



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

VYUŽITÍ PŠENIČNÝCH OTRUB PRO VÝROBU HNOJIVA

USE OF WHEAT BRAN FOR FERTILIZER PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Helena Maňáková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1557/2020 Akademický rok: 2020/21
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií
Studentka: **Bc. Helena Maňáková**
Studijní program: Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Potravinářská chemie a biotechnologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.**

Název diplomové práce:

Využití pšeničných otrub pro výrobu hnojiva

Zadání diplomové práce:

1. Zpracování literární rešerše k tématu DP
2. Elementární analýza pšeničných otrub
3. Návrh složení hnojiva z odpadních substrátů potravinářského průmyslu
4. Návrh aplikační formy hnojiva
5. Příprava a charakterizace nového typu hnojiva

Termín odevzdání diplomové práce: 30.7.2021:

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

Bc. Helena Maňáková
student(ka)

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.
vedoucí práce

prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2021

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá výrobou hnojiva z pšeničných otrub a kávové sedliny, které jsou ve velkém množství produkovány v potravinářském průmyslu. V práci byla testována účinnost odstraňování kofeinu a fenolických látek z kávové sedliny pomocí oxidačního činidla a také možnost recyklace použitého oxidačního činidla. Oxidací se podařilo odstranit téměř všechny fenolické látky a významné množství kofeinu z kávové sedliny, a to i s použitím recyklovaného oxidačního činidla. Z kávové sedliny a z otrub bylo následně vytvořeno hnojivo ve formě pelet. Při peletování byl studován optimální stupeň zvlhčení materiálu pro dosažení optimální výtěžnosti pelet a dostatečně pevných pelet. Studovány byly také různé poměry substrátů pro peletování a byla posuzována kvalita vyrobených pelet. V připravených peletách byl stanoven obsah makro a mikroprvků bylo prokázáno, že pelety jsou dobrým zdrojem prvků významných pro růst rostlin.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the production of fertilizer from wheat bran and spent coffee grounds, which are produced in large quantities in the food industry. The efficiency of the removal of caffeine and phenolic substances from coffee grounds using the oxidation reaction and the possibility of recycling the usable oxidizing effect were tested. We managed to oxidize almost all phenolic substances and a significant amount of caffeine from coffee grounds, even through the recycled oxidizing effect. Fertilizer in the form of pellets was subsequently formed from coffee grounds and bran. During pelleting, the optimal degree of wetting of the material was studied to achieve optimal yield of pellets and sufficiently strong pellets. Different ratios of substrates for pelletization were also studied and the quality of produced pellets was assessed. The content of macro and microelements in the prepared pellets was determined. Pellets have been shown to be a good source of elements important for plant growth.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pšeničné otruby, kávová sedlina, hnojivo, fenolické látky, detoxikace.

KEY WORDS

Wheat bran, spent coffee ground, fertilizer, phenolic compounds, detoxication.

MAŇÁKOVÁ, Helena. *Využití pšeničných otrub pro výrobu hnojiva*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131154>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Pavel Diviš.

PROHLÁŠENÍ

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

podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing Pavlu Divišovi, Ph.D a Ing. Zuzaně Juglové za jejich odborné rady, trpělivost a ochotu při zpracování této práce. Dále bych ráda poděkovala mé rodině, která mě po celou dobu studia plně podporovala. Tato práce vznikla s podporou Technologické agentury ČR (projekt č. FW02020135).

OBSAH

1	ÚVOD.....	7
2	TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1	Půda a organická hmota	8
2.2	Uhlíkový cyklus	8
2.2.1	Antropogenní narušení uhlíkového cyklu.....	10
2.3	Výživa rostlin	11
2.3.1	Makroprvky.....	12
2.3.2	Mikroprvky	16
2.3.3	Voda.....	16
2.4	Hnojiva	17
2.4.1	Minerální hnojiva.....	18
2.4.2	Organická hnojiva.....	20
2.5	Pšeničné otruby	22
2.5.1	Chemické složení pšeničných otrub.....	23
2.5.2	Využití pšeničných otrub	25
2.6	Káвовá sedlina	26
2.6.1	Biorafinace kávové sedliny.....	27
2.6.2	Využití kávové sedliny jako hnojiva.....	28
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	31
3.1	Používané přístroje a laboratorní vybavení.....	31
3.2	Použité chemikálie	31
3.3	Metoda pro elementární analýzu technikou ICP-OES	32
3.3.1	Příprava kalibračních roztoků.....	32
3.3.2	Příprava vzorků KS a PO pro elementární analýzu	32
3.3.3	Podmínky měření	32
3.4	Příprava nového typu hnojiva z KS a PO ve formě pelet.....	33
3.4.1	Příprava peletovacího lisu.....	33
3.4.2	Výroba pelet ze směsí z KS a PO	33
3.4.3	Stanovení vlhkosti v peletách pomocí Karl-Fischerovy titrace	34
3.5	Elementární analýza pelet pomocí ICP-OES	35
3.6	Příprava a oxidace kávové sedliny	35
3.6.1	Soxhletova extrakce kávové sedliny	35
3.6.2	Detoxikace kávové sedliny oxidačními procesy.....	36
3.7	Metoda pro stanovení fenolických kyselin a kofeinu v KS pomocí HPLC	38
3.7.1	Extrakce vzorků nezoxidované kávové sedliny	38
3.7.2	Příprava kalibrační řady fenolických látek a kofeinu	38
3.7.3	Stanovení LOD a LOQ u standardů FL a kofeinu	38
3.7.4	Podmínky měření	39
4	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	40

4.1	Elementární analýza pšeničných otrub a kávové sedliny	40
4.2	Předúprava KS a PO.....	40
4.3	Úprava kávové sedliny detoxikačními procesy.....	41
4.3.1	Analýza fenolických látek a kofeinu v KS pomocí HPLC	41
4.3.2	Vliv působení oxidačního činidla na obsah FL a kofeinu v KS	42
4.3.3	Vliv doby oxidace na obsah FL a kofeinu v KS	43
4.3.4	Vliv odtučnění KS na obsah FL a kofeinu.....	44
4.3.5	Vliv oxidace na odstranění tuků z kávové sedliny.....	46
4.3.6	Recyklace oxidačního činidla	46
4.4	Výroba pelet ze směsi KS a PO	49
4.4.1	Stanovení vlhkosti pelet pomocí Karl-Fischerovy titrace.....	50
4.4.2	Elementární analýza pelet.....	51
5	ZÁVĚR.....	54
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	55
7	Seznam použitých zkratk	62

1 ÚVOD

Za poslední dvě století došlo k prudkému nárůstu lidské světové populace a tento počet se stále zvyšuje. Z toho důvodu je zásadní zajistit dostatečné množství potravin. To je však možné pouze tehdy, pokud půda bude stále úrodná a bude se o ni správně pečovat. V posledních letech se ale zemědělská výkonnost stále dostává pod větší tlak. Z půdy je pěstováním plodin odčerpáváno velké množství živin a snižuje se také obsah organické hmoty v půdě. Odebrané živiny a organická hmota musí být po sklizni plodin doplněny, jinak může dojít ke snížení úrodnosti a k degradaci půdy.

Minerální látky jsou do půdy doplňovány především pomocí minerálních hnojiv, jelikož se jedná o pohodlnou a nejjednodušší variantu. Minerální hnojiva jsou sice schopna významně doplnit minerální prvky, ale pokud by byla dodávána do půdy v nadměrném množství a samostatně bez organické hmoty došlo by paradoxně za určitou dobu k narušení úrodnosti půdy. V konečném důsledku by to mělo i celkový vliv na životní prostředí. Z toho důvodu je důležité do půdy doplňovat i organickou hmotu, která napomáhá vracet uhlík do půdy, čímž přispívá k dlouhodobé ochraně a obnově půdy a zároveň také ke snížení emisí skleníkových plynů. Pro hnojení je vhodné využívat především organická hnojiva, která obsahují jak minerální látky, tak organickou hmotu.

Jako organická hnojiva lze využít i odpady z potravinářských výrob. V této práci byly pro výrobu hnojiva použity pšeničné otruby a kávová sedlina. Otruby i kávová sedlina jsou v potravinářském průmyslu produkovány ve velkém množství, dostupnost těchto materiálů je tedy velmi dobrá a stále se hledá jejich další využití. Obě suroviny obsahují makroprvky P, K, Ca, Mg a některé mikroprvky, které jsou důležité pro růst rostlin. Další významnou vlastností těchto materiálů je schopnost zadržovat vodu a vhodný poměr C:N v materiálu.

Zatímco otruby lze jako hnojivo použít ve své nativní formě, kávovou sedlinu je nutné nejprve upravit a odstranit z ní kofein a fenolické látky, které nepříznivě ovlivňují růst rostlin. V této práci byla tedy testována i možnost detoxifikace kávové sedliny pomocí oxidačního činidla a také využití recyklovaného oxidačního činidla pro další detoxifikaci kávové sedliny.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Půda a organická hmota

Půda hraje významnou roli pro většinu živých organismů na planetě. Má zásadní vliv na regulaci klimatu, zajištění potravin, krmiv a také na biodiverzitu. Primární funkcí půdy je její schopnost zajišťovat zdravý a silný růst rostlin [1]. Důležitým faktorem pro bezproblémový růst rostlin je úrodnost půdy, která je závislá na řadě biologických, chemických a fyzikálních procesů (obsahu organické hmoty v půdě, stavu živin v půdě, činnosti půdních organismů, množství a druhů jílovitých minerálů, výměny vzduchu aj.) [1,2].

Obsah organické hmoty v půdě je významný při dlouhodobé ochraně a obnově půdy. Organická hmota udržuje úrodnost půdy, a to díky zlepšení jejích fyzikálních, chemických a biologických vlastností, mimo jiné zvyšuje stabilitu půdních agregátů, pórovitost a využitelnou vodní kapacitu [1,2,3]

Organická hmota je tvořena různými stádii rozkladu rostlin, živočichů a mikroorganismů. Rychlost rozkladu je ovlivňována teplotou, vlhkostí a okolními půdními podmínkami. Tento proces vede k uvolňování rostlinných živin, zejména uhlíku, dusíku, síry a fosforu. Zvlhčováním rostlinné a živočišné hmoty a aktivitou mikroorganismů vzniká huminová hmota, která je heterogenního charakteru a obsahuje hydrofilní a hydrofobní látky. Tato skupina látek je aktivní složkou organického humusu a zvyšuje zádržnost vody v půdě [1,2,4].

V posledních letech se však množství organické hmoty v půdách díky intenzivnímu zemědělství snižuje. To má dopad na úrodnost půdy a také na schopnost půdy v sobě ukládat uhlík, díky čemuž je snižováno množství emisí CO₂ z atmosféry (viz kapitola 2.2). Z toho důvodu klade Evropská unie stále větší důraz na vyšší zachování organického uhlíku v půdě [5].

Mezi faktory, které mohou negativně ovlivňovat množství půdní organické hmoty patří také nevhodné používání minerálních hnojiv pro výživu rostlin. Výzkum L. Menšíka et al. [5] tvrdí, že dlouhodobé používání minerálních hnojiv (jako je NPK) bez přísunu organických látek urychluje mineralizaci humusu a degradaci půdy. Výzkumem bylo potvrzeno, že aplikací organických hnojiv (jako je např. kejda a hnůj) lze dlouhodobě dosáhnout stabilních výnosů plodin, a to při současném zachování kvality půdy.

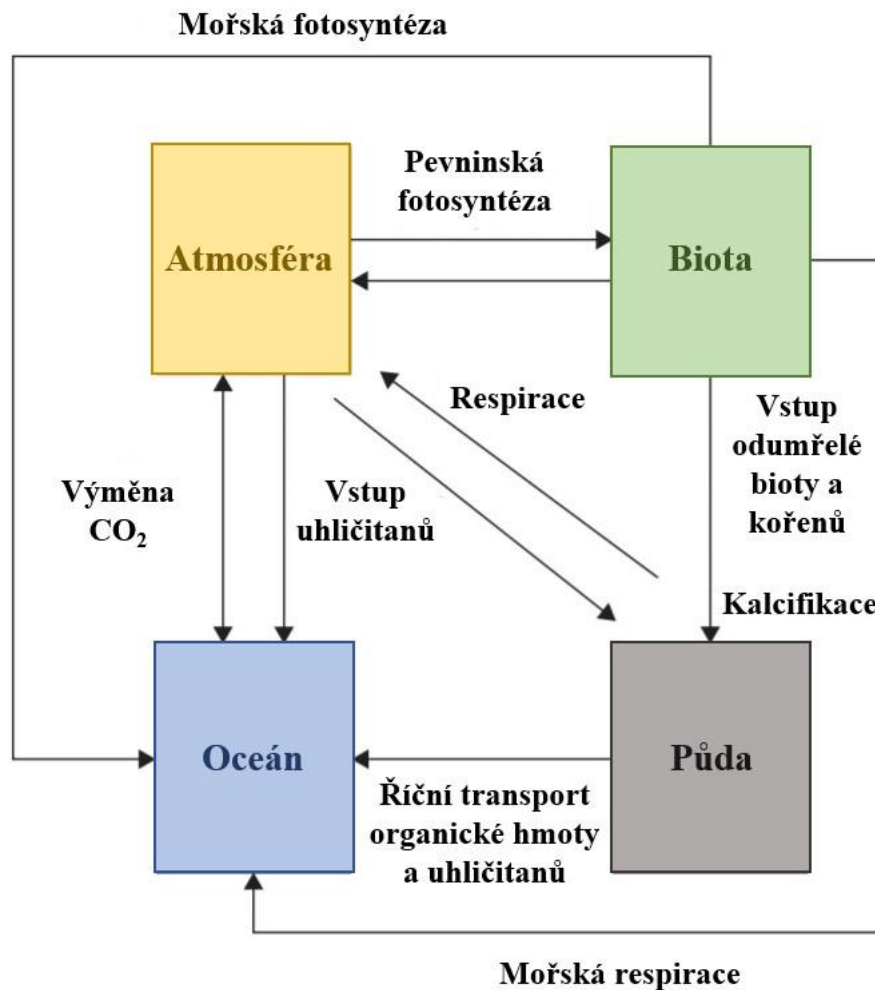
2.2 Uhlíkový cyklus

V poslední době dochází ke zvýšení zájmu o uhlíkový cyklus, protože významně ovlivňuje rychlost a rozsah globálního oteplování [6,7]. Uhlíkový cyklus je tvořen rezervoáry uhlíku a dynamickými přenosy (toky) uhlíku mezi nimi. Je řízen geologickými procesy, fotosyntézou a dýcháním rostlin i živočichů. Mezi jeho čtyři hlavní rezervoáry patří: atmosféra, oceány, pevnina a fosilní paliva (viz obrázek 2). Z pohledu rychlosti přeměny uhlíku lze uhlíkový cyklus dělit na dlouhodobý geologický cyklus a krátkodobý biologický cyklus [6,7,8]. Tyto procesy jsou důkladně balancovány, každý rezervoár tohoto cyklu obsahuje ročně přibližně 2 mld. tun uhlíku.

Mezi dlouhodobé geologické procesy, které jsou v ročním měřítku charakterizovány nízkou výměnou uhlíku, patří: zvětrávání, vulkanismus, sedimentace a diagenese [6,7].

Naproti tomu krátkodobý biologický cyklus je tvořen souhrou pevninské a mořské fotosyntézy a respirace (viz obrázek 1). V krátkodobém biologickém cyklu dominují především dva plyny na bázi uhlíku, jimiž jsou oxid uhličitý a methan [7].

Oxid uhličitý a methan přispívají k přirozenému skleníkovému efektu, který udržuje na planetě dostatečnou teplotu, aby se planeta mohla vyvíjet a podporovat život. Zvyšováním koncentrace těchto plynů v atmosféře způsobuje skleníkový efekt, který zahřívá Zemi. Tyto dva plyny dominují díky fotosyntéze a dýchání rostlin, živočichů a mikroorganismů. Rostliny při fotosyntéze absorbují CO_2 z atmosféry a přeměňují sluneční energii na energii chemickou ve formě makroergických vazeb [6,7]. Množství uhlíku fixovaného ve fotosyntéze je přibližně 120 000 miliónů metrických tun ročně. Asi polovina fotosyntetizovaného uhlíku je ztracena dýcháním zpět do atmosféry díky fotoautotrofům a heterotrofům [7].



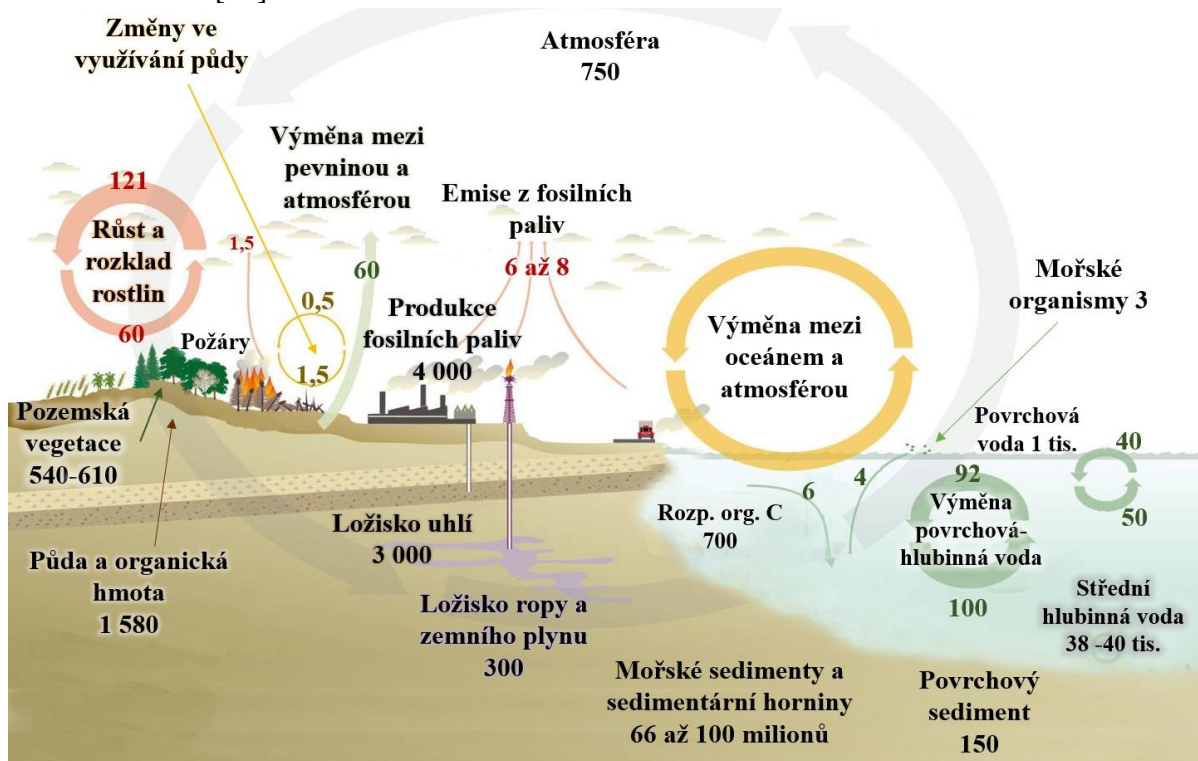
Obrázek 1 Krátkodobý biologický C-cyklus [9]

2.2.1 Antropogenní narušení uhlíkového cyklu

Lidské činnosti jsou svou tvorbou skleníkových plynů zodpovědné za ovlivnění přirozeného uhlíkového cyklu (viz obrázek 2) [6,7].

Mezi hlavní skleníkové plyny na bázi uhlíku patří oxid uhličitý a methan. Hlavními zdroji CO_2 je spalování fosilních paliv a biomasy, změny ve využívání půdy: kácení lesů, využívání organických půd pro zemědělství, intenzivní agrotechnika, mikrobiální rozklad organických látek v půdě a respirace organismů [10].

Těžení a spalování fosilních paliv způsobuje rychlejší únik uhlíku do atmosféry. Přirozeně by uhlík z fosilních paliv unikal do atmosféry významně delší dobu, a to v rámci pomalého uhlíkového cyklu. Díky spalování fosilních paliv se do atmosféry uvolňuje přibližně 6 mld. tun uhlíku ročně. Kácením lesů dochází k odstranění dřevin, které jsou obvykle nahrazeny nižšími rostlinami. Tyto rostliny obsahují méně biomasy a díky tomu ukládají nižší množství uhlíku [10].



Obrázek 2 Globální uhlíkový cyklus. Uhlík proudí mezi pevninou, oceány a atmosférou. Čísla označují rezervoáry a toky uhlíku vyjádřené v Gt (1 mld. tun). Čísla u daných toků vyjadřují roční výměnu uhlíku. Lidské příspěvky do koloběhu uhlíku (znázorněny červeně) jsou relativně malé, ale nejsou vyváženy přirozeným příjmem, díky tomu mohou mít zásadní dopad na klima a uhlíkovou rovnováhu [11].

V době před průmyslovou revolucí byla koncentrace CO_2 v atmosféře $280 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, od té doby se jeho koncentrace zvýšila přibližně na $360 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ [12,13].

Hlavními zdroji CH_4 jsou mokřady, rýžová pole, trávicí trakty živočichů, skládky organických hnojiv, skládky odpadů, půdy, těžba a použití fosilních paliv. [9]. Koncentrace methanu dle zprávy IPCC z roku 2010 vzrostla od roku 1750 až o 151 % [13,14].

K vysoké produkci skleníkových plynů částečně přispívá zemědělství. Obděláváním půd se mění jejich vlastnosti a tím se ovlivňuje jejich „hospodaření“ s plyny [10]. Zemědělství se podílí na 22 % celosvětových antropogenních emisích skleníkových plynů [2]. Toto množství je skoro srovnatelné s emisemi z průmyslové výroby. Odborná iniciativa 4 per 1000 tvrdí, že kdyby se zvýšilo ukládání uhlíku do půdy o pouhé čtyři promile, tak by to mělo radikální vliv na snížení skleníkových plynů v atmosféře [16]. Tato iniciativa vyzdvihuje například minimální zpracovávání půdy (např. bezorebné techniky), častější pěstování meziplodin, opatrné hospodaření s vodou a hnojivy a používání vyššího procenta organických hnojiv a kompostu [12,15,16].

Půda, která v sobě neobsahuje dostatek organické hmoty není schopna vyživit rostliny. Dlouhodobá nedostatečnost živin v půdě vede k produkci minerálních průmyslových hnojiv.

Jejich výroba je energeticky náročná a v konečném důsledku dochází k dalšímu zvyšování obsahu oxidu uhličitého v atmosféře [2,10,16].

Jednou z mnoha možností, jak by se dalo zredukovat množství skleníkových plynů, které unikají do atmosféry, je uzavření cyklu živin. To však není možné z důvodu základního účelu zemědělství, kterým je odstranění plodin z cyklu ve formě rostlinných a živočišných potravin. Rovnováha je vždy záporná a je třeba doplnit zdroj živin pro rostliny. Organická hmota ve formě hnoje, kejdy, kompostu má velký význam pro výživu rostlin a udržování kvality půdy [2]. Většina organického uhlíku Země, přibližně 30×10^{11} tun, je vázána právě v půdní organické hmotě [16]. Jak již bylo zmíněno výše, při zemědělských praktikách se musí brát na zřetel na dodávání organického uhlíku do půdy, což je možné provádět přidávky organických hnojiv.

2.3 Výživa rostlin

Největší civilizace za poslední tisíciletí vznikly a byly vyvinuty v údolích řek a dalších oblastech s úrodnou půdou a příznivými klimatickými podmínkami. Úrodnost půd, které byly vyčerpány plodinami, byla pravidelně obnovována naplaveninami na materiál bohatý na živiny, který přinesla řeka, a tyto půdy po dlouhou dobu poskytovaly dostatek potravy. Situace se v zásadě nezměnila a lidstvo je zcela závislé na půdě, její schopnosti vytvářet a poskytovat vhodné podmínky pro růst rostlin, které jsou základem naší výživy jako dříve [2].

Rostliny jako fotoautotrofní organismy potřebují pro svůj růst oxid uhličitý, vodu, sluneční světlo a minerální látky. Složitější sloučeniny (glycerol, mastné kyseliny, aminokyseliny, polysacharidy aj.) jsou syntetizovány různými metabolickými drahami z glukózy [1,17]. Nedostatek kterékoliv z kterékoliv vede k nepříznivým účinkům na prosperitu rostliny [1,17]. Existuje přibližně 20 prvků nezbytných pro rostlinu a tyto prvky lze obecně rozdělit na makroprvky (P, N, K, Ca atd.) a mikroprvky (Zn, , Fe aj.) viz tabulka 1 [1,17,18].

2.3.1 Makroprvky

Makroprvky jsou rostlinou často vyžadovány ve vysokých koncentracích a jsou pro rostlinu limitujícím faktorem. Tyto minerální látky hrají významnou roli v primárním metabolismu rostliny a jsou pro ně nezbytné (metabolismus bílkovin, DNA, RNA, fotosyntetické pigmentové složky, kofaktory enzymů apod.). Každý makroprvek se podílí na specifických metabolických procesech rostliny [17].

Tabulka 1 Esenciální minerální živiny rostlin, jejich chemické formy absorbované rostlinami a obvyklé koncentrace daných minerálních živin v rostlinách [1].

Minerální látka	Absorbované formy	Koncentrace v sušině rostlin
Makroživiny		
Dusík (N)	NH_4^+ , NO_3^-	1,5 %
Fosfor (P, P_2O_5^1)	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	0,1–0,4 %
Draslík (K, K_2O_1)	K^+	1–5 %
Síra (S)	SO_4^{2-}	0,1–0,4 %
Vápník (Ca)	Ca^{2+}	0,2–1,0 %
Hořčík (Mg)	Mg^{2+}	0,1–0,4 %
Mikroživiny		
Bor (B)	H_3BO_3 , H_2BO_3^-	<0,01 %
Železo (Fe)	Fe^{2+}	0,02 %
Mangan (Mn)	Mn^{2+}	0,05 %
Měď (Cu)	Cu^+ , Cu^{2+}	<0,01 %
Zinek (Zn)	Zn^{2+}	<0,01 %
Molybden (Mo)	MoO_4^{2-}	<0,01 %
Chlor (Cl)	Cl^-	0,2–2,0 %

Nejhojnější minerální živina v rostlinách je dusík, představuje 2–4 % rostlinné sušiny. Zdroji dusíkatých látek mohou být anorganické i organické látky. Anorganickými formami jsou dusičnany, amonné a dusitanové ionty [19].

Organickými zdroji dusíku jsou především výměšky živých organismů a jejich odumřelé části. Organické látky se činností bakterií a hub postupně rozkládají přes peptidy, aminy, aminokyseliny na amoniak. Amoniak se poté oxiduje díky půdním bakteriím (např. *Nitrosomonas*) na dusitany a díky jiným bakteriím (jako je např. *Nitrosobacter*) až na dusičnany [19,20].

Rostliny dusík přijímají z půdy zejména ve formě anorganické, a to jako dusičnanový iont nebo dusitanový iont $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$. Některé rody rostlin získávají dusík díky symbiotickým bakteriím (např. rodu *Rhizobium*), které jsou schopny asimilovat atmosférický dusík N_2 . Tyto bakterie jsou díky svým enzymům schopny rozrušit trojnou vazbu v molekule $\text{N}\equiv\text{N}$ a vytvořit amoniak. Tato reakce je velmi energeticky náročná. Na principu této reakce je založena výroba průmyslových amonných hnojiv pomocí Haber–Boschovy syntézy [20, 21].

Dusík mohou rostliny přijímat také ve formě amonných iontů, dokonce jeho zabudování do organických sloučenin je energeticky méně náročné. Avšak rostliny většinou dávají přednost příjmu nitrátového aniontu, jelikož vysoké množství amonných iontů v rostlině může působit na rostliny toxicky. Zatímco nahromadění vysokého množství dusičnanů není pro rostlinu rizikové [19,21].

U užitkových rostlin v zemědělských podmínkách je dusík dodáván především ve formě NO_3^- , NH_4^+ nebo močoviny (viz kapitola 2.4.1) [1,19].

Dusík je součástí chlorofylu a je nezbytnou složkou proteinů, nukleových kyselin a enzymů [1]. Patří k pohyblivým prvkům, a díky tomu se jeho nedostatek projeví nejprve na starších listech rostliny [21]. Dusík je zodpovědný například za tmavě zelenou barvu stonku a listů, silný růst a produkci listů [1]. Rostliny bez dostatku dusíku se vyznačují malým vzrůstem a jejich stonky jsou často zdřevnatělé. Výhonky jsou chudé a plocha listů je malá. Jelikož je dusík i součástí chlorofylu, jeho nedostatek se projevuje žloutnutím nebo chlorózou listů. V případě vážného nedostatku listy zhnědnou a opadají [1,21].

Draslík je po dusíku druhou nejvíce zastoupenou minerální látkou v rostlinách. Rostliny přijímají draslík ve formě kationtu, který je v půdě hojně zastoupen např. v živcích, slídách a jílovitých minerálech. Většina draslíku v půdě je pevně vázaná. Zvětráváním hornin je umožněna výměna části iontů K^+ za Ca^{2+} , Mg^{2+} nebo H_3O^+ . Pokud je tedy půda pohnojena draselným hnojivem, dojde k opačné výměně [21].

Draslík se do rostlin vstřebává jako kation K^+ a je mobilní v lýkové tkáni rostlin. Je to aktivátor více než 60 enzymů v energetickém metabolismu a při proteosyntéze. Jeho důležitou funkcí je působení na enzym nitrátoreduktázu, kterou aktivuje. Draslík také hraje roli v regulaci evapotranspirace. Draslík má také význam v řízení osmotického potenciálu rostlinných buněk a vyrovnává toky jiných iontů. Účastní se životně významných pohybů (např. zavírání průchodů). Při jeho deficienci dochází k hromadění vstupních surovin a nevznikají bílkoviny a sacharidy [1,21]. Dále draslík poskytuje odolnost proti řadě škůdců, chorob a stresových situací, jakými jsou mráz a sucho [1].

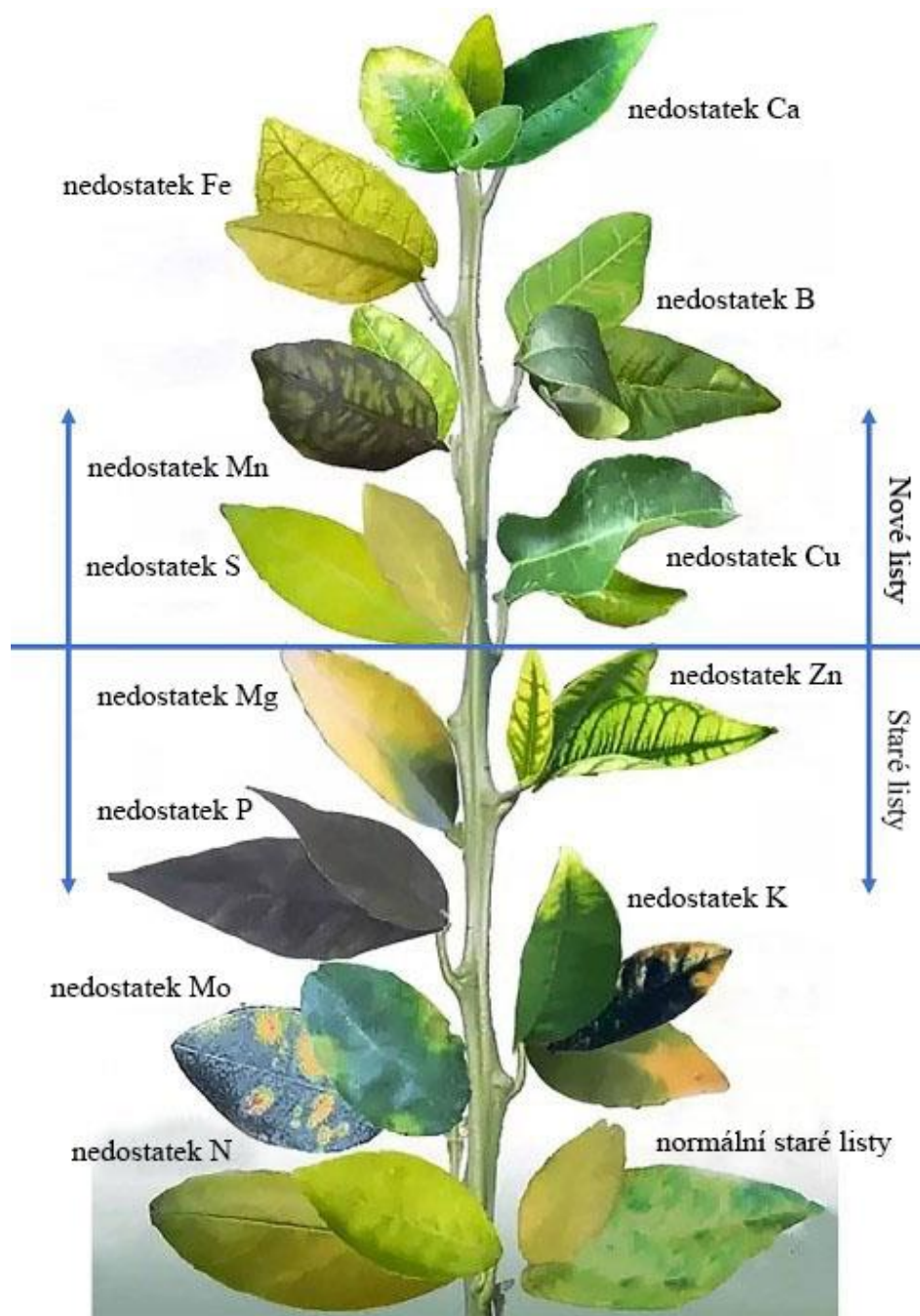
Obecným příznakem nedostatku draslíku u rostlin je chloróza podél okraje listu, která je následována spálením a zhnědnutím špiček starších listů. Rostliny jsou při deficienci K zakrnělé a jejich internodia (části stonku mezi jednotlivými uzlinami) jsou zkrácené. Tyto rostliny mají pomalý a zakrnělý růst, slabé stonky a náchylnost k většímu výskytu škůdců a chorob, jejich zrna jsou scvrklá a také kvalita plodů je nízká [1].

Mezi další významné makroprvky rostlin patří fosfor. Primárním přirozeným zdrojem fosforu v půdě je minerál apatit. Jeho zvětráváním dochází k uvolňování aniontů kyseliny orthofosforečné. Tyto anionty přecházejí do minerálních nebo organických forem, z nichž některé slouží jako zdroj fosforu pro výživu rostlin [21]. Fosfor je rostlinami absorbován jako orthofosfátový ion, buď jako $(H_2PO_4)^-$ nebo $(HPO_4)^{2-}$ v závislosti na pH půdy. Se zvyšujícím se pH půdy klesá relativní podíl $(H_2PO_4)^-$ a zvyšuje se podíl $(HPO_4)^{2-}$. Jelikož se obsah těchto iontů v půdě pohybuje v rozmezí mikromolů, je příjem a transport fosforu řízen vysokoafinitními a nízkoafinitními transportéry [21,22,23].

Z kořenů může být fosfor transportován do nadzemních orgánů jak ve formě volných fosfátových iontů, tak i vázaný v ATP. Po vstupu do cytoplazmy kořenových buněk jsou fosfátové ionty rychle esterifikovány do ATP. Část z nich je pak ještě v kořenech využita na syntézu fosfolipidů, DNA a RNA, část se ukládá jako zásoba do vakuol. V cytosolu se stabilně udržuje jen velmi nízká koncentrace fosforu [21,22].

Obranný mechanismus rostliny při nedostatku fosforu spočívá ve třech krocích: uvolnění anorganického fosforu (P_a) z vakuolových zásob; remodelace buněčné membrány (fosfolipidy jsou nahrazeny sulfolipidy) a redistribuce P_a ze starých tkání do mladých a rostoucích tkání. Kromě těchto procesů, dochází k přestavbě kořenového systému za účelem zvětšení plochy pro příjem fosforu. U některých rostlin dochází k sekreci organických kyselin pro zvýšení dostupnosti fosforu v půdě [23,24].

Obecně je fosfor nezbytný pro růst, buněčné dělení, prodlužování kořenů, klíčení semen a plodů a zlepšení vitality sazenic [1].



Obrázek 3 Vizuální příznaky vlivu nedostatku minerálních látek v rostlinách [25]

Nedostatek fosforu způsobuje zpomalení růstu rostlin, odnožování, vývoj kořenů a zpomaluje také zrání. Rostlina při nedostatku fosforu má modrozelenou až načervenalou barvu listů, která může vést k bronzovým odstínům a červené barvě díky nahromadění anthokyanů. Nedostatek fosforu v chloroplastu narušuje také chod fotosyntézy, protože je snížena syntéza kyseliny ribonukleové (RNA), proteinů a koncentrace ADP [1,21].

Vápník je absorbován kořeny rostlin jako dvojmocný kation Ca^{2+} [1]. Je to hlavní výměnný kationt vázaný na půdní částice úrodných půd. Ve vysokém množství je však vázán pevně v hliníto-křemičitanech (např. anortit). Většina přírodních půd bohatých na vápník vznikla zvětráváním vápence a dolomitu. Obsah vápence v půdě určuje její pH, proto se v zemědělství využívá k alkalizaci kyselých půd [21,22].

Jelikož je vápník součástí buněčných stěn a membrán, jedná se o důležitou stavební látku rostlin. Podílí se na dělení buněk, růstu, prodlužování kořenů a na aktivaci nebo inhibici enzymů [1].

Vápník je ve floému rostlin nepohyblivý. Nedostatek vápníku se projevuje na mladých tkáních a nejvíce v meristému, kde se tvoří nové buněčné stěny [21]. Jeho nedostatek je tedy patrný na rostoucích špičkách a nejmladších listech. Tak se pozná nedostatek všech živin, které jsou stejně jako vápník ve floému nepohyblivé. Listy s nedostatkem vápníku jsou malé, zvlhčené, kalíškovité a tmavě zelené a přestávají růst, jsou dezorganizované, pokřivené a pod vážným nedostatkem umírají. Při nedostatku vápníku jsou však vážněji poškozeny především kořeny rostliny [1].

Hořčík je v půdě přítomen v mobilní i v nemobilní formě, stejně jako vápník. V půdě vzniká zvětváním magnezitu, dolomitu a určitých křemičitanů. Je součástí přirozených ložisek draselných solí ve formě chloridu nebo síranu a při hnojení se dostává i s nimi do půdy. Rostliny jej přijímají ve formě Mg^{2+} iontů [1,21].

Hořčík zaujímá středový bod v molekule chlorofylu a je aktivátorem životně důležitých reakcí [21]. Umožňuje stohování grana a má dominantní vliv na fotosyntézu. Jeho nedostatek způsobuje snížení účinnosti enzymu RuBisCo a snižuje tvorbu chloroplastů [1]. Hořčík je spojován s aktivací enzymů, přenosem energie, udržováním elektrické rovnováhy, tvorbou bílkovin, metabolismem sacharidů atd. [1,21].

Hořčík je v rostlinách mobilní. Jelikož se hořčík transportuje ze starších do mladších částí rostliny, jeho nedostatek se nejprve projeví ve starších částech rostliny. Typickým příznakem nedostatku hořčíku chloróza starších listů, ve kterých žíly zůstávají zelené, ale oblast mezi nimi zežloutne. Listy rostliny jsou bledé, malé a snadno se lámou. Rozmanitost příznaků u různých druhů rostlin je však vysoká, nelze tedy obecně popsat přesné příznaky jeho nedostatku [1]. Obsah hořčíku je však jen zřídka kdy limitující pro růst rostlin [21].

Síru vyžadují rostliny v podobné míře jako fosfor. Zdroje síry v půdě pochází především z organických zbytků. Dalšími zdroji síry jsou minerály např. pyrit, sádra epsomit. Sírné bakterie oxidují síru z organických zbytků a pyritu na elementární síru a poté na sírany [1].

Síra je součástí aminokyselin cysteinu a methioninu Proto je nezbytná pro produkci bílkovin [1,9,21]. Síra se podílí na tvorbě chlorofylu a na aktivaci enzymů. Je součástí vitaminů biotinu a thiaminu, glutathionu a koenzymu A. Je nezbytná pro tvorbu hořčičných olejů a S-H vazeb, které jsou zdrojem palčivé chuti a typické vůně cibule, česneku a hořčice [1,26,25]. Nedostatek síry se projevuje nejprve na mladých listech, a to světle žlutým nebo světle zeleným zbarvením. Rostliny s nedostatkem síry jsou malé a větvenovité s krátkými a štíhlými stonky. Jejich růst je zpomalen a zralost obilovin je opožděna. Olejnaté rostliny s nedostatkem síry se vyznačují nízkým výnosem plodin a produkují semena s nízkým množstvím oleje [1,21].

2.3.2 Mikroprvky

Mezi mikroživiny rostlin se řadí bor, železo, mangan, měď, zinek, molybden a chlor. Rostliny je nepotřebují ve vysokém množství, ale přesto jsou pro ně esenciální [25]. Rozdíl koncentrací mezi mikro a makroživinami je velmi znatelný. Například relativní poměr množství dusíku k množství molybdenu v rostlinách je přibližně 10 000:1 [1]. Bor je rostlinami pravděpodobně přijímán jako nedisociovaná kyselina boritá (H_3BO_3), chlor jako chloridový anion Cl^- , měď jako měďnatý kation Cu^{2+} , železo jako železnatý kation Fe^{2+} , mangan jako manganatý kation Mn^{2+} , molybden jako molybdenový anion MoO_4^{2-} a zinek jako zinečnatý kation Zn^{2+} [1,21].

2.3.3 Voda

Většina rostlin získává vodu z půdy pomocí kořenů, některé druhy rostlin však mohou vodu získávat i ze vzduchu vzdušnými kořeny. Voda je důležitou součástí fotosyntézy, dochází k její fotolýze ve fotosystému II, kde jsou uvolněné elektrony využívány pro vyplnění děr po excitovaných elektronech ve fotosystému I. Navíc zde vzniká vodíkový kationt, který je dále využíván v temnostní fázi fotosyntézy a odpadní kyslík [27].

Voda je důležitým médiem pro rozvod minerálních a organických látek tělem rostliny [1]. Množství vody a minerálních prvků v rostlině spolu úzce souvisí. Dostatečný přísun vody napomáhá aplikaci optimálního množství minerálních prvků do rostlin, a naopak dostatečný přísun minerálních prvků dokáže zlepšit zadržování vody, díky čemu se může zabránit její plýtvání [1,28].

Za pohánění toku vody směrem od kořenů ke všem ostatním nadzemním částem rostlin je zodpovědný proces transpirace. Díky tomu se do těchto částí rostlin dostávají i minerální prvky. Transpirace je dále zodpovědná za termoregulaci rostliny, díky ní je rostlina schopna se ochlazovat svými listy [1,28].

Nedostatek vody má vliv na strukturu cytoplazmy rostlin. Způsobuje poruchy metabolismu a posléze smrt u většiny buněk. Kromě toho voda u bylin a nezdřevnatělých měkkých částí dřevin tvoří mechanickou oporu celulózní buněčné stěny. Buněčné stěny buňky jsou napjaté a pevné díky tlaku vody, která je v buňce obsažena. Právě kvůli této skutečnosti rostlina vadne a mění svůj tvar při nedostatku vody [28].

2.4 Hnojiva

Dle zákona č. 156/1998 Sb. se hnojivem rozumí látka, která je schopná poskytnout účinné množství živin pro výživu kulturních rostlin a lesních dřevin, pro udržení nebo zlepšení půdní úrodnosti a pro příznivé ovlivnění výnosu či kvality produkce [29]. Hnojivo lze také definovat jako těžký, rafinovaný nebo vyrobený produkt, který obsahuje jednu nebo více základních rostlinných živin v dostupných formách a v komerčně hodnotných množstvích, aniž by jakákoli škodlivá látka překročila přípustné limity [1]. Minerální prvky jsou tedy do plodin dodávány ve formě hnojiv, aby se především dosáhlo jejich vyšších výnosů. Kromě toho se plodinám občas dodávají hnojiva obsahující základní minerální prvky pro výživu člověka, aby se zvýšila jejich koncentrace v jedlých dávkách ve prospěch lidského zdraví [17].

Hnojiva lze rozdělit podle použití na přímá nebo komplexní hnojiva. Přímá hnojiva obsahují jednu ze tří hlavních živin (dusík, fosfor a draslík) a používají se pro doplnění jedné hlavní živiny. Komplexní hnojiva obsahují alespoň dva prvky ze tří hlavních živin, jedná se například o klasické samostatné NPK hnojivo nebo i jeho kombinace s dalšími makroprvky či mikroprvky [1].

Tabulka 2 Porovnání minerálních a organických hnojiv

Druh hnojiva	Výhody	Nevýhody
Minerální hnojiva	<ul style="list-style-type: none"> • Pohodlná a snadná aplikace [29,30] • Nižší dopravní a manipulační náklady [30] • Rychlý a vysoký výnos plodin [1] • Přesně daný poměr daných prvků [31] 	<ul style="list-style-type: none"> • Snadné vyluhování [30] • Nepřetržité používání může vést k rozpadu struktury půdy a k rozšíření znečištění vody [30] • Dodává pouze hlavní živiny [30] • Většinou vyráběny z neobnovitelných zdrojů [17,32] • Snižují dynamickou populaci půdních a vodních MO a užitečného hmyzu [1] • Jejich využívání může souviset se zvyšováním emisí skleníkových plynů [1] • Dlouhodobé využívání může naopak snižovat úrodnost půdy [1]
Organická hnojiva	<ul style="list-style-type: none"> • Dodávají širokou škálu živin a organický uhlík [30] • Lepší pronikání a zadržování vody [31] • Pomalejší a postupné uvolňování živin [31] • Regulují erozi půdy [30] • Zlepšují strukturu půdy [30] 	<ul style="list-style-type: none"> • Nižší koncentrace živin [29] • Nutnost dávkování většího objemu a váhy [29] • Vyšší náklady a dopravu a manipulaci [30] • Jejich aplikace může být složitá [30] • Dávky s vysokým poměrem C:N mohou krást půdě její N [30]

Hnojiva se rozdělují podle svého původu na organická, minerální a organominerální. Dle zákona č. 156/1998 Sb. se minerálním hnojivem rozumí hnojivo, ve kterém jsou deklarované živiny obsaženy ve formě minerálních látek získaných extrakcí nebo jiným fyzikálním nebo chemickým postupem. Za minerální hnojivo se také považuje dusíkaté vápno, močovina a její kondenzační a asociační produkty a hnojivo obsahující stopové živiny ve formě chelátů nebo komplexů. Organickým hnojivem se rozumí hnojivo, v němž jsou deklarované živiny obsaženy v organické formě a v organominerálním hnojivu jsou logicky deklarované živiny obsaženy v minerální a organické formě [29]. Výhody a nevýhody využití minerálních a organických hnojiv jsou zaznamenány v tabulce 2.

2.4.1 Minerální hnojiva

Minerální, syntetická nebo také jinak zvaná chemická hnojiva se v moderním zemědělství hojně používají ke zvýšení nebo udržení výnosů plodin. Mezi základní minerální hnojiva patří ta, která obsahují hlavní makroživiny rostlin, jedná se tedy o hnojiva dusíkatá, draselná, fosfátová, síranová, hořečnatá a vápenatá a dále hnojiva, která obsahují také další mikroživiny, které jsou nepostradatelné například pro specifické druhy rostlin [1,32].

Minerální hnojiva obsahují vyšší koncentraci minerálních živin již v malém množství aplikovaného hnojiva na rozdíl od organického hnojiva. Disponují svou pohodlnou a snazší aplikací a poskytují rychlý zdroj minerálů. Díky tomu je využívání minerálních hnojiv nejrozšířenější [1,32].

Na druhou stranu minerální hnojiva jsou poměrně drahá a mohou při vyšším používání negativně ovlivňovat životní prostředí. Jejich intenzivní užívání má negativní vlivy na kvalitu podzemních vod, růst a výnosy plodin a při jejich produkci vzniká ve velkém množství oxid uhličitý. Dochází také ke snížení populace mikroorganismů v půdě i ve vodě a také populace užitečného hmyzu [1,7]. Používání dusíkatých a fosfátových hnojiv v zemědělství významně přispívá k eutrofizačním procesům ve vodách [17]. Důležité je si uvědomit, že pro produkci minerálního hnojiva je nutné těžit přírodní zdroje [32].

Z komerčních i ekologických důvodů by měla být minerální hnojiva používaná opatrně a do budoucna by se mělo zabezpečit udržitelné hospodaření s hnojivem. K řešení tohoto problému by se mohli využít organická hnojiva, nebo vylepšit agronomické postupy a plodiny, které by vyžadovaly menší přísun hnojiv [17].

2.4.1.1 Dusíkatá hnojiva

Nejvíce využívaným dusíkatým hnojivem na světě je močovina. Močovina vyniká vysokým obsahem dusíku a je dobře rozpustná ve vodě. Aplikuje se buď ve formě granulí před sázením rostlin, nebo ve formě roztoku během vegetačního období rostlin [20].

Močovina je vyráběna reakcí amoniaku s oxidem uhličitým přibližně při tlaku 17,23 MPa a teplotě 150 °C [1]. Problém ve využívání močoviny jako dusíkatého hnojiva spočívá ve volatilizaci amoniaku. Při vysoké aplikaci močoviny dochází k úniku amoniaku z půdního prostředí do atmosféry [20].

Pouze malé množství dusíkatých hnojiv se získává z přírodních ložisek, jako je chilský ledek a guáno [1,17]. Většina N v minerálních dusíkatých hnojivech pochází z plynného dusíku (N₂) v atmosféře, která obsahuje 79 obj. % dusíku. Největším zdrojem dusíku v kapalných hnojivech je bezvodý amoniak [25]. Pro výrobu amoniaku se využívá Haberův-Boschův proces. Proces přeměňuje atmosférický dusík (N₂) na amoniak (NH₃) reakcí s vodíkem (H₂) za vysokého tlaku a teploty a za přítomnosti kovového katalyzátoru [1,17].

V Evropě se nejvíce používají dusíkatá hnojiva ve formě dusičnanů [20]. Mezi významné dusičnany patří dusičnan amonný, který se vyrábí neutralizací kyseliny dusičné amoniakem. Rozprašováním vysoce koncentrovaného roztoku se poté z něj získává pevné granulované hnojivo [1]. Dusičnany jsou snadno rozpustné ve vodě a mohou být snadno vyplavovány z půdy. Navíc v anaerobních podmínkách jsou určité bakterie schopny dusičnany přeměňovat na plynný dusík, který poté může nepříznivě ovlivňovat atmosférické podmínky [20].

Existují dusíkatá hnojiva obsahující inhibitory, které omezují ztráty dusíku volatilizací amoniaku, denitrifikací a vyplavováním nitrátů. Tato hnojiva mají významný potenciál z ekonomického i environmentálního hlediska [20].

2.4.1.2 Draselná hnojiva

Draselná hnojiva jsou převážně ve vodě rozpustné soli. Z historických důvodů je koncentrace draslíku obecně stále vyjádřena jako K₂O. Nicméně takováto forma draslíku v půdě ani v rostlinách neexistuje. Draslík je v půdě nebo rostlinách přítomen ve formě draselného iontu K⁺ a hnojiva jej obsahují ve formě síranu draselného K₂SO₄ nebo levnějšího chloridu draselného KCl [1]. Chlorid draselný je používanější z důvodu jeho pořizovací ceny. Nicméně některé rostliny jsou citlivé na chloridy, které mohou působit negativně. V takovém případě se využívá právě síranu draselného. Surové draselné soli jsou získávány z minerálů mořského původu, které se nyní těží z velkých hloubek. Světové rezervy draslíku jsou velké a očekává se, že budou objeveny další [1,17].

2.4.1.3 Fosfátová hnojiva

Fosfátová hnojiva obsahují fosfor většinou ve formě fosforečnanů vápenatých, amonných nebo draselných, které se z minerálních fosfátů vyrábí pomocí kyseliny sírové [1,17]. Fosforečnany jsou buď plně rozpustné nebo částečně rozpustné ve vodě a částečně rozpustné v rostlinném citrátu [1]. Primárním zdrojem fosforečnanů v hnojivech je minerál apatit, který je složen především z fosforečnanu vápenatého ($\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2$). Apatit je získáván z horniny fosforitu. Ložiska fosforitu se vyskytují v blízkosti zemského povrchu a jsou získávány povrchovou těžbou a jsou využívány přímo nebo pro výrobu jiných hnojiv. Globální rezervy fosforitu jsou přibližně 30–40 000 milionů tun. Pokud by jeho těžba byla intenzivní jako doposud, tak by jeho rezervy nevydržely více než 200 let. Poté by pravděpodobně začala těžba mořských ložisek fosforitu, které se vyskytují na mnoha kontinentech [1].

2.4.1.4 Vápenatá hnojiva

Na světě existuje mnoho surovin bohatých na vápník, ve kterých se nachází především ve formách uhličitanu vápenatého (CaCO_3) nebo sádry ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), tyto minerální látky jsou však velmi obtížně rozpustné a pro rostliny nedostupné. Běžnými vápenatými hnojivy jsou dusičnan vápenatý, chlorid vápenatý, oxid vápenatý, dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) a další [1]. Vápenatá hnojiva kromě doplnění minerálních látek upravují také pH půdy a ovlivňují tak pozitivně aktivitu půdních organismů [25].

2.4.1.5 Hnojiva s mikroživinami

Mikroživiny se ve většině půd nacházejí přirozeně a byly dodávány pouze u určitých druhů půd (u písčitéch vázající kovy a s velmi špatnou kvalitou). Avšak s intenzivním pěstováním plodin a jejich vysokými výnosy se situace změnila a v některých půdách dochází ke snížení jejich zásob. Nedostatky Fe, Mn a Zn se vyskytují především na neutrálních až alkalických půdách a za suchých a polosuchých podmínek. Nedostatek B a Cu je pravděpodobnější na kyselých půdách ve vlhkém podnebí. Mikroživiny jsou nejčastěji dodávány současně s klasickými NPK hnojivy [1].

2.4.2 Organická hnojiva

Organická hnojiva oproti minerálním hnojivům umožňují do půdy dodávat kromě živin i organickou hmotu, která dokáže pozitivně ovlivnit celkové vlastnosti půdy. Organická hmota hraje důležitou roli při dlouhodobé ochraně a obnově půdy. Organická hnojiva působí také jako kondicionéry půdy, to znamená, že zvyšují fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti půdy a slouží jako krmivo pro rostliny, půdní mikroorganismy a žížaly. Jejich používání má tedy i pozitivní dopad na erozi a úrodnost půdy. Díky zvýšené aplikaci organických hnojiv je možné snížit výdaje za energii, která je potřebná pro výrobu chemických hnojiv a také je možné jimi částečně nebo zcela nahradit hnojiva, která se získávají z neobnovitelných zdrojů, jimiž jsou například rašeliny [1,31,33].

Mezi nevýhody organických hnojiv patří jejich velký objem a jejich relativně nízká koncentrace živin. Kromě toho mohou organická hnojiva obsahovat dusičnany, rozpustné soli, těžké kovy a lidské a rostlinné patogeny. Při použití organických hnojiv je potřeba vzít v úvahu také to, že organické látky musí být dostatečně rozloženy, aby se uvolnily dostupné živiny. Kromě toho mnohá organická hnojiva produkují charakteristické těkavé látky, které jsou člověkem nepříznivě vnímány [1].

Organická hnojiva pocházejí hlavně z látek rostlinného a živočišného původu [1]. Pro získání organických hnojiv lze použít mnoho přírodních materiálů jako je guáno, chlěvský hnůj, kejda, močůvka, kostní nebo krevní moučka, kal z odpadních vod, kávová sedlina, kompost, sláma, skořápky, rybí šrot a další [1,33]. Mezi organická hnojiva s vyšší koncentrací NPK živin patří zbytky po extrakci oleje z olejnatých semen, odpady z jatek, rybí moučka, guáno a drůbeží hnůj [1].

2.4.2.1 Hnůj

Mezi základní organická hnojiva patří substráty získané z chovu užitkových zvířat jako je hnůj, kejda nebo močůvka. Hnůj je složen především z výkalů a moči hospodářských zvířat a z podestýlky. Jedná se o tmavou dobře rýpatelnou hmotu, která páchne slabě amoniakem [1,33]. Průměrný dobře vyžralý hnůj obsahuje přibližně 0,5–1,0 % N, 0,15–0,20 % P₂O₅ a 0,5–0,6 % K₂O. Požadovaný poměr C:N ve statkovém hnoji je 15–20:1. Kromě NPK může obsahovat asi 1 500 mg/kg Fe, 7 mg/kg Mn, 5 mg/kg B, 20 mg/kg Mo, 10 mg/kg Co, 2 800 mg/kg Al, 12 mg/kg Cr a až 120 mg/kg Pb. Hnůj lze využít jednoduše po vysušení vzduchem nebo kompostování. Během zrání se hnůj pomocí fermentačních procesů částečně rozkládá a tvoří se z něj cenné huminové látky [1,33].

2.4.2.2 Kejda

Kejda je vysoce hodnotné organicko-minerální hnojivo, které se skládá z výkalů a moči hospodářských zvířat a z malého množství slámy [1,33]. Kejda někdy bývá ještě naředěna vodou, aby se zlepšila její tekutost. Kejda dodává plodinám vysoké množství dusíku převážně ve formě amoniaku, který vznikl rozložením močoviny [1,33].

2.4.2.3 Močůvka

Močůvkou se rozumí zkvašená moč hospodářských zvířat, která je zředěná vodou. Jedná se o účinné dusíkato-draselné hnojivo. Dusík se po fermentaci močůvky nachází především ve formě amoniaku (85 %) a přibližně 10 % dusíku je obsaženo v organických látkách [33].

2.4.2.4 Guáno

Z výkalů obvykle malých zvířat vzniká speciální typ organického hnojiva, tzv. guáno. Existují různé druhy guána jako je například netopýří, peruánské nebo rybí a vyznačují se tmavou až černou barvou. Guáno má výjimečně vysoký obsah dusíku, fosforečnanů a draslíku, a proto se využívá jako hnojivo. Guáno průměrně obsahuje 0,4–9,0 % dusíku a 12–26 % P₂O₅ [1,34].

2.4.2.5 Zelené hnojení

Pod pojmem organické hnojivo spadá i tzv. zelené hnojení, kdy je prvně na ornou půdu vysazena plodina (většinou nějaký druh luštěniny), která je později zaorána do půdy, aby sloužila pro budoucí hlavní plodinu jako hnojivo. Tyto první plodiny jsou zdrojem organické hmoty a rostlinných živin (zejména dusíku) a zaorávají se po několika měsících růstu, obvykle na začátku jejich kvetení. Zeleným hnojením lze významně nahradit část chlěvského hnoje [1,33].

2.4.2.6 Sláma

Při hnojení rostlin se využívá také zaorávání slám. Slámy rostlin jako jsou obiloviny, kukuřice nebo řepka nejsou však příliš pro rostliny výživné, jelikož jejich poměr C:N je velmi vysoký. Problém vysokého poměru C:N u slám se obvykle řeší tak, že se do materiálu přidává 1 % minerálního dusíku nebo určité množství organických hnojiv bohatých na dusík, jako je kejda

nebo močůvka [1,33]. Výjimku tvoří sláma luštěnin, která je bohatší na živiny a má nízký poměr C:N (20–25:1), což usnadňuje její mineralizaci [1,33].

2.4.2.7 Kompost

Hnojení rostlin lze provádět také pomocí kompostu. Kompost vzniká smícháním a biologickým zráním různých látek obsahujících rozložitelné organické látky a rostlinné živiny. Pro výrobu kompostu se využívá široká škála substrátů. Mezi hlavní suroviny kompostu patří odpadní biomasy ze zemědělství nebo z dřevozpracujícího, potravinářského či papírenského průmyslu, chlévské mrvy, kejda, a další [33]. Důležitou reakcí pro výrobu kompostu je mikrobiální fermentace organické hmoty, díky které dochází k její mineralizaci. Po fermentaci následuje syntéza organických látek humusového charakteru. Pro úspěšné založení kompostu je zásadní vybrat vhodné odpadní suroviny a smíchat je tak, aby se získal úzký poměr C:N (například 30:1) [33].

2.4.2.8 Využití potravinářského odpadu pro výrobu hnojiva

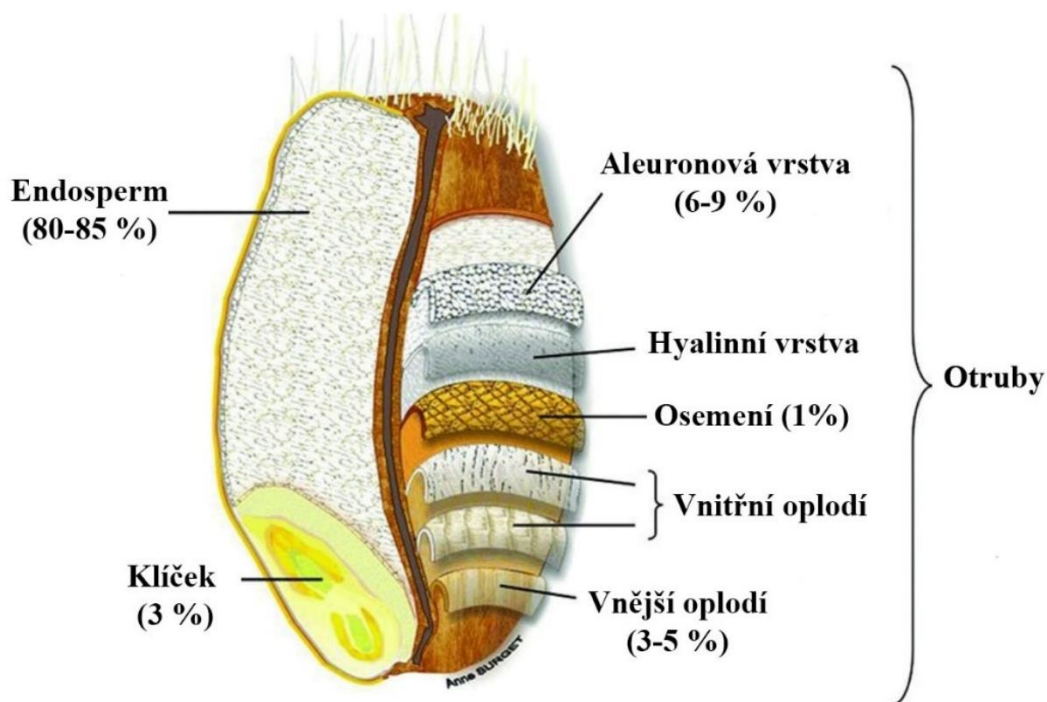
Pro hnojení rostlin má velký potenciál využití potravinářského odpadu. Tento odpad může být využit pro výrobu kompostu nebo se může stejně jako sláma zaorávat do půdy. Jak je zmíněno ve studii Du Ch. et al. [35] pro hnojení může být využito také digestátu z potravinového odpadu, který se získává z bioplynových stanic. Studie se zmiňuje o využití rýžových otrub, kávové sedliny, slupek z kávových třešní, slupek oliv po extrakci oleje a dalších potravinových odpadů.

2.5 Pšeničné otruby

Pšenice je po rýži druhou z nejprodukovanějších obilovin na světě a využívá se především k lidské spotřebě. Dvě třetiny produkce pšenice se používají pro potravinářské aplikace, jako je výroba chleba, těstovin, sušenek, kuskusu, nudlí nebo pečiva. Pšenice se dále používá jako krmivo pro hospodářská zvířata a okrajově pro škrobářský průmysl [1,36,37].

Pšeničné zrno je složeno ze tří základních částí – klíčku, endospermu a otrub (viz obrázek 4) [1]. Endosperm tvoří zhruba 80–85 % celkového zrna a je složen především ze škrobových granulí (ty dodávají klíčku energii) a bílkovin. Škrobové granule jsou zabudované do proteinové matrice tzv. aleuronové vrstvy, která je při mlecích procesech odstraňována společně s otrubami [37,38].

Klíčky jsou uloženy uvnitř zrna a tvoří 2 až 3 % celkové hmotnosti pšeničného zrna. Klíčky jsou reprodukční částí rostliny a jsou tvořeny z embrya a štítku (scutellum) [38]. Klíčky jsou významnými vedlejšími produkty při výrobě mouky. Klíčky většinou bývají odděleny od endospermu v posledním luštění krupic společně s nejhrubší frakcí. Klíčky jsou od endospermu oddělovány, jelikož by díky poměrně vysokému obsahu lipidů mohly způsobit oxidaci výsledného produktu a také způsobit nepříznivé vlastnosti těsta při procesu pečení. [39,40,41].



Obrázek 4 Struktura pšeničného zrna [42]

Otruby tvoří vnější vrstvu zrna a chrání zrna před nepříznivými vlivy. Obsahují vysoké množství vlákniny a minerálních látek [36,38]. Pšeničné otruby tvoří přibližně 13–25 % celkové hmotnosti pšeničného zrna. Získávají se s klíčky jako sekundární produkt při výrobě pšeničné mouky [1].

Pšeničné otruby nejsou čistým a standardizovaným komerčním produktem. Jejich složení je závislé na podmínkách pěstování, použité separaci, odrůdě atd. Otruba obsahuje různé zastoupení 4 vrstev v závislosti na opracování zrna. Tyto vrstvy se liší z hlediska obsahu vlákniny, škrobu, bílkovin a bioaktivních sloučenin [40]. Těmito vrstvami jsou oplodí, osemení, hyalinní vrstva a aleuronová vrstva, která se obvykle řadí k endospermu, ale jelikož se po mletí mouk také vyskytuje v otrubové frakci je zařazovaná také mezi otrubové frakce (viz obrázek 4) [37].

Oplodí (perikarp) se skládá z vnější pokožky a vnitřních vrstev. Vnější pokožka je tvořena epidermem a hypodermem a vnitřní vrstvy jsou tvořeny příčnými a cylindrickými buňkami. Vnější pokožka představuje asi 1 % zrna [40]. Pod oplodím se nachází jednovrstevné osemení (testa) a hyalinní vrstva [41]. Aleuronová vrstva je nejvnitřnější vrstvou pšeničných otrub, částečně sdílená s endospermem a je z nutričního hlediska považována za nejdůležitější část pšeničného zrna [41].

2.5.1 Chemické složení pšeničných otrub

Pšeničné otruby obsahují 5,5–5,6 % lipidů, především fosfolipidy a některé glykolipidy [40,42]. Obsah bílkovin v pšeničných otrubách je přibližně 15,2–16,9 %. To je asi 14 % všech bílkovin v pšeničném zrna. Hlavní složkou pšeničných otrub jsou sacharidy, zejména arabinoxylan. Celulóza tvoří 30 % buněčné stěny pšeničných otrub [40,42,43].

Pšeničné otruby se vyznačují vysokým obsahem celkové vlákniny. Vlákninu lze rozdělit podle rozpustnosti ve vodě na rozpustnou a nerozpustnou vlákninu. Rozpustná vláknina je tvořena z pektinů, slizu, β -glukanů a xylanů [38,41]. Nerozpustná vláknina je složena

především z arabinoxylanu, škrobu, bílkovin, ligninu, β -glukanů, kyseliny fytové a kyseliny ferulové [40].

Pšeničné otruby vynikají v obsahu bioaktivních látek. Jedná se především o významné antioxidační a protizánětlivé látky jako je α -linolenová kyselina, vláknina, vitamin E, komplex vitaminů B, karotenoidy, kyselina fytová, fenolické kyseliny, flavonoidy, lutein, betain, cholin či folát [36,41].

Velmi významnou složkou pšeničných otrub jsou fenolické kyseliny. Fenolické kyseliny vykazují oxidační odolnost, protirakovinové účinky a působí protizánětlivě. Lze ji využít v potravinářském, farmaceutickém a kosmetickém průmyslu [41,43,42]. Všeobecně mají fenolické kyseliny strukturální roli při zesíťování neškrobových polysacharidů s jinými složkami buněčné stěny [36,40].

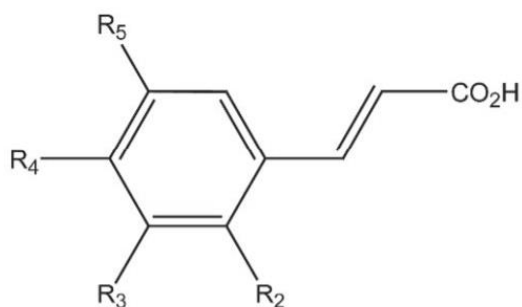
Fenolické kyseliny lze rozdělit do dvou hlavních chemických skupin: kyseliny hydroxybenzoové a kyseliny hydroxyskořicové. Hladiny hydroxybenzoových kyselin jsou v pšeničných otrubách relativně nízké, ale jejich role je velmi významná. Z hydroxybenzoových kyselin pšeničné otruby obsahují kyselinu vanilovou, kyselinu siringovou a kyselinu hydroxybenzoovou (struktura viz obrázek 5). Jsou obvykle součástí komplexních sloučenin, jako jsou ligniny a třísloviny [43,42].

Z hydroxyskořicových kyselin pšeničné otruby obsahují především vysoké množství kyseliny ferulové. Její koncentrace je přibližně rovna 1400 mg/100 g pšeničných otrub. Největší množství kyseliny ferulové se nachází v aleuronové vrstvě a je nejčastěji navázána na arabinoxylany, které jsou součástí vlákniny [41,44]. Existují značné vědecké důkazy o tom, že kyselina ferulová má stejně jako jiné fenolické sloučeniny antioxidační, antimikrobiální, antitrombózní, antikarcinogenní a protizánětlivé vlastnosti [36,40,41].

Ve vnějších vrstvách pšeničného zrna se nachází také skupina tzv. lignanů. Mají strukturu 2,3-dibenzylbutanu a v rostlinách tvoří stavební kameny pro tvorbu ligninu v buněčné stěně. Hlavním lignanem v pšeničných otrubách je secoisolariciresinol [38,45].

Z minerálních látek pšeničné otruby obsahují ve vyšším množství fosfor, draslík, hořčík, vápník a v menším měřítku sodík, železo, mangan, zinek, selen a měď. 80 % fosforu je v otrubách uloženo ve formě fytátů. Kyselina fytová tvoří komplexy s Fe, Zn a Mg, což drasticky snižuje jejich biologickou dostupnost, kvůli tomu je kyselina považována za antinutriční látku [41]. Existuje metody, díky kterým lze snížit obsah kyseliny fytové. Jedná se například o hydrotermální metody, kvašení, klíčení, praní a mletí otrub [40,46].

Mezi antinutriční látky v pšeničných otrubách dále patří lektiny, třísloviny (taniny), saponiny a inhibitory enzymů, jako jsou proteázy a α -amylázy. Také jako kyselina fytová snižují biologickou dostupnost a vstřebávání některých živin [47].



Deriváty kyseliny skořicové

$R_2 = \text{OH}$, Kyselina o-kumarová

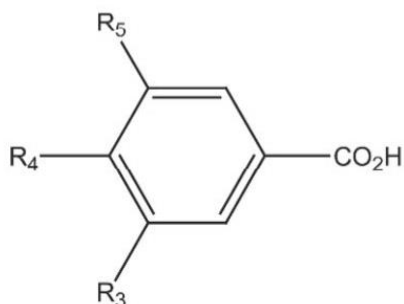
$R_3 = \text{OH}$, Kyselina m-kumarová

$R_4 = \text{OH}$, Kyselina p-kumarová

$R_3 = R_4 = \text{OH}$, Kyselina kávová

$R_3 = \text{OCH}_3$, $R_4 = \text{OH}$, Kyselina ferulová

$R_3 = R_5 = \text{OCH}_3$, $R_4 = \text{OH}$, K. sinapová



Deriváty kyseliny benzoové

$R_3 = \text{OH}$, Kyselina m-hydroxybenzoová

$R_4 = \text{OH}$, Kyselina p-hydroxybenzoová

$R_3 = R_4 = \text{OH}$, Kyselina protokatechová

$R_3 = \text{OCH}_3$, $R_4 = \text{OH}$, Kyselina vanilová

$R_3 = R_5 = \text{OCH}_3$, $R_4 = \text{OH}$, K. syringová

Obrázek 5 Struktura běžných fenolových kyselin [48]

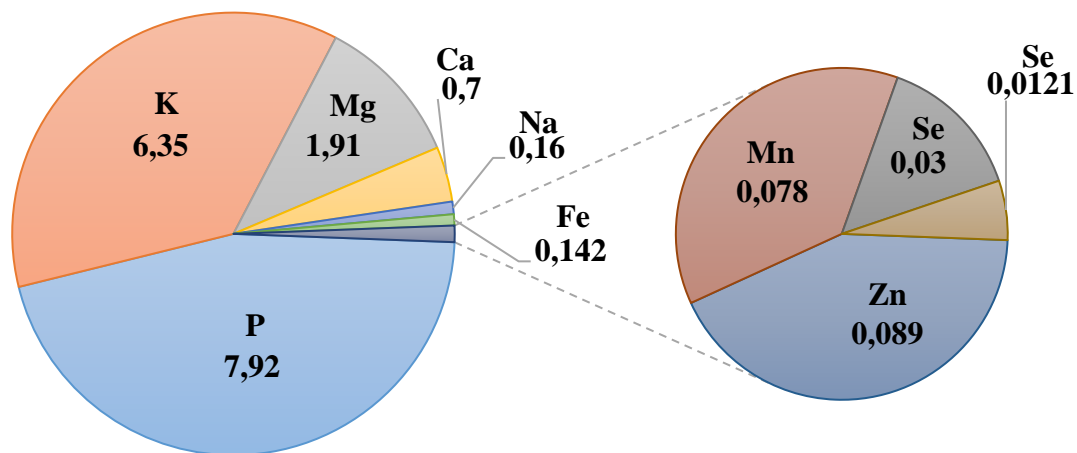
2.5.2 Využití pšeničných otrub

Otrubová frakce má použití v potravinářském i nepotravinářském průmyslu. Zvyšující se poptávka a povědomí spotřebitelů o zdravějších potravinách vedla k začlenění otrub do výroby potravin. Jsou dobře známé pro své objemové a laxativní účinky. Nejsou však v tlustém střevě zvířat a lidí dobře fermentovány a nepředstavují dobrý zdroj živin pro bakterie tlustého střeva [49]. Také díky obsahu kyseliny fytové, která na sebe dokáže vázat některé minerální látky, mohou pšeničné otruby ve vysoké konzumaci znesnadnit vstřebávání minerálních látek [50].

Nicméně v potravinářství se stále využívá velmi malá část tohoto vedlejšího produktu a většina produkce se využívá na zkrmování nebo je spalována [36,40,41].

Z pšeničných otrub lze izolovat sloučeniny, které lze převést na cenné produkty. Například z rozpustné a nerozpustné vlákniny lze získat arabinoxylany a β -glukany a proteiny z pšeničných otrub lze využít pro produkci specifických aminokyselin (např. GABA) [40].

Pšeničné otruby vynikají obsahem minerálních prvků (viz obrázek 6), potřebných pro výživu rostlin. Zároveň mají pšeničné otruby vynikající schopnost absorbovat vodu v půdě by mohly plnit funkci absorbentu a zvyšovat v ní zádržnost vody [51,53].



Obrázek 6 Obsah minerálních látek v mg/l g pšeničných otrub (nesušených, 13,1 g H₂O/100 g otrub) [53]

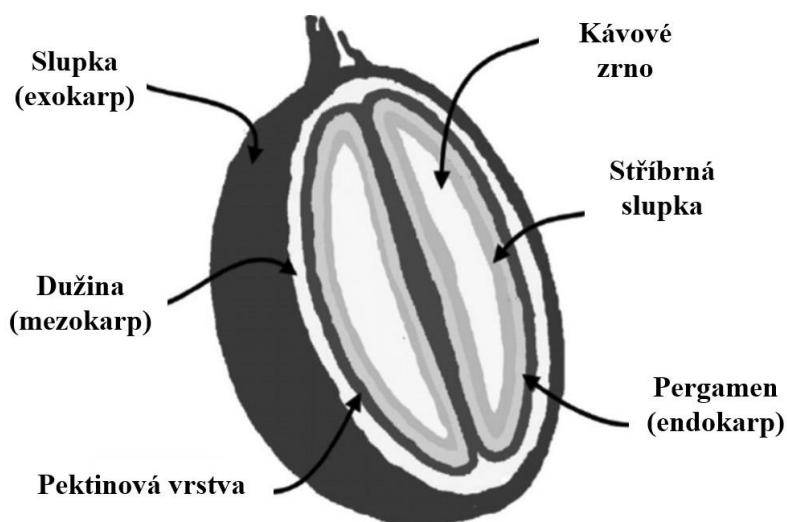
Ve výzkumu Gao et al. [51] byly pšeničné otruby společně s lateritem (druh jílu) a kyseliny akrylové použity pro výrobu superabsorpčního kompozitu, který vynikal tepelnou stabilitou, optimální absorpcí vody a působil pozitivně na klíčivost a rychlost růstu rostliny *Glycyrrhiza uralensis* (Lékořice uralská). Díky tomuto kompozitu bylo také možné regulovat postupné uvolňování močoviny, a proto má tento kompozit potenciál plnit funkci hnojiva.

Studie Badar et al. [52] zkoumala účinky přidavku kompostovaných pšeničných otrub na fyzikální a biochemické parametry pěstovaných slunečnic. Do 2 kg půdy bylo přidáno 5 g kompostovaných otrub. Po 30 dnech klíčení výsledky ukázaly významný pokrok ve fyzikálních a biochemických parametrech rostlin ve srovnání s kontrolními rostlinami. Délka kořenů rostlin byla o 22 % delší u rostlin, které byly hnojeny kompostovány PO ve srovnání s kontrolními rostlinami. Kompostované pšeničné otruby jsou tedy schopné zlepšit úrodnost půdy.

2.6 Kávová sedlina

Káva je jednou z nejdůležitějších a nejrozšířenějších komerčních plodin na světě. Po ropě je to druhá nejdůležitější obchodní komodita na světových trzích. V letech 2015 a 2016 bylo celosvětově spotřebováno více než 9 miliónů tun kávových výrobků [54,55]. Káva se získává z rostlin *Coffea arabica* (*Arabica*) a *Coffea canephora* (*Robusta*) [56,57]. *Coffea arabica* představuje 75–80 % celosvětové produkce kávy [54,55]. Komerční výroba kávových nápojů vytváří velké množství odpadů: kávové sedlinu, stříbrné slupky nebo obalové vrstvy kávové třešně [58].

Kávová sedlina má vysoké zastoupení lignocelulózy, ligninu, bílkovin a bioaktivních látek, které jsou využitelné v nutraceutickém, farmaceutickém, potravinářském nebo chemickém průmyslu [59,60].



Obrázek 7 Struktura kávové třešně [61]

Kávová třešeň (viz obrázek 7) se skládá ze dvou hlavních částí: oplodí a osiva. Oplodí se skládá z hladké, pevné vnější slupky (exokarpu), která je u nezralých plodů zelená a u zralých má obvykle červené zbarvení. Pod oplodím se nachází měkká, nažloutlá, vláknitá a sladká dužina (mezokarp), dále slizovitá vrstva tvořena pektinem a pod ní tenká pergamenová vrstva (endokarp). Kávové zrno je uloženo pod stříbrnou slupkou. Uvnitř kávové třešně se nachází obvykle dvě kávová zrna [54,55].

Pro získání čistých kávových zrn se využívají nejčastěji tři různé způsoby zpracování, tzv. mokrý, suchý nebo polosuchý proces zpracování [54,56].

Kvalita kávy je závislá na metodě sklízení. Ruční sklizeň se provádí vybíráním kávových třešní u vysoce kvalitních káv. Mechanická sklizeň zralost třešně nerozlišuje a může docházet k poškození. V současné době se využívají pro zpracování kávy dvě cesty: mokrá a suchá. Cílem je získat kávové zrno bez obalových vrstev. Pražení zrna dramaticky mění složení kávy a je to hlavní krok, který určuje organoleptické vlastnosti kávy. Během pražení probíhají reakce, které dodávají kávě charakteristickou chuť a aroma (Streckerova degradace, Maillardova reakce, karamelizace). Barva fazole přímo koreluje se stupněm pražení [54,56].

Po přípravě kávového nápoje je jako odpadní produkt získávána nerozpustná kávová sedlina. I po využití kávy je kávová sedlina cenným zdrojem řady látek (např.: cukrů, tuků, olejů, antioxidantů a dalších) [55].

2.6.1 Biorafinace kávové sedliny

V posledních letech se kávové sedlině věnuje více pozornosti, jelikož se jedná o materiál se širokou možností dalšího využití.

Kávová sedlina má vysokou výhřevnost, díky vysokému obsahu lignocelulózy a lipidů, proto se často využívá jako tuhé palivo. Nicméně místo přímého spalování můžeme lipidy využít pro výrobu biopaliv. Například pro výrobu bioplynu, bioethanolu, biooleje, biovodíku, bionafty nebo palivových pelet [55]. Navíc glycerol získaný při výrobě bionafty z kávové sedliny lze využít k výrobě biovodíku nebo biooleje [60].

Kávová sedlina je také díky vysoké koncentraci lignocelulózy a taninů výborným absorbentem pro širokou škálu látek (iontů kovů, barviv aj.) a mohla by najít uplatnění např. v čištění odpadních vod. Nicméně absorpčních vlastností kávové sedliny lze vylepšit. Spalováním kávové sedliny za vysokého tlaku a teploty, bez přístupu vzduchu vzniká biouhel,

kteřý díky vysokému povrchu vyniká ještě vyššími absorpčními schopnostmi než surová kávová sedlina [54,55,60]

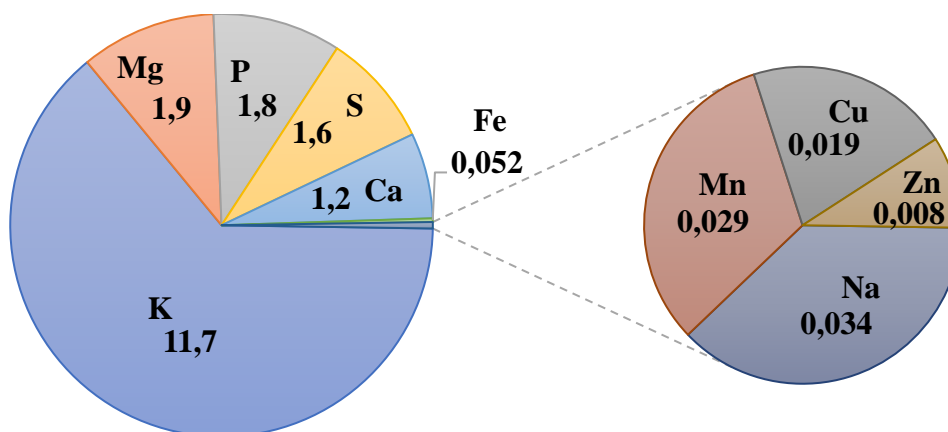
Olej z KS získaný pomocí superkritického CO₂ lze využít jako zdroj uhlíku pro kultivaci kvasinek *Cupriavidus necator* H16, který akumuluje homopolymer za vzniku polyhydroxyalkanoátů (PHA), přesněji polyhydroxybutyrátu (PHB) [61]. Spolu s PHA se jako vedlejší produkt mohou získat karotenoidní barviva, například díky karotenogenní kvasince *Sporobolomyces*. Karotenoidy, β-karoten a také ergosterol mohou být vyprodukovány prostřednictvím kvasinky *Sporobolomyces roseus* [62].

Pro mikrobiální kultivaci lze také využít hydrolyzované kávové sedliny. Hydrolyza kávové sedliny vede ke vzniku jednoduchých sacharidů, které lze použít jako zdroj živin pro mikroorganismy [55,62].

Kávová sedlina obsahuje významné množství fenolických látek, které jsou přínosné pro zdraví a vyznačují se antioxidačními vlastnostmi. Kávová sedlina má díky vysokému obsahu fenolických látek a vlákniny potenciál být vyživána jako surovina při vývoji funkčních potravin [55]. Po odtučnění a lyofilizaci lze z kávové sedliny získat práškový extrakt s vysokou antioxidační kapacitou, který lze použít jako přísadu v potravinářském průmyslu s potencionálními konzervačními a funkčními vlastnostmi [54].

2.6.2 Využití kávové sedliny jako hnojiva

Díky významnému obsahu minerálních živin a vysokému poměru C/N 17:1 má kávová sedlina nadějný agronomický potenciál. Kávová sedlina obsahuje ve významné míře dusík, draslík, hořčík, fosfor, síru, vápník a další minerální látky. Jejich koncentrace v KS jsou znázorněny na obrázku 8. Kávovou sedlinu lze tedy využít jako hnojivo nebo půdní kondicionér. Zároveň její aplikace do půdy umožňuje fixovat uhlík a vylepšit tak kvalitu půdní hmoty [55,60,63]. Výzkum Chrysargyris et al. [64] zjistil, že kávová sedlina by mohla také částečně nahrazovat rašelinu, která je často využívána v lesních školách i pěstebních sklenících a její zdroje jsou omezené. Podle výzkumu Hardgrove et al. [65] je možné, že KS je také schopna zadržovat vodu v písčitéch půdách.



Obrázek 8 Obsah minerálních prvků v mg/l g kávové sedliny [58].

Výzkum Kasongo et al. [66] studoval vliv aplikace KS na zlepšení vlastností písčité půdy v Kongu. Po třech měsících bylo pozorováno významné zvýšení Ca, Mg a K a zvýšení hodnoty pH půdy nad 5,5. Po šesti měsících došlo také k významnému nárůstu organického C a celkového N v půdě. Díky tomu došlo v konečném důsledku ke zvýšení kapacity kationtové

výměny. Nejvyšší naměřená hodnota P bylo po 9 měsících. Nárůst P byl významný, ale bohužel jen dočasný. Aplikace kávové sedliny také významně navýšila podíl zadržené půdní vody z 53 % na 60 %.

Na druhou stranu kávová sedlina se může vyznačovat kyselejším pH (5,7) a obsahovat fytotoxické látky, které nemusí být pro určité půdy vhodné [64]. Vysoké množství kofeinu (přibližně 0,2 %) obsažené v KS s přítomností taninů a fenolických kyselin přispívá k fytotoxicitě [64]. KS obsahuje z FL například vysoké množství kyseliny gallové. Podle výzkumu S. J. Hardgrove et al. [65] čerstvá KS, která byla aplikována do půdy, a to v nízkém množství 2,5 obj. %, dokázala inhibovat růst zasazené brokolice, slunečnic či ředkviček.

Obecně se fenolické látky vyznačují alelopatickými vlastnostmi. Tyto alelopatické vlastnosti čerstvé KS je však možné využít pro inhibici růstu nežádoucího plevelu. Dle výzkumu M. Reigosa et al. [67], kde byl studován vliv FL na růst různých druhů plevelu, bylo zjištěno, že všeobecně fenolické kyseliny ovlivňují ve větší míře růst semenáčků. Naproti tomu podle studie klíčení semen není FL významně ovlivňováno. Mezi studovanými FL byly zahrnuty kyselina kávová, chlorogenová a ferulová, které se nacházejí také v KS.

Pro aplikaci kávové sedliny do půdy za účelem zvýšení její úrodnosti je vhodné kávovou sedlinu zkompostovat, jelikož se jedná o vysoce kompostovatelnou surovinu. KS dokáže konzervovat dusík, umí zadržovat vodu a rychle se rozkládá. Díky kompostování se zvyšuje mineralizace KS, a tak jsou i živiny pro rostliny přístupnější. Nevýhodou kompostování kávové sedliny je jeho časová, finanční a prostorová náročnost [55,64,68]. Navíc podle výzkumu K. Liu et al. [68] jsou určité chemické látky z KS (mezi které patří i FL) zodpovědné za vyšší úmrtnost a zpomalený růst žížal (*Eisenia fetida*), které mohou v daných kompostech přebývat. Avšak podle výzkumu lze úmrtnost žížal snížit přidáním určitého materiálu s vysokým obsahem C .

Dle studie Cruz et al. z roku 2014 [69] má vysoký přírůstek čerstvé KS do půdy za následek významné snížení minerálních látek v pěstovaném hlávkovém salátu a poté inhibici jeho růstu. Tato inhibice by mohla být dle studie způsobena vyšším obsahem určité bioaktivní látky (pravděpodobně kofeinem). Studie však také tvrdí, že malým přírůstkem již kompostované KS (až 15 % obj./obj.) se naopak množství základních makroelementů v salátu zvyšuje a zlepšuje se celková kvalita plodiny.

Výzkum Cruz et al. z roku 2016 [70] navazuje na předchozí studii z roku 2014. V tomto experimentu bylo pro kultivaci hlávkového salátu použito 5, 10, 15, 20 a 30 % obj. kávové sedliny , která byla kompostována přímo v půdě. Přírůstek 20–30 % obj. kompostované KS měl za následek nižší výnosy plodiny než u přírůstku nižšího objemu kávové sedliny. Ale na druhou stranu došlo ke zlepšení intenzity barvy listů a ke zvýšení obsahu nutričně významných minerálních látek v hlávkovém salátu.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Používané přístroje a laboratorní vybavení

- Jednotka pro automatickou extrakci SOXTHERM (Gerhardt, Německo)
- HPLC systém Agilent infinity 1260 (Agilent, USA)
- ICP-OES Ultima 2 (HORIBA)
- Karl-Fischer titrátor (Metrohm)
- Jednotka na výrobu ultračisté vody (ELGA)
- Magnetická míchačka pětimístná (Lab Companion)
- Laboratorní centrifuga (Hermle)
- Analytické váhy
- Sušárna (VWR, Dry-Line)
- Chladnička
- Celulózové extrakční patrony, 33x80 mm, Fisherbrand, Fisher Scientific
- Extrakční baňky, Gerhardt
- Odtučněná bavlněná vata
- Automatické pipety Finnpiquette (Thermo Scientific, USA)
- Centrifugační zkumavky, PP, se šroubovým uzávěrem, 50 ml
- Magnetická míchadla
- Vialky se septy (Agilent Technologies, Čína)
- Jednorázové stříkačky 10 ml Norm-Ject® (Henke-Sass Wolf)
- Stříkačkové filtry 0,45 µm (Chromservis)
- Laboratorní sklo
- Peletovací lis (od firmy „Vše pro pelety“)
- 10ml PS zkumavky s uzávěrem

3.2 Použité chemikálie

Název	Mr [g.mol ⁻¹]	Čistota	Výrobce	CAS číslo
Hexan	86,18	≥ 45,0%	VWR Chemicals	64-17-5
Ethanol	46,07	≥ 99,8%	Fisher Scientific	64-18-6
Kyselina mravenčí	46,03	99–100%	VWR Chemicals	75-05-8
Acetonitril	41,05	≥ 99,9%	Sigma-Aldrich	92112-69-1
Kyselina chlorogenová	354,31	≥ 95%	Sigma-Aldrich	327-97-9
Kyselina kávová	180,16	≥ 98,0%	Sigma-Aldrich	331-39-5
Kyselina ferulová	194,18	99 %	Sigma-Aldrich	537-98-4
Kyselina gallová	170,12	97,5–102,5%	Sigma-Aldrich	149-91-7
Kofein	194,19	≥ 99,9%	Sigma-Aldrich	58-08-2
Methanol	32,04	100,0 %	VWR Chemicals	67-56-1
Kyselina dusičná	63,01	p.a.	Penta	7697-37-2
Peroxid vodíku 30%	34,02	p.a.	Lach:ner	7722-84-1
CRM Cu, Fe, Mn, Zn; CZ 9092, MIX 012 1000 mg/l	-	-	Analytika	-

Název	Mr [g.mol ⁻¹]	Čistota	Výrobce	CAS číslo
CRM Ca AN 9009 (10N) 10 000 mg/l,	-	-	Astasol	-
CRM P CZ 9040(1S), 1 000 mg/l	-	-	Analytika	-
CRM K AN 9028 (10N) 10 000 mg/l	-	-	Astasol	-
CRM Mg CZ 9032(1N), 1 000 mg/l	-	-	Analytika	-

3.3 Metoda pro elementární analýzu technikou ICP-OES

3.3.1 Příprava kalibračních roztoků

Pro kalibrační křivku byly připraveny roztoky standardů makroprvků (P, K, Ca, Mg) o koncentracích 5, 10 a 50 mg/l a mikroprvků (Zn, Cu, Fe, Mn) o koncentracích 0,5; 1 a 5 mg/l. Dále byl připraven blank. Do 50ml odměrné baňky bylo nadávkováno 24 ml konc. HNO₃ a 12 ml H₂O₂ a baňka byla doplněna deionizovanou destilovanou vodou po rysku. Roztoky standardů a blanku byly následně nadávkovány do předpřipravených zkumavek a poté zanalyzovány.

3.3.2 Příprava vzorků KS a PO pro elementární analýzu

Na analytických vahách bylo do 150ml kádinek naváženo 0,5 g vzorku s přesností na čtyři desetinná místa. Do kádinek se vzorky bylo přidáno 12 ml konc. HNO₃ a 6 ml H₂O₂ a kádinky byly položeny na varnou plotýnku. Po rozkladu vzorků směsi KS a PO byly kádinky z varných plotýnek staženy. Jakmile byly vzorky vychlazené, tak byly z kádinek odsáty pomocí injekčních stříkaček a přes filtr byly kvantitativně převedeny do 25ml odměrných baněk, kde byly poté doplněny deionizovanou destilovanou vodou po rysku. Vzorky, které byly určeny pro analýzu makroprvků nebyly ředěny a vzorky pro analýzu mikroprvků byly zředěny 10x. Všechny vzorky byly nadávkovány do připravených zkumavek a poté zanalyzovány.

3.3.3 Podmínky měření

Pro elementární analýzu byla použita technika ICP-OES. Její parametry jsou uvedeny v tabulce 3.

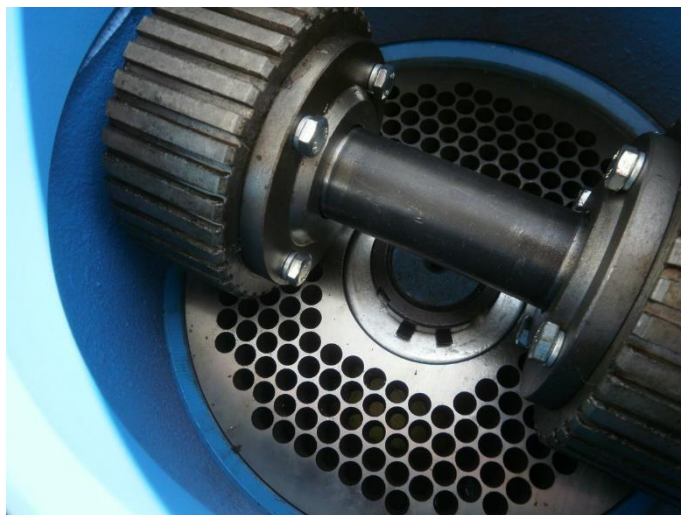
Tabulka 3 Pracovní nastavení přístroje ICP-OES

Název a typ přístroje	ICP-OES Ultima 2 (HORIBA)
Peristaltická pumpa	16 ot/min
Příkon generátoru	1 300 W
Tlak ve zmlžovači	0,3 MPa
Průtok plazmového plynu	13,57 l/min
Průtok stínícího plynu	0,243 l/min u mikroprvků 0,60 l/min u makroprvků

3.4 Příprava nového typu hnojiva z KS a PO ve formě pelet

3.4.1 Příprava peletovacího lisu

V prvním kroku bylo zapotřebí zajet novou lisovací maticí (viz obrázek 9). Pšeničné otruby byly zvlhčeny na vlhkost okolo 20 %. Lisovací matrice byl promazána olejem a byl spuštěn peletovací lis. Následně byly do stroje přidávány po malých částech pšeničné otruby. Vždy po menší dávce otrub byla do lisovací komory přidána kapka oleje. Poté byl přidán zbytek pšeničných otrub a zajetí nové lisovací matrice bylo ukončeno, když byly získány první pelety.



Obrázek 9 Matrice peletovacího lisu [71]

3.4.2 Výroba pelet ze směsí z KS a PO

Byla připravena směs vysušené kávové sedliny a pšeničných otrub ve třech různých objemových poměrech 1:1, 1:2 a 2:1 a podle závislosti na výtěžnosti a pevnosti výsledných pelet byla k těmto směsím přidávána voda, viz tabulka 4. Poté se směsi jednotlivě vsypaly do zásobního trychtýře a byl zapnut peletovací lis (viz obrázek 10). Vzniklé pelety byly uloženy do vzduchotěsných nádob a byly uloženy na suché tmavé místo.

Tabulka 4 Parametry směsí KS a PO pro přípravu pelet

Číslo vzorku pelet	Poměr KS:PO	Přídavek H ₂ O (%)
1	1:1	5,0
2	1:1	7,5
3	1:1	10,0
4	1:2	16,7
5	2:1	20,0



Obrázek 10 Peletovací lis

3.4.3 Stanovení vlhkosti v peletách pomocí Karl-Fischerovy titrace

Jelikož pšeničné otruby nebyly před výrobou pelet sušeny, tak podle přidané vody nebylo možné odvíjet skutečnou vlhkost vyrobených pelet. Proto byla pomocí Karl-Fischerovy titrace byla stanovena skutečná vlhkost ve vzorcích pelet. Na analytických vahách byly zváženy prázdné Erlenmeyrové baňky i se zátkou s přesností na čtyři desetinná místa (m_b). Do jedné z těchto baňek bylo automatickou pipetou přidáno 20 ml bezvodého methanolu. Baňka s methanolem byla uzavřena zátkou a zvážena s přesností na čtyři desetinná místa (m_{OH}). Do dalších Erlenmeyrových baňek bylo na analytických vahách odváženo přibližně 0,25 g vzorku rozmělněných pelet. Baňky se vzorky byly uzavřeny zátkou a byly zváženy na analytických vahách s přesností na čtyři desetinná místa (m_{pelety}). Všechny Erlenmeyrové baňky byly vloženy do ultrazvukové lázně vyhřívané na 50 °C po dobu 15 minut. Po vychladnutí baňek bylo odebráno injekční stříkačkou z každé baňky přibližně 5 ml vzorku a byl přefiltrován přes stříkačkový filtr do vysušených označených vialek.

Následně byl zapnut titrátor a míchání titrační cely. Pomocí klávesnice byl zvolen mód KFT. Na analytických vahách byla zvážena injekční stříkačka s jehlou, váhy byly vytárovány a pomocí této stříkačky bylo odebrán přibližně 0,5 ml standardu vody z vialky. Stříkačka se standardem vody byla zvážena na analytických vahách s přesností na čtyři desetinná místa a hmotnost byla zaznamenána. Na ovládací klávesnici titrátoru byla zmáčknuto tlačítko START a přes nástřikové septum byl stříkačkou do titrační cely nadávkován standard vody. Ve stříkačce zůstalo přibližně 0,1 ml standardu. Tato stříkačka byla opět zvážena

na analytických vahách s přesností na čtyři desetinná místa. Rozdílem předchozího vážení byla získána hmotnost nastříknutého vzorku. Tato hmotnost byla vložena pomocí číselné klávesnice do přístroje a bylo zmáčknuto tlačítko ENTER. Po ukončení titrace bylo díky standardu ověřeno správné nastavení přístroje.

Blank a vzorky pelet byly připraveny a změřeny stejným způsobem jako tomu bylo u standardu vody. Byla získána hodnota obsahu vody v extraktu pelet ($w_{H_2O\ ex}$) a hodnota obsahu vody v methanolu, který byl použit jako rozpouštědlo ($w_{H_2O\ bl}$). Následně byl obsah vody ve vzorcích pelet vypočítán dle rovnice (1).

$$w_{H_2O\ ex} = \frac{(w_{H_2O\ ex} - w_{H_2O\ bl}) \cdot (m_{bpeletyOH} - m_b)}{m_{bpelety} - m_b} \quad (1)$$

3.5 Elementární analýza pelet pomocí ICP-OES

Jednotlivé vzorky pelet byly rozmělněny a poté bylo od každého vzorku na analytických vahách naváženo 0,5 g s přesností na čtyři desetinná místa. Dále bylo postupováno stejně jako v případě elementární analýzy KS a PO v kapitole 3.3.

3.6 Příprava a oxidace kávové sedliny

Pro práci byla využita neupravená kávová sedlina (KS) a odtučněná kávová sedlina (OKS). Pro kvalitativní i kvantitativní analýzu fenolických látek byl použit vzorek kávové sedliny získané ze zrnkové kávy, která byla tvořena směsí druhu kávy Arabica (65 %) a Robusta (35 %). Pro přípravu OKS bylo zapotřebí využít Soxhletovy extrakce pro odstranění tuků.

3.6.1 Soxhletova extrakce kávové sedliny

Na analytických vahách byly zváženy 4 ks extrakčních patron. Poté bylo naváženo do jednotlivých patron 10 g usušené kávové sedliny s přesností na čtyři desetinná místa. Patrony s kávovou sedlinou byly poté přemístěny do extrakčních baněk s drátěnými držáky.

Tabulka 5 Parametry programu pro extrakci oleje z KS

T-Classification	200 °C
Extrakční teplota	180 °C
Redukční interval	3 min 0 s
Redukční puls	3 s
Horká extrakce	2h 30min
Vypařování A	3x interval
Extrakční čas	1h 0min
Vypařování B	3x interval
Vypařování C	10 min
Délka programu	3h 58min

Následně bylo ústí extrakčních patron zaopatřeno bavlněnou vatou. Do připravené extrakční baňky bylo nalito 150 ml n-hexanu a byl vložen varný kamínek. Extrakční baňky s patronami byly přesunuty do extrakčních jednotek Soxtherm. Na počítači byl spuštěn program, jehož dané parametry jsou zaznamenány v tabulce 5. Po ukončení programu byly extrakční patrony s odtučněnou kávovou sedlinou (OKS) přemístěny do označených kádinek

a společně s nimi přesunuty do sušárny, kde byly sušeny při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti.

3.6.2 Detoxikace kávové sedliny oxidačními procesy

Pro oxidaci kávové sedliny byla využita látka s oxidačními vlastnostmi.

3.6.2.1 Příprava roztoků oxidačního činidla

Pro oxidaci KS byly připraveny roztoky 1% a 5% hm. oxidačního činidla (OČ). Do kádinek bylo naváženo dané množství oxidační látky (10 resp. 50 g), které bylo rozpuštěno v 250 ml destilované vody. Poté byl roztok kvantitativně převeden do odměrné baňky o objemu 1 l a uzavřen zátkou.



Obrázek 11 Extrakce tuků z KS pomocí jednotky Soxtherm Gerhardt

3.6.2.2 Příprava oxidované kávové sedliny pro studium vlivu doby oxidace

Pro oxidaci byla použita neupravená kávová sedlina (KS) a odtučněná kávová sedlina (OKS) a 1% hm. roztok OČ. Do kádinek byl na analytických vahách navážen 1 g KS s přesností na čtyři desetinná místa, k tomuto množství KS bylo přidáno 10 ml roztoku 1% hm. oxidačního činidla. Poté byly kádinky umístěny na vícemístnou magnetickou míchačku. Do každé kádinky bylo umístěno magnetické míchadlo a otáčky byly nastaveny na 500 rpm. Oxidace probíhala po dobu 10 a 30 minut. V následujícím kroku byl vzorek kvantitativně převeden do centrifugační zkumavky, kde byl doplněn destilovanou vodou do 35 ml. Zkumavka byla umístěna do centrifugy (5 min při 7000 rpm). Po odstředění byl supernatant odlit a obsah zkumavky byl opět doplněn destilovanou vodou do 35 ml a promíchán. Vzorek byl odstředěn stejným způsobem. Pročištěný sediment byl rozprostřen na Petriho misku s filtračním papírem. Vzorek byl sušen při 80 °C do konstantní hmotnosti. Po ukončení experimentu byly získány tyto vzorky kávové sedliny: kávová sedlina 30 a 10 minut oxidovaná (KS30, resp. KS10) a odtučněná kávová sedlina 10 minut oxidovaná (OKS10).



Obrázek 12 Oxidace KS pomocí oxidačního činidla na pětimístné magnetické míchače.

3.6.2.3 Studium vlivu oxidace na odstranění tuků z kávové sedliny

Bylo zjišťováno, zda má oxidační proces vliv na odstranění tuků a zda odtučnění KS má vliv na účinnost oxidačního činidla. Pro tento experiment byl vybrán vzorek 30 minut oxidované KS (KS30). Podle schématu na obrázku 13 byl připraven vzorek KS30_odtuč 30minutovou oxidací a následnou Soxhletovou extrakcí. KS30_odtuč byla přemístěna do sušárny, kde byla sušena do konstantní hmotnosti při 80 °C. Poté byla KS30_odtuč v extrakční patroně zvážena a bylo vypočítáno kolik tuku bylo během Soxhletovy extrakce odstraněno ze vzorku KS30. Obsah tuku byl vypočítán pomocí rovnice (2). Kde m_1 je váha prázdné extrakční patrony, m_2 je váha extrakční patrony s odtučněnou kávovou sedlinou a m_3 je navážka vysušené KS.



Obrázek 13 Schéma 30min oxidace KS a následného odtučnění

$$\text{olej extrahovaný z KS [\% hm.]} = 100 - \frac{(m_2 - m_1)}{m_3} \times 100 \quad (2)$$

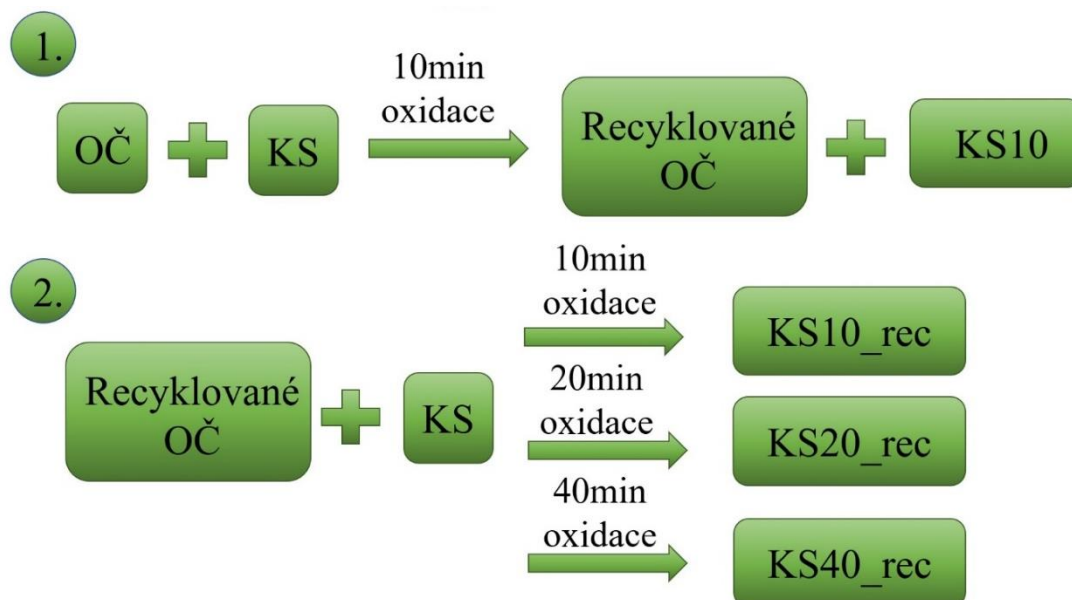
3.6.2.4 Recyklace oxidačního činidla

Další experiment byl zaměřen na recyklaci oxidačního činidla, které bylo již jednou použito pro oxidační proces. Pro tento experiment byl přichystán roztok oxidačního činidla o koncentraci 1% hm. (viz. kapitola 3.6.2.1) a byl použit vzorek KS.

Na analytických vahách byly naváženy 2 gramy KS s přesností na čtyři desetinná místa. Na připravený vzorek bylo působeno 20 ml oxidačního činidla po dobu 10 minut. Po ukončení oxidace byl tento jednou použitý oxidační roztok kvantitativně převeden do centrifugačních zkumavek. Roztok byl odstředován 5 minut při 7000 rpm.

Takto recyklovaný oxidační roztok byl o objemu 10 ml dále použit pro oxidaci 1 g KS, který byl navážen na analytických vahách. Doba oxidace recyklovaným oxidačním činidlem

probíhala po dobu 10, 20 a 40 min a byly získány vzorky KS10_rec, KS_20_rec a KS40_rec. Po ukončení oxidace recyklovaným oxidačním činidlem byly všechny vzorky kávové sedliny rozprostřeny na Petriho misky a byly přemístěny do sušárny, kde byly sušeny při 80 °C do konstantní hmotnosti. Schéma recyklačního procesu je vyobrazeno na obrázku 14.



Obrázek 14 Schéma recyklace oxidačního činidla

3.7 Metoda pro stanovení fenolických kyselin a kofeinu v KS pomocí HPLC

3.7.1 Extrakce vzorků nezoxidované kávové sedliny

Všechny druhy vzorků kávové sedliny byly extrahovány ve třech paralelních řadách. Pro extrakci byla připravena směs ethanol-voda v poměru 3:2. Od každého připraveného druhu kávové sedliny byl navážen 1 g s přesností na čtyři desetinná místa. Každý vzorek byl poté umístěn do kádinky o objemu 50 ml, kde k nim posléze bylo přidáno 10 ml připravené směsi ethanol-voda, magnetické míchadlo a následně byla spuštěna extrakce. Po patnáctiminutové extrakci byly roztoky převedeny pomocí injekčních stříkaček s filtry do 2ml vialek se septem. Analýza byla provedena pomocí přístroje Agilent 1260 infinity s detekcí na diodovém poli (DAD) při reverzní fázi.



Obrázek 15 Extrahované vzorky neupravené KS a OKS

3.7.2 Příprava kalibrační řady fenolických látek a kofeinu

Pro kalibrační křivku byly využity roztoky standardů kyseliny kávové, kyseliny gallové, kyseliny ferulové, kyseliny kávové, kyseliny chlorogenové a kofeinu o koncentraci 100, 250 a 500 mg·l⁻¹. Jako rozpouštědlo byla využita směs ethanol-voda v poměru 3:2. Následně byly roztoky ihned nadávkovány do vialek, zajištěny víčky se septy a poté analyzovány.

3.7.3 Stanovení LOD a LOQ u standardů FL a kofeinu

Pro stanovení limitu detekce a kvantifikace bylo připraveno 10 standardů do vialek o koncentraci 1 mg·l⁻¹ u kyseliny kávové a 2 mg·l⁻¹ u kyseliny gallové, chlorogenové, ferulové a kofeinu.

Pro výpočet limitu detekce (LOD) bylo využito rovnice (3), kde σ je směrodatná odchylka šumu na základní linii a b znázorňuje směrnici kalibrační křivky [72].

$$LOD = \frac{3,3 \cdot \sigma}{b} \quad (3)$$

Limit kvantifikace (LOQ) byl vypočítán pomocí rovnice (4) [73].

$$LOQ = \frac{10 \cdot \sigma}{b} \quad (4)$$

3.7.4 Podmínky měření

Stanovení FL a kofeinu bylo provedeno pomocí HPLC přístroje Agilent 1260 infinity. Parametry využívané metody jsou znázorněny v tabulce 6. Pro lepší eluční podmínky byla využita gradientová eluce, kde jako mobilní fáze byla použit acetonitril a 2% kyselina mravenčí. Průběh gradientu mobilní fáze je znázorněn v tabulce 7.

Tabulka 6: Parametry chromatografické metody

kolona	Kinetex 2,6 μm EVO C18, 150 x 4,6 mm (Phenomenex, USA)
nástřík vzorku	5 μl
teplota kolony	40 °C
mobilní fáze	2% HCOOH:ACN = 88:12
průtok mobilní fáze	0,700 ml·l ⁻¹
typ eluce	Gradientová (viz tabulka 7)

Tabulka 7: Průběh gradientu mobilní fáze

Čas [min]	ACN (%)	2% ◻ HCOOH (%)
0	88	12
12	88	12
12,01	80	20
17	80	20
17,01	70	30
22	70	30
22,01	88	12
28	88	12

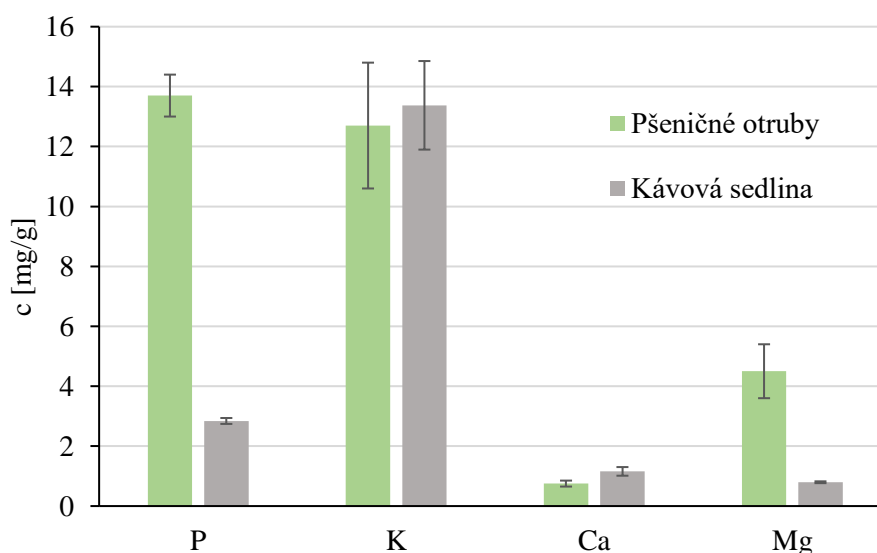
4 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Elementární analýza pšeničných otrub a kávové sedliny

V pšeničných otrubách a v kávové sedlině byly pomocí techniky ICP-OES analyzovány makroprvky P, K, Ca a Mg a mikroprvky Cu, Fe, Zn a Mn. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce 8 a graficky jsou znázorněny na obrázku 16. Podle výsledků z elementární analýzy se v pšeničných otrubách vyskytuje vyšší množství fosforu a hořčíku než v kávové sedlině. Naopak kávová sedlina se vyznačuje vyšším množstvím draslíku a hořčíku. Tyto výsledky korespondují s hodnotami získanými z literatury, kdy je obvykle v PO přítomno vyšší množství P a Mg a v KS vyšší množství K a Ca [45,58].

Tabulka 8 Výsledky elementární analýzy makroprvků v pšeničných otrubách a v kávové sedlině

Makroprvek	c (mg/g PO)	c (mg/g KS)
P	13,7 ± 0,7	2,8 ± 0,1
K	12,7 ± 2,1	13,4 ± 1,5
Ca	0,75 ± 0,1	1,2 ± 0,1
Mg	4,5 ± 0,9	0,8 ± 0,03



Obrázek 16 Zastoupení makroprvků v pšeničných otrubách a kávové sedlině

4.2 Předúprava KS a PO

Pšeničné otruby se jako hnojivo mohou použít ve svém nativním stavu. Pro výrobu pelet je možné ještě pšeničné otruby pomlet. Kávovou sedlinu naproti tomu není jako hnojivo vhodné použít v nativním stavu, protože obsahuje řadu látek, které naopak inhibují růst rostlin. Těmito látkami jsou především kávový olej, kofein, melanoidní barviva a fenolické látky. Tyto látky je vhodné z kávové sedliny před využitím kávové sedliny jako hnojiva odstranit.

4.3 Úprava kávové sedliny detoxikačními procesy

Detoxikací kávové sedliny s využitím oxidačních činidel jsem se zabývala již ve své bakalářské práci, kde se tento postup ukázal být jako velmi účinný. V rámci diplomové práce byl proces detoxikace kávové sedliny ještě více optimalizován.

4.3.1 Analýza fenolických látek a kofeinu v KS pomocí HPLC

Pro analýzu kofeinu a fenolických látek v nativní KS a v detoxikované KS byla použita metoda vysokoúčinné kapalinové chromatografie. Meze detekce a kvantifikace jednotlivých analyzovaných látek byly stanoveny na základě poměrů signálu k šumu. Hodnoty byly vypočítány dle rovnic (3) a (4) v kapitole 3.7.3. Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9. Z výsledků je patrné, že nejnižší limit detekce a kvantifikace má kyselina kávová. Naopak kyselina gallová, má nejvyšší hodnoty limitů kvantifikace.

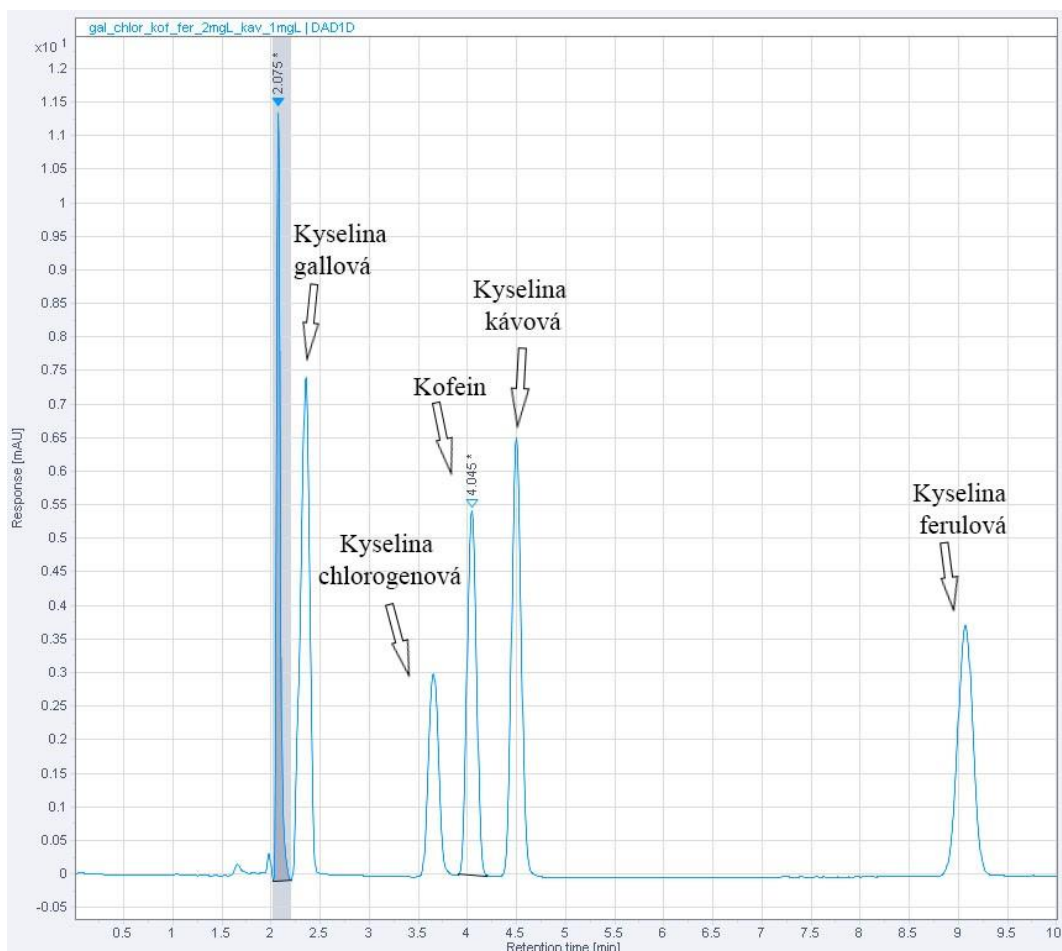
V tabulce 9 jsou pro porovnání zaznamenány také hodnoty LOD a LOQ získané z práce Belgiudom a spol. [74]. Významný rozdíl byl zaznamenán v detekčních limitech u kyseliny gallové. U ostatních fenolických látek byly detekční limity stanovené v této práci také vyšší, než v práci [74], nicméně ne už tak výrazně. Podobné rozdíly byly zaznamenány také v detekčních limitech u kofeinu. Sledované rozdíly mohou být způsobeny použitím jiného analytického systému, a především použitím jiné stacionární fáze v této diplomové práci a v práci [74].

Tabulka 9 Stanovení limitu detekce a limitu kvantifikace u vybraných FL a kofeinu

FL	c (mg·l ⁻¹)	LOD (mg·l ⁻¹)	LOD Literatura (mg·l ⁻¹)	LOQ (mg·l ⁻¹)	LOQ literatura (mg·l ⁻¹)
KCH	2	0,035	0,0017 ^[74]	0,105	0,0050 ^[74]
KK	1	0,026	0,0057 ^[74]	0,080	0,0173 ^[74]
KF	2	0,030	0,0043 ^[74]	0,092	0,0130 ^[74]
KG	2	3,920	0,0148 ^[74]	11,880	0,0444 ^[74]
Kofein	2	0,032	0,0019 ^[74]	0,096	0,0057 ^[74]

Pozn.: KCH = kyselina chlorogenová, KK = kyselina kávová, KF = kyselina ferulová, KG = kyselina gallová

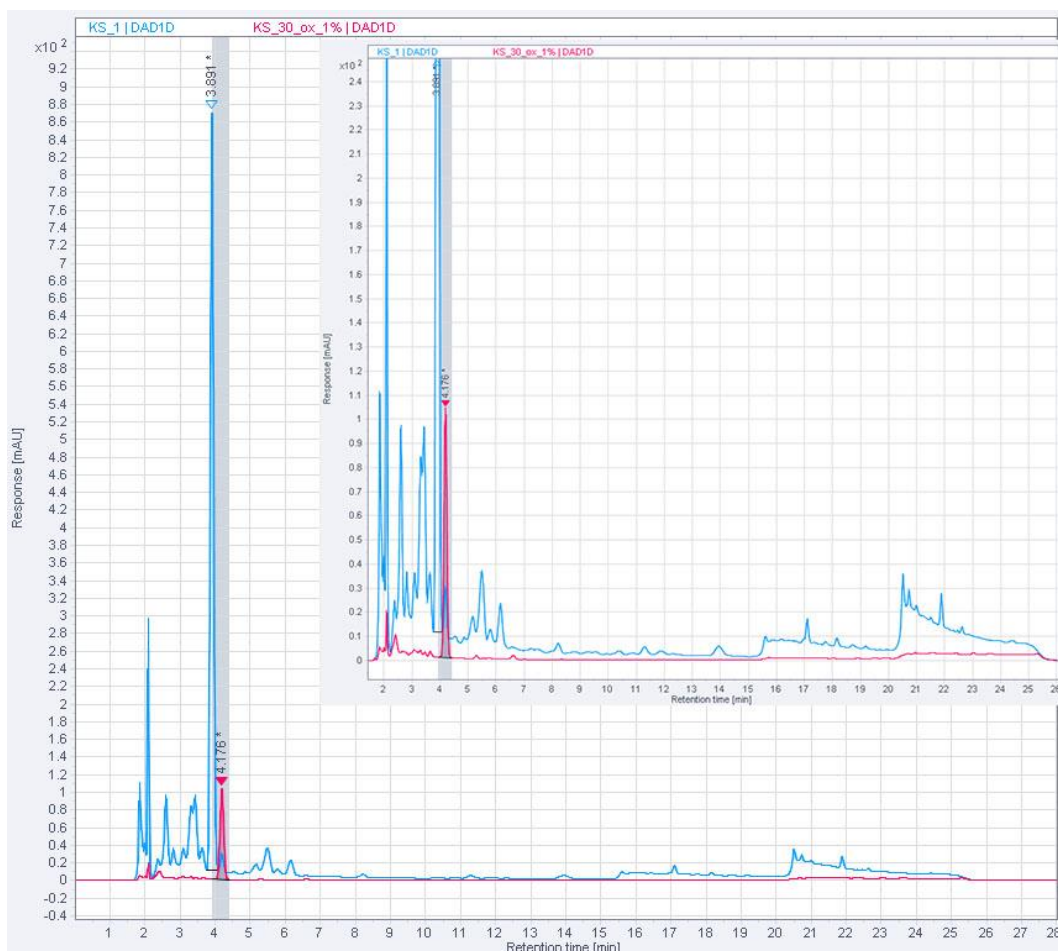
Na obrázku 17 je znázorněn ukázkový chromatogram standardu sledovaných fenolických látek a kofeinu.



Obrázek 17 Výsledný chromatogram vybraných standardních látek pro stanovení jejich LOD a LOQ. Koncentrace kyseliny gallové, chlorogenové, ferulové a kofeinu byla 2 mg.l^{-1} a koncentrace kyseliny kávové byla 1 mg.l^{-1} .

4.3.2 Vliv působení oxidačního činidla na obsah FL a kofeinu v KS

Pro sledování vlivu oxidačního činidla na obsah FL a kofeinu v KS, probíhala oxidace 30 minut. Z obrázku 18 je patrné, že došlo k značnému poklesu fenolických látek a kofeinu v oxidované kávové sedlině oproti neupravené KS. Jedinou látkou, kterou bylo možné v upravené KS kvantifikovat byl kofein, jehož koncentrace v upravené KS byla použita pro stanovení účinnosti oxidačního kroku. Pomocí programu Statistica a párového t-testu bylo zjištěno, že rozdíl mezi průměry obsahu kofeinu v neupravené KS a 30min oxidované KS je statisticky významný ($p < 0,05$, viz tabulka 10). Je tedy možné tvrdit, že oxidace je významným krokem při úpravě obsahu fenolických látek a kofeinu v KS.



Obrázek 18 Chromatogram znázorňující obsah FL a kofeinu v neupravené KS (modře) a 30 minut oxidované KS (ružově).

Tabulka 10 Koncentrace kofeinu ve vzorcích KS a v oxidované KS a výsledky párového t-testu

Název vzorku	Ckofein (mg/g)	t-test	p	Významnost
KS	3,3088 ± 0,1	46,15657	0,000469	p < 0,05
KS30	0,2461 ± 0,007			

Pozn.: KS = neupravená kávová sedlina, KS30 = 30 minut oxidovaná kávová sedlina

4.3.3 Vliv doby oxidace na obsah FL a kofeinu v KS

V dalších experimentech byl pozorován vliv doby oxidace na obsah FL a kofeinu v KS. Oxidace KS probíhala po dobu 10 a 30 minut pomocí 1% OČ. Na obrázku 19 lze vidět chromatogramy znázorňující obsah FL a kofeinu ve 30min oxidované KS (modrá křivka) a 10min oxidované KS (ružová křivka). Dle chromatogramů na obrázku 19 lze konstatovat, že oxidace po dobu 10 a 30 min byly přibližně stejně účinné. Oxidace FL tedy proběhla již v prvních deseti minutách a zvýšení času oxidace dále nevedlo k signifikantnímu rozdílu v obsahu fenolických látek v KS.

Závěry tohoto experimentu byly potvrzeny pomocí programu Statistica a párového t-testu. Bylo zjištěno, že rozdíl mezi průměry obsahu kofeinu v 10min ox. KS a 30min ox. KS nejsou statisticky významné ($p > 0,05$). Doba oxidace se tedy neprojevila na obsahu kofeinu v KS

a můžeme předpokládat, že stejného výsledku bychom dosáhli u fenolických látek. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce 11.



Obrázek 19 Chromatogramy znázorňující obsah FL a kofeinu ve 30min oxidované KS (modře) a 10min oxidované KS (růžově).

Tabulka 11 Koncentrace kofeinu ve vzorcích 10min a 30min ox. KS a výsledky párového t-testu

Název vzorku	c_{kofein} (mg/l)	t-test	p	Významnost
KS30	$0,2404 \pm 0,007$	-1,32930	0,315105	$p > 0,05$
KS10	$0,2461 \pm 003$			

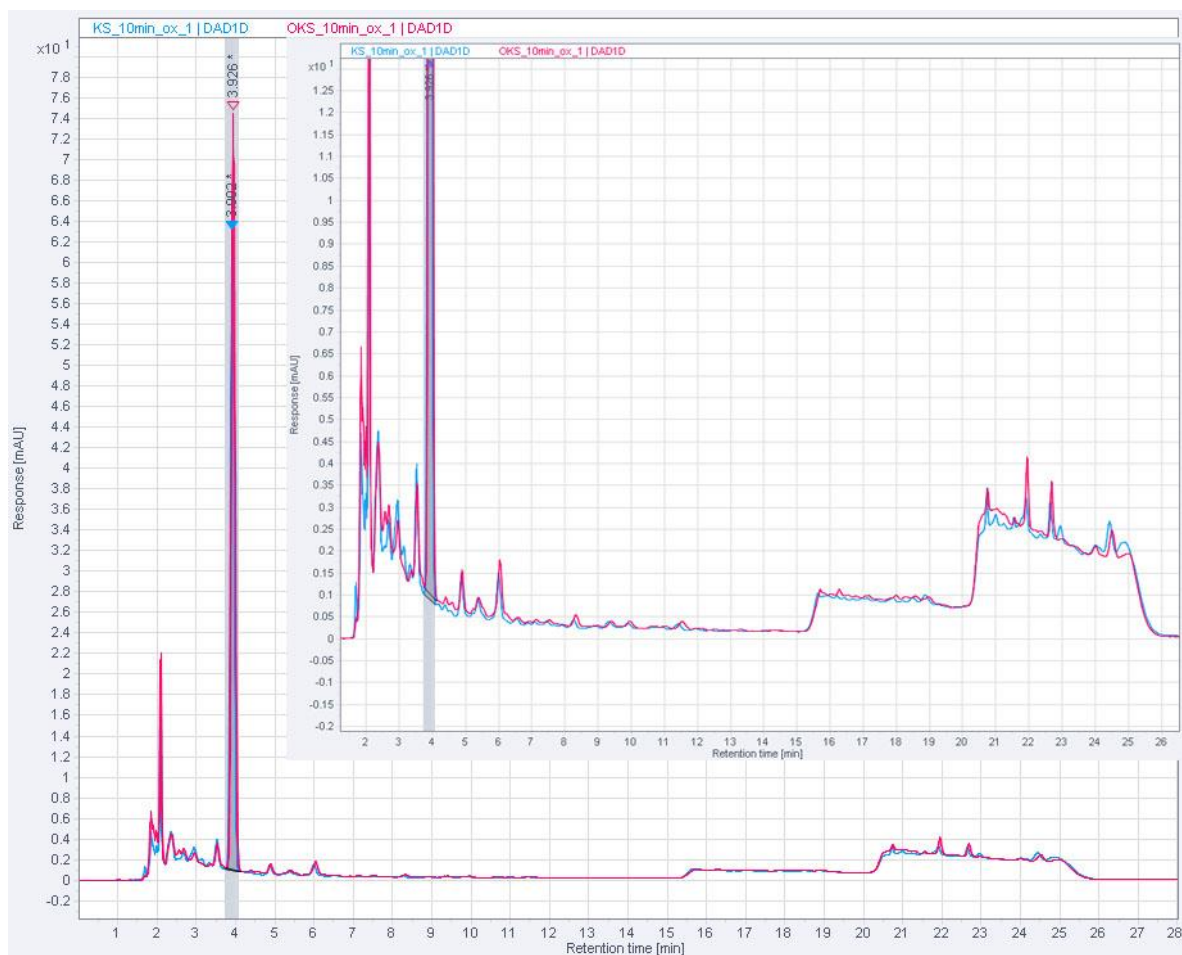
Pozn.: KS10 = 10 minut oxidovaná kávová sedlina, KS30 = 30 minut oxidovaná kávová sedlina

4.3.4 Vliv odtučnění KS na obsah FL a kofeinu

Kromě odstranění fenolických látek z KS byl studován také vliv odtučnění KS na obsah FL a kofeinu. Obsah jednotlivých FL v KS nebylo možné kvantifikovat, jelikož se jedná o složitou matici a roztok pro analýzu by bylo nutné přechistit pro získání lepšího chromatogramu. Podle chromatogramů na obrázku 20 se lze nicméně domnívat, že obsah FL je stejně vysoký ve vzorku KS i OKS. Z pohledu obsahu FL v KS tedy není krok odtučnění významný.

Tento fakt byl ověřen také sledováním obsahu kofeinu u 10 min ox. KS a 10 minut ox. OKS (viz tabulka 12). Mezi obsahem kofeinu v obou vzorcích nebyl pomocí párového t-testu nalezen statisticky významný rozdíl ($p > 0,05$), proto lze konstatovat, že odtučnění KS je neúčinné pro snížení obsahu kofeinu v KS.

Přestože odtučnění KS nemá vliv na snížení koncentrace FL a kofeinu v KS, je vhodné olej z KS extrahovat, jelikož je považován za sekundární produkt s vysokou přidanou hodnotou a lze jej využít v mnoha průmyslových odvětvích, viz 2.6.2. Olej z KS lze například využít pro výrobu bionafty nebo je možné jej použít jako zdroj uhlíku pro kultivaci kvasinek *Cupriavidus necator* H16, které jsou schopné produkovat polyhydroxybutyrát (PHB) [62,75]. Kávová sedlina obsahuje nezanedbatelné množství oleje. V experimentech prováděných v této diplomové práci, kdy byla použita extrakce pomocí hexanu, kávová sedlina obsahovala $9,00 \pm 0,1$ % hm. oleje. Dle výzkumu Haile lze extrakcí pomocí hexanu získat z KS až 15,6 % hm. a pokud by byla pro extrakci použita směs isopropanol-hexan v poměru 50:50 (hm.) bylo by možné získat až 21,5 % oleje [75].



Obrázek 20 Chromatogramy znázorňující obsah FL a kofeinu v 10min oxidované KS (modře) a v 10min oxidované OKS (růžově).

Tabulka 12 Koncentrace kofeinu v 10min ox. KS a OKS a výsledky párového t-testu

Název vzorku	C _{kofein} (mg/g)	t-test	p	Významnost
KS10	0,2461 ± 003	-2,29973	0,148176	p > 0,05
OKS10	0,2472 ± 002			

Pozn.: KS10 = 10 min oxidovaná kávová sedlina, OKS10 = 10 minut oxidovaná odtučněná kávová sedlina

4.3.5 Vliv oxidace na odstranění tuků z kávové sedliny

I přes konstatování, že odtučňování nemá pro snížení obsahu FL a kofeinu významný vliv, mohou mít přítomné oleje v kávové sedlině nepříznivý vliv na rostliny a na mikroorganismy v půdě. Z toho důvodu byl zkoumáno, zda je možné při odstraňování FL a kofeinu pomocí oxidace odstranit také určité množství tuků z KS.

Tvrzení bylo ověřeno pomocí programu Statistica a párového t-testu (viz tabulka 13), do kterých byly vloženy výsledky z analýzy obsahu celkového tuku v KS a KS30. Bylo zjištěno, že rozdíl mezi průměry obsahu tuku v KS a KS30 je statisticky významný ($p < 0,05$). Díky 30minutové oxidaci bylo odstraněno přibližně 3,5 % tuku z KS. Toto tvrzení podporuje hypotézu, že pomocí oxidačních kroků lze kromě FL a kofeinu odstranit také významné množství tuků z KS.

Tabulka 13 Obsah tuku v KS a v 30ox_KS

Název vzorku	Tuk (g)	t-test	p	Významnost
KS	9,0099 ± 0,1	30,00452	0,001109	p < 0,05
KS30	5,5411 ± 0,1			

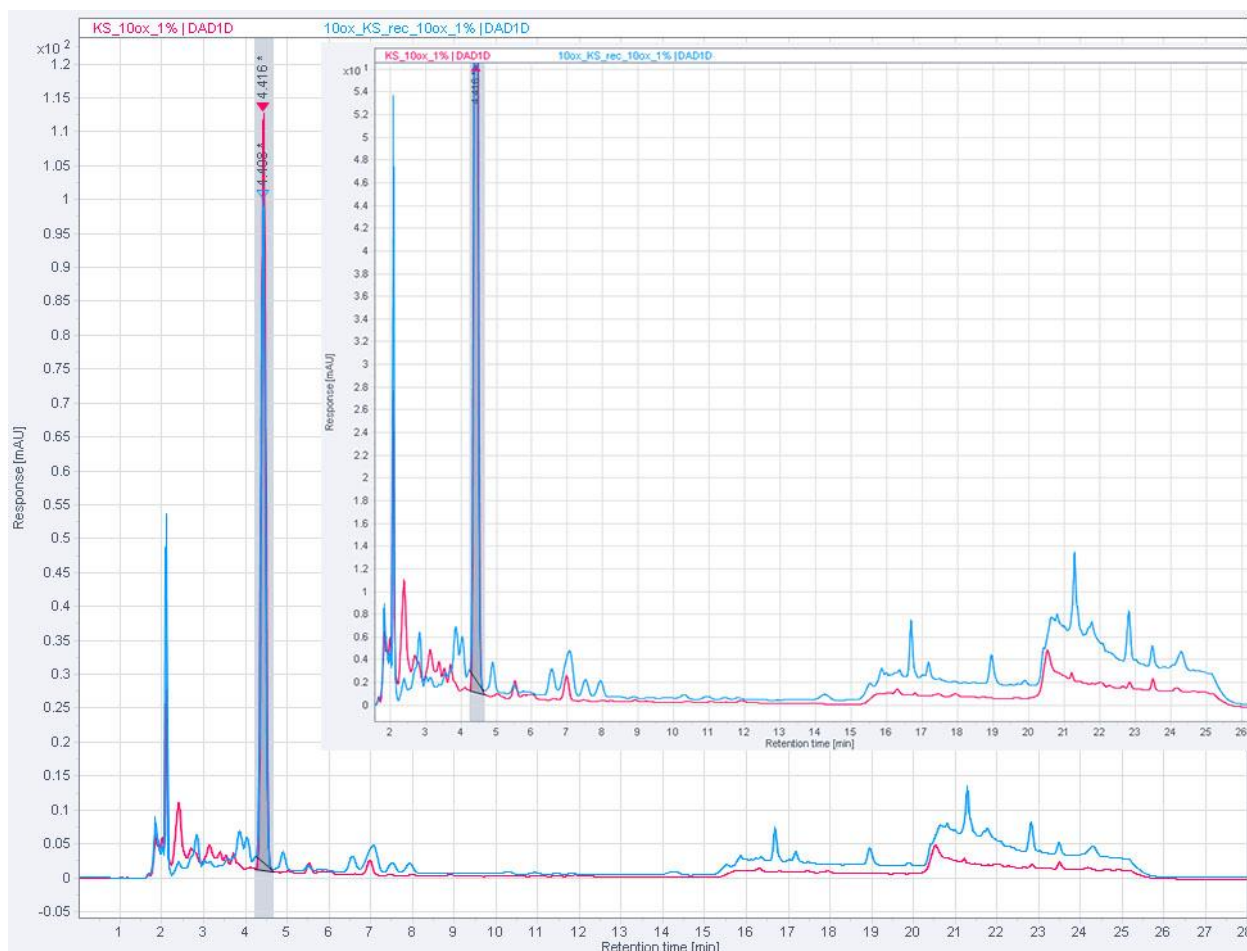
Pozn.: KS = kávová sedlina, KS30 = 30 minut oxidovaná kávová sedlina

4.3.6 Recyklace oxidačního činidla

Z ekonomického hlediska je výhodné, pokud proces úpravy KS umožňuje opětovné použití pracovních chemikálií, proto byl studován vliv působení recyklovaného oxidačního činidla na obsah fenolických látek a kofeinu v KS. Pro experiment bylo použito 1% hm. oxidační činidlo, které bylo využito na oxidaci KS. Toto OČ bylo recyklováno a použito pro další oxidaci KS, a to podle postupu zaznamenaném v kapitole 3.6.2.4.

4.3.6.1 Studium vlivu recyklace oxidačního činidla na obsah FL a kofeinu v KS

Na obrázku 21 jsou znázorněny chromatogramy znázorňující obsah FL a kofeinu ve vzorcích oxidovaných KS. Vzorek 1 KS byl oxidován nerecyklovaným OČ po dobu 10 minut a vzorek 2 byl oxidován 10 minut recyklovaným OČ, které bylo již využito na oxidaci vzorku 1. Z chromatogramů je patrné, že obsah FL byl výrazně snížen při použití čerstvého i recyklovaného OČ a pro účinné odstranění FL je možné použít i recyklované OČ.



Obrázek 21 Chromatogramy znázorňující obsah FL a kofeinu ve vzorcích KS, které byly oxidovány nerecyklovaným 1% OČ po dobu 10 minut (ružově) a z tohoto roztoku získaným OČ, které bylo použito pro 10min oxidaci (modře).

Pomocí programu Statistica a párového t-testu bylo zjištěno, že rozdíly v obsahu kofeinu v neupravené KS a v KS oxidované pomocí recyklovaného OČ je statisticky významný ($p < 0,05$, viz tabulka 14). Je tedy možné tvrdit, že využití recyklovaného oxidačního činidla má významný vliv na snížení obsahu kofeinu v KS.

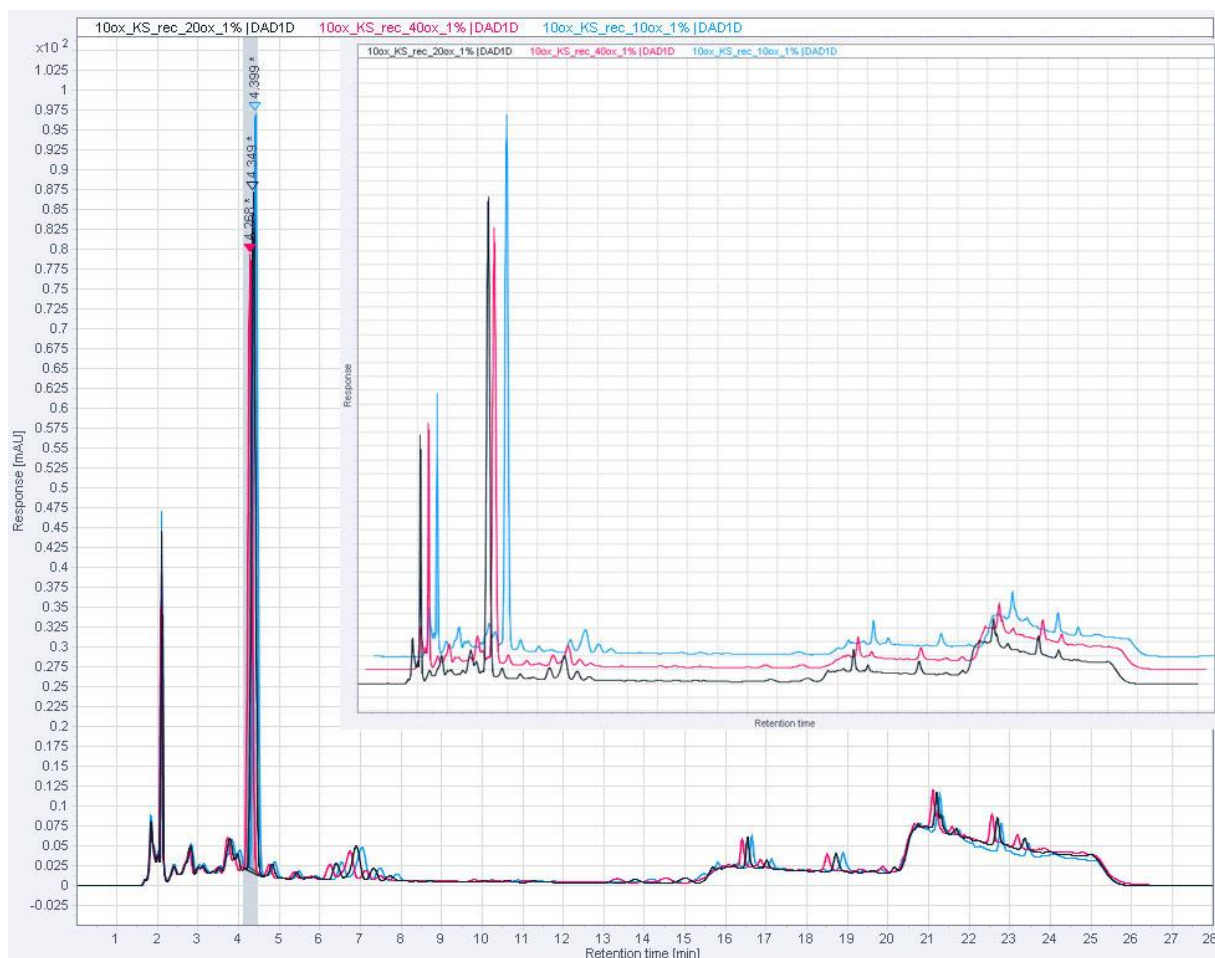
Tabulka 14 Obsah kofeinu ve vzorku KS a v KS oxidované pomocí recyklovaného OČ

Název vzorku	Tuk (g)	t-test	p	Významnost
KS	$3,3087 \pm 0,1$	39,53740	0,00064	$p < 0,05$
KS10_rec	$0,4123 \pm 0,07$			

Pozn.: KS = kávová sedlina, KS10_rec = kávová sedlina oxidovaná 10 minut recyklovaným OČ

4.3.6.2 Vliv doby oxidace recyklovanými OČ na obsah FL a kofeinu v KS

V dalším experimentu bylo ověřováno, zda využití recyklovaného OČ nevyžaduje aplikování delšího času oxidace KS. Na obrázku 22 lze vidět příklad chromatogramů znázorňující obsah FL a kofeinu ve vzorcích KS, které byly oxidovány po dobu 10, 20 a 40 minut recyklovaným OČ. Na těchto chromatogramech je patrné, že snížení obsahu FL pomocí recyklovaného OČ je účinné ve všech dobách oxidace.



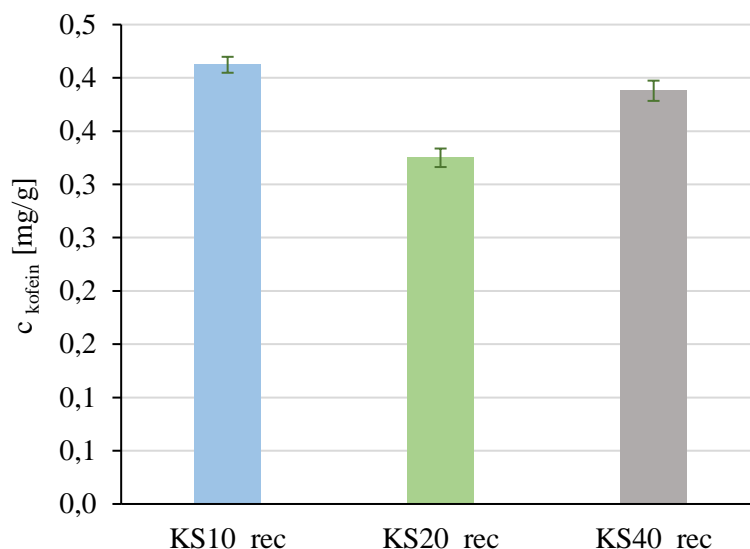
Obrázek 22 Chromatogramy znázorňující obsah FL a kofeinu ve vzorcích KS, které byly oxidovány po dobu 10 (modrá), 20 (černá) a 40 minut (růžová) recyklovaným oxidačním činidlem.

Výsledné koncentrace kofeinu ve vzorcích KS oxidovaných recyklovaným OČ po dobu 10, 20 a 40 minut jsou zaznamenány v tabulce 15 a vyneseny jsou v grafu na obrázku 22. Pomocí programu Statistica a Tukeyho testu pro mnohonásobné porovnání bylo prověřeno, zda má doba oxidace KS recyklovaným OČ vliv na obsah kofeinu. Výsledky Tukeyho testu jsou zobrazeny v tabulce 15. Z pohledu obsahu kofeinu se od sebe statisticky významně liší všechny vzorky KS, které byly oxidovány pomocí OČ po dobu 10, 20 a 40 minut. Tímto bylo potvrzeno, že se zvyšující dobou oxidace se obsah kofeinu snižuje. Nicméně můžeme předpokládat, že z ekonomického hlediska by bylo u recyklovaného OČ výhodnější využívat oxidaci po dobu 10 minut.

Tabulka 15 Obsah kofeinu ve vzorcích KS, které byly OČ po dobu 10, 20 a 40 minut

Skupina	c kofein (mg/g)	1	2	3
KS40_rec	0,3250 ± 0,009	****		
KS20_rec	0,3879 ± 0,009		****	
KS10_rec	0,4123 ± 0,007			****

Pozn.: KS10_rec, KS20_rec, KS40_rec = kávová sedlina oxidovaná recyklovaným OČ po dobu 10, 20 a 40 minut

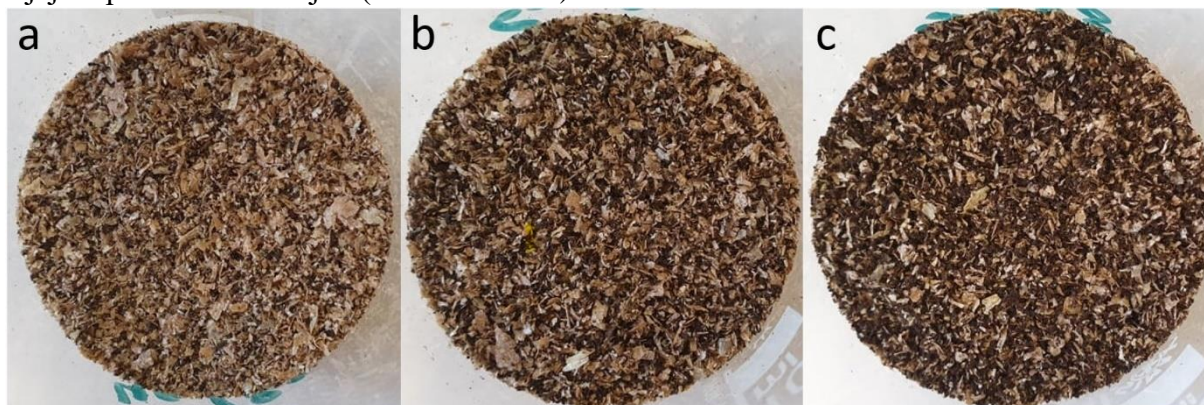


Obrázek 23 Graf znázorňující obsah kofeinu ve vzorcích kávové sedliny, které byly oxidovány oxidačním činidlem po dobu 10, 20 a 40 minut (KS10_rec, KS20_rec a KS40_rec)

4.4 Výroba pelet ze směsi KS a PO

Byly získány pelety ze směsi kávové sedliny a pšeničných otrub ve třech různých objemových poměrech 1:1, 1:2 a 2:1 a s různým obsahem vody. Na obrázku 24 jsou zobrazeny směsi, ze kterých byly získány pelety. Lze si všimnout rozdílného vzhledu těchto směsí, který se odvíjí od poměru množství kávové sedliny a pšeničných otrub. Na obrázku 25 lze vidět vyrobené pelety z KS a PO v poměru 1:1 a 1:2.

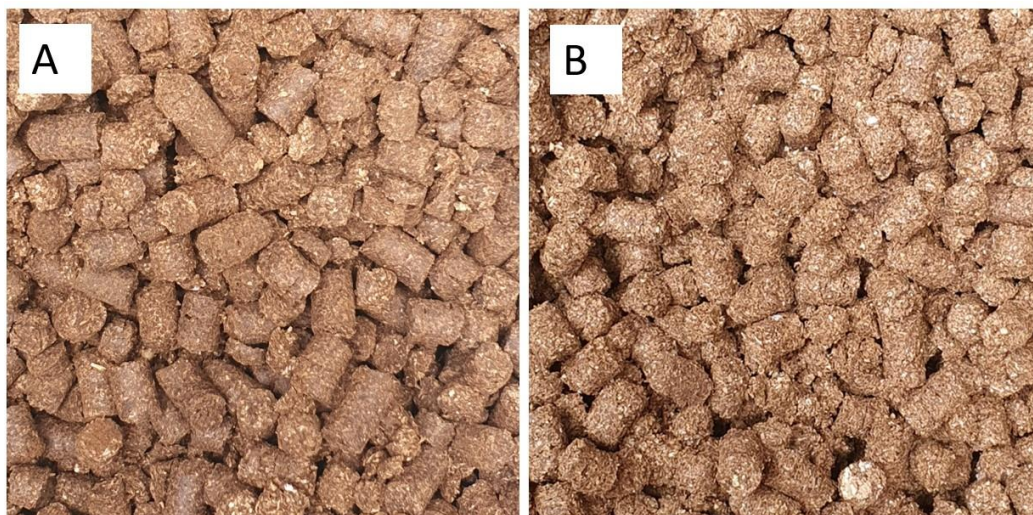
U směsi KS a PO v poměru 1:1 bylo nejprve přidáno přibližně 5 % obj vody. Pelety vzniklé z této směsi se vyznačovaly vysokou pevností, ale celková jejich výtěžnost nebyla vysoká. Byla tedy vytvořena nová směs KS/PO v poměru 1:1 a bylo k ní přidáno 7,5 % obj. vody. Tyto pelety se vyznačovaly poměrně nižší pevností, ale jejich výtěžnost byla mnohem vyšší než u pelet, u kterých bylo přidáno pouze 5 % obj vody. Nakonec bylo ke směsi KS/PO v poměru 1:1 přilito 10 % obj. vody. Zjistilo se, že tento přídavek vody byl příliš vysoký a díky tomu se pelety vyznačovaly nízkou pevností. Jako nejlépe hodnocené pelety ze směsi 1:1 byly s přídavkem 7,5 % obj. vody, jelikož jejich výtěžnost byla vysoká a jejich pevnost dostačující (viz obrázek 25).



Obrázek 24 Směsi KS a PO pro přípravu pelet v poměru 1:2 (a), 1:1 (b) a 2:1 (c)

Následně byly tvořeny pelety ze směsi KS a PO v poměru 1:2. K této směsi bylo postupně přidáváno určité množství vody. Ukázalo se, že pro nejlepší výtěžnost pelet, je nejvhodnější k této směsi přidávat 16 % obj. vody. Získaly se pelety s poměrně vysokou pevností, jejichž povrch nebyl tak hladký jako u vzorku pelet ze směsi KS/PO v poměru 1:1, ke kterým byla přidáno 7,5 % obj. vody (viz obrázek 25).

Dále byly připraveny pelety ze směsi KS a PO v poměru 2:1. U této směsi bylo postupně přidáváno určité množství vody a po dodání 20 % obj. se získaly pelety s vysokou výtěžností. Tyto pelety se vyznačovaly vysokou pevností a poměrně hladkým povrchem. Jejich pevnost byla srovnatelná s peletami ze směsi KS/PO v poměru 1:1, ke kterým byla přidáno 7,5 % obj. vody.



Obrázek 25 Pelety vyrobené ze směsi KS a PO v poměru 1:1 (A) a v poměru 1:2 (B)

4.4.1 Stanovení vlhkosti pelet pomocí Karl-Fischerovy titrace

Pomocí Karl-Fischerovy titrace byl u všech vzorků pelet změřen obsah vody. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce 16. U všech vzorků pelet lze vidět, že pšeničné otruby obsahovaly poměrně vysoké množství vlhkosti, jelikož obsah vlhkosti vyrobených pelet byl vyšší než obsah vody, který byl dodán do přípravných směsí KS a PO.

Tabulka 16 Stanovení vlhkosti v peletách ze směsi KS a PO pomocí Karl-Fischerovy titrace

Číslo vzorku pelet	Poměr KS:PO	Přídavek H ₂ O (%)	Vlhkost (%)
1	1:1	5,0	11,3
2	1:1	7,5	14,9
3	1:1	10,0	27,0
4	1:2	16,7	21,0
5	2:1	20,0	23,5

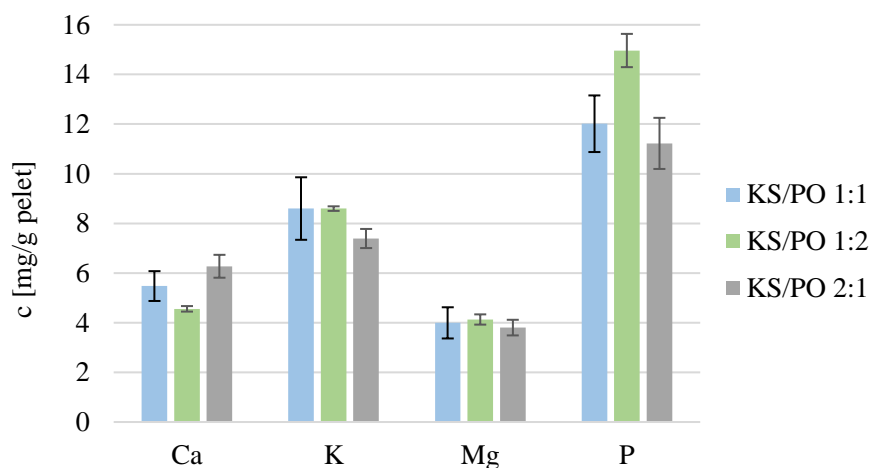
Pro přípravu pelet je potřeba dodávat určité množství vody do peletovacího materiálu, jinak by peletovací lis nebyl schopen tvořit pelety a hrozilo by ucpání jeho matrice. Nicméně pelety by se měly po výrobě nechat vysušit, jelikož hrozí jejich napadení mikroorganismy, především plísněmi. Pro výrobu pelet je doporučována výrobcem peletovacího zařízení vlhkost vstupního materiálu 20 %. Z měření obsahu vlhkosti připravených pelet je možné usuzovat, že ideální vlhkost měl materiál při přípravě pelet č. 2, 4 a 5. Případný úbytek obsahu vody v peletách mohl být způsoben nerovnoměrným zvlhčením vstupního materiálu,

nehomogenitou materiálu a také faktem, že při lisování se uvolňuje větší množství tepla, které může zapříčinit odpar vody.

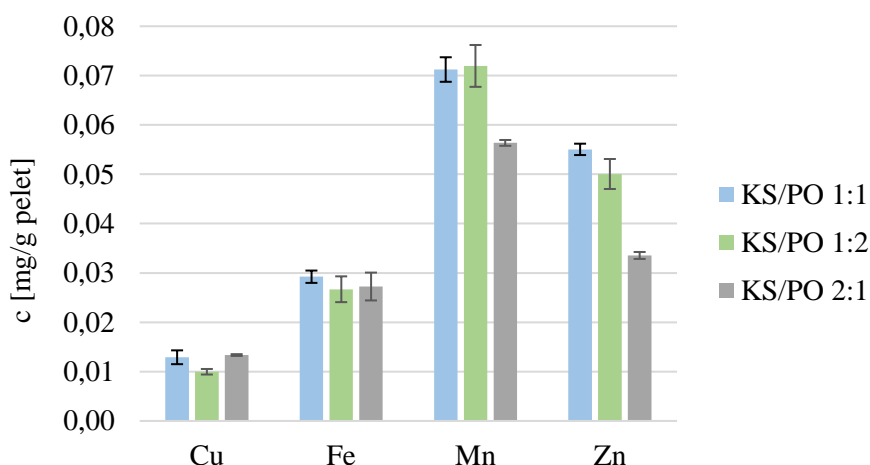
4.4.2 Elementární analýza pelet

V peletách ze směsi KS a PO o poměrech 1:1, 1:2 a 2:1 byly pomocí techniky ICP-OES analyzovány makroprvky: P, K, Ca a Mg a mikroprvky: Cu, Fe, Zn a Mn.

Výsledky elementární analýzy jsou zobrazeny v tabulce 17. Porovnání obsahu jednotlivých makroprvků a mikroprvků je znázorněno na obrázku 26, resp. na obrázku 27. Z těchto tabulek a grafů je patrné, že pelety obsahovaly ve vysoké míře především fosfor, draslík, vápník a hořčík. Tento fakt je pro využití pelet jako hnojiva velmi významný, jelikož tyto čtyři prvky patří mezi důležité makroživiny rostlin. Obsah manganu, zinku, železa a mědi je oproti předchozím prvkům nižší, ale jejich množství je i přesto pro výživu rostlin významné, jelikož se jedná o mikroprvky rostlin.



Obrázek 26 Zastoupení makroprvků v mg/g směsi pelet z KS a PO o poměrech 1:1, 1:2 a 2:1



Obrázek 27 Zastoupení mikroprvků v mg/g pelety z KS a PO o poměrech 1:1, 1:2 a 2:1

Porovnání směsí z pohledu obsahu makroprvků a mikroprvků bylo provedeno pomocí programu Statistica a Tukeyho testu pro mnohonásobné porovnání. Výsledky Tukeyho testu jsou zobrazeny v tabulce 17.

Tabulka 17 Výsledky Tukeyho testu pro obsah minerálních prvků ve vzorcích pelet

Skupina	P (mg/g)		1	2
KS/PO 2:1	11,2228	± 1,0298	****	
KS/PO 1:1	12,0149	± 1,1403	****	****
KS/PO 1:2	14,9644	± 0,6703		****
Skupina	K (mg/g)		1	
KS/PO 1:2	8,59616	± 0,0918	****	
KS/PO 1:1	8,59897	± 1,2592	****	
KS/PO 2:1	7,39154	± 0,3849	****	
Skupina	Ca (mg/g)		1	2
KS/PO 1:2	4,55842	± 0,111	****	
KS/PO 1:1	5,47617	± 0,6009	****	****
KS/PO 2:1	6,27327	± 0,4615		****
Skupina	Mg (mg/g)		1	
KS/PO 2:1	3,80273	± 0,3149	****	
KS/PO 1:1	3,99377	± 0,6279	****	
KS/PO 1:2	4,12941	± 0,2065	****	
Skupina	Mn (mg/g)		1	2
KS/PO 2:1	0,05636	± 0,0006		****
KS/PO 1:1	0,07123	± 0,0025	****	
KS/PO 1:2	0,07196	± 0,0042	****	
Skupina	Zn (mg/g)		1	2
KS/PO 2:1	0,03354	± 0,0007		****
KS/PO 1:2	0,05005	± 0,003	****	
KS/PO 1:1	0,05505	± 0,0012	****	
Skupina	Fe (mg/g)		1	
KS/PS 1:1	0,02669	± 0,0026	****	
KS/PO 1:2	0,02923	± 0,0013	****	
KS/PO 2:1	0,02724	± 0,0028	****	
Skupina	Cu (mg/g)		1	2
KS/PO 1:2	0,00997	± 0,0006	****	
KS/PO 1:1	0,0129	± 0,0014	****	****
KS/PO 2:1	0,01336	± 0,0002		****

Z pohledu obsahu Cu se od sebe statisticky významně liší směs o poměru 1:2 a směsi o poměrech 1:1 a 2:1. Směsi o poměrech 1:1 a 2:1 se z pohledu obsahu Cu od sebe neliší na hladině významnosti 0,05. Je možné, že pšeničné otruby, které byly využité ve směsi KS/PO v poměru 1:2, obsahovaly nízké množství Cu a díky tomu se tato směs vyznačovala nižším obsahem Cu. Tento výrok však nekoresponduje s hodnotami z literatury, kdy obsah Cu byl 0,019 mg/g KS a 0,0121 mg/g PO [53,58]. To však může být způsobeno jiným použitým druhem kávové sedliny nebo pšeničných otrub.

U obsahu Mn a Zn se liší směs 2:1 oproti směsím 1:1 a 1:2 na hladině významnosti 0,05. Tento statisticky významný rozdíl může být způsoben nižším obsahem Mn a Zn v kávové sedlině, jejíž množství převyšovalo obsah pšeničných otrub ve směsi 2:1 a díky tomu měla

tato směs nižší obsah Mn a Zn. Toto tvrzení potvrzují hodnoty Mn a Zn v KS a PO získané z literatury, kdy obsah Mn byl 0,029 mg/g KS a 0,078 mg/g PO a obsah Zn byl 0,008 mg/g KS a 0,089 mg/g PO [53,58].

Z pohledu obsahu Ca se směsi 1:2 a 1:1 od sebe statisticky významně neliší na hladině významnosti 0,05 a také se od sebe statisticky významně od sebe neliší směsi 1:1 a 2:1. Statisticky významně se v obsahu Ca od sebe liší směsi 1:2 a 2:1. Tento statisticky významný rozdíl, je způsobem výrazně nižším obsahem Ca ve směsi 1:2 oproti směsi 2:1. Díky tomu je možné říct, že PO pravděpodobně obsahovaly nižší obsah Ca než KS. Z literárních zdrojů bylo zjištěno, že obsah Ca je 1,2 mg/g KS a 0,7 mg/g PO, což podporuje naše předchozí tvrzení [53,58].

U případu obsahu P se směsi 2:1 a 1:1 od sebe statisticky významně neliší na hladině významnosti 0,05 a také se od sebe statisticky významně od sebe neliší směsi 1:1 a 1:2. Statisticky významně se v obsahu P od sebe liší směsi 2:1 a 1:2. Tento statisticky významný rozdíl, je způsobem nižším obsahem P ve směsi 2:1 oproti směsi 1:2. Díky tomu je možné říct, že KS pravděpodobně obsahovala nižší obsah P než PO. Toto tvrzení bylo potvrzeno hodnotami z literárních zdrojů, kde bylo stanoveno, že KS obsahuje 1,8 mg/g KS a PO obsahují 7,92 mg/g PO [53,58].

5 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce byla výroba hnojiva z odpadních substrátů potravinářského průmyslu. Pro tento účel bylo vyrobeno hnojivo ve formě pelet ze směsi pšeničných otrub a kávové sedliny.

Surová kávová sedlina (KS) obsahuje fenolické látky, které jsou pro rostliny i půdní mikroorganismy toxické, proto byla dalším cílem této práce detoxikace KS. Pro tento účel bylo využito oxidačního činidla (OČ), které bylo schopné zredukovat množství fenolických látek a zároveň kofeinu v kávové sedlině.

Detoxikace KS byla provedena oxidací po dobu 10 a 30 minut. Při 10minutové oxidaci kávové sedliny byl pozorován významný vliv na snížení obsahu fenolických látek. Při aplikaci 30minutové oxidace nedošlo k signifikantnímu rozdílu v obsahu fenolických látek a kofeinu v KS. Z toho důvodu je tedy úspornější využívat 10minutovou oxidaci.

Dále bylo zjištěno, že odtučnění KS nemá významný vliv na koncentraci fenolických látek a kofeinu v KS. I přesto však bylo zkoumáno, zda má oxidační krok vliv na odstranění tuků z KS, a to z toho důvodu, že olej by ve výsledném hnojivu mohl mít nežádoucí vliv na životní prostředí. Oxidace měla významný vliv na pokles tuku v kávové sedlině. Oxidovaná kávová sedlina obsahovala o 3,5 % hm. méně tuku než neupravená kávová sedlina.

Dále bylo studováno, zda je možné oxidační činidlo recyklovat, a přitom zachovat i jeho oxidační vlastnosti. Bylo zjištěno, že recyklované oxidační činidlo mělo významný vliv na snížení obsahu FL a kofeinu v KS. U oxidace pomocí recyklovaného oxidačního činidla byl pozorováno, že doba oxidace (10, 20 a 40 minut) nemá zásadní vliv na obsah fenolických látek, ale má významný vliv na obsah kofeinu v KS. Přesto by však z ekonomických hlediska bylo výhodnější u recyklovaného oxidačního činidla využívat 10minutovou oxidaci KS.

Z pšeničných otrub a z kávové sedliny bylo připraveno hnojivo ve formě pelet. Při peletování bylo testováno několik připravených směsí v různých poměrech otruby:KS a tyto směsi byly také v rozdílné míře zvlhčeny vodou. Jako nejlepší se z hlediska peletování ukázala být směs otruby:KS v poměru 1:1 zvlhčená na 20 % celkového obsahu vody v substrátu.

V budoucích experimentech by bylo vhodné provést růstové experimenty, ve kterých by byl zkoumán vliv aplikace vyrobeného hnojiva na růst rostlin. Také by bylo potřeba vyrobit pelety, které by obsahovaly místo neupravené kávové sedliny detoxikovanou kávovou sedlinu. Vzhledem k probíhající pandemii covid-19 a s tím souvisejících omezení se totiž nepodařilo připravit dostatečné množství detoxikované kávové sedliny pro výrobu pelet.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ROY, R.N., A. FINCK, G.J. BLAIR a H.L.S. TANDON. *Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management*. Řím: FAO, 2006. ISBN 92-5-105490-8.
- [2] ŠIMEK, Miloslav, Dana ELHOTTOVÁ a Václav PIŽL. *Živá půda* [online]. Praha: Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., pro Kancelář Akademie věd ČR [cit. 2021-7-26]. ISBN 978-80-200-2567-8. Dostupné z: <https://www.academia.cz/edice/kniha/ziva-puda>
- [3] LI, Yan, Feng FANG, Jianlin WEI, Xiaobin WU, Rongzong CUI, Guosheng LI, Fuli ZHENG a Deshui TAN. Humic Acid Fertilizer Improved Soil Properties and Soil Microbial Diversity of Continuous Cropping Peanut: A Three-Year Experiment. *Scientific Reports* [online]. 2019, **9**(1), 1-9 [cit. 2021-7-24]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-019-48620-4
- [4] JONES, R. J. A., R. HIEDERER, E. RUSCO a L. MONTANARELLA. Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support. *European Journal of Soil Science* [online]. 2005, **56**(5), 655-671 [cit. 2021-7-24]. ISSN 1351-0754. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2389.2005.00728.x
- [5] MENŠÍK, Ladislav, Lukáš HLISNIKOVSÝ, Lubica POSPÍŠILOVÁ a Eva KUNZOVÁ. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. *Journal of Soils and Sediments* [online]. 2018, **18**(8), 2813-2822 [cit. 2021-7-24]. ISSN 1439-0108. Dostupné z: doi:10.1007/s11368-018-1933-3
- [6] HOUGHTON, R.A. The Contemporary Carbon Cycle. *Treatise on Geochemistry* [online]. USA: Elsevier, 2003, s. 473-513 [cit. 2021-02-23]. ISBN 9780080548074. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/08168-8>.)
- [7] LEE, Hannah. The Climate System and Climate Change. LEE, Hannah. *Climate Change Biology* [online]. Elsevier Science Publishing Co, 2010, s. 13-52 [cit. 2021-04-20]. ISBN 978-0-12-374182-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374182-0.00002-9>
- [8] HORWATH, William. Carbon Cycling: The Dynamics and Formation of Organic Matter. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* [online]. 4th. Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, USA: Elsevier Science Publishing Co, 2015, s. 339-382 [cit. 2021-02-23]. ISBN 9780124159556. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05497-2>.
- [9] The short-term C cycle. In: *ResearchGate GmbH* [online]. © 2021 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/281655981_Carbon_cycling_and_formation_of_soil_organic_matter
- [10] ŠIMEK, Miloslav a Jana MACKOVÁ. *Degradace půdy a emise skleníkových plynů z půd a ze zemědělství – nutné zlo?* [online]. Praha: o Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., pro Kancelář Akademie věd ČR, v. v. i., 2021 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://www.academia.cz/uploads/media/preview/0001/04/245d428abe01ecf96ef19656e8763b50caa481f2.pdf>
- [11] Carbon cycle. In: <https://www.geography-fieldwork.org/#primary-nav> [online]. Preston Montford, Shrewsbury, Shropshire, SY4 1HW, © 2016 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.geography-fieldwork.org/a-level/water-carbon/carbon-cycle/introduction/#primary-nav>
- [12] GRACE, John. Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology* [online]. School of GeoSciences, University of Edinburgh, Darwin Building,

- Edinburgh EH9 3JU, UK, 2004, **92**(4), 189-202 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00874.x>
- [13] KUPČÍKOVÁ, Natálie. *UHLÍKOVÝ CYKLUS, EMISE CO₂ A KLIMATICKÁ ZMĚNA*. Brno, 2020. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/xp06c/DIPLOMOVA-PRACE_N_KUPCIKOVA.pdf
- [14] PITELKA, L. a A. RAMIREZ ROJAS. The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. *TAR Climate Change 2001: The Scientific Basis* [online]. IPCC, **2001** [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/TAR-03.pdf>
- [15] JŮZL, Miroslav, Tomáš STŘEDA a Jaroslav ROŽNOVSKÝ. Koloběh uhlíku v agroekosystému a možnosti zvýšení jeho ukládání v biomase polních plodin. ROŽNOVSKÝ, J. a T. LITSCHMANN. *Bioklimatologie současnosti a budoucnosti* [online]. Česká republika: Česká bioklimatologická společnost v nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 2005 [cit. 2021-02-23]. ISBN 80-86 690-31-08. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/sbornik05b/Juzl.pdf>
- [16] Agriculture helps fight against climate change. "4 per 1000" Initiative [online]. 2018 [cit. 2021-7-27]. Dostupné z: <https://www.4p1000.org/#title352>
- [17] WHITE, P. J. a P. H. BROWN. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany* [online]. 2010, **105**(7), 1073-1080 [cit. 2020-11-16]. ISSN 1095-8290. Dostupné z: <https://academic.oup.com/aob/article/105/7/1073/149237>
- [18] POGRZEBA, Marta, Szymon RUSINOWSKI a Jacek KRZYZAK. Macroelements and macroelements and heavy metals content in panicum virgatum cultivated on contaminated soil under different fertilization. *The Journal "Agriculture and Forestry"* [online]. 2017, 63(1) [cit. 2021-7-24]. ISSN 05545579. Dostupné z: doi:10.17707/AgricultForest.63.1.08
- [19] VON WIRÉN, Nicolaus, Sonia GAZZARRINI a Wolf B. FROMMER. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. *Plant and Soil* [online]. 1997, **196**(2), 191-199 [cit. 2021-7-28]. ISSN 0032079X. Dostupné z: doi:10.1023/A:1004241722172
- [20] LOŠÁK, Tomáš. *Uplatnění dusíku a hnojiva s inhibitorem ureázy při hnojení brambor: certifikovaná metodika* [online]. Havlíčkův Brod: Výzkumný ústav bramborářský, 2014 [cit. 2021-7-28]. Praktické informace. ISBN 978-80-86940-62-5. Dostupné z: https://www.vubhb.cz/library.ashx?file=45_pi_58_uplatneni_dusiku_a_hnojiva.pdf
- [21] ŠETLÍK, Ivan, Frideta SEIDLOVÁ a Jiří ŠANTRŮČEK. *MINERÁLNÍ A ORGANICKÁ VÝŽIVA ROSTLIN. Fyziologie rostlin* [online]. České Budějovice: Učební text Biologické fakulty Jihočeské Univerzity, 2004 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/biochem/kucera/rostliny/is/kap07.pdf>
- [22] RICHTER, Rostislav. FOSFOR V PŮDĚ. *ŽIVINNÝ REŽIM PŮD* [online]. Brno: Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně, 2007 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_p.htm
- [23] MALHOTRA, Hina, VANDANA, Sandeep SHARMA a Renu PANDEY. Phosphorus Nutrition: Plant Growth in Response to Deficiency and Excess. In: *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance* [online]. Singapore: Springer Singapore, 2018, s.171–190. ISBN 978-981-10-9043-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-10-9044-8_7
- [24] BAKER, Alison, S. Antony CEASAR, Antony J. PALMER, Jaimie B. PATERSON, Wanjun QI, Stephen P. MUENCH a Stephen A. BALDWIN. Replace, reuse, recycle: improving the sustainable use of phosphorus by plants. *Journal of Experimental Botany* [online]. 2015, 66(12), 3523–3540. ISSN 0022-0957. Dostupné z: doi:10.1093/jxb/erv210

- [25] VISUAL DIAGNOSIS OF NUTRIENT DEFICIENCY. *Smart fertilizer software* [online]. 2020 [cit. 2021-7-29]. Dostupné z: <https://www.smart-fertilizer.com/articles/visual-diagnosis-of-nutrient-deficiency/>
- [26] SLAVÍKOVÁ, Zuzana. Studium možnosti využití pevného odpadu z biorafinace kávové sedliny pro zemědělské účely. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zavprace/detail/117721>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Jaromír Pořízka.
- [27] BLANKENSHIP, Robert E. *Molecular mechanisms of photosynthesis*. 2nd ed. Chichester: Wiley Blackwell, 2014. ISBN 978-1-4051-8976-7
- [28] ŠETLÍK, Ivan, Frideta SEIDLOVÁ a Jiří ŠANTRŮČEK. STAV A POHYB VODY V ROSTLINĚ. *Fyziologie rostlin* [online]. České Budějovice: Učební text Biologické fakulty Jihočeské Univerzity, 2004 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/biochem/kucera/rostliny/is/kap07.pdf>
- [29] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 156/199 Sb. ze dne 13.7.1998 o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1998 Částka 54. Dostupné také z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=156&r=1998>
- [30] DINEL, Henri. Pure organic fertilizer. Feb. 11, 2003. USA. US 6517600 B1. Zapsáno Feb. 11, 2003.
- [31] JOHNSTON, A.E. Organic manures and mineral fertilizers. *Improved Crop Quality by Nutrient Management*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1999, **86**, 7-11. Developments in Plant and Soil Sciences. ISBN 978-0-7923-5850-3. Dostupné z: doi:10.1007/978-0-585-37449-9_2
- [32] FERNÁNDEZ-LUQUEÑO, Fabián, Fernando LÓPEZ-VALDEZ a María Fernanda VALERIO RODRÍGUEZ. Mineral fertilizers, bio-fertilizers and PGPRs: Advantages and disadvantages of its implementation. SINHA, Shishir, KK PANT a Shailendra BAJPAI. *Fertilizer Technology II: Biofertilizers*. USA: Studium Press, 2015, s. 277-294. ISBN 978-1-62699-045-6.
- [33] HLUŠEK, Jaroslav, Pavel RYANT a Tomáš LOŠÁK. Organická hnojiva a jejich postavení v zemědělské praxi. *Úroda*. Praha, 2002, **50**(9), 9-12. ISSN 0139-6013.
- [34] KARKANAS, Panagiotis. Guano. NICOSIA, Cristiano a Georges STOOPS. *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology* [online]. Chichester, UK: John Wiley, 2017, s. 83-89 [cit. 2021-04-20]. ISBN 9781118941058. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781118941065.ch8>
- [35] DU, Chenyu, Jwan J. ABDULLAH, Darren GREETHAM, Danni FU, Mengyuan YU, Liwei REN, Shuang LI a Diannan LU. Valorization of food waste into biofertiliser and its field application. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2018, **187**, 273–284. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.211
- [36] STEVENSON, Leo, Frankie PHILLIPS, Kathryn O'SULLIVAN a Jenny WALTON. Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* [online]. 2012, **63**(8), 1001-1013 [cit. 2021-03-03]. ISSN 0963-7486. Dostupné z: doi:10.3109/09637486.2012.687366.
- [37] POSNER, Elieser S. a Arthur N. HIBBS. *Wheat flour milling*. 2. ed. St. Paul, Minnesota 55121, U.S.A.: Amer Assn of Cereal Chemists, 2011 [cit. 2021-03-06]. ISBN 9781891127403.

- [38] TORRES PÉREZ, María Dolores. *Flour: Production, Varieties and Nutrition*. New York: Nova, 2018 [cit. 2021-03-09]. ISBN 978-1536137613.
- [39] PŘÍHODA, J., P. SKŘIVAN a M. HRUŠKOVÁ. *Cereální chemie a technologie I: Cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-7080-530-7.
- [40] DAPČEVIĆ-HADNAĐEV, Tamara, Miroslav HADNAĐEV a Milica POJIĆ. 2 - The healthy components of cereal by-products and their functional properties. GALANAKIS, Charis M. *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products* [online]. Woodhead Publishing, 2018, s. 27-61 [cit. 2021-03-03]. ISBN 978-0-08-102162-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102162-0.00002-2>
- [41] CHALAMACHARLA, R.B., K. HARSHA, K.B. SHEIK a C.K. VISWANATHA. Wheat Bran-Composition and Nutritional Quality: A Review. *Biotechnology and Microbiology* [online]. Department of Biotechnology, GITAM University, India, 2018, April 30, 2018, **9**(1), 21-27 [cit. 2021-03-19]. ISSN 2474-7637. Dostupné z: doi:10.19080/AIBM.2018.09.555754
- [42] ONIPE, Oluwatoyin O., Afam I. O. JIDEANI a Daniso BESWA. Wheat grain structure. In: *IFST Institute of Food Science and Technology* [online]. South Africa: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/>, 2015, 14 November 2015 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ijfs.12935>.
- [43] UÇAR, Ruhan C., Aslıhan ŞENGÜL a Melih S. CELIKTAS. Biorefineries for wheat bran: sustainable utilization and market potential. GALANAKIS, Charis M. *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products: A volume in Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* [online]. Woodhead Publishing, 2018, s. 87-124 [cit. 2021-04-21]. ISBN 978-0-08-102162-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102162-0.00004-6>
- [44] SAPIRSTEIN, H.D. Bioactive Compounds in Wheat Bran. WRIGLEY, Colin, Harold CORKE, Koushik SEETHARAMAN a Jon FAUBION. *Encyclopedia of Food Grains* [online]. 2nd. Kidlington, Oxford, UK: Elsevier, 2016, s. 268-276 [cit. 2021-03-25]. ISBN 978-0-12-394786-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00109-1>
- [45] ZITTERMAN, A. DIETARY FIBER | Bran. CABALLERO, Benjamin. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* [online]. 2nd. USA: Elsevier, 2003, s. 1844-1850 [cit. 2021-03-25]. ISBN 978-0-12-227055-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00346-1>
- [46] MAJZOobi, Mahsa, Safoora PASHANGEH a Asgar FARAHNAKY. Effect of Wheat Bran of Reduced Phytic Acid Content on the Quality of Batter and Sponge Cake. *Journal of Food Processing and Preservation* [online]. 2014, **38**(3), 987-995 [cit. 2021-03-26]. ISSN 01458892. Dostupné z: doi:10.1111/jfpp.12055.
- [47] MAJZOobi, Mahsa, Safoora PASHANGEH, Asgar FARAHNAKY, Mohammad Hadi ESKANDARI a Jalal JAMALIAN. Effect of particle size reduction, hydrothermal and fermentation treatments on phytic acid content and some physicochemical properties of wheat bran. *Journal of Food Science and Technology* [online]. 2014, **51**(10), 2755-2761 [cit. 2021-03-26]. ISSN 0022-1155. Dostupné z: doi:10.1007/s13197-012-0802-0.
- [48] LI, Li, Claudia HARFLETT, Michael H. BEALE a Jane L. WARD. Structures of common phenolic acids. In: *Science Direct* [online]. Nizozemsko: Elsevier, c2021, 2009 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-70-0.50008-X>
- [49] Resistant starch and health. HAMAKER, Bruce R. *Technology of Functional Cereal Products: A volume in Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and*

Nutrition [online]. Elsevier, 2008, s. 63-85 [cit. 2021-7-28]. ISBN 978-1-84569-177-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9781845693886.1.63>

[50] STEVENSON, Leo, Frankie PHILLIPS, Kathryn O'SULLIVAN a Jenny WALTON. Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* [online]. 2012, **63**(8), 1001-1013 [cit. 2021-7-28]. ISSN 0963-7486. Dostupné z: doi:10.3109/09637486.2012.687366

[51] GAO, Jiande, Jin LIU, Hui PENG, Yaya WANG, Sha CHENG a Ziqiang LEI. Preparation of a low-cost and eco-friendly superabsorbent composite based on wheat bran and laterite for potential application in Chinese herbal medicine growth. *Royal Society Open Science* [online]. 2018, **5**(5), 1-15 [cit. 2021-7-28]. ISSN 2054-5703. Dostupné z: doi:10.1098/rsos.180007

[52] BADAR, Rabia a Shamim A. QURESHI. Utilization of composted agricultural waste as organic fertilizer for the growth promotion of sunflower plants. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* [online]. 2015, **3**(5), 184-187 [cit. 2021-7-28]. ISSN 2278-4136. Dostupné z: <https://www.phytojournal.com/archives/2015/vol3issue5/PartD/3-6-10.1-343.pdf>

[53] FARDET, Anthony. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? *Nutrition Research Reviews* [online]. 2010, **23**(1), 65-134 [cit. 2021-03-26]. ISSN 0954-4224. Dostupné z: doi:10.1017/S0954422410000041.

[54] MURTHY, Pushpa S. a M. MADHAVA NAIDU. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2012, **66**, 45-58 [cit. 2021-03-31]. ISSN 09213449. Dostupné z: doi:10.1016/j.resconrec.2012.06.005

[55] ATABANI, A.E., Ala'a H. AL-MUHTASEB, Gopalakrishnan KUMAR, Ganesh Dattatraya SARATALE, Muhammad ASLAM, Hassnain Abbas KHAN, Zafar SAID a Eyas MAHMOUD. Valorization of spent coffee grounds into biofuels and value-added products: Pathway towards integrated bio-refinery. *Fuel* [online]. 2019, **254** [cit. 2021-04-01]. ISSN 00162361. Dostupné z: doi:10.1016/j.fuel.2019.115640

[56] HAILE, Mesfin a Won Hee KANG. The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. *Journal of Food Quality* [online]. 2019, **2019**, 1-6 [cit. 2021-04-01]. ISSN 0146-9428. Dostupné z: doi:10.1155/2019/4836709

[57] DAVIS, AARON P., RAFAEL GOVAERTS, DIANE M. BRIDSON a PIET STOFFELEN. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* [online]. 2006, **152**(4), 465-512 [cit. 2021-03-31]. ISSN 1095-8339. Dostupné z: doi:10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x

[58] BALLESTEROS, Lina F., José A. TEIXEIRA a Solange I. MUSSATTO. Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food and Bioprocess Technology* [online]. 2014, **7**(12), 3493-3503 [cit. 2021-7-25]. ISSN 1935-5130. Dostupné z: doi:10.1007/s11947-014-1349-z

[59] MASSAYA, Jackie, André PRATES PEREIRA, Ben MILLS-LAMPTEY, Jack BENJAMIN a Christopher J. CHUCK. Conceptualization of a spent coffee grounds biorefinery: A review of existing valorisation approaches. *Food and Bioprocess Technology* [online]. 2019, **118**, 149–166. ISSN 09603085. Dostupné z: [doi:10.1016/j.fbp.2019.08.010](https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.08.010)

[60] RAJESH BANU, J., S. KAVITHA, R. YUKESH KANNAH, M. DINESH KUMAR, PREETHI, A.E. ATABANI a Gopalakrishnan KUMAR. Biorefinery of spent coffee grounds waste: Viable pathway towards circular bioeconomy. *Bioresource Technology* [online]. 2020, **302** [cit. 2021-04-01]. ISSN 09608524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2020.122821

- [61] Coffee fruit (berry/cherry) structure. In: *Science Direct* [online]. Nizozemsko: Elsevier, c2021 [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115640>
- [62] OBRUCA, Stanislav, Sinisa PETRIK, Pavla BENESOVA, Zdenek SVOBODA, Libor EREMKA a Ivana MAROVA. Utilization of oil extracted from spent coffee grounds for sustainable production of polyhydroxyalkanoates. *Applied Microbiology and Biotechnology* [online]. 2014, **98**(13), 5883-5890 [cit. 2021-04-05]. ISSN 0175-7598. Dostupné z: doi:10.1007/s00253-014-5653-3
- [63] CIESIELCZUK, Tomasz, Czesława ROSIK-DULEWSKA, Joanna POLUSZYŃSKA, Daria MIŁEK, Agnieszka SZEWCZYK a Irena SŁAWIŃSKA. Acute Toxicity of Experimental Fertilizers Made of Spent Coffee Grounds. *Waste and Biomass Valorization* [online]. 2018, **9**(11), 2157-2164 [cit. 2021-7-12]. ISSN 1877-2641. Dostupné z: doi:10.1007/s12649-017-9980-3
- [64] CHRYSARGYRIS, Antonios, Omiros ANTONIOU, Panayiota XYLIA, Spyridon PETROPOULOS a Nikos TZORTZAKIS. The use of spent coffee grounds in growing media for the production of Brassica seedlings in nurseries. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2020, 06 February 2020 [cit. 2020-10-29]. ISSN 0944-1344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-020-07944-9
- [65] HARDGROVE, Sarah J. a Stephen J. LIVESLEY. Applying spent coffee grounds directly to urban agriculture soils greatly reduces plant growth. *Urban Forestry & Urban Greening* [online]. 2016, **18**, 1-8 [cit. 2021-7-12]. ISSN 16188667. Dostupné z: doi:10.1016/j.ufug.2016.02.015
- [66] KASONGO, R. K., A. VERDOODT, P. KANYANKAGOTE, G. BAERT a E. Van RANST. Coffee waste as an alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils in humid tropical environments. *Soil Use and Management* [online]. 2011, **27**(1), 94-102 [cit. 2021-7-29]. ISSN 02660032. Dostupné z: doi:10.1111/j.1475-2743.2010.00315.x
- [67] Reigosa, M., Souto, X. & Gonz'lez, L. Effect of phenolic compounds on the germination of six weeds species. *Plant Growth Regulation* **28**, 83–88 (1999). <https://doi.org/10.1023/A:1006269716762>
- [68] LIU, K. a G.W. PRICE. Evaluation of three composting systems for the management of spent coffee grounds. *Bioresource Technology* [online]. 2011, **102**(17), 7966-7974 [cit. 2021-7-12]. ISSN 09608524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2011.05.073
- [69] CRUZ, Rebeca, Simone MORAIS, Eulália MENDES, José A. PEREIRA, Paula BAPTISTA a Susana CASAL. Improvement of vegetables elemental quality by espresso coffee residues. *Food Chemistry* [online]. 2014, **148**, 294–299. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2013.10.059
- [70] CRUZ, Rebeca, Eulália MENDES, Álvaro TORRINHA, Simone MORAIS, José Alberto PEREIRA, Paula BAPTISTA a Susana CASAL. Revalorization of spent coffee residues by a direct agronomic approach. *Food Research International* [online]. 2015, **73**, 190–196. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2014.11.018
- [71] [Matrice peletovacího lisu]. Vše pro pelety [online]. 2018 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <http://vsepropelety.cz/wp-content/uploads/2017/06/P5150273-1.jpg>
- [72] CURRIE, Lloyd A. Limits for qualitative detection and quantitative determination. Application to radiochemistry. *Analytical Chemistry* [online]. 40. 1968 [cit. 2021-6-15]. ISSN 0003-2700. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac60259a007>
- [73] POHANKA, Miroslav. Základy statistiky laboratorních experimentů. *Vojenské Zdravotnické Listy* [online]. 2010, 2010, **79**(2), 60-63 [cit. 2021-7-21]. Dostupné z: https://www.unob.cz/fvz/fakulta/Documents/VZL/2010/2_2010/5_Pohanka.pdf

- [74]** BELGUIDOUM, K., H. AMIRA-GUEBAILIA, Y. BOULMOKH a O. HOUACHE. HPLC coupled to UV–vis detection for quantitative determination of phenolic compounds and caffeine in different brands of coffee in the Algerian market. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [online]. 2014, **45**(4), 1314-1320 [cit. 2021-7-18]. ISSN 18761070. Dostupné z: doi:10.1016/j.jtice.2014.03.014
- [75]** HAILE, Mebrahtu. Integrated volarization of spent coffee grounds to biofuels. *Biofuel Research Journal* [online]. 2014, **1**(2), 65-69 [cit. 2021-7-19]. ISSN 22928782. Dostupné z: doi:10.18331/BRJ2015.1.2.6

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AOP	Pokročilé oxidační procesy
DAD	UV/VIS detektor s diodovým polem
FL	Fenolické látky
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Mezivládní panel pro změnu klimatu)
KF	Kyselina ferulová
KG	Kyselina gallová
KCH	Kyselina chlorogenová
KK	Kyselina kávová
KS	Kávová sedlina
KS10	10min oxidovaná kávová sedlina
KS30	30min oxidovaná kávová sedlina
KS30_odtuč	30min oxidovaná kávová sedlina a poté odtučněná
KS10_rec	10min oxidovaná kávová sedlina recyklovaným oxidačním činidlem
KS20_rec	20min oxidovaná kávová sedlina recyklovaným oxidačním činidlem
KS40_rec	40min oxidovaná kávová sedlina recyklovaným oxidačním činidlem
KS/PO 1:1	Peleta složená z kávové sedliny a pšeničných otrub v poměru 1:1
KS/PO 1:2	Peleta složená z kávové sedliny a pšeničných otrub v poměru 1:2
KS/PO 2:1	Peleta složená z kávové sedliny a pšeničných otrub v poměru 2:1
OČ	Oxidační činidlo
OKS10	Odtučněná a poté 10min oxidovaná kávová sedlina
PO	Pšeničné otruby