. *National Institutes of Health (NIH) Office of Dietary Supplements (ODS)* [online]. c2025 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Manganese-HealthProfessional/>
- [98] LÖNNERDAL, Bo, Lalith JAYAWICKRAMA a Eric L LIEN. Effect of reducing the phytate content and of partially hydrolyzing the protein in soy formula on zinc and

copper absorption and status in infant rhesus monkeys and rat pups. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1999, **69**(3), 490-496 [cit. 2025-05-01]. ISSN 00029165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/69.3.490

- [99] Foods high in zinc. *Healthdirect* [online]. c2025 [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.healthdirect.gov.au/foods-high-in-zinc>
- [100] NAJBERT, Jaroslav. AMINOKYSELINY, PEPTIDY, BÍLKOVINY – STRUKTURA, VLASTNOSTI. *SlidePlayer* [online]. c2025 [cit. 2025-05-03]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11459669/>
- [101] ČULÍKOVÁ, Andrea. *Studium stravitelnosti proteinových izolátů*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.