

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Tepelně-emisní vlastnosti energetického kompostu pro malé spalovací zařízení

Diplomová práce

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

Autor: Bc. Václav Bučinský

Praha 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Václav Bučinský

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

Tepelně-emisní vlastnosti energetického kompostu pro malé spalovací zařízení

Název anglicky

Heat-emission characteristics of the energy compost for small combustion plants

Cíle práce

Cílem diplomové práce je seznámení s problematikou zpracování biologicky rozložitelných odpadů a jejím termickým využitím pro malé spalovací zařízení. Navrhnout energetické využití nadsítné složky z kompostovacího procesu pro spalovací zařízení s ručním podáváním paliva. Uskutečnit prvkové a stechiometrické rozborů a tepelně-emisní analýzu vybraných vzorků kompostu pro spalování v malých spalovacích zařízeních. Zhodnotit výsledky měření a ekonomicky posoudit využití vybraných vzorků.

Metodika

- 1 Úvod
- 2 Cíl práce
- 3 Metodika práce
- 4 Současný stav sledované problematiky
- 5 Praktická část práce
- 6 Výsledky a diskuse
- 7 Závěr a doporučení
- 8 Seznam použitých zdrojů

Doporučený rozsah práce

50-60 stran

Klíčová slova

Kompost, spalovací zařízení, analyzátor spalin, emise, výhřevnost

Doporučené zdroje informací

- Altmann,V.,Vaculík,P.,Mimra, M.: (2010). Technika pro zpracování komunálního odpadu, ČZU Praha, Powerprint s.r.o., ISBN 978-80-213-2022-2, 1. vydání, 120 s.
- Malaťák, J.; Jevič, P.; Vaculík, P.: Účinné využití tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek. 2010, Powerprint, Praha, pp. 240, ISBN 978-80-87415-02-3
- Malaťák, J.; Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 206 s., ISBN: 978-80-213-1810-6
- Obroučka, K.: Termické zneškodňování odpadů. VŠB Ostrava, Ostrava 1997, 140 s.
- Pastorek, Z.; Kára, J.; Jevič, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie, nakladatelství FCC Public, Praha 2004, 284 str., ISBN 80-86534-06-5
- Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2009/28/EC o podpoře užívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. Štrasburk, 23.4.2009 (OR. en)

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 8. 12. 2015

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2016

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Tepelně-emisní vlastnosti energetického kompostu pro malé spalovací zařízení vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jana Malat'áka, Ph.D. a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle 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.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 25. března 2016

.....

Václav Bučinský

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Janu Malatřákovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad a připomínek v průběhu zpracování diplomové práce a pomoci při získávání relevantních dat.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je seznámit se s problematikou biologického a energetického využívání kompostů. Důraz je kladen především na technologii a vlastnosti energetického kompostu, který je určen pro spalování, zplyňování nebo pyrolýzu. V práci je uvedena charakteristika vlastností a složení tuhých biopaliv. Jsou zde charakterizovány znečišťující látky, včetně jejich nebezpečných vlastností. Dále jsou zmíněny legislativní podmínky, a to především v oblasti emisních limitů a kvality paliv z hlediska ochrany ovzduší. Práce se věnuje popisu hlavních konstrukčních znaků malých roštových spalovacích zařízení.

Druhá část diplomové práce obsahuje komplexní analýzu (prvkovou, stechiometrickou, tepelně-emisní a ekonomickou) vybraných vzorků tuhých biopaliv. Na základě výsledků analýzy byly vzorky vyhodnoceny a posouzeny, zda vyhovují emisním limitům a požadavkům na kvalitu paliv z hlediska legislativy. Analyzovaná paliva byla charakterizována a bylo navrženo vhodné energetické využití pro malé spalovací zařízení.

Klíčová slova: kompost, spalovací zařízení, biomasa, tuhé biopalivo, emise, výhřevnost

Heat-emission characteristics of the energy compost for small combustion plants

Summary

The aim of this thesis is to get acquainted with the problems of biological and energetic use of compost. Emphasis is placed on the technology and features of the energy compost, which is intended for combustion, gasification or pyrolysis. The work presents characteristic properties and composition of solid biofuels. There are characterized pollutants, including hazardous properties. There are also mentioned legislative conditions, particularly in the area of emission limits and fuel quality in terms of air protection. Further, a description of the main design features of a small grate combustion plants.

The second part of the thesis contains a comprehensive analysis (elemental, stoichiometric, heat emission and economic) of selected samples of solid biofuels. Based on the analysis, the samples were evaluated and assessed whether they comply with emission standards and fuel quality requirements in terms of legislation. Analyzed fuels have been characterized and it has been proposed the use of appropriate energy for small combustion facilities.

Keywords: compost, combustion plants, biomass, solid biofuel, emissions, calorific value

Obsah

1 Cíl práce.....	1
2 Metodika práce	2
3 Úvod.....	3
4 Přehled řešené problematiky.....	4
4.1 Využití biomasy pro energii.....	4
4.1.1 Energetický potenciál biomasy.....	4
4.1.2 Rozdělení biomasy	4
4.1.3 Mechanická úprava biopaliv.....	5
4.2 Všeobecná klasifikace tuhých biopaliv podle původu a zdroje	6
4.3 Biologické využití kompostů	8
4.3.1 Proces kompostování.....	9
4.3.2 Technologie zpracování kompostů.....	10
4.4 Technologie energetického využití kompostů	12
4.4.1 Energetický kompost pro přímé spalování	12
4.4.2 Příklad výrobku energetického kompostu	13
4.4.3 Jímání tepla z kompostovacího procesu	17
4.5 Právní předpoklady spalování tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních.....	17
4.5.1 Zákon o ovzduší 201/2012	18
4.5.2 Vyhláška 415/2012 Sb.....	19
4.6 Základní složení a vlastnosti tuhých biopaliv	20
4.6.1 Obsah vody v tuhých palivech	22
4.6.2 Obsah popelovin v tuhých palivech	23
4.6.3 Spalné teplo a výhřevnost tuhých paliv	23
4.6.4 Prchavá hořlavina	24
4.6.5 Charakteristické teploty popele tuhých paliv	25

4.6.6 Chemické vlastnosti paliv.....	26
4.7 Emisní koncentrace při provozu malých spalovacích zařízení.....	26
4.7.1 Tuhé a kapalné znečišťující látky.....	27
4.7.2 Plynné znečišťující látky a částice.....	27
4.8 Spalovací zařízení pro spalování tuhých biopaliv.....	31
4.8.1 Roštové spalovací zařízení.....	31
5 Praktická část práce.....	33
5.1 Charakteristika analyzovaných paliv.....	33
5.2 Prvková a stechiometrická analýza.....	34
5.2.1 Metodika prvkové a stechiometrické analýzy.....	34
5.2.2 Výsledky výpočtů a měření.....	42
5.2.3 Vyhodnocení a diskuze prvkové a stechiometrické analýzy.....	43
5.3 Tepelně - Emisní analýza.....	48
5.3.1 Metodika tepelně-emisní analýzy.....	49
5.3.2 Výsledky měření a diskuze tepelně-emisní analýzy.....	55
5.4 Ekonomická analýza.....	61
6 Závěr.....	64
5 Seznam obrázků.....	66
6 Seznam tabulek.....	67
7 Seznam grafů.....	69
8 Zdroje a seznam použité literatury.....	70
PŘÍLOHA I.....	I
PŘÍLOHA II.....	II
PŘÍLOHA III.....	IV
PŘÍLOHA IV.....	V
PŘÍLOHA V.....	VI

PŘÍLOHA VI.....	VII
PŘÍLOHA VII.....	VIII
PŘÍLOHA VIII	IX

Seznam zkratek

BRO Biologicky rozložitelné odpady

ČOV Čistírna odpadních vod

DPH Daň z přidané hodnoty

EWA (Ecological Waste Apparatus) certifikované zařízení pro ekologické zpracování biologicky rozložitelných odpadů

KTJ je česká verze zkratky CFU, z překladu anglického „colony forming unit“, tedy kolonii tvořící jednotka. Mikrobiologové při analýze počtu bakterií nebo jiných mikrobiálních buněk vycházejí z předpokladu, že jedna buňka se může na pevném médiu množit na kolonii buněk. Zkratka KTJ vyjadřuje celkový počet životaschopných buněk.

MŽP Ministerstvo životního prostředí

PAU Polycyklické aromatické uhlovodíky

Ppm (Parts per million) je výraz pro jednu miliontinu (celku)

VÚZT Výzkumný ústav zemědělské techniky

1 Cíl práce

Cílem rešeršní části diplomové práce je vytvořit přehled technologií výroby biologických a energetických kompostů. Pro posouzení energetického využití tuhých biopaliv je potřeba vymezit klasifikační, jakostní a specifikační rámce. Je důležité uvést související legislativní podmínky, a to především v oblasti emisních limitů a kvality paliv z hlediska ochrany ovzduší. Základní vlastnosti tuhých biopaliv jsou výchozí předlohou pro praktickou část této práce. Cílem této diplomové práce je navrhnout využití energetického kompostu pro malé spalovací zařízení. Z tohoto důvodu bude v rešeršní části této práce přehled technologií malých roštových spalovacích zařízení.

Prvním cílem praktické části práce je provedení prvkové analýzy a stechiometrických výpočtů vybraných vzorků tuhých biopaliv. Vybranými vzorky jsou nadsítná složka biologického kompostu, energetický kompost a referenční palivo. Cílem práce je zjištění palivářských vlastností vzorků a jejich vzájemné porovnání. Na základě zjištěných parametrů provedeme klasifikaci paliva z jakostního a specifikačního rámce. Dále je cílem posouzení vzorků, zda vyhovují emisním limitům a požadavkům na kvalitu paliv z hlediska legislativy.

Druhým bodem praktické části práce je ověřit vlastnosti vybraných vzorků provedením tepelně-emisní analýzy a následně tepelně-emisní vlastnosti vzorků vyhodnotit.

Třetím cílem praktické části práce je ekonomicky posoudit možnosti využití nadsítné složky biologického kompostu a energetického kompostu a vzájemně je porovnat s využitím tradičních paliv.

2 Metodika práce

Práce je rozdělena na kapitoly Přehled řešené problematiky a Praktická část práce.

Přehled řešené problematiky

V kapitole **Přehled řešené problematiky** bude čerpáno především ze studie VÚZT „Možnosti energetického využití kompostů“. Zdrojem pro charakteristiku tuhých biopaliv bude vědecká monografie „Účinné využití tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek“ od autorů Jana Malaťáka, Petra Jeviče a Petra Vaculíka.

Na základě platné normy ISO 17 225 bude provedena všeobecná klasifikace tuhých biopaliv dle vlastností. Legislativní podmínky v oblasti emisních limitů a kvality paliv z hlediska ochrany ovzduší definuje Vyhláška MŽP č. 415/2012 Sb. O přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší a Zákon č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší.

Praktická část práce

Pro praktickou část práce budou vybrány tyto vzorky: nadsítná složka biologického kompostu, kompost určený k energetickému využití a referenční palivo.

V kapitole Prvková a stechiometrická analýza bude proveden hrubý rozbor, prvkový rozbor a stechiometrické výpočty. Hrubý rozbor určuje obsah vody, popela a hořlaviny. Nejdůležitější pro prvkový rozbor je obsah uhlíku (C), dusíku (N), síry (S) a chlóru (Cl). Energetický obsah je charakterizován spalným teplem a z něho odvozené výhřevnosti. Detailní popis metodiky prvkové a stechiometrické analýzy je uveden v kapitole 5.2.1 Metodika prvkové a stechiometrické analýzy.

K porovnání tepelně-emisních charakteristik bude provedeno měření na malém spalovacím zařízení. Pro stanovení emisních charakteristik, hmotnostních toků a charakteristiky tuhých částic při termickém spalování vzorků bude použit analyzátor kouřových plynů. Podrobná metodika této analýzy je detailně vysvětlena v kapitole 5.3.1 Metodika tepelně-emisní analýzy.

V kapitole ekonomické zhodnocení bude vybrán teplovodní kotel pro energetické využití jednotlivých vzorků a definován topný provoz. Budou zkalkulovány celkové roční náklady na energetické využití jednotlivých paliv a budou vzájemně porovnány. Podrobný postup je uveden v kapitole 5.4 Ekonomická analýza.

3 Úvod

Stávající situace využívání energetických zdrojů směřuje především ke hledání a využívání nových obnovitelných zdrojů. Tradiční fosilní zdroje mají omezené zásoby a jsou limitovány. Jedním z úkolů současnosti je rozšíření využívání obnovitelných zdrojů energie. Vzhledem ke geografickým podmínkám ČR je významnou možností spalování obnovitelné energetické biomasy.

V oblasti odpadového hospodářství ČR je jedním z cílů snížení množství ukládání biologicky rozložitelných odpadů (BRO) na skládky a zvýšení energetického a materiálového využívání. S tím souvisí snaha o zřizování zařízení na zpracování biologických rozložitelných odpadů na obecních i regionálních úrovních.

Kompostování je jednou z možností, jak využít biologicky rozložitelné odpady. Primární využití kompostů spočívá ve zvyšování úrodnosti půd, tj. ve zvyšování obsahu humusu v půdě. Vedle tohoto klasického postupu byla vyvinuta v poslední době také technologie energetických kompostů, které jsou určeny pro přímé spalování, zplyňování či pyrolýzu.

Vstupní surovinou pro komposty jsou např. sklizené porosty z trvalých travních porostů, zbytky produkčních rostlin nebo dřevní složky z údržby parků, těžební lesní zbytky atd. Pro kompostovací proces je důležitý vyvážený poměr vstupujících materiálů, optimální poměr C:N a také dostatečné nadrcení vstupujícího materiálu. Po ukončení kompostovacího procesu se kompost prosévá na složku podsítnou a nadsítnou. Nadsítná složka se vrací zpět do kompostovacího procesu a podsítná složka je hotovým výrobkem pro biologické využití.

V některých kompostářských provozech je však přebytek dřevní složky, nedostatečná mechanizace pro optimální nadrcení vstupujících materiálů a nízký odbyt biologického kompostu. To vše způsobuje zvýšené množství nadsítné složky kompostu. Místo vrácení této složky do kompostovacího procesu je možností energetické využití. Cílem této diplomové práce je zanalyzovat vlastnosti vzorku nadsítné složky a navrhnout její energetické využití.

Diplomová práce obsahuje rozbor technologií biologického a energetického využívání kompostů. Cílem práce je seznámit s problematikou zpracování biologicky rozložitelných odpadů a jejich termickým využitím pro malá spalovací zařízení. Cílem je provést prvkové rozbor, stechiometrické výpočty a tepelně-emisní analýzu pro vzorek nadsítné složky biologického kompostu, energetického kompostu a referenčního paliva. Energetické využívání zmíněných vzorků bude posouzeno také z ekonomického hlediska.

4 Přehled řešené problematiky

4.1 Využití biomasy pro energii

Biomasa je hmota biologického původu, která zahrnuje rostlinnou biomasu, pěstovanou v půdě a ve vodě, živočišnou biomasu, produkci organického původu a organické odpady. [1]

4.1.1 Energetický potenciál biomasy

V období průmyslového rozvoje v minulých stoletích docházelo k intenzivnímu využívání fosilních paliv. To vedlo k vysokému navýšení koncentrace oxidu uhličitého (CO_2) v atmosféře. Např. spálením kilogramu černého uhlí vzniká 2,56 kg CO_2 a spálením kilogramu motorové nafty vzniká dokonce 3,12 kg CO_2 . [1]

Při spalování rostlinné biomasy také vzniká CO_2 . Tato produkce však nenavyšuje skleníkový efekt, protože rostliny v průběhu svého růstu CO_2 z ovzduší odebírají a při spalovacím procesu ho do ovzduší pouze vracejí. Schopnost vázat CO_2 mají rostliny po celou dobu života. Podzemní části rostlin však mají schopnost zadržovat CO_2 i mnohem déle. Z těchto důvodů představuje vytváření intenzivních zelených porostů, obnova lesních či zemědělských kultur významnou kapacitu vázání CO_2 z atmosféry. [1]

Lze předpokládat, že i v budoucnu se bude zvyšovat celková energetická spotřeba a to jak v průmyslových zemích, tak i v zemích rozvojových. V současnosti je spotřebováno přibližně 80 % celkové energie přibližně 30 % populace z nejvyspělejších zemích. Stávající situace využívání energetických zdrojů směřuje především ke hledání a využívání nových obnovitelných zdrojů. Tradiční fosilní zdroje mají omezené zásoby a jsou limitovány. Biomasa představuje pro obnovitelné zdroje energie velký význam. Její hlavní výhodou oproti ostatním obnovitelným zdrojům (vítr, voda, solární energie) je, že ji lze upravovat, sušit, uskladnit a použít v době, kdy je energie potřeba. [1]

4.1.2 Rozdělení biomasy

Biomasu využitelnou ke spalování můžeme rozdělit dle vlastností na:

a) dřevní biomasu (štěpku, piliny, hobliny atd.) mající původ ve dřevozpracujícím průmyslu a v lesnictví („odpadní“ biomasa) či dřevní biomasu získanou z cíleně pěstovaných energetických dřevin;

b) rostlinnou biomasu ve formě balíků slámy pocházející ze sklizně zrna („odpadní“ biomasa) nebo rostlinná biomasa získaná z cíleně pěstovaných energetických rostlin.[2]

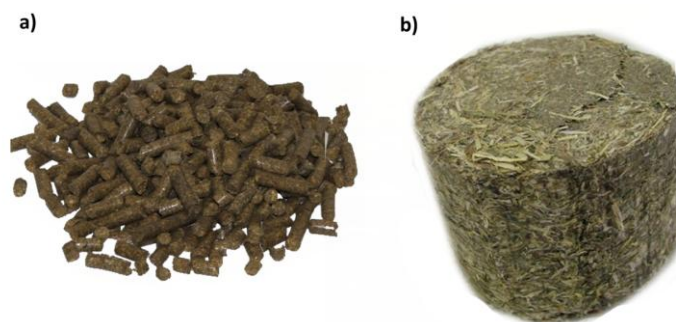
Z hlediska energetického využití biomasy, lze toto využití rozdělit na:

- a) výroba tepla přímým spalováním paliv v energetických zařízeních (dřevní odpad, sláma či dřevo);
- b) zpracování a zušlechtnění paliv na tzv. fytopaliva (pelety, brikety);
- c) kombinovaná výroba energie a tepla. [1]

4.1.3 Mechanická úprava biopaliv

Biomasu, určenou pro výrobu energie, v některých případech nelze ve spalovacích zařízeních použít přímo, ale je třeba ji zpracovat do vhodného tvaru a rozměrů. Obvykle se jako závěrečná část této úpravy používá metoda briketování či peletování. Nejdůležitějším parametrem pelet a briket jsou jejich tvary, rozměry a také jejich mechanické vlastnosti. Ty mají zásadní vliv na způsob manipulace s nimi (doprava, uskladnění, dávkování do energetického zařízení), ale také na ztráty při zmíněných operacích. Výhodou pelet a briket jsou snížené náklady na transport, protože se transportuje zhuštěný materiál o menším objemu. Příklad topných pelet určených pro malé spalovací zařízení je na následujícím obrázku (Obr. č. 1). [3]

Obr. č. 1 - a) topné pelety z dřevní štěpky; b) topná peleta z travní fytomasy kombinovaná s topolovou štěpkou [4 - upraveno]



Při lisování biopaliv bez přidávání pojiv se částice materiálů přibližují na minimální molekulovou vzdálenost. Při tomto maximálním přiblížení jsou účinné tzv. valenční síly ve formě Van der Walsových sil. Pro aktivaci těchto sil a pro zajištění trvale stlačené formy je potřeba stlačení velmi vysokým tlakem. Základním parametrem vstupních biopaliv pro lisování je vlhkost. V případě, že vlhkost při lisování přesahuje hranici 20 %, pak se biomasa v lisovací komoře nezhušní do požadovaného rozměru a hrozí rozpadání briket či pelet. Obecně se doporučuje vlhkost maximálně do 15 %. [5]

4.2 Všeobecná klasifikace tuhých biopaliv podle původu a zdroje

Cílem souboru celoevropských norem **ISO 17 225** je stanovení jednoznačných principů klasifikace tuhých bio paliv a usnadnění obchodování s nimi. Zjednodušují porozumění mezi prodejci, odběrateli a výrobcí zařízení.

Tuhá biomasa obsahuje organický, nefosilní materiál biologického původu a může být využívána jako palivo pro výrobu tepla nebo elektrické energie. Následující obrázek (Obr. č. 2) popisuje řetězec, začínající u zdroje biomasy přes úpravu až ke konečnému využití jako bio energie. Biomasa může mít i další využití jako materiálový zdroj pro stavebnictví, výrobu nábytku, papíru apod.

Klasifikace zmíněná v této mezinárodní normě se zabývá výhradně cíleným využitím biomasy jako bio paliva. Norma se nezabývá a nepojednává o ostatních způsobech využívání. [6]

Obr. č. 2 - Schéma přeměny biomasy na bioenergii [6]



Předmětem normy je určování třídy, kvality a specifikace tuhých biopaliv ze surových a zpracovaných materiálů pocházejících z:

- a) lesnictví a parků;
- b) zemědělství a zahradnictví;
- c) akvakultury.

Za surový a zpracovaný odpad se považuje materiál zahrnující dřevní, ovocnou, vodní biomasu a biologický rozložitelný odpad, pocházející ze zmíněných odvětví. Materiál, který projde chemickou úpravou, nesmí obsahovat halogenové organické sloučeniny či těžké kovy ve vyšším obsahu, než jsou běžné hodnoty obsahu původního materiálu v zemi původu.

Specifikace původu a zdroje materiálu jsou uvedeny v tabulce č. 1 této normy. Tabulka zde specifikuje palivo na čtyřech úrovních. První úroveň může být následující:

1. Dřevní biomasa
2. Bylinná biomasa
3. Ovocná biomasa
4. Vodní biomasa
5. Homogenní směsi a směsi

Klasifikace dle původu a zdroje pro dřevní biomasu je uveden v příloze (PŘÍLOHA I). Druhá úroveň specifikace uvádí, zda je biomasa původní materiál, vedlejší produkt či průmyslový zbytek. Třetí a čtvrtá úroveň popisuje ostatní detaily.

Příklad zařazení:

Piliny z listnatého stromu řadíme dle specifikace jako 1.2.1.1.

1 > Dřevní biomasa;

1.2 > Vedlejší produkty a zbytky dřevozpracujícího průmyslu;

1.2.1 > chemicky neupravené vedlejší dřevní produkty a zbytky;

1.2.1.1 > Listnaté s kůrou.

Specifikace tuhých paliv na základě obchodních forem a vlastností je uvedena v tabulce 2 této normy. Tabulka uvádí pro každé palivo jeho název, typickou velikost částic a běžnou metodu zpracování. Parametr, velikost a tvar částic je z obchodního hlediska velice důležitý. Ovlivňuje manipulaci, přepravu a především vlastnosti hoření. Příklad některých vybraných obchodních forem je uvedeno v následující tabulce (Tab. č. 1). [6]

Tab. č. 1 - Příklady zařazení bio paliv na základě obchodních forem a vlastností [6]

Název paliva	Typická velikost částice	Běžná metoda přípravy
Celý strom	> 500 mm	Bez přípravy nebo odvětvení
Brikety	> 25 mm	Mechanickým stlačením
Pelety	< 25 mm	Mechanickým stlačením
Polena	100 mm až 1 000 mm	Řezáním ostrými nástroji
Drcené dřevní palivo	Různá	Drcení tupými nástroji

V další části norma specifikuje **vlastnosti tuhých biopaliv**. První část normy obsahuje především obchodní formy biopaliv, které jsou běžně používány v domácnosti (dřevní pelety, dřevní brikety, dřevní štěpky či rozdrcené dřevní palivo). Pro specifikaci tuhého biopaliva jsou v tabulkách 3–16 (této normy) označeny normativní a informativní vlastnosti.

V tabulkách 3-15 normy jsou tuhá biopaliva definována do tříd podle jejich charakteru. Např. v tabulce č. 3 je specifikace vlastností briket a v tabulce č. 5 specifikace vlastností pelet. Kompletní specifikace vlastností pro brikety je uvedena v příloze (PŘÍLOHA II). Druhá část normy 17 225 zahrnuje specifikace pro průmyslová paliva. [6]

4.3 Biologické využití kompostů

Z důvodu snížení stavu hospodářských zvířat v zemědělství se značně snížila produkce statkových hnojiv a to zapříčinilo změnu v hospodaření na půdách. Dnes se pěstuje méně plodin na zeleno (sklizeň celé rostliny). Více se pěstují plodiny na zrna a sláma se ponechává na poli. Na půdách zůstává více primární organické hmoty, především ve formě slámy. Sláma se však rozkládá výrazně rychleji než částečně humifikovaná statková hnojiva nebo stabilizovaný kompost. Za specifických podmínek může dokonce primární organická hmota stimulovat mineralizaci a podporovat úbytek půdní organické hmoty. [7]

MŽP České republiky odhaduje, že v ČR vzniká jen z činnosti občanů a obcí asi 2 miliony tun biologicky rozložitelných odpadů, k tomu můžeme přičíst zhruba podobné množství odpadů z průmyslu. Tyto materiály mají potenciál a lze je transformovat např. aerobními nebo anaerobními postupy na hnojivo. S ohledem na ochranu půdy, životního prostředí a bezpečnost potravního řetězce je nutné z materiálového toku vyloučit odpady, které představují vyšší riziko pro potenciální obsah rizikových prvků a látek.

Často je zmiňována problematika výskytu patogenních (tj. choroboplodných, vyvolávající chorobu) mikroorganismů v biologických odpadech. Experimentální činnost autorů a také provozní zkušenosti ze zahraničí potvrzují, že intenzivní proces kompostování vede k značnému snížení obsahu patogenních organismů. To se děje nikoliv díky vysokým teplotám, kterých je možné kompostováním dosáhnout, ale z důvodu vysoké různorodosti a dynamickému růstu mikroorganismů.[7]

Důležité je, jakým způsobem proces kompostování probíhá. V případě, že jsou podmínky pro kompostování nastaveny nevhodně (např. nízkou aerací), výsledný efekt nesplní základní požadavky na obsah vyskytujících se patogenních mikroorganismů. V případě dosažení vhodných podmínek však patogenní mikroorganismy nepůsobí a jsou dostatečně neutralizovány. [7]

4.3.1 Proces kompostování

Základní pojmy v oblasti kompostování jsou uvedeny v příloze (PŘÍLOHA III). Primární využití kompostů spočívá ve zvyšování úrodnosti půd neboli zvyšování obsahu humusu v půdách. Udává se, že pro zajištění dobrého stavu půdy a k dosažení vyrovnané bilance humusu v půdě je třeba v průměru na 1 ha orné půdy dodat organickým hnojením 1,5 t čisté organické hmoty. Při pravidelném organickém hnojení můžeme dosáhnout dlouhodobého efektu. Urychlení procesu se dosahuje kompostováním, kdy je tvorba humusu urychlena a lze jej technologicky regulovat. Jedná se o chemický mikrobiální proces při dostatečném zásobování kyslíkem. Schématicky lze tento proces popsat následující rovnicí (4.1). [8]



glukóza + kyslík > oxid uhličitý + voda

Při tomto rozkladu se uvolňuje výrazně vyšší množství energie a vzniká vyšší množství mikroorganismů než ve srovnání s přirozenými půdními procesy. Optimálních podmínek se dosahuje úpravou poměru uhlík/dusík, regulací vlhkosti, přítomností fosforu, regulací kyselosti, zrnitosti a homogenity materiálu, aerací a řízením teploty.

Při zakládání kompostu se pohybuje optimální hodnota C/N okolo 30-35:1. V průběhu procesu se poté vlivem ztrácení uhlíku ve formě CO₂ tento poměr snižuje k hodnotám přibližně 25–30:1. Vlhkost kompostu je závislá na jeho materiálovém složení a struktuře. Pro komposty s vyšším obsahem organických látek je optimální hodnota vlhkosti v rozmezí 60 –70 %. V průběhu kompostovacího procesu klesá pórovitost jednotlivých složek a v důsledku toho klesá i požadovaná vlhkost. Potřeba množství fosforu je minimálně 0,2 % P₂O₅ v sušině. Požadavek na hodnotu kyselosti pH se pohybuje v rozmezí 6 až 8. [8]

Proces kompostování lze rozdělit na 3 základní fáze:

1. Fáze rozkladu (termofilní)

Ve fázi rozkladu nejdříve dochází k zahřátí kompostu na teplotu 50 – 70 °C, zatímco současně klesá hodnota pH vlivem tvorby organických kyselin (octová, mravenčí, propanová, máselná). Začínají se rozkládat snáze rozložitelné látky, jako jsou např. cukry, škroby, bílkoviny. Poté následuje rozklad hůře rozložitelných látek (celulóza, dřevní hmota). Pro řádný průběh fáze je důležité zajistit dostatečnou aeraci.

2. Fáze přeměny (mezofilní)

Tato fáze trvá od čtvrtého do desátého týdne, teplota pozvolně klesá na 40 až 45 °C. Kompost získává stejnoměrnou hnědou barvu a drobtovitou strukturu. V tomto stadiu má kompost vysoký hnojivý účinek.

3. Fáze syntézy (dozrávání)

Při dozrávání kompostu dochází k přiblížení teploty kompostu k teplotě okolí. Kompost získává zemitou strukturu, živý humus se přeměňuje na humus trvalý. Hnojivý účinek je slabší (živiny jsou pevněji vázány), zvyšuje se však účinnost humusu. [8]

Základní parametry vybraných vstupních surovin vhodných pro kompostování jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. č. 2).

Tab. č. 2 - Základní vlastnosti surovin pro kompostování [8]

Surovina	Vlhkost	Organické látky v %	Obsah C v %	Obsah N v %	C:N
hnůj koně	70,5	89	44,5	2,2	20
kejda prasat	94,5	75	37,5	5,4	7
čerstvá tráva	82,4	85,7	42,8	3,2	13
kejda drůbeže	89,5	70,5	35,3	6,6	5
sláma obilnin	16,5	94	47	0,5	94
listí	27,5	91	45,5	1,2	38
kuchyňský odpad	72,5	81,5	40,8	1,8	23
piliny	55	98	49	0,1	490
stromová kůra	55	96	48	0,3	160
vytříděný bioodpad	50,5	75,5	37,8	1,5	25

4.3.2 Technologie zpracování kompostů

Z technologického hlediska se kompostování provádí různými způsoby:

- v biofermentorech,
- v kompostech plošných,
- v kompostových zakládkách.

Biofermentory jsou dnes nabízeny ve variantách jako stabilní zařízení z monolitického železobetonu nebo mobilní, které se instalují na zpevněné plochy. Materiálový vstup se obvykle skládá přibližně z pětiny objemu nasákavého materiálu (drcená sláma, piliny) a čtyřmi pětinami

tekutého odpadu (kejda, slepičí trus, čistírenský kal). Následuje fermentace, kdy se zpravidla v pěti až sedmidenním cyklu fermentuje při teplotách cca 55°C za intenzivního provzdušňování.

Biofermentory pracují kontinuálně a denně mohou být doplňovány bio odpadem. Jsou vybaveny míchacím zařízením, dopravníkem, nádrží a čerpadlem na tekutý odpad. Substrát po krátkodobé fermentaci nemá charakter a vlastnosti vyzrálého kompostu s vytvořenými humusovými látkami. Nevýhodou technologie jsou vysoké náklady, které jsou ve srovnání s výrobou kompostu na kompostových zakládkách minimálně dvojnásobné. [8]

Dalším technologickým způsobem jsou **komposty plošné**. Ty se uplatňovaly především v minulosti v místech, kde nebyla vhodná mechanizace pro zakládání krechtových kompostů. Kompost se zakládá vrstevnatě z chlévské mrvy a dalších hmot do výšky 50 cm a je zpravidla zavlažován močůvkou. Tyto plochy byly často nazývány jako tzv. "tučný hon". Překopávání a aerace kompostu se provádí hlubokou orbou. Plochy jsou poté s výhodou po 2 - 3 roky využívány k pěstování krmných plodin či teplomilných zelenin. Obdělávání těchto kultur zčásti rovněž nahrazuje překopávku. Po zrušení tučného honu se kompost zpravidla rozmisťuje na zbývající části pozemku. [8]

V dnešní době se nejčastěji provádí výroba **kompostů v zakládkách** (Obr. č. 3) na trvalých nebo dočasných kompostárnách. Při využití této technologie je potřeba mít k dispozici nakladač. Odpady se naváží při krechtovém kompostování přímo do zakládky (bez předchozího skladování) a rovnoměrně se vrství po celé její délce. Při navážení je snaha, aby příčný průřez zakládky obsahoval všechny složky surovinové skladby. Konstrukce zakládky by měla umožňovat zavlažování tekutou složkou. Vhodný je např. lichoběžníkový průřez s rovným povrchem, který je ohraničený zvýšeným okrajem. Někdy se pro navážení tekuté složky v povrchu zakládky vyhlubuje mělká laguna. [8]

Obr. č. 3 - Kompostování v zakládkách [8]



Nejnovější technologie kompostování je prováděna v zastřešené hale s vodohospodářsky zabezpečenou plochou. Plocha bývá zpravidla betonová a je konstruována se spádem, aby mezi

jednotlivými hromadami kompostu nezůstávaly kompostovací šťávy. Tato technologie je vhodným řešením při celoročním provozu. Haly jsou vybaveny ventilátory, protože v zimním provozu by mohla být problémem tvorba vodních par, srážejících se na stropě. [8]

4.4 Technologie energetického využití kompostů

4.4.1 Energetický kompost pro přímé spalování

V posledních letech byly vedle primárních kompostářských postupů vyvinuty i technologie výroby energetických kompostů. Výrobky jsou určeny pro přímé spalování, zplyňování nebo pyrolýzu.

Z hlediska energetického využití lze na kompost pohlížet jako na potenciální palivo na bázi biomasy. Ta ovšem při procesech prochází částečným aerobním rozkladem. Tento rozklad způsobuje změny fyzikálních a chemických vlastností materiálu. Vlastní proces rozkladu spotřebuje energii, jejíž část vzniká přeměnou hmoty ve formě spalitelných látek. Tento fakt způsobuje snížení celkového obsahu energie materiálu na úkor zvýšení obsahu balastních složek, především ve formě popele.

Další nevýhodou technologie z palivo-energetického hlediska je vysoký obsah vody v kompostu. Vlhkost kompostu je důležitá a žádaná pro správný průběh kompostovacího procesu. Obsah vody v palivu je však nežádoucí, protože v průběhu spalovacího procesu je část energie plýtvána pro přeměnu vody v páru. Právě obsah vody v kompostu je hlavním důvodem, proč má většina kompostů v surovém stavu nižší výhřevnost než standardní biopaliva jako je např. dřevo nebo sláma. [8]

Biologicky dosoušená biomasa

Jako energetický kompost se obecně označuje tuhé palivo z dosoušeného a tvarovaného kompostu. Vyskytuje se také označení biologicky dosoušená biomasa (BDB). Ve vyhlášce č. 482/2005, „o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy“ je uvedeno biopalivo kompost nevyhovující jakosti nebo určený k energetickému využití (energetický kompost) a jiné biopalivo z něj vyrobené, včetně vyplozených substrátů z pěstování hub v podobě energetického kompostu. Zájem o výrobu těchto biopaliv mají obvykle obce nebo podnikatelé, kteří již mají vybudovanou bio teplárnu nebo provozují roštovou uhelnou kotelnou. Produkce biologicky dosoušené biomasy představuje zajímavou alternativu využití pro kompostárny s minimálním odbytem. [9]

4.4.2 Příklad výroby energetického kompostu

Příkladem výroby energetického kompostu je výrobek společnosti Kompostárna Jarošovice, s.r.o. Oficiální firemní název výrobku je Energo kompost. Tento výrobek je ve všech fázích zpracování vyráběn cílevědomě za účelem energetického využití biologicky rozložitelných odpadů. Výroba probíhá v zařízení umožňující zpracovávat biomasu s nízkým obsahem sušiny (kalů) spolu s nasákovou složkou a následně vytvořený produkt dosušit bez dodání externí energie.

Technologie výroby

Technologie výroby kompostu metodicky a technologicky souvisí s ČSN 465736 Průmyslové komposty. Pro výrobu energetického kompostu využívá společnost Kompostárna Jarošovice aerobní fermentor EWA (Ecological Waste Apparatus). Aerobní fermentor EWA je tvořen tepelně izolovaným pracovním prostorem, systémem injektorů pro intenzivní provzdušňování zakládky, systémem pro překopávání zakládky (kyvné frézy a korečkový dopravník umístěný po vnitřním obvodu zařízení) a integrovaného zařízení pro naskladnění a vyskladnění.

Nejdříve dochází v homogenizačním zařízení k řezání strukturální části biomasy a následně k promísení s biomasou o nízkém obsahu sušiny. Dávkování je řízeno elektronickou váhou. Přibližně polovina složek je tvořena strukturální (nasákovou) složkou a druhou polovinu hmotnostního dílu tvoří biomasa s nízkým obsahem sušiny. Vlhkost vstupního materiálu se pohybuje mezi 50-60%.

První fází přeměny je **termofilní aerobní fermentace**, která se uskutečňuje obvykle v aerobním fermentoru při teplotách 60-70°C. Při tomto procesu dochází ve směsi biomasy k biochemickým změnám k tzv. degradaci. Původní organické látky se přeměňují v látky jiné. Následně dochází působením bakterií ke změně stavu materiálu ze zakládky na fermentát (mladý kompost). V této fázi jsou teploty v zakládce vyšší než 70°C a to způsobuje odumírání přítomných organismů. Tento proces se označuje jako termofilní hygienizace a obvykle trvá nejméně 48 hodin od založení zakládky. [8]

V další fázi procesu dochází k **vysušování fermentátu** s účelem vysušení na vlhkost 30%. Tato fáze trvá přibližně 48 hodin v závislosti na vstupní hodnotě vlhkosti. Doba závisí také na počtu, délkách a nástupech provzdušňování nebo překopávání. Při vysušování dochází k přeměně vody obsažené v zakládce na páru. Pára je produktem buněčného dýchání mikroorganismů a také odpařování volné vody obsažené v zakládce. K odpařování přispívá

teplota zakládky, která je výrazně vyšší než teplota okolního prostředí. Pomocí řízené aerace zakládky dochází k přesunu vlhkosti ze zakládky do okolního prostředí (atmosféry). Celková délka procesu přeměny ze zakládky na energetický kompost je přibližně 96 hodin. Fermentát, který je vysušen na cca 30% a jeho výhřevnost je minimálně 10 MJ.kg^{-1} , považujeme za hotové biopalivo. [8]

Vzhled výrobku

Kompost k energetickému využití obsahuje kaly, slámu, dřevní štěpku, piliny a další složky BRO. Kompost má drobtovitou, hrudkovitou až vláknitou strukturu a je hnědé až hnědočerné barvy. Maximální velikost částí biomasy je 50 x 50 mm, tenká stébla trávy nebo větvičky mohou být i delší. Vyrobený kompost je vlhký a není prašný. Prašné částice jsou nalepeny na strukturální biomasu. Kompost má dobré sypké manipulační vlastnosti. Při meziskladování na hromadách dochází k povrchovému vysychání kompostu. Vnitřní struktura si však zachovává původní žádoucí vlhkost. Pach kompostu může připomínat pach hub či vlhkého lesa. Kompost je dodáván především v sypné formě. Další variantou je kompost hutněný do granulí o průměru přibližně 13 cm. Sypná forma energetického kompostu je uvedena na následujícím obrázku (Obr. č. 4). [8]

Obr. č. 4 - Vzhled výrobku ENERGO kompost v sypné formě [8 upraveno]



Použití

Energetický kompost – biomasa je určen pro přímé spalování či jako vsázka pro zařízení k termické přeměně (pyrolýza). Přímé spalování je technologicky vhodné pro roštové nebo fluidní kotle. Je možné využít kotle určené pro spalování biomasy, ale i kotle uhelné. Při spalování energetického kompostu v uhelných kotlích je doporučeno způsobem, že energetický kompost tvoří 10 - 100 % vstupující hmotnosti do spalovacího zařízení. Lze ho tedy využívat jako doplňující palivo. Energetický kompost je určený pro využití ve středních a velkých energetických zařízeních. V malých spalovacích zařízeních není možné energetický

kompost samovolně využívat s ohledem na platné předpisy. Detailnější podmínky využívání kompostu pro spalovací zařízení se řídí legislativou a souhlasem státní správy.[8]

Vstupní suroviny

Zdrojovými surovinami do zakládky kompostu pro energetické využití jsou biomasa z lesnictví, zemědělství a biologicky rozložitelné odpady. Suroviny biologicky rozložitelných odpadů vstupujících jako suroviny pro energetický kompost jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. č. 3) [8].

Tab. č. 3 - Přehled zpracovaných bioodpadů pro energetický kompost [8]

Č. dle katalogu odpadů	Vstupní suroviny pro energetický kompost
02 01 03	Odpad rostlinných pletiv
02 01 06	Zvířecí trus, moč a hnůj (včetně znečištěné slámy)
02 01 07	Odpady z lesnictví
02 03	Odpady ze zpracování ovoce, zeleniny, obilovin, jedlých olejů, droždí, odpady ze zpracování cukrové řepy atp.
02 03 04	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 05	Odpady z mlékárenského průmyslu
02 06	Odpady z pekáren a výroby cukrovinek
02 07	Odpady výroby alkoholických a nealkoholických nápojů
03 01 01	Odpadní kůra a korek
03 01 05	Piliny, hobliny, odřezky, dřevo, dýhy
03 03	Biologicky rozložitelné odpady z výroby celulózy a papíru
04 01	Odpady z kožedělného a kožešnického průmyslu
15 01	Biologicky rozložitelné odpady z papíru, lepenky a dřeva
19 05 03	Kompost nevyhovující jakosti
19 03 05	Kal z čištění průmyslových vod z výroby celulózy
19 06	Odpady z anaerobního zpracování odpadu
19 08 05	Kaly z čištění komunálních odpadních vod
19 08 09	Směs tuků a olejů z odlučovačů obsahující pouze jedlé oleje a tuky
19 08 12	Kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod
20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven
20 01 25	Jedlý tuk a olej
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad ze zahrad a parků

Použití BRO pro technologie energetického kompostu je omezeno obsahem cizorodých a sledovaných látek. Tyto látky negativně ovlivňují zpracovatelnost (proces kompostování) a použití paliva. Do zakládek se vkládají výhradně biologicky rozložitelné odpady definované v zákoně o odpadech, aby se předešlo omezením použitelnosti výrobku. [8]

Jakostní požadavky na výrobek

Kompost pro energetické využití musí splňovat následně uvedené parametry paliva (Tab. č. 4). [8]

Tab. č. 4 - Jakostní znaky paliva kompostu pro energetické využití [8]

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Vlhkost	W_t^r	20-45	%
popeloviny	A^r	max. 20	%
výhřevnost	Q_i^r	min. 9	MJ.kg ⁻¹

Energetický kompost má také stanovené maximální přípustné limity obsahu rizikových prvků. Hodnoty maximálního přípustného obsahu rizikových prvků jsou uvedeny v příloze (PŘÍLOHA IV). Další charakteristické vlastnosti a parametry energetického kompostu jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. č. 5)

Tab. č. 5 - Další typové znaky kompostu pro energetické využití [8]

Typový znak	Jednotka	Hodnota
Sypná měrná hmotnost	Kg.m ⁻³	170 - 250
Hodnota pH	pH	6,0 - 8,5
Obsah částic nad 50mm	%	max. 30
Obsah uhlíku	poměr C:N	20 – 40
Termotolerantní bakterie	KTJ/1g sušiny	max. 10 ³
Enterokoky	KTJ/1 g sušiny	max. 10 ³
Salmonella	KTJ/1 g sušiny	Negativní

Informace o měřicích zařízeních používaných pro kontrolu kompostovacího procesu a pro měření parametrů jsou uvedeny v příloze (PŘÍLOHA V).

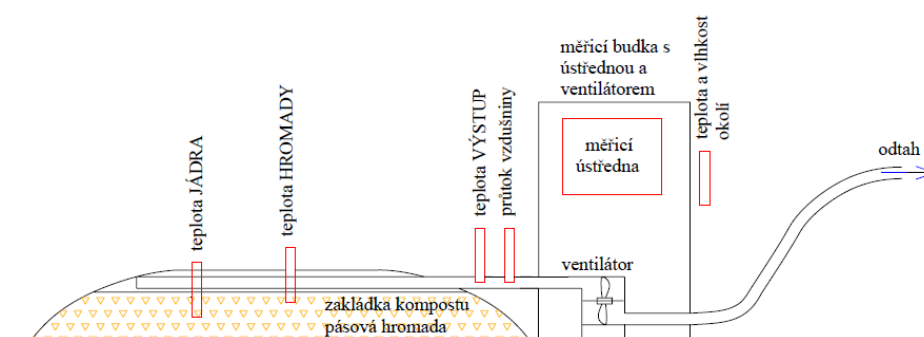
Balení, skladování a přeprava

Energetický kompost se dodává jako volně ložený nebo částečně komprimovaný ve speciálních typech vozidel. Kompost musí být skladován na vodohospodářsky zabezpečených plochách. Je nutno zajistit ochranu proti srážkové vlhkosti a výška hromady by neměla překročit 3 m. Energetický kompost by neměl být skladován způsobem, při kterém hrozí podstatná změna vlhkosti energetického kompostu (zbahňování nebo vysychání). Dlouhodobé skladování zapříčiňuje vysychání, což zvyšuje prašnost výrobku. Doba skladování by neměla přesáhnout 12 měsíců od data výroby energetického kompostu. [8]

4.4.3 Jímání tepla z kompostovacího procesu

Získávat teplo je možné také z kompostovacího procesu pomocí výměníků tepla. Výzkum VÚZT zjistil, že získané měrné teplo je při této technologii nižší než 1 % výhřevnosti kompostu. To znamená, že kdybychom stejné množství materiálu usušili a spálili, získáme až stokrát více tepla. Energetická výtěžnost je tedy velmi nízká. Nevýhodou tohoto řešení je také to, že tímto způsobem se kompostovací hromada ochlazuje a proces tvorby tepla se zpomaluje. Výhodou technologie je, že při procesu jímání tepla nedochází ke znehodnocení kompostu oproti spálení. Schéma zařízení pro jímání tepla z kompostovacího procesu je na obrázku (Obr č. 5). [10]

Obr. č. 5 - Jímání tepla z kompostovacího procesu [11]



4.5 Právní předpoklady spalování tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních

Při spalování tuhých paliv v kotlích pro vytápění domácností dochází k vzniku znečišťujících látek. Z tohoto důvodu jsou postupně v jednotlivých zemích EU přijímány zpřísnující požadavky na emise a účinnost, které tato spalovací zařízení musí splňovat. Tyto požadavky jsou cíleny jak na výrobce a dovozce spalovacího zařízení, ale také na jejich provozovatele. [12]

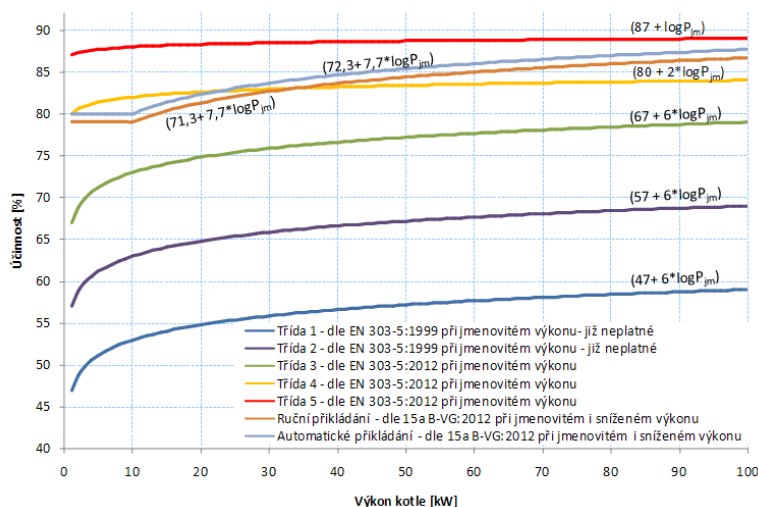
V průběhu topné sezóny dochází na většině území ČR ke zhoršení kvality ovzduší. Vliv domácích spalovacích zařízení je v některých případech rozhodující. Nízká výška komína s množstvím produkce znečišťujících látek v kombinaci se zhoršenými rozptylovými podmínkami vedou k tomu, že v některých vesnicích a malých městech může kvalita ovzduší být horší než v oblastech s průmyslovými zdroji znečištění. [12]

4.5.1 Zákon o ovzduší 201/2012

Povinnosti výrobce a dovozce spalovacího zařízení dle Zákona č. 201/2012 Sb

Zákon č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší definuje emisní limity pro kotle, které musí výrobce i dovozce splňovat při uvedení zařízení na trh. Přehled minimálních požadovaných účinností kotlů a porovnání požadavků jednotlivých tříd je zobrazen na následujícím grafu (Graf. č. 1). Základní pojmy z tohoto zákona jsou uvedeny v příloze (PŘÍLOHA VI).

Graf. č. 1 - Minimální požadované účinnosti kotlů, porovnání požadavků EN 303-5:1999, EN 303-5:2012 a 15A B-VG:2012 [12]



Minimální emisní požadavky parametrů jsou uvedeny v příloze č. 10 zákona č. 201/2012 Sb. Jednotlivé hodnoty emisních limitů se liší v závislosti na způsobu dodávky paliva (ruční, samočinná), palivu (biologické, fosilní) a velikosti tepelného příkonu. [13]

Parametry pro zařízení s ruční dodávkou biologického paliva pro malá spalovací zařízení jsou uvedeny v následujících tabulkách. Od ledna 2014 je možné v ČR prodávat pouze kotle, které splňují minimálně emisní třídu 3 dle EN 303-5:2012. Emisní limity 3. třídy jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. č. 6).

Tab. č. 6 - Minimální emisní požadavky na spalovací zdroje na tuhá paliva dle zák. č. 201/2012 Sb. při uvedení zařízení na trh 1. 1. 2014 [13]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon (kW)	Mezní hodnoty emisí ¹⁾		
			CO	TOC ^{2) 3)}	TZL
			mg.m ⁻³		
Ruční	Biologické	≤ 65	5 000	150	150

V lednu roku 2018 dojde ke zpřísnění limitů pro provozovatele a bude možné prodávat pouze kotle, které splní požadavky uvedené v následující tabulce (Tab. č. 7). Parametry odpovídají 4. emisní třídě dle EN 303-5:2012.

Tab. č. 7 - Minimální emisní požadavky na spalovací zdroje na tuhá paliva o jmenovitém příkonu do 300 kW dle příl. 10, zák. č. 201/2012 Sb. při uvedení zařízení na trh od 1. 1. 2018 [13]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon (kW)	Mezní hodnoty emisí ¹⁾		
			CO	OCG ^{2) 3)}	Prach (TZL)
			mg.m ⁻³ _N		
Ruční	Biologické	≤ 300	1 200	50	75

- 1) Pro sálavé stacionární spalovací zařízení, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění či k instalaci v obytné místnosti, se hodnoty vztahují k referenčnímu obsahu kyslíku 13 %.
- 2) TOC = koncentrace všech vyskytujících organických látek s výjimkou metanu vyjádřená jako souhrnný organický uhlík.
- 3) Nevztahuje se pro sálavé spalovací stacionární zdroje, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění a k instalaci v obytné místnosti. [13]

4.5.2 Vyhláška 415/2012 Sb.

Požadavky na kvalitu paliv jsou uvedeny v části I přílohy č. 3 k vyhlášce MŽP č. 415/2012 Sb. **O přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.** Jedním z velice důležitých parametrů je výhřevnost. Jako požadavek na kvalitu výlisků z biomasy je stanovena limitní hodnota pro spalovací stacionární zdroje do 3 MW minimálně 15 MJ.kg⁻¹ (viz Tab. č. 8). [14]

Tab. č. 8 - Požadavky na kvalitu výlisků z biomasy pro spalovací stacionární zdroje [14]

Kvalitativní ukazatel	Jednotka	Limitní hodnoty dle celkového jmenovitého příkonu určeného spalovacího stacionárního zdroje
		≤ 0,3 MW
Voda	% hm.	< 15
Kvalitativní ukazatel v bezvodém stavu		
Výhřevnost	MJ.kg ⁻¹	> 15
Obsah popela	% hm.	< 10
Obsah chlóru a jeho sloučenin	mg.kg ⁻¹	< 10 000
Obsah arsenu a jeho sloučenin	mg.kg ⁻¹	< 5
Obsah kadmia a jeho sloučenin	mg.kg ⁻¹	< 1,05
Obsah rtuti a jejích sloučenin	mg.kg ⁻¹	< 0,05
Obsah olova a jeho sloučenin	mg.kg ⁻¹	< 10

4.6 Základní složení a vlastnosti tuhých biopaliv

Při posuzování vhodnosti tuhých paliv pro energetické využití v určitém typu spalovacího zařízení je zapotřebí znát vlastnosti spalovaného tuhého paliva, které jej dostatečně charakterizují. Nejdůležitější vlastnosti a charakteristiky složení jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. č. 9) [15]:

Tab. č. 9 - Základní vlastnosti tuhých paliv [15]

Označení	Název veličiny	Jednotka
W	Obsah vody v původním palivu	% hm.
A	obsah popele v původním palivu	% hm.
Q_s	spalné teplo	MJ.kg ⁻¹
Q_i	výhřevnost	MJ.kg ⁻¹
V a NV	prchavá a neprchavá hořlavina v palivu	% hm.
S	obsah veškeré síry v palivu	% hm.
t_A, t_B, t_C	charakteristické teploty popele	°C

Dále se hodnotí spékavost popele paliva či fyzikálně mechanické vlastnosti palivového materiálu. Všechna tuhá paliva, která se vyskytují v přirozeném stavu, se skládají ze tří základních částí: vody, popelovin a hořlavinové složky. Toto složení lze vyjádřit vztahem (4.2). Jednotlivé složky rovnice jsou vysvětleny v tabulce (Tab. č. 10). Voda, popeloviny a hořlavina jsou důležitými činiteli při spalování. Jejich vlastnosti mají vliv na konstrukci i provoz spalovacího zařízení.

Tab. č. 10 - Prvkové složení tuhých paliv [15]

Označení	Hmotnostní obsah	Jednotka
W	vody	% hm.
C	uhlíku	
H	vodíku	
O	kyslíku	
S	síry	
N	dusíku	
A	popele	

$$W + C + H + O + S + N + A = 100 \%$$

/4.2/

Voda a popel jsou nehořlavá část paliva a jejich obsah je nežádoucí. Obsah těchto složek snižuje výhřevnost paliva. Přítomnost těchto složek v palivech ovlivňuje konstrukci a technologie spalovacích zařízení. Přítomnost vody a popele v palivu bývá často zdrojem četných obtíží. [15]

Hořlavá část paliva se skládá z uhlíku, vodíku, síry a dusíku. Z těchto prvků se účastní vlastního spalování (tzv. exotermické reakci se vzdušným kyslíkem) uhlík, vodík a síra. Kyslík z hořlaviny působí jako okysličovadlo. Jedinou složkou, která se neúčastní spalování, je dusík.

Uhlík C ($Q_i = 33,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$) je nejvýznamnějším nositelem tepelné energie v palivu. Je obsažen ve formě organických sloučenin. Sloučeniny uhlíku jsou základem světové energetiky. Uhlík obsažený ve fosilních palivech (např. zemní plyn a uhlí) slouží jako energetický zdroj pro výrobu elektřiny či vytápění. Produkty zpracování ropy pak pro pohon spalovacích motorů. Produkty chemického průmyslu na základě uhlíku jsou např. plastické hmoty nebo umělá vlákna. [15]

Vodík H ($Q_i = 119,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$) je bezbarvý, nezapáchající, lehký plyn. Je hořlavý a hoří namodralým plamenem. Je přibližně 15 krát lehčí než vzduch a vede teplo sedmkrát lépe než vzduch. Hořením vodíku získáme čtyřikrát více tepla na jednotku hmotnosti než hořením uhlíku, což se příznivě projevuje na výhřevnosti paliva. Souhrnný obsah vodíku v palivu se skládá z vodíku vázaného a vodíku nevázaného. Vázaná část vodíku je vázána na kyslík. Tato část vodíku je charakteristická tím, že při hoření spotřebuje určité množství tepla na odpaření vody. Vodík nevázaný je část obsahu vodíku, která zbývá po sloučení s celým obsahem kyslíku v palivu. [15]

Síra S ($Q_i = 10,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$) je nekovový chemický prvek žluté barvy, který se často objevuje v přírodě. Síra je velmi reaktivní prvek. Slučuje se všemi prvky kromě vzácných plynů, dusíku, telluru, jódu, iridia, platiny a zlata. Obsah síry v palivu je nežádoucí i přesto, že zvyšuje výhřevnost paliva. Produkty spalovacího procesu síry mají nepříznivý vliv na životnost spalovacího zařízení a znečišťují silně atmosféru. Na vzduchu hoří síra modrým plamenem. Při hoření vzniká oxid siřičitý SO_2 a v malém množství i oxid sírový SO_3 . V oblasti emisí bio paliv obsah síry obvykle nepředstavuje problém, protože se zde síra vyskytuje pouze v malém množství. [15]

Kyslík O_2 je plynný chemický prvek. Je druhou nejvýznamnější složkou zemské atmosféry. Přítomnost kyslíku je naprosto nezbytná pro existenci většiny živých organismů na zemi. Při hoření směsi obsahující kyslík a vodík lze dosáhnout teploty přes $3\,000 \text{ }^\circ\text{C}$. To je důvodem pro jeho průmyslové využití. Např. kyslíko-vodíkový plamen je využíván k řezání oceli a tavení kovů s vysokým bodem tání (např. platinové kovy). Stejně jako síra je kyslík nežádoucí složkou biopaliva, protože váže vodík a částečně i uhlík na hydroxidy, vodu a oxidy. [15]

Dusík N je plynný chemický prvek. Tvoří hlavní složku zemské atmosféry. Patří mezi tzv. biogenní prvky, které jsou základem živé hmoty. Dusík je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Není toxický ani jiným způsobem nebezpečný. Dusík se v atmosféře vyskytuje s dvouatomovými molekulami, které jsou spojené pevnou trojnou vazbou. Tato vazba zapříčiňuje nízkou reaktivitu dusíku. Dusík je inertní plyn. Reaguje s jinými chemickými sloučeninami výhradně za vysokých teplot či tlaků. Za laboratorních teplot reaguje výhradně s lithiem a plutoniem. Za vysokých teplot se dusík slučuje s většinou chemických prvků (např. s kyslíkem se slučuje za teploty přibližně 2 500 °C). Rozdílnou strukturu i vlastnosti má tzv. atomární dusík. Ten je velmi reaktivní a nelze ho uchovávat. Jeho vysoká reaktivita je způsobená tím, že obsahuje ve valenční vrstvě 3 nepárové elektrony.

Dusík se při spalovacích procesech nezúčastňuje hoření. Při spalování bio paliv plynule plně přechází do spalin, což způsobuje snížení výhřevnosti. Obsah dusíku v palivu je tedy nežádoucí. [15]

Chlór Cl je toxický, světle zelený plyn. Podobně jako dusík tak i chlór přechází při spalovacím procesu z velké části do plynné fáze. Ještě větším limitem koncentrace chlóru v palivu je jeho korozivní účinek při vzájemném působení s alkalickými prvky. [15]

4.6.1 Obsah vody v tuhých palivech

Voda je obsažena v každém tuhém palivu. Představuje nehořlavou složku paliva, která snižuje jeho výhřevnost a je tedy v palivu nežádoucí. Obsah vody v tuhých palivech se pohybuje v rozmezí od 0 % do 60 %. U některých druhů bio odpadů např. rašeliny, může obsah vody v jejím původním stavu dosahovat až 90 %. Přirozený obsah vody v bio palivech často odpovídá jejich geologickému stáří. Čím je palivo mladší, tím více zpravidla vody obsahuje.

Voda obsažená v biopalivu může být různě vázána. Pro charakteristiku základních vlastností paliva se rozděluje voda na volnou a vázanou. Dohromady tvoří veškerý obsah vody. Volná voda je charakteristická tím, že ji lze od paliva odseparovat odstředěním, odkapáváním či filtrací. Pro volnou vodu se v literatuře objevuje občas termín přimíšená. Volná (přimíšená) voda se neuvádí a nepočítá do vzorku paliva, ale uvádí se zvlášť. Zbývající podíl veškeré vody tvoří voda kapilárně vázaná, která se dělí na vodu hrubou, hygroskopickou a ukludovanou.

Pro zjištění množství a způsobu vázání vody se využívá sušení. Palivo se suší při teplotě 105 °C a následně se z paliva uvolňuje hygroskopická voda. Ukludovaná voda představuje obvykle nižší množství vody, která se neodstraní ani intenzivním sušením. Tato voda se z paliv uvolňuje až později při rozkladných teplotách paliva. [15]

4.6.2 Obsah popelovin v tuhých palivech

Jako popeloviny se označují minerální látky, obsažené v tuhých palivech před jeho spálením. Skládají se především z křemičitanů, uhličitanů, síranů a ostatních sloučenin. Nejvyšší obsah popelovin mají především křemičitany hliníku (kaolinit), vápníku, hořčíku a železa, volný kyslíčník křemičitý či uhličitan vápenatý a železnatý.

Spalováním paliva vzniká z popelovin tuhý zbytek, který se často ne zcela správně označuje jako popel. Popel je tuhý zbytek, který se získá dokonalým spálením tuhého paliva při teplotě $800 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$ v oxidační atmosféře. Při tomto procesu se popeloviny (původní minerální složky) rozkládají na těkavé zplodiny a netěkavý zbytek či odpoutávají krystalovou vodu.

Obsah popele v palivu rostlinného původu bývá nízký. Dřevní biologický odpad má asi o 86 % nižší obsah popele než hnědé uhlí. Tato charakteristika má při spalování dřevních bio odpadů následující přínos:

- Snížení emisí pevných částic popílku.
- Odvod tuhých zbytků po spalovacím procesu není nutné odvádět kontinuálně.
- Dostačující je jednorázové odpopelňování po určitých intervalech při provozu.

Paliva s vysokým obsahem popele lze považovat za technicky náročnější pro spalovací zařízení. Koncentrace vápníku, hořčíku a draslíku má rozhodující vliv na tavicí poměry popele. Vápník a hořčík způsobují zvyšování bodu tavení, draslík a chloridy jsou naopak příčinou jeho poklesu. [15]

4.6.3 Spalné teplo a výhřevnost tuhých paliv

Při spalovacím procesu se hořlavé látky paliva slučují s kyslíkem a vznikají produkty spalování, označované spaliny. Při tomto procesu dochází k uvolňování určitého množství tepla, které se u tuhých paliv stanovuje 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). Uvolněné teplo se v technické praxi vyjadřuje jako spalné teplo Q_{sr} či jako výhřevnost Q_{ir} paliva. [16]

Spalné teplo paliva Q_{sr} je množství tepla, které se uvolní při dokonalém spálení měrné jednotky paliva $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ za předpokladu, že se spaliny ochladí na $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a že všechna vzniklá pára při spalování zkondenzuje. To znamená, že z topeniště odchází odpařená voda se spalinami do komína o vyšší teplotě, než je rosný bod vodní páry, takže nedochází k její kondenzaci a odnáší tedy s sebou část tzv. výparného tepla. V technické praxi při spalování paliv ve spalovacích

zařízeních odchází spaliny s teplotou vyšší než 100 °C a voda se přeměňuje v páru. Z tohoto důvodu se v praxi při tepelných výpočtech častěji pracuje s výhřevností paliva Q_{ir} . [17]

Výhřevnost paliva Q_{ir} je množství tepla uvolněné při dokonalém spálení měrné jednotky paliva při ochlazení spalin na 0 °C, zatímco vlhkost paliva zůstává ve spalinách a odchází jako vodní pára. Hodnota výhřevnosti paliva je tedy vždy nižší než spalné teplo o hodnotu množství tepla spotřebovaného k ohřevu vody z původní teploty paliva na 100 °C a o skupenské teplo vypařování vody.

Výhřevnost tuhých paliv z biomasy závisí především na obsahu vody. Z tohoto důvodu se hodnota výhřevnosti pohybuje v širším rozmezí a mění se s vlhkostí. Zajímavostí materiálů s dřevní strukturou je, že různé druhy dřevin mají pro daný obsah vody prakticky shodnou výhřevnost. Lze to vysvětlit tím, že chemické složení hořlaviny různých druhů dřevin je přibližně shodné. Mylná je tedy představa, že tvrdé dřevo má vyšší výhřevnost než dřevo měkké. Zmíněné druhy dřeva mají pouze rozdílnou měrnou hmotnost těchto dřevin, zatímco jejich výhřevnost je přibližně stejná [16] [18].

4.6.4 Prchavá hořlavina

Důležitým parametrem spalovacího procesu je také obsah a průběh uvolňování prchavé hořlaviny z paliva. Prchavá hořlavina je množství plynné látky, která se uvolní z hořlaviny paliva při jeho ohřívání bez přístupu vzduchu. Prchavá hořlavina je obsažena v palivu ve formě plynné hořlavé látky. Tato látka se z paliva uvolňuje při zahřátí na určitou teplotu. Hoření prchavé hořlaviny se projevuje jako plamen. [16]

Množství prchavé hořlaviny je závislé na geologickém stáří materiálu. Geologicky mladší materiál má zpravidla vyšší obsah prchavé hořlaviny. Naopak nejméně prchavé hořlaviny mají antracity či černé uhlí. Velmi vysoký podíl prchavé hořlaviny obsahují paliva dřevní struktury např. rašelina a dřevo. Obsah prchavé hořlaviny výrazně přispívá k lepšímu vznícování paliva v ohništi a stabilizaci spalovacího procesu.

V případě nevyhoření prchavé hořlaviny v spalovacím prostoru z důvodu nedostatečně velkého ohniště či nedostatku kyslíku, odchází prchavé hořlaviny s kouřovými plyny. To znamená ztrátu spalovacího procesu nespálenými hořlavými plyny, tzv. ztrátu chemickým nedopalem. Když se hořlavé plyny v místech odvodu kouře ochladí pod spalovací teplotu, pak dochází k rozkladu některých složek (např. uhlovodíků) a vytváří se saze. Ty se částečně usazují na výhřevných plochách kotle a druhá část vystupuje z komína v podobě tmavého kouře. [16] [18]

Při spalování biopaliv s vysokou vlhkostí bývá časový průběh uvolňování prchavé hořlaviny konstantní. To je způsobeno překrytím fází vysoušení paliva a uvolňování prchavé hořlaviny ve stejný čas. Fáze vysoušení zapříčiňuje zpomalení uvolňování prchavé hořlaviny.

Pro snížení ztrát spalování chemickou nedokonalostí na minimum je důležitá vhodná konstrukce přívodu spalovacího vzduchu. Výše tepelné ztráty, vlivem chemické nedokonalosti spalování, závisí na poměrném obsahu CO (%) ve spalinách. [15]

4.6.5 Charakteristické teploty popele tuhých paliv

Při konstruování a provozu spalovacích zařízení na tuhá paliva je důležité znát tzv. teplotu tání popele. Při teplotě tání popele dochází k roztavení všech složek popele. Tato teplota se pohybuje v širokém teplotním intervalu (200 °C i více) a nastává při něm změna skupenství popele. Při zjišťování teploty tání paliva se měří následující tři teploty:

- teplotou počátku měknutí t_A (°C);
- teplotou tání t_B (°C);
- teplotou počátku tečení t_C (°C).

Z technologického pohledu teplota tání popele určuje, jak vysoké mohou být spalovací teploty v ohništi, aby nedocházelo k poruchám spalovacího zařízení či porušenému spalovacímu procesu. Příkladem těchto poruch je např. roztavení popele na roštu, zalitím mezer v roštu struskou nebo vytváření nánosů. Teplota tání je závislá především na chemickém složení popele a na okolní atmosféře ve spalovacím prostoru.

Tavicí poměry popele u paliv z rostlinné biomasy jsou podstatně ovlivněny koncentrací vápníku, hořčíku a draslíku. Obsah vápníku a hořčíku bod tavení zvyšuje. Draslík a chloridy vedou k jeho snižování. Z tohoto důvodu mají biopaliva odvozená od dřevní biomasy s vysokým obsahem vápníku a hořčíku vyšší body tavení než je u biomasy ze stébelnin. V tabulce (Tab. č. 11) jsou uvedeny orientační hodnoty zmíněných teplot pro dřevní biopaliva a stébelniny. [15] [19]

Tab. č. 11 - Příklad tavicích poměrů popele [19]

Parametr	Jednotka	Dřevní biopaliva	Stébelniny
Teplota počátku měknutí	°C	1 100 – 1 160	890 – 950
Teplota tání	°C	1 250 – 10 340	1 050 – 1 150
Teplota počátku tečení	°C	1 300 – 1 350	1 150 – 1 200

4.6.6 Chemické vlastnosti paliv

Energetické využití biopaliv je v praxi spojeno s kolísáním kvality. Fyzické vlastnosti paliv jsou ovlivňovány především fází úpravy paliv, zatímco chemické vlastnosti jsou ovlivněny fází růstu.

Pro energetické využívání paliva je důležitá jeho technická specifikace. Pro zajištění efektivního využití tuhých paliv je však podstatná také spojitost mezi palivem a zařízením pro konverzi (spalování, zplyňování či pyrolýzu). Je tedy nezbytné upozornit uživatele a provozovatele, aby dohlíželi na kompatibilitu spalovacích zařízení s tuhými palivy, což je nezbytným předpokladem dosažení provozně optimalizovaného procesu. Optimalizací procesu rozumíme např. snížení obsahu nespáleného uhlíku v popeli, minimalizaci emisí nedokonalého spalování v kouřových plynech, zamezení poškození spalovacího zařízení či roštového systému tavením a tečením popele. [20]

Při základní technické analýze bio paliv se zjišťují především následující parametry (Tab. č. 12):

Tab. č. 12 - Základní parametry biopaliv [15]

Parametr	Označení	Jednotka
Obsah vody v původním vzorku	W	% hm.
Obsah popele v původním vzorku	A	% hm.
Stanovení spalného tepla	Q _s	MJ.kg ⁻¹
Obsah prchavé hořlaviny	V	% hm.
Obsah neprchavé hořlaviny	N _v	% hm.
Obsah uhlíku, vodíku a dusíku		% hm.
Obsah kyslíku, síry a chlóru		% hm.

4.7 Emisní koncentrace při provozu malých spalovacích zařízení

Právní předpisy definují znečišťující látky jako tuhé, kapalně či plynné látky, které přímo anebo po chemické či fyzikální změně v ovzduší, nebo po spolupůsobení s jinou látkou, nepříznivě ovlivňují ovzduší, a tím ohrožují a poškozují zdraví lidí, ostatních organismů nebo majetek. [22]

Látky znečišťující ovzduší nepříznivě ovlivňují životní prostředí. Nepříznivým ovlivňováním se rozumí především:

- negativní vliv na zdraví lidí a zvířat;
- poškozování prostředí nebo pouze některé jeho složky (voda, vzduch, půda atd.)
- nevhodné a nepřírozené změny ovzduší;
- narušení komfortu prostředí (pach, snížená viditelnost atd.).

Znečišťující látky se dle skupenství rozlišují na pevné, kapalné a plynné. Z důvodu vlivu znečišťujících látek je důležité také chemické složení jednotlivých prvků. [15]

4.7.1 Tuhé a kapalné znečišťující látky

Tuhé a kapalné znečišťující látky jsou obvykle malé částice těchto látek vytvářející se vzduchem tzv. dvoufázové disperzní systémy. Disperzní systém je soustava obsahující minimálně dvě fáze či dvě složky (jedna složka je rozptýlena v druhé, která tvoří prostředí). U znečišťujících látek tvoří tuhé či kapalné částice dispergovanou látku a vzduch disperzní prostředí. Dle stability disperzního systému rozlišujeme tyto látky na prachy a aerosoly. [15] [21]

Prach je definován jako částičky tuhých látek, které po rozptýlení v klidném disperzním systému mají pádovou rychlost odpovídající volnému pádu. Prach se dále rozděluje na polétavé prachy, hrubé prachy, jemné prachy a různé nečistoty.

Aerosol představuje tuhé a kapalné znečišťující látky, které rozptýlením v klidném disperzním systému tvoří stabilní systém. Tuhé i kapalné látky zde sedimentují zanedbatelně. Podle vzniku rozlišujeme aerosoly na:

- Disperzní, vznikající rozmělněním či destrukcí látek (např. prachové aerosoly, kouře).
- Kondenzační, vznikající sražením par či reakcí ovzduší (mlha, dým)

Podle vzniku rozlišujeme aerosoly na:

- Přírozené (rozvířený prach z povrchu země, mořská sůl)
- Umělé (vznikající zemědělskou, průmyslovou či dopravní činností) [23]

4.7.2 Plynné znečišťující látky a částice

Různé plyny a páry pronikají do ovzduší přirozenou přírodní cestou. Do ovzduší se dostávají následkem fotochemických reakcí, vulkanickou aktivitou apod. Množství takto produkovaných plynů je však nízké. Nejvyšší množství produkce znečišťujících látek vzniká

lidskou činností. Významná část těchto zplodin pochází z paliv využívaných pro vytápění domácností, energetiku, průmysl či dopravu. [24]

Sloučeniny síry

Mezi sloučeniny síry patří **oxid siřičitý (SO₂)** a **oxid sírový (SO₃)**. Oxid siřičitý je bezbarvý a nehořlavý plyn se štiplavým zápachem. Při vzniku kyselého roztoku je dobře rozpustný ve vodě. Oxid sírový vzniká přirozeně oxidací oxidu siřičitého. Obsah síry v bio palivech je významně nižší než ve fosilních palivech (viz Tab. č. 13). Obsah síry v bio palivech je zpravidla nižší než 0,4 %, což je podstatně menší podíl než u fosilních paliv (např. hnědé uhlí 3,35 %). To přináší pro bio paliva podstatně nižší emise SO₂ při spalování. [25]

Tab. č. 13 - Příklad emisí síry pro tuhá paliva [26]

Palivo	S ^{daf} _{celk} [%]
Dřevo	0,03
Šťovík	0,10
Seno	0,18
Hnědé uhlí	3,35

Při produkci oxidů síry dochází k dráždění očí a horních cest dýchacích. Při zvýšeném množství hrozí i trvalému poškození plic, případně zhoršení astmatu. Na oxidy síry jsou více náchylnější starší a chronicky nemocní jedinci. [26]

V přírodě je přirozeným zdrojem úniku oxidů síry vulkanická činnost a lesní požáry. Globálně nejvýznamnější zdroje úniku oxidů síry do životního prostředí jsou průmyslová výroba kyseliny sírové a spalování uhlíkových paliv. V atmosféře po určitém čase oxid siřičitý reaguje na oxid sírový, který následně s vzdušnou vlhkostí vytvoří aerosol kyseliny sírové. Při nadměrném množství kyseliny sírové dochází k poklesu pH pod 4 a vzniku tzv. kyselých dešťů, které poté mohou způsobit vážné škody v živé i neživé složce ekosystémů. [25]

Oxidy uhlíku

Oxid uhelnatý (CO) vzniká nedokonalým spalováním materiálů obsahujících uhlík. Nedostatek kyslíku, nízká teplota nebo krátký čas nedovoluje materiálu oxidovat za vzniku oxidu uhličitého. CO hoří modrým plamenem, při hoření oxiduje na oxid uhličité. Oxid uhelnatý je za běžných podmínek bezbarvý, hořlavý plyn bez chuti a zápachu. Hustota CO je jen mírně nižší než hustota vzduchu. Molekula oxidu uhelnatého je složena z atomu uhlíku a atomu kyslíku spojených trojnou vazbou. [15]

Více než 90% globální produkce CO pochází z přirozených přírodních procesů, mezi které patří např. fotochemické procesy v troposféře, vulkanická činnost, lesní požáry a ostatní přírodní procesy doprovázené hořením.

Lidé a zvířata přijímají CO výhradně vdechováním. CO negativně působí na cévní a nervový systém. Nižší koncentrace mohou způsobovat únavu. Při vyšších koncentracích dochází k bolestem hlavy, poruchám koordinace, závratím atd. Velmi vysoké koncentrace pak jsou pro organismus smrtelně nebezpečné. [27]

Oxid uhličitý (CO₂) je plyn, který je v přírodě součástí koloběhu uhlíku. Tvoří základní surovinu všech organických sloučenin. Fotosyntetizující organismy (bakterie, řasy nebo rostliny) mají schopnost fixace anorganického CO₂ a jeho následné uplatnění při tvorbě organické hmoty. K hlavním zdrojům produkce CO₂ do ovzduší patří buněčné dýchání organismů a oxidace při rozkladu odumřelého rostlinného materiálu. Emise ze spalování fosilních paliv představují méně než 5% z celkové množství CO₂ přicházejícího do ovzduší. [15]

Oxid uhličitý (CO₂) je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Mezi největší antropogenní zdroje uhlíku patří jakékoliv spalování uhlikatých látek (doprava, průmysl, domácí spalovací zařízení). V atmosféře oxid uhličitý pohlcuje infračervené záření a přispívá tak ke vzniku tzv. skleníkového efektu.

Oxid uhličitý je nedýchatelná látka a ve vyšších koncentracích může způsobit až smrt. CO₂ se v krvi váže na hemoglobin a vytěsňuje tak kyslík, který se pak z plic obtížněji dostává do mozku a tkání těla. Americká vládní agentura pro bezpečnost práce (OSHA) při výzkumech zjistila, že koncentrace CO₂ od 7 do 10% ve vzduchu způsobuje ztrátu vědomí během několika minut. Poměrný obsah oxidu uhličitého v atmosféře je přibližně 0,4%. [28]

Polycyklické aromatické uhlovodíky

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) jsou skupinou organických látek obsažených v troposféře, pocházející z emisí produktů nedokonalého spalování. Antropogenním zdrojem je především spalování tuhých paliv při výrobě tepelné a elektrické energie, doprava či některé průmyslové technologie. K přírodním zdrojům patří vulkanizační aktivita a velké lesní požáry. [29]

Mezi doposud identifikovanými PAU ve znečištěném ovzduší se vyskytuje 12 sloučenin s prokazatelně karcinogenními vlastnostmi, jejichž vliv byl testován na pokusných zvířatech. Jedním z nejsilnějších a nejnebezpečnějších karcinogenů z této skupiny je benzo/a/pyren. [15]

Dioxiny

Dioxiny jsou velmi toxické látky, které jsou nebezpečné již v minimálních koncentracích. Dioxiny mají schopnost dlouhodobě se shromažďovat v živočišných tukových tkáních. Dlouhodobé působení dioxinů a PCB vede k poškození imunitního a nervového systému, dále ke změnám endokrinního systému (zejména štítné žlázy) a reprodukčních funkcí. Studie také prokázaly vliv dioxinů na snížení inteligence, snížení schopnosti soustředění a vliv na chování.

V lidské potravě se dioxiny objevují prostřednictvím potravního řetězce, přičemž nejvýznačnější cesta vede přes vodní ekosystémy ukládáním do rybiho masa a tuku. To slouží přímo jako potravina a též i jako přísada krmivových směsí hospodářských zvířat, přes která se dostávají do jejich masa a mléka. [15] [30]

Oxidy dusíku

Oxidy dusíku se vyskytují v atmosféře převážně jako oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂). Oxidy dusíku jsou přirozenou složkou životního prostředí. Vznikají spalováním fosilních paliv, produkují ho mikroorganismy a vzniká také v průběhu bouřek. Produkované oxidy dusíku mají podíl na vzniku kyselých dešťů. Dusík patří mezi tzv. biogenní prvky (prvky nezbytné pro život). Toxicita oxidů dusíku a její vliv na zdraví závisí na množství přijaté dávky. Při nižších koncentracích dochází k podráždění očí a horních dýchacích cest. Vyšší přijatá dávka může způsobit popálení dýchací soustavy, snížení okysličení organismu a může nastat i smrt.

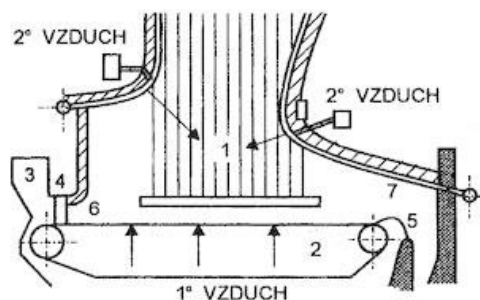
Mezi hlavní zdroje způsobené lidskou činností patří doprava, průmysl a různé spalovací procesy. V atmosféře oxidy dusíku následkem rychlé reakce stoupají a poté klesají zpět na zemský povrch. Většina oxidů se na zemském přeměňuje na kyselinu dusičnou a ostatní látky. Zbývající část oxidů se z půdy odpařuje. [15] [31]

4.8 Spalovací zařízení pro spalování tuhých biopaliv

4.8.1 Roštové spalovací zařízení

Roštové kotle ke spalování tuhých paliv v pevné vrstvě se využívají v průmyslu i domácím vytápění. V současnosti dochází k poklesu výroby roštových kotlů na uhlí. Stále je jich však velké množství v provozu. Nové technologie roštových kotlů se zaměřují zejména na spalování biomasy (dřevo, sláma), ale také na spalování komunálních či průmyslových odpadů. Základní prvky roštového spalovacího zařízení jsou patrné na následujícím obrázku (Obr. č. 6).

Obr. č. 6 - Roštové spalovací zařízení s dvěma ohništy hoření [32]



Popis (Obr. č. 6): Ohniště (1) je ohraničeno roštem (2), přední a zadní klenbou (6) a (7) a stěnami ohniště. Palivo se na rošt přesouvá ze zásobníku nebo ručně (3) přes hradítko výšky paliva (4) na rošt. Pevný zbytek (škvára) odchází přes škvárový jizek (5) do škvárové výsypky. [32]

Technologie roštových spalovacích zařízení pro spalování tuhých biopaliv ve vrstvě musí splňovat následující funkční prvky:

- přívod paliva na rošt spalovacího zařízení a přívod vzduchu do ohniště;
- přemísťování (rozhrabání) palivové vrstvy na roštu;
- odstraňování tuhého zbytku po spálení a odvod plyných zplodin hoření ze spalovacího prostoru. [15]

Mezi základní požadavky na roštová ohniště patří zejména dokonalé spalování paliva s minimálním přebytkem spalovacího vzduchu, zabezpečení nejlepších podmínek odvodu tepla ze spalin do výhřevných ploch, možnost rychlé regulace tepelného zatížení ohniště, snadné čištění výhřevných ploch na straně spalin, vysoká spolehlivost provozu, jednoduchá a nenáročná obsluha. Významný je také požadavek na nízké tepelné ztráty. Přehled tepelných ztrát roštových kotlů je uveden v příloze (PŘÍLOHA VII). [32] [33]

Bio paliva na roštu prochází charakteristickými fázemi:

- 1) sušení – ohřev paliva na cca 120 °C a vypuzení povrchové a hygroskopické vody,
- 2) odplyňování – intenzivní uvolňování prchavé hořlaviny při ohřátí přibližně na 250 °C,
- 3) hoření prchavé hořlaviny a zápal vrstvy tuhé hořlaviny,

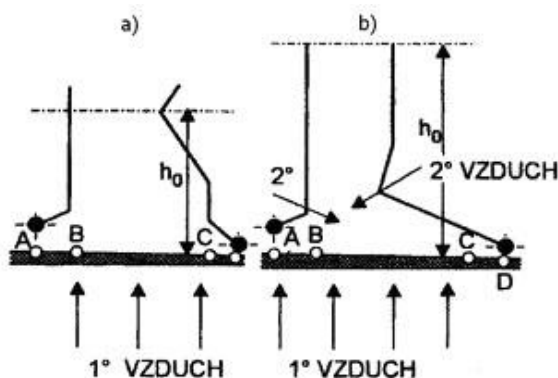
4) dohořívání tuhé fáze a chladnutí tuhých zbytků.

Pro co nejdokonalější spalovací průběh na roštu je důležité zajistit, aby část tepla uvolněného spalováním se vrátila zpět do reakce a umožnila tak zapálení přivedeného paliva. Tato část tepla se nazývá poměrné vzněcovací teplo. Maximální teploty v ohništi roštových kotlů určených pro biomasu jsou přibližně 1 000 – 1 300 °C. U kotlů určených pro uhlí může být maximální teplota v ohništi až 1 500 °C. [32]

Spalování u roštových ohnišť probíhá ve více vrstvách. Na roštu dochází k spalování tuhého uhlíku a v prostoru nad vrstvou paliva probíhá hoření uvolněné prchavé hořlaviny. Podíl hoření nad vrstvou paliva je tím větší, čím vyšší je obsah prchavé hořlaviny v palivu. Z tohoto pohledu rozeznáváme dvě základní konstrukční technologie - koncepce roštového ohniště (viz Obr. č. 7):

- s jedním ohniskem hoření pro paliva s nízkým podílem prchavé hořlaviny (např. antracit, černé uhlí)
- s dvěma ohnisky hoření pro paliva s vysokým obsahem prchavé hořlaviny (např. kompost pro energetické využití, rašelina, biomasa). [31]

Obr. č. 7 - Koncepce roštových kotlů - a) s jedním ohniskem hoření; b) s dvěma ohnisky hoření [32]



Ohniště s jedním ohniskem pro pevná paliva s malým obsahem prchavé hořlaviny mají nižší výšku (h_0) oproti druhému typu, který je vhodný pro paliva s větším obsahem prchavé hořlaviny. Druhý typ ohniště bývá škrcený tak, aby při delším plamenu bylo zajištěno promísení prchavé hořlaviny se vzduchem. Toto je zajištěno přivedením sekundárního vzduchu nad rošt. Čím vyšší je obsah prchavé hořlaviny paliva, tím je zde vyšší požadavek na množství sekundárního vzduchu. [32]

5 Praktická část práce

5.1 Charakteristika analyzovaných paliv

Prvním analyzovaným vzorkem je nadsítná složka biologického kompostu Farmář (Obr. č. 8) od provozovatele Kompostárna Jarošovice, s.r.o. Nadsítná složka tohoto kompostu byla oddělena po ukončení kompostovacího procesu pomocí mechanizace rotačním válcovým sítem. Tato nadsítná složka se v provozu obvykle vrací zpět do kompostovacího procesu. V další části této práce je tento vzorek označován jako kompost Farmář.

Výrobek Farmář (podsítná složka) je charakteristická hrubou strukturou a je složen především z následujících materiálových vstupů: sláma, hnůj skotu, seno, listí, hlína, dřevní štěpka, kaly z ČOV, piliny, ovoce a zelenina. Doba zrání kompostu je přibližně jeden rok. Dle výrobce je kompost vhodný primárně pro aplikaci rozmetadlem chlévské mrvy na zemědělskou půdu.

Obr. č. 8 – Nadsítná složka kompostu Farmář



Obr. č. 9 - Energetický kompost



Druhým analyzovaným kompostem je výrobek Energo (Obr. č. 9) od společnosti Kompostárna Jarošovice, s.r.o. Tento produkt vyhovuje požadavkům na hodnocení paliva stanovené Ústavem pro výzkum a využití paliv a.s. Vstupní suroviny pro výrobu kompostu, technické parametry a technologie výroby jsou uvedeny v kapitole 4.4.2. Pro prvkový rozbor jsme měli k dispozici tento kompost v sypné formě. Pro tepelně-emisní analýzu ve formě brikety.

Třetím analyzovaným palivem pro porovnání je palivové dřevo (Obr. č. 10), které obsahovalo i malé množství vlastní kůry. Obsah kůry je zde důležitý, protože výhřevnost kůry je obvykle vyšší než výhřevnost vlastního dřeva. Při analýze vzorku poté i nízké množství kůry má vliv na výhřevnost paliva jako celku.

Obr. č. 10 – Palivové dřevo



5.2 Prvková a stechiometrická analýza

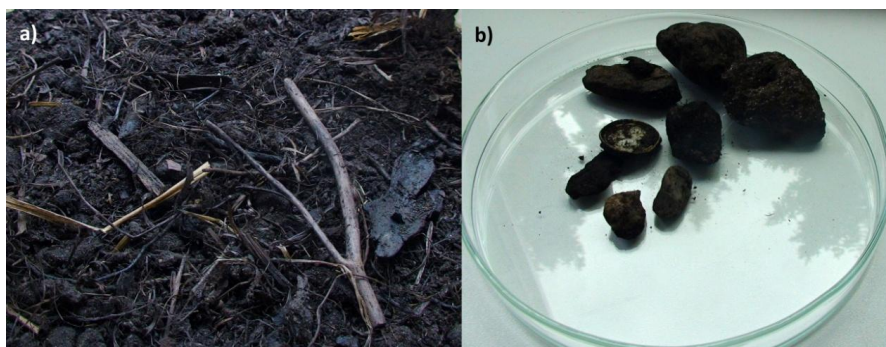
Palivářské vlastnosti tuhých biopaliv charakterizuje hrubý rozbor, prvkový rozbor a energetický obsah. Hrubý rozbor se skládá z určení obsahu vody, popela a hořlaviny. Nejdůležitější pro prvkový rozbor je obsah uhlíku (C), dusíku (N), síry (S) a chlóru (Cl). Energetický obsah je charakterizován spalným teplem a z něho odvozené výhřevnosti.

U tuhých biopaliv se pro zjištění prvkového složení používá tzv. elementární (prvková) analýza. Z prvkového složení paliva vycházejí stechiometrické výpočty, výpočty tepelných účinností a výpočty ztrát spalovacích zařízení.

5.2.1 Metodika prvkové a stechiometrické analýzy

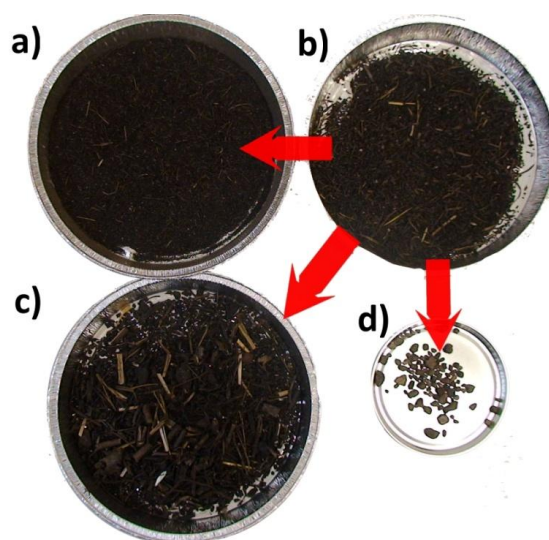
Pro prvkový rozbor vzorků je důležitá homogenita materiálu. Nejhorší homogenitu měl **kompost Farmář**. Při jeho analýze byly nejprve pro rozbor ze vzorku odebrány velké kamínky. Tato složka tvořila nehořlavou část paliva. Na následujícím obrázku je zobrazen kompost Farmář (obr. č. 11 a) a z něho vyjmuté kamenivo (obr. č.11 b)

Obr. č. 11 - a) Kompost farmář; b) Vyjmuté kamenivo



Poté jsme pro přesnější analýzu původní vzorek proseli dle velikosti frakce na složku podsítnou a nadstínou (viz obr. č. 12). Dále jsme z původního vzorku odebrali frakci menších kamínek, které nebyly vyjmuty při předchozím odebírání. Tímto jsme dosáhli vyšší homogenity materiálu pro přesnější prvkový rozbor.

Obr. č. 12 - a) podsítná složka; b) původní vzorek; c) nadsítná složka; d) vyjmuté kamínky

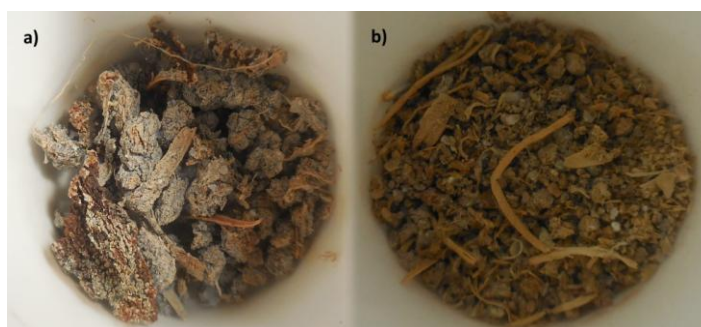


Energetický kompost měl lepší homogenitu i čistotu. Přesto byl také proset na složku podsítnou a nadsítnou pro vyšší homogenitu a přesnější analýzu. **Palivové dřevo** bylo analyzováno jako celek. V dalších krocích byl postup analýzy stejný pro všechny vzorky.

Pro stanovení prvkového složení byla následně podsítná a nadsítná složka pro komposty samostatně rozdrvena na homogenní prášek (viz Obr. č. 13). Palivové dřevo bylo rozdrveno jako celek.

Cílem této metody bylo zjištění vlhkosti, obsahu těkavých látek, popela, prvkového složení a výhřevnosti. První tři zmíněné parametry byly analyzovány termogravimetrickým analyzátozem (LECO TGA 701). Teplotní program nejprve sušil vzorky při 107 ° C do konstantní hmotnosti, čímž změřil vlhkost. Těkavé látky byly poté stanoveny v atmosféře dusíku při teplotě 900 ° C po dobu 7 minut. Následně byly vzorky spáleny v kyslíku při teplotě 550 ° C do konstantní hmotnosti pro stanovení obsahu popela. Každý parametr byl dvakrát analyzován s různým vzorkem o hmotnosti 1 gramu.

Obr. č. 13 - Rozdrčený vzorek kompostu Farmář pro prvkový rozbor a) nadsítná složka b) podsítná složka



Prvkové složení bylo analyzováno přístrojem LECO CHN 628 + S. Přístroj obsahuje hélium jako nosný plyn. Analyzátor slouží pro stanovení obsahu uhlíku (C), vodíku (H), dusíku (N) a síry (S). Analyzátor pracuje na základě analýzy spalin vzorků spalovaných v kyslíku. Uhlík, vodík a síra se měří v infračerveném analyzátoru spalin. Obsah dusíku se stanovuje na základě tepelné vodivosti vzorku. Pro stanovení C, H a N bylo přesně 0,15 g vzorku zabaleno do hliníkové fólie a spáleno při teplotě 950 ° C. Pro zjištění síry byl vzorek spálen při teplotě 1350 ° C. Měření u každého vzorku bylo provedeno třikrát vždy s různým vzorkem od každého paliva. Spalné teplo bylo měřeno kalorimetrem (LECO AC 600). Při měření byly vzorky zatlačeny do pelet o hmotnosti přibližně 0,7 g a poté spáleny. Výhřevnost za konstantního tlaku byla stanovena pomocí softwaru dodaného ke kalorimetru LECO AC 600 .

Uvedené hodnoty jsou průměry měření prvkové analýzy. Výsledky analýzy byly poté přepočteny na obsah v sušině dle ČSN EN ISO 29541. Obsah C, N, S a popele v sušině byl přepočítán pomocí vzorce:

$$w_{xd} = w_{xa} \cdot \frac{100}{100 - w_{Ma}} \quad /5.1/$$

Kde: w_{xd} - elementární obsah v hmotnostních % v sušině,

w_{xa} - hodnoty analytických vzorků,

w_{Ma} - vlhkost analytických vzorků.

Obsah kyslíku v % se následně vypočetl jako $100 - \sum (C + H + N + S + \text{popel})$, vztaženo na sušinu.

V následujících tabulkách (Tab. č. 14 a Tab. č. 15) je příklad výsledků měření prvkového rozboru kompostu Farmář.

Tab. č. 14 – Naměřené hodnoty prvkového složení pro kompost Farmář A

Vzorek	Analytický stav (vysušeno a ponecháno několik dní v laboratoři na vzduchu, vybrány kamínky)					
	Relativní obsah (bez kamínků)	Vybrané malé kamínky	Vlhkost	Popel	C	H (vč. vody)
	% hm.	% hm. (z celého anal. vzorku)	% hm.	% hm.	% hm.	% hm.
Kompost podsítná frakce	71,3		4,380	59,175	18,797	2,560
<i>SD</i>			0,102	1,058	3,195	0,429
<i>RSD</i>			0,023	0,018	0,170	0,168
<i>n</i>			4,000	4,000	4,000	4,000
Kompost nadsítná frakce	22,7	6	5,010	47,918	21,507	2,803
<i>SD</i>			0,272	5,359	3,572	0,473
<i>RSD</i>			0,054	0,112	0,166	0,169
<i>n</i>			6	6	3	3
Kompost po vysušení			4,260	59,069	18,284	2,461
Kompost původní stav			22,0	47,9	14,9	1,6

Tab. č. 15 – Naměřené hodnoty analýzy prvkového složení pro kompost Farmář B

Vzorek	Analytický stav (vysušeno a ponecháno několik dní v laboratoři na vzduchu, vybrány kamínky)	
	N	S
	% hm.	% hm.
Kompost podsítná frakce	1,815	0,403
<i>SD</i>	0,137	0,000
<i>RSD</i>	0,075	0,000
<i>n</i>	4	2
Kompost nadsítná frakce	1,793	0,448
<i>SD</i>	0,206	0,047
<i>RSD</i>	0,115	0,106
<i>n</i>	3	2
Kompost po vysušení	1,701	0,389
Kompost původní stav	1,6	0,3

V tabulce (Tab. č. 16) jsou výsledky prvkového rozboru veškerých analyzovaných vzorků v původním stavu. V dolní části tabulky jsou hodnoty prvkového složení přepočteny pro nulový obsah vody v palivu.

Tab. č. 16 - Složení dle prvkového rozboru pro všechny vzorky

Značka	Složka	Kompost původní vzorek	Dřevní polena	Briketa energetický kompost	Jednotka
W	Veškerá voda v původním vzorku	0,22	0,066	0,07877	kg.kg ⁻¹
W	Veškerá voda přepočtová	0	0	0	kg.kg ⁻¹
C	Množství uhlíku v původním vzorku	0,149	0,472	0,449	kg.kg ⁻¹
H	Množství vodíku v původním vzorku	0,016	0,060	0,046	kg.kg ⁻¹
O	Množství kyslíku v původním vzorku	0,117	0,374	0,300	kg.kg ⁻¹
S	Množství síry v původním vzorku	0,003	0,0002	0,0000	kg.kg ⁻¹
N	Množství dusíku v původním vzorku	0,016	0,001	0,014	kg.kg ⁻¹
A	Množství popele v původním vzorku	0,479	0,022	0,113	kg.kg ⁻¹
	<i>Suma</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>%</i>
<i>Přepočtové hodnoty pro nulový obsah veškeré vody</i>					
C	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu	19,100	50,525	48,722	%
H	Hmotnostní podíl vodíku v palivu	2,070	6,403	4,963	%
O	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu	14,950	40,043	32,533	%
S	Hmotnostní podíl síry v palivu	0,410	0,021	0,000	%
N	Hmotnostní podíl dusíku v palivu	2,070	0,128	1,518	%
A	Hmotnostní podíl popele v palivu	61,410	2,388	12,266	%
	<i>Suma</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>%</i>

Z prvkové složení paliva vycházejí následující stechiometrické výpočty [15]:

Výhřevnost paliv

Vzorec pro výpočet výhřevnosti paliva uvádí norma ČSN 44 1352. Vztah mezi spalným teplem Q_v a výhřevností Q_n definuje následovně.

Výhřevnost paliva

$$Q_n = Q_v - (0,02442 \cdot 1000) \cdot (W + 8,94 \cdot H) [kJ \cdot kg^{-1}, kJ \cdot m^{-3}_N] \quad /5.2/$$

kde: W obsah vody v analytickém vzorku (%);

$8,94$ koeficient pro přepočet vodíku na vodu;

H obsah vodíku v analytickém vzorku (%);

$0,02442$ hodnota odpovídající energii spotřebované na ohřev a vytápění 1 % vody při teplotě 25 °C.

Hmotnostní spalování

Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování:

Dokonalé spalování je spalování, při kterém nastává spálení všech hořlavých složek v palivu a ve vzniklých spalinách poté nejsou hořlavé složky obsaženy. [15]

$$O_{min} = \frac{32}{12} \cdot C + \frac{32}{4} \cdot H + \frac{32}{32} \cdot S - \frac{32}{32} \cdot O [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.3/$$

Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování:

Dokonalého spalování s teoretickým přebytkem vzduchu (L_{min}), který se vypočítá následující rovnicí, lze dosáhnout pouze při zcela dokonalém promísení paliva se vzduchem a zároveň při ideálních spalovacích podmínkách. V praxi je spotřeba vzduchu (kyslíku) pro zajištění dokonalého spalování vyšší než teoretická. Obecně množství vzduchu závisí především na druhu paliva, spalovacího zařízení a oblasti spalování (difúzní nebo kinetická).[15]

$$L_{min} = O_{min} \cdot \frac{100}{23,2} [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.4/$$

Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování:

$$L_{skut} = O_{min} \cdot \frac{100}{23,2} \cdot n [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.5/$$

Poměr mezi skutečnou a teoretickou spotřebou vzduchu se nazývá součinitel přebytku vzduchu (n) a rovná se:

Přebytek vzduchu je důležitý, aby bylo zaručeno dokonalé spalování. Příliš vysoký přebytek vzduchu je na druhou stranu škodlivý. Čím více vzduchu se spalování zúčastní, tím více tepla je následně odváděno se spalinami. Dále při přílišném přebytku klesá spalná teplota a součinitel využití paliva. Proto je nutno používat optimální přebytek vzduchu. [15]

$$n = \frac{L_{skut}}{L_{min}} = \frac{O_{skut}}{O_{min}} \cong \frac{20,95}{20,95 - O_2} \quad /5.6/$$

Za O_2 (referenční obsah kyslíku) dosazujeme 13% dle Zákona o ochraně ovzduší (č. 201/2012).

Hmotnostní množství vlhkých spalin:

$$m_{sp}^v = m_{CO_2} + m_{SO_2} + m_{N_2} + m_{H_2O} + m_{O_2} + m_{Ar} \quad [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.7/$$

Kde:

$$m_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot C + 0,00046 \cdot L_{skut} \quad [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.8/$$

$$m_{SO_2} = \frac{64}{32} \cdot S \quad [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.9/$$

$$m_{H_2O} = \frac{18}{2} \cdot H + W + (v - 1) \cdot L_{skut} \quad [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.10/$$

Kde v je součinitel vyjadřující objemové množství vodní páry, které je obsaženo ve vzduchu při dané relativní vlhkosti a teplotě vzduchu. Jeho hodnota bývá přibližně $v = 1,04$. [15]

$$m_{N_2} = N + O_{min} \cdot \frac{75,474}{23,2} \cdot n \quad [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.11/$$

$$m_{O_2} = O_{min} \cdot (n - 1) \quad [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.12/$$

$$m_{Ar} = 0,0128 \cdot L_{skut} \quad [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.13/$$

Hmotnostní množství suchých spalin:

$$m_{sp}^s = m_{CO_2} + m_{SO_2} + m_{N_2} + m_{H_2O} + m_{O_2} + m_{Ar} \quad [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.14/$$

Teoretické hmotnostní množství suchých spalin:

$$m_{spmin}^s = \frac{44}{12} \cdot C + \frac{64}{32} \cdot S + N + 0,75474 \cdot L_{min} \quad [kg \cdot kg^{-1}] \quad /5.15/$$

kde: C, H, O, S, N, W jsou poměrná množství uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a veškeré vody v původním palivu ($kg \cdot kg^{-1}$).

Vyjádření jednotlivých složek spalin v %

Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách:

$$CO_{2max} = \frac{\frac{44}{12} \cdot C}{m_{spmin}^s} \cdot 100 [\%] \quad /5.16/$$

Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách:

$$SO_{SO_2max} = \frac{\frac{64}{32} \cdot S}{m_{spmin}^s} \cdot 100 [\%] \quad /5.17/$$

Hmotnostní koncentrace složek spalin ve vlhkých spalinách:

$$CO_2 = \frac{m_{CO_2}}{m_{sp}^v} \cdot 100 [\%] \quad /5.18/$$

$$SO_2 = \frac{m_{SO_2}}{m_{sp}^v} \cdot 100 [\%] \quad /5.19/$$

$$H_2O = \frac{m_{H_2O}}{m_{sp}^v} \cdot 100 [\%] \quad /5.20/$$

$$N_2 = \frac{m_{N_2}}{m_{sp}^v} \cdot 100 [\%] \quad /5.21/$$

$$O_2 = \frac{m_{O_2}}{m_{sp}^v} \cdot 100 [\%] \quad /5.22/$$

5.2.2 Výsledky výpočtů a měření

Výsledky výpočtů (5.2 – 5.15) pro všechny vzorky jsou zobrazeny v následující tabulce (Tab. č. 17).

Tab. č. 17 - Spalné teplo, výhřevnost a parametry hmotnostního spalování pro všechny vzorky

Spalné teplo a výhřevnost paliv (hořlavých odpadů)		Kompost původní vzorek	Dřevní polena (včetně kůry)	Briketa energetický kompost	Jednotka
Q_n	Výhřevnost paliva podle ČSN 44 1352	7 620,269	17 483,305	15 229,508	kJ.kg^{-1}
Q_v	Spalné teplo	8 510	18 950	16 420	kJ.kg^{-1}
Hmotnostní spalování					
O_{\min}	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	0,413	1,363	1,263	kg.kg^{-1}
L_{\min}	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	1,780	5,875	5,444	kg.kg^{-1}
L_{skut}	Skutečné množství vzduchu pro spalování	4,673	15,422	14,317	kg.kg^{-1}
n	Součinitel přebytku vzduchu	2,63	2,63	2,63	-
m_{sp}^v	Hmotnostní množství vlhkých spalin	5,328	16,834	15,612	kg.kg^{-1}
m_{sp}^s	Hmotnostní množství suchých spalin	4,775	15,613	14,549	kg.kg^{-1}
m_{spmin}^s	Teoretické hmotnostní množství suchých spalin	3,909	8,166	7,768	kg.kg^{-1}
m_{CO_2}	Hmotnostní množství CO_2	0,548	1,737	1,652	kg.kg^{-1}
m_{SO_2}	Hmotnostní množství SO_2	0,006	0,000	0,000	kg.kg^{-1}
$m_{\text{H}_2\text{O}}$	Hmotnostní množství H_2O	0,552	1,221	1,063	kg.kg^{-1}
m_{N_2}	Hmotnostní množství N_2	3,543	11,641	10,820	kg.kg^{-1}
m_{O_2}	Hmotnostní množství O_2	0,671	2,215	2,059	kg.kg^{-1}
m_{Ar}	Hmotnostní množství Ar	0,006	0,020	0,018	kg.kg^{-1}

Na základě prvkového rozboru a následných výpočtů bylo dále spočítáno (vzorce 5.16 – 5.22) teoretické složení spalin (viz Tab. č. 18).

Tab. č. 18 - Vyjádření jednotlivých složek spalín v %

Vyjádření jednotlivých složek spalín v %		Kompost Farmář	Palivové dřevo	Energetický kompost	Jednotka
CO _{2max}	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalínách	13,97	21,19	21,19	%
SO _{2max}	Teoretická hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalínách	0,16	0,00	0,00	%
CO ₂	Oxid uhličitý	10,29	10,32	10,58	%
SO ₂	Oxid siřičitý	0,12	0,00	0,00	%
H ₂ O	Voda	10,37	7,25	6,81	%
N ₂	Dusík	66,51	69,15	69,30	%
O ₂	Kyslík	12,60	13,16	13,19	%

5.2.3 Vyhodnocení a diskuze prvkové a stechiometrické analýzy

V této kapitole budou paliva posouzena na základě normy ČSN EN ISO 17 225-1 dle specifikace jejich vlastností.

Dále budou vzorky posouzeny, zda vyhovují požadavkům na kvalitu výlisků z biomasy dle vyhlášky 415/2012 sb. O přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.

Dusík

U analyzovaných biopaliv je patrné vysoké procento emisí dusíku, neboť rostlinná a dřevní biomasa obsahuje obecně vyšší množství dusíku v palivu oproti fosilním palivům. Zvýšený obsah tohoto prvku v emisích je nevýhodou a omezuje využití těchto paliv. Z posuzovaných biopaliv obsahoval nejvyšší koncentraci dusíku kompost pro biologické využití (2,07%) a energetický kompost (1,54 %). Palivové dřevo obsahuje dle měření pouze 0,13 % dusíku. To potvrzuje obecný fakt, který je uváděn v literatuře, že dřevní biomasa obsahuje výrazně nižší obsah dusíku než rostlinná.

V tabulce č. 19 je uvedena specifikace vlastností normy ČSN EN 150 17225-1 pro dusík.

Tab. č. 19 - Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN EN 150 17225-1 pro dusík v % [6]

N 0,2	≤ 0,2 %	Obsah dusíku je normativní pouze pro chemicky ošetřenou biomasu; Informativní pro chemicky neupravenou biomasu
N 0,3	≤ 0,3 %	
N 0,5	≤ 0,5 %	
N 0,7	≤ 0,5 %	
N 1,0	≤ 1,0 %	
N 1,5	≤ 1,5 %	
N 2,0	≤ 2,0 %	
N 3,0	≤ 3,0 %	
N 3,0 +	> 3,0 aktuální hodnota, která byla určena	

Podle tabulky č. 19 jsou jednotlivé vzorky zařazeny následovně (Tab. č. 20).

Tab. č. 20 - Zařazení vzorků dle obsahu dusíku dle ČSN

Značka	Kompost Farmář	Palivové dřevo	Energetický kompost	Jednotka
N původní vzorek	0,016	0,001	0,014	kg.kg ⁻¹
N bezvodý stav	2,07	0,128	1,518	%
Zařazení	N 3,0	N 0,2	N 2,0	

Síra

Síra přechází během spalování z velké části do plynné fáze jako SO₂ nebo SO₃. Emise síry u tepelných zařízení na využití pevných paliv z obnovitelných zdrojů nepředstavují, co se týče limitních hodnot, zpravidla žádný problém, což potvrzují vzorky energetického kompostu a palivových dřev. Výjimkou je kompost Farmář, který v daném stavu vzorku dosahoval koncentrace síry až 0,41 % hm. v bezvodém stavu. Tato zvýšená koncentrace síry ve vzorku může být způsobena znečištěním dané lokality emisemi oxidů síry. Hodnota obsahu síry u biopaliv je obvykle nižší.

V tabulce č. 21 je uvedena specifikace vlastností podle normy ČSN EN 150 17225-1 pro síru.

Tab. č. 21 - Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN EN ISO 17 225-1 pro síru v % [6]

S 0,02	≤ 0,02 %	Obsah síry je normativní pouze pro chemicky ošetřenou biomasu nebo jsou-li použita síru obsahující aditiva; Informativní pro chemicky neupravenou biomasu
S 0,03	≤ 0,03 %	
S 0,04	≤ 0,04 %	
S 0,05	≤ 0,05 %	
S 0,08	≤ 0,08 %	
S 0,10	≤ 0,10 %	
S 0,20	≤ 0,20 aktuální hodnota, která byla určena	
S 0,20+	> 0,20 aktuální hodnota, která byla určena	

Podle tabulky č. 21 jsou jednotlivé vzorky zařazeny následovně (Tab. č. 22).

Tab. č. 22 - Zařazení vzorků dle obsahu síry dle ČSN

Značka	Kompost Farmář	Palivové dřevo	Energetický kompost	Jednotka
S původní vzorek	0,003	0,0002	0	kg.kg ⁻¹
S bezvodý stav	0,41	0,021	0	%
Zařazení	S 0,20 +	S 0,03	S 0,02	

Výhřevnost

Z porovnání vyplývá, že nejlepší výhřevnost dle prvkového rozboru má palivové dřevo a to $17,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Přibližně o $2 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ nižší výhřevnost má energetický kompost. Nejnižší výhřevnost má kompost Farmář ($7,6 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Z toho vyplývá, že výhřevnost kompostu farmář je více jak dvakrát nižší než energetického kompostu a palivového dřeva. Hodnoty výhřevnosti vzorků jsou zobrazeny v grafu.

Pro posouzení dle vyhlášky MŽP č. 415/2012 Sb. byl dopočítán parametr výhřevnosti pro bezvodý stav (dosazením nulové hodnoty obsahu vody do vztahu 5.2). Výsledky výpočtů a požadavky vyhlášky jsou uvedeny v tabulce. Parametr výhřevnosti v bezvodém stavu splňují palivové dřevo i energetický kompost. Biologický kompost Farmář tuto hodnotu nespĺňuje, má tuto hodnotu výrazně nižší (viz Tab. č. 23).

Tab. č. 23 - Požadavky na kvalitu vylisků z biomasy dle vyhlášky 415/2012 sb. - výhřevnost

Složka	Kompost Farmář	Palivové dřevo	Energetický kompost	Jednotka
dle Vyhlášky MŽP č. 415/2012 Sb.				
Požadavky na kvalitu vylisků z biomasy dle celkového jmenovitého příkonu určeného spalovacího stacionárního zdroje pro výkon $\leq 0,3 \text{ MW}$				
Limitní hodnota Výhřevnosti musí být $> 15 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$				
Výhřevnost v bezvodém stavu	8,16	17,64	15,42	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

Obsah vody a popele

Obsah veškeré vody obsažený ve vzorcích je nejvyšší u kompostu Farmář (22 %). U energetického kompostu (7,8 %) a palivového dřeva (6,6 %) je obsah vody výrazně nižší, což má pozitivní přínos ve výhřevnosti biopaliv.

Jak je vidět z prvkových rozborů, u palivového dřeva a energetického kompostu je obsah popelovin ve vzorcích nízký. Výrazně vyšší množství popele je stanoveno u vzorku z biologického kompostu Farmář. Obsah vody a popelovin významně ovlivňuje tepelné vlastnosti posuzovaných tuhých biopaliv. V tabulce (Tab. č. 24) jsou uvedeny specifikace vlastností podle normy ČSN EN ISO 17 225-1 pro vodu a popel v palivu.

Tab. č. 24 - Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN EN ISO 17 225-1 pro vodu [6]

Voda (% (m/m), původní)	
M10	≤ 10 %
M12	≤ 12 %
M15	≤ 15 %
Popel (% (m/m), bezvodý stav)	
A 0,5	≤ 0,5 %
A 0,7	≤ 0,7 %
A 1,0	≤ 1,0 %
A 1,5	≤ 1,5 %
A 2,0	≤ 2,0 %
A 3,0	≤ 3,0 %
A 5,0	≤ 5,0 %
A 7,0	≤ 7,0 %
A 10,0	≤ 10,0 %
A 10,0 +	> 10,0 % aktuální hodnota, která byla určena

Dle tabulky č. 24 jsou jednotlivé vzorky zařazeny podle množství vody a popele v tab. č. 25.

Tab. č. 25 - Zařazení vzorků dle obsahu vody a popele dle ČSN EN ISO 17 225-1

Složka	Kompost Farmář	Palivové dřevo	Energetický kompost	Jednotka
Veškerá voda v původním vzorku	22	6,6	7,9	%
Hmotnostní podíl popele v bezvodém stavu	61,410	2,388	12,266	%
Zařazení Voda dle ČSN	nelze zařadit	M10	M10	
Zařazení popel dle ČSN	A 10,0 +	A 3,0	A 10,0 +	

Z výsledků měření vyplývá, že obsahuje biologický kompost Farmář oproti ostatním vzorkům výrazně vyšší množství popele. To znamená zvýšený požadavek na odvod tuhých zbytků po spalování a také zvýšené množství tuhých emisí.

Maximální hodnoty obsahu vody popisuje také vyhláška MŽP č. 415/2012 Sb., která stanovuje požadavky na kvalitu výlisků z biomasy. Požadavek na maximální obsah veškeré vody v původním stavu splňují spolehlivě dřevní polena i energetický kompost. Kompost Farmář požadavek na obsah veškeré vody nesplňuje a to o 7 % (viz Tab. č. 26).

Tab. č. 26 - Požadavky na kvalitu výlisků z biomasy dle vyhlášky 415/2012 sb. - obsah vody

Složka	Kompost Farmář	Palivové dřevo	Energetický kompost	Jednotka
Vyhláška MŽP č. 415/2012 Sb.				
Požadavky na kvalitu výlisků z biomasy dle celkového jmenovitého příkonu určeného spalovacího stacionárního zdroje pro výkon ≤ 0,3 MW				
Limitní hodnota obsahu veškeré vody < 15 % hm.				
Veškerá voda v původním vzorku	22,00	6,60	7,88	% hm.

Stejná vyhláška také stanovuje požadavek na maximální obsah popele (Tab. č. 27) v bezvodém stavu pro výlisky z biomasy na hodnotu. Palivové dřevo dle předpokladů podmínku splňuje, protože obsahují pouze 2,4 % hmotnosti popele. Kompost Farmář přesahuje limitní hodnotu více než šestkrát. Požadavek na obsah popele nesplňuje o 2,3 % ani energetický kompost.

Tab. č. 27 - Požadavky na kvalitu výlisků z biomasy dle vyhlášky 415/2012 sb. - obsah popele

Složka	Kompost Farmář	Palivové dřevo	Energetický kompost	Jednotka
Vyhláška MŽP č. 415/2012 Sb.				
Požadavky na kvalitu výlisků z biomasy dle celkového jmenovitého příkonu určeného spalovacího stacionárního zdroje pro výkon $\leq 0,3$ MW				
Obsah popele v bezvodém stavu < 10 % hm.				
Obsah popele v bezvodém stavu	61,410	2,388	12,266	% hm.

Prchavá a neprchavá hořlavina

Další důležitou vlastností biopaliv je podíl prchavé a neprchavé hořlaviny. Obecně mají nejméně prchavého podílu antracitu nebo černé uhlí. Naopak nejvíce prchavé hořlaviny obsahuje dřevní biomasa. Dle předpokladů je tedy nejvyšší podíl prchavé hořlaviny (91,17 % hm.) v palivovém dřevu (viz Tab. č. 28). Energetický kompost obsahuje pouze o 11 % prchavé hořlaviny méně. Výrazně nejnižší obsah prchavé hořlaviny má kompost Farmář, a to pouze 30,10 % hm. v původním stavu.

Tab. č. 28 - Obsah prchavé a neprchavé hořlaviny vzorků

	Kompost Farmář	Palivové dřevo	Energetický kompost	Jednotka
Obsah prchavé hořlaviny	30,10	91,17	80,82	%
Obsah neprchavé hořlaviny	69,90	8,83	19,18	%

Hmotnostní tok paliva přiváděného do spalovacího prostoru

Dalším důležitým energetickým parametrem je hmotnostní tok původních tuhých biopaliv do spalovacího prostoru při jmenovitém tepelném výkonu spalovacího zařízení. Stanoví se dle ČSN 07 0240 následovně:

$$\dot{m}_{pv} = \frac{P_k \cdot 100}{q_n \cdot \eta} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad /5.23/$$

Kde:

M_{pv} hmotnostní tok paliva přiváděného do spalovacího prostoru ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$);

P_k jmenovitý tepelný výkon kotle (W);

q_n výhřevnost paliva ($J \cdot \text{kg}^{-1}$, $J \cdot \text{m}^{-3}$);

η účinnost spalovacího zařízení (%)

Účinnost spalovacího zařízení pro výpočet byla zvolena 88 % a jmenovitý tepelný výkon 5 kW. Obě tyto hodnoty odpovídají kotli, který byl použit v následující kapitole této práce pro tepelně-emisní analýzu. Výhřevnost paliva ve výpočtech je dána výhřevností původního vzorku. V tabulce (Tab. č. 29) jsou jednotlivé hodnoty pro všechny analyzované vzorky. Dle předpokladů je nejvyšší hmotnostní tok do spalovacího prostoru pro kompost Farmář ($2,68 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$), který má nejnižší výhřevnost. Naopak nejnižší hmotnostní tok paliva přiváděného do spalovacího prostoru má palivové dřevo, které má výhřevnost nejvyšší ze všech vzorků.

Tab. č. 29 - Hmotnostní tok paliv přiváděného do spalovacího prostoru

	Kompost Farmář	Palivové dřevo	Energetický kompost	Jednotka
Výhřevnost paliva	7 620 268	17 483 305	15 229 508	$J \cdot \text{kg}^{-1}$
\dot{m}_{pv}	0,000746	0,000325	0,000373	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
\dot{m}_{pv}	2,684	1,170	1,343	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$

5.3 Tepelně - Emisní analýza

Cílem této analýzy bylo zjištění tepelně-emisních parametrů stejných paliv, které byly podrobeny prvkovému rozboru. Prvním vzorkem byla nadsítná složka kompostu Farmář v sypané formě, druhým energetický kompost ve formě brikety a třetím palivem bylo palivové dřevo, obsahující malé množství vlastní kůry. Spalování paliv bylo provedeno v roštovém kotli s ruční dodávkou paliva s emisním analyzátozem fungujícím na elektro-chemickém principu. Na následující fotografii z průběhu měření tepelně-emisní analýzy jsou použita zařízení zřejmé (Obr. č. 14).

Obr. č. 14 - Měření tepelně-emisní analýzy kompostu farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1



Kompost farmář byl do roštového kotle vkládán ve směsi s palivovým dřevem v poměru 1 : 1. Kompost byl v sypané formě. Palivové dřevo a energetický kompost byly spalovány samostatně a měly parametry a formu viz kapitola 5.1.

5.3.1 Metodika tepelně-emisní analýzy

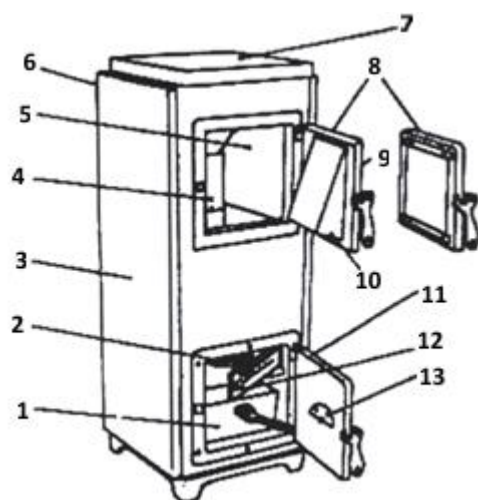
K porovnání tepelně emisních charakteristik bylo provedeno měření na malém spalovacím zařízení, kterým byla kamna na tuhá paliva společnosti V. J .Rousek (viz. obr. 15), v souladu s ČSN EN 13240 „Spotřebiče na tuhá paliva k vytápění obytných prostorů – Požadavky a zkušební metody“, s ČSN 124070 „Zařízení odlučovací – metody měření veličin“, s ČSN 44 1310 „Označování analytických ukazatelů a vzorce přepočtů výsledků rozborů na různé stavy paliva“ a s ČSN 38 5509 (hodnoty molekulové hmotnosti a molárního objemu). Tepelně-technické parametry kamen jsou uvedeny v tabulce (Tab. č. 30).

Tab. č. 30 - Tepelně-technické parametry kamen V.J.Rousek

Parametr	Hodnota
Jmenovitý výkon [kW]	5
Prům. teplota spalin [°C]	286
Hmotnostní tok spalin [g.s ⁻¹]	3,85
Účinnost [%]	70 – 80
Max. délka polen [m]	0,3
Průměr kouřovodu [mm]	80
Hmotnost [kg]	86
Rozměry kamen: šířka x hloubka x výška [mm]	355 x 360 x 920
Účinnost při jmenovitém výkonu [%]	88
Spotřeba paliva [kg.h ⁻¹]	0,8 – 1,5

Technické schéma spalovacího zařízení s popisem a fotografie kotle je na obr. č. 15.

Obr. č. 15 - Kamna na tuhá paliva společnosti V.J.Rousek



Popis : 1 – popelník; 2 – Otočný rošt s rámem; 3 – Boční stěna; 4 – zadní šamot; 5 – boční šamot; 6 – odkouření; 7 – litinová plotna; 8 – topná dvířka; 9 – vzdušník sekundárního vzduchu; 10 – přívod sekundárního vzduchu; 11 – popelníková dvířka; 12 - roštová dvířka; 13 – vzdušník primárního vzduchu

Pro stanovení emisních charakteristik, hmotnostních toků a charakteristiky tuhých částic při termickém spalování vzorků byl použit analyzátor GA-60.

Přístroj GA-60 je víceúčelový analyzátor kouřových plynů. Jeho princip je založen na principu elektrochemických převodníků. Přístroj má standardně pět převodníků. Standardní vybavení představuje převodníky na analýzu těchto složek spalin: kyslík (O₂), oxid uhelnatý (CO), oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO₂), oxid siřičitý (SO₂) a chlorovodík (Cl). Přehled převodníků analyzátoru je uveden v tabulce (Tab. č. 31).

Tab. č. 31 - Přehled převodníků analyzátoru GA-60 [15]

Převodník	Typ	Měřicí rozsah (ppm)
CO	3F/F	0 – 20 000
NO	3NF/F	0 – 5 000
NO ₂	3NDH	0 - 800
SO ₂	3SF	0 – 2 000
H ₂ S	3H	0 – 1 000
H ₂	3HYT	0 – 2 000
H ₂ CN	3HN	0 - 200
HCl	3HL	0 - 100
Cl ₂	3CLH	0 - 250

Oxid uhličitý (CO₂) byl dopočítáván na základě naměřené koncentrace kyslíku a charakteristiky paliva. Ostatní parametry spalin jsou přímo měřeny převodníky. Kyslík a oxid uhličitý jsou uváděny v procentech, ostatní složky pak ve třech koncentracích:

- 1) objemová koncentrace v ppm,
- 2) hmotnostní koncentrace za normálních podmínek (0°C; 101,332 kPa) v mg.m⁻³,
- 3) hmotnostní koncentrace za normálních podmínek vztažená na zadaný obsah O₂ (O₂ = O_r = 13%).

Přístroj GA-60 měří také teplotu okolí a teplotu spalin. Na základě změřených teplot a chemických parametrů provádí přístroj výpočet následujících charakteristik spalování:

- 1) komínová ztráta,
- 2) účinnost spalování tepelně-technická,
- 3) přebytek vzduchu,
- 4) dílčí ztráty.

Přístroj dokáže měřit také přetlak, podtlak a diferenční tlak. Z těchto parametrů následně určuje rychlost proudění spalin v kouřovodu.

Při měření jsou plyny odsávány sondou s integrovaným termočlánkem a vedeny přes vytápěnou rukojeť hadicí až k filtračnímu bloku. Vytápěná rukojeť umožňuje bezproblémové měření sazového čísla. Ve filtračním bloku jsou plyny zbavovány pevných částic a vodní páry, která zkondenzuje za teploty okolí. Filtrační blok dále obsahuje předfiltr (20μm) s odlučovačem kondenzátu, průtokoměr (rotametr) a jemný filtr (5μm) s odlučovačem kondenzátu.

Následně jsou plyny vedeny hadičkou do vstupu vlastního analyzátoru na ovládacím panelu. Poté plyny prochází třícestným elektromagnetickým ventilem, kterým je možné přivádět k převodníkům buď odsávané plyny (při režimu měření) či čerstvý vzduch z prostoru transportního kufru (při provádění kalibrace). Za ventilem je čerpadlo, které dopravuje plyny do komory převodníků. Komora je vybavena převodníky pro kyslík, oxid uhelnatý, oxid siřičitý, oxid dusnatý a oxid dusičitý. Po komoře převodníků jsou plyny vedeny mimo prostor transportního kufru analyzátoru.

Řídicí systém analyzátoru je založen na bázi dvou mikroprocesorů. Ty vyhodnocují všechny signály přicházející od měřících čidel (elektrochemické převodníky, teplota, tlak). Mikroprocesory dále řídí systémy klávesnice, displeje, tiskárny, prvky hlavní cesty plynů a

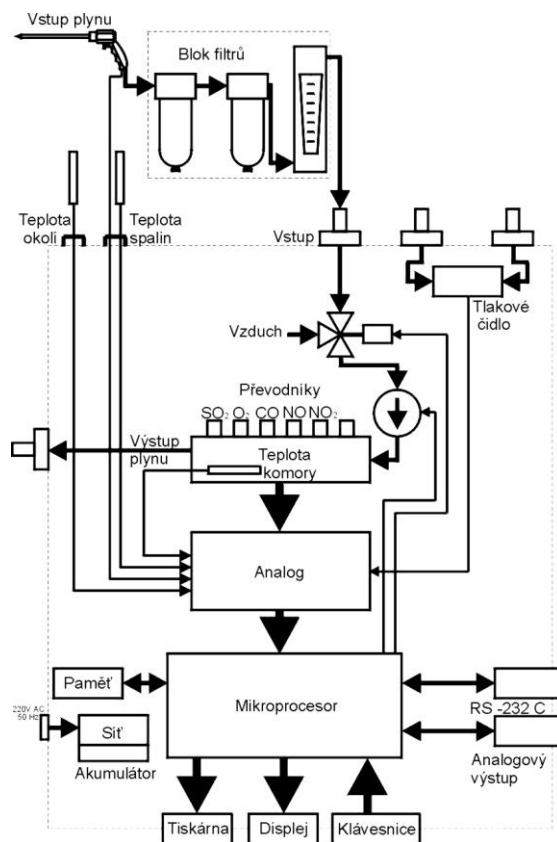
provádějí další nezbytné výpočty pro určení výstupních hodnot. Blokové schéma analyzátoru je zobrazeno na následujícím obrázku (obr. č. 16).

Obr. č. 16 - Blokové schéma přístroje GA-60 [15]

Pro měření teplot má analyzátor zapojeny tyto obvody:

- termočlánek pro měření teploty spalin, umístěný v odsávací sondě,
- teploměr Pt-500 pro měření vstupní teploty spalin do přístroje, pro měření teploty okolí a měření teploty plynů v komoře převodníků.

Během přímého měření jsou měřeny hodnoty teploty okolí, teploty spalin a chemické složení spalin v rozsahu O₂, CO, SO₂, NO, NO₂. Signál převodníků je přímo úměrný objemové koncentraci jednotlivých spalin v ppm. Převodník pro stanovení kyslíku je zanedbatelně závislý na jednotlivých komponentách měřených plynů.



Podobně se chovají převodníky pro stanovení CO a NO, které mají zabudovány vnitřní filtry pro absorbování rušivých složek. Ostatní převodníky reagují na koncentrace ostatních složek. [15]

Na základě hodnot z přímého měření a z charakteristik paliva přístroj dopočítává následné složky plynů:

Obsah CO₂ dle vzorce:

$$CO_2 = CO_{2max} \cdot \left(1 - \frac{O_{2m}}{20,95}\right) \quad /5.24/$$

kde: CO_{2max} je maximální obsah oxidu uhličitého, daný pro spalované palivo podle palivářských tabulek a zabudovaný v paměti přístroje; O_{2m} - přímo měřený obsah kyslíku ve spalinách (% hm.); 20,95 - obsah kyslíku ve vzduchu (% hm.).

Obsah NO_x se vypočítává dle vzorce:

$$NO_x = NO + NO_2 \quad /5.25/$$

kde: NO a NO_x - jsou hodnoty přímo měřené v ppm.

Další charakteristika spalování, počítaná přístrojem je **přebytek vzduchu**. Tato hodnota ukazuje, kolikrát větší množství vzduchu je přiváděno do spalovacího prostoru ve srovnání s optimálním (stechiometrickým) množstvím. Analyzátor počítá hodnotu dle vzorce:

$$n = \frac{CO_{2max}}{CO_{2M}} \quad /5.26/$$

kde: CO_{2max} je tabulková hodnota pro zadané palivo; CO_{2m} - naměřená respektive dopočítána hodnota pro měřený režim.

Vlastní výpočty:

Koncentrace spalin se v tabulkách (Tab. č. 32-34) vyjadřuje v těchto jednotkách:

- podílové složení (% obj; % hm);
- hmotnostní koncentrace vztažená k jednotce objemu ($mg \cdot m^{-3}$);
- podílové složením v ppm nebo ppb (obj. nebo hm.).

Hodnoty emisních koncentrací, které byly naměřeny, jsou uvedeny ve výsledných tabulkách v ppm a v %. Z koncentrace v ppm byly hodnoty přepočteny na hmotnostní koncentrace v $mg \cdot m^{-3}$. Pro přepočet podílového složení v ppm (1 ppm = 1 cm^3 škodliviny na 1 m^3 ovzduší) na hmotnostní koncentraci v $mg \cdot m^{-3}$ (hmotnostní množství 1 cm^3 škodliviny v mg v 1 m^3 ovzduší) platí vztah:

$$1ppm = \frac{M}{m} [mg \cdot m^{-3}] \quad /5.27/$$

Kde: M molekulová hmotnost škodliviny ($mg \cdot mol^{-1}$);

m molární objem škodliviny ($cm^3 \cdot mol^{-1}$).

V praxi se pro přepočty používají hodnoty reálných molárních objemů a molekulových hmotností plynů dle [15]:

$$1ppm SO_2 = \frac{64,05}{21,84} = 2,93 [mg \cdot m^{-3}] \quad /5.28/$$

$$1ppm NO_2 = \frac{46,01}{22,41} = 2,05 [mg \cdot m^{-3}] \quad /5.29/$$

$$1ppm CO = \frac{28,01}{22,40} = 1,25 [mg \cdot m^{-3}] \quad /5.30/$$

$$1ppm NO = \frac{30,01}{22,41} = 1,34 [mg \cdot m^{-3}] \quad /5.31/$$

Vzorec pro výpočet emisního faktoru při normálním stavu suchých spalin:

$$E_s = \frac{273,15+t}{273,15} \cdot \frac{101\,325}{101\,325+p} \cdot \frac{100}{100-w} \cdot E_n \text{ [mg} \cdot \text{m}_N^{-3}] \quad /5.32/$$

Výpočet emisního faktoru pro normální stav suchých spalin a pro referenční obsah kyslíku:

$$E_{sr} = \frac{21-O_r}{21-O_p} \cdot E_s \text{ [mg} \cdot \text{m}_N^{-3}] \quad /5.33/$$

- Kde: E_n naměřený obsah škodlivin v 1 m³ spalin při provozních podmínkách (mg·m⁻³)
 E_v obsah škodliviny v 1 m³ vlhkých spalin za normálních podmínek (mg·m⁻³);
 E_s obsah škodliviny v 1 m³ suchých spalin za normálních podmínek (mg·m⁻³);
 E_{sr} obsah škodliviny v 1 m³ suchých spalin za normálních podmínek pro referenční obsah kyslíku ve spalinách (mg·m⁻³);
 t teplota provozních spalin (°C);
 p rozdíl provozního a normálního tlaku (Pa);
 w obsah vodní páry ve spalinách (% obj.);
 O_p změřený obsah kyslíku ve spalinách při provozních podmínkách (% obj.);
 O_r referenční obsah kyslíku ve spalinách (% obj.).

Emisní limity v legislativě stanoveny pro normální podmínky spalin (teplota 0 °C; tlak 101,325 kPa; suché spaliny) a pro referenční obsah kyslíku ve spalinách.

5.3.2 Výsledky měření a diskuze tepelně-emisní analýzy

Tepelně – emisní analýza kompostu Farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1

Výsledné parametry měření jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. č. 32).

Tab. č. 32 - Výsledné emisní parametry při spalování kompostu farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1

		Průměr	s ²	s	V	Max.	Min.
T _{ok}	°C	25,12	2,73	1,65	0,07	27,00	22,00
T _{pl}	°C	304,79	107,10	10,35	0,03	323,80	281,00
O ₂	%	12,90	0,61	0,78	0,06	15,23	12,19
n z O ₂	0	2,62	0,09	0,29	0,11	3,64	2,38
CO ₂	%	3,61	1,10	1,05	0,29	5,00	1,31
n z CO ₂	-	6,21	7,61	2,76	0,44	15,02	3,95
CO	ppm	872,16	754918,85	868,86	1,00	3453,00	77,00
CO	mg.m ⁻³	1090,59	1180403,40	1086,46	1,00	4317,79	96,28
CO (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	926,28	893991,11	945,51	1,02	5770,00	278,29
NO	ppm	94,46	1055,42	32,49	0,34	165,00	31,00
NO	mg.m ⁻³	126,49	1892,66	43,50	0,34	220,96	41,51
NO (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	127,90	2753,59	52,47	0,41	281,04	42,03
SO ₂	ppm	5,13	21,04	4,59	0,89	23,00	0,00
SO ₂	mg.m ⁻³	15,16	183,53	13,55	0,89	67,93	0,00
SO ₂ (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	15,07	199,08	14,11	0,94	77,77	0,00
NO ₂	ppm	2,01	5,96	2,44	1,21	8,00	0,00
NO ₂	mg.m ⁻³	4,14	25,10	5,01	1,21	16,42	0,00
NO ₂ (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	3,90	21,49	4,64	1,19	14,96	0,00
HCl	mg.m ⁻³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCl (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO _x	ppm	96,47	1002,94	31,67	0,33	165,00	31,00
NO _x	mg.m ⁻³	198,06	4227,62	65,02	0,33	338,76	63,65
NO _x (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	271,40	3776,00	61,45	0,23	483,00	207,00

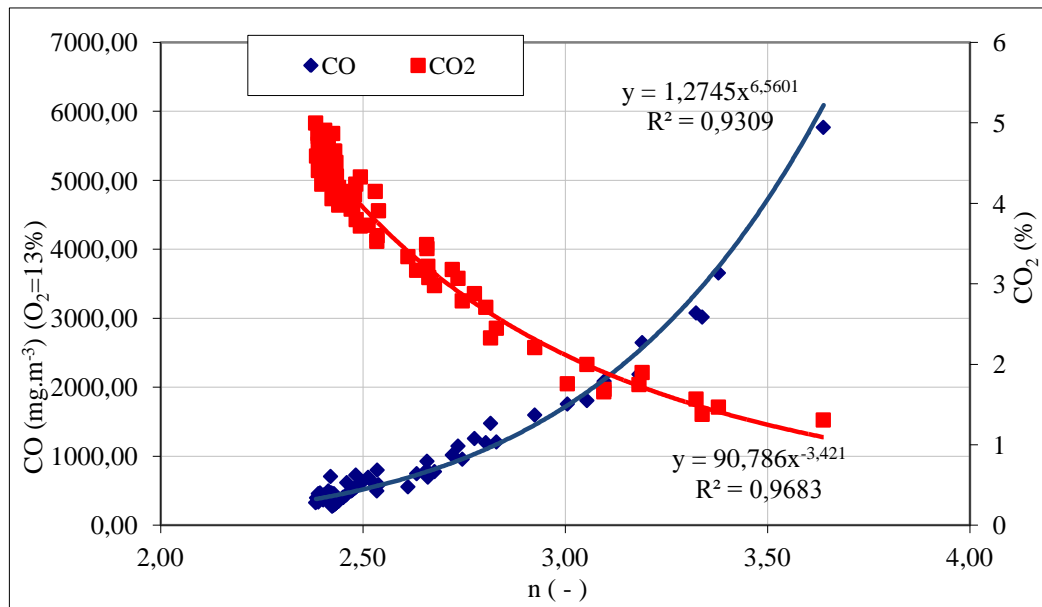
Průměrná hodnota emisí CO = 927 mg.m⁻³_N (O₂= 13 %) vyhovuje 4. třídě emisních požadavků dle přílohy 10, zák. č. 201/2012 Sb. Zákon stanovuje emisní limit pro spalovací zdroj s ruční dodávkou biologického paliva při uvedení zařízení na trh od 1. 1. 2018. Hodnota emisního limitu pro 4. třídu je obsah CO = 1200 mg.m⁻³_N (O₂= 13 %).

Průměrná změřená hodnota emisí NO_x = 198 mg.m⁻³_N (O₂= 13 %). Při spalování pouze palivového dřeva je tato hodnota přibližně poloviční. Z našeho měření vyplývá, že přidáním kompostu v poměru 1:1 emise NO_x stoupají.

Průměrná teplota spalin (komínová ztráta) je zde 304°C. Tato hodnota je přibližně o 90°C nižší, než teplota spalin při spalování samostatného palivového dřeva. Spálením nadsítné složky kompostu Farmář spolu s palivovým dřevem v poměru 1:1 bylo docíleno snížení tepelné (komínové) ztráty.

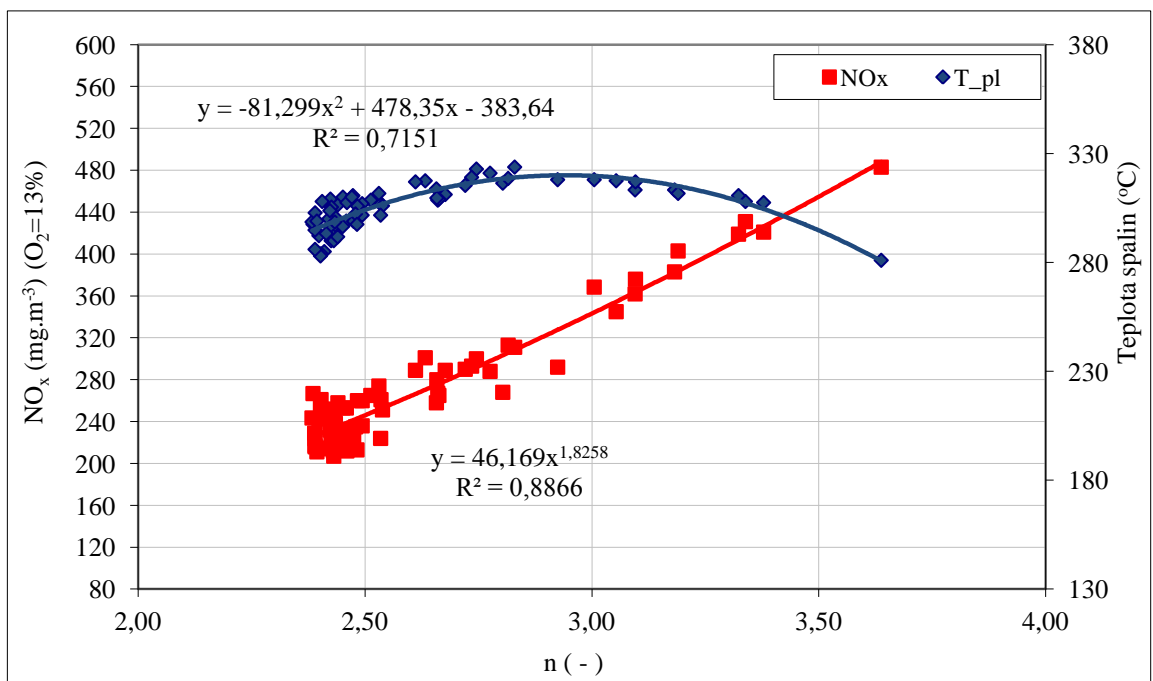
Závislost oxidu uhelnatého a uhličitého na součiniteli přebytku vzduchu při spalování kompostu farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1 je znázorněna na následujícím grafu (Graf č. 2).

Graf. č. 2 - Závislost oxidu uhelnatého a uhličitého na součiniteli přebytku vzduchu při spalování kompostu farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1



Závislost oxidů dusíku a teploty spalin na součiniteli přebytku vzduchu při spalování kompostu Farmář s palivový dřevem v poměru 1:1 je následující (Graf. č. 3):

Graf. č. 3 - Závislost oxidů dusíku a teploty spalin na součiniteli přebytku vzduchu při spalování kompostu Farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1



Tepelně – emisní analýza energetického energetického kompostu

Výsledné parametry měření jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. č. 33).

Tab. č. 33 - Výsledné emisní parametry při spalování energetického kompostu Energo

		Průměr	s ²	s	V	Max.	Min.
T _{ok}	°C	32,52	0,32	0,57	0,02	33,00	31,00
T _{pl}	°C	267,11	1409,79	37,55	0,14	366,30	207,00
O ₂	%	16,86	2,84	1,69	0,10	18,87	10,78
n z O ₂	0	5,65	2,58	1,61	0,28	9,86	2,05
CO ₂	%	2,99	1,56	1,25	0,42	7,48	1,08
n z CO ₂	-	7,43	5,87	2,42	0,33	18,21	2,65
CO	ppm	326,99	122760,18	350,37	1,07	2156,00	42,00
CO	mg.m ⁻³	408,88	191949,82	438,12	1,07	2695,96	52,52
CO (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	827,18	905039,39	951,34	1,15	5770,00	75,43
NO	ppm	96,42	910,39	30,17	0,31	165,00	37,00
NO	mg.m ⁻³	129,11	1632,59	40,41	0,31	220,96	49,55
NO (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	256,32	2920,82	54,04	0,21	322,43	152,08
SO ₂	ppm	1,24	4,06	2,02	1,63	7,00	0,00
SO ₂	mg.m ⁻³	3,66	35,44	5,95	1,63	20,67	0,00
SO ₂ (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	10,28	281,06	16,76	1,63	60,16	0,00
NO ₂	ppm	2,04	5,22	2,28	1,12	8,00	0,00
NO ₂	mg.m ⁻³	4,18	21,98	4,69	1,12	16,42	0,00
NO ₂ (O ₂ =10%)	mg.m ⁻³	10,70	186,60	13,66	1,28	48,51	0,00
HCl	mg.m ⁻³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCl (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO _x	ppm	98,45	853,53	29,22	0,30	165,00	41,00
NO _x	mg.m ⁻³	202,13	3597,81	59,98	0,30	338,76	84,18
NO _x (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	433,10	1062,40	32,59	0,08	492,60	330,00

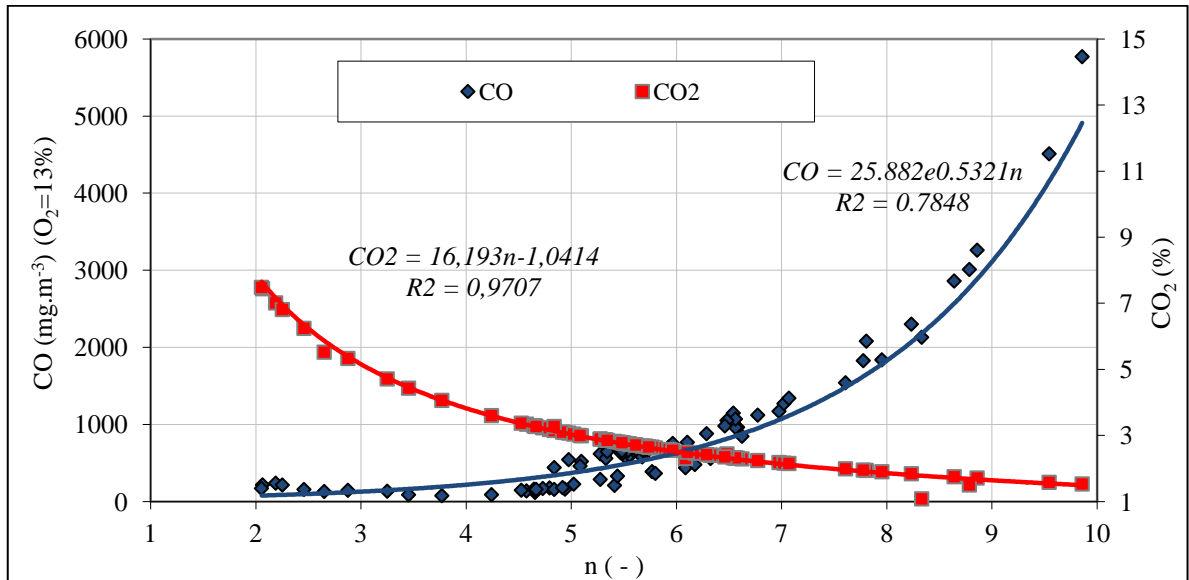
Průměrná hodnota emisí CO ve výši **827** mg.m⁻³_N (O₂ = 13 %) je rovněž nižší než je mezní hodnota pro 4. třídu. Tato hodnota je nejnižší a vychází nejlépe ze všech tří měřených vzorků.

Průměrná změřená hodnota emisí NO_x je **433** mg.m⁻³_N (O₂= 13 %). Při spalování energetického kompostu vychází hodnota NO_x nejvyšší ze všech měření. Emisní hodnota je přibližně čtyřikrát vyšší než při spalování palivového dřeva.

Průměrná teplota spalin (komínová ztráta) je zde **267** °C. Tato hodnota je nejnižší ze všech provedených měření. Je o 126 °C nižší než průměrná teplota spalin u spalování palivového dřeva.

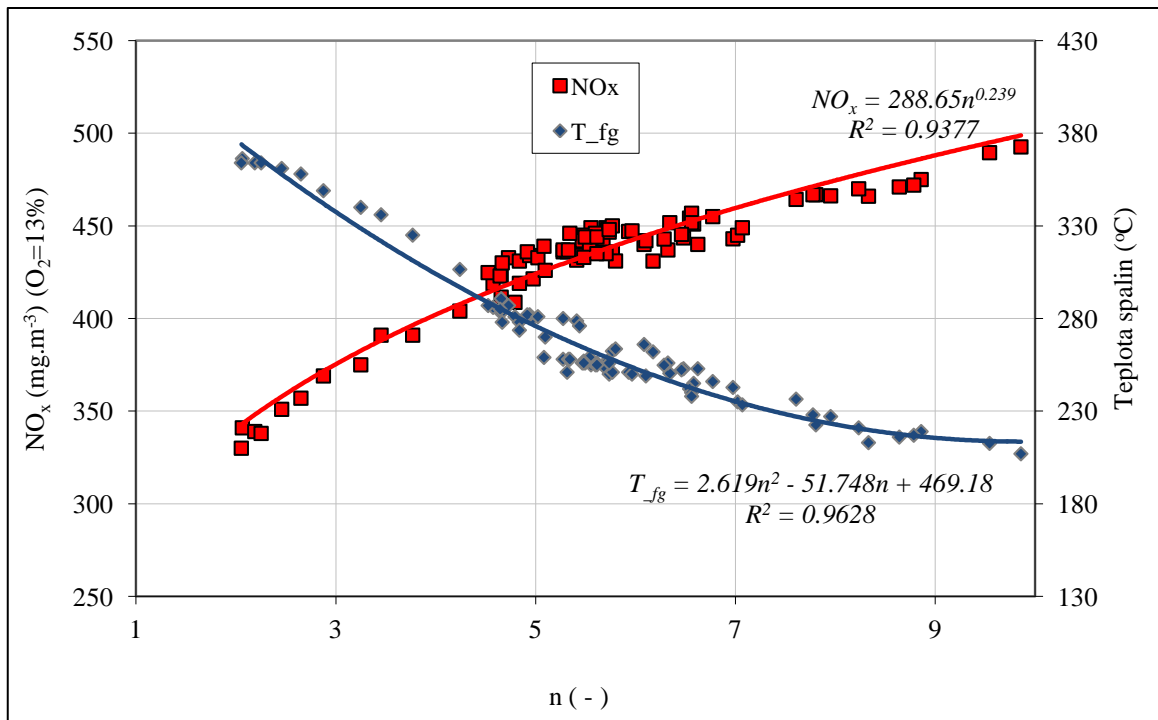
Na následujícím grafu (Graf. č. 4) je znázorněna závislost oxidu uhelnatého a uhlíčitého na součiniteli přebytku vzduchu při spalování energetického kompostu.

Graf. č. 4 - Závislost oxidu uhelnatého a uhlíčitého na součiniteli přebytku vzduchu při spalování energetického kompostu



Závislost oxidů dusíku a teploty spalin na součiniteli přebytku vzduchu při spalování je zřejmá z následujícího grafu (Graf. č. 5).

Graf. č. 5 - Závislost oxidů dusíku a teploty spalin na součiniteli přebytku vzduchu při spalování energetického kompostu



Tepelně – emisní analýza palivového dřeva

Výsledné parametry měření jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. č. 34).

Tab. č. 34 - Výsledné emisní parametry při spalování palivového dřeva

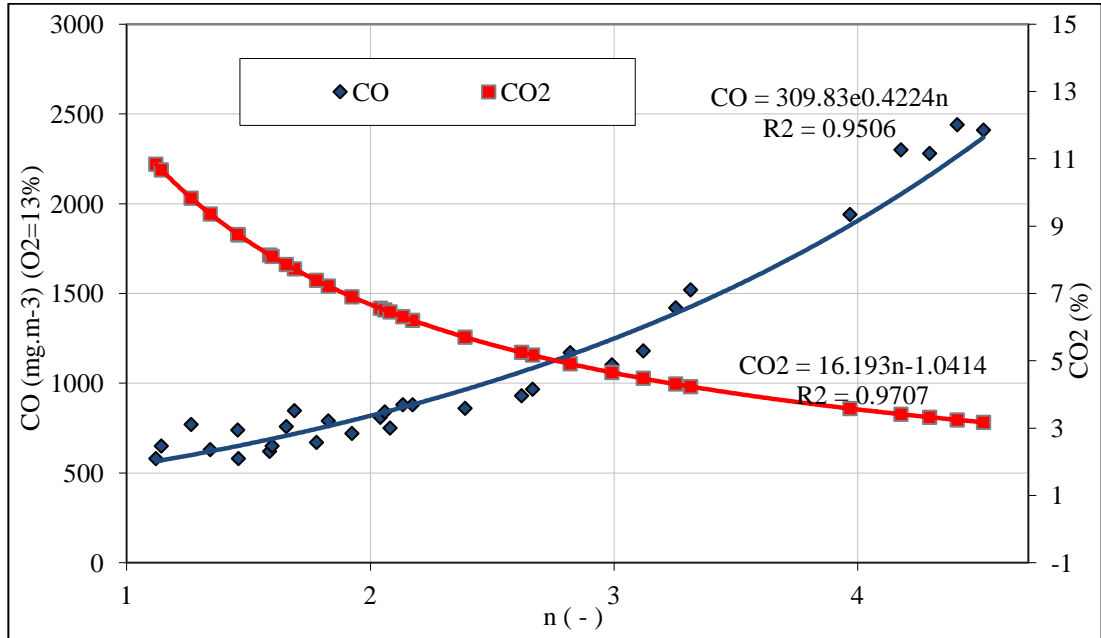
		Průměr	s ²	s	V	Max.	Min.
T _{ok}	°C	27,77	2,98	1,73	0,06	30,00	25,00
T _{pl}	°C	393,59	618,55	24,87	0,06	441,00	355,70
O ₂	%	12,22	9,21	3,04	0,25	16,64	6,21
n z O ₂	-	2,72	1,05	1,03	0,38	4,82	1,42
CO ₂	%	6,42	4,98	2,23	0,35	10,84	3,17
n z CO ₂	-	3,50	1,76	1,33	0,38	6,22	1,83
CO	ppm	1460,84	2779652,67	1667,23	1,14	7543,00	158,00
CO	mg.m ⁻³	1826,70	4346310,15	2084,78	1,14	9432,12	197,57
CO (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	1086,55	335062,48	578,85	0,53	2440,00	580,00
NO	ppm	50,16	230,47	15,18	0,30	77,00	23,00
NO	mg.m ⁻³	67,17	413,30	20,33	0,30	103,11	30,80
NO (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	62,69	89,15	9,44	0,15	76,81	40,47
SO ₂	ppm	0,48	2,72	1,65	3,41	9,00	0,00
SO ₂	mg.m ⁻³	1,43	23,77	4,87	3,41	26,58	0,00
SO ₂ (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	1,05	8,28	2,88	2,73	14,38	0,00
NO ₂	ppm	0,32	0,29	0,54	1,68	2,00	0,00
NO ₂	mg.m ⁻³	0,10	0,16	0,40	4,09	2,00	0,00
NO ₂ (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	0,05	0,05	0,22	4,04	1,08	0,00
HCl	mg.m ⁻³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCl (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO _x	ppm	50,48	226,59	15,05	0,30	77,00	25,00
NO _x	mg.m ⁻³	103,65	955,13	30,91	0,30	158,09	51,33
NO _x (O ₂ =13%)	mg.m ⁻³	96,97	209,08	14,46	0,15	121,40	71,07

Průměrná hodnota emisí **CO** je pro spalování palivového dřeva 1086 mg.m⁻³_N (O₂ = 13 %). Tato hodnota je také nižší než je mezní hodnota pro 4. třídu emisních požadavků dle přílohy 10, zák. č. 201/2012 Sb. Ze všech tří vzorků je však tato emisní hodnota nejvyšší. Obsah CO je zde o 260 mg.m⁻³_N (O₂ = 13 %) vyšší než při spalování energetického kompostu. Průměrná změřená hodnota emisí **NO_x** je 97 mg.m⁻³_N (O₂= 13 %). Hodnota NO_x je nejnižší ze všech vzorků.

Průměrná teplota spalin je zde 394 °C. Tato hodnota je nejvyšší ze všech provedených měření a znamená tedy nejvyšší tepelnou komínovou ztrátu.

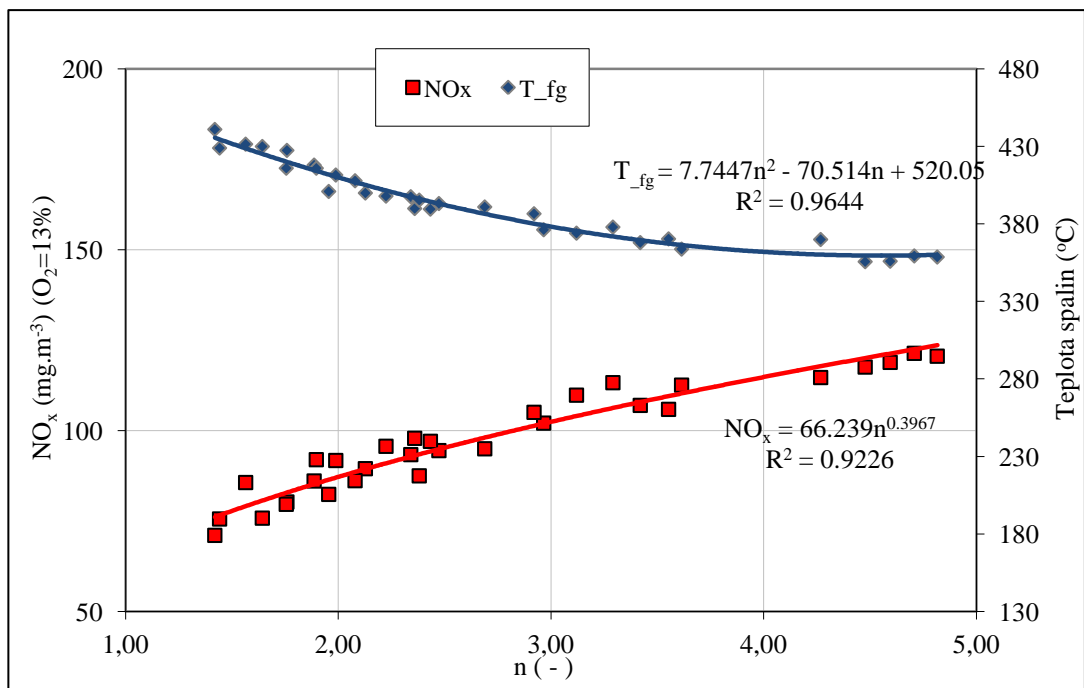
Závislost oxidu uhelnatého a uhličitého na součiniteli přebytku vzduchu při spalování palivového dřeva je patrná z následujícího grafu (Graf. č. 6).

Graf. č. 6 - Závislost oxidu uhelnatého a uhličitého na součiniteli přebytku vzduchu při spalování palivového dřeva



Závislost oxidů dusíku a teploty spalin na součiniteli přebytku vzduchu při spalování palivového dřeva je zobrazena v grafu (Graf. č. 7).

Graf. č. 7 - Závislost oxidů dusíku a teploty spalin na součiniteli přebytku vzduchu při spalování palivového dřeva



5.4 Ekonomická analýza

Jako topné zařízení pro ekonomickou analýzu byl vybrán teplovodní kotel KTP 20 (Obr. č. 17). Kotel má ruční přikládání a je určen ke spalování hnědého uhlí nebo alternativních paliv jako je kusové dřevo, brikety, čerstvé piliny, vlhká štěpka či ostatní vlhká biomasa. Kotel splňuje třídu 3 dle ČSN EN 303 – 5 pro spalování hnědého uhlí.

Konstrukce kotle umožňuje dvoustupňové spalování (cca 80 % zplyňování a cca 20% klasické odhořívání). Díky kombinaci obou typů spalování dochází k optimalizaci využití a vyhoření paliva. Přívod primárního i sekundárního vzduchu lze snadno regulovat, čímž lze dosáhnout optimálního spalování a dlouhé doby vyhoření paliva. Technické parametry kotle jsou v následující tabulce (Tab. č. 35). Cena kotle se pohybuje kolem 40 000 Kč včetně DPH.

Obr. č. 17 - Kotel KTP 20



Tab. č. 35 - Technické parametry kotle KTP 20

Jmenovitý výkon	20 kW
Šířka kotle	622 mm
Výška kotle	1193 mm
Hloubka kotle	550 mm
Průměr kouřovodu	159 mm
Objem spalovací komory	47,9 l
Hmotnost kotle	261 kg
Účinnost	75%
Třída kotle podle EN 303-5	3
Rozměry plnicího otvoru, půlkruh - šířka x výška	245x230 mm
Teplota spalin při jmenovitém výkonu	200 - 300 °C

Bude provedena analýza pro pět variant spalování paliv. První variantou je spalování kompostu Farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1. Dalšími analyzovanými palivy jsou energetický kompost v sypané formě, ve formě brikety, palivové dřevo a hnědé uhlí.

Náklady na provoz

Výpočty nákladů jsou vyhotoveny pro průměrný 6 hodinový provoz po dobu 229 topných dnů. To znamená celkově 1 374 provozních hodin za celý rok. Postup výpočtů topných dnů je uveden v příloze (PŘÍLOHA VIII).

Výhřevnost paliv vychází z prvkové a stechiometrické analýzy. Výhřevnost hnědého uhlí je uvedena dle parametrů od dodavatele.[34]

Hmotnostní tok byl doložitán dle vzorce /5.23/ na základě výhřevnosti paliv a parametrů zvoleného kotle.

Cena smrkového palivového dřeva je 3 500 Kč.t⁻¹ dle ceníku společnosti Správa lesů města Soběslavi, spol. s.r.o. Cena nadsítné složky kompostu Farmář je 600 Kč.t⁻¹ a energetického kompostu v sypné formě 2 600 Kč.t⁻¹ od společnosti Kompostárna Jarošovice s.r.o. Ceny energetického kompostu a kompostu Farmář jsou pro sypnou formu. Ceny energetického kompostu za hmotnostní jednotku ve formě brikety jsou totožné s cenami palivového dřeva.

Cena hnědého uhlí od firmy Paliva Mareš je 3 680 Kč.t⁻¹. [34] Všechny uvedené ceny jsou včetně DPH a přibližně odpovídají aktuálním cenám paliv a energií v České republice dle www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii.

Náklady na přepravu

Pro ekonomickou analýzu uvažujeme přepravní vzdálenost 20 km pro všechna paliva. K přepravě byla zvolena přepravní společnost Brož-cz, spol. s.r.o. Smluvní cena přepravy jedné tuny na jeden kilometr je 8 Kč včetně DPH při přepravě do 30 km.

Investiční náklady a náklady na údržbu

Nutné náklady na pořízení nového či obnovu starého spalovacího zařízení a souvisejících prostorů započítáváme do celkových ročních nákladů na provoz objektu. Při provozu kotle na tuhá paliva je třeba investovat do stavebních konstrukcí pro sklad paliva a pro odvod spalin. Komin je potřeba čistit, revidovat atd.

Dle zákona č. 201/2012 Sb. je provozovatel spalovacího zařízení od 10 do 300 kW povinen provádět jednou za dva kalendářní roky kontrolu technického stavu a provozu spalovacího zařízení prostřednictvím osoby, proškolené výrobcem zařízení a oprávněné k jeho instalaci (odborně způsobilá osoba). [13] I tato položka je zahrnuta v nákladech na údržbu.

Výsledky ekonomické analýzy

V tab. č. 36 jsou uvedeny výsledky ekonomické analýzy.

Tab. č. 36 - Výsledky ekonomické analýzy

Parametr	Palivové dřevo	Energetický k. briketa	Energetický k. sypný	Farmář + palivové dřevo 1:1	Hnědé uhlí Kostka	Jednotka	
Výhřevnost	17 483 305	15 229 508	15 229 508	12 551 787	17 600 000	J.kg ⁻¹	
hmotnostní tok paliva	0,00153	0,00175	0,00175	0,00212	0,00152	kg.s ⁻¹	
	5,491	6,304	6,304	9,044	5,455	kg.h ⁻¹	
Roční spotřeba paliva (1 374 hodin)	7,545	8,661	8,661	12,427	7,495	t	
Cena paliva (včetně DPH)	3 500	3500	2600	2050	3680	Kč.t ⁻¹	
Hodinové náklady	palivo	19,218	22,062	16,389	18,541	20,073	Kč.h ⁻¹
Roční náklady	palivo	26 406	30 314	22 519	25 476	27 580	Kč (vč. DPH)
	přeprava	1207	1386	1386	1988	1199	
	investice a údržba	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	
	Celkové	29 613	33 700	25 905	29 464	30 779	

Diskuze ekonomické analýzy

Nejnižší roční náklady z porovnávaných paliv má **energetický kompost v sypné formě (25 905 Kč)**. Naopak v případě kalkulování energetického kompostu ve formě brikety jsou celkové roční náklady výrazně nejvyšší ze všech vzorků (**33 700 Kč**).

Druhé nejnižší celkové náklady vychází pro **spalování palivového dřeva s kompostem Farmář v poměru 1:1 (29 464 Kč)**. Kompost má několikanásobně nižší cenu než palivové dřevo, ale zároveň výrazně horší výhřevnost, což se projevilo nejvyšším celkovým hmotnostním tokem paliva a nejvyššími náklady na přepravu. Přibližně stejné jsou roční náklady pro spalování samotného **palivového dřeva (29 613 Kč)**. To je dáno vysokou pořizovací cenou za 1 tunu paliva. Spolu s hnědým uhlím je výrazně nižší roční hmotnostní tok paliva než u vzorků obsahující kompost.

Druhé nejvyšší roční náklady jsou pro spalování **hnědého uhlí (30 719 Kč)**. To je způsobeno především jeho nejvyšší cenou za měrnou jednotku ze všech porovnávaných materiálů. Roční hmotnostní tok je ale nejnižší vzhledem k nejlepší výhřevnosti z vybraných vzorků.

6 Závěr

Provedením analýzy bylo potvrzeno, že nadsítnou složku kompostu lze energeticky využít. Ve srovnání se standardními biopalivy má však nesrovnatelně horší parametry. Výhřevnost analyzované nadsítné složky byla $7,6 \text{ MJ.kg}^{-1}$, což je výrazně nižší hodnota než u standardních biopaliv na bázi štěpky či agroproduktů, u kterých je běžná hodnota zpravidla vyšší než 15 MJ.kg^{-1} (u pelet a briket). Důvodem takto nízké výhřevnosti je především vysoký obsah nehořlavých složek vody a popela. Z hlediska obsahu veškeré vody, výhřevnosti v bezvodém stavu a obsahu popela, nadsítná složka nevyhovovala požadavkům na kvalitu výlisků z biomasy, které stanovuje vyhláška MŽP č. 415/2012 Sb.

Na základě výsledků tepelně-emisní analýzy bylo doporučeno využívat nadsítnou složku jako doplňující palivo k palivovému dřevu pro malá spalovací zařízení. Přidání kompostu zabrání prudkému prohoření palivového dřeva a sníží se komínová ztráta.

Vysoký obsah vody (22 %) a popela (48 %) v původním stavu nadsítné složky má za následek snížení výhřevnosti a zvýšení množství tuhých zbytků po prohoření. Z hlediska parametrů a energetického využívání by bylo žádoucí, kdyby došlo při prosévání kompostu k lepšímu oddělení zeminy, humusu a vody od nadsítné složky.

V posledních letech byly vedle tradičních kompostářských postupů vyvinuty i technologie výroby energetických kompostů. Vyrábí se cílevědomě za účelem energetického využití biologicky rozložitelných zbytků a biogenních odpadů ve speciálním zařízení, umožňující zpracovat biomasu s nízkým obsahem sušiny spolu s nasákovou biomasou a vytvořený produkt dosušit bez vstupu externí energie.

Analýza vzorku potvrdila, že oproti nadsítné složce kompostu má energetický kompost výrazně lepší parametry. Z hlediska výhřevnosti ($17,64 \text{ MJ.kg}^{-1}$ v bezvodém stavu) a obsahu vody (6,6 % v původním stavu) energetický kompost splňoval požadavky na kvalitu výlisků z biomasy dle vyhlášky 415/2012 sb. Požadavek na obsah popela v bezvodém stavu dle stejné vyhlášky vzorek energetického kompostu těsně nesplňoval. Zjištěné parametry energetického kompostu potvrdily, že technologie výroby energetických kompostů znamená alternativní využití pro kompostárny s minimálním odbytem biologického kompostu.

Tepelně-emisní analýza potvrdila, že spalování energetického kompostu i nadsítné složky kompostu s palivovým dřevem v poměru 1:1 z hlediska obsahu CO vyhovuje 4. třídě emisních požadavků dle přílohy 10, zák. č. 201/2012 Sb.

V ekonomické analýze byl vybrán teplovodní kotel o výkonu 20 kW a byly zkalkulovány celkové roční náklady analyzovaných vzorků pro modelový příklad. Z výsledků vyplývá, že spalování energetického kompostu v sypné formě má celkové roční náklady přibližně o 3 000 Kč nižší než palivové dřevo a hnědé uhlí. Nevýhodou energetického kompostu oproti hnědému uhlí a palivovému dřevu je vyšší roční hmotnostní tok paliva, což vyplývá z nižší výhřevnosti.

5 Seznam obrázků

Obr. č. 1 - a) topné pelety z dřevní štěpky; b) topná peleta z travní fytohmoty kombinovaná s topolovou štěpkou [4 - upraveno]	5
Obr. č. 2 - Schéma přeměny biomasy na bioenergii [6]	6
Obr. č. 3 - Kompostování v zakládkách [8]	11
Obr. č. 4 - Vzhled výrobku ENERGO kompost v sypané formě [8 upraveno].....	14
Obr. č. 5 - Jímání tepla z kompostovacího procesu [11]	17
Obr. č. 6 - Roštové spalovací zařízení s dvěma ohnisky hoření [32]	31
Obr. č. 7 - Koncepte roštových kotlů - a) s jedním ohniskem hoření; b) s dvěma ohnisky hoření [32].....	32
Obr. č. 8 – Nadsítná složka kompostu Farmář.....	33
Obr. č. 9 - Energetický kompost	33
Obr. č. 10 – Palivové dřevo	34
Obr. č. 11 - a) Kompost farmář; b) Vyjmuté kamenivo	34
Obr. č. 12 - a) podsítná složka; b) původní vzorek; c) nadsítná složka; d) vyjmuté kamínky	35
Obr. č. 13 - Rozdrcený vzorek kompostu Farmář pro prvkový rozbor a) nadsítná složka b) podsítná složka.....	35
Obr. č. 14 - Měření tepelně-emisní analýzy kompostu farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1	49
Obr. č. 15 - Kamna na tuhá paliva společnosti V.J.Rousek.....	50
Obr. č. 16 - Blokové schéma přístroje GA-60 [15]	52
Obr. č. 17 - Kotel KTP 20.....	61

6 Seznam tabulek

Tab. č. 1 - Příklady zařazení bio paliv na základě obchodních forem a vlastností [6]	7
Tab. č. 2 - Základní vlastnosti surovin pro kompostování [8].....	10
Tab. č. 3 - Přehled zpracovaných bioodpadů pro energetický kompost [8]	15
Tab. č. 4 - Jakostní znaky paliva kompostu pro energetické využití [8]	16
Tab. č. 5 - Další typové znaky kompostu pro energetické využití [8].....	16
Tab. č. 6 - Minimální emisní požadavky na spalovací zdroje na tuhá paliva dle zák. č. 201/2012 Sb. při uvedení zařízení na trh 1. 1. 2014 [13].....	18
Tab. č. 7 - Minimální emisní požadavky na spalovací zdroje na tuhá paliva o jmenovitém příkonu do 300 kW dle příl. 10, zák. č. 201/2012 Sb. při uvedení zařízení na trh od 1. 1. 2018 [13].....	19
Tab. č. 8 - Požadavky na kvalitu výlisků z biomasy pro spalovací stacionární zdroje [14].....	19
Tab. č. 9 - Základní vlastnosti tuhých paliv [15].....	20
Tab. č. 10 - Prvkové složení tuhých paliv [15].....	20
Tab. č. 11 - Příklad tavících poměrů popele [19]	25
Tab. č. 12 - Základní parametry biopaliv [15].....	26
Tab. č. 13 - Příklad emisí síry pro tuhá paliva [26]	28
Tab. č. 14 – Naměřené hodnoty prvkového složení pro kompost Farmář A.....	37
Tab. č. 15 – Naměřené hodnoty analýzy prvkového složení pro kompost Farmář B.....	37
Tab. č. 16 - Složení dle prvkového rozboru pro všechny vzorky	38
Tab. č. 17 - Spalné teplo, výhřevnost a parametry hmotnostního spalování pro všechny vzorky	42
Tab. č. 18 - Vyjádření jednotlivých složek spalin v %	43
Tab. č. 19 - Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN EN 150 17225-1 pro dusík v % [6]	43
Tab. č. 20 - Zařazení vzorků dle obsahu dusíku dle ČSN	44
Tab. č. 21 - Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN EN ISO 17 225-1 pro síru v % [6]	44

Tab. č. 22 - Zařazení vzorků dle obsahu síry dle ČSN	44
Tab. č. 23 - Požadavky na kvalitu výlisků z biomasy dle vyhlášky 415/2012 sb. - výhřevnost ..	45
Tab. č. 24 - Specifikace vlastností biopaliv podle normy ČSN EN ISO 17 225-1 pro vodu [6].	46
Tab. č. 25 - Zařazení vzorků dle obsahu vody a popele dle ČSN EN ISO 17 225-1.....	46
Tab. č. 26 - Požadavky na kvalitu výlisků z biomasy dle vyhlášky 415/2012 sb. - obsah vody.	46
Tab. č. 27 - Požadavky na kvalitu výlisků z biomasy dle vyhlášky 415/2012 sb. - obsah popele	47
Tab. č. 28 - Obsah prchavé a neprchavé hořlaviny vzorků.....	47
Tab. č. 29 - Hmotnostní tok paliv přiváděného do spalovacího prostoru.....	48
Tab. č. 30 - Tepelně-technické parametry kamen V.J.Rousek	49
Tab. č. 31 - Přehled převodníků analyzátoru GA-60 [15]	50
Tab. č. 32 - Výsledné emisní parametry při spalování kompostu farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1	55
Tab. č. 33 - Výsledné emisní parametry při spalování energetického kompostu Energo.....	57
Tab. č. 34 - Výsledné emisní parametry při spalování palivového dřeva.....	59
Tab. č. 35 - Technické parametry kotle KTP 20.....	61
Tab. č. 36 - Výsledky ekonomické analýzy.....	63
Tab. č. 37 - Limity obsahu rizikových prvků pro energetický kompost.....	V
Tab. č. 38 - Měřicí zařízení pro kontrolu kompostovacího procesu [8]	VI
Tab. č. 39 - Sledované parametry kompostovacího procesu [8].....	VI

7 Seznam grafů

Graf. č. 1 - Minimální požadované účinnosti kotlů, porovnání požadavků EN 303-5:1999 , EN 303-5:2012 a 15A B-VG:2012 [12].....	18
Graf. č. 2 - Závislost oxidu uhelnatého a uhličitého na součiniteli přebytku vzduchu při spalování kompostu farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1	56
Graf. č. 3 - Závislost oxidů dusíku a teploty spalin na součiniteli přebytku vzduchu při spalování kompostu Farmář s palivovým dřevem v poměru 1:1	56
Graf. č. 4 - Závislost oxidu uhelnatého a uhličitého na součiniteli přebytku vzduchu při spalování energetického kompostu	58
Graf. č. 5 - Závislost oxidů dusíku a teploty spalin na součiniteli přebytku vzduchu při spalování energetického kompostu	58
Graf. č. 6 - Závislost oxidu uhelnatého a uhličitého na součiniteli přebytku vzduchu při spalování palivového dřeva.....	60
Graf. č. 7 - Závislost oxidů dusíku a teploty spalin na součiniteli přebytku vzduchu při spalování palivového dřeva.....	60
Graf. č. 8 - Počet topných dnů pro České Budějovice 2014/2015 [35]	IX

8 Zdroje a seznam použité literatury

- [1] Tadeáš Ochodek, Jan Koloničný, Pavel Janásek: Potenciál Biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z Biomasy [online]. VŠB - Technická univerzita Ostrava [cit. 2016-01-05]. Dostupné z: www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka1.pdf
- [2] VOLÁKOVÁ Pavlína: Prvkové složení biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-09-08 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/prvkove-slozeni-biomasy>. ISSN: 1801-2655.
- [3] Plíštil, D.; Malat'ák, J.: Utilize Residual Biomass from Agricultural Produce. In: International Conference – Collection of Abstracts, Science and Research - Tools of Global Development Strategy, Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of engineering 2004, s. 36, ISBN 80-213-1187-8
- [4] HUTLA, Petr: Tuhá biopaliva z místních zdrojů. *Biom.cz* [online]. 2010-11-01 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/tuha-biopaliva-z-mistnich-zdroju>. ISSN: 1801-2655.
- [5] Plíštil, D.; Malat'ák, J.: New Trend in Compacting Energy Herbage. In: International Conference of Science: Technical Instruments and Technological Procedures of Processing Primary Commodities for Food Industry and Rational Assessing of the Waste Products, DTEB, TF, CUA Prague 2004, s. 67-70, ISBN 80-213-1177-0
- [6] ČSN EN ISO 17225-1: *Tuhá Biopaliva - Specifikace a třídy paliv*. Leden 2015.
- [7] HABART, Jan: Komposty – významný článek využití odpadů a zajištění půdní úrodnosti . Racionální použití hnojiv - sborník z konference, ISBN 978-80-213-2006-2
- [8] *MOŽNOSTI ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ KOMPOSTŮ A SEPARÁTŮ Z ANAEROBNÍHO ZPRACOVÁNÍ BIOMASY: VÚZT, v.v.i. Praha* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2014/081.pdf
- [9] VÁŇA, Jaroslav, UŠŤAK, Sergej: Biologicky dosoušená biomasa na bázi bioodpadů jako palivo pro biokotelny a bioelektrárny. *Biom.cz* [online]. 2011-05-30 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biologicky-dosousena-biomasa-na-bazi-bioodpadu-jako-palivo-pro-biokotelny-a-bioelektrarny>. ISSN: 1801-2655
- [10] Ing. Jiří Souček, Ph.D.: *Jak využít teplo ukryté v kompostu* [online]. Praha VÚZT [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://energie21.cz/jak-vyuzit-teplo-ukryte-v-kompostu/>
- [11] Roy Amitava, Souček Jiří, Plíva Petr, Hanč Aleš: *Energetické využití kompostů*. VÚZT Praha

- [12] *Vytápění TZB-INFO CZ: Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě* [online]. 2013 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9665-jake-parametry-musi-splnit-kotle-na-tuha-paliva-legislativa-v-cr-a-evrope>
- [13] Zákon č. 201/2012 Sb. *o ochraně ovzduší*. Česko. 2012.
- [14] Vyhláška 415/2012 Sb. *O přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší*.
- [15] MALAŤÁK, Jan, Petr JEVIČ a Petr VACULÍK. *Účinné využití tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek*. První. Praha: Powerprint s.r.o., 2010. ISBN 978-80-87415-02-3.
- [16] Malaťák, J.; Vaculík, P: *Biomasa pro výrobu energie*. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 206 s., ISBN: 978-80-213-1810-6
- [17] Drake, P. F.: *Effect of Air Seidl on the Completeness of Combustion*. Jnl. Ind. Fuel, 1963, č. 272, s. 389-390
- [18] Trnobranský, K.: *Energetické využití dřevních odpadů spalováním a zplyňováním*. Topenářství a instalace, 1996, č. 2, 51 s.
- [19] *Ing. Jan Malaťák, Ph.D.: Přednáška - Spalování tuhých paliv a spalovací zařízení* [online]. Praha ČZU [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: odpady.tf.czu.cz/p/spalpevpal.pdf
- [20] Jevič, P.; Hutla, P.; Šedivá, Z.: *Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů*. VÚZT, v.v.i., Praha 2008, 132 s., ISBN: 978-80-86-884-42-4
- [21] *Sochorová Hana: ÚVOD DO LÉKAŘSKÉ BIOFYZIKY* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: projekty.osu.cz/svp/opory/LF_Sochorova_Uvod-do-biofyziky.pdf
- [22] Herčík M. : *Ochrana životního prostředí a legislativa*. Ostrava, 2004. 158 s., ISBN: 80-86764-05-2
- [23] Herčík M., Lapčík, V., Obroučka, K.: *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. Skriptum VŠB, 1995. 240 s. ISBN: 80-7078-255-2
- [24] Grunwald, A.: *Voda a ovzduší 20*. ČVUT Praha, Praha 1999, 206 s., ISBN: 80-01-01241-7
- [25] ARNIKA (RNDr. Jindřich Petrlík, Ing. Petr Válek): *Oxidy síry* [online]. [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: <http://arnika.org/oxidy-siry>
- [26] *Vytápění TZB-INFO.cz: Biomasa a uhlí v kotlích malých výkonů* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11527-biomasa-a-uhli-v-kotlich-malych-vykonu>
- [27] ARNIKA (Ing. Milan Havel, Ing. Petr Válek): *Oxid uhelnatý* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://arnika.org/oxid-uhelnaty>

- [28] ARNIKA (*Mgr. Ladislav Kleger, Ing. Petr Válek*): *oxid uhličitý* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://arnika.org/oxid-uhlicity>
- [29] Herčík M.: *Životní prostředí - úvod do studia*. Ostrava VŠB-TUO, 1996. 134 s., ISBN: 80-7078-340-0
- [30] ARNIKA: *O dioxinech* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://arnika.org/o-dioxinech-12>
- [31] ARNIKA: *oxidy dusíku* [online]. [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://arnika.org/oxidy-dusiku>
- [32] *Vytápění TZB-INFO.CZ: Kotle 2. část* [online]. [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/8438-kotle-2-cast>
- [33] *Vytápění TZB-INFO.CZ: Kotle 1. část* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/8382-kotle-1-cast>
- [34] *Paliva Mareš: Hnědé uhlí* [online]. [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://paliva-mares.cz/hnede-uhli>
- [35] *Český hydrometeorologický ústav: Otopná sezona* [online]. [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/otopna-sezona>
- [36] *TZB info: Výpočet topných dní* [online]. [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu?stanice=7>

PŘÍLOHA I

Klasifikace původu a zdrojů tuhých biopaliv pro Dřevní biomasu [6]

Tabulka 1 – Klasifikace původu a zdrojů tuhých biopaliv

1	Dřevní biomasa	1.1 Lesní, plantážové a jiné původní dřevo	1.1.1 Celé stromy bez kořenů	1.1.1.1 Listnaté
				1.1.1.2 Jehličnaté
				1.1.1.3 Rychle rostoucí dřeviny
				1.1.1.4 Křoviny
				1.1.1.5 Homogenní směsi a směsi
			1.1.2 Celé stromy s kořeny	1.1.2.1 Listnaté
				1.1.2.2 Jehličnaté
				1.1.2.3 Rychle rostoucí dřeviny
				1.1.2.4 Křoviny
				1.1.2.5 Homogenní směsi a směsi
			1.1.3 Kmenové dřevo	1.1.3.1 Listnaté s kůrou
				1.1.3.2 Jehličnaté s kůrou
				1.1.3.3 Listnaté bez kůry
				1.1.3.4 Jehličnaté bez kůry
				1.1.3.5 Homogenní směsi a směsi
			1.1.4 Zbytky po těžbě dřeva	1.1.4.1 Čerstvé/zelené, listnaté (včetně listů)
				1.1.4.2 Čerstvé/zelené, jehličnaté (včetně jehličí)
				1.1.4.3 Skladované, listnaté
	1.1.4.4 Skladované, jehličnaté			
	1.1.4.5 Homogenní směsi a směsi			
	1.1.5 Pařezy/kořeny	1.1.5.1 Listnaté		
		1.1.5.2 Jehličnaté		
		1.1.5.3 Rychle rostoucí dřeviny		
		1.1.5.4 Křoviny		
		1.1.5.5 Homogenní směsi a směsi		
	1.1.6 Kůra (z lesních prací)			
	1.1.7 Vydělené dřevo z péče o krajinu ze zahrad, parků, údržby silnic, vinohradů, ovocných sadů a naplavené dřevo ze sladkých vod			
	1.1.8 Homogenní směsi a směsi			
	1.2 Vedlejší produkty a zbytky z dřevozpracujícího průmyslu	1.2.1 Chemicky neupravené vedlejší dřevní produkty a zbytky	1.2.1.1 Listnaté s kůrou	
			1.2.1.2 Jehličnaté s kůrou	
			1.2.1.3 Listnaté bez kůry	
			1.2.1.4 Jehličnaté bez kůry	
			1.2.1.5 Kůra (z průmyslového zpracování)	
1.2.1.6 Homogenní směsi a směsi				
1.2.2 Chemicky upravené vedlejší dřevní produkty, zbytky, vlákna a dřevní složky		1.2.2.1 Bez kůry		
		1.2.2.2 S kůrou		
		1.2.2.3 Kůra (z průmyslového zpracování)		
		1.2.2.4 Vlákna a dřevní složky		
1.2.3 Homogenní směsi a směsi				
1.3 Použité dřevo		1.3.1 Chemicky neupravené použité dřevo	1.3.1.1 Bez kůry	
	1.3.1.2 S kůrou			
	1.3.1.3 Kůra			
	1.3.2 Chemicky upravené použité dřevo	1.3.2.1 Bez kůry		
		1.3.2.2 S kůrou		
		1.3.2.3 Kůra		
	1.3.3 Homogenní směsi a směsi			
1.4 Homogenní směsi a směsi				

PŘÍLOHA II

Specifikace vlastností briket [6]

Tabulka 3 – Specifikace vlastností briket

Základní tabulka	
Původ: Podle 6.1 a tabulky 1	Dřevní biomasa (1); Bylinná biomasa (2); Ovocná biomasa (3); Vodní biomasa (4); Homogenní směsi a směsi (5).
Obchodní forma (viz tabulka 2)	Briketa
Rozměry (mm)	
Průměr (D) a délka (L)	
Průměr, výška, šířka a délka musí být uvedeny L ₁ délka, L ₂ šířka, L ₃ výška Určí se tvar podle obrázku 2, např. 1 nebo 2 atd.	<p style="text-align: center;">L Délka D Průměr</p> <p style="text-align: center;">Obrázek 2 – Příklady briket</p>
Voda, M (w-%, původní) ISO 18134-1 ^{NP2} , ISO 18134-2 ^{NP3}	
M10	≤ 10 %
M12	≤ 12 %
M15	≤ 15 %
Popel, A (w-%, bezvodý stav) ISO 18122 ^{NP4}	
A0.5	≤ 0,5 %
A0.7	≤ 0,7 %
A1.0	≤ 1,0 %
A1.5	≤ 1,5 %
A2.0	≤ 2,0 %
A3.0	≤ 3,0 %
A5.0	≤ 5,0 %
A7.0	≤ 7,0 %
A10.0	≤ 10,0 %
A10.0+	> 10,0 % (uvede se maximální hodnota)
Hustota částice, DE (g/cm ³ , původní) ISO 18847 ^{NP5}	
DE0.8	≥ 0,8 g/cm ³
DE0.9	≥ 0,9 g/cm ³
DE1.0	≥ 1,0 g/cm ³
DE1.1	≥ 1,1 g/cm ³
DE1.2+	> 1,2 g/cm ³ (uvede se maximální hodnota)
Přísady ^a (w-% slisované hmoty)	Musí být uveden druh a obsah pomocných lisovacích prostředků, inhibitorů struskování nebo jakýchkoliv dalších přísad.
Výhřevnost, Q (MJ/kg nebo kWh/kg původní) ISO 18125 ^{NP6}	Uvede se minimální hodnota ^b

Základní tabulka		
Normativní / informativní	Mechanická odolnost, DU (w-% briket po zkoušení) ISO 17831-2 ^{NP7)}	
	DU95.0	≥ 95,0 %
	DU90.0	≥ 90,0 %
	DU90.0-	< 90,0 % (uveďte se minimální hodnota)
	Dusík, N (w-%, bezvodý stav) ISO 16948 ^{NP8)}	
	N0.2	≤ 0,2 %
	N0.3	≤ 0,3 %
	N0.5	≤ 0,5 %
	N0.7	≤ 0,7 %
	N1.0	≤ 1,0 %
N1.5	≤ 1,5 %	
N2.0	≤ 2,0 %	
N3.0	≤ 3,0 %	
N3.0+	> 3,0 % (uveďte se maximální hodnota)	
Síra, S (w-%, bezvodý stav) ISO 16994 ^{NP9)}		
S0.02	≤ 0,02 %	
S0.03	≤ 0,03 %	
S0.04	≤ 0,04 %	
S0.05	≤ 0,05 %	
S0.08	≤ 0,08 %	
S0.10	≤ 0,10 %	
S0.20	≤ 0,20 %	
S0.20+	> 0,20 % (uveďte se maximální hodnota)	
Chlor, Cl (w-%, bezvodý stav) ISO 16994 ^{NP9)}		
Cl0.01	≤ 0,01 %	
Cl0.02	≤ 0,02 %	
Cl0.03	≤ 0,03 %	
Cl0.07	≤ 0,07 %	
Cl0.10	≤ 0,10 %	
Cl0.20	≤ 0,20 %	
Cl0.30	≤ 0,30 %	
Cl0.30+	> 0,30 % (uveďte se maximální hodnota)	
Fixní uhlík, C^c (w-%, bezvodý stav)		
Uvede se maximální hodnota.		
Prchavá hořlavina, VM (w-%, bezvodý stav) ISO 18123 ^{NP10)}		
Uvede se maximální hodnota.		
Infor- ma- tivní	Tavitelnost popela^d (°C) CEN/TS 15370-1 ^[4]	Měla by se uvést.

^a Maximální množství přísad je 20 w-% slisované hmoty. Druh uvedený jako chemická látka (např. škrob, kukuřičná moučka, bramborová moučka, rostlinný olej, lignin). Jestliže se použije větší množství, potom je tato surovina pro brikety homogenní směsí.

^b Minimální hodnota pro torefikované nebo jinak tepelně upravené brikety z biomasy je obvykle ≥ 18 MJ/kg.

^c Fixní uhlík (%) se vypočítá takto: 100 – [obsah vody (w-%) + popel (w-%) + prchavá hořlavina (w-%)]. Všechna procenta jsou na stejném stavu vlhkosti paliva.

^d Zvláštní pozornost by měla být věnována stanovení tavitelnosti popela u některých paliv z biomasy, např. eukalypt, topol, rychle rostoucí dřeviny, sláma, ozdobnice čínská a pecky z oliv. Doporučuje se uvést všechny charakteristické teploty (počáteční teplota smrštění (SST), teplota deformace (DT), teplota polokulovitého tvaru (HT) a teplota tečení (FT)) za oxidačních podmínek.

PŘÍLOHA III

Základní pojmy v oblasti kompostování

Kompostování – je aerobní proces, při kterém dochází činností mikroorganismů a makroorganismů při přístupu vzduchu k přeměně využitelného bioodpadu na stabilizovaný výstup (kompost).

Biochemická aerobní stabilizace – změny fyzikálně-chemických vlastností vstupních surovin v základce, způsobené činností mikroorganismů, při kterých jsou rozložitelné a nestabilní látky přeměněny do stabilní formy.

Devitalizace mikroorganismů – usmrcování životních forem mikroorganismů.

Aerobní termofilní fermentace – procesy rozkladu a přeměny biomasy působením mikroorganismů za přístupu vzdušného kyslíku, probíhá při 50 – 70 °C, hlavním produktem je fermentát (=čerstvý kompost), procesy probíhají zpravidla ve specializovaných zařízeních umožňující řízení a intenzifikaci procesů.

Biologicky rozložitelné odpady – zbytky z výroby, zpracování či spotřeby biomasy vhodné ke zpracování kompostováním nebo využitím v bioplynových stanicích. [8]

PŘÍLOHA IV

Maximální přípustné limity obsahu rizikových prvků pro energetický kompost. [8]

Tab. č. 37 - Limity obsahu rizikových prvků pro energetický kompost

Prvek	Značka	Maximální hodnota v mg na 1 kg sušiny
Arsen	As	50
Kadmium	Cd	13
Chrom	Cr	1000
Měď	Cu	1200
Rtuť	Hg	10
Molybden	Mo	25
Nikl	Ni	200
Olovo	Pb	500
Zinek	Zn	3000

PŘÍLOHA V

Měřicí zařízení a zkoušení [8]

Měřicí zařízení používaná pro kontrolu kompostovacího procesu jsou uvedeny v tabulce. č. 38. Kontrola přesnosti a kalibrace měřících zařízení se provádí dle doporučení výrobců měřidel.

Tab. č. 38 - Měřicí zařízení pro kontrolu kompostovacího procesu [8]

Zařízení	Umístění	Četnost měření
Surovinová a expediční hmotnostní váha	Externí	každá dodávka a expedice
Dávkovací váha	výrobní hala	při zakládce
Měření teploty	měřicí tyče	průběžné při fermentaci
Měření teploty	přenosné měřidlo	dle potřeby

Měření a zkoušení vzorků se provádí obecně ve třech základních fázích: vstupních, procesních (výrobních) a výstupních. Sledované parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. č. 39).

Tab. č. 39 - Sledované parametry kompostovacího procesu [8]

Zkouška	Četnost	Sledované parametry
vstupní	každá nová partie	vlhkost, těžké kovy, C:N
výrobní	dle potřeby	vlhkost, pH
výstupní	každá partie	vlhkost, popeloviny, výhřevnost, těžké kovy, hygienizace, C:N

PŘÍLOHA VI

Základní pojmy ze zákona č. 201/2012 Sb., o ovzduší

Základní pojmy v oblasti emisních limitů při provozování spalovacích stacionárních zdrojů definuje zákon č. 201/2012 Sb., o ovzduší:

Palivo – tuhý, kapalný či plynný hořlavý materiál určený ke spalování ve zdrojích znečišťování za účelem získání jeho energetického obsahu splňující požadavky zvláštního právního předpisu.

Spalování – technologický proces, při kterém je oxidováno palivo za účelem získání tepla. Ke spalování patří také technologické operace s ním související, pokud se vykonávají přímo u zdroje znečišťování, v němž spalování probíhá. Příkladem technologické operace je např. úprava paliva, zachycování znečišťujících látek, odvod odpadních plynů do ovzduší, měření a regulace.

Spoluspalování paliva – proces, při kterém je v zařízení spalováno současně či střídavě nebo více druhů paliv.

Spalovací stacionární zdroj znečišťování ovzduší – zařízení spalovacích technologických procesů, ve kterém oxidují paliva za účelem využití uvolněného tepla.

Emise – Uvolňování jedné nebo více znečišťujících látek do životního prostředí.

Emisní limit – nejvýše přípustné množství znečišťující látky nebo skupiny znečišťujících látek nebo pachových látek, vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování ovzduší. Vyjadřuje se jako hmotnostní koncentrace znečišťující látky v odpadních plynech nebo hmotnostní tok znečišťující látky za jednotku času nebo hmotnost znečišťující látky vztažená na jednotku produkce nebo lidské činnosti nebo jako počet pachových jednotek na jednotku objemu nebo jako počet částic znečišťující látky na jednotku objemu.

Imise – znečištění ovzduší vyjádřené hmotnostní koncentrací znečišťující látky nebo skupiny znečišťujících látek.

Imisní limit – hodnota nejvýše přípustné úrovně znečištění ovzduší vyjádřená v jednotkách hmotnosti na jednotku objemu při normální teplotě a tlaku [13]

PŘÍLOHA VII

Ztráty kotle

Účinnost spalovacího zařízení lze stanovit dvěma způsoby. Přímá metoda určuje účinnost na základě porovnání reálné využití odcházející energie ze spalovacího zařízení s energií vloženou. Druhou možností je nepřímá metoda spočívající v určení tepelných ztrát kotle. Tepelné ztráty mohou být následující:

- ztráta hořlavinou v tuhém zbytku - způsobena obsahem uhlíku ve škváře, strusce, popílku ve spalinách nebo roštovým propadem
- ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků - nevyužitě teplo odcházejících tuhých zbytků
- ztráta hořlavinou ve spalinách - je dána chemickou nedokonalostí spalování a projevuje se obsahem CO, H₂ a C_xH_y ve spalinách
- ztráta fyzickým teplem spalin - je dána tepelnou energií odcházející v plynných spalinách a je to největší ztráta kotlů; nazývá se také jako tzv. komínová ztráta
- ztráta sdílením tepla do okolí - teplo unikající pláštěm kotle do okolí. [33]

PŘÍLOHA VIII

Na základě vyhlášky Ministerstva obchodu a průmyslu začíná otopné období každý rok na území ČR 1. září a končí 31. května. Dodávka tepelné energie v otopném období začíná, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušné lokalitě klesne pod +13 °C ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13 °C pro následující den. Vytápění se omezí nebo přeruší v otopném období tehdy, jestliže průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě vystoupí nad +13 °C ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. Při následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod +13 °C se vytápění obnoví. [35]

Počet topných dní souvisí s geografickou polohou. Pro tuto analýzu byla zvolena poloha České Budějovice – Rožnov. Dle dat TZB-Info.cz bylo v otopné sezoně 2014/2015 pro meteorologickou stanici České Budějovice – Rožnov (396 m n. m.) **229** topných dnů. V této ekonomické analýze se bude počítat se stejným počtem dnů. Byl zvolen průměrný počet provozních hodin na šest hodin. Na následujícím grafu (Graf č. 8) je počet topných dní v jednotlivých měsících otopné sezony 2014/2015. Oranžová barva označuje počet topných dní pro lokalitu České Budějovice v sezoně 2014/2015 a barva modrá ukazuje dlouhodobý průměr pro Praha – Karlov od roku 1961-1990. [36]

Graf č. 8 - Počet topných dnů pro České Budějovice 2014/2015 [35]

