

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



Peletizace biocharové směsi za účelem zajištění optimální vlhkosti v půdě při minimálním ekologickém dopadu na životní prostředí

Diplomová práce

Bc. František Srp

Ing. Kateřina Hájková, Ph.D.

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. František Srp

Regionální environmentální správa

Název práce

Peletizace biocharové směsi za účelem zajištění optimální vlhkosti v půdě při minimálním ekologickém dopadu na životní prostředí

Název anglicky

Pelletization of the biochar mixture to ensure optimal moisture in the soil with minimal ecological impact on the environment

Cíle práce

Tato práce pojednává o zpětném využití nadbytku ekonomicky nehodnotného kůrovcového dřeva v zemědělství, průmyslu či lesnictví. Cílem práce je uskutečnění výroby pelet z biocharové směsi (pyrolyzované kůrovcové dřevo, buničina ze dřeva z kůrovcové kalamity a živiny). Hodnocenými faktory budou vybrané parametry procesu peletování. Tyto pelety mají v půdě zaručit optimální vlhkost a dostatek živin při výsadbě nových rostlin s minimálním dopadem na životní prostředí. Účelem této závěrečné práce je využití ekologických živin a biologických přípravků šetrných pro životní prostředí, a tím zajistit půdě potřebné živiny bez nebezpečných chemických pesticidů.

Metodika

Literární rešerše o surovinách využitých pro peletizaci (září-listopad 2022).

Stanovení vhodného metodického postupu výroby pelet (listopad 2022).

Výroba pelet (prosinec 2022).

Hodnocení vybraných parametrů procesu peletování (leden-únor 2023).

Zpracování naměřených dat (březen 2023).

Závěr (březen 2023).

Doporučený rozsah práce

60-80

Klíčová slova

blochar, peletizace, vlhkost, rozpadavost

Doporučené zdroje informací

1. FRODESON, S., HENRIKSSON, G., BERGHEL, J. Pelletizing pure biomass substances to investigate the mechanical properties and bonding mechanisms. *BioResources*, 2018, 13.1: 1202-1222.
2. NIELSEN, N. P. K., et al. Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets. *Wood and Fiber Science*, 2009, 41.4: 414-425.
3. OBERNBERGER, I., THEK, G. *The Pellet Handbook – the production and thermal utilisation of biomass pellets*. 2010, (1 ed.) London, UK: Earthscan Ltd.
4. PUIG-ARNAVAT, M., et al. From a single pellet press to a bench scale pellet mill—Pelletizing six different biomass feedstocks. *Fuel processing technology*, 2016, 142: 27-33.
5. SIXTA, H. *Handbook of pulp*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006, 1369 s. ISBN 3-527-30999-3.
6. STELTE, W., et al. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel*, 2011, 90.11: 3285-3290.
7. VERHEUEN, F., JEFFERY, S., BASTOS, A.C., VAN DER VELDE, M., DIAFAS, I. *Biochar Application to Soils*. Luxembourg

Předběžný termín obhajoby

2022/23 ZS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Kateřina Hájková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 14. 12. 2022

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 20. 12. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 07. 02. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou/závěrečnou práci na téma: „Peletizace biocharové směsi za účelem zajištění optimální vlhkosti v půdě při minimálním ekologickém dopadu na životní prostředí“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji diplomovou/závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000Sb. o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení §35. odst. 3 tohoto zákon, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové/závěrečné práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně doplnění dalších zákonů ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 26.3.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé diplomové práce Ing. Kateřině Hájkové, Ph.D. z Fakulty lesnictví a dřevařství za odborné vedení, veškerý věnovaný čas, vstřícnost, ochotu, a především velkou trpělivost. Dále bych rád také poděkoval své rodině, která mi byla velkou oporou při studiu.

Peletizace biocharové směsi za účelem zajištění optimální vlhkosti v půdě při minimálním ekologickém dopadu na životní prostředí

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o výrobě pelet a jejich zpětnému využití v lesnictví, průmyslu a zemědělství. Tyto pelety byly vyrobeny z nadbytečného ekonomicky nevhodného dřeva vzniklého po kůrovcové kalamitě v České republice. Pelety budou určeny především jako zdroj dostatku živin a optimální vlhkosti v půdě u nově vysazených rostlin. Na začátku práce je rozsáhlá rešerše o biocharu a dalších použitých surovinách pro peletizaci.

V experimentální části byly vyrobeny pelety obsahující biocharovou směs (pyrolyzované kůrovcové dřevo a živiny), buničinu, konopnou a obilnou vlákninu. Pro tuto směs byly vyrobené pelety o různém stupni mletí vlákniny a tlaku použitého při jejich výrobě. U vyrobených pelet proběhlo zkoumání jejich tvrdosti, rozpadavosti, sorpčních vlastností a jako poslední byly analyzovány pelety i z hlediska chemie (inkubační pokus, Mehlich). Při celém procesu byl kladen důraz na minimální dopad na životní prostředí.

Z výsledků experimentů vyplynulo, že tlak ani stupeň mletí na vybrané vlastnosti nemají výrazný vliv. Bohužel i inkubační pokus a chemická analýza směsi použité pro výrobu pelet potvrdili, že výsledný produkt obsahuje vysoké množství některých nežádoucích prvků.

Klíčová slova: biochar, peletizace, sorpční vlastnosti, rozpadavost

Pelletization of the biochar mixture to ensure optimal moisture in the soil with minimal ecological impact on the environment

This diploma thesis explores the production and subsequent utilization of pellets in forestry, industry, and agriculture. These pellets are produced from economically valueless wood surplus generated in the aftermath of the bark beetle infestation in the Czech Republic. The primary intention behind these pellets is to serve as a source of essential nutrients and maintain optimal soil moisture for newly planted flora. The thesis initiates with a comprehensive review of biochar and other materials employed in pellet production.

In the experimental segment, pellets were crafted incorporating a biochar blend (pyrolyzed bark wood with nutrients), along with pulp, hemp, and grain fibers. This blend underwent variations in fiber granularity and the compression force applied during pellet fabrication. The resultant pellets were assessed for hardness, disintegration capability, sorption characteristics, and chemical composition (through incubation experiments and Mehlich 3 extraction). Throughout the study, a strong emphasis was placed on minimizing environmental impact.

Experimental outcomes indicated that neither the compression force nor the fiber granularity substantially influenced the assessed properties. However, incubation experiments and chemical analysis of the pellet mix revealed the presence of high concentrations of certain undesirable elements.

Keywords: biochar, pelletization, sorption properties, degradability

Obsah

1.	Úvod	11
2.	Cíle práce	12
3.	Teoretická část	13
3.1	Biochar	13
3.1.1	Výroba biocharu	13
3.1.2	Využití biocharu	14
3.2	Buničina	16
3.2.1	Papírenská buničina	16
3.2.2	Buničina z přírodního lignocelulózového vlákna	16
3.3	Hnojiva	17
3.3.1	Vermikompost	17
	Pozitiva	17
	Použití	18
3.3.2	Dolophos	18
	Dávkování	18
3.3.3	Patenkali	19
	Dávkování	19
3.3.4	Ledek vápenatý	19
	Výhody	19
3.4	Rostlinná vláknina	20
3.4.1	Konopí	20
	Ekologie	20
	Charakteristika	20
	Využití	21
3.4.2	Pšeničná sláma	21
	Ekologie	21
	Charakteristika	22
	Využití	22
3.5	Peletizace	22
3.5.1	Peletizace dřevěného materiálu	23
3.5.2	Peletizovaný kompost	24
3.6	Shrnutí dosavadních poznatků	25
4.	Metodika	27
4.1	Použité suroviny	27

4.1.1 Biocharová pasta.....	27
Biochar	28
Vermitea.....	29
Dolophos	29
Patenkali.....	29
Ledek vápenatý	30
4.1.2 Celulóza	30
4.1.3 Konopí	30
4.1.4 Pšeničná sláma.....	30
4.2 Příprava směsi	30
4.3 Výroba pelet	34
4.3.1 Vážení směsi	34
4.3.2 Lisování pelet.....	35
4.3.3 Sušení pelet.....	36
4.3.4 Vážení a měření	36
4.4 Testování pelet	37
4.4.1 Hustota pelet	37
4.4.2 Rozpadavost pelet.....	37
4.4.3 Měření tvrdosti podle Brinella.....	37
4.4.4 Sorpční vlastnosti pelet.....	38
4.4.5 Inkubační pokus.....	38
Měření pH	39
Měření vodivosti	39
Stanovení biogenních prvků.....	39
Stanovení iontů	40
Stanovení celkového dusíku a organického uhlíku.....	40
4.4.6 Mehlich – chemický rozbor pelet	41
5. Výsledky a diskuse	42
5.1 Rozpadavost pelet	42
5.2 Měření tvrdosti podle Brinella	43
5.3 Sorpční vlastnosti pelet	44
5.4 Inkubační pokus	45
5.5 Mehlich – chemický rozbor pelet.....	47
6. Závěr	49
7. Seznam použitých zdrojů	51
8. Seznam obrázků	57

9.	Seznam tabulek	58
10.	Přílohy.....	59

1. Úvod

V současnosti je v přírodě největším problémem sucho. Toto téma rezonuje hlavně v oblastech zabývajících se ekologií. Proto je vyvíjena snaha o nejehospodárnější využití přírodních zdrojů, a to zejména v rámci cirkularity – cirkulární ekonomika. Každá surovina má své specifické vlastnosti, které ji ovlivňují nebo ji mohou limitovat při použití pro výrobu dalších produktů, naštěstí lze tyto vlastnosti upravit.

Během několika posledních let se nejen v České republice, ale také ve střední Evropě potýkáme s kůrovcovou kalamitou, která je způsobena především dlouhodobým suchem a projevuje se v lesním porostu nadměrným výskytem napadeného dřeva. To způsobilo významný ekonomický pokles hodnoty dřeva. Proto se tato práce zaměřuje na zpracování nadbytku dřeva po kůrovcové kalamitě a jeho následné využití v různých oborech jakými jsou lesnictví, průmysl či zemědělství.

Jednou z částí této práce je možnost výroby biocharových pelet, které jsou z části vyrobeny z dřevní štěpky pocházející z kůrovcové kalamity (dřevní vláknina) a další složkou je dřevo zpracované za pomoci pyrolýzy (biochar). V neposlední řadě pelety také obsahují konopnou, obilnou vlákninu a živiny. Pelety budou v půdě sloužit jako výživový a vlhkost zadržující materiál určený pro nově vysazené rostliny za minimálního dopadu na životní prostředí.

Druhá část práce je věnována vyhodnocení důležitých parametrů obsažených v peletovacím procesu, jakými jsou například tlak využitý při lisování, hrubost směsi určené k výrobě pelet. Zde se budou analyzovat i chemické vlastnosti, které budou vyhodnoceny z hlediska možnosti použití pelet do půdy.

2. Cíle práce

Tato práce se zabývá využitím nadbytečného dřeva, které ztratilo svou ekonomickou hodnotu v důsledku kůrovcové kalamity v různých odvětvích, jako jsou lesnictví, průmysl, ale také zemědělství.

Hlavním cílem práce je výroba biocharových pelet, které obsahují dřevo zpracované pomocí pyrolýzy s přidavkem živin a vlákniny, která pochází z dřevní štěpky po kůrovcové kalamitě. Ve směsi je dále obsažena rostlinná vláknina z konopné a obilné slámy. Budou hodnoceny klíčové parametry peletovacího procesu, přičemž pelety budou následně sloužit jako zdroj pro optimální vlhkost v půdě a zaručí dostatek živin při výsadbě nových rostlin, a to s minimálním dopadem na životní prostředí. Záměrem závěrečné práce je využití biologických přípravků a ekologicky šetrných živin bez obsahu nebezpečných chemických pesticidů.

3. Teoretická část

3.1 Biochar

Biochar, je známý též jako biouhel. Pevný materiál černé barvy získaný termochemickou přeměnou biomasy za omezeného přístupu kyslíku. Tato moderní metoda umožňuje efektivní zpracování nadbytečného kůrovcového dřeva či bioodpadu s ohledem na šetrnost k životnímu prostředí. V mnoha ohledech lze biochar přirovnat k dřevěnému uhlí, a to i v rámci procesu výroby. Tento proces řadíme k tradičním průmyslovým technologiím (Břendová *et al.*, 2015).

Uhlíková forma v biocharu je chemicky stabilní, což znamená, že se v půdě neuchyluje k dalšímu rozkladu či oxidaci, a tím není uhlík uvolňován do atmosféry (Břendová *et al.*, 2015).

Uhlík, který je součástí biocharu, se postupně uvolňuje do půdy během časového rozpětí od 100 do 1 000 let. Je to mnohem delší doba než u jiných organických látek, jež se nacházejí v půdě. I když biochar může působit pozitivně, zatím jsou pouze omezené informace o jeho vlivu, zejména když není vyráběn ze dřeva, ale z jiných organických materiálů, jakými jsou například hnůj nebo zbytky plodin (Verheijen *et al.*, 2010).

3.1.1 Výroba biocharu

Biouhel vzniká prostřednictvím pyrolýzy, což je proces zplyňování biomasy. Představuje 10–30 % hmotnosti sušiny. Generátory využívají sesuvné nebo nehybné vrstvy, fluidní vrstvy, rotační pece, vertikální etážové pece s prohrabováním, zařízení vyhřívané pomocí žlabů a šneků, rotační pece, nebo jiná pyrolýzová zařízení s variabilními generátory, lišící se velikostí a provozním způsobem (Pohořelý *et al.*, 2019).

Správný výběr pyrolýzového zařízení je klíčový. Rozhoduje se na základě vstupních surovin, požadované teplotě, pracovního tlaku a také se zohledňuje doba zdržení a rychlost ohřevu biomasy (Pohořelý *et al.*, 2019).

Při manipulaci s vysokou vlhkostí biomasy je nutné prvně zpracovat biomasu do požadované velikosti. Následně se umísťuje do nízkoteplotní sušárny, kde probíhá předsušení a odstranění nadbytečné vlhkosti (Pohořelý *et al.*, 2019).

Pro výrobu biocharu jsou v zahraničních společnostech využívány pyrolyzéry, které jsou opatřeny jedním nebo dvěma šneky (Pohořelý *et al.*, 2019).

3.1.2 Využití biocharu

V posledních suchých letech se stále více uplatňuje biochar jako porézní materiál, jehož hlavním účelem je zadržovat vodu v půdě a vázat významné množství stabilního uhlíku. Tímto způsobem brání uhlíku v úniku do atmosféry. Schopnost biocharu vázat uhlík a udržovat jej v půdě má pozitivní dopad na boj proti klimatickým změnám. Tato látka představuje možný významný pokrok do budoucna.

Biochar nalezne široké uplatnění, a jedním z oblastí, kde se využívá, je zemědělství. V rámci zemědělského využití je hlavním cílem aplikace biocharu do půdy, kde plní následující úkoly:

- Zachování vláhy a živin v půdě s pozvolným uvolňováním.
- Lehčení půdy.
- Zvýšení obsahu organické hmoty, což napomáhá zvýšení mikrobiální aktivity.
- Posiluje podmínky pro pěstování vinné révy.
- Preventivní opatření proti pronikání nežádoucích látek do podzemních vod.
- Podněcuje růst a brání vstupu nežádoucích látek do rostlin.
- V počátečních měsících obsahuje zvýšené množství vápníku, což reguluje pH v kyselých půdách (*V4 Biochar Platform*, 2019).

Vysoce kvalitní biochar, který má stabilní vlastnosti, se dá také využívat jako krmivo pro hospodářská zvířata nebo jako přísada do jiných krmiv. Výzkumy prokázaly příznivé nebo neutrální efekty, například:

- Posílení růstu zvířat.
- Zlepšení stravovacího příjmu.
- Vylepšení účinnosti krmiv.
- Snížená úmrtnost.
- U drůbeže zlepšení kvality vajec a větší snášku.
- Posílení zvířecí imunity.
- Snížení zápachu zvířat.
- Zvýšení kvality mléka a masa (*V4 Biochar Platform*, 2019).

Biochar lze využít i do procesu kompostování. Při kompostování s biocharem se postupuje tak, že se střídají vrstvy biocharu a bioodpadu. Je důležité, aby byl biochar vždy účinně zakrytý a nedocházelo k jeho rozptýlu.

Optimálních výsledků dosáhneme vlhčením biocharu, což umožní vázání uvolněných živin z kompostované biomasy.

Důvody pro přidání biocharu do kompostu:

- Redukce zápachu pocházejícího z kompostu.
- Zkrácení doby kompostování.
- Zlepšení pH kompostu.
- Posílení udržení živin (*V4 Biochar Platform, 2019*).

Biochar se také uplatňuje v lesnictví:

- Zlepšení zadržení vlhkosti.
- Kůrovcem postižené dřevo lze využít jako surovinu s ohledem na životní prostředí a zároveň je ekologicky zpracováno.
- Slouží jako výživa pro optimální růst stromků v lesních školkách (*V4 Biochar Platform, 2019*).

V městských oblastech, zejména v urbanizovaných částech, se biochar využívá především k účinnému boji s klimatickými změnami. Základním konceptem je maximální efektivní využití a zadržení vody v daném území, aby nedocházelo k nadměrnému odtoku vody do kanalizace.

Využití biocharu v městské zástavbě:

- Golfová, dětská a fotbalová hřiště.
- Oblasti, kde jsou pěstovány a vystavovány rostliny a zoologické zahrady.
- Kořenové čistírny odpadních vod.
- Zelené střechy a parky (*V4 Biochar Platform, 2019*).

Biochar může sloužit jako sorbent díky své vysoké reaktivitě (až stovky m^2/g) a stabilitě. Je perspektivním materiálem pro odstraňování kontaminantů, jelikož:

- Odstraňuje dusičnany, pesticidy
- Sorpce kovových iontů, úprava pH
- Podporuje čištění šedých vod

Je možnost vybrat si různé modifikace, které pomohou zvýšit schopnost biocharu vázat látky:

- Nanesení sekundárních oxidů na povrch biocharu (Fe, Al, Mn).
- Chemická aktivace povrchu.
- Přímá aplikace magnetických impregnací (*V4 Biochar Platform*, 2019).

3.2 Buničina

3.2.1 Papírenská buničina

V současné době prošla výroba papírenské vlákniny od svého počátku výrazným pokrokem, a to díky náročnějším a rozsáhlejšími automatizačním postupům. Hlavní důraz je kladen na neustálé zlepšování kvality výrobků, udržitelnost životního prostředí a efektivitu výrobního procesu. Tím se dnes papírenský a celulózový průmysl stává významným a klíčovým ekonomickým odvětvím. V současné době se celosvětově využívá 90 % panenské vlákniny získané z dřevní buničiny. Mezi prvními stromy využívanými v papírenském průmyslu byly borovice a smrky. Tyto stromy pocházely především ze Severní Ameriky a z chladného podnebí severní Evropy. Do budoucna se stanou hlavními producenty buničiny Jižní Amerika a Rusko, díky největším zásobám dřeva (Sixta, 2006).

3.2.2 Buničina z přírodního lignocelulózového vlákna

Německá společnost Zelfo Technology GmbH se zaměřuje na lignocelulózová přírodní vlákna, která jsou využívána při výrobě samovazných materiálů. Tyto materiály jsou pro výrobu nové a zbytková vlákna pocházejí ze zemědělství. Společnost působí jako technologický vývojový institut spolupracující s partnery a klienty na vývoji specifických požadavků na produkty. Jejich specializace je výroba velice jemných nano (NFC), mikro (MFC) a makro (MaFC) celulózových vláken. Společnost Zelfo má rozsáhlé zkušenosti v oblasti zpracování předzpracovaných i nezpracovaných lignocelulózových vláken. Jejím hlavním cílem je dosahovat optimálních výkonnostních vlastností spojením různých složek výchozího materiálu. Tato vlákna se používají jako absorbenty, kompozity nebo jako pojící materiály na biologické bázi (bavlněný odpad, mořské řasy, bambus, piliny, konopná stébla,

rákos). Mezi průmyslové zdroje patří odpadní vlákna z lepenek a papíren, textil a odřezaná celulóza. Zdroje po spotřebitelské fázi zahrnují obalové materiály a recyklovaný papír. Zpracovaná vlákna lze případně spojit s minerálními plnivými, umělými vlákny a přírodními pojivými. Po spojení se syntetickými pojivými dojde k udržitelnějším produktům (*MaterialDistrict*, 2016).

- Světle černý materiál pochází z vláken sisalu (zbytkové průmyslové vlákno). Hustota tohoto vlákna je $\pm 1,35 \text{ g/cm}^3$.
- Světle žlutý materiál pochází z bavlny (průmyslové zbytky + papírový odpad). Hustota vláken je $\pm 1,5 \text{ g/cm}^3$.
Vlákna mají vysokou odolnost proti opotřebení a jsou navržena pro laminátový povrch.
- Zlatohnědý materiál je vyroben z odpadních obalových vláken a pilin. Hustota tohoto materiálu je $\pm 1,35 \text{ g/cm}^3$.
- Hnědý materiál je vyroben z kokosových vláken (vlákna z kokosových ořechů). Hustota tohoto materiálu je $\pm 1,35 \text{ g/cm}^3$.

3.3 Hnojiva

3.3.1 Vermikompost

Jedná se o velmi jemné účinné organické hnojivo vyrobeno za pomoci žížal druhu *Dendrobena* a *Eisenia*. Aktivitou žížal vzniká optimální a unikátní přírodní hnojivo, které funguje jako stimulant podporující růst. Toto hnojivo je bohaté na enzymy, růstové hormony a cenné humusové látky. Zahrnuje široký komplex stopových prvků, hormonů, přírodních antibiotik, enzymů, huminových látek a půdních mikroorganismů. Vermikompost slouží jako moderní přírodní hnojivo pro pěstování a výživu zemědělských, lesních, zahradních i pokojových rostlin. Je též vhodný i k obnově a oživení půd po sanaci. Je možné jej využít jak pevné hnojivo, tak i výluh.

Pozitiva

- Bez zápachu – výhoda pro použití u pokojových rostlin.

- Oproti statkovým hnojivům má vyšší účinnost až o 60-70 %.
- Možnost využití pro bio-plodiny (vermikompost neobsahuje chemii).
- Vysoká absorpční schopnost (zásobuje rostliny živinami a vodou).

Použití

Pro přípravu substrátů se doporučuje smíchání v poměru 1:10. Při plošné aplikaci na trávníky nebo při setí se používá 1–1,5 litru na metr čtvereční. Pro výsadbu stromů a keřů promícháme 1–2 litry se zeminou. Pro pokojové rostliny stačí 1 lžice na květináč o průměru 15 cm každé 3 měsíce. Vermikompost dále využijeme na zahrádce k zelenině, pokojovým rostlinám, do truhlíků či květináčů, při obnově mikrobiálního života, k urychlení procesu kompostování a při profesionálním pěstování zeleniny a ovoce (*Vermikompost od Edy, 2024*).

3.3.2 Dolophos

Jedná se o granulové hnojivo, které používáme pro hnojení kyselých půd, ale je možné jej využít i na slabě kyselých a neutrálních půdách. Fosfor má pomalejší nástup, což je výhodné u lehkých a středních půd. Aplikace Dolophosu nastává po sklizni, na podzim při orbě nebo na jaře před samotným setím. Toto hnojivo je primárně využíváno pro zásobování rostlin fosforem. Po aplikaci Dolophosu se doporučuje zapracovat hnojivo do půdy. Dávkování Dolophosu závisí na půdním rozboru a obsahu fosforu v půdě. Aplikace hnojiva je prováděna za pomoci odstředivých rozmetadel (*Dolophos 26, 2024*).

Dávkování

- Cukrová řepa 400–500 kg/ha,
- Zelenina 400–500 kg/ha,
- Kukuřice určena na siláž 250–350 kg/ha,
- Vojtěška, jetel 400–500 kg/ha,
- Obiloviny 250–300 kg/ha,
- Řepka ozimá 250–300 kg/ha.

3.3.3 Patenkali

Jedná se o hořečnato-draselné hnojivo ve formě granulí obsahující rozpustné formy hořčíku a draslíku. Je vhodný pro rostliny náročné na spotřebu hořčíku a s citlivostí na chlor. Slouží k hnojení ovocných dřevin, zeleniny, brambor, vinné révy a konifer. Optimální období pro aplikaci je při přípravě půdy před setím nebo přesazováním. Půdy, které obsahují dostatečné množství draslíku nepotřebují další hnojení. Pokud však půdy obsahují málo draslíku, volíme dávkování hnojiva na vrchní hranici doporučených hodnot (*Patentkali*, 2024).

Dávkování

- Brambory, zelenina 500–700 kg/ha,
- Slunečnice 400–600 kg/ha,
- Ovocné dřeviny, konifery, vinná réva 200–400 kg/ha.

3.3.4 Ledek vápenatý

Ledkové hnojivo obsahuje 15 % dusíku. Toto hnojivo se hodí pro všechny kultury a plodiny (zelenina, okrasné rostliny, ovoce), krom vápnostřežných rostlin (např. rododendron, kanadské borůvky, azalky, brusinky). Během vegetace se doporučuje aplikace postřiku na listy rostlin. Využíváme jej zejména k úpravě pH kyselých půd, kde jsou jeho účinky vidět nejlépe. Ideální je i pro hnojení veškerých druhů trávníků. Přítomný vápník zamezuje vzniku tvorby mechu.

Výhody

- Úprava pH půdy (snížení kyselosti),
- Na 250 m² stačí pouhá 2,5 kg hnojiva,
- Hodí se pro všechny kultury a plodiny, krom rostlin kyselomilných,
- Dusíkaté hnojivo s nejrychlejším účinkem.

Aplikace hnojiva je velmi jednoduchá postačí ruční rozhození nebo rozmetadlo. Dávkování je závislé na pěstované kultuře a na množství uvedeném na obalu. Po aplikaci hnojiva je pozemek potřeba pořádně zalít. Pokud je přípravek přímo aplikován na listy rostlin za pomoci postřikovače, je důležité rozpustit odpovídající množství hnojiva ve vodě a provést postřik v ranních hodinách nebo podvečer (*Ledek vápenatý hnojivo*, 2024).

3.4 Rostlinná vláknina

3.4.1 Konopí

Konopí pravděpodobně pochází z jižní a střední Asie. V dnešní době je konopí k nalezení takřka po celém světě, ale nejvíce je pěstováno v subtropických a mírných oblastech. Pěstování konopí v našem regionu má dlouhou historii. Archeobotanička E. Hajnalová ze Slovenska jednoznačně dokazuje, že pěstování konopí na Slovensku probíhá již od pozdního laténu a římského období. Z raného středověku pak pochází četnější nálezy. V době římské a v mladší době železné se konopí šířilo i dalšími částmi Evropy. Po světě je konopí rozšířené v mnoha poddruzích, formách a variet. V dnešní době u nás známe tři poddruhy konopí. Jedná se o původní konopí seté (*Cannabis sativa* var. *Sativa*), hybridogenní konopí seté zkřížené (*C. sativa* nothovar. *Intersita*) a konopí seté rumištní (*C. sativa* var. *Spontanea*) (Kovář, 2012).

Ekologie

Konopí se nejčastěji pěstuje v teplejších oblastech s hlubokými hlinitými a slabě kyselými až neutrálními půdami. Planě rostoucí rostlinu lze nalézt podél cest, na skládkách se sutí nebo poblíž lidských sídel až do nadmořské výšky 2000 m. Kvetení ve střední Evropě probíhá od června do srpna (Kovář, 2012).

Charakteristika

Rostlina jednoletá, převážně dvoudomá, dosahuje výšky od 30 do 350 cm. Samičí rostliny bývají vyšší než samčí. Lodyha rostliny roste přímo a v horní polovině se větví. Postavení listů v dolní části je vstřícné, zatímco výše postavené listy jsou postaveny střídavě.

Dále jsou pilovité, řapíkaté, zašpičatělé, kopinaté a podlouhlé, ze spodu lehce chlupaté, dlanité 5–7 čtené. Listy umístěné nejvýše na lodyze jsou jednoduché až tříčetné.

Květy konopí jsou jednopohlavné, u samčích květů se nacházejí prašníky. Pestíky tvoří vrcholičnatá květenství s hustými klasy. Konopným plodem je nažka (Kovář, 2012).

Využití

Z konopných stébel se vyrábí především přírodní vlákna, provazy a plátna. Ze samičích hlav jsou získávána semena určena k opětovnému setí, nebo k výrobě konopného oleje. Konopná nať má specifickou vůni a omamný účinek. Lidé z blízkého východu nepoužívají konopí pro jeho vlákna, ale využívají jej v lékařství pro výrobu emulzí a opiových nápojů. V neposlední řadě jej lze brát i jako potravu pro ptactvo.

Jak je známo, tak konopí obsahuje pryskyřice, jež jsou součástí halucinogenních drog, například v marihuaně, charasu nebo hašiši. Látek, které obsahují konopné rostliny je mnoho. Pozitivní účinky těchto látek bývají využívány v lékařství při léčbě některých onemocnění (Kovář, 2012).

3.4.2 Pšeničná sláma

Tato stará kulturní plodina není známa jako planá forma rostliny. Dle odborníků by mělo jít o jakéhosi křížence dvou rostlin, a to *Aegilops squarrosa* a *Triticum dicoccon*. Bývá pěstována v mírném pásmu, kde ji je možné nalézt ve zplaněné formě kolem zásypů, cest a polí. V České republice je tato plodina pěstována od nížin po pahorkatiny (Cibulka, 2010).

Ekologie

Pšenice setá se řadí mezi velice náročné obiloviny. Její náročnost se projevuje úzkým rozpětím vláhly a teploty. Dalším důležitým aspektem v pěstování je zvolení vhodné předplodiny, kterou je především vojtěška. Pro větší výtěžnost zrn se musí dbát na pečlivý způsob obdělávání zemědělské půdy, a to především u krátkostébelných odrůd. Pšenice, která je určena pro krmné a technické účely může být pěstována i v horších zemědělských podmínkách. Květenství pšenice probíhá v červnu (Cibulka, 2010).

Charakteristika

Běžně se vyskytuje jako jednoletá či trsnatá tráva, dosahující výšky 40–120 cm. Její stébla jsou tenkostěnná, přímá a dutá. Pšeničné listy jsou charakteristické čárkovitým tvarem, drsným povrchem, prodlouženým jazýčkem a dlouhými pýřitými oušky. Pšenice má květenství lichoklasu o délce 4–18 cm. Klas je zploštělý, čtyřhranný a nachází se jednotlivě na větvených uzlinách. Tvar plev je podlouhlý nebo vejčitý, v horní části kýlnatý, pluchy jsou většinou bezosinné, avšak mohou být i osinaté. Plodem je objemné zrno, které je nezakryté (Cibulka, 2010).

Využití

Řadí se mezi tři nejdůležitější obiloviny, které zároveň pokrývají nejvíce osevních ploch. Využití obilky pšenice je široké a její použití závisí na daném stupni kvality (vzestupně – krmné účely, lihovarnické, škrobárenské, pečivárenské, pekárenské). Pšenice obsahuje 8–10 % vlákniny, 50–70 % škrobu, 12–16 % bílkoviny a tuku. Celiakie je způsobena lepkovou bílkovinou. Zbytkový produkt po sklizni pšenice se nazývá sláma, která bývá využívána v první řadě jako izolant. Další využití pšeničné slámy je při výrobě slaměných ozdob a v neposlední řadě slouží také jako hnojivo (Cibulka, 2010).

3.5 Peletizace

Proces, při kterém dochází k úpravě vysušeného a následně rozdrčeného dřevního materiálu, se nazývá peletizace. Tento způsob je založen na zhutnění daného materiálu, kdy je zapotřebí použití lisu a jeho vysokého tlaku. Výsledkem procesu je vznik pelet, které mají mnoho rozměrů (Križan, 2004).

Tlak, který je vyvinut na jemnozrné materiály slouží k jejich slučování, tak aby došlo k tvorbě pevného tvaru. Proces také využívá princip kapalinných můstků, a to znamená, že se musí přidat i rotační pohyb a vlhkost, aby se materiály sloučily. Lisované pelety mají průměr 3–30 mm a jsou kulovitěho tvaru. Tyto pelety se dají dále upravovat teplem či žářem (Srb & Růžičková, 1979).

Rozlišují se dva typy zhutňování:

- Aglomerace lisováním – Jedná se o podpůrné působení vnějších sil tzn. díky použití lisovacího stroje dochází k tlakovému spojení materiálů a tím k dostatečné pevnosti pelet.
- Nástavbová granulace – Zde nedochází k působení vnějších sil. Ke spojení dochází díky pomocným prostředkům jako je sušení materiálů a vlhkosti (Hrázský & Král, 1999).

Křižan & Matuš (2012) uvádí faktory, které mohou ovlivnit proces lisování, Tabulka 1.

Tabulka 1 Faktory procesu lisování (Křižan a Matuš, 2012)

Lisovaný materiál	<ul style="list-style-type: none"> - Druh - Velikost frakce - Vlhkost - Teplota
Parametry lisování	<ul style="list-style-type: none"> - Způsob lisování - Teplota lisovací komory - Tlak v lisovací komoře - Rychlost lisování - Doba výdrže
Konstrukční parametry	<ul style="list-style-type: none"> - Průměr, délka a tvar lisovací komory - Typ, průměr a tvar lisovacího nástroje - Materiál, opracování a povrchová úprava lisovací komory a nástroje - Protiklad působící na slisovanou zátku - Délka chladicí komory

3.5.1 Peletizace dřevěného materiálu

Pelety z dřevěného materiálu lze nazývat i granulami. Bývají válcovitého tvaru o velikosti 1–5 cm a s průměrem 6–14 mm. Často se k výrobě pelet používá již nevyužitý dřevní odpad z pilařského průmyslu nebo při těžbě dřeva, čímž mohou být třeba piliny nebo stébelniny. Jak už je výše popsáno, k výrobě je zapotřebí vysoký tlak, aby pelety mohly být protlačovány přes matricový lis (Klobušník, 2003).

Materiál vhodný pro peletizaci by neměl překročit hranici 10 % vlhkosti, jinak se musí technologicky upravovat. Následuje drcení na požadovanou velikost. Tato činnost se provádí za pomoci kladívkového drtiče (*Brikety a pelety z biomasy*, 2008).

Další proces je výše zmíněné protlačování pelet přes lis (prstencový, plochý nebo talířový). Lis má daný průměr a je potřeba zajistit i vysokou teplotu okolo 150°C. Takto vysoká teplota je požadována kvůli uvolňování ligninu z dřevní buničiny. Potom dochází k procesu zvaném plastifikace, který zajistí kompaktnost pelet. Aby byly pelety opravdu tvrdé, je nutné je ještě ochladit. Tím získají i delší trvanlivost (Stupavský, 2010).

Barevnost pelet je odlišná a závisí na typu, vlhkosti, kvalitě dřeva a také na tom, zda je přítomna i kůra. V neposlední řadě záleží i na dané technologii, která byla použita. Pelety nemusí být vždy jen z jednoho druhu materiálu. Dají se kombinovat například s kůrovou, rostlinnou a rašelinovou složkou nebo i s jinými přírodními materiály (Stupavský, 2010).

3.5.2 Peletizovaný kompost

Mendelova univerzita v Brně přišla s tím, že nechce využívat pelety jako biopalivo, ale chce za pomoci kompostu vyrábět výživové pelety určené pro zemědělství, vinice nebo sady. V porovnání s klasickými hnojivy využívanými v sadech nebo na polích se peletizovaný kompost lépe přepravuje a v půdě je mnohem stabilnější. Při hledání nových organických hnojiv jsou pelety ze zahradnického kompostu nadějným řešením.

Částečná ztráta organického materiálu v zemědělské půdě po celé krajině České republiky je dlouhodobým problémem. Proto se skupina odborníků zaměřuje na lokálně dostupná hnojiva, která jsou i minimálně finančně náročná při samotné výrobě. V tomto případě je kompost, nebo jiné odpadní materiály (vinné kaly, matoliny) ideální v tom, že je mohou zemědělci sami produkovat nebo lokálně získávat.

Výhody u peletizovaného kompostu jsou např. možnost vyššího dávkování, možnost zapravení pelet do hlubších vrstev půdy, stabilita (lepší přeprava zvyšuje dobu trvanlivosti a dále je možné do pelet přidávat i další složky jako bentonit, alginit nebo bichar). Tyto složky napomáhají zadržovat vlhkost a živiny.

Při výrobě dali vědci přednost vlastnímu kompostu, díky kterému jsou schopni nastavit přesné složení pelet. Kompost je složen z travní hmoty, dřevní štěpky, zpracovatelského odpadu nebo odpadu vinařského. Díky regionální spolupráci zemědělci dospěli k závěru, že pelety vyrobené z kompostu dokážou již po dvou letech docílit většího výnosu a lepší kvality půdy (*Peletizovaný kompost*, 2021).

3.6 Shrnutí dosavadních poznatků

U peletizace popílku za studena při spalování komunálního pevného odpadu a směsi kameniva bylo dosaženo nejlepší pevnosti při tlaku téměř 11 MPa, zároveň tyto pelety byly podrobeny vyluhovacím testům, u kterých bylo prokázáno významné uvolňování chloridů a síranů (Ferraro *et al.*, 2023).

Většina pelet se začala vyrábět z důvodu možného vyčerpání zdrojů fosilních paliv, tudíž jako nová alternativa pro výrobu tepla a elektřiny. Tyto biopaliva se vyrábí pomocí zhušťování. Zhušťovací systémy proměňují biomasu na pelety během tří fází: předpeletizace, peletizace a postpeletizace. Younis *et al.* (2018) ve svém příspěvku poskytují přehled dostupných zhušťovacích technik pro zpracování biomasy. Hlavně s důrazem na vliv vlastnosti suroviny na trvanlivost a objemovou hmotnost pelet.

Zdroje přírodní biomasy se klasifikují především podle jejich původu. Dělí se do třech základních skupin. První skupinou je přírodní biomasa, která je dostupná přímo v přírodních ekosystémech. Druhou skupinou je zbytková biomasa, která pochází z různých činností. Poslední skupinou jsou energetické plodiny, jejichž cílem je produkování biomasy za účelem získání energie (Garcia-Maraver & Pérez-Jiménez, 2015).

Jako hlavní parametry přeměny dřevěných zbytků na pelety zmiňují i Nielsen *et al.* (2009) především množství vlhkosti.

Jako materiál k peletizaci byly použity kávové zbytky, a to jak stříbrná slupka, tak i použitá kávová sedlina. Tyto pelety však byly testovány pouze na výhřevnost. Výsledky ukazují, že kávové zbytky jsou vynikající surovinou s výbornými hodnotami, co se týká výhřevnosti a nízkého obsahu popela (Colantoni *et al.*, 2021).

Jako další materiál vhodný pro přípravu pelet, které dosahují výhřevnosti 13,5 MJ/kg byl potravinářský odpad, který byl smíchaný s odpadem ze dvora. Pro tento materiál při výrobě pelet byl použit tlak 250 MPa (Sharma & Dubey, 2020).

Zemědělské zbytky a jejich torefikace a peletizace, konkrétně ovesné slupky a slupky řepky byly obohaceny o hořčičnou moučku ve stejných poměrech jako pelety z torefikované biomasy, které byly nejprve opracovány pomocí šnekového mlýnu a pomocí jeho rotoru byly stlačeny. Tyto pelety měly hustoty pro zemědělské zbytky cca 900–950 kg/m³ a pro torefikovanou biomasu cca 850–900 kg/m³, trvanlivost pro tyto pelety byla testována pádovou metodou (Sarker *et al.*, 2022).

Obdobně jako Sarker *et al.* (2022) se peletizaci dřeva a alternativní zbytkové biomasy zabývali García *et al.* (2019), a to konkrétně z hlediska kvality pelet. Jako tlak k výrobě použili pouze 130 kPa a směs upravili pomocí šnekového mlýnu o rychlosti 50 kg/h.

O závislosti hustoty pelet na tlaku při peletizaci buku a smrku pojednávají ve své práci Stelte *et al.* (2011), kteří kromě hustoty a tlaku testovali i obsah vlhkosti a velikost části na vliv peletizačního procesu.

O významu fyzikálních a mechanických vlastností pelet z biomasy publikovali výzkum Mostafa *et al.* (2019), kteří se kromě jejich fyzikálních vlastností a trvanlivosti zabývali i jejich tvrdostí, konkrétně stanovili tzv. Meyerovu tvrdost.

Tvrdost byla analyzována i u šestnácti látek biomasy, kterou představovala celulóza, hemicelulóza, další polysacharidy, ligniny, proteiny a extraktivní látky. A také měkké a tvrdé dřevo. Kromě tvrdosti autoři analyzovali i hustotu a sorpční vlastnosti (Frodeson *et al.*, 2018).

Puig-Arnavat *et al.* (2016) vyrobili pelety z vojtěšky, kostřavy, triticales, čiroku, miscanthusu a vrby. Autoři dokonce při výrobě pelet je stlačili tlakem až 200 MPa. Následně u vzorků byly testovány vlastnosti, a to hustota, výhřevnost, energie mletí a lisování, které by mohly být zajímavé pro využití pelet např. jako paliva.

Veškerá problematika související s peletami byla shrnuta v příručce od Obernbergera & Theka (2010), která rozebírá mezinárodní normy pro pelety, hodnocení surovin, kvalitu a vlastnosti pelet, technické hodnocení výroby pelet, logistické dodávky pelet, aspekty při manipulaci či skladování, ekonomické i ekologické zhodnocení výroby pelet a mnohé další užitečné informace.

4. Metodika

4.1 Použité suroviny

4.1.1 Biocharová pasta

Biocharová pasta byla namíchána z biocharu, vermitea a hnojiv, konkrétní složení je uvedeno v Tabulce 2, Obrázek 1.

Tabulka 2 Složení biocharové pasty

Surovina	Hmotnost na 10 kg, g	Procentuální zastoupení v pastě, %
Dolophos, g	1539,1	15,4
Patentkali, g	659,3	6,6
Ledek vápenatý, g	1270,4	12,7
Biochar, g	1406,5	14,1
Vermitea, g	5124,7	51,2



Obrázek 1 Biocharová pasta

Biochar

Popis výroby biocharu popisuje například Brynda *et al.* (2020) v publikaci, která je věnována zplyňování dřevní štěpky ve vícestupňovém zplyňovači s pevným ložem. Výhodou jsou minimální požadavky na kvalitu biocharu pro předkládaný vynález následující:

- $H/C < 0,7$
- $H/C_{org} < 0,7$
- $C_{org} > 50$ hmotn. %
- $O/C_{org} < 0,4$
- $O/C < 0,4$
- Suma 12 PAH < 20 mg/kg
- Suma 16 PAH < 20 mg/kg

kde H/C je molární podíl vodíku (H) ku uhlíku (C). Hodnoty H a C se stanovují elementární analýzou např. podle DIN 51732. H/C_{org} je molární podíl vodíku (H) ku organickému uhlíku (C_{org}). Organickým uhlíkem se rozumí uhlík obsažen v organických molekulách. Stanovení hodnoty H viz výše. Hodnota C_{org} se vypočte odečtením anorganického uhlíku od celkového (C). Anorganický uhlík se stanoví např. podle DIN 51726. Ukazatele H/C a H/C_{org} vyjadřují stabilitu biocharu. O/C_{org} je molární poměr kyslíku (O) ku organickému uhlíku (C_{org}). Obsah kyslíku se dopočte po provedení elementární analýzy a stanovení obsahu popela, např. podle DIN 51733. Hodnota organického uhlíku (C_{org}) se vypočte dle popisu výše. O/C je molární poměr kyslíku (O) ku uhlíku (C). Ukazatelé O/C , respektive O/C_{org} vyjadřují stabilitu při započtení uhličitánů a množství polárních funkčních skupin a hydrofobicitu biocharu. Suma 12 PAH je suma obsahu dvanácti vybraných polycyklických aromatických sloučenin (antracenu, benzo(a)antracenu, benzo(b)fluoranthenu, benzo(k)fluoranthenu, benzo(a) pyrenu, benzo(ghi)perylenu, fenantrenu, fluoranthenu, chrysenu, indeno (1,2,3-cd) pyrenu, naftalenu a pyrenu). Obsah se stanoví např. podle ČSN EN 16181. Suma 16 PAH je suma obsahu šestnácti vybraných polycyklických aromatických sloučenin (naftalenu, acenaftylenu, acenaftenu, fluorenu, fenantrenu, antracenu, fluoranthenu, pyrenu, benzo(a)antracenu, chrysenu, benzo(b)fluoranthenu, benzo(k)fluoranthenu, benzo(a)pyrenu, indeno(1,2,3-cd) pyrenu, dibenzo(ah)anthracenu a benzo(ghi)perylenu). Obsah se stanoví např. podle ČSN EN 16181. Obsah polyaromatických uhlovodíků (PAH) prokazuje akceptovatelný obsah

polyaromatických uhlovodíků jako hlavních organických polutantů, které biochary mohou obsahovat (Pohořelý *et al.*, 2019).

Vermitea

Vermitea neboli vermikompost je hnojivo, které vzniká jako produkt kalifornských žížal. Jedná se o hnojivo, které obsahuje huminové kyseliny a enzymy. Také má optimální poměr uhlíku a dusíku 10–15:1, obsahuje stopové prvky jako mangan, bór či zinek. Působením enzymů rostliny lépe dokáží využívat minerální látky v půdě, což podporuje tvorbu kořenového systému a celkové biomasy. To má za následek zvyšování obsahu cukrů a vitamínu C v plodech, a naopak snížení hladiny dusičnanů (Vermikompostování, 2019).

Dolophos

Dolophos je fosforečné hnojivo o převážné velikosti částic 2–5 mm, které mají následující chemické vlastnosti:

- celkový fosfor jako P_2O_5 rozpustný v minerální kyselině min. 26,0 %
- fosforečnan jako P_2O_5 rozpustný ve 2 % kyselině mravenčí min. 15,0 %
- obsah vápníku jako CaO 40,0 %
- obsah hořčíku jako MgO 3,0 %.

Kromě výše uvedených prvků může obsahovat i rizikové prvky jako kadmium 50 mg/kg, olovo 15 mg/kg, rtuť 1 mg/kg, arsen 10 mg/kg či chrom 150 mg/kg (Dolophos 26, 2024).

Patenkali

Patenkali je hořečnato-draselné hnojivo, které obdobně jako Dolophos má největší zastoupení částic o frakci 1–5 mm. Co se týká chemického složení jedná se o $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$, s chemickými vlastnostmi:

- Draslík jako vodorozpustný K_2O 29,0 %
- Hořčík jako vodorozpustný MgO 10,0 % (Patenkali, 2024).

Ledek vápenatý

Ledek vápenatý je dusíkaté vodorozpustné hnojivo, které obsahuje cca 15,0 % celkového dusíku a je tvořeno bílými granulemi o velikosti 1–4 mm. Obsahuje dusičnan vápenatý s hydrátovou vodou a dusičnan amonný cca 10 % (*Ledek vápenatý hnojivo*, 2024).

4.1.2 Celulóza

Celulóza byla dodaná německou společností Zelfo Technology GmbH se zaměřením na lignocelulózová přírodní vlákna. Nová a zbytková vlákna pocházejí ze zemědělství a jsou využívána pro výrobu přírodní celulózy či dalších samovazných materiálů (*MaterialDistrict*, 2016).

4.1.3 Konopí

Konopí seté bylo použito jako další materiál, který by mohl zaručit pevnost finálního výrobku, jelikož se běžně využívá pro výrobu produktů jako jsou přírodní vlákna, plátna či provazy. Jedná se o jednoletou dvoudomou rostlinu, která dosahuje výšky 30–350 cm (Kovář, 2012).

4.1.4 Pšeničná sláma

Pšeničná sláma byla do směsi přidána i z důvodu, že jde o odpadní produkt na polích, takže jeho cena je nízká, tudíž nám snižuje cenu celého výrobku. Pšenice obecná je jednou z nejrozšířenějších plodin, což také snižuje celkovou cenu materiálu. Tato rostlina dorůstá do výšky 40–120 cm (*Pšenice obecná*, 2024).

4.2 Příprava směsi

Pro přípravu peletové směsi se použilo 20 kg pasty z biocharu, (poměr hmotnosti roztoku hnojiv ku biocharu je 3:1). Dále směs obsahuje 80 % rostlinného vlákna a kombinované vlákniny (15 % konopného vlákna, 50 % celulózy pocházející z měkkého

dřeva a 15 % pšeničné slámy). Hmotnost je vztažena na sušinu dané směsi. Dále se hotová směs rozvláknila a promísila za pomoci šnekového mlýnu o rychlosti 300–650 otáček/minutu. Tento točivý moment odpovídá rozmezí 30–60 % což udává produkci v určitém rozsahu 25, 50, 100 a 150 kg/h. Takto připravená směs již sloužila pro výrobu pelet. Zastoupení jednotlivých surovin ve směsi ukazuje pro přehlednost Tabulka 3 a materiál je na Obrázcích 2 až 7.

Tabulka 3 Složení směsi pro výrobu pelet

Surovina	Hmotnost, kg	Procentuální zastoupení v absolutně suchém stavu, %
Pšeničná sláma	17	30
Konopí	17	30
Celulóza	11	20
Biocharová pasta	20	20



Obrázek 2 Směs pro výrobu pelet



Obrázek 3 Směs obohacená o biocharovou směs



Obrázek 4 Mletá směs při 25 kg/h



Obrázek 5 Mletá směs při 50 kg/h



Obrázek 6 Mletá směs při 100 kg/h



Obrázek 7 Mletá směs při 150 kg/h

4.3 Výroba pelet

4.3.1 Vážení směsi

Vážení směsi probíhalo na přesné laboratorní váze Kern PCB 300-2 (Obrázek 8). Na této váze bylo odváženo potřebné množství pro veškeré vzorky připravených směsí. Od každé varianty 25, 50, 100, 150 kg/h bylo vyrobeno několik kusů vzorků o hmotnosti cca 6 g.



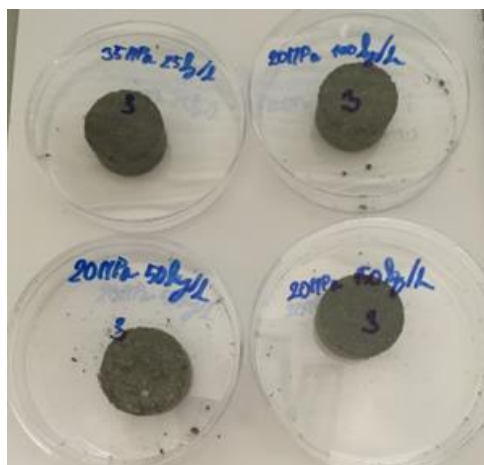
Obrázek 8 Laboratorní váha IPC sloužící k navázení směsi

4.3.2 Lisování pelet

Lisování probíhalo na lisovacím stroji Tira test 2850 (Obrázek 9). Odvážený vzorek směsi cca 6 g byl přesypán do lisovací matrice o průměru 30 mm a vložen do výše zmíněného lisu. Lisovalo se za pomoci tří různých tlaků 14 130 N (20 MPa), 25 000 N (35 MPa) a 35 325 N (50 MPa) při teplotě matrice 0°C. Lis zatlačil píst do lisovací matrice naplněné směsí o relativní vlhkosti 12 % za určitého tlaku a vzorek slisoval rychlostí 10 mm/min. Následně se matrice podepřela a válcem se z ní vytlačila již hotová peleta. Následně se peleta vložila do plastové Petriho misky, která byla popsána (Obrázek 10).



Obrázek 9 Tira test sloužící k výrobě pelet



Obrázek 10 Petriho misky obsahující dané pelety

4.3.3 Sušení pelet

V dalším kroku byly pelety vloženy do sušící pece Binder (Obrázek 11), aby došlo k úplnému vysušení. Sušící pec byla nastavena na 105 °C po dobu, než bylo dosaženo konstantní hmotnosti.



Obrázek 11 Sušárna k vysušení vzorků

4.3.4 Vážení a měření

Pelety se po vysušení opět zvažily a změřily se jejich rozměry. K vážení byla opět použita váha Kern PCB 300-2 a k měření se použilo digitální posuvné měřítko Iconic

(Obrázek 12). Pelety se vážily na jednotky gramů a měřily v milimetrech. Měřila se výška a průměr pelet. Měření a vážení se provádělo kvůli dalšímu postupu.



Obrázek 12 Posuvné měřítko sloužící ke zjištění rozměrů pelet

4.4 Testování pelet

4.4.1 Hustota pelet

Hustota jednotlivé pelety byla vypočtena jako podíl hmotnosti a objemu pelety. Objem byl določen podle rozměrů, které byly stanovené pomocí posuvného měřítka. Hustota poté byla določena. Hustota byla vypočítána ze vztahu mezi hmotností a objemem pelety podle normy ČSN 49 0108 (ČSN, 1993).

4.4.2 Rozpadavost pelet

Rozpadavost pelet neboli mechanická odolnost při dopravě byla stanovena pomocí síťové analýzy na sítích o velikostech 6,30 mm; 3,15 mm a 500 μ m podle normy ISO 4696-1:2007 (ISO, 2007). Celý princip spočíval v tom, že peleta byla vložena do soustavy sít a po 20 minutách síťování byly zvaženy jednotlivé frakce na sítích.

4.4.3 Měření tvrdosti podle Brinella

Tvrdost byla zkoumána pomocí přístroje DuraVision Struers (Obrázek 13). Peleta byla vložena do přístroje a po jeho zapnutí se kovová kulička zabořila do pelety a tím byla zjištěna její tvrdost. Tvrdost podle Brinnela je měření určené pro nekovové materiály a vše probíhalo podle normy ČSN 64 0128 (ČSN, 1953).



Obrázek 13 Přístroj pro měření tvrdosti

4.4.4 Sorpční vlastnosti pelet

Sorpční vlastnosti byly stanoveny pomocí normy ČSN 49 0104 (ČSN, 1988), tudíž podle normy pro navlhání biomateriálů. A to tak, že byly pelety vysušeny do konstantní hmotnosti. Při této hmotnosti byly zváženy a změřeny jejich rozměry a následně byly vystaveny v klimatizované komoře relativní vlhkosti vzduchu 65 %.

4.4.5 Inkubační pokus

Dne 14. února 2023 byl založen inkubační pokus, k pokusu byly použity vždy 4 vzorky od každé rychlosti mletí směsi (25; 50; 100 a 150 kg/h) a o tlaku 50 MPa a ty byly doplněny vodou na plnou polní kapacitu. Vzorky výluhu z pelet byly následně získány pomocí tzv. rhizonu, což je speciálně upravena fritra k odběru půdních vod. Po odběru požadovaného množství kapaliny pro analýzy byl doplněn odebraný objem destilovanou vodou na původní množství kapaliny. U každého vzorku bylo v předem daných intervalech stanoveno pH, vodivost, ICP-OES, množství celkového dusíku a množství organického uhlíku.

Měření pH

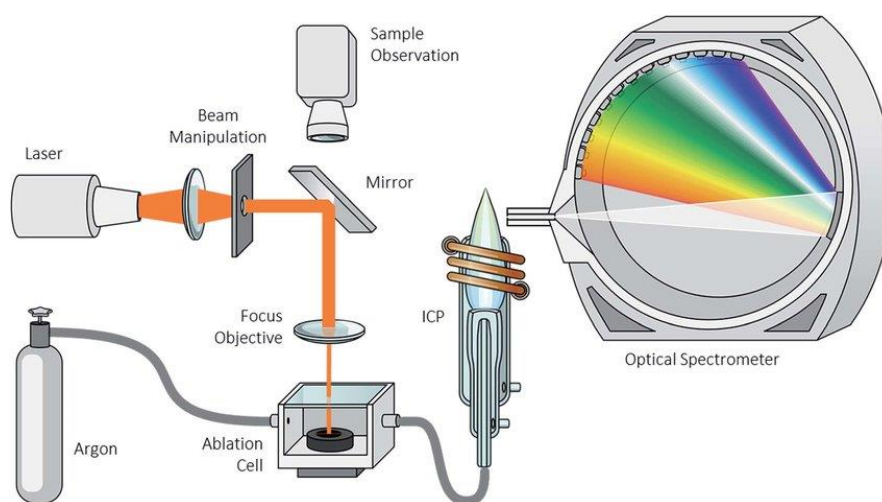
Hodnota pH je veličina vody, která se rychle mění v důsledku pochodů chemických, fyzikálních či biologických. Proto měření pH bylo provedeno v nejkratším možném čase po odběru vzorku podle normy ČSN ISO 10523 (ČSN, 2010). Měření probíhalo pomocí pHmetru, a to tak, že vždy byla vložena elektroda do zkumavky se vzorkem a po ustálení hodnoty byla hodnota pH odečtena z displeje.

Měření vodivosti

Obdobně jako pH byla i vodivost stanovena v nejkratším možném čase po odběru vzorku. Podobně jako u měření hodnoty pH byla při měření vodivosti sonda konduktometru ponořena do zkumavky se vzorkem a hodnota vodivosti byla odečtena z displeje.

Stanovení biogenních prvků

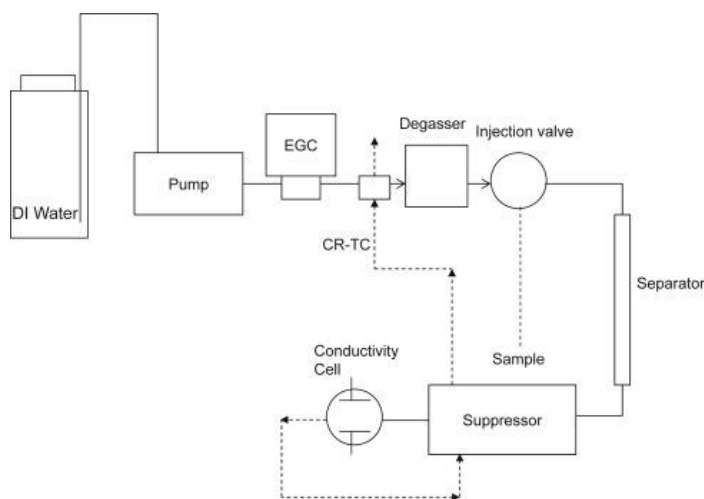
U každého vzorku bylo stanoveno i zastoupení významných prvků pomocí ICP-OES analyzátoru. ICP-OES analyzátor je emisní spektrofotometr s indukčně vázaným plazmatem podle principu znázorněného na Obrázku 14. Pro tuto analýzu musely být vzorky ředěny 10–100× pomocí 2 % kyseliny dusičné.



Obrázek 14 ICP-OES analyzátor (Lürenbaum et al., 2020)

Stanovení iontů

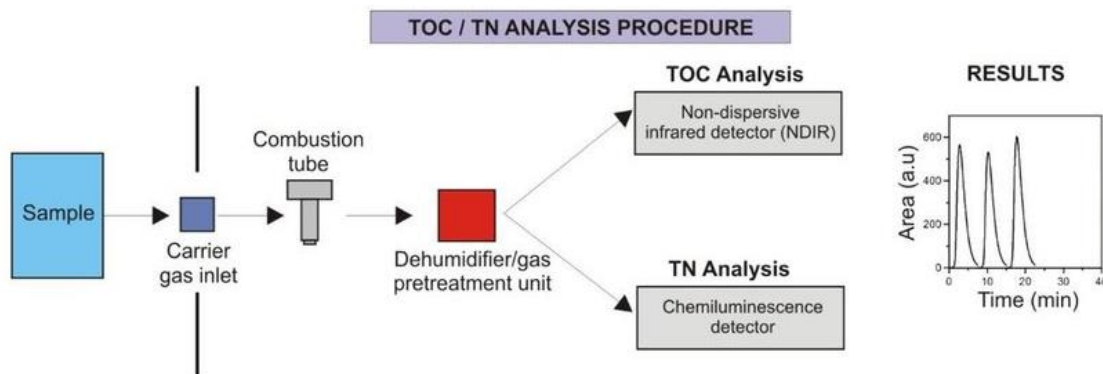
Stanovení iontů probíhalo pomocí iontové chromatografie, která je založena na silných elektrostatických silách mezi ionizovanými funkčními skupinami měniče a ionty v okolí (Obrázek 15). I pro tuto analýzu bylo potřeba vzorky ředit 10–100× avšak v tomto případě byla použita DEMI voda.



Obrázek 15 Iontová chromatografie (Srinivason, 2017)

Stanovení celkového dusíku a organického uhlíku

Stanovení celkového dusíku a organického uhlíku bylo provedeno na analyzátoru, který pracuje na základě vysokoteplotního katalytického spalování (Obrázek 16). Opět jako pro předešlé stanovení musel i pro tuto analýzu vzorek být ředěn 10× pomocí DEMI vody a vložen do vialky, která byla uzavřena pomocí silného alobalu, který při měření propíchně měřící sonda.



Obrázek 16 TOC a TN analyzátor (Avramidis & Bekairi, 2021)

4.4.6 Mehlich – chemický rozbor pelet

Kromě analýzy výluhu z inkubačního pokusu, bylo stanoveno i zastoupení jednotlivých látek v primární surovině, tj. námi vytvořené peletě. Pro tyto účely byla použita metoda Mehlich III, která je od roku 1999 v České republice využívána pro stanovení přístupného fosforu, draslíku, vápníku, hořčíku a síry. K analýze byly použity primární suroviny mleté při různé rychlosti. Stanovení probíhalo tak, že bylo naváženo cca 1 g, který byl následně v extrakčním činidle v poměru 1:10 třepán 10 minut. Suspenze poté byla zfiltrována a následně analyzována pomocí ICP-OES analyzátoru, jako v případě inkubačního pokusu.

5. Výsledky a diskuse

5.1 Rozpadavost pelet

Rozpadavost pelet byla stanovena pomocí síťové analýzy výsledky pro jednotlivé rychlosti a tlaky jsou vedeny v Tabulkách 4 až 7.

Tabulka 4 Rozpadavost pelet o rychlosti mletí 25 kg/h, %

Peleta 25 kg/h	20 MPa			35 MPa			50 MPa		
	1<	0,3–1,0	0,3>	1<	0,3–1,0	0,3>	1<	0,3–1,0	0,3>
1	98,85	0,69	0,46	99,88	0,05	0,07	99,94	0,04	0,03
2	97,43	1,77	0,79	99,53	0,30	0,17	99,78	0,16	0,06
3	98,76	0,77	0,47	99,97	0,02	0,01	99,89	0,05	0,06
Průměr	98,35	1,08	0,58	99,79	0,12	0,08	99,87	0,08	0,05
Směr. odchylka	0,79	0,60	0,19	0,23	0,15	0,08	0,08	0,07	0,02

Tabulka 5 Rozpadavost pelet o rychlosti mletí 50 kg/h, %

Peleta 50 kg/h	20 MPa			35 MPa			50 MPa		
	1<	0,3–1,0	0,3>	1<	0,3–1,0	0,3>	1<	0,3–1,0	0,3>
1	99,35	0,30	0,35	99,92	0,04	0,04	99,89	0,05	0,06
2	99,31	0,46	0,23	99,92	0,03	0,04	99,80	0,11	0,10
3	99,78	0,13	0,08	99,95	0,03	0,02	99,95	0,03	0,01
Průměr	99,48	0,30	0,22	99,93	0,03	0,04	99,88	0,06	0,06
Směr. odchylka	0,26	0,16	0,13	0,01	0,00	0,01	0,08	0,04	0,04

Tabulka 6 Rozpadavost pelet o rychlosti mletí 100 kg/h, %

Peleta 100 kg/h	20 MPa			35 MPa			50 MPa		
	1<	0,3–1,0	0,3>	1<	0,3–1,0	0,3>	1<	0,3–1,0	0,3>
1	99,20	0,49	0,30	99,67	0,18	0,15	99,86	0,11	0,02
2	99,38	0,36	0,26	99,43	0,34	0,22	99,94	0,02	0,04
3	99,63	0,17	0,19	99,81	0,12	0,07	99,94	0,02	0,04
Průměr	99,41	0,34	0,25	99,64	0,22	0,15	99,92	0,05	0,03
Směr. odchylka	0,21	0,16	0,05	0,19	0,11	0,08	0,05	0,05	0,01

Tabulka 7 Rozpadavost pelet o rychlosti mletí 150 kg/h, %

Peleta 150 kg/h	20 MPa			35 MPa			50 MPa		
	1<	0,3–1,0	0,3>	1<	0,3–1,0	0,3>	1<	0,3–1,0	0,3>
1	99,14	0,45	0,41	99,55	0,19	0,25	99,73	0,11	0,17
2	98,98	0,55	0,48	99,81	0,08	0,11	99,94	0,03	0,03
3	99,02	0,55	0,42	99,83	0,07	0,10	99,85	0,06	0,08
Průměr	99,05	0,52	0,44	99,73	0,11	0,15	99,84	0,07	0,09
Směr. odchylka	0,09	0,06	0,04	0,15	0,07	0,09	0,11	0,04	0,07

Z Tabulek 4 až 7 je zřejmé, že rychlost mletí směsi nemá vliv na rozpadavost pelety. Ani lisovací tlak nemá žádný výrazný vliv, přestože hodnoty pro 50 MPa vychází vždy nejlépe. Téměř u všech variant bylo dosaženo méně jak 1 % rozpadavosti, což je velmi pozitivní výsledek pro přepravu či další logistické řetězce při manipulaci s peletami.

Rozpadavost neboli mechanická odolnost je považována za vysokou při dosažení hodnoty nad 80 % (Colley *et al.*, 2006), z čehož vyplývá, že námi vyrobené pelety mají opravdu vysokou mechanickou odolnost. Smyslem této analýzy bylo zjistit, jak se peleta bude chovat při dopravě.

5.2 Měření tvrdosti podle Brinella

Tvrdost podle Brinella znamená schopnost odolat proti vtlačení. Někdy se tento pojem u dřeva používá i jako schopnost odolat poškrábání. Přesto, že je stanovení tvrdosti závislé převážně na hustotě, mohou ji ovlivnit i další faktory, a to houževnatost, velikost, soudržnost či uspořádání vláken (Wangaard, 1950). V případě našich pelet byla pro všechny tlaky i tvrdosti stejná, a to 58, tudíž lze říct, že ani lisovací tlak ani rychlost mletí směsi nemá vliv na tvrdost pelet. Tato naměřená hodnota spadá mezi středně tvrdé porézní materiály, do této kategorie spadá například i buk, jak ukazuje Tabulka 8.

Aplikovaný tlak během procesu peletizace aktivuje různé vazebné mechanismy, protože přírodní pojiva jako škrob, proteiny či lignin v materiálu vytvoří dobré mezičásticové vazby. Jiang *et al.* (2014) sice tvrdí, že tvrdost směsných pelet z čistírenského kalu a biomasy se zvyšuje se zvyšujícím tlakem, avšak v našem případě ke zvýšení nedošlo. Naopak námi získaná data se chovají jako v práci Carone *et al.* (2011), kteří u pelet z oliv při procesu zhušťování v rozmezí tlaku 70 a 150 MPa nenalezli žádný rozdíl.

Tabulka 8 Kategorie tvrdosti (Matovič, 1993)

Kategorie tvrdosti	Tvrđost	Vybrané dřeviny
Měkká	< 40	smrk, lípa
Středně tvrdá	41–80	buk, dub, modřín
Tvrđá	81–100	habr
Velmi tvrdá	101–150	zimostráz
Super tvrdá	> 150	eben

5.3 Sorpční vlastnosti pelet

Sorpční vlastnosti pelet jsou vedeny v Tabulce 9.

Tabulka 9 Sorpční vlastnosti pelet, %

Sorpce % / tlak lisování	20 MPa	35 MPa	50 MPa
25 kg/h	267,22 (1,88)	269,36 (3,22)	269,61 (1,25)
50 kg/h	266,97 (1,67)	269,34 (2,68)	270,22 (1,38)
100 kg/h	273,88 (2,38)	276,45 (2,09)	272,13 (4,38)
150 kg/h	273,83 (2,31)	271,89 (0,30)	275,82 (1,13)

Z Tabulky 9 je zřejmé, že rychlost mletí suspenze, ani lisovací tlak nemá výrazný vliv na sorpční schopnost. Avšak navlhavost pelet je extrémně vysoká cca 270 %, to je zřejmě způsobeno extrémně sorpčním biocharem. Biochar však na sebe neváže pouze vodu, ale také různé organické či nežádoucí složky, které nemusí být pro půdu příznivé (Cornelissen *et al.*, 2005; Yu *et al.*, 2006; Luo *et al.*, 2011; Graber *et al.*, 2011; James *et al.*, 2004; Chen & Yuan, 2011). Martin *et al.* (2012) se zabývali sorpčním a desorpčním chováním dvou herbicidů v půdě, která byla bohatá na oxidy železa a hliníku, a to buď doplněných biocharem, nebo obsahující biochar zrající v polních podmínkách. Půdy, které byly obohacené o čerstvý biochar vykazovaly až pětinašobné zvýšení sorpce herbicidů ve srovnání s neošetřenou půdou.

5.4 Inkubační pokus

Výsledky pro NPK a organický uhlík jsou vedeny v Tabulkách 10 až 13.

Tabulka 10 Organický uhlík, g/kg

Uhlík/dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	451,76	390,28	213,42	162,49	152,91	332,02	203,34	183,47	97,72
50 kg/h	307,62	251,03	269,19	101,14	112,74	174,02	162,55	141,16	75,76
100 kg/h	366,98	485,55	254,24	143,01	140,04	258,07	251,78	128,89	110,00
150 kg/h	440,66	355,59	198,01	98,45	97,64	160,54	206,45	84,09	125,30

Tabulka 11 Celkový dusík, g/kg

Dusík/dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	118,07	351,78	66,10	20,84	9,09	14,51	10,06	9,84	7,08
50 kg/h	119,85	213,56	48,87	16,20	20,73	23,62	16,36	9,87	5,88
100 kg/h	112,69	451,00	76,98	15,12	11,01	17,21	18,08	9,53	9,25
150 kg/h	175,45	270,53	13,58	5,40	5,29	10,20	13,89	4,77	8,43

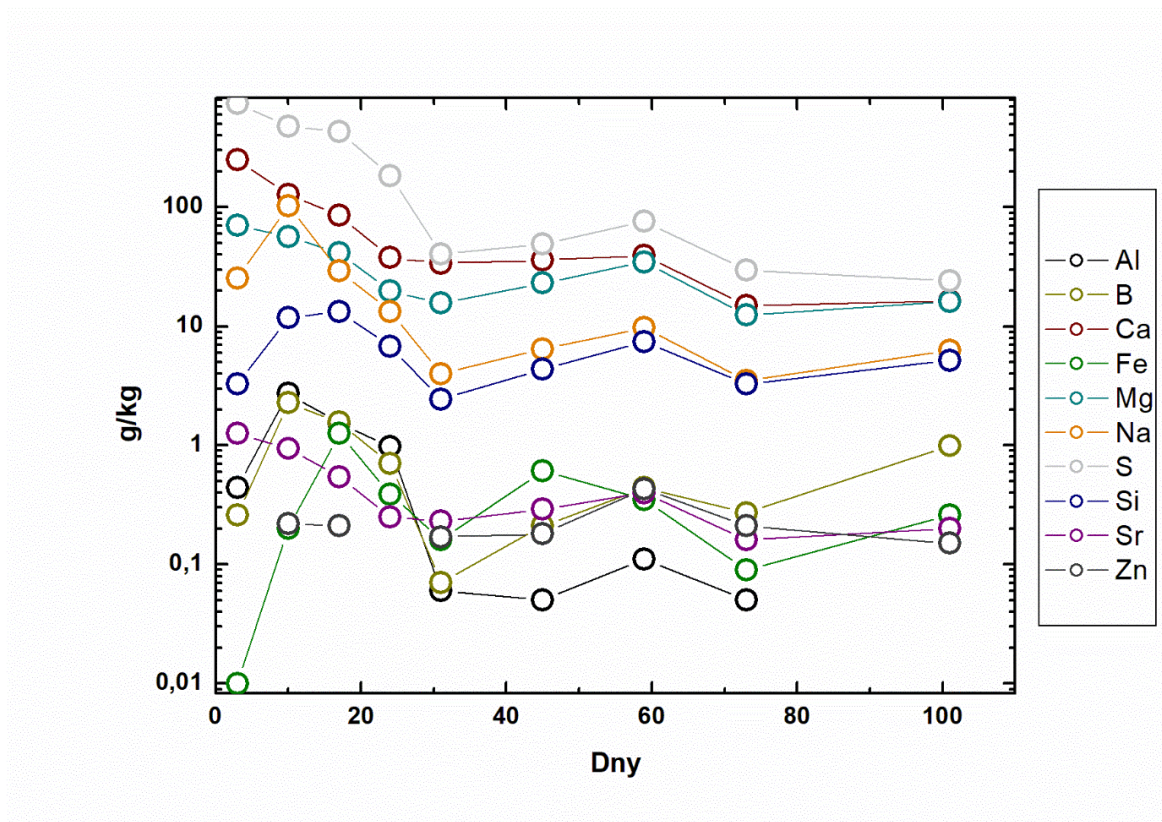
Tabulka 12 Fosfor, g/kg

Fosfor/dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	1,92	0,81	0,72	0,28	0,26	0,61	0,44	0,29	0,40
50 kg/h	0,92	0,12	0,16	0,05	0,10	0,06	0,08	0,07	0,18
100 kg/h	1,81	1,92	1,29	0,26	0,22	0,37	0,22	0,15	0,42
150 kg/h	1,96	0,27	0,45	0,12	0,14	0,13	0,10	0,10	0,35

Tabulka 13 Draslík, g/kg

Draslík/dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	283,58	265,52	195,20	117,13	112,24	182,91	129,30	103,96	80,00
50 kg/h	215,87	190,25	211,43	88,75	126,46	192,77	205,61	128,01	86,00
100 kg/h	186,60	290,42	198,01	104,21	112,60	205,19	241,32	100,16	104,22
150 kg/h	287,97	274,92	184,53	106,91	93,69	129,60	220,87	69,90	116,07

Kromě hlavních mikroprvků a makroprvků byly v peletách zastoupeny i některé další prvky. Na Obrázku 17 jsou uvedené vybrané prvky u vzorků s nejvyšším stupněm mletí.



Obrázek 17 Zastoupení makro a mikroprvků

Biochar se v souvislosti zemědělstvím či čištěním odpadní vody používá již delší dobu hlavně jako obnova živin. Mnoha půd, stejně jako substráty a komposty mají omezenou schopnost rostlinám poskytnout dostupné iontové formy N a P a snadno se poté vyluhováním ztrácí (Gul & Whalen, 2016). Proto jsou tyto dva prvky nejcennějšími živinami, přičemž v současnosti je fosfor tou nejcennější (Liu *et al.*, 2021). To je důsledek jednak nerovnoměrné distribuce fosforu po planetě, ale i to že fosfor je zcela nenahraditelný v několika biologických procesech (Rowland *et al.*, 2019).

Obdobně jako v práci Seyedsadra *et al.* (2022) bylo i u našich výsledků poukázáno na vyluhování celkového organického uhlíku, celkového dusíku, draslíku, avšak v našem případě kromě dalších jako vápníku a hořčíku se bohužel se velké míře vyluhovala i síra a sodík. Proto se udělal i chemický rozbor pelet, tzv. Mehlich.

5.5 Mehlich – chemický rozbor pelet

Kromě analýzy výluhu z inkubačního pokusu, bylo stanoveno i zastoupení jednotlivých látek v primární surovině, tj. ve směsi před peletizací. Výsledky zastoupení vybraných prvků jsou v Tabulce 14.

Tabulka 14 Mehlich, mg/kg

Prvek	Al	B	Ca	Fe	K	Mg
25 kg/h	0,08	5,85	1059,55	6,69	958,93	243,74
50 kg/h	0,92	5,28	538,19	3,93	724,45	197,21
100 kg/h	1,51	5,89	712,45	5,32	681,55	178,54
150 kg/h	1,00	5,60	850,89	2,40	178,54	194,89
Prvek	Mn	Na	P	S	Sr	Zn
25 kg/h	3,31	40,60	35,23	494,06	5,29	0,00
50 kg/h	2,74	31,56	35,23	277,45	2,41	0,86
100 kg/h	2,78	29,40	32,67	334,09	3,52	1,57
150 kg/h	3,27	31,81	25,58	379,01	4,26	0,00

U půdy atlantských pobřežních rovin prováděli porovnání mezi Mehlichem I a Mehlichem II. Hodnoty pro Mehlich III byly nižší v porovnání se starším stanovením Mehlich I. Obsahu fosforu dosáhli 41 mg/l, pro draslík 49 mg/l, pro vápník 295 mg/l a pro hořčík 45 mg/l, což jsou kromě hodnoty fosforu výrazně nižší než námi testované vzorky. Což svědčí o tom, že směs přidávaná do půdy by mohla zvýšit právě zmíněné prvky (Sims, 1989).

Cox (2001) provedl studii, kde porovnával metodu Mehlich III s metodou extrakce půdy Lancaster u velkého množství vzorků půdy. Lancasterova metoda extrahovala vyšší koncentrace živin než metoda Mehlich III pro nízké koncentrace vápníku v půdě. S rostoucím zastoupením vápníku v půdě se rozdíly mezi metodami zmenšovaly, až bylo dosaženo situace, kde obě metody vykazovaly stejné množství živin. Po této situaci došlo k tomu, že metodou Mehlich III se extrahovalo větší množství živin. Pak z velkého množství vzorků byly vytvořeny regresní rovnice pro vápník, hořčík a draslík, které se pohybovaly okolo 0,73 do 0,80. Avšak pro fosfor tyto metody nelze porovnat, jelikož korelace $R^2 = 0,39$.

V povodí Chesapeake Bay byly použity metody Morgan a Mehlich III pro celou řadu vzorků půdy (83 zemědělských půd) z hlediska fosforu. Autoři došli k odvození ekvivalentů pro fosfor, avšak byly odvozené rovnice zvlášť pro minerální a zvlášť pro bahnitou půdu.

Obsah fosforu však je velice vysoký a metodou Mehlicha III bylo dosaženo 187 mg/l (Crittenden *et al.*, 2017).

Pomocí metody Mehlich III hodnotili půdní fosfor pro střeatoatlantickou oblast spojených států. Hodnota fosforu touto metodou činila 115 mg/l, hliníku 785 mg/l, železa 126 mg/l, což jsou hodnoty výrazně vyšší než pro námi testovanou směs (Sims *et al.*, 2002).

Seyedsadr *et al.* (2022) uvádí složení samotného biocharu i kompostovaného biocharu. V případě fosforu byly naměřené hodnoty 0,89 g/kg pro biochar a pro kompostovaného biocharu 1,44 g/kg. Pro vápník uvádí 16,4 g/kg u biocharu a obdobně 16,1 g/kg v případě kompostovaného. Obdobné zastoupení je i v případě hořčíku, a to 2,86 g/kg u biocharu a 2,74 g/kg pro kompostovaný biochar. Avšak hodnoty pro draslík kompostování výrazně rostou, a to z 3,59 g/kg pro biochar na 10,2 g/kg pro kompostovaný. Avšak všechny tyto hodnoty jsou nižší než námi naměřené.

6. Závěr

Cílem této diplomové práce byla simulovaná výroba biocharových pelet s obsahem biocharu, živin a vlákniny. Dřevo určené pro výrobu vlákniny a biocharu pochází z těžby po kůrovcové kalamitě. Dalšími použitými složkami byla rostlinná vlákna (konopná a obilná sláma). Tento experiment byl proveden za účelem zajištění optimální vlhkosti půdy a zaručení dostatečného přísunu živin. Při tomto experimentu bylo dbáno na minimální dopad na životní prostředí, a to tak, že při výrobě nebyly použity žádné škodlivé chemické látky, jakými jsou například pesticidy.

Jedním z hlavních úkolů bylo zjistit nejrelevantnější rychlost rozvláknění, přičemž se rozhodovalo mezi čtyřmi rychlostmi rozvláknění (25, 50, 100 a 150 kg/h). Z každé směsi bylo vyrobeno několik kusů cca 6 g pelet. Další částí výzkumu bylo vybrat jaký z daných tlaků bude nejvhodnější pro lisování pelet. Lisování probíhalo s třemi různými tlaky, jakými byly 14 130 N (20 MPa), 25 000 N (35 MPa) a 35 325 N (50 MPa) a s teplotou matrice 0°C.

Hodnocenými parametry procesu peletování byly rozpadavost, tvrdost podle Brinella, sorpční vlastnosti, inkubační pokus a chemický rozbor pelet podle metody Mehlich.

Výsledky u první hodnocené oblasti – rozpadavost vyšly tak, že rychlost mletí směsi rozpad neovlivňuje. U daných tlaků jsou výsledky obdobné, avšak u tlaku 50 MPa i přesto vycházejí hodnoty nejlépe. Rozpadavost pelet byla stanovena na méně než 1 %, což je vhodné pro manipulaci a následnou přepravu.

Tvrdost podle Brinella vyšla u všech zkoumaných tlaků a stupňů mletí stejná, a to 58, což je porovnatelný středně tvrdý porézní materiál stejně jako modřín, buk nebo dub.

Pro sorpční schopnost neboli navlhavost pelet nemá významný vliv jak tlak, tak i rychlost mletí směsi. Přičemž navlhavost biocharových pelet dosahuje mimořádně vysokých hodnot a to zhruba 270 %. Tento jev je důsledkem působení přítomného biocharu, který je extrémně savým materiálem. Je tedy vhodný jak pro zadržování vody, tak i nežádoucích látek v půdě.

Při chemickém rozboru surových směsí pomocí analýzy Mehlich 3 jsem dospěl k závěru, že při rychlosti mletí 25 kg/h jsou vybrané prvky ve většině případů zastoupeny ve větším množství, a to v desítkách i stovkách mg/kg, bohužel však i nežádoucí prvky.

Inkubační pokus prokázal vysoké zastoupení dusíku a fosforu, avšak se vyskytovala i nežádoucí síra a sodík.

Po dokončení výzkumu je z výše uvedených dat a tabulek zřejmé, že pro výrobu je nejvhodnější rychlost mletí směsi při 25 kg/h a při působení tlaku 35 325 N (50 MPa). Tyto pelety mají nejvyšší pevnost, proto jsou vhodné pro manipulaci i transport a rychlost mletí 25 kg/h není tak energeticky náročná a zároveň zaručí dostatek živin pro rostliny.

V budoucnu by bylo dobré nahradit Dolophos za nějaké jiné fosforečné hnojivo, jelikož obsah fosforu se nám nepodařilo do pelet přidat. Stejně tak i draselné Patenkali bude vhodné nahradit, jelikož se nám výrazně zvedá právě obsah síry, což je zřejmě způsobeno síranovým základem tohoto hnojiva.

7. Seznam použitých zdrojů

1. Avramidis, P.; Bekiari, V. Application of a catalytic oxidation method for the simultaneous determination of total organic carbon and total nitrogen in marine sediments and soils. *PLoS ONE* **2021**, *16*(6), e0252308.
2. *Brikety a pelety z biomasy*, **2008**: (online) [cit.2024.01.24], dostupné z <http://www.mpo.cz/dokument53064.html>.
3. Břendová, K.; Tlustoš, P.; Száková, J.; Bohuněk, M., **2014**: *Využití biouhli (biocharu) k úpravě půdních vlastností* (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-biouhli-biocharu-k-uprave-pudnich-vlastnosti>.
4. Brynda, J.; Skoblia, S.; Pohořelý, M.; Beňo, Z.; Soukup, K.; Jeremiáš, M.; Moško, J.; Zach, B.; Trakal, L.; Šyc, M.; Svoboda, K. Wood chips gasification in a fixed-bed multi-stage gasifier for decentralized high-efficiency CHP and biochar production: Long-term commercial operation. *Fuel* **2020**, *281*, 118637.
5. Carone, M.T.; Pantaleo, A.; Pellerano, A. Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Olea europaea* L. *Biomass and bioenergy* **2011**, *35*, 402–410.
6. Cibulka, R., **2010**: *TRITICUM AESTIVUM L. – pšenice setá / pšenica letná* (online) [cit. 2024.01.15], dostupné z <https://botany.cz/cs/triticum-aestivum/>.
7. Colantoni, A.; Pari, E.; Bianchini, L.; Ferri, S.; Marcantonio, V.; Canrevale, M.; Palma, A.; Civitarese, V.; Gallucci, F. Spent coffee ground characterization, pelletization test and emissions assessment in the combustion process. *Scientific Reports* **2021**, *11*, 5119.
8. Colley, Z.; Fasina, O.; Bransby, D., Lee, Y. Moisture Effect on the Physical Characteristics of Switchgrass Pellets. *Transactions of the ASABE* **2006**, *49*, 1845–1851.
9. Cornelissen, G.; Gustafsson, O.; Bucheli, T.D.; Jonker, M.T.; Koelmans, A.A.; van Noort, P.C. Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation. *Environmental Science & Technology* **2005**, *39*(18), 6881–6895.

10. Cox, M.S. The Lancaster soil test method as an alternative to the three soil test method. *Soil Science* **2001**, 166(7), 484–489.
11. Crittenden, S.J.; Ketterings, Q.M.; Knight, J.; Czymmek, K.J. Soil Phosphorus Saturation Ratio Sets Comparable Manure Application Cutoffs Across States Differing in Agronomic Soil Test. *Soil Science* **2017**, 182(1), 36–44.
12. ČSN 49 0104: *Skušky vlastností rasteného dreva. Metóda zisťovania nasiakavosti a navlhavosti*. Český normalizační institut: Praha, **1988**.
13. ČSN 49 0108: *Zisťovanie hustoty*. Český normalizační institut: Praha, **1993**.
14. ČSN 64 0128: *Zkoušky tuhých nekovových materiálů. Tvrdost podle Brinella*. Český normalizační institut: Praha, **1953**.
15. ČSN ISO (757365): *Jakost vod. Stanovení pH*. Český normalizační institut: Praha, **2010**.
16. *Dolophos* 26, **2024**: (online) [cit.2024.01.13], dostupné z <http://zoslestina.cz/dolophos-26>.
17. Ferraro, A.; Ducman, V.; Colangelo, F.; Korat, L.; Spasiano, D.; Farina, I. Production and characterization of lightweight aggregates from municipal solid waste incineration fly-ash through single – and double-step pelletization process. *Journal of Cleaner Production* **2023**, 383, 135275.
18. Frodeson, S.; Henriksson, G.; Berghel, J. Pelletizing pure biomass substances to investigate the mechanical properties and bonding mechanisms. *BioResources* **2018**, 13(1), 1202–1222.
19. Garcia-Maraver, A.; Pérez-Jiménez, J.A. *Biomass Pelletization: Standards and Production*. **2015**, WITPress: Boston, 194 s.
20. García, R.; Gil, M.V.; Rubiera, F.; Pevida, C. Pelletization of wood and alternative residual biomass blends for producing industrial quality pellets. *Fuel* **2019**, 251, 739–753.
21. Graber, E.R.; Tsechansky, L.; Khanukov, J.; Oka, Y. Efficacy of the Fumigant 1,3-Dichloropropene in a Biochar-Amended Soil. *Soil Science Society of America Journal* **2011**, 75(4), 1365.
22. Gul, S.; Whalen, J.K. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar-amended soils. *Soil Biology & Biochemistry* **2016**, 103, 1–15.
23. Hrázský, J.; Král, P. *Využití dřevních a jiných lignocelulozových odpadů*. **1999**, Mendlova zemědělská a lesnická universita v Brně: Brno, 98 s.

24. Chen, B.; Yuan, M. Enhanced Sorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Soil Amended with Biochar. *Journal of Soils and Sediments* **2011**, *11*(1), 62–71.
25. ISO 4696-1:2007: *Iron ores for blast furnace feedstocks – Determination of low-temperature reduction-disintegration indices by static method. Part 1: Reduction with CO, CO₂, H₂ and N₂*. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, **2014**.
26. James, G.; Sabatini, D.A.; Chiou, C.T.; Rutherford, D.; Scott, A.C.; Karapanagioti, H.K. Evaluating phenanthrene sorption on various wood chars. *Water Resources* **2005**, *39*(4), 549–558.
27. Jiang, L.; Liang, J.; Yuan, X.; Li, H.; Li, Ch.; Xiao, Z.; Huang, H.; Wang, H.; Zeng, G. Co-pelletization of sewage sludge and biomass: The density and hardness of pellet. *Bioresource Technology* **2014**, *166*, 436–443.
28. Klobušník, L., **2003**: *Pelety – palivo budoucnosti*. Sdružení harmonie: Praha, 112 s.
29. Kovář, L., **2012**: *CANNABIS SATIVA L. – konopí seté / konopa siata* (online) [cit. 2024.01.15], dostupné z <https://botany.cz/cs/cannabis-sativa/>.
30. Krizán, P., **2004**: *Technológia výroby a zariadenia na výrobu ušlechtilých biopalív* (online) [cit. 2024.01.24], dostupné z https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2004/13_Krizan.pdf.
31. Krizán, P.; Matúš, M., **2012**: *Vplyv niektorých druhov drevných materiálov při briketovaní a peletovaní* (online) [cit. 2024.01.24], dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vplyv-niektorých-druhov-drevných-materialov-pri-briketovaní-a-peletovaní>.
32. *Ledek vápenatý hnojivo*, **2024**: (online) [cit.2024.01.13], dostupné z <https://www.ovosadba.cz/ledek-vapenaty-15--3kg/>.
33. Liu, Y.; Song, Y.; Ran, Ch.; Siyal, A.A.; Jiang, Z.; Chtaeva, P.; Deng, Z.; Zhang, T.; Fu, J.; Ao. W. Zhou, Ch.; Li, X.; Wang, L.; Dai, J. Characterization and analysis of condensates and non-condensable gases from furfural residua via fast pyrolysis in bubbling fluidized bed reactor. *Waste Management* **2021**, *125*, 77–86.
34. Luo, L.; Lou, L.; Cui, X.; Wu, B.; Hou, J.; Xun, B.; Xu, X.; Chen, Y. Sorption and desorption of pentachlorophenol to black carbon of three different origins. *Journal of Hazardous Materials* **2011**; *185*(2–3),639–646.
35. Lürenbaum, C.; Vortmann-Westhoven, B.; Everts, M.; Winter, M.; Nowak, S. Quantitative spatially resolved post-mortem analysis of lithium distribution and

- transition metal depositions on cycled electrodes via a laser ablation-inductively coupled plasma-optical emission spectrometry method. *RSC Advances* **2020**, *12*, 7083–7091.
36. Martin, S.M.; Kookana, R.S.; Zwieter, L.V.; Krull, E. Marked changes in herbicide sorption-desorption upon ageing of biochars in soil. *Journal of Hazardous Materials* **2012**, *231–232*, 70–78.
37. *MaterialDistrict*, **2016**: Zelfo (online) [cit.2024.01.12], dostupné z <https://materialdistrict.com/material/zelfo-2/>.
38. Matovič, A. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. **1993**, Vysoká škola zemědělská: Brno, 212 s.
39. Mostafa, M.E.; Hu, S.; Wang, Y.; Sheng, S.; Hu, X.; Elsayed, S.A.; Xiang, J. The significance of pelletization operating conditions: An analysis of physical and mechanical characteristics as well as energy consumption of biomass pellets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2019**, *105*, 332–348.
40. Nielsen, N.P.K.; Gardner, D.J.; Poulsen, T.; Felby, C. Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets. *Wood and fiber science* **2009**, *41(4)*, 414–425.
41. Obernberger, I.; Thek, G. *The pellet Handbook: The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets*. **2010**, Routledge: London. 592 s.
42. *Patenkali*, **2024**: (online) [cit.2024.01.13], dostupné z <http://zoslestina.cz/patenkali>.
43. *Peletizovaný kompost pomůže hnojit efektivněji*, **2021** (online) [cit. 2024.02.24], dostupné z <https://mendelu.cz/peletizovany-kompost-pomuze-hnojit-efektivneji/>.
44. Pohořelý, M.; Sedmihradská, A.; Trakal, L.; Jevič, P., **2019**: *Biochar – výroba, vlastnosti, certifikace, použití* | *Waste forum*. (online) [cit. 2024.02.04], dostupné z <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2019/042.pdf>.
45. *Pšenice obecná*, **2024**: *Pšenice obecná (Triticum aestivum L.)* (online) [cit.2024.01.12], dostupné z <https://cit.vfu.cz/vegetabilie/plodiny/czech/psenice.htm>.
46. Rowland, Z.; Machová, V.; Horák, J.; Hejda, J. Determining the market value of the enterprise using the modified method of capitalized net incomes and Metfessel allocation of input data. *AD ALTA: Journal of interdisciplinary research* **2019**, *9*, 305–310.

47. Puig-Arnavat, M.; Shang, L.; Sárossy, Z.; Ahrenfeldt, J.; Henriksen, U.B. From a single pellet press to a bench scale pellet mill – Pelletizing six different biomass feedstocks. *Fuel Processing Technology* **2016**, *142*, 27–33.
48. Sarker, T.R.; Azargohar, R.; Stobbs, J.; Karunakaran, Ch.; Meda, V.; Dalai, A.K. Complementary effects of torrefaction and pelletization for the production of fuel pellets from agricultural residues: A comparative study. *Industrial Crops and Products* **2022**, *181*, 114740.
49. Seyedsadr, S.; Šípek, V.; Jačka, L.; Sněhota, M.; Beesley, L.; Pohořelý, M.; Kováč, M.; Trakal, L. Biochar considerably increases the easily available water and nutrient content in low-organic soils amended with compost and manure. *Chemosphere* **2022**, *293*, 133586.
50. Sharma, H.B.; Dubey, B.K. Co-hydrothermal carbonization of food waste with yard waste for solid biofuel production: Hydrochar characterization and its pelletization. *Waste Management* **2020**, *118*, 521–533.
51. Sims, J.T. Comparison of Mehlich 1 and Mehlich 3 extractants for P, K, Ca, Mg, Mn, Cu and Zn in Atlantic coastal plain soils, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **1989**, *20(17–18)*, 1707–1726.
52. Sims, J.T.; Maguire, R.O.; Leytem, A.B.; Gartley, K.L.; Pautler, M.C. Evaluation of Mehlich 3 as an Agri-Environmental Soil Phosphorus Test for the Mid-Atlantic United States of America. *Soil Science Society of America Journal* **2002**, *66(6)*, 2016–2032.
53. Sixta, H. *Handbook of pulp*. **2006**, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim. 1369 s. ISBN 3-527-30999-3.
54. Srb, J.; Růžičková, Z. *Peletizace jemnozrnných surovin*. **1979**, SNTL: Praha, 312 s.
55. Srinivasan, K. Ion Chromatography Instrumentation for Water Analysis, *Chemistry and Water* **2017**, 329–351.
56. Stelte, W.; Holm, J.K.; Sanadi, A.r., Barsberg, S.; Ahrenfeldt, J.; Henriksen, U.B. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel* **2011**, *90(11)*, 3285–3290.
57. Stupavský, V., **2010**: *Pelety z biomasy – dřevěné, rostlinné, kůrové pelety* (online) [cit. 2024.01.24], dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety>.

58. *V4 Biochar Platform*, **2019**: O biocharu (online) [cit. 2021.02.04], dostupné z <https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu>.
59. Verheijen, F.; Jeffery, S.; Bastos, A.C.; van der Velde, M.; Diafas, I. *Biochar Application to Soils*. **2010**, Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg, 166 s.
60. *Vermikompost od Edy*, **2024**: Vermikompost od Edy (online) [cit.2024.01.13], dostupné z <https://www.specialnizahradnictvi.cz/obohacovace-substratu/vermikompost-od-edy/>.
61. *Vermikompostování*, **2019**: Vermikompostování (online) [cit.2024.02.21], dostupné z <https://www.vermikompostovani.cz/>.
62. Wangaard, F. *The mechanical properties of wood*. **1950**, John Wiley & Sons: New York, 377 s.
63. Younis, M.; Alnouri, S.Y.; Tarboush, B.J.A.; Ahmad, M.N. Renewable biofuel production from biomass: a review for biomass pelletization, characterization, and thermal conversion techniques. *International Journal of Green Energy* **2018**, *15(13)*, 837–863.
64. Yu, X.Y.; Ying, G.G.; Kookana, R.S. Sorption and desorption behaviors of diuron in soils amended with charcoal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2006**, *54(22)*, 8545–8550.

8. Seznam obrázků

- Obr. 1 Biocharová pasta (str. 26)
- Obr. 2 Směs pro výrobu pelet (str. 30)
- Obr. 3 Směs obohacená o biocharovou směs (str. 31)
- Obr. 4 Mletá směs při 25 kg/h (str. 31)
- Obr. 5 Mletá směs při 50 kg/h (str. 32)
- Obr. 6 Mletá směs při 100 kg/h (str. 32)
- Obr. 7 Mletá směs při 150 kg/h (str. 33)
- Obr. 8 Laboratorní váha sloužící k navážení směsi (str. 34)
- Obr. 9 Tira test sloužící k výrobě pelet (str. 34)
- Obr. 10 Petryho misky obsahující dané pelety (str. 35)
- Obr. 11 Sušárna k vysušení vzorků (str. 35)
- Obr. 12 Posuvné měřítko sloužící ke zjištění rozměrů pelet (str. 36)
- Obr. 13 Přístroj pro měření tvrdosti (str. 37)
- Obr. 14 ICP-OES analyzátor (Lürenbaum et al., 2020) (str. 38)
- Obr. 15 Iontová chromatografie (Srinivason, 2017) (str. 39)
- Obr. 16 TOC a TN analyzátor (Avramidis & Bekairi, 2021) (str. 40)
- Obr. 17 Zastoupení makro a mikroprvků (str. 45)

9. Seznam tabulek

Tabulka 3 Faktory procesu lisování (Křižan a Matúš,2012) (str. 22)

Tabulka 4 Složení biocharové pasty (str. 26)

Tabulka 3 Složení směsi pro výrobu pelet (str. 30)

Tabulka 4 Rozpadavost pelet o rychlosti mletí 25 kg/h, % (str. 41)

Tabulka 5 Rozpadavost pelet o rychlosti mletí 50 kg/h, % (str. 41)

Tabulka 6 Rozpadavost pelet o rychlosti mletí 100 kg/h, % (str. 41)

Tabulka 7 Rozpadavost pelet o rychlosti mletí 150 kg/h, % (str. 42)

Tabulka 8 Kategorie tvrdosti (Matovič, 1993) (str. 43)

Tabulka 9 Sorpční vlastnosti pelet, % (str. 43)

Tabulka 10 Organický uhlík, g/kg (str. 44)

Tabulka 11 Celkový dusík, g/kg (str. 44)

Tabulka 12 Fosfor, g/kg (str. 44)

Tabulka 13 Draslík, g/kg (str. 44)

Tabulka 14 Mehlich, mg/kg (str. 46)

10. Přílohy

Tabulka 15 Rozpadavost hmotnost, 25 kg/h 20 MPa

Peleta 25 kg/h 20 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	5,7265	5,6605	0,0396	0,0264
Vzorek 2	5,8137	5,6645	0,1030	0,0462
Vzorek 3	5,8072	5,7351	0,0446	0,0275

Tabulka 16 Rozpadavost hmotnost, 25 kg/h 35 MPa

Peleta 25 kg/h 35 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	6,0269	6,0196	0,0030	0,0043
Vzorek 2	6,0571	6,0289	0,0181	0,0101
Vzorek 3	6,0041	6,0020	0,0012	0,0009

Tabulka 17 Rozpadavost hmotnost, 25 kg/h 50 MPa

Peleta 25 kg/h 50 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	5,8536	5,8498	0,0021	0,0017
Vzorek 2	5,8142	5,8016	0,0091	0,0035
Vzorek 3	5,8789	5,8723	0,0029	0,0037

Tabulka 18 Rozpadavost hmotnost, 50 kg/h 20 MPa

Peleta 50 kg/h 20 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	5,7426	5,7052	0,0172	0,0202
Vzorek 2	5,7669	5,7272	0,0266	0,0131
Vzorek 3	5,6849	5,6726	0,0075	0,0048

Tabulka 19 Rozpadavost hmotnost, 50 kg/h 35 MPa

Peleta 50 kg/h 35 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	5,7174	5,7129	0,0021	0,0024
Vzorek 2	5,6981	5,6938	0,0018	0,0025
Vzorek 3	5,6880	5,6849	0,0017	0,0014

Tabulka 20 Rozpadavost hmotnost, 50 kg/h 50 MPa

Peleta 50 kg/h 50 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	5,7421	5,7358	0,0026	0,0037
Vzorek 2	5,7368	5,7251	0,0061	0,0056
Vzorek 3	5,7128	5,7102	0,0018	0,0008

Tabulka 21 Rozpadavost hmotnost, 100 kg/h 20 MPa

Peleta 100 kg/h 20 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	5,9875	5,9401	0,0293	0,0181
Vzorek 2	5,9357	5,8990	0,0213	0,0154
Vzorek 3	5,9423	5,9206	0,0102	0,0115

Tabulka 22 Rozpadavost hmotnost, 100 kg/h 35 MPa

Peleta 100 kg/h 35 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	5,7040	5,6854	0,0102	0,0084
Vzorek 2	5,6950	5,6627	0,0196	0,0127
Vzorek 3	5,6429	5,6320	0,0070	0,0039

Tabulka 23 Rozpadavost hmotnost, 100 kg/h 50 MPa

Peleta 100 kg/h 50 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	5,9224	5,9144	0,0066	0,0014
Vzorek 2	6,0786	6,0751	0,0012	0,0023
Vzorek 3	6,0246	6,0212	0,0010	0,0024

Tabulka 24 Rozpadavost hmotnost, 150 kg/h 20 MPa

Peleta 150 kg/h 20 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	5,9150	5,8643	0,0266	0,0241
Vzorek 2	5,8945	5,8341	0,0323	0,0281
Vzorek 3	5,8941	5,8366	0,0326	0,0249

Tabulka 25 Rozpadavost hmotnost, 150 kg/h 35 MPa

Peleta 150 kg/h 35 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	5,7489	5,7232	0,0112	0,0145
Vzorek 2	5,7421	5,7314	0,0044	0,0063
Vzorek 3	5,6427	5,6330	0,0041	0,0056

Tabulka 26 Rozpadavost hmotnost, 150 kg/h 50 MPa

Peleta 150 kg/h 50 MPa	Navážka, g	Hmotnost frakce, g		
		1 mm <	0,3–1 mm	0,3 mm >
Vzorek 1	6,0890	6,0723	0,0065	0,0102
Vzorek 2	6,0029	5,9991	0,0021	0,0017
Vzorek 3	6,0374	6,0284	0,0039	0,0051

Tabulka 27 Tvrdost podle Brinella

Peleta/ tlak lisování	20 MPa	35 MPa	50 MPa
25 kg/h	58	58	58
50 kg/h	58	58	58
100 kg/h	58	58	58
150 kg/h	58	58	58

Tabulka 28 Hustota pelet

Peleta / tlak lisování	20 MPa	35 MPa	50 MPa
25 kg/h	534 (11,0)	666 (4,8)	754 (10,5)
50 kg/h	539 (9,1)	712 (19,7)	747 (11,7)
100 kg/h	566 (12,5)	714 (20,1)	799 (21,6)
150 kg/h	561 (8,5)	702 (9,8)	784 (15,3)

Tabulka 29 pH – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	5,95	7,69	7,87	8,04	7,99	7,37	7,90	7,88	8,41
50 kg/h	7,04	7,99	8,15	8,27	8,38	8,10	8,14	8,35	8,45
100 kg/h	5,98	7,40	7,73	7,98	7,93	7,67	7,73	8,14	8,34
150 kg/h	6,00	8,03	7,71	8,04	8,10	8,03	8,02	8,39	8,11

Tabulka 30 Konduktivita – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	7800	8050	7100	5400	4900	4125	3225	2725	2400
50 kg/h	7225	7150	6025	4525	5600	3500	4400	2900	3725
100 kg/h	6275	8175	7275	5200	4200	2275	2725	1650	1700
150 kg/h	5800	5575	4750	3450	3500	2150	2375	1500	1700

Tabulka 31 Fluoridy – inkubační pokus, g/kg

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	0,35	0,58	0,42	0,37	0,42	0,00	2,66	0,03	0,02
50 kg/h	0,50	0,27	0,34	0,07	0,05	0,07	0,15	0,04	0,01
100 kg/h	0,61	5,22	0,29	0,35	0,13	0,11	0,11	0,04	0,02
150 kg/h	0,53	0,58	0,99	0,26	0,11	0,12	0,20	0,06	0,05

Tabulka 32 Chloridy – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	68,99	48,21	37,43	24,66	20,49	37,40	21,95	22,83	14,99
50 kg/h	44,63	33,24	44,23	15,02	21,95	35,39	37,26	25,45	15,07
100 kg/h	39,43	52,75	39,45	18,26	19,32	39,12	41,81	20,47	19,85
150 kg/h	63,36	53,92	36,36	16,18	15,60	25,21	42,33	15,10	22,11

Tabulka 33 Dusitany – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	2,81	205,13	181,59	48,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50 kg/h	33,13	31,94	37,74	4,94	6,88	0,22	0,00	0,00	0,01
100 kg/h	2,40	328,45	225,66	11,69	0,06	0,00	0,00	0,00	0,14
150 kg/h	30,38	25,14	3,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 34 Bromidy – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	0,00	1,65	0,92	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50 kg/h	0,15	0,27	0,08	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
100 kg/h	0,00	2,75	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150 kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 35 Dusičnany – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	502,81	195,40	36,29	10,10	2,15	0,15	0,64	2,09	2,81
50 kg/h	298,09	134,23	61,48	24,73	34,51	32,37	8,07	1,39	0,64
100 kg/h	279,79	163,23	26,32	4,36	0,90	0,61	0,31	1,57	1,46
150 kg/h	501,58	27,99	1,16	0,74	0,29	0,74	0,45	1,14	2,04

Tabulka 36 Fosforečnany – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50 kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100 kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00
150 kg/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 37 Sířany – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	398,81	291,22	231,67	158,40	139,29	242,21	131,74	101,68	59,64
50 kg/h	273,95	215,81	299,70	110,86	162,63	267,15	280,94	187,34	111,29
100 kg/h	254,14	314,98	230,55	119,93	135,52	207,92	174,97	65,75	51,18
150 kg/h	381,14	359,02	252,79	101,19	94,87	116,07	180,96	65,37	56,73

Tabulka 38 Al (hliník) – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	0,25	1,95	1,46	1,15	0,04	0,11	0,06	0,10	0,00
50 kg/h	0,18	1,18	1,14	0,55	0,05	0,06	0,03	0,05	0,00
100 kg/h	0,27	2,12	1,29	0,88	0,06	0,12	0,15	0,11	0,00
150 kg/h	0,44	2,74	1,54	0,98	0,06	0,05	0,11	0,05	0,00

Tabulka 39 B (bor) – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	0,40	1,65	1,46	0,83	0,09	0,27	0,25	0,33	0,61
50 kg/h	0,18	1,05	1,34	0,41	0,07	0,17	0,27	0,30	0,38
100 kg/h	0,31	1,76	1,44	0,65	0,07	0,25	0,39	0,35	0,88
150 kg/h	0,26	2,28	1,57	0,70	0,07	0,21	0,44	0,27	0,99

Tabulka 40 Ca (vápník) – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	230,87	182,28	124,81	51,20	47,15	94,87	52,99	31,44	10,16
50 kg/h	158,34	96,96	93,34	28,48	35,67	53,58	40,23	28,24	12,09
100 kg/h	163,18	208,76	136,28	44,16	44,29	61,69	52,70	22,12	13,11
150 kg/h	248,81	127,52	85,47	37,78	33,88	35,93	39,50	15,01	16,36

Tabulka 41 Fe (železo) – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	0,01	0,51	1,16	0,64	0,24	2,07	1,03	0,40	0,18
50 kg/h	0,01	0,19	0,73	0,36	0,17	0,75	0,14	0,36	0,28
100 kg/h	0,01	0,33	0,47	0,62	0,30	1,42	0,58	0,40	0,03
150 kg/h	0,01	0,20	1,26	0,39	0,16	0,61	0,35	0,09	0,26

Tabulka 42 Mg (hořčík) – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	67,77	54,49	43,89	21,10	18,01	36,08	24,94	20,68	10,97
50 kg/h	51,12	38,94	47,72	16,10	19,35	34,07	33,90	23,56	12,68
100 kg/h	50,19	62,62	47,34	19,65	19,52	38,49	41,67	19,03	13,78
150 kg/h	70,39	56,26	41,62	19,83	15,73	23,17	34,68	12,53	16,12

Tabulka 43 Na (sodík) – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	22,62	47,21	28,24	15,55	4,73	9,45	5,77	5,22	4,30
50 kg/h	18,55	44,47	27,31	9,04	5,35	9,10	8,82	6,24	4,16
100 kg/h	19,85	75,64	28,04	12,71	4,86	9,84	10,70	4,99	5,69
150 kg/h	25,45	103,19	29,10	13,34	4,01	6,47	9,74	3,53	6,28

Tabulka 44 S (síra) – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	302,63	204,01	199,42	106,85	55,59	92,53	59,41	48,32	24,21
50 kg/h	230,36	131,46	197,72	61,81	64,84	106,11	110,38	80,49	37,87
100 kg/h	246,99	208,49	198,98	86,77	54,28	87,42	86,81	36,92	22,25
150 kg/h	371,77	239,26	215,75	91,45	40,48	49,10	75,80	29,80	24,07

Tabulka 45 Si (křemík) – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	3,79	9,68	13,98	7,56	2,63	5,91	4,26	4,29	3,10
50 kg/h	2,94	6,33	10,90	3,94	2,33	4,31	4,58	3,89	2,27
100 kg/h	1,89	8,71	10,21	5,48	2,14	5,32	6,44	3,69	4,00
150 kg/h	3,30	11,79	13,34	6,81	2,43	4,39	7,46	3,29	5,19

Tabulka 46 Sr (stroncium) – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	1,16	1,06	0,69	0,30	0,28	0,58	0,37	0,27	0,12
50 kg/h	0,82	0,62	0,61	0,20	0,27	0,44	0,41	0,31	0,16
100 kg/h	0,81	1,11	0,71	0,26	0,28	0,47	0,46	0,22	0,16
150 kg/h	1,26	0,94	0,54	0,25	0,23	0,29	0,40	0,16	0,20

Tabulka 47 Zn (zinek) – inkubační pokus

Peleta/ dny	3	10	17	24	31	45	59	73	101
25 kg/h	0,07	0,16	0,08	0,02	0,16	0,49	0,44	0,16	0,08
50 kg/h	0,08	0,15	0,08	0,02	0,26	0,30	0,56	0,06	0,06
100 kg/h	0,21	0,06	0,07	0,07	0,16	0,31	0,86	0,23	0,16
150 kg/h	0,00	0,22	0,21	0,00	0,17	0,18	0,43	0,21	0,15

Tabulka 48 Mehlich III pro surovinu mletou 25 kg/h

Prvek/ množství	Výpočet 1 (m=1,0079)	Výpočet 2 (m=1,0007)	Výpočet 3 (m=1,0069)	Korelace výpočtu 1	Korelace výpočtu 2	Korelace výpočtu 3	Průměr
Al	0,26	0,00	0,29	0,16	-0,10	0,19	0,08
As	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
B	6,12	6,91	6,48	5,46	6,26	5,82	5,85
Ba	0,80	0,94	0,97	0,79	0,93	0,96	0,89
Be	0,00	0,21	0,09	-0,01	0,20	0,09	0,09
Ca	1044,21	1054,01	1082,30	1043,58	1053,39	1081,67	1059,55
Cd	0,19	0,02	0,01	0,19	0,02	0,01	0,07
Co	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
Cr	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	1,02	9,51	9,54	1,02	9,51	9,54	6,69
K	968,30	947,66	962,96	967,59	946,95	962,25	958,93
Li	0,11	0,00	0,17	0,10	-0,01	0,17	0,09
Mg	240,91	242,21	248,66	240,72	242,02	248,47	243,74
Mn	3,28	3,33	3,43	3,24	3,29	3,39	3,31
Mo	0,00	0,00	0,00	-0,03	-0,04	-0,03	-0,03
Na	41,56	40,45	41,20	41,09	39,98	40,74	40,60
Ni	0,00	0,01	0,27	-0,05	-0,04	0,22	0,04
P	34,60	33,99	37,09	34,60	33,99	37,09	35,23
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	476,08	494,09	512,64	475,87	493,88	512,43	494,06
Se	2,82	0,00	0,00	2,70	-0,11	-0,12	0,82
Sr	5,20	5,28	5,38	5,20	5,28	5,38	5,29
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 49 Mehlich III pro surovinu mletou 50 kg/h

Prvek/ množství	Výpočet 1 (m=1,0122)	Výpočet 2 (m=1,0074)	Výpočet 3 (m=1,0107)	Korelace výpočtu 1	Korelace výpočtu 2	Korelace výpočtu 3	Průměr
Al	0,67	1,06	1,31	0,57	0,96	1,21	0,92
As	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
B	5,66	5,89	6,24	5,01	5,24	5,58	5,28
Ba	0,56	0,62	0,65	0,55	0,62	0,65	0,60
Be	0,13	0,24	0,05	0,13	0,23	0,04	0,13
Ca	510,60	519,68	586,18	509,97	519,06	585,55	538,19
Cd	0,32	0,15	0,10	0,32	0,15	0,10	0,19
Co	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,38	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,13
Fe	0,00	9,62	2,18	0,00	9,62	2,17	3,93
K	702,48	640,00	833,00	701,77	639,29	832,29	724,45
Li	0,00	0,00	0,09	-0,01	-0,01	0,09	0,03
Mg	199,87	172,01	220,31	199,68	171,83	220,12	197,21
Mn	2,78	2,44	3,14	2,73	2,40	3,09	2,74
Mo	0,00	0,14	0,00	-0,03	0,10	-0,03	0,01
Na	31,71	28,27	36,10	31,24	27,81	35,63	31,56
Ni	0,68	0,20	0,23	0,63	0,15	0,18	0,32
P	34,21	35,75	28,05	34,21	35,75	28,05	32,67
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	371,08	35,75	426,17	370,87	35,53	425,96	277,45
Se	1,33	0,00	0,00	1,21	-0,12	-0,12	0,32
Sr	3,38	357,04	3,81	3,38	357,04	3,81	121,41
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Tl	0,00	3,22	0,00	0,00	3,22	0,00	1,07
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	2,57	0,00	0,00	2,57	0,00	0,00	0,86

Tabulka 50 Mehlich III pro surovinu mletou 100 kg/h

Prvek/ množství	Výpočet 1 (m=0,9973)	Výpočet 2 (m=0,9989)	Výpočet 3 (m=1,0007)	Korelace výpočtu 1	Korelace výpočtu 2	Korelace výpočtu 3	Průměr
Al	1,84	1,46	1,52	1,74	1,36	1,42	1,51
As	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
B	6,39	6,66	6,59	5,74	6,01	5,94	5,89
Ba	0,51	0,81	0,69	0,50	0,80	0,68	0,66
Be	0,09	0,14	0,09	0,08	0,13	0,09	0,10
Ca	589,04	781,39	768,79	588,41	780,77	768,16	712,45
Cd	0,19	0,00	0,18	0,19	0,00	0,18	0,12
Co	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
Cr	0,00	0,08	0,25	0,00	0,08	0,25	0,11
Cu	0,00	1,43	0,57	0,00	1,43	0,57	0,67
Fe	2,78	2,95	10,25	2,78	2,95	10,25	5,32
K	565,30	736,33	745,18	564,58	735,61	744,46	681,55
Li	0,30	0,09	0,00	0,30	0,09	-0,01	0,13
Mg	144,25	196,41	195,53	144,06	196,23	195,35	178,54
Mn	2,31	3,18	3,00	2,26	3,14	2,95	2,78
Mo	0,72	0,36	0,28	0,68	0,33	0,24	0,42
Na	24,72	31,77	33,11	24,26	31,31	32,64	29,40
Ni	0,10	0,46	0,44	0,05	0,41	0,39	0,28
P	27,16	24,05	25,54	27,16	24,05	25,54	25,58
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	265,00	381,46	356,46	264,78	381,24	356,24	334,09
Se	1,06	0,88	0,00	0,94	0,76	-0,12	0,53
Sr	2,91	3,85	3,78	2,91	3,85	3,78	3,52
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	4,71	0,00	0,00	4,71	0,00	0,00	1,57

Tabulka 51 Mehlich III pro surovinu mletou 150 kg/h

Prvek/ množství	Výpočet 1 (m=1,0098)	Výpočet 2 (m=1,0012)	Výpočet 3 (m=0,9986)	Korelace výpočtu 1	Korelace výpočtu 2	Korelace výpočtu 3	Průměr
Al	1,19	1,40	0,72	1,09	1,30	0,62	1,00
As	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
B	6,04	5,89	6,82	5,39	5,24	6,17	5,60
Ba	0,85	0,58	0,88	0,84	0,57	0,87	0,76
Be	0,08	0,10	0,10	0,07	0,09	0,09	0,09
Ca	904,76	645,74	1004,04	904,13	645,11	1003,41	850,89
Cd	0,10	0,17	0,12	0,10	0,17	0,12	0,13
Co	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	5,00	0,01	2,20	5,00	0,01	2,20	2,40
K	798,49	508,67	888,51	797,78	507,96	887,80	731,18
Li	0,07	0,36	0,45	0,06	0,35	0,45	0,29
Mg	211,67	139,20	234,10	211,49	139,01	233,91	194,80
Mn	3,56	2,38	4,02	3,51	2,34	3,97	3,27
Mo	0,00	0,00	0,04	-0,03	-0,03	0,00	-0,02
Na	34,72	23,83	38,28	34,25	23,37	37,82	31,81
Ni	0,34	0,15	0,36	0,29	0,10	0,31	0,23
P	30,73	36,37	35,32	30,73	36,37	35,32	34,14
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S	401,17	259,31	477,20	400,95	259,09	476,98	379,01
Se	2,06	0,00	0,00	1,94	-0,11	-0,12	0,57
Sr	4,51	3,26	5,03	4,51	3,26	5,03	4,26
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tl	0,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,17
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00