

Česká zemědělská univerzita v Praze



Fakulta životního
prostředí

**Zpracování a využití kuchyňských odpadů
ze stravovacích zařízení pro energetické účely**

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.

Bakalantka: Ha My Nguyenová



**Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autorka práce:	Ha My Nguyenová
Studijní program:	Krajinářství
Obor:	Územní technická a správní služba
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra technologických zařízení staveb
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Zpracování a využití kuchyňských odpadů ze stravovacích zařízení pro energetické účely
Název anglicky:	Processing and utilization of kitchen waste from catering facilities for energy purposes
Cíle práce:	<p>Cílem bakalářské práce je seznámit se s problematikou zpracování a využití kuchyňských odpadů ze stravovacích zařízení pro energetické účely. Provést teoretický a laboratorní rozbor vybraných vzorků kuchyňských odpadů pro jejich energetické účely.</p> <p>Metodika práce vychází z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců kuchyňských odpadů ze stravovacích zařízení pro jejich finální zpracování na energetické účely. Praktická část práce zahrnuje uskutečnit kvalitativní rozbor na vybraných vzorcích kuchyňských odpadů.</p>

Metodika: Bakalářská práce se bude skládat z těchto částí:
1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Charakteristika kuchyňských odpadů
4. Technologie a technika zpracování kuchyňských odpadů
5. Měření a dosažené výsledky
6. Diskuse a závěry
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Doporučený rozsah práce: 40–50

Klíčová slova: kuchyňský odpad, kompostování, bioplynová stanice, hydrotermální karbonizace, torrefikace

Doporučené zdroje informací:

6. Filip, J.; Oral, J.: Odpadové hospodářství II. 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. 78 s. ISBN 80-7157-682-4
7. Juchelková, D.; Fibinger, V.; Mika, J.: Metody nakládání s odpady. 1. vydání. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 1996. 62 s. ISBN 80-7078-309-5
8. Juchelková, D.: Likvidace a využití odpadů. Ostrava, VŠB TU Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-747-3
9. Malat'ák, J.; Vaculík, P.: Zpracování biologicky rozložitelných odpadů. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 168 s., ISBN: 978-80-213-1747-5
10. Pastorek, Z.; Kára, J.; Jevič, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie, nakladatelství FCC Public, Praha 2004, 284 str., ISBN 80-86534-06-5
11. Straka, F.; a kolektiv.: Bioplyn. GAS s.r.o., Říčany 2003, s. 517, ISBN 80-7328-029-9

Předběžný termín obhajoby: 2019/20 LS – FŽP

Elektronicky schváleno: 9.
10. 2019
doc. Ing. Jan Malat'ák,
Ph.D.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 25.
11. 2019
prof. RNDr. Vladimír
Bejček, CSc.
Děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma:

Zpracování a využití kuchyňských odpadů ze stravovacích zařízení pro energetické účely vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou/závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom/a, že odevzdáním bakalářské/závěrečné práce souhlasím s jejím zveřejněním

podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její 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.

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala v první řadě doc. Ing. Janu Malat'ákovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost a pozitivní přístup. Dále bych chtěla poděkovat mému kolegovi Adamu Burešovi a mé kamarádce Ngoc Han Nguyen M.A. za trpělivost, věcné připomínky a podporu, bez které bych tuto práci jen stěží dokončila. V neposlední řadě moje velké díky patří mé rodině.

Ha My Nguyenová

ABSTRAKT: Bakalářská práce pojednává o problematice kuchyňských odpadů ze stravovacích zařízení. Teoretická část se zabývá platnou legislativou ČR na poli odpadového hospodářství, definici termínu kuchyňský odpad, jeho klasifikaci a uvedení potenciálních metod zpracování tohoto odpadu. Praktická část práce je věnována teoretickému a laboratornímu rozboru vybraných vzorků kuchyňských odpadů pro jejich energetické účely a stanovení vhodnosti jednotlivých metod různým kategoriím kuchyňských odpadů. Vzorky byly nejprve upraveny do analyticky vhodného stavu. Laboratorním měřením bylo zkoumáno hrubý a elementární obsah vzorků. Dále spalné teplo, ze kterého se dopočítala výhřevnost. Výhřevnost vzorku se pohybovala mezi 5,33 – 15,27 MJ.kg⁻¹. Z naměřených hodnot a teoretických znalostí byla navrhována nejpotenciálnější metoda pro nakládání s vybraným odpadem.

Klíčová slova: Kuchyňský odpad, kompostování, anaerobní digesce, hydrotermální karbonizace, torrefikace

ABSTRACT: The bachelor's thesis deals with the issue of kitchen waste from catering facilities. The theoretical part is made of valid legislation of the Czech Republic in the field of waste management, the definition of kitchen waste, its classification and possibilities of processing methods. The practical part is made of theoretical and laboratory analysis of certain samples of kitchen waste for their energy purposes, determining the suitability of various methods on various categories of kitchen waste. At first, the samples were adjusted to analytically suitable form. The proximate and ultimate analysis of the samples was examined by laboratory measurements. The heating value was the base for calculating calorific value. The calorific value of the sample ranged between 5.33 and 15.27 MJ.kg⁻¹. The measured values and theory were the background for evaluating potential processing methods.

Keywords: Kitchen waste, composting, anaerobic digestion, hydrothermal carbonization, torrefaction

Obsah

1	ÚVOD	1
2	CÍLE PRÁCE	2
	TEORETICKÁ ČÁST	3
3	LEGISLATIVA	3
3.1.1	SYSTÉM ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ A LEGISLATIVNÍ PŘEDPISY	3
3.2	LEGISLATIVA ČR VZTAHUJÍCÍ SE K DANÉ PROBLEMATICE	4
3.2.1	ZÁKON O ODPADECH 185/2001 SB.	5
3.2.2	KATALOG ODPADŮ	8
3.2.3	VYHLÁŠKA 341/2008 SB.	9
3.2.4	PLÁN ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ.....	10
3.2.5	VETERINÁRNÍ ZÁKON 166/1999 SB.....	10
4	KUCHYŇSKÝ ODPAD	11
4.1	DEFINICE KUCHYŇSKÝCH ODPADU	11
4.2	DRUHY KUCHYŇSKÝCH ODPADŮ	12
4.2.1	ODPADY ROSTLINNÉHO PŮVODU.....	13
4.2.2	ODPADY ŽIVOČIŠNÉHO PŮVODU	14
4.2.3	JINÉ ODPADY VZNIKAJÍCÍ VE STRAVOVACÍCH ZAŘÍZENÍ	14
4.3	PRODUKCE KUCHYŇSKÝCH ODPADŮ	15
4.4	SBĚR	15
5	TECHNOLOGIE A TECHNIKA ZPRACOVÁNÍ KUCHYŇSKÝCH ODPADŮ	17
5.1	ANAEROBNÍ DIGESCE	17
5.1.1	VSTUPNÍ MATERIÁL	17
5.1.2	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PROCESY ANAEROBNÍ DIGESCE	18
5.1.3	TECHNIKA A TECHNOLOGIE BIOPLYNOVÝCH STANIC	19
5.1.4	ZPRACOVÁNÍ KUCHYŇSKÝCH ODPADŮ V BPS V ČESKÉ REPUBLICE A V EU	24
5.2	KOMPOSTOVÁNÍ.....	25
5.2.1	VSTUPNÍ MATERIÁL	28
5.2.2	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KLASICKÉ KOMPOSTOVÁNÍ	28
5.2.3	TECHNIKA A TECHNOLOGIE KOMPOSTÁREN	29
5.2.4	KOMPOSTOVÁNÍ V ČR A VE SVĚTĚ	30
5.3	HYDROTERMÁLNÍ KARBONIZACE	30
5.3.1	VSTUPNÍ MATERIÁL	31
5.3.2	TECHNIKA A TECHNOLOGIE HTC	31
5.3.3	VÝSTUPNÍ PRODUKTY.....	33
5.4	TORREFIKACE	34
5.4.1	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ÚČINNOST PROCESU	34
5.4.3	TECHNIKA A TECHNOLOGIE TORREFIKACE	34
5.4.4	VÝSTUPNÍ PRODUKTY.....	36
	PRAKTICKÁ ČÁST	37
6	METODIKA	37
6.1	SLEDOVANÉ ÚDAJE	37
6.2	CHARAKTERISTIKA VZORKŮ	40
6.2.1	ODPADY Z JABLEK	40
6.2.2	ODPADY Z BRAMBOR.....	41
6.2.3	ODPADY Z HLÁVKOVÉHO ZELÍ	42
7	MĚŘENÍ	43
7.1	POPIS MĚŘENÍ.....	43
7.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	46

7.2.1	ODPADY Z JABLEK	46
7.2.2	BRAMBORY A BRAMBOROVÉ SLUPKY	48
7.2.3	HLÁVKOVÉ ZELÍ	49
7.3	SUMARIZACE METOD A MATERIÁLU	51
7.3.1	METODY.....	51
7.3.2	MATERIÁLY	53
8	ZÁVĚR.....	55
	REFERENCE A PŘÍLOHY.....	57

1 Úvod

Dnešní moderní civilizace oproti dob minulých nabízí širokou škálu potravin ze všech koutů světa v nadbytečném množství. S růstem hustoty obyvatelstva a růstem urbanizovanosti roste poptávka po stravovacích zařízeních. Současná doba nabízí dle chuti nespočet možností, kde se stravovat. Jako negativní dopad vzniká v těchto zařízeních ročně enormní množství odpadů.

Ročně z domácnosti, při přípravě pokrmu také vzniká ohromné množství kuchyňských odpadů, které mají velký potenciál v energetickém využití. Jejich systematický sběr je teprve na počátku. Systematické zpracování tohoto odpadu by přispělo nejen k šetření místa, ale i k ochraně životního prostředí.

Konvenčně se odpad podobného druhu ukládal na skládku, kde při přirozené chemické degradaci začalo vykazovat toxické vlastnosti a uvolňovat toxické emise do ovzduší. Tyto vlastnosti jsou nežádoucí a je třeba naleznout alternativní metodu řešení tohoto odpadu, přičemž by nedošlo k vedlejší negativní působení.

Cílem bakalářské práce bylo seznámení se s problematikou kuchyňských odpadů a nastínění možnosti řešení. Kuchyňské odpady již se běžně upravují fermentačními metodami. Prioritou této práce bylo především posouzení, zda by nebyly tyto odpady využity lépe pyrolýzními metodami. Vybrané vzorky byly podrobeny laboratorní analýze a poté s technologickými požadavky jednotlivých metod sumarizovány ve výsledcích práce.

Podle laboratorní analýzy hrubého a elementárního obsahu jednotlivých vzorků se stanoví vhodnost tohoto odpadu pro metody anaerobní digesce, kompostování, hydrotermální karbonizace a torrefikace. Tato práce by mohla poukázat na energeticky a finančně nejmíň náročnou metodu zpracování a tím přispět k celkovému řešení problematiky kuchyňských odpadů.

2 Cíle práce

Cílem této práce je teoretické stanovení a praktické ověření takovou technologií, která bude nejpřínosnější z hlediska problematiky kuchyňských odpadů. Bakalářská práce seznamuje s potenciálními metodami zpracování a využití kuchyňských odpadů pro energetické účely. Na základě teoretického rozboru jednotlivých metod bude určeno nejvhodnější metody zpracování tohoto odpadu. Laboratorní část bude věnována úpravou vybraných vzorků kuchyňských odpadů vybranými technologiemi z teoretické části. Pro praktickou část práce budou využity přístroje laboratoře Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze, kde proběhne kompletní analýza vzorků. Analýza se bude skládat ze stanovení hrubé, elementární obsahy a spalného tepla. Výhřevnost bude dopočítána z naměřených pokladů. Závěrem bude sumarizace výsledku měření a určení vhodnost k dalšímu zpracování.

Teoretická část

Použité zkratky

Zkratky	Jednotky	Význam
BO		biodpad
BRO		biologicky rozložitelný odpad
BRKO		biologicky rozložitelný komunální odpad
BPS		bioplynová stanice
ČOV		čistírna odpadních vod
HTC		hydrotermální karbonizace
KO		komunální odpad
VŽP		vedlejší živočišný produkt

3 Legislativa

3.1.1 Systém odpadového hospodářství a legislativní předpisy

Odpadové hospodářství se rozumí činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadů, na nakládání s odpady a na následnou péči o místo, kde jsou odpady trvale uloženy a kontrola těchto činností. (Zákon o odpadech 185/2001 Sb. v platném znění)

Cíle a požadavky evropských předpisů, kde se klade důraz na politiku druhotných surovin rámcuje strategii odpadového hospodářství ČR. Politika druhotných surovin se rozumí především materiálnímu využití odpadů jako náhrada primárních přírodních zdrojů při výrobě, s cílem snížení materiálovému a energetickému náročnosti výroby. (MŽP © 2008)

Co se týče hierarchie v legislativních úpravách na poli odpadového hospodářství nejvýše figurují mezinárodní legislativy. Česká republika

jakožto člen Evropské unie podléhá legislativě EU. Ta si své cíle naplňuje pomocí několika druhů právních aktů.

Nařízení je právně závazný akt, který je závazný pro všechny členské státy.

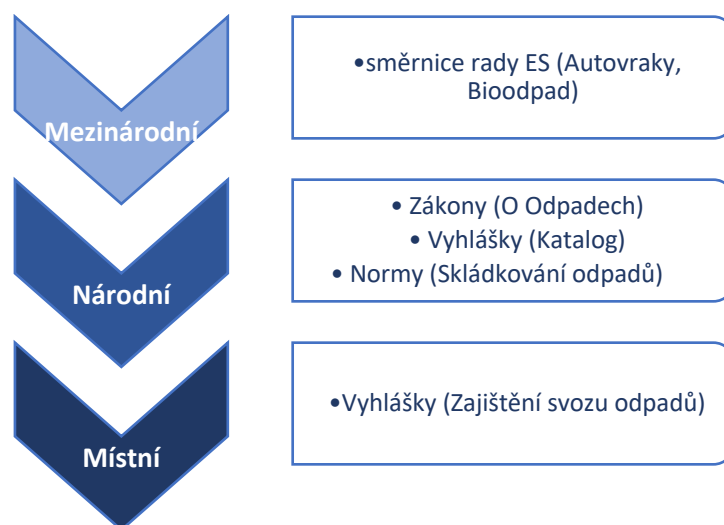
Směrnice je právní akt stanovující cíl, který musí splnit všechny členské státy. Každý stát však může zformulovat své zákony podle sebe, které naplňují vytyčený cíl.

Rozhodnutí je právně závazné pouze pro dotčené subjekty a je přímo použitelné

Doporučení je právně nezávazné. Jde pouze o návrhy, čímž EU dává najevo svůj názor.

Stanovisko je to nezávazným způsobem vyjádření postoje EU k určité otázce. (Dlabaja 2014)

Obrázek 1: Hierarchie legislativních úprav v odpadovém hospodářství (Ušitak a Váňa 2005 - vlastní zpracování)



3.2 Legislativa ČR vztahující se k dané problematice

Hlavním zákonem v odpadovém hospodářství ČR je zákon o odpadech 185/2001 Sb.. Tento zákon je doplněn o prováděcí vyhlášky, z nich nejdůležitější pro účel této práce je vyhláška o podrobnostech nakládání

s biologicky rozložitelnými odpady 341/2008 Sb., dále vyhláška 381/2001 Sb. ve které se stanovuje Katalog odpadů. Dále se v této kapitole bude věnovat veterinárnímu zákonu 166/1999 Sb.

3.2.1 Zákon o odpadech 185/2001 Sb.

Tento zákon vstoupil v platnost dne 14. června 2001 a nabyl účinnost od 1. ledna 2002 a figuruje jako hlavní zákon v oblasti odpadového hospodářství v České republice. Jeho poslední obměnou je verze 50. zákon 45/2019 Sb., který vstoupil v platnost 1. ledna 2020. Zákon o odpadech stanovuje pravidla pro předcházení vzniku odpadů a nakládání s nimi, přičemž je zároveň dodržena ochrana životního prostředí, ochrany zdraví člověka a trvale udržitelného rozvoje. Dále stanovuje práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství a působnost orgánu veřejné správy. Prioritou tohoto zákona je znovuvyužití odpadu ať už je to materiálně nebo energeticky a až v neposlední řadě jeho likvidací. Zákon se vztahuje na nakládání se všemi odpady, s výjimkou těch, které jsou v zákoně přímo vyjmenované. (Zákon o odpadech 185/2001 Sb. v platném znění)

Odpad dle zákona o odpadech 185/2001 Sb. je každá movitá věc, které má osoba úmysl nebo povinnost se zbavovat. Podle tohoto zákona se za odpad považuje:

1. Zůstatky z výrob a spotřeby dále jinak nspecifikované.
2. Výrobky, které neodpovídají požadované jakosti.
3. Výrobky s prošlou lhůtou spotřeby.
4. Použité, ztracené nebo jinou náhodnou událostí znehodnocené výrobky včetně všech materiálů, součástí zařízení apod., které byly v důsledku nehody kontaminovány.
5. Materiály kontaminované nebo znečištěné běžnou činností (např. zůstatky z čištění, obalové materiály, nádoby atd.).
6. Nepoužitelné součásti (např. použité baterie, katalyzátory apod.).
7. Látky, které ztratily požadované vlastnosti (např. znečištěné kyseliny, rozpouštědla, kalicí soli apod.).
8. Zůstatky z průmyslových procesů (např. strusky, destilační zbytky apod.)

9. Zůstatky z procesů snižujících znečištění (např. kaly z praček plynů, prach z filtrů, vyřazené filtry apod.).
10. Zůstatky ze strojního obrábění a povrchové úpravy materiálu (např. třísky z obrábění a frézování apod.).
11. Zůstatky z dopravy a úpravy surovin (např. z dolování, dopravy nafty apod.).
12. Znečištěné materiály (např. oleje znečištěné PCB apod.).
13. Jakékoliv materiály, látky či výrobky, jejichž užívání bylo zakázáno zákonem.
14. Výrobky, které vlastník nepoužívá nebo nebude více používat (např. v zemědělství, v domácnosti, úřadech, prodejnách, dílnách apod.).
15. Znečištěné materiály, látky nebo výrobky, které vznikly při sanaci půdy.
16. Jiné materiály, látky nebo výrobky, které nepatří do výše uvedených skupin.

Podle vlastnosti odpadů rozlišujeme odpady na:

Nebezpečný odpad je odpad, který vykazuje nebezpečné vlastnosti, při vzniku, manipulaci a nakládání. Původce a oprávněná osoba jsou povinni zajistit zařazení do skupin nebezpečných odpadů za účelem dalšího nakládání s nimi, jestliže odpad splňuje aspoň jedno z následujících kritérií.

1. odpad vykazuje alespoň jednu z nebezpečných vlastností uvedených v nařízení č. 1357/2014,
2. je uveden v Seznamu nebezpečných odpadů v příloze 2 k vyhlášce č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů
3. je smíšen nebo znečištěn některým z odpadů uvedených ve vyhlášce č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů jako nebezpečný.
4. odpad je smíšen nebo znečištěn některou ze složek uvedených v Seznamu složek, které činí odpad nebezpečným, uvedeném v příloze č. 5 k vyhlášce 93/2016 Sb. (MŽP © 2008)

Ostatní odpad – odpad bez nebezpečných vlastností.

Odpad podobný komunálnímu odpadu – odpad podobného složení jako KO zařazený do skupiny odpadů 20 v katalogu odpadů vznikající při nevýrobní činnosti firem.

Nakládání s odpady se rozumí jejich shromažďování, soustředění, sběr, výkup, třídění, přeprava a doprava, skladování, úprava, využívání a odstraňování. Základní činnosti nakládání s odpady jsou:

1. Skládkování
2. Kompostování (materiálové využívání)
3. Energetické využívání
4. Mechanicko-biologická úprava

Způsoby nakládání jsou rozděleny do dvou skupin podle rozdělení Evropské unie, a to na využívání a odstraňování. (Zákon o odpadech 185/2001 Sb. v platném znění)

Komunální odpad je veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob s výjimkou živnostenského odpadu. (Vyhláška 93/2016 Sb. v platném znění)

Původce odpadů je právnická osoba, při jejíž činnosti vznikají odpady, nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, při jejíž podnikatelské činnosti vznikají odpady. Pro komunální odpady vznikající na území obce, které mají původ v činnosti fyzických osob, na něž se nevztahují povinnosti původce, se za původce odpadů považuje obec. Obec se stává původcem komunálních odpadů v okamžiku, kdy fyzická osoba odpady odloží na místě k tomu určeném; obec se současně stane vlastníkem těchto odpadů. (Zákon o odpadech 185/2001 Sb. v platném znění)

BRO zkratka pro biologicky rozložitelné odpady. Je to jakýkoliv odpad, který je schopen aerobního nebo anaerobního rozkladu.

BO zkratka pro biologický odpad. Jedná se o biologicky rozložitelný odpad, který spadá pod BRO s původem ze zahrad, parků, potravinářský a kuchyňský odpad vznikající v domácnosti, z provozu živností a podniku.

BRKO zkratka pro biologicky rozložitelný komunální bioodpad. Jedná se o biologicky rozložitelný odpad, který spadá pod BRO. Vzniká v obci, činnosti obyvatel. Všechny druhy BRO ve skupině 20 Katalogu odpadů lze zařadit jako BRKO (vyhláška MŽP č. 93/2016 Sb.).

Spolu se zákonem o odpadech úzce souvisí hierarchie odpadového hospodářství, která je dána tímto zákonem v pěti bodech. Minimalizace odpadu a jejich vzniku, opětovné využívání, recyklace, využití, v případě nevyužitelnosti odpadů nebo jejich části až odstranění, a to spálením nebo uložením na skládku s cílem stabilizace odpadu. (zákon o odpadech 185/2001 Sb. v platném znění)

Obrázek 2: Hierarchie odpadového hospodářství (arnika.org – vlastní zpracování)



3.2.2 Katalog odpadů

Je stanoven ve vyhlášce 381/2001 Sb. ministerstva životního prostředí a jeho poslední obměnou je vyhláška číslem 93/2016 Sb. Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů. Původce a oprávněná osoba jsou povinni pro účely nakládání s odpadem odpad zařadit podle Katalogu odpadů, a především rozlišovat kategorii nebezpečný odpad a ostatní odpad. Katalog je kategorizován podle původu vzniku odpadů a podle složení odpadů stanovuje jednotlivé třídy odpadu a jejich zařazení a doporučený způsob likvidace. Podle katalogových čísel, která jsou šesticiferná se rozlišuje vlastnosti odpadu. První dvě cifry určují skupinu odpadu, další dvojčíslí označují podskupinu a poslední dvě cifry druh odpadu. Číselné označení má

za úkol zjednodušit identifikaci a kontrolu odpadu a zároveň optimalizovat jeho nakládání. První dvojčíslí kuchyňského odpadu spadá pod katalogovým číslem 20, který spadá pod komunálním odpadem.

3.2.3 Vyhláška 341/2008 Sb.

O podrobnostech nakládání s BRO obsahuje seznam a požadavky na jakost BRO na vstupu a udává způsoby biologického jejich zpracování. Dále stanovuje technické a technologické požadavky zařízení pro zpracovávání BRO jako jsou kompostárny a bioplynové stanice. Upravuje kvalitu výstupu z těchto zařízení, včetně možností jejich dalšího použití.

Vyhláška obsahuje dva seznamy požadavků na kvalitu odpadů vstupujících do technologie.

- A. Seznam využitelných bioodpadů.
- B. Seznam bioodpadů využitelných v malém zařízení.

Druhy bioodpadů uvedené v přílohách a a B vstupující do zařízení musí splňovat požadavky:

- a. Stanovené v podmínkách přejímky odpadů do konkrétního zařízení, stanovené jeho provozním řádem.
- b. Stanovené pro některé druhy bioodpadů v seznamu A.

Dle této vyhlášky způsoby biologického zpracování BO se chápe řízené a kontrolovatelné procesy aerobní nebo anaerobní mikrobiální biochemické přeměny těchto BO probíhajících v zařízeních k jejich zpracování, případně další způsoby využívání nebo i zcela nové biologické postupy a technologie vyvinuté na základě postupujícího rozvoje vědy a techniky s výstupy, které odpovídají požadavkům. (Vyhláška 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady 2019)

3.2.4 Plán odpadového hospodářství

Zpracovává se na 10 let, plán původů odpadu se zpracovává na 5 let pro původce odpadů, kteří ročně vyprodukují více než 10 t nebezpečného odpadu nebo více než 1000 t ostatního odpadu. Aktuální plán odpadového hospodářství ČR byl vydán jako nařízení vlády č. 352/2014 Sb., o Plánu odpadového hospodářství ČR pro období 2015-2024. Strategické cíle zmíněného plánu jsou 4 a to předcházení vzniku odpadů a snižování jeho produkce. Dále minimalizování nepříznivých účinků vzniku odpadů a nakládání s nimi na lidské zdraví a životní prostředí. Dále udržitelný rozvoj společnosti a přiblížení se k evropským standardům a v neposlední řadě přechod na oběhové hospodářství a maximalizace nahrazování primárních zdrojů. (MŽP © 2019)

3.2.5 Veterinární zákon 166/1999 Sb.

Poslední obměnou tohoto zákona je novela 368/2019 Sb. v aktuálním znění. Tento zákon v souladu s legislativou EU stanovuje požadavky na veterinární péči, na chov a zdraví zvířat a živočišné produkty, upravuje práva a povinnosti fyzických a právnických osob, soustavu, působnost a pravomoc orgánů vykonávajících státní správu v oblasti veterinární péče, jakož i některé odborné veterinární činnosti a jejich výkon. (Veterinární zákon 166/1999 Sb.)

Spolu s veterinárním zákonem je důležitá vyhláška 299/2003 Sb. o opatřeních pro předcházení a zdolávání nálezů a nemocí přenosných ze zvířat na člověka. ve vyhlášce je přesná definice kuchyňského odpadu ve smyslu kuchyňské odpady obsahující živočišný podíl. Kuchyňské odpady obecně mohou obsahovat syrové maso, kosti a živočišné produkty, pro které jsou charakteristické krátká doba trvanlivosti a rychlá zkáza. Po zkažení mohou vykazovat toxické vlastnosti a obsahovat choroboplodné bakterie, proto je nelze odstraňovat standardním způsobem a je také přísně zakázáno použít dále na výkrm zvířat zejména hospodářských. Odebírá si je asanační ústav kde se provádí hygienizace.

Hygienizace podle nařízení Evropské komise č. 1774/2002 ES provádí, aby se zabránilo šíření epidemií kulhavky, slintavky a BSE. Princip spočívá v rozemletí na maximální velikost částic 12 mm a zahřátí na teplotu minimálně 70 °C po dobu 1 hodiny. Dále je stanovena maximální hranice pro výskyt bakterií *Salmonela* a *Escherichia Coli*.

4 Kuchyňský odpad

V dnešní uspěchané době se časové možnosti zužují. Kromě vaření si doma lze využít z nepřeberných možností, kde se stravovat a tím denně vzniká velké množství odpadu nejen doma ale i ve stravovacích zařízeních.

4.1 Definice kuchyňských odpadů

Kuchyňský odpad patří mezi biologicky rozložitelné odpady. Podle vyhlášky č. 381/2001 Sb. v Katalogu odpadu je většina kuchyňských odpadů vedena jako biologicky rozložitelný komunální odpad pod katalogovým číslem 20 01 08, výjimkou jsou syrové kosti a vaječné skořápky, které jsou označeny jako nebezpečný odpad. Odpady se nesmí skladovat v běžných kontejnerech na odpady z domácností a nesmí se odstraňovat jako běžné komunální odpady. (Komár 2011)

Tabulka 1: Zařazování gastroodpadů podle Katalogů odpadů (Vlastní zpracování)

ZAŘAZOVÁNÍ GASTROODPADŮ PODLE KATALOGU ODPADŮ	
Odpady rostlinného původu	20 01 08
Odpady živočišného původu	20 01 08
Syrové odpady živočišného původu	02 02 03*
Nedojedené zbytky	20 01 08
Tuky a oleje	20 01 25

Termín kuchyňské odpady ve smyslu odpady obsahující živočišnou složku je definován v § 2, písmene 1 ve vyhlášce č. 299/2003 Sb. jako jakékoliv odpady potravin určených pro lidskou spotřebu z restaurací, stravovacích zařízení nebo kuchyní, včetně domácností chovatelů, popřípadě z průmyslu zpracovávajícího maso.

Podle této vyhlášky:

1. Kuchyňské odpady nesmí být používány ke zkrmení zvířat.
2. Kuchyňské odpady z dopravních prostředků z mezinárodní dopravy musí být shromažďovány a neškodně odstraňovány pod úředním dohledem.

Zákaz krmení zvířat a podmínka hygienizace odpadu neplatí, pokud pochází kuchyňský odpad ze separovaného sběru z domácností a pokud se jedná o materiál rostlinného původu, který neobsahuje vedlejší živočišné produkty. (Komár 2011)

Podle §38 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a § 18 odst. 2 zákona č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu je také zakázáno gastroodpad splachovat do kanalizace, a to i přes jeho nadrcení (zejména kvůli tukům a olejům, které zanáší domácí kanalizační svody vedoucí do kanálů a v kanálech se dále usazují a mohou zavinit provozní problémy).

4.2 Druhy kuchyňských odpadů

Z hlediska nutričního složení obsahují biologické hmoty makro a mikroživiny. Makroživiny jsou sacharidy, bílkoviny a tuky, mikroživiny jsou vitamíny a minerály. Obecně odpady rostlinného původu obsahují sacharidy v závislosti na druhu, v různých formách. Bílkoviny, tuky a vlákniny a mikroživiny v závislosti na druhu, v různém množství.

Tabulka 2: Průměrné složení vstupních surovin (Tamelová 2020 - vlastní zpracování)

	Obsah			
	Vlhkost	sušiny	C	N
	% hm.	% hm.	% DM	% DM
Kuchyňský odpad	65–80	20–35	37–44	1,2–2,3
Odpad ze zeleniny	80–90	10–20	44–45	1,5–2,5
Odpad z ovoce	65–87	13–35	39–46	0,1–0,6

4.2.1 Odpady rostlinného původu

Odpady z ovoce

Společné znaky z hlediska chemického složení obsahují odpady z ovoce s výjimkou ořechu 75–95 % vody, dále zanedbatelné množství bílkovin, velký podíl sacharidů ve formě fruktózy, tuky, organické kyseliny, vlákninu, minerální látky a v neposlední řadě dusičnany. (Butnariu a Butu 2015)

Hlavní složkou v sušině ovocí jsou mono, oligo a polysacharidy, u skořápkového ovoce lipidy. Do skupiny monosacharidu patří jednoduché cukry jako je glukóza a fruktóza. Významnou skupinou oligosacharidů jsou disacharidy, do které patří sacharóza. Mezi zástupci polysacharidů zastoupené v ovoci jsou především pektiny, škrob, celulóza pentozany a hemicelulóza. Z ostatních složek organické kyseliny, fenoly, enzymy, v malém množství pigmenty a aromatické látky, vlákninu, organické dusíkaté látky, antioxidanty, aromatické látky a hořké látky. (Hrabě a kol. 2005)

Vláknina se rozumí všechny polysacharidy, které jsou obtížně stravitelná, a které nejsou využitelné v trávicím traktu (Kalač 2003, s. 59). Jedná se o směs celulózy, hemicelulózy, ligninu, kutin a křemičitany. Je také nejobtížněji rozkládanou látkou při dalším energetickém využití odpadu. (Kalač 2003), (VFU 2019)

Odpady ze zeleniny

Listová zelenina je bohatá na mikroživiny a vlákniny. Charakteristické pro listovou zeleninu je vysoký obsah vody 75-95 %. Kořenové části zelenin

fungují jako zásobní orgán. Společnou charakteristiku pro brambory a kořenové zeleniny je velký obsah škrobu a malého podílu vitamínů. (Butnariu a Butu 2015)

Obvyklými odpady z ovoce a zelenin jsou slupky, pecky, hnilý ovoce a zeleniny, které svým složením jsou bohaté na pektin a celulózu.

4.2.2 Odpady živočišného původu

Mrtvá těla zvířat, maso, odpady z masa a odpady živočišného původu zákon o odpadech 185/2001 Sb. nepokrývá a nakládání s nimi nepodléhá tomuto zákonu. Zmiňované odpady podléhají veterinárnímu zákonu 166/1999 Sb. a dle vyhlášky 299/2003 Sb. před jakémkoli dalším zpracováním je nutné provést hygienizaci.

Odpady z masa

Jsou to především odřezky z masa a maso. Masem se rozumí především svalová část. Svým složením jsou bohaté na bílkoviny a tuky a minimem sacharidu. Poměr bílkovin a tuků se mění v závislosti na druhu masu, pohlaví a stáří jedince před porážkou.

Odpady z kostí

Odpady z kostí tvoří tepelně upravené i syrové kosti. Tento druh odpadu se standardně odváží do asanační firmy, kde se drtí na maximálně 12 mm. Následně proběhne sterilizace, a nakonec se zpracovává na kostní moučku. (Komár 2011)

4.2.3 Jiné odpady vznikající ve stravovacích zařízeních

Tuky a oleje

Kuchyňské odpady z tuku a oleje vznikají většina při vaření, pečení. Stejně jako kosti po těchto činnostech již nemají využití. Tuky a oleje spadají pod katalogovým číslem 20 01 25. Podle §38 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a § 18 odst. 2 zákona č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu je zakázáno kuchyňský odpad splachovat do kanalizace, a to i přes jeho nadrcení zejména kvůli tukům a olejům, které zanáší ČOV.

Nedojedené zbytky

Protože většina pokrmů je masová, pro nedojedené zbytky platí stejná pravidla jako pro odpady živočišného původu.

4.3 Produkce kuchyňských odpadů

Dle dostupných dat z MŽP ČR (2017) ročně vzniká 830 tisíc tun potravinových odpadů. Kuchyňské odpady z domácností z celkové produkce potravinových odpadů představuje 31 %, což je zhruba 254 tisíc tun. Odpady ze stravovacích zařízení zaujímá množství 15 % z celkové produkce s přibližnou hodnotou 123 tisíc tun.

4.4 Sběr

Sběrem odpadů se rozumí činnost soustředování odpadů právnickou osobou nebo fyzickou osobou oprávněnou k podnikání od jiných subjektů za účelem dalšímu nakládání s nimi. (Malat'ák a Vaculík 2008)

Česká republika

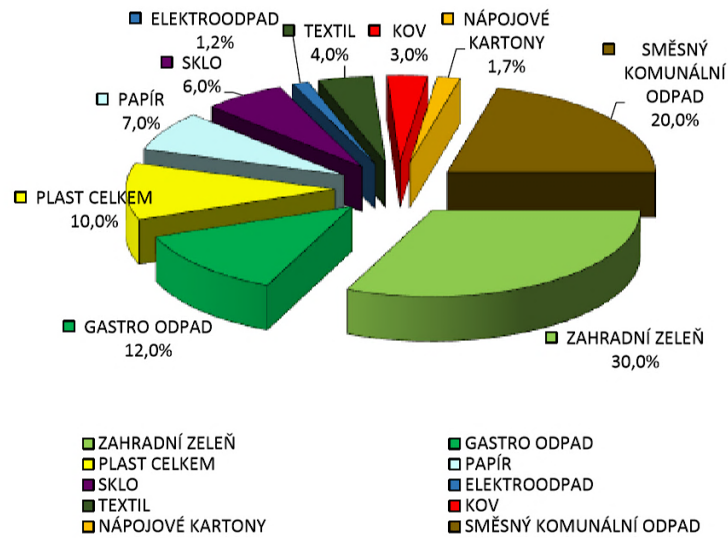
V současnosti existuje svoz gastroodpadu pro právnické osoby, který zprostředkovává několik firem (Pražské služby a.s., Marius Pedersen a.s., Komwag a.s., aj.). V rámci ČR jako celku neexistuje plošný sběr gastroodpadu od fyzických osob.

Pražské služby a.s. nabízí službu svozu bioodpadů ve formě hnědých kontejneru. Do hnědých kontejnerů na bio odpad by správně neměly přijít odpady živočišného původu a oleje.

Nově od prosince 2019 byl na území Prahy 5, 6 a 7 spuštěn pilotní projekt sběru gastroodpadů živočišného a rostlinného původu z domácností. Do hnědé nádoby s oranžovým víkem o objemu 120 l se sbírá kuchyňský odpad jako jsou zbytky ovoce a zeleniny, kosti, maso, zbytky nedojedených pokrmů a prošlé potraviny. Následně se odpad odváží na BPS, kde se dále zpracovává. Bioodpad se dále zpracovává v kompostárnách, gastroodpad fermentací. (gastro.praha.eu 2019).

Od zavedení do 31. ledna 2020 bylo uskutečněno 7 svozu, z nich se vybraly 4 tuny kuchyňského odpadu (ekolist 2020)

Obrázek 3: Analýza SKO pro Prahu (INCIEN 2018)



Evropská unie

Dle výzkumu Pečinkové a Voseckého (2019) z institutu cirkulární ekonomiky, dobrými příklady praxe se sběrem a následným zpracováním kuchyňských odpadů v BPS jsou města Oslo, Malmö, Berlín, Bristol, Vídeň, Milán a Parma.

Tabulka 3: Hodnocení systému sběru gastroodpadů ve vybraných zemích EU (Pečinková a Vosecký 2019 - vlastní zpracování)

Město	Míra třídění	Legislativa	Systém sběru	Četnost svozu	Využití
Oslo	55 %	Možnost sankcí za netřídění	Z domácností, ze školních jídelen a malých provozoven	1x týden	BPS
Malmö	50 %	Povinnost třídít. Sankce za netřídění	Z domácností i privátního sektoru	1 x 14 dní	BPS
Berlín	19 %	Povinnost třídít.	Jen z domácností	1-12 x 3měs	BPS
Vídeň		Povinnost všech provozoven třídít	Jen z privátního sektoru	1-2 x 14 dní	BPS
Milán	87 %	Povinnost třídít. Sankce za netřídění	Od všech.	2-6 x týden	Kombinace BPS s kompostárnou
Parma	74 %	Povinnost třídít. Sankce za netřídění.	Od všech.	2-3 x týden	BPS

5 Technologie a technika zpracování kuchyňských odpadů

Zpracováním odpadu se rozumí procesy přeměny vedoucí ke stabilizaci odpadů. Tato kapitola bude věnována nejpotenciálnějším způsobům zpracování kuchyňských odpadů, a to zejména anaerobní digesce, kompostování, hydrotermální karbonizací a torrefikací.

5.1 Anaerobní digesce

Jiným slovem anaerobní fermentace označuje činnost rozkladu za působení bakterií ve čtyřech fázích. Nejčastější teplota procesu je v rozmezí 10 až 70°C. Teplo se v procesu spotřebovává, proto je ho potřeba dodat. Výsledkem anaerobní digesce je bioplyn a digestát, který se dále dělí na kapalnou složku fugát a pevnou složku separát. Bioplyn lze použít jako alternativní palivo (bio CNG) nebo pro výrobu elektřiny či tepla. Přerementovaný a hygienizovaný digestát lze použít jako hnojivo.

Pro stabilitu celého procesu je nutné dodržet rovnováhu v jednotlivých fázích, které probíhají odlišnou rychlostí. Metanogeneze probíhá až 5krát pomaleji než ostatní fáze. Kvůli hrozbě přetížení fermentoru je nutné přizpůsobit konstrukci bioplynových stanic a dávkování surového materiálu. (Pastorek a kol. 2004)

Podle celkového objemu pevných látek se anaerobní digesce rozlišuje na

1. Mokrý: Celkový objem pevných látek v digestátu <20 %
2. Polosuchý: Celkový objem pevných látek 20 %
3. Suchý: Celkový objem pevných látek >20 %

5.1.1 Vstupní materiál

Za vhodný materiál se považuje homogenizovaná směs, proto zpravidla se odpady ještě separují a drtí na požadovanou velikost před vstupem do

fermentorů. Vhodnost materiálu může být posouzena pomocí několika kritérií:

Optimální obsah sušiny u pevných materiálů 22–25 %, u tekutých materiálů 8–14 %.

Optimální hodnota pH vstupního materiálu 7 – 7,8.

Optimální velikost částic se považuje za hodnotu do 20 mm.

Poměr uhlíkatých a dusíkatých látek optimum 20–30:1 (Malaták a Vaculík 2008)

5.1.2 Faktory ovlivňující procesy anaerobní digesce

Procesy anaerobní digesce by nemohly proběhnout bez přítomnosti mikroorganismů. Mikroorganismy obecně organismy, v závislosti na druhu vyžadují určité optimální podmínky pro svoji generativní činnost.

1. **Vlhkost** – optimální vlhkost pro generativní činnosti metanových bakterií je minimálně 50 %.
2. **Anaerobní prostředí** – metanové bakterie jsou striktně anaerobní tzn. že atmosférický kyslík je pro ně toxický.
3. **Světlo** – Je třeba zajistit temné prostředí, protože světlo brzdí množení bakterií.
4. **Teplota** – Optimální teplota pro anaerobní procesy se pohybují v mezo- až termofilní oblasti (40–44 °C). pro udržení stability je nutné zajištění konstantní teploty. S růstem teploty roste rychlost biochemických procesů.
5. **pH** – optimální hodnota pH pro metanizaci se uvádí 6,5–7,5.
6. **Přísun živin** – je důležité udržet si stálou populaci metanových bakterií, které pro svou buněčnou stavbu vyžadují rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky.
7. **Velké kontaktní plochy** – organické látky nerozpustné ve vodě musejí být rozdrobeny tak, aby vznikaly velké dotykové plochy
8. **Přítomnost toxických a inhibujících látek** – za toxické nebo inhibující látky pokládáme látky, které působí nepříznivě na bakterie podílející biochemickým přeměnám.

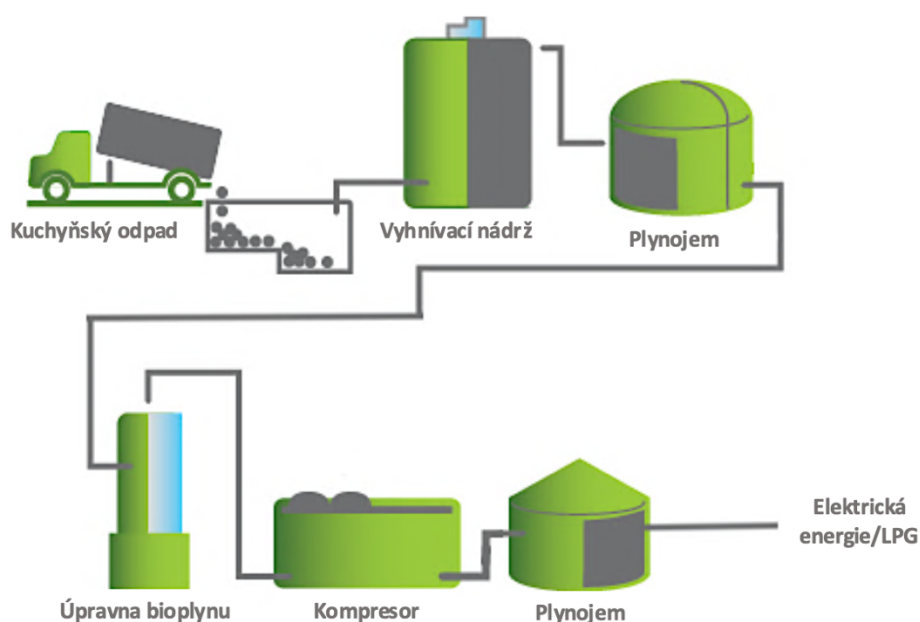
9. **Zatížení vyhřívacího prostoru** – Je nutné předcházet přetížení fermentoru tím, že se dodržuje maximální denní množství organické sušiny v kubíku.
10. **Rovnoměrný přísun substrátu** – rovnoměrný přísun substrátu zabrání nadměrnému zatížení fermentoru.
11. **Odplynování substrátu** – ve vyhřívací nádrži může dojít k nárůstu tlaku plynu. Je nutné pravidelné promíchávání substrátu, čímž se zajistí odvádění plynu. (Malat'ák a Vaculík 2008), (Mužík a Kára 2009)

5.1.3 Technika a technologie bioplynových stanic

Technika

Technické vybavení bioplynových stanic závisí na typu BPS, mezi základní technické vybavení BPS patří: dopravníky, třídače, separátory, drtiče, síta, reaktor s míchadlem, plynojem, plynové dmychadlo, kogenerační jednotky a nouzový hořák.

Obrázek 4: Schéma bioplynové stanice (Vlastní zpracování)



Technologie BPS

Dle technologických požadavků BPS vyhlášky 341/2008 Sb. anaerobní digesce se rozumí řízený a kontrolovatelný mikrobiální mezofilní až termofilní rozklad organické hmoty za nepřístupu vzduchu za vzniku bioplynu a digestátu. Je nezbytné dosáhnout a nepřetržitě udržet teplotu zpracovávaného materiálu na nejméně 55°C. Výjimku tvoří rostlinné tkáně, kde se nevyžaduje tak přísné požadavky na teplotu. Celý proces probíhá standardně po dobu 30 dnů a více. Celkový proces se může zkrátit na nejméně 20 dnů, pokud provozovatel zajistí, že produkovaný digestát trvale splňuje hodnoty stability dle jiného předpisů.

Technologie BPS lze zjednodušeně rozdělit do 4 dílčích procesů

1. předúprava odpadů
2. anaerobní fermentace
3. čištění plynu
4. zpracování tuhých zbytků (Malaťák a Vaculík 2008)

Technologie předúpravy odpadů

Nejprve se odpad separuje se vysypáním na šnekové dopravníky, na kterých dojde k roztrhání plastových či papírových obalů, v kterých byl odpad uskladněn. Následně je v kladívkovém mlýnu separován samotný biologicky rozložitelný odpad a plastové obaly. Po separaci následuje hygienizace.

Obrázek 6: Šnekový dopravník Hybag, Švýcarsko



Obrázek 5: Kladívkový mlýn Agrivert



Fáze anaerobní digesce

Hydrolyza

Tato fáze probíhá v aerobním prostředí. Kyslík v této fázi je postupně spotřebována činností aerobních bakterií. Pro činnost bakterií je důležité obsah vlhkosti minimálně 50 %. Vstupní substrát je složený z vlhkých organických látek – makromolekulárních látek, a to zejména proteiny, lipidy a polysacharidy. Po dobu 4-8 dnů působením extracelulárních enzymů se makromolekuly polymeru štěpí na jednodušší organické sloučeniny tzv. monomery, která je výchozí látkou pro další fázi anaerobní digesce. monomery neboli nízkomolekulární látky na rozdíl od výchozích látek, jsou schopny transportu dovnitř buňky, kde pokračuje jejich rozklad. Hydrolyzu a následnou acidogenezi probíhají za účasti bakterií z čeledi *Streptococcaceae* a *Enterobacteriaceae* a rodu *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium* aj.

Acidogeneze

V této fázi se již dokončí tvorba bezkyslíkatého prostředí. Výstupní produkty z první fáze jsou uvnitř buňky rozkládány na jednodušší látky jako jsou alkoholy, oxid uhličitý, kyseliny a vodík. Následnou fermentací se tyto látky transformují při vyšší koncentraci vodíku na vyšší organické kyseliny, kyselina mléčná a etanol. Dále při nízké koncentraci vodíku na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý. V druhé fázi začne růst kyselost prostředí, která je nezbytná pro čtvrtou fázi.

Acetogeneze

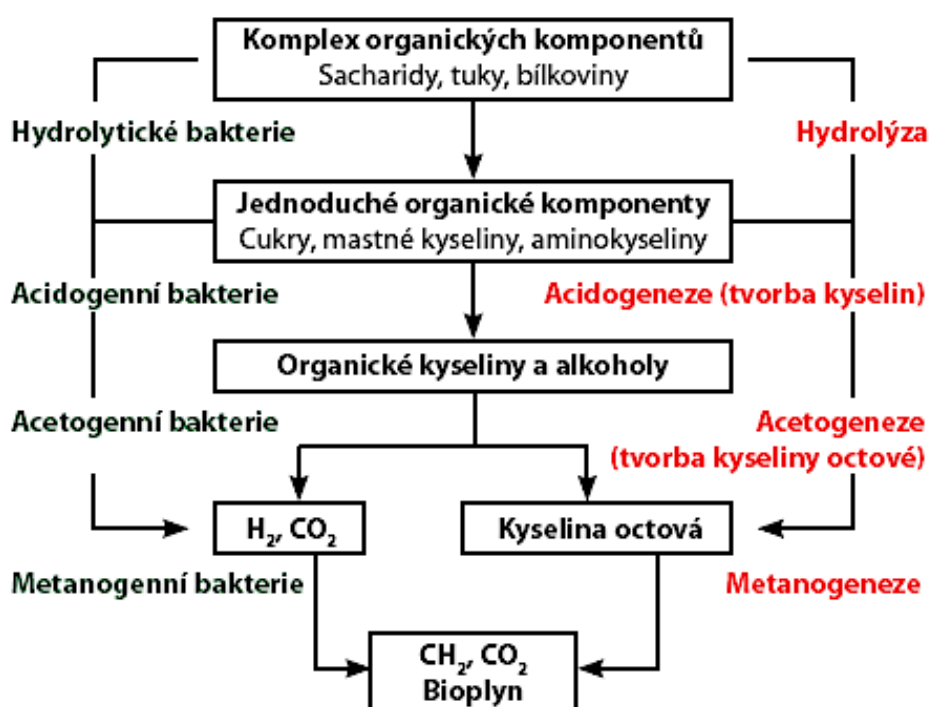
Neboli syntrofní acidogeneze je zvláštní druh acidogeneze. Funguje zde protokooperace mikroorganismů tzv. syntrofní acetogenní bakterie produkující vodík, který je spotřebován jinými skupinami bakterií, které rozkládají vyšší organické kyseliny na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou. Acetogenními bakteriemi v této fázi je třeba *Syntrophobacter wollii*.

Metanogeneze

V této fázi rozkládají bakterie vzniklé jednoduché látky na metan a oxid uhličitý. Metanogeneze se dělí na tři typy: acetoklastická, hydrogenotrofní a metylotrofní.

- Acetoklastická metanogeneze: $4 \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 4 \text{CO}_2 + 4 \text{CH}_4$
- Hydrogenotrofní metanogeneze: $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- Metylotrofní metanogeneze: $\text{CH}_3\text{OH} + 6 \text{H}_2 \rightarrow 3 \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$
(Malat'ák a Vaculík 2008)

Obrázek 7: Schéma anaerobní digesce (Schaumann 2015)



Rozdělení fáze dle reakčních teplot:

psychrofilní	<20 °C
mezofilní	20–40 °C
termofilní	50–55 °C

Největší produkce bioplynu je v termofilní oblasti. Teplotní režim je důležitý hlavně z ekonomického hlediska. Část bioplynu musí být spotřebována pro ohřev fermentoru na potřebnou teplotu. (Pastorek a kol. 2004, Mužík a Kára 2009)

Technologie dočišťování bioplynu

Teoreticky vznikající bioplyn je směsí metanu a oxidu uhličitého (většinou poměr 60:40). V praxi se setkáváme s tím, že bioplynová stanice vyrobí surový bioplyn v čistotě 50–75 % metanu, zbytek je oxid uhličitý, dusík, vodík, sulfan. Pro zvýšení energetické účinnosti bioplynu a odstranění nežádoucích látek je potřeba bioplyn dočišťovat.

Zastoupení majoritních plynů z digesce odpadů:

CH₄ 55–65 %;

CO₂ 35–15 %;

H₂S 0,1–0,5 %.

Plyn je sytý vodní parou při atmosférickém tlaku a 35 °C. (Malat'ák a Vaculík 2008)

Odstraňování CO₂

1. Technologie vodní vypírky

Tato technologie je založena na rozdílné rozpustnosti metanu a CO₂ ve vodě. CO₂ se ve vodě při nižších teplotách rozpouští mnohem lépe než metan. Bioplyn je hnán vertikální válcovitou kolonou směrem nahoru a do protisměru je skrápěn vodou, do které se z bioplynu rozpouští CO₂. Do horní části kolony tak doputuje metan zbavený CO₂.

2. Membránová technologie

Membránové technologie využívají molekulární membrány, které jsou propustné jen pro určitou velikost molekul, a proto je možné oddělit CO₂ a metan.

3. Biologické obohacení bioplynu

Jde o technologii, která v samostatném reaktoru, naplněném substrátem s metanogenními bakteriemi, dělá z bioplynu za přídavku vodíku téměř čistý biometan. (Malat'ák a Vaculík 2008), (Geršl a kol. 2013)

Odstranění H₂S

1. Mikroaerace

Dmychadlem se do reaktoru pustí malé množství vzduchu. Vzdušný kyslík reaguje se sulfanem za vzniku vody a síry.

2. Přidávání solí železa ke zpracovávanému substrátu:

Soli železa reagují se vznikajícím H_2S za vzniku nerozpustných sulfidů.

3. Mokré vypírání H_2S roztokem chelatonátu železito-sodného

Reakcí se H_2S redukuje na elementární síru, která se vylučuje z roztoku.

4. Biologický způsob odstranění H_2S z bioplynu

Využívá se sírné bakterie, které ve vodním prostředí za aerobních podmínek oxidují H_2S na elementární síru a sírany. Do reaktoru s fixovanou biomasou se přivádí současně bioplyn a vzduch. (Malat'ák a Vaculík)

5.1.4 Zpracování kuchyňských odpadů v BPS v České republice a v EU

V rámci systému zpracování kuchyňských odpadů v současné době se v EU nachází spousta BPS. Některé jsou vyspělejší, některé méně vyspělé. V této kapitole budou vyjmenována příkladná BPS

Vídeň

Služba svozu kuchyňských odpadů ve Vídni je zatím limitovaná na gastroodpady z privátního sektoru, a to za poplatek. Od roku 2007 je ve Vídni v provozu bioplynová stanice na principu mokré fermentace s kapacitou 22 tisíc tun gastroodpadů za rok. Ročně vyprodukuje 1 700 000 mil. m^3 bioplynu. Obsah metanu v bioplynu se pohybuje mezi 55 a 70 %. Od roku 2015 je také v provozu modernizovaná BPS, používající membránovou technologii, ročně vyprodukuje 1 000 000 m^3 bioplynu, obsah metanu je až 99 %. (WKU 2019)

Bristol

Sběr kuchyňských odpadů z domácností se zavedl od roku 2008 bezplatně a od roku 2017 pro soukromý sektor za poplatek cca. 50 £/t. Gastroodpad se sváží do místní bioplynové stanice společnosti GENeco s celkovou kapacitou zařízení 40 tis. tun tuhého odpadu za rok. Bioplynová stanice denně vyprodukuje 56 000 m^3 bioplynu, který se používá na výrobu energie. Digestát je používán jako hnojivo. (Pečinková a Vosecký 2019)

Milán

Kuchyňský odpad se sváží do bioplynové stanice Montello, 60 km od Milána. Motivací pro občany dát přednost svozu odpadu na BPS místo do spalovny spočívá v rozdílu tarifu svozu. U svozu na BPS poplatek činí 70 €/t a do spaloven 100 €/t. Bioplynová stanice Montello disponuje s kapacitou 600 tis. tun za rok, a v současnosti se ročně zpracovává okolo 300 tis. tun. Ročně se vyprodukuje 32 000 000 m³ biometanu, 15,8MWh elektřiny a 90 000 t kompostu, který je dále prodáván místním zemědělci. (Montello-SpA 2019)

Situace v ČR

V prosinci 2019 byl na území Prahy 5, 6 a 7 spuštěn pilotní projekt sběru gastroodpadů živočišného a rostlinného původu z domácností. Do hnědé nádoby s oranžovým víkem o objemu 120 l se sbírá odpady jako jsou zbytky ovoce a zeleniny, kosti, maso, nedojedené zbytky a prošlé potraviny. Následně se odpad odváží na BPS, kde se dále zpracovává. Veškeré náklady spojené se sběrem odpadu jako je sběrná nádoba, její svoz, zajišťování nadstandardní služby zanášky/vynášky, včetně mytí nádoby zapojeným občanům hradí Magistrát hl. m. Prahy. Náklady spojené s uložením bioodpadů sebraných v průběhu realizace projektu na zpracovatelské zařízení hradí Pražské služby, a.s.. Projekt je rovněž podporován ÚMČ Praha 5 a 6.(gastro.praha.eu 2019)

5.2 Kompostování

Jedná se o nejstarší a z důvodu finanční dostupnosti i nejrozšířenější metodu nakládání s BRO. Pod pojmem kompostování se rozumí aerobní mikrobiální přeměnu primární organické hmoty na humusové látky, přičemž se sníží objem a hmotnost, obsah vody výsledné hmoty. Výstupním kompostem lze nahradit konvenční minerální hnojiva. Bilance kompostování má tvar:



Fáze kompostování

1. Fáze rozkladu

Tato fáze trvá asi 3 týdny až 2 měsíce v závislosti na vyspělosti technologií. Nejprve dochází k intenzivnímu rozvoje bakterií a plísní. S nárůstem teploty klesá pH a tvoří se organické kyseliny. Dochází k objemové redukci surovin. Teplota může dosáhnout 50 °C až 70 °C v závislosti na materiálovém složení. V tomto stupni rozkládají snadno rozložitelné sloučeniny, jako jsou cukry, bílkoviny a škrob. Kompost převládá termofilní houby, které se později podílí na tvorbu humusu. Je nezbytné v této fázi zajistit dostatečné provzdušňování například přehazováním.

2. Fáze přeměny

Fáze se vyznačuje poklesem teploty na 40 °C–45 °C. Termofilní houby rozkládají lignin, celulózu a proteiny. Kompost získá hnědou barvu a drobkovitou strukturu.

3. Fáze zrání

V této fázi teplota klesne na teplotu okolí. Dochází k vazeb živin v kompostu. (Malat'ák a Vaculík)

Druhy kompostování

Klasické

Klasické kompostování využívá pouze činnosti mikroorganismů a dělí se na tři fáze, mezofilní, termofilní a fáze zrání. Podle objemu kompostování dělíme klasické kompostování na:

1. Domácí kompostování

Vhodné pro rodinné domy a na venkov. Výhodou je nízké pořizovací náklady. Jsou to nádoby na zahradu o objemu až 3000 l nebo malé nádoby pro kompostování kuchyňských odpadů v kuchyni.

2. Mobilní kompostárny

V ČR spíše výjimečnost. Je to mobilní válcové zařízení s ručním míchadlem.

3. Komunitní kompostování

Tato metoda je vhodná pro sídliště, rekreační oblasti a zahrádkáře. Na kompostování se podílí více lidí a vzniklý kompost využijí v blízkém okolí.

4. Místní(městské) kompostárny

Výbava místní kompostárny: manipulační technika, překopávač, drtič, prosévač, dostatečná kapacita skladovací plochy, zavedená kontrola materiálu na vstupu.

5. Velkokapacitní(centrální) kompostování

Zpracovává se velké množství odpadů. Kromě klasických BO zpracovává i některé rizikové odpady jako např. čistírenské a průmyslové kaly. Roční zpracované množství BO až 10 tis. tun nevýhodou je řídká dopravní síť těchto typů kompostáren. (Malat'ák a Vaculík 2008)

Vermikompostování

Tento způsob kompostování využívá vzájemnou interakci žížal a mikroorganismů. Činnosti žížal pomáhá překopávání, provzdušnění a fragmentaci substrátu. V České republice se využívá druh *Eisenia foetida*. Vermikompostování se liší od klasické tím, že zde neprobíhá termofilní fáze. Žížaly jakožto citliví tvorové mají speciální požadavky na prostředí. Faktory ovlivňující činnosti žížal jsou:

1. Teplota – optimálně 19-22 °C
 2. Vlhkost – optimálně 78-82 %
 3. Přístup vzduchu
 4. Hodnota pH – optimálně 6-8
 5. Přítomnost toxických látek – substrát nesmí obsahovat čpavek a obsah solí se toleruje do 0,5 %
 6. Druh surovin – optimální předkompostovaný substrát z hnoje zvířat.
- (Malat'ák a Vaculík 2008)

5.2.1 Vstupní materiál

Obdobně jako u anaerobní digesce vhodný materiál se považuje homogenizovaná směs. Vhodnost materiálu může být posouzena pomocí základních kritérií:

Optimální hodnota pH vstupního materiálu 5,5-8, u vermikomostování se preferuje hodnota pH neutrální

Poměr uhlíkatých a dusíkatých látek optimum 30:1 (Malat'ák a Vaculík 2008)

5.2.2 Faktory ovlivňující klasické kompostování

1. **Teplota** – Činnosti mikroorganismu je nejvyšší při teplotě 20-30 °C. Krátkodobě snesou i 50-60 °C
2. **Homogenizace, zrnitost a pórovitost** – ideál nadrcení na jemnější částice, které zaručí lepší přístupnost pro mikroorganismy, tím se lépe uvolňuje dusík a fosfor. Důležité je také homogenizovaná surovinová skladba.
3. **Vlhkost a provzdušňování** – optimální vlhkost 40 % zajišťuje vhodné prostředí pro bakterie účastnící se procesu.
4. **Hodnota pH** – optimální hodnota pH materiálu na vstupu se pohybuje mezi 5,5-8.
5. **Obsah živin a poměr C:N** – za ideál se považuje poměr 20-40:1
6. **Mikrobiální aktivita** – je vhodné kompost naočkovat půdními mikroorganismy.
7. **Biopreparáty pro stimulaci kompostovacího procesu** – např. hydrolyzát hnědé mořské řasy *Ascophyllum Nodosum* pro dodání živin do kompostu. Biopreparát na principu oxygenátoru, který je směs lyofilizovaných nepatogenních bakterií a enzymu podporující rozklad. Biopreparát na základě Amalgerol Premium, který stimuluje generativní činnosti půdních mikroorganismů. (Malat'ák a Vaculík)

5.2.3 Technika a technologie kompostáren

Technika

1. Univerzální čelní nakladač

Stroj poháněný spalovacím motorem určený k manipulaci s materiálem.

2. Štěpkovače a drtiče

Jak již napovídá název, štěpkovače slouží k nařezání materiálu na větší kusy. Štěpkovače se dělí na diskové, spirálové a bubnové. Drtiče slouží k mělnění objemných materiálů na požadovanou velikost. Drtiče podle charakteru drcení se dělí na čelistové, kruhové, válcové a úderové.

3. Překopávače (nakládače)

Slouží k překopávání hromad s cílem provzdušnění.

4. Tyčové teploměry

5. Ponorné kalové čerpadlo

Čerpadlo je určený k čerpání vody znečištěné neabrazivními nemechanickými příměsemi. Přečerpaná voda slouží na úpravu vlhkosti vstupního materiálu.

6. Prosévací zařízení a separátory (Malat'ák a Vaculík 2008)

Dle technických požadavků zákona 341/2008 Sb. v případě, že se v zařízení zpracovávají živočišné odpady ze zemědělství a VŽP nezbytným vybavením je:

1. zařízení ke sledování teploty
2. zařízení pro zvlhčování
3. zařízení pro provzdušňování, překopávání

Technologie

1. Low-tech

Princip spočívá v uložení promíchávaného materiálu v hromadách v dlouhých přímých pruzích s trojúhelníkovým nebo lichoběžníkovým profilem, které se pravidelně překopávají. Provzdušnění je závislý

na přirozeném prouděním vzduchu. V této metodě je potřeba zajistit optimální velikost hromad. Malé hromady neudrží teplo.

2. Mid-tech

Mid-tech je vylepšená obdoba Low-tech hromad. Prostředkem hromady vede ventilátor pro zajištění dodávky vzduchu. Ventilátor pracuje ve dvou módech, nepřetržitě a přerušovaně.

3. High-tech

Většinou jde o techniky, kde je zabezpečená optimální faktory pro kvalitní průběh kompostování. High-tech technologie jsou:

- a. Kompostovací jednotka
- b. Kompostovací žlab
- c. Kompostovací síla
- d. Rotační bubnový reaktor
- e. Mobilní kompostovací vak (Malaťák a Vaculík 2008)

5.2.4 Kompostování v ČR a ve světě

USA

Podle ročních statistik pro rok 2017, v USA je 21 kompostáren s ročním zpracováním 2,5 mil. t kuchyňských odpadů. Dalšíh 75 kompostáren je ve výstavbě. (EPA 2019)

ČR

Roční výroba kompostu cca. 250 000 t z BRO (Váňa)

5.3 Hydrotermální karbonizace

Někdy též nazývaná mokrá torrefikace. Hydrotermální karbonizace je rozkladný proces, který probíhá za nepřístupu vzduchu, při teplotě 180–250 °C a tlaku 1–4 MPa. Tato metoda lze uplatnit při energetickém využití biomasy. Produktem HTC je biouhlí, který je obdobou přírodního hnědého uhlí, který se v přírodě tvoří v rádech desítek miliónu let. Výhodou

této metody je krátká doba přeměny (cca. 6 h). Po následném vychladnutí (cca. 6 h) ve výsledku lze biouhli získat již za 12 h. (Tradlera a kol. 2018)

Hlavními výhodami HTC jsou:

1. Materiál je zpracováván bez nákladného předsoušení
2. Vhodné pro širokou škálu biomasy, především kuchyňský odpad, který je charakteristický vyšší vlhkostí.
3. Možnost zpracování odpadní biomasy či biomasy nízké kvality, kterou není možné jinak zpracovat.
4. Exotermický proces – uvolňovaná energie lze spotřebovat zpět do procesu
5. Bez tvorby emisí, zápachu a hluku
6. Nízké provozní náklady (Biouhli.com 2013)

5.3.1 Vstupní materiál

Vhodným materiálem HTC se považují odpady s vyšší vlhkostí. Lze usoudit, že technologie HTC splňuje požadavky teplotní hygienizace materiálu a je vhodná metoda pro zpracování i kuchyňských odpadů živočišného původu.

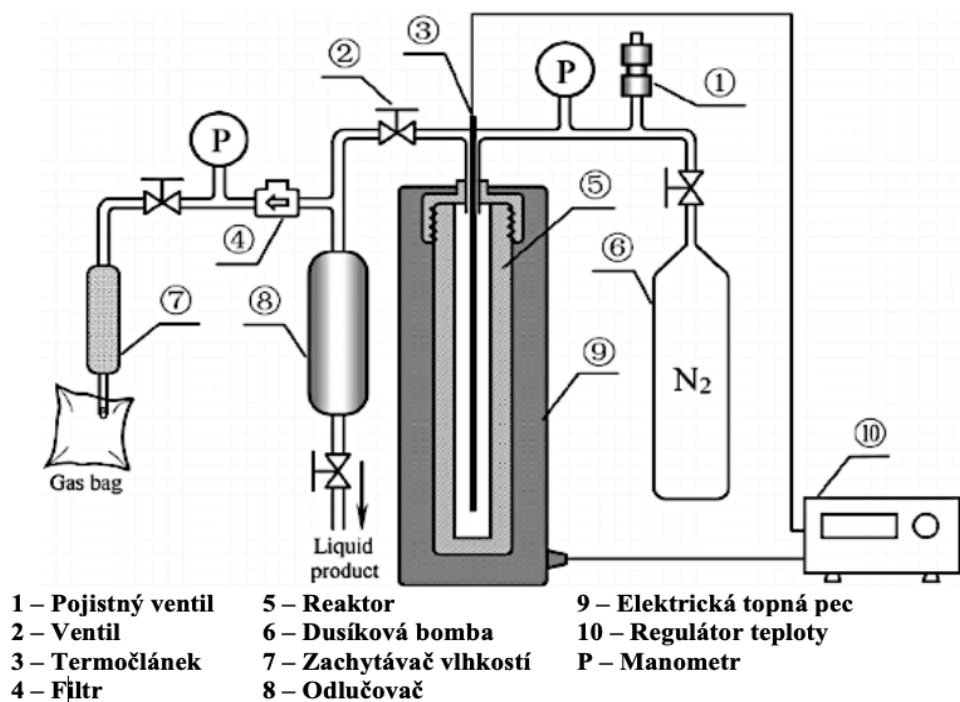
Pro výrobu biouhli technologií HTC se používá lignocelulosoá biomasa s vysokým obsahem celulózy, hemicelulózy, proteinů a s nízkým obsahem ligninu jako jsou gastroodpady, organická část komunálního odpadu, hnůj, kejda apod. (Felgenträgerová 2016)

5.3.2 Technika a technologie HTC

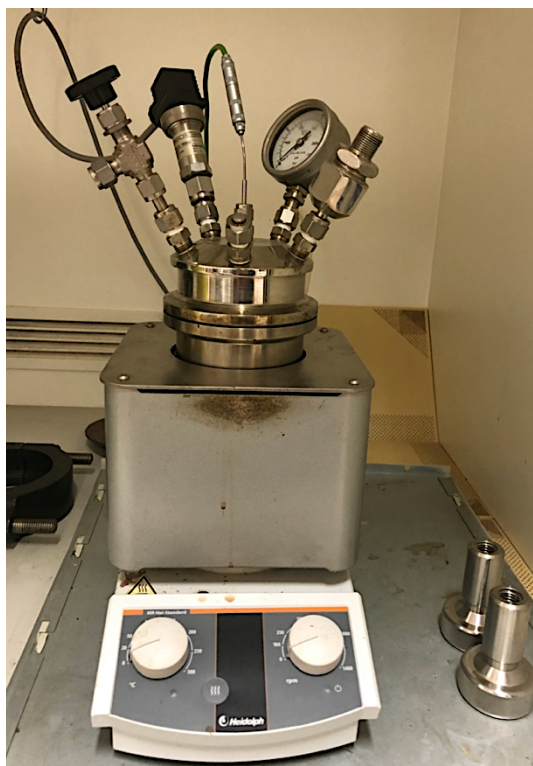
Technika

Kromě zařízení určená na přípravu materiálů k mokré torrefakci jako drtiče, štěpkovače, nezbytnými komponenty pro zařízení HTC jsou bezpochyby: reaktor – nerezová nádoba, která snese teplotu do 350 °C a tlaku 17 MPa; chladičí zařízení; otopná tělesa; ventil; teploměr; regulátor teploty; barometr.

Obrázek 8: Schéma HTC zařízení (Gong 2016 – vlastní úprava)



Obrázek 9: Reaktor s magnetickým míchadlem Heidolph MR Hei Standard (foto autorka)



Technologie HTC

1. Příprava biomasy

Zahrnuje nadrcení materiálu, následné homogenizaci a namočení.

2. HTC proces

Připravený materiál se přečerpá do HTC reaktoru, který se pomocí páry natlakuje na 1-10 MPa a zahřeje na 180-250 °C. Lze přidat katalyzátor (kyselina citronová). Následuje proces rozkladu, dehydratace a karbonizace biomasy. Výstupem procesu je kašovitá hmota.

3. Mechanická dehydratace

Mechanickým slisováním se zchladlá hmota zbaví 50 % vody a získá tvar uhelného koláče.

4. Sušení

Uhelný koláč se vysuší odpadním teplem z HTC procesu na požadovanou vlhkost. Produktem této fáze je prachový biouhlí.

5. Peletizace

Biouhlí se slisuje do požadovaného tvaru a rozměrů. (Biouhli.com 2013)

5.3.3 Výstupní produkty

Biouhlí

Vzniká po 7 h HTC za nižší teploty reaktoru. Takto vyrobený biouhlí splňuje vlastnosti hnědého uhlí, který najde uplatnění především jako palivo. Produkt, který vzniká již po pěti hodinách za vyšší teploty reaktoru se nazývá terra preta nebo agrobiochar. Svým složením si uplatnění najde v zemědělství. Zvyšuje úrodnosti půdy, absorbují na sebe těžké kovy a rezidua. Stimuluje činnosti rhizobiálních mikroorganismů, což vede k nastavování optimálních podmínek pro růst rostlin. (Třípól 2018), (Biouhli.com 2013)

Kapalná fáze

Vzniká po oddělení od pevné fáze. Tato fáze má většinou kyselý charakter kvůli kyselým produktům, které se tvoří v průběhu procesu.

Plynná fáze

Majoritními plyny, které vznikají při procesu hydrotermální karbonizace, jsou CO₂, CH₄ a H₂.

5.4 Torrefikace

Torrefikace je suchá obdoba HTC. Obecně torrefikací se označuje anaerobní proces termického zpracování biomasy při teplotách 220 až 280 °C za podmínek pomalé pyrolýzy. Produktem torrefikací jsou unifikovaná pevná paliva s vylepšenými reologickými a fyzikálně – chemickými vlastnostmi. Na rozdíl od HTC výsledný biouhlí není potřeba dosoušet. (Pohořelý 2014)

5.4.1 Faktory ovlivňující účinnost procesu

- 1 **Vlhkost vstupního materiálu** by měla být optimálně do 15 % (Sverkunová 2016)
- 2 **Teplota** ovlivňuje stupeň transformace a výsledná kompozice výstupních produktů.
- 3 **Doba zdržení** je doba, kdy probíhá degradace biomasa. Doba zdržení závisí na teplotě reaktoru a měla by být měřená od okamžiku, kdy materiál v reaktoru přesáhne teplotu 200 °C. S vyšší teplotou, klesá doba zdržení. (Basu 2013)

5.4.2 Velikost částic vstupního materiálu by měla být velikostně homogenní. Malé kousky se mohou přeměnit v dřevěné uhlí, zatímco větší kusy nejsou důkladně torrefikovány. Malé kousky mohou omezit některé technologie torrefikace tím, že mohou způsobit zanesení a ucpání průtoku plynu. (Stupavský 2012)

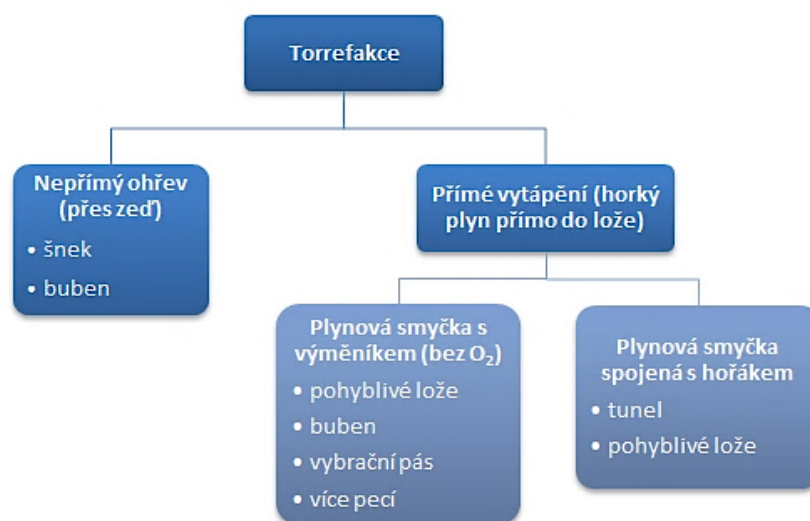
5.4.3 Technika a technologie torrefikace

Technika

Technické zařízení torrefikace zahrnuje vybavení určené na přípravu materiálů k torrefakci jako drtiče, štěpkovače. Dále nejdůležitější zařízení je samotný přístroj torrefikace.

Podle Stupavského (2012), technologie torrefikace podle reaktoru se dělí na přímo a nepřímý vyhřívání. Reaktor s nepřímým ohřevem je realizována pomocí šnekového dopravníku nebo bubnu. Metody torrefikace s přímým ohřevem mohou zahrnovat nekyslíkovou smyčku s výměníkem za použití pohyblivého lože, bubnu, vibračního pásu nebo více pecí, nebo mohou zahrnovat kyslíkovou plynovou smyčku spojenou s hořákem pomocí tunelu nebo pohyblivého lůžka.

Obrázek 10: Rozdělení reaktoru (Stupavský 2012)



Technologie torrefikace

Fáze před torrefikací

1. Úprava vstupního materiálu (drcení, separování od nežádoucích příměsí)
2. Předsušení: sušení vstupního materiálů teplotou do 100 °C

Fáze torrefikace

3. Sušení: teplota reaktoru lehce nad 100 °C – odpaření zbytkové vlhkosti

4. Post-sušení: teplota reaktoru nepřesáhne 200 °C – během této fáze uniká veškerá fyzicky vázaná vlhkost spolu s lehkými organickými sloučeninami z biomasy.
5. Torrefikace: teplota v reaktoru je víc než 220 °C. V závislosti na teplotě nastává štěpná chemická reakce hemicelulózy, celulózy a ligninu.

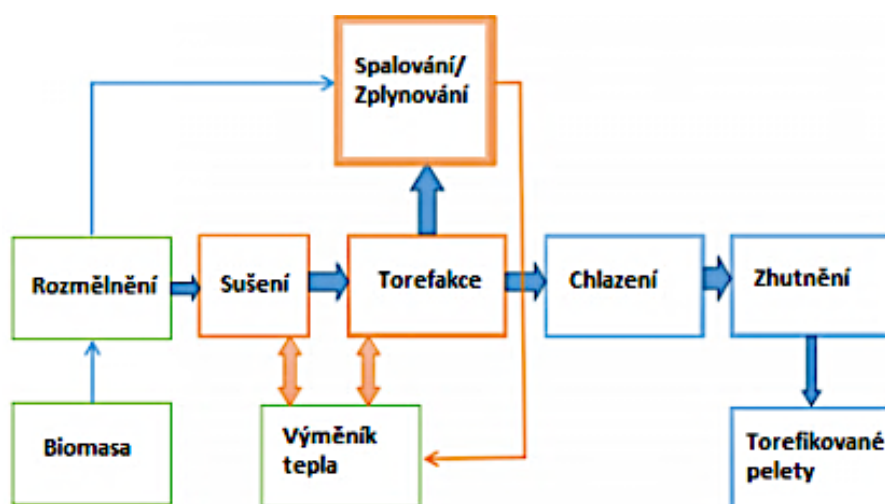
Složky biomasy a jejich teplota štěpení:

Hemicelulóza	225–300 °C
Celulóza	305–375 °C
Lignin	250–500 °C

Fáze po torrefakci

6. Chlazení a stabilizace na pokojovou teplotu
7. Drcení na příslušnou velikost
8. Zhutnění
9. Kontrola
10. Skladování či expedice (Stupavský 2012), (Sverkunová 2016), (Basu 2013)

Obrázek 11: Schéma technologie torrefikace (Sverkunová 2016)



5.4.4 Výstupní produkty

Jako hlavní produkt torrefikace je biouhlí.

Praktická část

6 Metodika

Praktická část této práce vychází z poznatku teoretické části. Cílem této práce je porovnání technologie z teoretické části a vybrání nejvhodnější metodu pro zpracování kuchyňských odpadů. Modelové vzorky kuchyňských odpadů v této práci se skládá z vybraných zástupců ovocí a zelenin:

1. Jablečných zbytků
2. Bramborových slupek
3. Odpady z hlávkového zelí

Práce se zaměřuje na potenciální energetický přínos kuchyňských odpadů při různých procesních technologiích. Vstupní produkty jsou analyzovány laboratorními přístroji pro stanovení sledovaných údajů. Pro praktickou část této práce byly využívány přístroje a laboratoře Technické fakulty, České zemědělské univerzity v Praze.

Sledované údaje se skládá z:

1. Vlhkosti a celkový obsah popelovin (hrubý rozbor)
2. Prvkové složení (elementární rozbor)
3. Spalné teplo a výhřevnost

6.1 Sledované údaje

Všechny suroviny v přirozeném stavu jsou tvořeny ze tří základních složek: z celkové vlhkosti (voda), popelovin a hořlavých látek. Toto složení lze vyjádřit vztahem:

$$W + C + H + O + S + N + a = 100 \% \quad (5.1)$$

Kde: W, C, H, O, S, N, a jsou hmotnostní podíly veškeré vody, uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a popele v původním biopalivu (% hm.). (Malat'ák a kol. 2010)

Vlhkost a obsah popelovin

Vlhkost a popelovina jsou nehořlavé části paliva, které snižují výhřevnost paliva.

Prvkové složení a obsah prchavých hořlavín

Mezi hořlavé složky paliva, které se účastní hoření patří kyslík, uhlík, vodík, síra a dusík. Mezi aktivními složkami hoření patří vodík, uhlík a síra, protože jsou nositeli chemicky vázané energie, která se při jejich oxidaci uvolňuje. Mezi pasivní složky hoření patří kyslík a dusík, protože do procesu hoření nepřinášejí žádnou energii. Kyslík působí jako okysličovadlo a dusík se neúčastní procesu hoření.

Uhlík C je v procesu hoření hlavním nositelem tepelné energie $Q_i = 33,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$. V palivu se vyskytuje ve formě organických sloučenin.

Vodík H je bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu a je dobře rozpustný ve vodě ve srovnání s atmosférickým vzduchem je lehčí a teplo vede snadněji. Vodík je za normální teploty stabilní, při zahřátí je značně reaktivnější, především s kyslíkem a halogeny se slučuje velmi bouřlivě přes prvotní inicializaci.

Vodík příznivě na výhřevnost biopaliva se projeví fakt, že při hoření vyvine zhruba 4x více tepla na jednotku hmotnosti než uhlík $Q_i = 119,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Vodík v biopalivě se skládá z vodíku vázaného a vodíku nezadaného. Vodík vázaný je vodík vázaný na kyslíku a při hoření spotřebuje určité množství tepla na odpaření vody. Vodík nezadaný je vodík, který zbyde po sloučení s celým obsahem kyslíku v palivu.

Síra S je pevný chemický prvek žluté barvy, hojně zastoupený v přírodě. Síra je při vyšší teplotě (již od $120 \text{ }^\circ\text{C}$) poměrně reaktivní prvek. Síra hoří modrým plamenem.

Síra zvyšuje výhřevnost paliva $Q_i = 10,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$ avšak jeho přítomnost v palivě není žádoucí, produkty hoření síry znečišťuje spalovací zařízení, posléze atmosféru.

Kyslík O je plynný chemický prvek, za normálních podmínek je bezbarvý. Tvoří dvouatomovou molekulu, který je obsažen v zemské atmosféře. Kyslík reaguje téměř se všemi prvky za vzniku oxidů.

Přestože kyslík podporuje hoření, je nežádoucí část paliva, jelikož váže vodík a částečně i uhlík na hydroxidy, vodu a oxidy.

Dusík N je plynný chemický prvek bez chuti, barvy a zápachu. Je hlavní složkou zemské atmosféry, kde se vyskytuje v podobě dvouatomové molekuly. Dusík není za normálních podmínek reaktivní, což je způsobeno trojnými vazbami mezi atomy. S jinými chemickými sloučeninami reaguje pouze za vysokých teplot a tlaků. Za vysokých teplot se dusík slučuje s většinou prvků.

Dusík se nezúčastňuje reakcí hoření a zcela přechází do spalin. Svou přítomností snižuje obsah ostatních prvků, což se projevuje ve snížení výhřevnosti paliva. (Malat'ák a kol. 2010)

Spalné teplo a výhřevnost

Spalování hmoty je řízení proces hoření, při které se aktivní hořlavé složky hmoty (H, C, S) slučují s kyslíkem za vzniku spalin a uvolnění světla a tepla. Uvolněné teplo se u tuhých paliv vyjadřuje jako spalné teplo Q_s nebo výhřevnost Q_i paliva a vztahuje se na hmotnostní jednotku $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (za normálních podmínek: $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$, $p = 101,3\text{ kPa}$, označení m^3_N).

Spalné teplo je množství tepla uvolněné z měrné jednotky materiálu $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ při jeho dokonalém spálení, respektive oxidaci. Na konci spalovací reakce po ochlazení spalin na $0\text{ }^\circ\text{C}$ se předpokládá vlhkost v tekutém stavu.

Výhřevnost je totéž, co spalné teplo, s rozdílem, že na konci spalovací reakce zůstává vlhkost v plynném stavu. Hodnota výhřevnosti paliva je nižší než spalné teplo o množství tepla potřebného k ohřevu vody z původní teploty paliva na $100\text{ }^\circ\text{C}$ a o skupenské teplo vypařování vody. Celkové množství tepla se uvažuje přibližně $2\text{ }500\text{ kJ}$ na 1 kg vlhkosti. V praxi se používá se při tepelných výpočtech častěji výhřevnost paliva Q_i , protože ze spalovacích zařízení odcházejí spaliny a vodní pára s teplotou vyšší než $100\text{ }^\circ\text{C}$. (Malat'ák a kol. 2010)

6.2 Charakteristika vzorků

6.2.1 Odpady z jablek

Jablka

Jablka jsou plodem jabloně (*Malus domestica*) patřící k čeledi růžovitých *Rosaceae*. Existuje mnoho vyšlechtěných odrůd a velký spektrum barev a chuti. Jablka řadíme k malvicím. Z hlediska nutriční hodnoty obsahují zhruba 86 % vody a zbytek 14 % tvoří sušinu, která je složená převážně ze sacharidů. Tuky a bílkoviny jsou v jablkách v zanedbatelném množství. (Příbylová 2018)

Produkce, spotřeba a odpady z jablek

Jablka je jako oblíbené ovoce pěstována po celém světě. V roce 2018 bylo vyprodukováno více než 86 milionů tun jablek ve světě. K největším producentům jablek na světě patří Čína, USA, Polsko, Turecko, Irán, Itálie a Indie. Česká republika v roce 2018 sklídila 145 tisíc tun jablek. (FAO ©2008, USDA ©2019)

Průměrná spotřeba čerstvých jablek na osobu ve světě podle FAOStatu je zhruba 8,5 kilogramů za rok. Celkovou spotřebu jablek za rok pro celý svět je tedy 66,2 milionu tun. Oproti tomu v ČR je spotřeba na osobu 24 kilogramů za rok, což dělá cca. 256,7 tisíc tun za rok pro všechny obyvatele. (Příbylová 2018)

Menší část jablek z celkové produkce se spotřebuje v potravinářském průmyslu, a to především na výrobu jablečných šťáv, sušených jablek, kojenecké výživy a jablečných destilátů. Zhruba 75 % je využitelná část z celého plodu, zbytek tvoří výlisky. (Shalini a Gupta 2009)

Odpady z konzumace čerstvých jablek se skládá ze slupek a ohryzku, který se skládá ze semene a jaderníku. Podle Shalini a Gupty (2009) je nekonzumatelná část 25 % z celého jablka. Kuchyňské odpady z jablek počítá-li se dle průměrné roční spotřeby čerstvých jablek na člověka v ČR je to cca. 64,2 tisíc tun odpadu z jablek za rok. Celosvětově cca. 13,2 milionů tun.

Surové odpady z jablek na 100 g typicky obsahují 66,4 - 78,2 % vlhkosti, 9,5 – 22 % sacharidů, 3,6 % cukrů, 6,8 % celulózy, 16,4 % sušiny, 4 % bílkovin, 0,38 % popeloviny. (Shalini a Gupta 2009)

6.2.2 Odpady z brambor

Brambory

Brambory jakožto zástupce kořenové zeleniny jsou podzemní části lilku bramboru (*Solanum tuberosum*) patřící k čeledi lilkovité (*Solanaceae*). Přestože bývá mylně označován jako plod, jedná se o oddenkové hlízy což je zásobním orgánem rostliny. Jedná se o významnou hospodářskou plodinu světa.

Nutriční hodnoty v bramborách se mohou lišit v závislosti na odrůdách, místa produkce, pěstebních podmínkách, skladování aj. Průměrně obsahují zhruba 76 % vody, zbytek tvoří sušina, která je tvořena převážně ze sacharidů. V malém množství se vyskytují také bílkoviny 0,5 – 1,2 %. Tuky se v bramborách nacházejí v zanedbatelném množství. (Večeřa 2008)

Produkce, spotřeba a odpady z brambor

Jako čtvrtá nejvýznamnější hospodářská plodina světa byly brambory v roce 2018 podle FAOStatu vyprodukované v množství 368,2 milionu tun. K největším producentům brambor patří opět Čína, dále Indie, Ukrajina, Rusko a USA. V témže roce bylo podle portálu eagri v ČR vyprodukováno množství 713,3 tisíc tun brambor.

Průměrná spotřeba čerstvých brambor na osobu ve světě je 33,5 kilogramu na osobu na rok, což činí zhruba 260,9 milionu tun ročně. V ČR jakožto jedním z nepostradatelných příloh je spotřeba 69 kilogramu brambor na osobu za rok. V součtu na všechny obyvatele České republiky tím pádem vychází spotřeba 734,9 tisíc tun, která dlouhodobě překrývá celkovou produkci.

Odhadovaná 1/3 nezkonsumovaných brambor z roční produkce se dále zpracovávají. Malá část brambor se využije k pěstování na další sezónu. Velká část brambor se zpracovává především v potravinářském průmyslu na výrobu bramborových vloček, škrobu, hranolek, brambůrek, krmiva pro hospodářská zvířata atd. (FAO 2008)

Odpady z brambor jsou především slupky, které mají nulovou hodnotu pro další využití v kuchyni. Podle Gebrechristos a Chen (2018) loupání brambor se odstraní 15–40 % hmoty z celkové hmotnosti suroviny v závislosti na technice loupání a použitých škrabek. Podle Khullar (2017) odpady ze zpracování brambor zaujímá 12–20 % z celkové produkce.

Počítá-li se se střední hodnotou ztráty brambor během loupání, dostaneme hodnotu 21 %. Na roční spotřebu brambor pro ČR vychází zhruba 154 tisíc tun kuchyňských odpadů při jeho zpracování. Celosvětově hodnota odpadu z brambor je zhruba 52 milionů tun za rok.

Podle Javeda a kol. (2019), surové odpady z brambor obsahují v průměru 84,2 % vody 10,6 % sacharidů, 1,75 % bílkovin, 0,25 % tuku a zbytek kolem 3,2 % jsou ostatní látky. V průměru na sušinu připadne 25 % škrobu, neškrobové polysacharidy 30 %, bílkoviny 18 %, lignin 20 %, tuky 1 % a 6 % popeloviny v sušině.

6.2.3 Odpady z hlávkového zelí

Hlávkové zelí

Hlávkové zelí (*Brassica oleracea* var. *capitata*) je zástupcem košťálové zeleniny, která je pěstovaná pro hlávkou. Patří mezi nejpěstovanější zeleniny v České republice. Průměrná hmotnost hlávkou je 0,5 – 4 kg. (Tamelová 2020) Podle Butnaria a Buta (2015) z nutričního složení obsahuje průměrně 92 % vody. V sušině jsou ve velkém množství zastoupeny sacharidy 5,80 %, které se dělí dál na cukry a vláknina. K minoritním mikroživinám patří též tuky v zanedbatelném množství a bílkoviny, které jsou v celkové zastoupené v průměru 1,28 % celkové hmotnosti. Co se týče vitamínů a minerálů hlávkové zelí je bohatý na draslík, vápník, niacin, pyridoxin, kyselinu askorbovou a kyselinu pantotenovou. (Kozáková 2017)

Produkce, spotřeba a odpady z hlávkového zelí

Světová produkce hlávkového zelí v roce 2018 činila 69,4 milionu tun. Největší producenti byli Čína, Indie, Korejská republika, Rusko a Ukrajina. Podle ČSÚ (2017) byla v ČR sklizeno 54, 3 tisíc tun hlávkou, což z hlávkového zelí učinilo nejvíce produkovanou zeleninou.

Průměrná spotřeba čerstvého hlávkového zelí na osobu ve světě podle Lucier a Parr (2020) v roce 2018 byla 2,6 kg na osobu. Roční spotřeba byla tedy přibližně 19,7 milionu tun. Jako oblíbenou zeleninou v ČR průměrná spotřeba podle na osobu činila 7,9 kg za rok, což činí 84,5 tisíc tun. (MZE 2017)

Z celkové světové produkce podle Rezende a kol. (2015) se ročně na poli vyřadí 45 %, přibližně 31,23 milionu tun, které se dále využívá jako krmivo pro hospodářská zvířata. Značnou část z celkové produkce se zpracovávají především v potravinářském průmyslu jako fermentované výrobky, příměs směsi mražených zelenin, balených zeleninových salátů, hotových polotovarů.

Typické kuchyňské odpady při zpracování hlávkového zelí se skládá ze stopky a staré svrchní listy. Tento materiál podle Binversie a Miller (2013) se skládá z 93 % vody a 7 % sušiny.

7 Měření

V této kapitole jsou modelové odpadní materiály podrobeny rozboru a poté vyhodnoceny. Měření proběhlo u každého vzorku čtyřikrát pro získání co nejpřesnějších údajů.

Surový materiál tedy původní vzorek s původní vlhkostí byl vysušen do konstantní hmotnosti na analytický materiál, který byl následně podroben analýze. Hrubá analýza spočívá v naměření hodnoty vlhkosti materiálu a obsahu popeloviny. Elementární analýza zjišťovala procentuální poměr uhlíku, vodíku, dusíku a síry v popelovině. Kyslík se poté dopočítal. Spalné teplo byl měřen v kalorimetru a výhřevnost je následně dopočítán.

Dohromady tak vzniknou čtyři tabulky hodnot – původní vzorek, analytický vzorek, suchý analytický vzorek a obsah hořlavin.

7.1 Popis měření

1. Odpadní materiály byly nejprve zváženy laboratorními váhami Sartorius SP124 S (obr. 12) pro zjištění celkové hmotnosti. Váhy jsou

propojeny s kalorimetrem LECO AC-600 a analyzátory LECO CHN628+S.

2. K měření vlhkosti a obsahu popeloviny (hrubý rozbor) byl využit termogravimetrický analyzátor LECO TGA-701 (obr. 13). Příklad analyzuje úbytky hmotnosti v závislosti na teplotě.

Obrázek 12: Laboratorní váhy Sartorius SP124 S (foto autorka)



Obrázek 13: Termogravimetrický analyzátor LECO TGA-701 (foto autorka)



3. Prvkové složení v organických materiálech (H, C, N) byl zjištěn elementárním determinátorem LECO CHN628 (obr. 14), který je napojený na počítač s doplňkovým softwarem. Tento analyzátor využívá techniku spalování s úplným dohořením spalin pro rychlou analýzu vzorků. Materiál pomocí automatického podavače byl vložen do primární pece, kde atmosféru tvořil čistý kyslík. Následně došlo k úplnému spálení materiálu, kde zjišťované prvkové složení (H, C, N) byly oxidovány na sloučeniny (CO_2 , H_2O , NO_x).
4. Pro zjištění obsahu síry byl využit modul CHN628+S. Síra obsažená ve vzorku se spálením zoxidoval na oxid siřičitý.

Obrázek 14: Zleva analyzátor LECO CHN628+S a analyzátor LECO CHN628 (foto autorka)



5. K měření spalného tepla v této práci byl využit poloautomatický kalorimetr LECO AC-600. Přístroj funguje na principu přenášení tepla ze spalovací bombě na vodní okolí, ve kterém je ponořen. Zkoumaný materiál byl zvážen, následně byl spálen ve spalovací bombě, v kyslíkaté atmosféře. Spalovací bomba je ponořená do vodní lázně. Teplo uvolňované při reakci se z bomby přenáší na vodní lázeň, kde je měřen a následně softwarem vyhodnocen spalné teplo materiálu.

Obrázek 15: Kalorimetr LECO AC-600 (foto autorka)



7.2 Výsledky měření

7.2.1 Odpady z jablek

Odpady z jablek se skládal z jablečných výlisku. Materiál byl získán z domácnosti běžnou konzumací.

Obrázek 16: Odpad z jablek (foto autorka)



Původní vzorek

Tabulka 4:: Laboratorní stanovení obsahu jablečného odpadu - původní vzorek

Vlhkost	Popel	C	H - v hořlavině	N	S	O - v hořlavině	Prchavá hořlavina	Spalné teplo	Výhřevnost
% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹
62,30	0,38	16,22	2,00	0,02	0,01	18,98	31,58	6,89	4,84

Analytický stav (vysušeno a ponecháno několik dní v laboratoři na vzduchu)

Tabulka 5: Laboratorní stanovení obsahu jablečného odpadu - analytický stav

	Vlhkost	Popel	C	H (vč. vody)	N	S	Spalné teplo	Výhřevnost
	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹
	8,31	1,90	39,03	5,95	0,05	0,03	16,58	15,27
<i>SD</i>	0,05	0,06	0,04	0,09	0,00	0,0019	0,25	
<i>RSD</i>	0,64 %	3,21 %	0,10 %	1,55 %	8,51 %	6,09 %	1,54 %	
<i>n</i>	3	3	3	3	3	2	3	
<i>SD – standardní odchylka, RSD – relativní standardní odchylka, n – počet dobrých měření</i>								

Suchý analytický stav

Tabulka 6: Laboratorní stanovení obsahu jablečného odpadu - suchý stav

	Popel	C	H	N	S	O	Prchavá hořlavina	Spalné teplo	Spalné teplo	Výhřevnost
	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹
	2,08	42,57	5,48	0,05	0,03	49,79	82,87	18,08	18,07	16,88
<i>SD</i>	0,07						0,54			
<i>RSD</i>	3,16						0,65 %			
<i>n</i>	3						3			
<i>SD – standardní odchylka, RSD – relativní standardní odchylka, n – počet dobrých měření</i>										

Hořlavina

Tabulka 7: Obsah hořlavin zkoumaného materiálu

C	H	N	S	O	Prchavá hořlavina	Spalné teplo	Výhřevnost
% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹
43,47	5,59	0,05	0,03	50,85	84,85	18,46	17,24

7.2.2 Brambory a bramborové slupky

Odpady z brambor a se skládá z odřezku brambor, staré brambory a bramborových slupek. Materiál byl získán z domácnosti při běžné přípravě pokrmu zahrnující loupání škrabkou a odřezání špatných částí. Z 543 g brambor byl vyprodukován odpad o 67 g, což je zhruba 12,3 % z celkové hmotnosti.

Obrázek 17: Odpad z brambor (foto autorka)



Původní vzorek

Tabulka 8: Laboratorní stanovení obsahu odpadu z brambor - původní vzorek

Vlhkost	Popel	C	H - v hořlavině	N	S	O - v hořlavině	Prchavá hořlavina	Spalné teplo	Výhřevnost
% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹
60,00	0,00	7,27	0,66	0,20	0,00	31,88	28,15	2,56	0,95

Analytický stav (vysušeno a ponecháno několik dní v laboratoři na vzduchu)

Tabulka 9: Laboratorní stanovení obsahu odpadu z brambor - analytický stav

	Vlhkost % hm.	Popel % hm.	C % hm.	H (vč. vody) % hm.	N % hm.	S % hm.	Spalné teplo MJ.kg ⁻¹	Výhřevnost MJ.kg ⁻¹
	7,68	1,09	16,57	2,36	0,45	0,00	5,89	5,33
<i>SD</i>	0,10	0,25	0,49	0,13	0,04		0,18	
<i>RSD</i>	1,12 %	1,08 %	1,38 %	2,10 %	0,91 %		1,09 %	
<i>n</i>	2	2	3	3	3		2	
<i>SD – standardní odchylka, RSD – relativní standardní odchylka, n – počet dobrých měření</i>								

Suchý analytický stav

Tabulka 10: Laboratorní stanovení obsahu odpadu z brambor - suchý stav

	Popel % hm.	C % hm.	H % hm.	N % hm.	S % hm.	O % hm.	Prchavá hořlavina % hm.	Spalné teplo MJ.kg ⁻¹	Výhřevnost MJ.kg ⁻¹
	1,22	17,95	1,63	0,49	0,00	78,72	69,51	6,33	5,97
<i>SD</i>	0,21						0,10		
<i>RSD</i>	0,87 %						0,17 %		
<i>n</i>	2						2		
<i>SD – standardní odchylka, RSD – relativní standardní odchylka, n – počet dobrých měření</i>									

Hořlavina

Tabulka 11: Obsah hořlavin zkoumaného materiálu

C	H	N	S	O	Prchavá hořlavina % hm.	Spalné teplo MJ.kg ⁻¹	Výhřevnost MJ.kg ⁻¹
18,17	1,65	0,49	0,00	79,69	70,37	6,40	6,05

7.2.3 Hlávkové zelí

Odpady z hlávkového zelí se skládaly ze svrchních listů. Materiál byl získán z domácnosti při běžné přípravě pokrmů, zahrnující odstranění stopky a starých svrchních listů.

Obrázek 18: Odpad z hlávkového zelí (foto autorka)



Původní vzorek

Tabulka 12: Laboratorní stanovení obsahu odpadu z hlávkového zelí - původní vzorek

Vlhkost	Popel	C	H - v hořlavině	N	S	O - v hořlavině	Prchavá hořlavina	Spalné teplo	Výhřevnost
% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹
93,00	3,15	2,06	0,24	0,15	0,00	1,40	3,58	0,85	1,47

Analytický stav (vysušeno a ponecháno několik dní v laboratoři na vzduchu)

Tabulka 13: Laboratorní stanovení obsahu odpadu z hlávkového zelí - analytický stav

	Vlhkost	Popel	C	H (vč. vody)	N	S	Spalné teplo	Výhřevnost
	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹
	7,96	25,92	35,43	4,94	2,59		14,63	13,55
<i>SD</i>	0,09	0,28	0,53	0,11	0,03		0,15	
<i>RSD</i>	1,16 %	1,06 %	1,48 %	2,30 %	0,99 %		1,04 %	
<i>n</i>	2	2	3	3	3		2	
<i>SD</i> – standardní odchylka, <i>RSD</i> – relativní standardní odchylka, <i>n</i> – počet dobrých měření								

Suchý analytický stav

Tabulka 14: Laboratorní stanovení obsahu odpadu z hlávkového zelí - suchý stav

	Popel	C	H	N	S	O	Prchavá hořlavina	Spalné teplo	Výhřevnost
	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹
	28,15	38,50	4,40	2,81	0,00	26,14	66,82	15,90	14,94
<i>SD</i>	0,27						0,10		
<i>RSD</i>	0,96 %						0,15 %		
<i>n</i>	2						2		
<i>SD – standardní odchylka, RSD – relativní standardní odchylka, n – počet dobrých měření</i>									

Obsah hořavin

Tabulka 15: Obsah hořavin zkoumaného materiálu

C	H	N	S	O	Prchavá hořlavina	Spalné teplo	Výhřevnost
% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹
53,58	6,13	3,91	0,00	36,38	93,01	22,13	20,79

7.3 Sumarizace metod a materiálů

V této podkapitole díky znalostem z teoretické části je posuzováno vhodnost jednotlivých modelových materiálů. Teoretická vhodnost zkoumaných materiálů byla vyhodnocena podle teoretické znalosti jednotlivých metod z kapitoly 5 a naměřených hodnot.

7.3.1 Metody

Vhodné vstupní materiály pro anaerobní zpracování v BPS

Optimální obsah sušiny u pevných materiálů 22–25 %, u tekutých materiálů 8–14 %. Optimální hodnota pH vstupního materiálu 7 – 7,8. Poměr uhlíkatých a dusíkatých látek optimum 20–30:1 (Malat'ák a Vaculík 2008)

Vhodné vstupní materiály pro metodu kompostování

Optimální vlhkost procesu je 40 %, tedy vstupní materiál by měl mít vlhkost 40 a výše. Optimální hodnota pH vstupního materiálu 5,5-8, u vermikomostování se preferuje hodnota pH neutrální. Poměr uhlíkatých a dusíkatých látek optimum 20-40:1 (Malat'ák a Vaculík 2008)

Vhodné vstupní materiály pro hydrotermální zpracování

Vhodným materiálem HTC se považují odpady s vlhkostí 50 % a vyšší. (Sverkunová 2016). Pro výrobu biouhlí technologií HTC se používá lignocelulosa biomasa s vysokým obsahem celulózy, hemicelulózy, proteinů a s nízkým obsahem ligninu jako jsou gastroodpady, organická část komunálního odpadu, hnůj, kejda apod. (Felgenträgerová 2016)

Vhodné vstupní materiály pro torrefikační zpracování

Vlhkost vstupního materiálu by měla být optimálně do 15 % (Sverkunová 2016) Za nevhodné vstupní materiály se považují toxický odpad, PVC, inertní materiály, sklo a kov. Z toho lze usoudit, že kuchyňský odpad sice splňuje požadavky, ale na požadovanou vlhkost se musí ještě dosoušet, což přináší další náklady na celý proces.

Sumarizace

Tabulka 16: Požadavky na vstupní materiál (Vlastní zpracování)

	Vlhkost	Obsah sušiny	pH	Velikost částic	C:N	Jiné podmínky
	% hm.	% hm.	-	mm	-	-
Anaerobní digesce	> 50	8–25	7–7,8	<20	20–30 : 1	-
Kompostování	> 40	-	5,5–8	<0,5	20–40 : 1	Lignocelulosaový materiál
Torrefikace	<15	-	-	homogenní	-	Lignocelulosaový materiál
HTC	>50	-	kyselé	homogenní	-	Lignocelulosaový materiál

Tabulka 17: Složení původních vzorků

	Vlhkost	Obsah sušiny	C	N
	% hm.	% hm.	-	-
Odpady z jablek	62,30	47,70	16,22	0,02
Odpady z brambor	60,00	40,00	7,27	0,20
Odpady z hlávkového zelí	93,00	7,00	2,06	0,15

7.3.2 Materiály

Odpady z jablek

Jako samostatná vstupní surovina u anaerobní digesce a kompostování tento odpad by nespĺňoval poměr C:N. Zpracování tohoto odpadu lze pouze tehdy, kdyby nebylo zpracované samotné ale s dalšími materiály, které upravují poměr C:N na požadované optimum. Mísení odpadů není energeticky ani finančně náročné. V praxi je to běžná věc, že se odpady těmito metodami nezpracovávají jednodruhové, nýbrž jako směs. Dále nutno podotknout, že obsah sušiny u jablečných výlísků jsou vyšší, tudíž tento odpad není úplně vhodný pro anaerobní digesci bez mísení s jinými materiály, které by zvyšovaly vlhkost. Teoreticky odpady z jablek jako surovina vyhovují požadavky pro vstupní surovinu pro fermentační metody zpracování.

Co se týče pyrolýzních způsobu zpracování, jablečné odpady jsou optimální vstupní surovinou při hydrotermálně karbonizační zpracování. Naopak bylo vyhodnoceno, že surové odpady z jablek při zpracování torrefikační metodou, budou náročnější po energetické i finanční stránce, jelikož se musí dosušovat na požadovanou vlhkost. Pomine-li se zmíněný faktor, budou jablečné odpady vynikající vstupní surovinou z důvodu možnosti dosažení vysoké výhřevnosti a malý obsah popelu.

Tabulka 18: Teoretické hodnocení vhodnosti jablečného odpadu jako vstupní surovina (vlastní zpracování)

	Vlhkost	Obsah sušiny	C:N	Jiné podmínky	Celkem
	% hm.	% hm.	-	-	
Anaerobní digesce	62,30	47,70	16,22:0,02	-	Ne
Kompostování	62,30	47,70	16,22:0,02	Ligninocelulosový materiál	Ok
Torrefikace	62,30	47,70	16,22:0,02	Ligninocelulosový materiál	Ne
HTC	62,30	47,70	16,22:0,02	Ligninocelulosový materiál	Ok

Odpady z brambor

Odpady z brambor jako kořenová zelenina obdobně jako u ovoce teoreticky splňují požadavky pro vstupní surovinu u fermentačních metod při mísení s dalšími materiály zajišťující optimální poměr C:N a požadovaný obsah sušiny. Naopak ze zjištěných hodnot lze usoudit, že odpady z brambor jsou nevýhodné pro metody pomalé pyrolýzy. Ačkoliv splňuje podmínky pro vstupní surovinu u metody hydrotermální karbonizace, energetický přínos bude podprůměrné ve srovnání s jinými vhodnějšími surovinami. U torrefikace bude tato surovina na vstupu energeticky a finančně náročná kvůli vyššímu vlhkosti.

Tabulka 19: Teoretické hodnocení vhodnosti odpadu z brambor jako vstupní surovina (vlastní zpracování)

	Vlhkost	Obsah sušiny	C:N	Jiné podmínky	Celkem
	% hm.	% hm.	-	-	
Anaerobní digesce	60,00	40	7,27:0,20	-	Ne
Kompostování	60,00	40	7,27:0,20	Ligninocelulosový materiál	Ok
Torrefikace	60,00	40	7,27:0,20	Ligninocelulosový materiál	Ne
HTC	60,00	40	7,27:0,20	Ligninocelulosový materiál	Ok

Odpady z hlávkového zelí

Odpady z hlávkového zelí jako košťálová zelenina je velmi vhodná pro všechny způsoby zpracování. U fermentačních metod bude vyžadováno

úprava poměru C:N vstupní směsi. U torrefikace bude nutné dosoušení na požadovanou vlhkost.

Tabulka 20: Teoretické hodnocení vhodnosti odpadu z hlávkového zelí jako vstupní surovina (vlastní zpracování)

	Vlhkost	Obsah sušiny	C:N	Jiné podmínky	Celkem
	% hm.	% hm.	-	-	
Anaerobní digesce	93,00	7,00	2,06:0,15	-	Ok
Kompostování	93,00	7,00	2,06:0,15	Ligninocelulosový materiál	Ok
Torrefikace	93,00	7,00	2,06:0,15	Ligninocelulosový materiál	Ne
HTC	93,00	7,00	2,06:0,15	Ligninocelulosový materiál	Ok

8 Závěr

Ročně z domácnosti a stravovacích zařízení vzniká ohromné množství kuchyňských odpadů, které mají velký potenciál v energetickém využití. Jejich systematický sběr a následní využití je teprve na počátku. Systematický zpracování tohoto odpadu by přispělo nejen k šetření místa, ale i k ochraně životního prostředí před případnými vylučovanými toxiny.

Cílem bakalářské práce bylo seznámení se s problematikou kuchyňských odpadů a nastínění možnosti řešení. Kuchyňské odpady se již běžně upravují fermentačními metodami. Prioritou této práce bylo především posouzení, zda by nebyly tyto odpady využity lépe pyrolýzními metodami. Vybrané vzorky byly podrobeny laboratorní analýze a poté s technologickými požadavky jednotlivých metod sumarizovány ve výsledcích práce.

Vybrané vzorky vzniklé v domácnosti autorky byly zvoleny podle platné legislativy o nakládání s kuchyňskými odpady, tedy vyjma odpady živočišného původu.

Hrubé a elementární analýzy potvrdily, že kuchyňské odpady rostlinného původu jsou vedle energetických plodin výborným materiálem pro energetické využití, a to především fermentačními metodami

kvůli energetické i finanční nenáročnosti. Pyrolýzní metody pro zpracování kuchyňských odpadů jsou vhodné, ale spíše se nedoporučuje z hlediska technologické a finanční náročnosti zařízení a jeho následnou údržbu. Na rozdíl od pyrolýzních způsobů zpracování, fermentační metody jsou legislativně jednoznačně ošetřeny.

Reference a přílohy

Seznam literatury

1. Zákon 185/2001 Sb., o odpadech, v platném znění.
2. Vyhláška 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů, v platném znění.
3. Vyhláška 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, v platném znění
4. Plán odpadového hospodářství ČR – Ministerstvo životního prostředí. Ministerstvo životního prostředí [online]. Copyright © 2008 [cit. 2019.05.11], dostupné z:
https://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr
5. Zákon č. 166/1999 Sb., o veterinární péči, v platném znění.
6. Vyhláška 299/2003 Sb. o opatřeních pro předcházení a zdolávání nákaz a nemocí přenosných ze zvířat na člověka, v platném znění.
7. Nařízení Evropské komise č. 1774/2002 ES ze dne 3. října 2002, kterým se stanoví hygienická pravidla týkající se vedlejších živočišných produktů, které nejsou určeny k lidské spotřebě.
8. Nařízení Evropské komise č. 1357/2014 ze dne 18. prosince 2014, kterým se nahrazuje příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech a o zrušení některých směrnic
9. Komár, A., 2011: Nakládání s odpady v gastronomické praxi. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín. 63 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. <http://digilib.k.utb.cz/>
10. Dlabaja, T., 2014: Analýza a optimalizace využití komunálních biologicky rozložitelných odpadů pro výrobu bioplynu a energie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Praha. 149 s. (doktorská disertační práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
11. Malat'ák, J.; Vaculík, P., 2008: Zpracování biologicky rozložitelných odpadů. ČZU v Praze, Technická fakulta, Powerprint, Praha, 168 s., ISBN: 978-80-213-1747-5
12. Malat'ák, J.; Jevič, P.; Vaculík, P., 2010: Účinné využití tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek. Powerprint, Praha, 240 s., ISBN: 978-80-87415-02-3

13. Oficiální internetová stránka Evropské unie: Nařízení, směrnice a další právní akty (online) [cit.2019.09.11], dostupné z: https://europa.eu/european-union/eu-law/legal-acts_cs
14. Státní zdravotní ústav: Nebezpečné odpady (online) [cit.2019.12.11], dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/nebezpecne-odpady>
15. Fakulta veterinární hygieny a ekologie Veterinární a farmaceutické univerzity Brno: 7. Stanovení obsahu vlákniny (online) [cit.2019.23.11], dostupné z: https://fvhe.vfu.cz/static/informace-o-fakulte/sekce-ustavy/uvv/chemicka_analyza_krmiv/vlaknina.html
16. Kalač, P., 2003: Funkční potraviny: kroky ke zdraví. Dona, České Budějovice, 130 s., ISBN 80-7322-029-6
17. Zákon 254/2001 Sb, o vodovodech a kanalizacích v platném znění.
18. Butnariu, M.; Butu, A., (2015): Chemical Composition of Vegetables and Their Products (online) [cit. 2019.23.11], dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/302493121_Chemical_Composition_of_Vegetables_and_Their_Products
19. Hrabě, J.; Buňka, F.; Hoza, I., (2007): Technologie výroby potravin rostlinného původu. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín, 178 s., ISBN 80 - 7318 - 372 – 2
20. Mužík, O.; Kára, J., (2009): Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. Biom.cz (online) [cit. 2019.15.12], dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>. ISSN: 1801-2655.
21. Pastorek, Z.; Kára, J.; Jevič P., (2004): Biomasa: Obnovitelný zdroj energie. FCC Public, Praha, 288 s. ISBN 80-8653-4-06-5.
22. Geršl, M.; Vítěz, T.; Mareček, J.; Koutný, T.; Mičola, T., (2013): Vlastnosti sirných korozivních produktů z různých technologií produkce bioplynu. Eagri.cz (online) [cit. 2019.15.12], dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/325094/MZE_vlastnosti_sirnych_produkty_final_2013.pdf
23. http://eagri.cz/public/web/file/325094/MZE_vlastnosti_sirnych_produkty_final_2013.pdf
24. Pečinková, L.; Vosecký, V., (2019): Sběr gastro odpadu Příklady dobré praxe v Evropě. Institut cirkulární ekonomiky, Praha, 111 s.
25. Montelo SpA ©(2019): Recycling organic waste (online) [cit. 2019.27.12], dostupné z: <http://www.montello-spa.it/recycling-organic-waste/?lang=en>

26. WKU ©(2019): Biogas Vienna (online) [cit. 2019.27.12], dostupné z: <https://www.wku.at/en/Our-facilities/Biogas-Vienna>
27. Portál životního prostředí hlavního města Prahy ©(2019): PILOTNÍ PROJEKT SBĚRU GASTROODPADŮ živočišného a rostlinného původu z domácností na území hl. m. Prahy(online) [cit. 2019.27.12], dostupné z: <https://gastro.praha.eu/>
28. Kompostovací centrum ©(2019): Jak kompostovat (online) [cit. 2020.15.01], dostupné z: <http://www.odpadovecentrum.cz/jak-kompostovat>
29. EPA ©(2019): National Overview: Facts and Figures on Materials, Wastes and Recycling (online) [cit. 2020.23.01], dostupné z: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials>
30. Ekolist ©(2019): Pražské služby svezly loni 266 000 tun komunálního odpadu (online) [cit. 2020.09.02], dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/prazske-sluzby-svezly-loni-266.000-tun-komunalniho-odpadu>
31. Tradlera, S.; Mayr, S.; Himmelsbach, M.; Priewasser, R.; Baumgartner, W.; Stadlera, A. (2018): Hydrothermal carbonization as an all-inclusive process for food-waste conversion (online) [cit. 2020.15.02], dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S2589014X18300318>
32. NIREX a.s. © (2013): a) Vlastnosti a výhody (online)
1. b) Popis a technologie
2. c) Produkty
[cit. 2020.15.02], dostupné z: <https://www.biouhli.com/>
33. Třípól – časopis pro studenty © (2014): Jak uvařili uhlí v papiňáku (online) [cit. 2020.15.02], dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/fyzika-a-klasicka-energetika/722-jak-uvarili-v-papinaku-uhli>
34. Felgenträgerová, K. (2016): Hydrotermální rozklad bioodpadů. Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Ostrava. 73 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. DSpace VŠB.
35. Basu, P., 2013: Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction. Academic Press, USA. 548 s., ISBN 9780123964885
36. Gent, S.; Twedt, M.; Gerometta, CH.; AlMBERG, E. (2017): Theoretical and applied aspects of biomass torrefaction for biofuels and value-added products. Butterworth-Heinemann, UK, 224 s., ISBN 9780128095171

37. Sverkunová, K. (2016): Využití torrefikace biomasy pro energetické účely. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta tropického zemědělství, Praha 47 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep. SIC ČZU v Praze.
38. Stupavský, V. (2012): Výroba „super-pelet“ metodou torrefikace (online) [cit. 2020.04.03], dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky/8655-vyroba-super-pelet-metodou-torrefikace>
39. Pohořelý, M. (2014): Termochemická konverze pevných paliv (online) [cit. 2020.04.03], dostupné z: <http://cpga.cz/files/prednasky/1401%20CEZ.pdf>
40. UŠŤÁK, S – VÁŇA, J. Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů. Praha: CZ-Biom ve spolupráci s Výzkumným ústavem rostlinné výroby, 2005. ISBN 80-86555-78-x.
41. Gong, M. (2016): Subcritical and supercritical water gasification of humic acid as a model compound of humic substances in sewage sludge. The Journal of Supercritical Fluids (online) [cit. 2020.27.02], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896844616302741?via%3Dihub>
42. Anonym (2015): Tvorba bioplynu: Bioplyn vzniká ve čtyřech fázích. SCHAUMANN ČR s.r.o. (online) [cit. 2020.27.02], dostupné z: <http://bioplyn.schaumann.cz/vyroba/vznik-bioplynu/>
43. Green energy network (online) [cit. 2019.12.15] dostupné z: <https://www.greenenergynet.net/food-waste-biogas-system/>
44. Tamelová, B. (2020): Torrefikační a hydrotermální zpracování agroodpadů. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Praha 199 s. (doktorská disertační práce). „nepublikováno“ Dep. SIC ČZU v Praze.
45. Příbylová, T. (2018): Bioaktivní látky v jablkách a jejich vliv na lidské zdraví. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Pardubice 46 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep. Digitální knihovna UPa
46. U.S. Department of Agriculture © (2013): Fresh Apples, Grapes and Pears: World Markets and Trade (online) [cit.2020.03.27], dostupné z: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/fruit.pdf>
47. Food and Agriculture Organization of the United Nations © (2008): Production quantities of Apples by country (online) [cit.2020.03.27], dostupné z: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>

48. Shalini, R.; Gupta, D. (2009): Utilization of pomace from apple processing industries: a review (online) [cit.2020.03.28], dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3551016/>
49. Večeřa, J. (2008): Vliv kuchyňského zpracování na chemické složení brambor. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín. 61 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. <http://digilib.k.utb.cz/>
50. Gebrechistos, H.; Chen, W. (2018): Utilization of potato peel as eco-friendly products: a review (online) [cit.2020.04.05], dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.691>
51. Khullar, B. (2017): Potato peel fruit waste turned into packaging materiál (online) [cit.2020.04.05], dostupné z: <https://www.downtoearth.org.in/news/waste/potato-peel-turned-into-packaging-material-58137>
52. Food and Agriculture Organization of the United Nations © (2008): Uses of potato (online) [cit.2020.04.05], dostupné z: <http://www.fao.org/potato-2008/en/potato/utilization.html>
53. Javed, A.; Ahmad, A.; Tahir, A.; Shabbir, U.; Nouman, M.; Hameed, A. (2019): Potato peel waste-its nutraceutical, industrial and biotechnological appalacations (online) [cit.2020.04.07], dostupné z: <https://www.aimspress.com/fileOther/PDF/agriculture/agrfood-04-03-807.pdf>
54. Lucier, G.; Parr, B. (2020): Vegetable and Pulses Outlook (online) [cit.2020.04.10], dostupné z: <https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/98295/vgs-364.pdf?v=6148.3>
55. Resortní portál Ministerstva zemědělství © 2009-2020: Situační a výhledová zpráva – zelenina (online) [cit.2020.04.10], dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/573083/SVZ_Zelenina_12_2017.pdf
56. Kozáková, M. (2017): Perspektiva produkce kruhárenského zelí v České republice. Mendelova univerzita v Brně. Fakulta zahradnická, Lednice 49 s. (bakalářská práce). (online) [cit.2020.04.10], dostupné z: https://theses.cz/id/6di1tc/zaverecna_prace.pdf
57. Rezende, A.; Rabelo, C.; Silva, M.; Härter, C.; Veiga, R. (2015): Wasted cabbage (Brassica oleracea) silages treated with different levels of ground corn andsilage inoculant (online) [cit.2020.04.10], dostupné z: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982015000800296&lng=en&tlng=en

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: HIERARCHIE LEGISLATIVNÍCH ÚPRAV V ODPADOVÉM HOSPODÁŘSTVÍ (UŠŤAK A VÁŇA 2005 - VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	4
OBRÁZEK 2: HIERARCHIE ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ (ARNIKA.ORG – VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	8
OBRÁZEK 3: ANALÝZA SKO PRO PRAHU (INCIEN 2018).....	16
OBRÁZEK 4: SCHÉMA BIOPLYNOVÉ STANICE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	19
OBRÁZEK 5: KLADÍVKOVÝ MLÝN AGRIVERT	20
OBRÁZEK 6: ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK HYBAG, ŠVÝCARSKO	20
OBRÁZEK 7: SCHÉMA ANAEROBNÍ DIGESCE (SCHAUMANN 2015)	22
OBRÁZEK 8: SCHÉMA HTC ZAŘÍZENÍ (GONG 2016 – VLASTNÍ ÚPRAVA)	32
OBRÁZEK 9: REAKTOR S MAGNETICKÝM MÍCHADLEM HEIDOLPH MR HEI STANDARD (FOTO AUTORKA)	32
OBRÁZEK 10: ROZDĚLENÍ REAKTORU (STUPAVSKÝ 2012).....	35
OBRÁZEK 11: SCHÉMA TECHNOLOGIE TORREFIKACE (SVERKUNOVÁ 2016)	36
OBRÁZEK 12: LABORATORNÍ VÁHY SARTORIUS SP124 S (FOTO AUTORKA)	44
OBRÁZEK 13: TERMOGRAVIMETRICKÝ ANALYZÁTOR LECO TGA-701 (FOTO AUTORKA)	44
OBRÁZEK 14: ZLEVA ANALYZÁTOR LECO CHN628+S A ANALYZÁTOR LECO CHN628 (FOTO AUTORKA)	45
OBRÁZEK 15: KALORIMETR LECO AC-600 (FOTO AUTORKA)	46
OBRÁZEK 16: ODPAD Z JABLEK (FOTO AUTORKA)	46
OBRÁZEK 17: ODPAD Z BRAMBOR (FOTO AUTORKA)	48
OBRÁZEK 18: ODPAD Z HLÁVKOVÉHO ZELÍ (FOTO AUTORKA)	50

Seznam tabulek

TABULKA 1: ZAŘAZOVÁNÍ GASTROODPADŮ PODLE KATALOGŮ ODPADŮ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	11
TABULKA 2: PRŮMĚRNÉ SLOŽENÍ VSTUPNÍCH SUROVIN (TAMELOVÁ 2020 - VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	13
TABULKA 3: HODNOCENÍ SYSTÉMU SBĚRU GASTROODPADŮ VE VYBRANÝCH ZEMÍCH EU (PEČÍNKOVÁ A VOSECKÝ 2019 - VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	16
TABULKA 4: LABORATORNÍ STANOVENÍ OBSAHU JABLEČNÉHO ODPADU - PŮVODNÍ VZOREK	47
TABULKA 5: LABORATORNÍ STANOVENÍ OBSAHU JABLEČNÉHO ODPADU - ANALYTICKÝ STAV.....	47
TABULKA 6: LABORATORNÍ STANOVENÍ OBSAHU JABLEČNÉHO ODPADU - SUCHÝ STAV.....	47
TABULKA 7: OBSAH HOŘLAVIN ZKOUMANÉHO MATERIÁLU	47
TABULKA 8: LABORATORNÍ STANOVENÍ OBSAHU ODPADU Z BRAMBOR - PŮVODNÍ VZOREK	48
TABULKA 9: LABORATORNÍ STANOVENÍ OBSAHU ODPADU Z BRAMBOR - ANALYTICKÝ STAV.....	49
TABULKA 10: LABORATORNÍ STANOVENÍ OBSAHU ODPADU Z BRAMBOR - SUCHÝ STAV.....	49
TABULKA 11: OBSAH HOŘLAVIN ZKOUMANÉHO MATERIÁLU	49
TABULKA 12: LABORATORNÍ STANOVENÍ OBSAHU ODPADU Z HLÁVKOVÉHO ZELÍ - PŮVODNÍ VZOREK	50
TABULKA 13: LABORATORNÍ STANOVENÍ OBSAHU ODPADU Z HLÁVKOVÉHO ZELÍ - ANALYTICKÝ STAV	50
TABULKA 14: LABORATORNÍ STANOVENÍ OBSAHU ODPADU Z HLÁVKOVÉHO ZELÍ - SUCHÝ STAV	51
TABULKA 15: OBSAH HOŘLAVIN ZKOUMANÉHO MATERIÁLU	51
TABULKA 16: POŽADAVKY NA VSTUPNÍ MATERIÁL (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	52
TABULKA 17: SLOŽENÍ PŮVODNÍCH VZORKŮ.....	53
TABULKA 18: TEORETICKÉ HODNOCENÍ VHODNOSTI JABLEČNÉHO ODPADU JAKO VSTUPNÍ SUROVINA (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	54
TABULKA 19: TEORETICKÉ HODNOCENÍ VHODNOSTI ODPADU Z BRAMBOR JAKO VSTUPNÍ SUROVINA (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	54
TABULKA 20: TEORETICKÉ HODNOCENÍ VHODNOSTI ODPADU Z HLÁVKOVÉHO ZELÍ JAKO VSTUPNÍ SUROVINA (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	55