

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VLIV ÚPRAVY VZORKŮ NA CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI BIOPALIVA

EFFECT OF SAMPLE TREATMENT ON BIOFUEL CHARACTERISTICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tereza Zlevorová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Hana Lisá, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: Tereza Zlevorová
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: Ing. Hana Lisá, Ph.D.
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vliv úpravy vzorků na charakteristické vlastnosti biopaliva

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vlastnosti paliva jako je výhřevnost a obsah prchavé hořlaviny jsou důležitými v procesu spalování a zplyňování. Při úpravě vzorků může dojít k výraznému ovlivnění hodnot těchto veličin. Práce experimentálně sleduje, v jakém rozsahu ovlivňuje zpracování vzorku sledované vlastnosti různých druhů paliv.

Cíle bakalářské práce:

Stručná rešerše metod úpravy vzorků.
Nalezení vhodných postupů stanovení vybraných vlastností biopaliv.
Sledování změny vlastností biopaliv v závislosti na úpravě vzorků.
Zhodnocení experimentálně zjištěných výsledků.

Seznam doporučené literatury:

WICHTERLE, Kamil a Ivan KOUTNÍK. Technologie a analýza paliv: studijní opora. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3574-7.

OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Pavel JANÁSEK. Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy: studie v rámci projektu Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1207-X.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je experimentální řešení problematiky zabývající se vlivem úpravy vzorku na vlastnosti biopaliv. Teoretický úvod zahrnuje rozdělení biopaliv, vysvětluje jednotlivé vlastnosti a popisuje metody k jejich určení. Dále se věnuje úpravám vzorku s širším zaměřením na mletí. Následující experimentální část zkoumá základní vlastnosti čtyř materiálů před a po mletí na vysokorychlostním rotorovém mlýnu za použití různě jemných sít. Vlastnosti byly určovány pomocí normovaných metod. Pro určení vlhkosti byla zvolena metoda gravimetrická. V práci jsou popsány jednotlivé postupy a výpočty. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách a zpracovány v grafech.

Klíčová slova

vlastnosti biopaliv, mletí, rotorový mlýn

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is experimental solution of the problem focused on the effect of sample treatment on biofuel characteristics. The theoretical introduction includes biofuel classification, explanation of each biofuels' trait and description of methods used to their determination. It continues with sample preparation with broader focus on milling. The following experimental part examines basic traits of four materials before and after milling on high-speed rotor mill using multiple sieves of varying fineness. The traits were determined using normalised methods. For determination of moisture had been selected gravimetric method. In this thesis, there is described every procedure and following calculations. The results are stated in tables and processed in graphs.

Key words

properties of biofuels, milling, rotor mill

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZLEVOROVÁ, Tereza. *Vliv úpravy vzorků na charakteristické vlastnosti biopaliva* [online]. Brno, 2020. 44 s [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124419>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Ing. Hana Lisá, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv úpravy vzorků na charakteristické vlastnosti biopaliva vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 22. května 2020

Tereza Zlevorová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Haně Lisé, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Teoretická část.....	12
1.1 Biopaliva – vznik a dělení	12
1.1.1 Biopaliva první generace.....	12
1.1.2 Biopaliva druhé generace	12
1.1.3 Biopaliva třetí generace.....	12
1.2 Vlastnosti biopaliv	13
1.2.1 Obsah vody – vlhkost.....	13
1.2.2 Obsah prchavé hořlaviny.....	14
1.2.3 Výhřevnost a spalné teplo	15
1.2.4 Obsah popela.....	16
1.3 Příprava vzorku.....	18
1.3.1 Dělicí metody	18
1.3.2 Mletí	19
2 Experimentální část	21
2.1 Materiály	21
2.2 Přístroje a pomůcky	22
2.3 Postupy.....	23
2.3.1 Mletí	23
2.3.2 Obsah vody – vlhkost.....	23
2.3.3 Obsah prchavé hořlaviny.....	24
2.3.4 Obsah popeloviny.....	24
2.4 Vyhodnocení výsledků	24
2.4.1 Katrán	25
2.4.2 Žito	26
2.4.3 Amarant.....	27
2.4.4 Len.....	28
2.4.5 Srovnání materiálů	29
ZÁVĚR.....	31
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	32
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	37
SEZNAM OBRÁZKŮ	38
SEZNAM TABULEK	39
SEZNAM PŘÍLOH	40

ÚVOD

V dnešní době hojně využívaná biopaliva jsou jedním z důležitých zdrojů energie, který však stále zůstává předmětem dalšího zkoumání. Aby byla co nejefektivněji využita, je důležité znát jejich základní vlastnosti, stejně jako chápat jejich chování po mechanických či chemických úpravách. Podle požadavků a výsledných očekávání je možné přizpůsobit volbu biopaliva danému spalovacímu zařízení, což vede ke zlepšení celého procesu.

Jednou z nejdůležitějších vlastností tuhých biopaliv je vlhkost. Obsah vody ve vzorku totiž ovlivňuje ostatní vlastnosti, jako je obsah prchavé hořlaviny, popeloviny nebo výhřevnosti a spalného tepla. Pro určení vlhkosti vzorků se využívá metod přímých, kam patří například metoda gravimetrická nebo destilační, a metod nepřímých, které jsou založeny na měření jiné fyzikální veličiny, z níž se pak vlhkost dopočítává. Výhodou nepřímých metod je, že nedochází k porušení materiálu, jsou méně časově náročné, ale také méně přesné. Podle norem se ostatní vlastnosti určují ze změny hmotnosti po žíhání a spalování v pecích. Výhřevnost lze zjistit spálením vzorku v kalorimetru a spalné teplo následně dopočítat. Obecně lze tvrdit, že úbytek vlhkosti má pozitivní vliv na zbylé vlastnosti.

Vlastnosti mohou být ovlivňovány také mechanickými úpravami, jako je například mletí. Při použití vysokorychlostního mlýnu v rotoru roste teplota, která může způsobit odpařování vody ze vzorku, což vyvolá změnu vlastností závislých na vlhkosti. Růst teploty a odpařování vody je však závislé na dalších aspektech, například na chemickém složení vzorku, jeho původu nebo homogenitě, případně délce mletí, rychlosti otáček, nebo dokonce jemnosti síta.

1 Teoretická část

1.1 Biopaliva – vznik a dělení

Biopaliva jsou příkladem obnovitelného zdroje energie. Na rozdíl od jiných paliv, jako je například uhlí, jejich produkce netrvá miliony let, ale odehrává se v kratších časových intervalech. Základem je biomasa, kterou lze získat cíleným pěstováním nebo využitím organických odpadů. Cílená produkce biomasy znamená pěstování nejen olejnin (př. řepka olejka), ale také cukrové řepy, obilí, brambor nebo dřevin (topoly, olše). Organické odpady lze chápat jako zbytky ze zemědělské výroby (sláma), ze zpracování dřeva (kůra, hoblina, větve, kořeny), ale také z živočišné výroby (exkrementy, zbytky krmiv).

První dělení biopaliv je podle použité biomasy a technologie zpracování. Lze rozlišit biopaliva první, druhé a třetí generace. [1; 2]

1.1.1 Biopaliva první generace

K výrobě biopaliv první generace se používají olejnaté plodiny (řepka olejka, palmový olej, olej ze sóji). Olej se získává lisováním semenek a následnou reakcí s alkoholem (transesterifikace). Výsledkem této reakce je bionafta. Druhý způsob výroby biopaliv první generace je z plodin obsahující cukr nebo škrob (brambory, cukrová třtina, kukuřice). Fermentací a destilací cukru pak vzniká bioethanol. [1]

Biopaliva první generace bývají kritizována kvůli produkci plodin, která často nahrazuje produkci potravin, kvůli používání chemikálií, nebo kvůli nahrazování přírodních systémů (lesy, pastviny) plantážemi pro energetické plodiny. [3]

1.1.2 Biopaliva druhé generace

Ekonomicky výhodnější jsou biopaliva druhé generace. Fermentací lignocelulosových surovin (sláma, dřevo, rostlinný odpad) vzniká bioethanol, nebo zplyňováním bioplyn, který se dále využívá při výrobě syntetické nafty. Dalším příkladem biopaliv druhé generace je bioropa, která vzniká hydrotermickým zpracováním zemědělských odpadů.

Obecně jsou biopaliva druhé generace ekonomicky i ekologicky výhodnější, protože zpracovávají odpady, a tedy není nutné pěstovat plodiny, jako je cukrová třtina nebo kukuřice, primárně kvůli energetickému využití. [1]

1.1.3 Biopaliva třetí generace

Biopaliva třetí generace jsou výsledkem transesterifikace lipidů, podobné jako u biopaliv první generace. V tomto případě se lipidy extrahují z řasové biomasy. Pěstování řas přináší několik výhod, jako je rychlejší produkce biomasy oproti lignocelulosovým surovinám, spotřebovávání oxidu uhličitého, nebo že nevyžadují zemědělské plochy, které by mohly sloužit k pěstování potravinářských surovin, a mohou růst i na odpadních vodách. Na druhou stranu potřebují velké množství vody, které nemůže většina zemí nabídnout, a celý proces je ekonomicky náročný. [4; 5]

Kromě dělení podle generací lze biopaliva dělit také podle skupenství na pevná, sem patří štěpka, pelety, sláma; kapalná – bionafta, biooleje a plynná – bioplyn.

1.2 Vlastnosti biopaliv

1.2.1 Obsah vody – vlhkost

Obsah vody v biopalivech je proměnný v závislosti na okolním prostředí, teplotě, vlhkosti vzduchu. Je prokázáno, že s úbytkem obsahu vody se zlepšují další vlastnosti biopaliv, jako je obsah popela, výhřevnost nebo spalné teplo. Zároveň velké množství obsažené vody při teplotě nižší, než je teplota rosného bodu, může způsobit koroze kotle. Proto se často začíná sušením, ať už v peci nebo ekonomicky výhodnějším sušením na vzduchu. Vlhkost v biopalivech ovlivňuje voda chemicky vázaná, vázaná (hygroskopická) a voda volná (kapilární), z nichž největší význam má voda vázaná. [6]

Existuje více metod pro určení vlhkosti, které se dělí na přímé a nepřímé. Přímé jsou založeny na oddělení vody a pevné fáze. Řeč je o metodě gravimetrické a destilační. Nepřímé pak k určení využívají odezvu chemických reakcí, pohlcení magnetických rezonancí, rentgenových záření a měření dalších vlastností jako je elektrický odpor. [6; 7]

Destilační metoda

Pro oddělení vody v kapalných biopalivech může být využito destilování s rozpouštědlem xylenem. V destilační baňce je smíchané biopalivo s rozpouštědlem zahříváno, voda se začne odpařovat a v chladiči kondenzuje spolu s párou xylenem. V destilační předloze je nachystán nasycený xylen. Kape do něj kondenzovaná voda, která se díky její větší hustotě usadí na dně předlohy. Jakmile bude xylen v předloze čirý, končí i destilace a je možné změřit množství odpařené vody.

Tato metoda je velice přesná. Protože dochází k úbytku vody v původním vzorku, je to metoda destruktivní a může být použita jen pro malá množství. [6]

Sušení v sušárně

Podle normy ČSN EN ISO 18134-1 je možné stanovit úbytek vody při sušení vzorku v sušárně na plechu. Vzorek musí mít minimálně 300 g a jeho horní nominální rozměr nesmí být větší jak 31,5 mm. Samotný plech a poté i plech se vzorkem musí být před sušením přesně zvážen. K metodě také potřebujeme tzv. referenční plech, což je čistý prázdný plech, ze kterého pak určíme korekci vztlaku. I ten musí být zvážen. Poté jsou oba vloženy do sušárny a vzduchem o teplotě $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ zahřívány až to konstantní hmotnosti vzorku. Ještě horké plechy musí být znovu zváženy. Obsah vody se pak vypočítá podle rovnice [8]

$$M_{ad} = \frac{(m'_2 - m'_3) - (m_4 - m_5)}{(m'_2 - m'_1)} * 100 \quad (1.1)$$

kde je

M_{ad}	hmotnostní zlomek vyjadřující obsah vody ve vzorku, v %
m'_1	hmotnost prázdného plechu [g]
m'_2	hmotnost plechu se vzorkem před sušením [g]
m'_3	hmotnost plechu se vzorkem po sušení [g]
m_4	hmotnost referenčního plechu před sušením [g]
m_5	hmotnost referenčního plechu po sušení [g]

Existuje i zjednodušená forma této metody. Je jí možné najít v normě ČSN EN 18134-2. Požadavky na velikost a množství zůstávají stejné, nemění se ani princip, ale zanedbává se korekce vztlaku, tudíž není vůbec potřeba referenčního plechu. Korekce zohledňovala změnu hmotnosti plechu vlivem teploty, proto tato zjednodušená forma bude snazší, ale za to méně přesná. [9]

Gravimetrická metoda

Mezi váhové metody vedle sušení v sušárně patří také velmi přesná, časově náročná metoda gravimetrická. Princip, který zpracovává norma ČSN EN ISO 18134-3, je obdobný k principu sušení v sušárně, ale velkým rozdílem jsou rozměry a množství zkoumaného vzorku. Horní nominální rozměr nemůže přesáhnout 1 mm a ke zkoumání je nutný alespoň 1 g vzorku. Další rozdíl nastává při vážení po sušení. Zatímco v dříve zmíněné metodě se plechy vážily ještě horké, zde se kelímek váží až ochlazený na laboratorní teplotu.

Nejprve se čistá suchá váženka s víčkem zváží a rovnoměrně se do ní rozprostře zkoumaný materiál. I s víčkem se znovu zváží. V sušárně za dané teploty (105 ± 2) °C se nepřekrytá váženka se vzorkem suší až do konstantní hmotnosti, která je daná tak, že změna hmotnosti mezi jedním a druhým opakováním sušení není větší jak 0,1 mg. Musí tedy být po celou dobu sušení opakovaně vážena. Jakmile se dosáhne konstantní hmotnosti, váženka je vytažena ze sušárny, přikryta víčkem a přenesena do exsikátoru, kde se ochladí na laboratorní teplotu. Následuje rychlé zvážení celé váženky a výpočet vlhkosti. [10]

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} * 100 \quad (1.2)$$

kde je

M_{ad}	hmotnostní zlomek vyjadřující obsah vody ve vzorku, v %
m_1	hmotnost prázdného kelímku a víčka [g]
m_2	hmotnost kelímku se surovým vzorkem a víčkem [g]
m_3	hmotnost kelímku se vzorkem a víčkem na konci metody [g]

Nepřímé metody

Oproti metodám přímým, které mají destrukční charakter, nepřímé metody způsobují jen slabé porušení materiálu a jsou výhodnými také kvůli malé časové náročnosti nebo snadnému používání. Nevýhodou může být nižší přesnost přístrojů, v případě objemnějších vzorků, cena zařízení a nutná kalibrace pro jednotlivé materiály, takže neschopnost přesně měřit materiály nehomogenní. [6]

Odporové měření

Přístroje pro odporové měření vycházejí z toho, že s větším obsahem vody se odpor snižuje. Pomocí sondy se měří odpor, který je následně pro zjištění množství obsažené vody přepočítáván. Metoda je rychlá, ale kvůli elektrickým vlastnostem, které se pro různé materiály liší, ji nelze použít v případě nehomogenního vzorku.

Podobně funguje i kapacitní měření s tím rozdílem, že se neměří proměnný odpor, ale elektrická permitivita. [7]

1.2.2 Obsah prchavé hořlaviny

Při hoření biopaliv nejprve dochází k úbytku vody, tedy vysušení. Poté se začnou uvolňovat hořlavé plyny, které jsou nazývány prchavou hořlavinou. Hořlavina se vedle prchavé (plynné) formy vyskytuje také ve formě neprchavé, která zůstává v tuhém stavu. Snadno spálená prchavá hořlavina uvolňuje velké množství tepla, které dopomáhá k hoření neprchavé hořlaviny, k čemuž dochází na povrchu paliva. V ideálním případě se kompletně spálí obě složky hořlaviny a uvolní se maximální množství energie, ke spálení neprchavé hořlaviny ale dochází při vysokých teplotách, proto se může stát, že nevyužitá odejde se spaliny. [11]

Metoda pro určení podílu prchavé hořlaviny v tuhých biopalivech je normalizovaná podle ČSN EN ISO 18 123. Nejprve musí být stojan s kelímky a víčky vložen do pece, kde bude po dobu $7 \text{ min} \pm 5 \text{ s}$ při teplotě (900 ± 10) °C. V exsikátoru ochlazené kelímky zpět

na laboratorní teplotu se i s víčky zváží a naplní vzorkem. Klepáním o pracovní desku se zajistí, že bude vzorek na dně zavřeného kelímku rovnoměrně rozprostřen. Kelímek se vzorkem se na stojanu znovu vloží do pece s teplotou $(900 \pm 10)^\circ\text{C}$ na $7 \text{ min} \pm 5 \text{ s}$. Po vytažení z pece se kelímek chladí 5 až 10 min na vzduchu. Na úplné ochlazení na laboratorní teplotu se vloží do exsikátoru, aby nedošlo ke změně vlhkosti. Následuje poslední přesné zvážení kelímku se vzorkem a víčkem. Dosazením zjištěných hmotností se získá hodnota podílu prchavé hořlaviny V_d . Množství prchavé hořlaviny lze získat z výpočtu pro surový vzorek, nebo pro bezvodý. [12]

Výpočet pro surový vzorek

$$V_{d1} = \frac{100 * (m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} - M_{ad} \quad (1.3)$$

Výpočet pro bezvodý vzorek

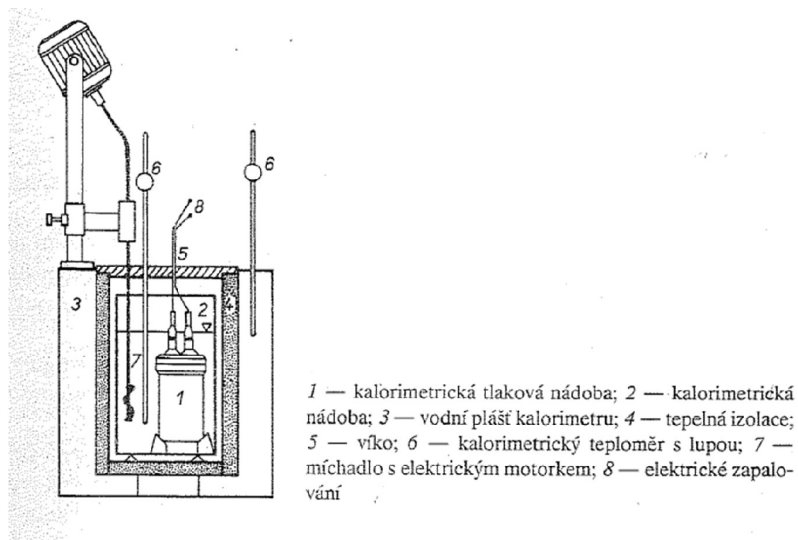
$$V_{d2} = \left[\frac{100 * (m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} - M_{ad} \right] * \left(\frac{100}{100 - M_{ad}} \right) \quad (1.4)$$

kde je

m_1	hmotnost prázdného kelímku a víčka [g]
m_2	hmotnost kelímku se surovým vzorkem a víčkem [g]
m_3	hmotnost kelímku se vzorkem a víčkem na konci metody [g]
M_{ad}	hmotnostní zlomek vyjadřující obsah vody ve vzorku, v %

1.2.3 Výhřevnost a spalné teplo

Nejdůležitějšími vlastnostmi pro využití biomasy jsou spalné teplo a výhřevnost. Spalné teplo představuje energii, která se uvolní při dokonalém spálení jednotky váhy paliva (např. 1 kg). Voda, která se při pálení vypaří, následným ochlazením spalin na 20°C kondenzuje, tedy zůstává v kapalném stavu. [13]



Obr. 1.1: Kalorimetr pro tuhá paliva [14]

Podobně jako spalné teplo i výhřevnost vyjadřuje uvolněnou energii při dokonalém spálení 1 kg paliva s tím rozdílem, že se voda vypaří, tedy nezůstává v kapalném stavu a odchází se spalinami. Hodnota výhřevnosti je pak menší než hodnota spalného tepla o výparné

teplo vody. Lze ji určit výpočtem podle normy ČSN EN ISO 18125. K výpočtu je nutné znát hodnotu spalného tepla, kterou je možno určit ze změny teploty v kalorimetru.

Spálení probíhá v kalorimetrické tlakové nádobě o daných rozměrech, v jejímž víku jsou zavedeny elektrody, které vyvolají hoření. Tato tlaková nádoba je umístěna ve větší kalorimetrické nádobě naplněné vodou. Kalorimetrická nádoba je obehnaná vzduchem, tepelnou izolací a vodním pláštěm. Další důležité části jsou míchadlo, teploměry a víko na uzavření pláště. Základní části kalorimetru je možné vidět na obrázku (obr. 1.1) na předchozí straně.

V průběhu hoření dochází pravidelným promícháním vody v kalorimetrické nádobě k vyrovnání teploty, která se každou minutu kontroluje. Měření končí po dokonalém spálení celého množství paliva. Spalné teplo se vypočítá ze vztahu [15]

$$Q_n = \frac{C * (D_t - K) - \sum c}{m_2} \quad (1.5)$$

kde je

Q_n	spalné teplo [J/kg]
C	tepelná kapacita kalorimetrického systému [J/K]
$D_t = t_n - t_0$	celkový vzestup teploty [K]
t_n	konečná teplota hlavního úseku [°C]
t_0	počáteční teplota hlavního úseku [°C]
K	oprava na výměnu tepla s okolní atmosférou [K]
$\sum c$	součet oprav zvyšujících teplotu kalorimetrického systému [J]

Hodnoty oprav c a K lze určit ze vztahů, které uvádí profesor Miroslav Rédr v knize *Základy tepelné techniky*. [16]

Následný výpočet výhřevnosti z hodnoty spalného tepla se pro různá biopaliva může lišit, proto se často počítá se vzorcem uvedeným ve studii *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy* od Tadeáše Ochodka. [7]

$$Q_n = Q_i - 2,453 * (w + 8,94 * H_2) \quad (1.6)$$

kde je

Q_i	výhřevnost [MJ/kg]
w	vlhkost paliva [kg/kg]
H_2	obsah vodíku v palivu [kg/kg]

1.2.4 Obsah popela

Popelovina spolu s hořlavinou a vodou jsou hlavními složkami paliv. Hořlavina je zdrojem energie, kdežto z popeloviny se energie uvolňuje spolu se vznikajícím popelem, který pak zůstává ve spalovacích zařízeních. Složení popeloviny i výsledného popela závisí, jak na složení použitého paliva a teplotě, které se při hoření dosáhne, tak na půdě, ze které biomasa, použitá na výrobu biopaliva, pochází. Může být ovlivněna ovzduším (nachytání prachu), druhem hnojiva, ale i obsahem vody. Díky metodě pro stanovení obsahu popela, uvedené v normě ČSN EN ISO 18122, může být určeno množství usazeného popela a tím zajištěna správná volba paliva pro dané zařízení z hlediska snazšího odstraňování, ochraně zařízení proti korozi, zamezení spékání a další. Při volbě také jsou zohledněny dopady na životní prostředí a ekonomiku. [17; 18; 7]

Metoda určování obsahu popela začíná přípravou pomůcek a vzorku. Potřebná je chladná pec, vyžehnaný a následně ochlazený prázdný zvážený kelímek a navážený přesné množství promíchaného vzorku. Poté je vzorek rovnoměrně rozprostřen na dno kelímku, který se vloží

do pece. Postupným ohříváním nejprve na teplotu 250 °C pak na (550 ± 10) °C se vzorek spálí a v kelímku zůstane popel. Znovu ochlazený kelímek i s popelem se zváží a pomocí výpočtu se určí hmotnostní zlomek A_d popisující obsah popela. Stejně jako pro výpočet prchavé hořlaviny i teď je možné provést výpočet pro surový a bezvodý vzorek. [19]

Výpočet pro surový vzorek

$$A_{d1} = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} * 100 \quad (1.7)$$

Výpočet pro bezvodý vzorek

$$A_{d2} = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} * 100 * \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (1.8)$$

kde je

m_1	hmotnost prázdného kelímku a víčka [g]
m_2	hmotnost kelímku se surovým vzorkem a víčkem [g]
m_3	hmotnost kelímku se vzorkem a víčkem na konci metody [g]
M_{ad}	hmotnostní zlomek vyjadřující obsah vody ve vzorku, v %

1.3 Příprava vzorku

Analýze vzorku předchází jeho redukce na potřebnou velikost, která závisí na druhu biopaliva a homogenitě vzorku. Zkoumaný vzorek bývá daleko menší než původní, ale musí zachovávat dostatečné množství pro danou zkoušku. Minimální hmotnost závisí na horním nominálním rozměru materiálu a je uvedena v normě ČSN EN ISO 14780. U přípravy je důležité, aby odebraný vzorek zachoval původní složení a nezměnil jej ani v průběhu přípravy. Můžeme rozlišit dva druhy přípravy - dělení vzorku, kdy zachováme velikost částic, a redukci, př. drcení a mletí. U některých metod si musíme dát pozor například na změnu vlhkosti; může totiž dojít k úniku vody. Přípravy vzorku jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 14780. Jsou zde představeny metody, které se zdají zřejmé, jako použití sekyry, drtiče či pily, ale také použití střížních mlýnů, rotačních, příhradových děličů, nebo kvartace pro sypké materiály. V rámci této bakalářské práce budeme zkoumat změnu vlastností po mletí. [20]

Každému kroku při přípravě vzorku by mělo předcházet promíchání, aby mohl odebraný vzorek reprezentovat celý materiál. Máme-li promíchanou směs o vyšší hmotnosti, než dovoluje norma, použijeme jednu z dělicích metod. [21]

1.3.1 Dělicí metody

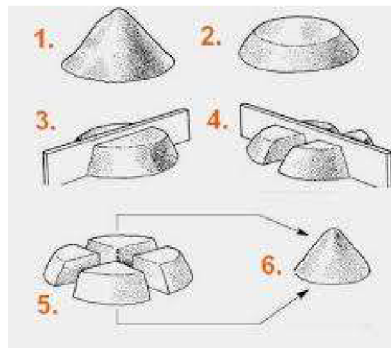
Rotační dělič

Pro dělení sypkých materiálů se používá rotační dělič. Materiál sypeme do kuželovité nádoby, ze které padá do daného počtu otvorů s nádobkami na výsledné vzorky. Díky konstantní rychlosti otáčení získáme v každé nádobě stejné množství reprezentativního vzorku. Výhodou použití rotačních děličů je větší množství získaných vzorků, přesnost dělení a snadné používání i mimo laboratoř. [21]

Kvartace

Kvartace je příprava sypkého, nebo drceného materiálu, která dále zachovává jeho vlastnosti. Pomocí lopaty materiál navršíme do tvaru kužele tak, že každou lopatu sypeme úplně na vrchol. Postup tvoření kužele opakujeme třikrát, aby došlo k dokonalému promíchání materiálu a tedy každá jeho část mohla být považována za reprezentativní. Kužel svisle rozdělíme na čtyři stejné díly. Následně promícháním dvou protilehlých částí získáme menší vzorek. Pokud je pořad velký, postup můžeme několikrát opakovat.

Tato metoda je vhodná pro štěpku a piliny, nevhodná pak pro materiál, jehož částice by se mohly odkutálet. [21]



Obr. 1.2: Kvartace [22]

Příhradový dělič

Přístroj pro metodu žlábkování. Materiál se rovnoměrně rozprostře do nádoby kolmé na několik žlábků. Norma uvádí použití alespoň šesti. Jak bude rovnoměrně rozprostřen, pomalu se vysype do žlábků, aniž by se s první nádobou hýbalo. Po dosypání celého množství náhodně vybereme jednu drážku a její obsah považujeme za reprezentativní vzorek.

Metodu žlábkování nemůžeme použít pro dělení vlhkých materiálů, docházelo by ke slepování. [21]

Směšovací pás

Materiál se rovnoměrně rozprostře na tvrdý čistý pás, který nemůže nijak ovlivnit vlastnosti vzorku, a dvěma deskami svisle spuštěnými kolmo na pás vymežíme část, jejíž obsah je našim dílčím vzorkem.

Jakmile máme přesnou hmotnost, přecházíme k dalším krokům přípravy. Pracujeme-li s materiálem o vyšší vlhkosti, musíme jej předsušit. To se provádí v sušárnách při teplotách nepřevyšujících 40 °C, nebo rozprostřením na sušícím plechu, který ponecháme v laboratoři na 24 hodin. [21]

Pokud k analýze potřebujeme vzorek o jemnějších částicích, přichází na řadu redukční metody. Zda má vzorek správně velké částice, zjistíme jeho přesypáním na síto, které zadrží hrubou složku, jemnou pustí. Hrubá složka se mletím zjemní, přidá se zpět a promíchá s jemnou. Pokud chceme ještě jemnější vzorek, použijeme menší síto a celý postup opakujeme. Po každém mletí musíme zkontrolovat mlýn, jestli v něm nezůstaly nepomleté části, které bychom museli zjemnit ručně. [21]

1.3.2 Mletí

Metoda, při níž je vzorek rotujícím mechanismem drcen na menší části, se nazývá mletí. Vzorek je nejen jemnější ale díky rotacím i promícháný. Mlýny mohou využívat nože, hrubé ozubené disky, soustavu prstenců, kuliček, případně i vibrace. Podle mechanismu rozlišujeme více druhů mlýnů, podstata mletí však zůstává stejná. Volba mlýnu záleží na zkoumaném materiálu, jeho tvrdosti, na tom, jak jemný vzorek chceme získat nebo jak kvalitní má být.

Diskový mlýn

Pro středně tvrdé a křehké materiály je vhodné použít diskový mlýn. Skládá se ze dvou hrubých (příp. ozubených) disků, kde jeden je nehybný a druhý se točí. Tlak mezi disky drtí materiál na výslednou velikost, která je daná mezerou mezi nimi. Podle konstrukce můžou být disky položeny vodorovně na sobě, nebo postaveny svisle proti sobě. V prvním případě může být materiál přisypáván otvorem ve středu horního kotouče, poté rotací odváděn ke kraji, kde opustí disky už s požadovanou velikostí. Druhý případ (obr. 1.3) se liší pouze tím, že materiál sypeme do svislé násypky, která jej přivádí do středu stacionárního disku, princip drcení pak zůstává stejný. [23]



Obr. 1.3: Diskový mlýn [24]



Obr. 1.4: Planetový mlýn [25]

Vibrační diskový mlýn

Mlecí sada, která obsahuje vnější nádobu, prsteneц a jádro, je postavena na vibrující desce. Rotace a horizontální vibrace způsobují, že odstředivá síla působící na jádro a prsteneц zvýší tlak, kterým je drcen materiál mezi nimi. U tohoto typu mlýnů už není tak důležitá rychlost nebo výkon motoru, který systém pohání, ale přenos sil mezi jednotlivými částmi. Výhodou vibračních mlýnů je extrémně rychlé mletí a možnost použití i pro tvrdší materiály než obyčejný diskový mlýn. [26; 27]

Planetový mlýn

Základem planetového mlýnu je miska obsahující sadu kuliček a přístroj, ve kterém bude rotovat (obr. 1.4). Mletí je založeno na složeném pohybu dvou rotací, miska rotuje kolem středu přístroje jedním směrem a kolem vlastní osy směrem opačným. Důsledkem tohoto složeného pohybu je vznik Coriolisova zrychlení, které spolu s odstředivými zrychleními, zvýší rychlost kuliček uvnitř. Nárazy kuliček o sebe a o stěnu misky drtí materiál velmi efektivně a rychle. Kromě rychlosti je velkou výhodou také mletí až do nano rozměrů. [28; 29]

Rotorový mlýn

Materiál je sypan svislou násypkou přímo do středu mlýnu a rotorem o vysoké rychlosti drcen. Jemné části propadávají kruhovým sítím okolo rotoru do spodní nádoby, v případě většího množství do sběrného pytlíku, kde je proudem vzduchu ochlazován. Velikost výsledného materiálu je daná velikostí ok síta. Mlýn může být napojen na vibrační podavač, který umožňuje postupné doplňování materiálu do násypky. [30]



Obr. 1.5: Rotorový mlýn Pulverisette 14 [31] **Obr. 1.6:** Příslušenství k rotorovému mlýnu [32]

Rotor je tvořen standardně dvanácti, ale také osmi nebo dvaceti čtyřmi zuby uspořádanými do kruhu. Počet zubů závisí na původní velikosti částic mletého materiálu. Osmizubý rotor se používá pro materiál o částicích <25 mm, ale také k předmetlání, dvanáctizubý pro částice <15 mm a dvaceti čtyřzubý pro částice menší jak 5 mm.

K dispozici jsou dva typy sít z nerez: s lichoběžníkovými nebo s kruhovými otvory. Velikost děr určuje výslednou velikost částic materiálu. V případě, že nevyužijeme síto, musíme do mlýna vložit náhradu, která zajistí správnou vzdálenost. Mlýn funguje správně jen v případě, správného sestavení všech jeho částí. Jestliže jednu vynecháme, hrozí špatné provedení mletí, zničení mlýna, při nejhorším může dojít k úrazu.

Vstupními zadávanými hodnotami jsou rychlost mletí a čas, které můžeme měnit na displeji. Zároveň kontrolkami můžeme sledovat teplotu a množství materiálu v mlýnu.

Mletí je ovlivňováno více faktory, jako je rychlost, chlazení, mletý materiál, velikost ok síta. Vyšší rychlosti způsobí zvýšení teploty, ale také zkrátí čas mletí. Důležitost chlazení je dokázána vyšší životností mlýnu a kvalitou mletí. Velikost děr ovlivňuje nejen velikost výsledných částic, ale také délku mletí (jemnější mletí je pomalejší).

Tento typ mlýnu je ideální i pro materiály citlivější na teplotu, protože umožňuje snadné chlazení. Často se používá pro měkké až středně tvrdé materiály. [33; 30]

2 Experimentální část

V teoretické části byly přestaveny základní vlastnosti biopaliv. Bylo dokázáno, že většinu z nich ovlivňuje vlhkost, tedy množství vody obsažené ve vzorku. Proto se dalo očekávat, že vysokorychlostní mletí, při kterém vlivem vysoké teploty v rotoru dojde k úniku vody ve formě páry, bude mít vliv na jednotlivé vlastnosti. Úkolem bylo při dodržování postupů z norem změřit vlhkost, popelovinu a prchavou hořlavinu surového materiálu. Následně byl materiál pomlet na rotorovém mlýnu za použití sít alespoň čtyř různých velikostí. Nakonec byly změřeny vlastnosti i pomletých vzorků a výsledky zhodnotit.

2.1 Materiály

Jako biopaliva se nejčastěji používají olejniny, tedy suroviny obsahující větší procento oleje, proto nesmí chybět ani v této práci. Většina si hned představí řepku olejku, zde však byly zkoumány materiály méně tradiční.

Prvním materiálem byl katrán etiopský (v horní misce na obr. 2.4), olejnina pocházející ze severoafrických plání. Semínka katránů jsou malé kuličky zelenohnědé barvy, které obsahují až 35 % oleje. K experimentu byly použity semínka z Výzkumného ústavu pícninářského, Troubsko (dále jen VÚP Troubsko). [34]

Další olejinou byl len setý (obr. 2.1). V tomto případě byl zkoumán lněný odpad po sklizni semene, tzn. celá rostlina. Len setý pochází z jihovýchodní Asie. Olejnatá semínka našla již dávno uplatnění v kosmetickém průmyslu, zbytek rostlin se však začal spalovat, a tak se len stal energetickou plodinou. Stejně jako katrán i zkoumaný len pochází z VÚP Troubsko. [35]

Aby nebyly zkoumány jen olejniny, dalším materiálem byl amarant neboli laskavec (obr. 2.2). Zvláštností amarantu je vysoký obsah škrobu a minerálů, proto se zrna této obiloviny často využívají k výrobě bezlepkové mouky. Celý amarant pak může sloužit jako krmivo pro zvířata. Pro tento experiment byl použit odpad ze sklizně semen (celá rostlina) z VÚ Holice. [36; 37]

Posledním materiálem tohoto experimentu byla další obilovina – žito lesní (neboli žito trsnaté, obr. 2.3). Jak už název napovídá, žito lesní je snadné na pěstování i mezi pařezy, na místech zničených těžbou dřeva. Vyznačuje se velmi pevnou a dlouhou slámou s drobným zrnem. Pro experiment byly vybrány zrna žita lesního z VÚP Troubsko. [38; 39]



Obr. 2.1: Len

Obr. 2.2: Amarant

Obr. 2.3: Žito



Obr. 2.4: Katrán

2.2 Přístroje a pomůcky

- Při experimentu byla využita sada plechů, kelímků a víček různých velikostí, které se musely před každou metodou vyžít, případně vysušit.
- Exsikátor, ve kterém byly uchovávány vyžítané kelímky, aby nenasály vlhkost z okolí. Jako sušící médium využívá silikagel.
- Lžičky a pinzety na nabírání materiálu.
- Rotorový mlýn Pulverisette 14 classic line německé značky Fritsch
 - o standardní rotor o 12 zubech
 - o nastavitelná rychlostí mezi 6000 a 20 000 ot/min
 - o příkon 1150 W [40]
- Síta do mlýna o velikostech 2 mm, 1,5 mm a 0,5 mm.
- Čtyřmístné analytické váhy Ohaus EP 114 Explorer Pro
 - o maximální hmotnost vzorku 110 g
 - o Umožňují vážit předměty ochlazené pod 40 °C.
- Laboratorní sušárna Venticell 111, komfortní linie
 - o využívá cirkulace vzduchu k homogennímu rozložení a udržování teploty 105 ± 2 °C
 - o Objem komory je 111 litrů.
- Muflová žíhací pec LAC 15/12 - pro zjišťování obsahu popeloviny
 - o programovatelný regulátor HtIndustry (Ht205)
 - o maximální ohřátí na teplotu 1200 °C, doporučená teplota 700 - 1150 °C
 - o objem pece 15 l
 - o příkon 3500 W [41]
- Muflová žíhací pec LM 312.11, MLW Elektro – k určení prchavé hořlaviny
 - o maximální teplota 1200 °C
 - o analogový regulátor
 - o příkon 2,9 kW
- Byly použity ochranné pomůcky nutné z hlediska bezpečnosti práce: laboratorní plášť, brýle, rukavice.

2.3 Postupy

2.3.1 Mletí

Nejprve bylo za potřeby vložit do mlýnu všechny komponenty, aby fungoval správně, tzn. rotor s dvanácti noži; kolem něj síto a sběrnou misku; na misku víko. Takto připravený mlýn byl zavřen a připojen do elektrické sítě. Na displeji se nastavily otáčky 6000 s^{-1} . Při použití vyšších otáček docházelo k rychlejšímu nárůstu teploty, tedy i častějšímu připékání materiálu. Na druhou stranu nižší otáčky by znamenaly delší čas mletí. Ten se nastavil na cca 4 min. Tento čas byl pouze orientační, mletí mohlo být kdykoli zastaveno tlačítkem STOP. V průběhu mletí musela mít osoba, která mlýn obsluhovala nasazený ochranné brýle.

Tlačítkem START bylo zahájeno mletí. Lžící byl do trychtýře na krytu mlýnu sypán materiál přesně do středu rotoru. V případě, že zvuky naznačovaly, že mletí neproběhlo v pořádku, že se v rotoru materiál zasekl, popř. ucpal síto, bylo třeba mlýn zastavit a otevřít. Jiný problém mohl nastat, pokud se z mlýnu začalo kouřit. Běžně se z mlýnu prášilo, nebo unikala vlhkost. Pokud však kouř byl výraznější, nebo bylo cítit spálené, mletí muselo být zastaveno. První problém například nastával, pokud se mlel materiál o delších nebo větších rozměrech tj. sláma – namotává se do rotoru, nebo v tomto případě amarant, který je ohebný, takže větší kusy nebylo možné zmenšit rukou, musel by se nastříhat. Druhý problém pak nastával při mletí olejnin, jako byl len nebo ketrán. Asi po dvou minutách mletí bylo možné pozorovat kouř vycházející z mlýnu, který byl doprovázen charakteristickým zápachem, příčinou bylo připékání nebo úplné spálení vzorku (obr. 2.5, obr. 2.6).

Po otevření krytu byl materiál ze sběrné misky pomocí štětečku odsypán do kelímku, jelikož prošel sítím a měl tedy požadovanou velikost. Zbytek materiálu byl odstraněn z rotoru. Síto a celý mlýn byl vyčištěn. Celý postup se opakoval, dokud nebylo namletého materiálu dost k použití u všech metod. Materiál byl skladován v zavřeném kelímku, aby nebyl ovlivněn vlhkostí okolí.



Obr. 2.5: Připékání ketránu



Obr. 2.6: Spálený len

2.3.2 Obsah vody – vlhkost

K určení vlhkosti materiálu byla v experimentu využita gravimetrická metoda (uvedena v kapitole 1.2.1). Vlhkost byla určena sušením v sušárně. Nejprve však musely být vysušeny kelímky s víčkem. Ty byly následně skladovány v exsikátoru. Při manipulaci s vyžíhanými kelímky musely být nasazené gumové rukavice, aby nedošlo k ovlivnění výsledků z vlhkosti kůže. Aby byla chyba minimální, byly použity alespoň tři kelímky pro každý vzorek. Prázdné kelímky s víčky byly zváženy. Jejich hmotnost m_1 byla zapsána. Poté byly kelímky naplněny materiálem (do výšky cca 1 cm od dna kelímku) a znovu zváženy i s víčky (hmotnost m_2). Kelímky byly zavírány víčkem v momentě, kdy by vzduch okolí mohl vzorek ovlivnit,

při vkládání do sušárny bylo víčko sundáno. Kelímky s víčky byly na plechu vloženy do sušárny, kde byly minimálně 12 hodin sušeny do dosažení konstantní hmotnosti. Maximální doba sušení nepřekročila 24 hodin, aby byl zachován obsah prchavé hořlaviny. Další den bylo možné plech vytáhnout, kelímky přikrýt víčky a nechat na vzduchu chladnout. Po několika minutách bylo možné kelímky naposledy zvážit (hmotnost m_3).

Na závěr byl z hmotností vztahem (1.2) z kap. 1.2.1 dopočítán obsah vody.

2.3.3 Obsah prchavé hořlaviny

Procentuální množství prchavé hořlaviny bylo zjišťováno spálením materiálu v muflové žihací peci LM 312.11. Nejprve však procesem musely projít kónické kelímky s víčky. Protože spalování probíhalo při teplotě 900 °C, bylo důležité pohybovat se okolo pece a manipulovat s kelímky se zvýšenou opatrností. Osoba obsluhující pec měla nasazen laboratorní plášť, gumové rukavice kvůli manipulaci s kelímky a druhé ochranné rukavice kvůli vysoké teplotě. Prázdné kelímky byly i s víčky postupně vkládány kleštěmi do pece. Na stopkách byl hlídán čas 7 min \pm 5 s, což byla doba stanovená normou. Poté byly kelímky vytaženy a pokládány na porcelánovou desku, kde chladly. Jakmile bylo možné je bezpečně chytnout rukou v gumové rukavici, byly přeneseny do exsikátoru. Takové kelímky byly připraveny k použití.

Z exsikátoru byl vyjmut kelímek s víčkem a poté zvážen (hmotnost m_1). Lžičkou byl naplněn materiálem a zavřen. Znovu zvážen (m_2). Kleštěmi byl vložen do pece. Spustily se stopky, kde bylo odměřeno 7 min \pm 5 s. V mezičase bylo možné nachystat další kelímek se stejným materiálem. Stejně jako u předchozí metody i zde byly potřeba od každého materiálu alespoň tři vzorky. Po 7 min zavřený kelímek chladl na vzduchu. Jakmile byl ochlazen pod teplotu 40 °C, byl naposledy zvážen (m_3). Hraníční teplota 40 °C byla daná analytickými vahami, do nichž nebylo možné dát teplejší předmět. Hodnoty hmotností byly na závěr dosazeny do rovnic (1.3) a (1.4) v kapitole 1.2.2.

2.3.4 Obsah popeloviny

Vyžihání kelímků probíhalo jejich vložením do muflové žihací pece LAC 15/12 a nastavením programu na žihání. Další den byly po zchladnutí připraveny k použití nebo vloženy do exsikátoru se silikagelem jakožto sušicím médiem.

S prázdnými kelímky se manipulovalo v gumových rukavicích, takto bylo možné je zvážit (m_1). Následně byly lžičkou naplněny materiálem a podruhé zváženy (m_2). Opět byly zapotřebí tři vzorky od každého materiálu. Kelímky na určení popeloviny na rozdíl od předchozích metod byly větší a nepoužívalo se víčko. Pouze u spalování lnu 0,5 mm a katránu 0,5 mm byly použity kelímky menší, protože, hlavně kvůli častému připalování materiálu při mletí, nebylo možné namlet dostatečné množství této jemnosti. Do pece bylo možné vložit více kelímků zároveň, proto mohly být v jeden den spáleny všechny velikosti od daného materiálu. Na peci byl nastaven program na určování popeloviny. První ohřev trval 30 min a bylo dosaženo teploty 250 °C. Následovala výdrž na této teplotě po dobu 60 min. Druhý ohřev proběhl opět ve 30 min a z teploty 250 °C bylo dosaženo teploty 550 °C. Poté se v peci 9 hod udržovala teplota 550 °C. Další den byly kelímky vytaženy, na vzduchu zchladly a naposledy byly zváženy (m_3). Výpočet byl proveden podle teorie v kapitole 1.2.4, rovnice (1.7) a (1.8).

2.4 Vyhodnocení výsledků

Výpočty jsou demonstrovány na jednom vzorku katránu ke každé metodě. Postupně byly vypočítány hodnoty pro tři vzorky, ty jsou uvedeny v přílohách. Reprezentativní hodnoty, které jsou zaznamenány v tabulkách a grafech v následujících kapitolách, jsou rovny aritmetickým průměrům vypočítaných hodnot. Výsledky byly vyhodnoceny nejprve pro každý materiál

zvlášť. Porovnávaly se tedy hodnoty jednotlivých vlastností mezi různě namletými vzorky jednoho materiálu. Nakonec byly porovnány i materiály mezi sebou.

Výpočet vlhkosti

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} * 100 = \frac{(32,159 - 32,042)}{(32,159 - 30,335)} * 100 = 6,4 \%$$

Výpočet prchavé hořlaviny pro surový a bezvodý vzorek

$$V_{d1} = \frac{100 * (m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} - M_{ad} = \frac{100 * (23,948 - 22,553)}{(23,948 - 22,292)} - 6,405 = 77,8 \%$$

$$V_{d2} = \left[\frac{100 * (m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} - M_{ad} \right] * \left(\frac{100}{100 - M_{ad}} \right) = V_{d1} * \left(\frac{100}{100 - 6,405} \right) = 77,828 * 1,068 = 83,2 \%$$

Výpočet popeloviny pro surový a bezvodý vzorek

$$A_{d1} = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} * 100 = \frac{(42,141 - 41,866)}{(47,970 - 41,866)} * 100 = 4,5 \%$$

$$A_{d2} = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} * 100 * \frac{100}{100 - M_{ad}} = A_{d1} * \frac{100}{100 - 6,405} = 4,507 * 1,068 = 4,8 \%$$

2.4.1 Katrán

Mletí katránu bylo náročné, kvůli vysokému obsahu oleje v semínkách, docházelo totiž k častému připékání, měření však proběhlo bez jakýchkoli problémů. V příloze 1 je možné najít vypočítané hodnoty jednotlivých vzorků, následující tabulka pak uvádí reprezentativní hodnoty vytvořené aritmetickými průměry.

Tab. 2.1: Výsledky měření katránu

Materiál	$\overline{M_{ad}}$ [%]	$\overline{A_{d1}}$ [%]	$\overline{A_{d2}}$ [%]	$\overline{V_{d1}}$ [%]	$\overline{V_{d2}}$ [%]
surový katrán	6,4	4,6	4,9	77,8	83,1
katrán 2 mm	5,0	4,5	4,8	78,5	82,7
katrán 1,5 mm	3,1	4,6	4,7	80,1	82,7
katrán 0,5 mm	1,1	5,0	5,0	82,3	83,3

Olej katránu je tvořen hlavně nenasycenou kyselinou erukovou, která je velmi odolná vůči vysokým teplotám. Proto zvyšováním teploty důsledkem otáčení rotoru docházelo k odpařování vody, olej však zůstal a ze semínek se stala mazlavá hmota (obr. 2.7, obr. 2.8). Z tabulky lze pozorovat, že vlhkost závisí i na jemnosti síta. S menším sítem docházelo k rychlejšímu zahřátí, tedy i rychlejšímu připékání. Výpočet popeloviny pro surový vzorek nebyl závislý na obsahu vody, proto by se hodnoty popeloviny ($\overline{A_{d1}}$) neměly příliš lišit ani u pomletých vzorků. Pro bezvodý vzorek je pak výpočet nepřímo úměrný obsahu vody, proto s klesajícím vlhkostí roste popelovina bezvodého vzorku ($\overline{A_{d2}}$). Obsah prchavé hořlaviny v surovém vzorku, která z něj odchází, je závislý na obsahu vody, proto s klesající vlhkostí prchavá hořlavina roste. Z tabulky lze vidět, že hodnoty prchavé hořlaviny bezvodého vzorku jsou u všech vzorků srovnatelné.

Některé hodnoty nespĺňují očekávání, což může být dané například nepřesným vážením. Protože i malá odchylka u tak malé hmotnosti vzorku, může způsobit větší chybu ve výsledcích.

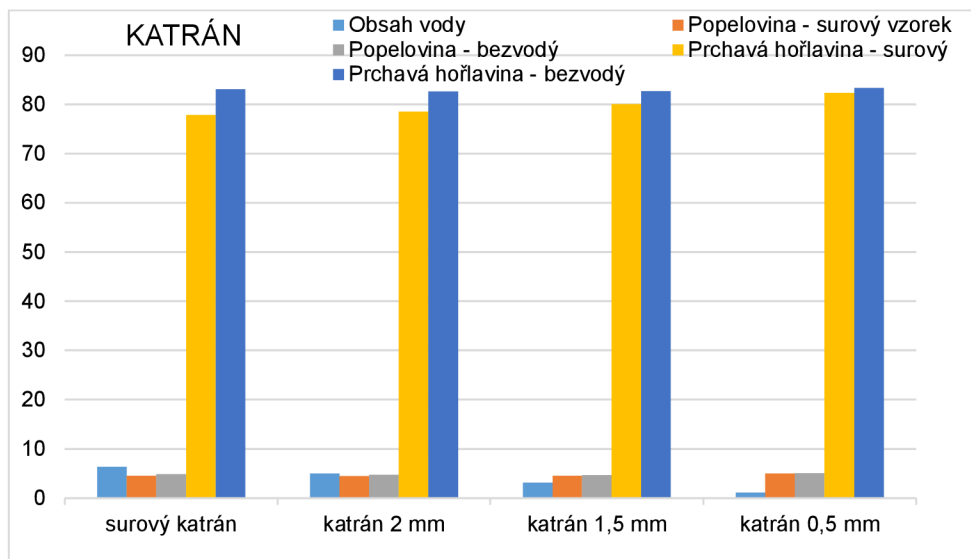
Hodnoty z tabulky 2.1 byly vykresleny v grafu (obr. 2.9). Zásadní rozdíl lze vidět na hodnotách vlhkosti, jednalo se o pokles až o 5 % mezi nejhrubším a nejjemnějším vzorkem. Mírný růst lze spatřit na sloupcích prchavé hořlaviny pro surový vzorek, který je způsoben poklesem vlhkosti.



Obr. 2.7: Katrán 1,5 mm



Obr. 2.8: Katrán 0,5 mm



Obr. 2.9: Graf katránu

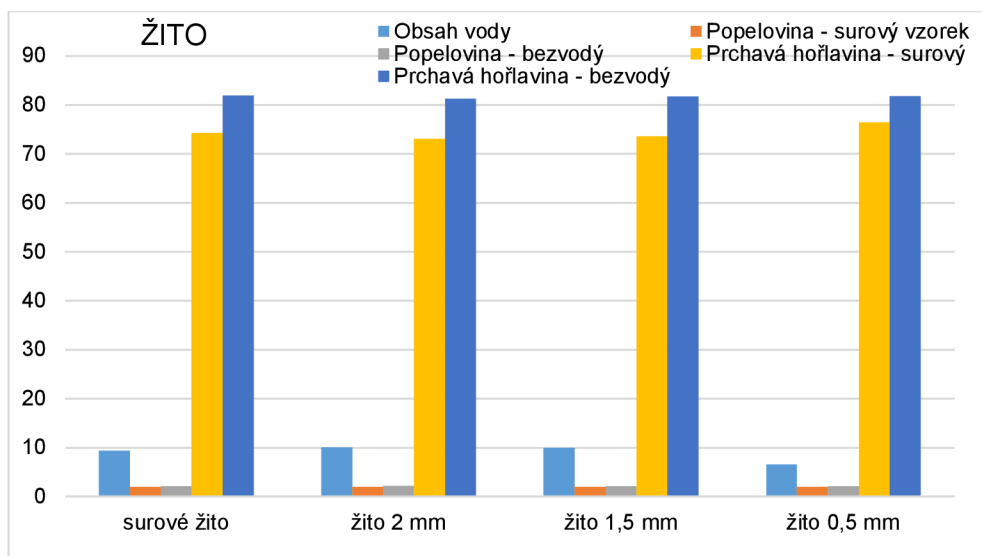
2.4.2 Žito

Mletí žita stejně jako mletí jakékoli jiné obilniny bylo bezproblémové a časově nenáročné. Oproti olejninám je žito z velké části tvořeno škrobem, který se využívá k výrobě bioethanolu. Otáčky rotoru sice zvyšovaly teplotu, ale kvůli absenci oleje se nedosahovalo tak velkých teplot, které by výrazně ovlivnily odpařování vody. Při mletí se z mlýnu tedy prášilo, ale nekouřilo.

Hodnoty vlastností, uvedené v tabulce 2.2, byly srovnatelné pro všechny velikosti síta. Největší změna vlhkosti byla pozorována pouze u nejjemnějšího síta, ostatní hodnoty byly jen minimálně ovlivněny mletím. Protože se neuvolnila vlhkost, neměnila se ani prchavá hořlavina v surovém vzorku, tedy nemohl se měnit ani obsah popela, který i pro surový i pro bezvodý vzorek zůstal stejný.

Tab. 2.2: Výsledky měření žita

Materiál	\overline{M}_{ad} [%]	\overline{A}_{d1} [%]	\overline{A}_{d2} [%]	\overline{V}_{d1} [%]	\overline{V}_{d2} [%]
surové žito	9,4	2,0	2,2	74,3	81,9
žito 2 mm	10,1	2,0	2,2	73,1	81,3
žito 1,5 mm	9,9	2,0	2,2	73,6	81,7
žito 0,5 mm	6,6	2,0	2,1	76,4	81,8



Obr. 2.10: Graf žita

Stejně jako u ktránu i zde byly hodnoty využity k sestavení grafu (obr. 2.10), který dokazuje, že pouze u mletí na nejjemnějším sítu (0,5 mm) došlo k výraznějšímu poklesu obsahu vody. V důsledku toho odešlo větší množství prchavé hořlaviny surového vzorku (\overline{V}_{d1}), což vedlo k mírnému nárůstu popeloviny (\overline{A}_{d1}). Hodnoty prchavé hořlaviny pro bezvodý vzorek byly, stejně jako v případě ktránu, jen minimálně ovlivněny mletím. I zde bylo dokázáno, že obsah popeloviny v bezvodém vzorku není závislý na vlhkosti, tzn. hodnoty se mletím nezměnily.

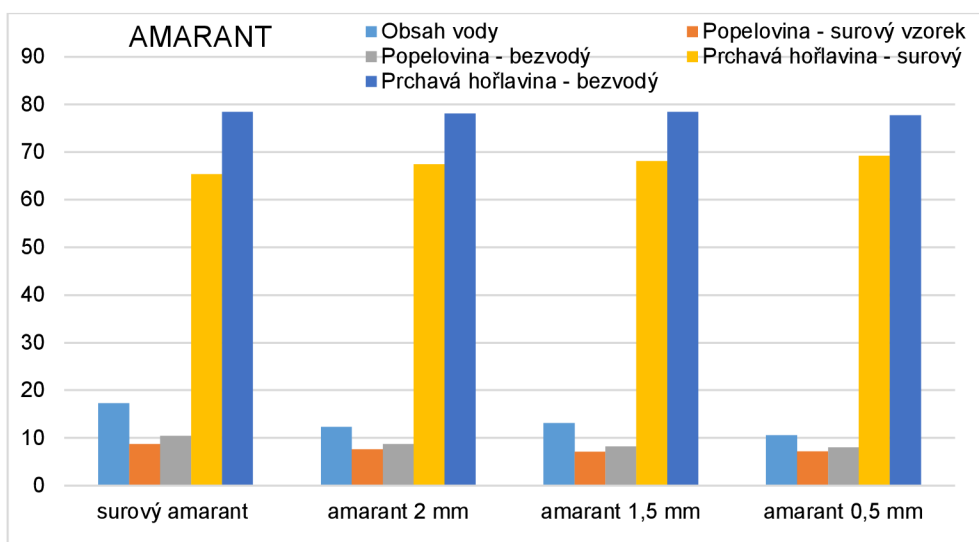
2.4.3 Amarant

Zrna amarantu obsahují i olej, zde však byla použita celá rostlina, která je z více jak 50 % tvořená škrobem, proto by se dalo očekávat podobné chování jako u žita. Náročnější mletí bylo způsobeno ohebností delších částí. Stejně jako v předchozích případech rotor zahřál mletý materiál, čímž se začala odpařovat voda a prchavé látky. Nebylo dosaženo takové teploty, aby byl materiál spálen, proto se z mlýnu nekouřilo, pouze trochu prášilo. Výsledkem mletí pak byl jemný suchý prášek.

Tab. 2.3: Výsledky měření amarantu

Material	\overline{M}_{ad} [%]	\overline{A}_{d1} [%]	\overline{A}_{d2} [%]	\overline{V}_{d1} [%]	\overline{V}_{d2} [%]
surový amarant	17,3	8,7	10,5	65,3	78,4
amarant 2 mm	12,4	7,7	8,7	67,5	78,1
amarant 1,5 mm	13,1	7,2	8,2	68,1	78,4
amarant 0,5 mm	10,6	7,2	8,0	69,2	77,8

V grafu (obr. 2.11) byly zobrazeny hodnoty z tabulky 2.3. Lze pozorovat, že při mletí na pohled suchého amarantu došlo poměrně k výraznému poklesu obsahu vody (\overline{M}_{ad}), u nejjemnějšího mletí až o necelých 7 %. Důsledkem poklesu vlhkosti byl mírný nárůst prchavé hořlaviny surového vzorku. Opět obsah prchavé hořlaviny v bezvodém vzorku (\overline{V}_{d2}) nebyl mletím výrazně ovlivněn. Na rozdíl od předchozích materiálů tady lze pozorovat pokles hodnot popeloviny pro bezvodý vzorek.



Obr. 2.11: Graf amarantu

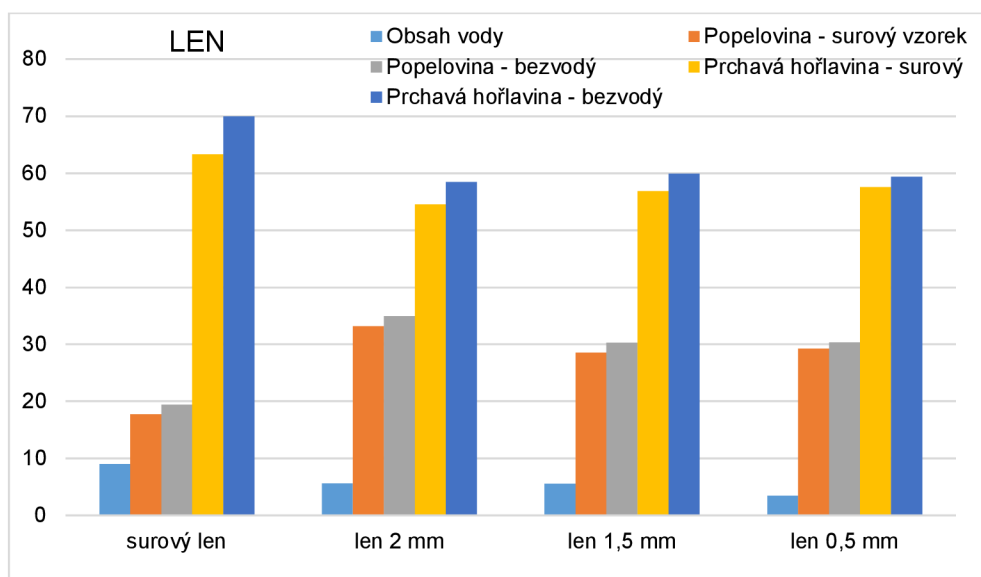
2.4.4 Len

Mletí lnu připalováním odpovídalo svým chováním mletí katránu. Stejně jako katrán obsahuje velké množství nenasycených mastných kyselin, což jej řadí mezi olejiny. Při mletí ze středu mlýnu unikalo velké množství páry, proto pokles množství vody ve vzorku byl očekávaný. Nárůst teploty v kombinaci s olejem způsobil lepivost výsledných vzorků. Pochopitelně na změnu obsahu vody reagovalo i množství prchavé hořlaviny. Překvapivě však dopadly hodnoty popeloviny. Vypočítané hodnoty byly uvedeny v tabulce 2.4 a následně zobrazeny v grafu (obr. 2.12).

Tab. 2.4: Výsledky měření lnu

Material	\overline{M}_{ad} [%]	\overline{A}_{d1} [%]	\overline{A}_{d2} [%]	\overline{V}_{d1} [%]	\overline{V}_{d2} [%]
surový len	9,0	17,8	19,5	63,3	70,0
len 2 mm	5,7	33,2	34,9	54,5	58,4
len 1,5 mm	5,5	28,6	30,3	56,8	59,9
len 0,5 mm	3,5	29,3	30,3	57,5	59,4

Hodnoty popeloviny surového lnu neodpovídají očekávání. Přestože metoda zde proběhla až pro šest vzorků, aby se minimalizovala chyba, výsledky se stále navzájem velmi lišily. Lze to vysvětlit tím, že použitý len byl silně nehomogenní. Jelikož byl použit odpad ze lnu, obsahoval jak části stonků, tak i květy a semena, přičemž v jednotlivých vzorcích nebyl kontrolován poměr částí lnu. Dalším důvodem mohlo být nepřesné měření způsobené cirkulací vzduchu v peci. Oproti lepivějším jemnějším vzorkům je surový len lehký a snadno mohl být ovlivněn proudícím vzduchem. Po dokončení sušení bylo další den nalezeno pár květů mimo použitý kelímek a nebylo možné určit, do kterého patří. Metoda byla následně opakována, ale ani tehdy hodnoty nebyly přesné, což bylo způsobeno velkou nehomogenitou vzorku.



Obr. 2.12: Graf lnu

V grafu je vidět výrazný pokles vlhkosti. Rozdíly mezi jemnějšími sítí nejsou tak výrazné, jako v porovnání se surovým materiálem. Změny v hodnotách jemnějších vzorků odpovídají očekávání: klesá vlhkost, což vede k nárůstu obsahu prchavé hořlaviny surového vzorku, přičemž obsah prchavé hořlaviny v bezvodém vzorku zůstává jen minimálně ovlivněn. Nárůst prchavé hořlaviny surového vzorku ($\overline{V_{d1}}$) měl vést k nárůstu obsahu popeloviny surového vzorku, který lze vidět pouze mezi dvěma nejjemnějšími vzorky.

2.4.5 Srovnání materiálů

V případě mletí, lze tvrdit, že chování (připékání, časová náročnost, výsledná podoba vzorku) lnu a katránu bylo shodné, stejně tak se jen málo lišilo mletí amarantu od mletí žita. Proto podle rozdělení na olejninu a zrna bylo možné předpokládat průběh mletí. U olejnin, jako je katrán nebo len, docházelo k viditelnému odpařování vody, která kondenzovala na kraji trychtýře, který vedl do středu mlýnu. Naopak u mletí amarantu či žita, zůstávala násypka do mlýna suchá, pouze se z ní prášilo. U olejnin nastával problém s rychlým a častým připékáním vzorku v rotoru a na sítu, kdežto mletí žita bylo v tomhle ohledu bez problémové. Při mletí amarantu k připékání nedocházelo, problém zde představovaly delší části, které se namotávaly na rotor.

Vlhkost vzorku se u všech materiálů s jemnějšími sítí snižovala, pouze u žita byly změny patrné až u nejmenšího průměru. Podle očekávání snižování vlhkosti způsobilo nárůst hodnot prchavé hořlaviny surového vzorku, zároveň hodnoty prchavé hořlaviny vzorku bezvodého

zůstaly u každého materiálu téměř neměnné. Tato závislost byla nejlépe pozorována na hodnotách katránu. Zvětšující se únik prchavé hořlaviny surového vzorku měl za následek růst popeloviny bezvodého vzorku. Popelovina surového vzorku ve většině případů zůstávala téměř beze změn, tzn. odpovídala vzorci, ve kterém nevystupuje závislost na vlhkosti.

Pokud by se srovnal vliv složení vzorku, pro experiment byly lepší homogenní materiály. U nehomogenního lnu by se mohlo vyzkoušet použití většího množství vzorků, které by vedlo k jasnějším výsledkům.

ZÁVĚR

V současné době roste zájem o využívání biopaliv. Využití je závislé na jejich vlastnostech, které mohou být ovlivňovány více faktory, jako je například prostředí, ze kterého pochází, mechanická a chemická úprava, nebo třeba homogenita. Jak budou biopaliva reagovat na úpravy, lze alespoň částečně očekávat. Tato práce se věnuje změnám vlastností, které jsou způsobeny mletím. Je rozdělena na část teoretickou a experimentální.

Nejprve je vysvětleno rozdělení biopaliv podle generací, z nichž jsou pro tuto práci důležité první a druhá. Třetí generace se týká řasové biomasy, která zatím představuje minimální procento produkce biopaliv. Na druhou stranu biopaliva první generace jsou běžně vyráběna. Lze je vidět v podobě žlutých řepkových lánů nebo rozsáhlých kukuřičných polí. Druhá generace spočívá ve využití rostlinného odpadu, což je ekologicky a ekonomicky méně náročné než pěstování první generace.

Správné využití biopaliv je podmíněno znalostí základních vlastností, jako je vlhkost, obsah prchavé hořlaviny, popeloviny či spalného tepla a výhřevnosti. Nejdůležitější z nich – vlhkost ovlivňuje ostatní. Při úbytku vlhkosti dochází k růstu obsahu prchavé hořlaviny surového vzorku, popeloviny i výhřevnosti, proto je vhodné paliva před spálením sušit. Prchavá hořlavina bezvodého vzorku, stejně jako popelovina bezvodého vzorku, není úbytkem vlhkosti výrazně ovlivněna. Stanovit obsah vody lze buď metodami přímými, které spočívají v oddělení vody od tuhé fáze, tzn. dojde ke zničení biopaliva např. sušením v sušárně, či destilací; nebo metodami nepřímými, které jsou založeny na měření jiných vlastností např. elektrického odporu. Metody nepřímé nemají destruktivní charakter, jsou časově méně náročné, ale také méně přesné.

Spalné teplo se dopočítává z výhřevnosti, která se měří spálením vzorku v kalorimetru. Ostatní vlastnosti se zjišťují destruktivními metodami, které spočívají ve vysušení či žíhání vzorku v pecích při normovaných teplotách a výpočtem závislým na změně hmotnosti.

Již bylo řečeno, že vlastnosti jsou ovlivňovány úpravou vzorku. Jak vzorek ovlivňuje mletí, by se dalo předpokládat: v rotoru mlýnu dochází otáčením k nárůstu teploty, což může způsobit odpaření velkého množství vody, které pak vede k nárůstu ostatních vlastností.

Experimentální část popisuje využití vysokorychlostního rotorového mlýnu značky Fritsch k namletí čtyř materiálů při použití více sít o různé jemnosti. Experiment ukázal, že olejninu reagují na mletí podle očekávání. Došlo k výraznému poklesu vlhkosti a následnému nárůstu ostatních vlastností. Na druhou stranu suché materiály, z velké části tvořeny škrobem, prokazovaly minimální až zanedbatelné změny vlhkosti, tzn. při mletí suchých materiálů nebyla teplota v rotoru dostatečně vysoká pro odpaření vody. Což znamená, že v prvním případě uvolňující se olej umocňoval nárůst teploty.

Při experimentu se dále ukázal vliv homogenity vzorku na změny vlastností. Při srovnání dvou olejnin – katránů a lnu, bylo vidět, že hodnoty homogenního katránů se s každou jemností síta měnily podle očekávání, kdežto u silně nehomogenního lnu se výsledky navzájem velmi lišily.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER, Vladimír HÖNIG a Martin CINDR. Technologie výroby biopaliv druhé generace. *Chemické listy* [online]. 2010, **104**(8) [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/1272>
- [2] PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004, 286 s. ISBN 80-86534-06-5.
- [3] PRAŽÁK, Václav. Motorová paliva a biopaliva. In: *Biom.cz* [online]. Praha: CZ Biom, c2001-2018 [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/motorova_paliva_a_biopaliva.pdf
- [4] LEE, Roland a Jean-Michel LAVOIE. From first- to third-generation biofuels: Challenges of producing a commodity from a biomass of increasing complexity. *Animal Frontiers* [online]. 2013, **3**(2), 6-11 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://doi.org/10.2527/af.2013-0010>
- [5] VANĚK, Václav. Biopaliva druhé a třetí generace. *Třipól - časopis pro studenty* [online]. [cit. 2020-02-26]. ISSN 2464-7888. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/987-biopaliva-druhe-a-treti-generace>
- [6] BALÁŠ, Marek a Jiří MOSKALÍK. Měření vlhkosti paliv. *Energie z biomasy X: sborník příspěvků ze semináře* [online]. V Brně: Vysoké učení technické, 2009 [cit. 2019-11-15]. ISBN 978-80-214-4027-2. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/mereni-vlhkosti-paliv>
- [7] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Pavel JANÁSEK. *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy: studie v rámci projektu Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1207-X.
- [8] ČSN EN ISO 18134-1. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 1: Celková voda - Referenční metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [9] ČSN EN ISO 18134-2. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 2: Celková voda - Zjednodušená metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [10] ČSN EN ISO 18134-3. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 3: Obsah vody v analytickém vzorku pro obecný rozbor*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

- [11] LYČKA, Zdeněk. Kolik kilogramů pevného paliva je zapotřebí k výrobě GJ tepla. *Topin.cz* [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/clanky/kolik-kilogramu-pevneho-paliva-je-zapotrebi-k-vyrobe-gj-tepla-detail-6786>
- [12] ČSN EN ISO 18123. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu prchavé hořlaviny*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [13] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 109 s. : obr., tabulky, grafy. ISBN 978-80-214-3955-9.
- [14] RÉDR, Miroslav a Miroslav PŘÍHODA. Kalorimetr pro tuhá paliva. *Základy tepelné techniky: celost. vysokošk. učebnice pro hutnické fakulty*. Praha: SNTL, 1991, s. 45. ISBN 80-030-0366-0.
- [15] ČSN EN ISO 18125. *Tuhá biopaliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [16] RÉDR, Miroslav a Miroslav PŘÍHODA. *Základy tepelné techniky: celost. vysokošk. učebnice pro hutnické fakulty*. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-030-0366-0.
- [17] RACLAVSKÁ, Helena, Jan FRYDRYCH a David ANDERT. Význam popelovin v travní biomase pro energetické účely. *Biom.cz* [online]. [cit. 2019-10-04]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyznam-popelovin-v-travni-biomase-pro-energeticke-ucely>
- [18] KOTLÁNOVÁ, Alice. Testování biomasy a výrobků z biomasy (pelet a briket) určených ke spalování. *Biom.cz* [online]. [cit. 2019-10-04]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/testovani-biomasy-a-vyroбку-z-biomasy-pelet-a-briket-urceny-ke-spalovani>
- [19] ČSN EN ISO 18122. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu popela*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [20] KOTLÁNOVÁ, Alice. Metody zkoušení fyzikálně-chemických vlastností tuhých biopaliv. *Biom.cz* [online]. [cit. 2019-10-06]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-zkouseni-fyzikalne-chemickych-vlastnosti-tuhych-biopaliv>
- [21] ČSN EN ISO 14780. *Tuhá biopaliva - Příprava vzorku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [22] Kvartace. In: *Stavební hmoty* [online]. Praha: Stavební fakulta ČVUT [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/SH01/SH01-2.pdf?fbclid=IwAR3URjKc6-V2ykDFoXP3-IaY27dTt5KCvtfwJxZYGk-M0g6RIV777aZt3iw>

- [23] Pulverisette 13 premium line - diskový mlýn FRITSCH. *Ilabo.cz* [online]. Kyjov: ilabo, c2011-2020 [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://www.ilabo.cz/produkty/laboratorni-mlynky/laboratorni-mlynky-fritsch-mleti-drceni-homogenizace/mlyn-diskovy/prodej-laboratorni-techniky-mleti-diskovy-mlyn-pulverisette-13-fritsch-premium-line-tft/?search=fritsch&fbclid=IwAR1MxslCUEtAj7fB8tOFMIITb42HU25RmaUKFjYV2F4x7I1f2IUAT5-eM2k>
- [24] Disc Mill DM 200, 220-230 V. In: *Preiser Scientific* [online]. Preiser Scientific, 2020 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.preiser.com/images/view.aspx?productId=17371>
- [25] Planetary ball mill – 4 x 0.1L. In: *Labmaterial.ch* [online]. Zürich: labmaterial.ch, 2020 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.labmaterial.ch/produkt/planetary-ball-mill-4-x-0-1l/?lang=en&fbclid=IwAR2xyS-nLpa61zQ7XDMhOqZskUA--CQVykuzGCevzbCILRtXMEGRAVYbelk>
- [26] In Focus: Vibrating Cup Mill PULVERISETTE 9. *Fritsch-international.com* [online]. Weimar: Fritsch, 2020 [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://www.fritsch-international.com/sample-preparation/applications-solutions/details/solution/in-focus-vibrating-cup-mill-pulverisette-9/>
- [27] Vibrating Cup Mill PULVERISETTE 9. *Fritsch-international.com* [online]. Weimar: Fritsch, 2020 [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://www.fritsch-international.com/sample-preparation/milling/disk-mills/details/product/pulverisette-9/>
- [28] FRITSCH Planetary Mills classic line. In: *Youtube* [online]. FRITSCH Milling and Sizing [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=5ShOAS3EGGU>
- [29] Planetary Ball Mill PM 100. *Retsch.com* [online]. Haan: Retsch, 2020 [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <https://www.retsch.com/products/milling/ball-mills/planetary-ball-mill-pm-100/function-features/>
- [30] Laboratory Rotor Mill Pulverisette 14. *Lavallab.com* [online]. Laval (Quebec): Laval Lab, 2018 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://lavallab.com/products/crushers/laboratory-rotor-mill/>
- [31] Pulverisette 14. In: *Fritsch* [online]. Weimar: FRITSCH Milling and Sizing, 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.fritsch-international.com/sample-preparation/milling/rotor-beater-mills/details/product/pulverisette-14-classic-line/?fbclid=IwAR07WuN5PcFaPo1Qs8CQNhIZ5sSNjzeHTzuMH-0iNIr4qS211Yvz2vCBZw>

- [32] Rotor z nerez oceli. In: *Ilabo* [online]. Kyjov, c 2011-2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: https://www.ilabo.cz/UserFiles/Image/Produkty/Fritsch/p-14_sita.jpg?fbclid=IwAR0uM_eUuHGhmXzHSFcKQVug8vrPXBVsm-TSb4updNXfmvbXsuJERlorsL8
- [33] Operating Manual variable speed rotor mill Pulverisette 14. In: *Fritsch-international.com* [online]. Weimar: Fritsch, 2020 [cit. 2019-10-22]. Dostupné z: <https://www.fritsch-international.com/services/downloads-videos/pulverisette-14-classic-line/>
- [34] LALAS, Stavros, Olga GORTZ, Vasilios ATHANASIADIS, Eftalia DOURTOGLOU a Vassilis DOURTOGLOU. Full Characterisation of Crambe abyssinica Hochst. Seed Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* [online]. 2012, **89**(12), 2253-2254 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.1007/s11746-012-2122-y. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/257656106_Full_Characterisation_of_Crambe_abyssinica_Hochst_Seed_Oil
- [35] JEŽKOVÁ, Edita. Len setý olejní (Linum usitatissimum L.). *Biom.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/len-sety-olejny-linum-usitatissimum-l>
- [36] HERZIG, Ivan, Bohumila PÍSAŘIKOVÁ, Pavel SUCHÝ a Eva STRAKOVÁ. *Nutriční a dietetická hodnota tuzemských proteinových krmiv jako alternativa sóji a sójových produktů Část III – Amarant jako alternativní proteinové krmivo* [online]. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i., 2007 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://vuzv.cz/wp-content/uploads/2018/04/Herzig-Amarant-2007.pdf>
- [37] JEŽKOVÁ, Edita. Laskavec (Amaranthus sp.). *Biom.cz* [online]. [cit. 2020-03-31]. ISSN 1801-2655.
- [38] PELIKÁN, Jan. *Metodika pěstování vybraných meziplodin na semeno v podmínkách ekologického zemědělství: uplatněná certifikovaná metodika* [online]. První. Troubsko: Zemědělský výzkum, 2013 [cit. 2020-03-31]. ISBN 978/80/905080/8/8. Dostupné z: https://aa.ecn.cz/img_upload/8d8825f1d3b154e160e6e5c97cf9b8b3/metodika_pestovani-vybranych-meziplodin-na-semeno.pdf
- [39] STŘEDA, Tomáš a Zdeněk STRAŠIL. *PĚSTOVÁNÍ ROSTLIN PRO NEPOTRAVINÁŘSKÉ ÚČELY - SPECIÁLNÍ ČÁST* [online]. První. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014 [cit. 2020-03-31]. ISBN 978-80-7509-005-8. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-pestovani_rostlin_pro_nepotravinarske_ucely_-_streda.pdf

- [40] Pulverisette 14 - rotorový rychlomlýnek. *Ilabo* [online]. Kyjov, c 2011-2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.ilabo.cz/produkty/laboratorni-mlynky/laboratorni-mlynky-fritsch-mleti-drceni-homogenizace/rotorovy-mlynek-pulverisette-fritsch/prodej-laboratorni-techniky-rotorovy-rychlomlynek-pulverisette-14-fritsch/>
- [41] Laboratorní komorová pec L. *LAC* [online]. Židlochovice: LAC, c 2000-2020 [cit. 2020-05-15].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
A_{d1}	obsah popela – surový vzorek	%
\overline{A}_{d1}	průměrná hodnota obsahu popela pro surový vzorek	%
A_{d2}	obsah popela – bezvodý vzorek	%
\overline{A}_{d2}	průměrná hodnota obsahu popela pro bezvodý vzorek	%
C	tepelná kapacita kalorimetrického systému	J/K
D_t	celkový vzestup teploty	K
H_2	obsah vodíku v palivu	kg/kg
K	oprava na výměnu tepla s okolní atmosférou	K
m_1	hmotnost prázdného kelímku a víčka	g
m'_1	hmotnost prázdného plechu	g
m_2	hmotnost kelímku se surovým vzorkem a víčkem	g
m'_2	hmotnost plechu se vzorkem před sušením	g
m_3	hmotnost kelímku se vzorkem a víčkem na konci metody	g
m'_3	hmotnost plechu se vzorkem po sušení	g
m_4	hmotnost referenčního plechu před sušením	g
m_5	hmotnost referenčního plechu po sušení	g
M_{ad}	hmotnostní zlomek vyjadřující obsah vody ve vzorku	%
\overline{M}_{ad}	průměrná hodnota hmotnostního zlomku vyjadřující obsah vody	%
Q_i	výhřevnost	MJ/kg
Q_n	spalné teplo	J/kg
t_0	počáteční teplota hlavního úseku	°C
t_n	konečná teplota hlavního úseku	°C
V_{d1}	podíl prchavé hořlaviny – surový vzorek	%
\overline{V}_{d1}	průměrná hodnota podílu prchavé hořlaviny – surový vzorek	%
V_{d2}	podíl prchavé hořlaviny – bezvodý vzorek	%
\overline{V}_{d2}	průměrná hodnota podílu prchavé hořlaviny – bezvodý vzorek	%
w	vlhkost paliva	kg/kg
Σc	součet oprav zvyšujících teplotu kalorimetrického systému	J

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1:** Kalorimetr pro tuhá paliva [14]
- Obr. 1.2:** Kvartace [22]
- Obr. 1.3:** Diskový mlýn [24]
- Obr. 1.4:** Planetový mlýn [25]
- Obr. 1.5:** Rotorový mlýn Pulverisette 14 [31]
- Obr. 1.6:** Příslušenství k rotorovému mlýnu [32]
- Obr. 2.1:** Len
- Obr. 2.2:** Amarant
- Obr. 2.3:** Žito
- Obr. 2.4:** Katrán
- Obr. 2.5:** Připékání katránu
- Obr. 2.6:** Spálený len
- Obr. 2.7:** Katrán 1,5 mm
- Obr. 2.8:** Katrán 0,5 mm
- Obr. 2.9:** Graf katránu
- Obr. 2.10:** Graf žita
- Obr. 2.11:** Graf amarantu
- Obr. 2.12:** Graf lnu

SEZNAM TABULEK

- Tab. 2.1:** Výsledky měření ktránu
- Tab. 2.2:** Výsledky měření žita
- Tab. 2.3:** Výsledky měření amarantu
- Tab. 2.4:** Výsledky měření lnu

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Hodnoty katránu
- Příloha 2: Hodnoty žita
- Příloha 3: Hodnoty amarantu
- Příloha 4: Hodnoty lnu

Příloha 1: Hodnoty katránu

Materiál	Vzorek	M_{ad} [%]	$\overline{M_{ad}}$ [%]	A_{d1} [%]	$\overline{A_{d1}}$ [%]	A_{d2} [%]	$\overline{A_{d2}}$ [%]
surový katrán	1	6,405	6,4	4,507	4,6	4,815	4,9
	2	6,369		4,558		4,868	
	3	6,371		4,590		4,902	
katrán 2 mm	1	4,985	5,0	4,531	4,5	4,770	4,8
	2	4,969		4,513		4,749	
	3	5,011		4,508		4,746	
katrán 1,5 mm	1	3,108	3,1	4,496	4,6	4,640	4,7
	2	3,126		4,554		4,700	
	3	3,164		4,536		4,684	
katrán 0,5 mm	1	1,117	1,1	4,995	5,0	5,051	5,0
	2	1,134		4,969		5,025	
	3	1,371		4,985		5,055	

Materiál	Vzorek	V_{d1} [%]	$\overline{V_{d1}}$ [%]	V_{d2} [%]	$\overline{V_{d2}}$ [%]
surový katrán	1	77,828	77,8	83,154	83,1
	2	77,745		83,033	
	3	77,894		83,194	
katrán 2 mm	1	78,664	78,5	82,792	82,7
	2	78,356		82,453	
	3	78,554		82,698	
katrán 1,5 mm	1	80,224	80,1	82,798	82,7
	2	80,013		82,595	
	3	80,021		82,635	
katrán 0,5 mm	1	82,451	82,3	83,382	83,3
	2	82,368		83,313	
	3	82,187		83,329	

Příloha 2: Hodnoty žita

Materiál	Vzorek	M_{ad} [%]	$\overline{M_{ad}}$ [%]	A_{d1} [%]	$\overline{A_{d1}}$ [%]	A_{d2} [%]	$\overline{A_{d2}}$ [%]
surové žito	1	9,359	9,4	1,961	2,0	2,163	2,2
	2	9,344		1,968		2,171	
	3	9,333		1,958		2,160	
žito 2 mm	1	10,066	10,1	1,968	2,0	2,189	2,2
	2	10,108		1,946		2,164	
	3	10,129		1,956		2,177	
žito 1,5 mm	1	9,972	9,9	1,961	2,0	2,178	2,2
	2	9,913		1,955		2,170	
	3	9,829		1,959		2,172	
žito 0,5 mm	1	6,560	6,6	1,995	2,0	2,135	2,1
	2	6,555		1,968		2,106	
	3	6,646		1,971		2,111	

Materiál	Vzorek	V_{d1} [%]	$\overline{V_{d1}}$ [%]	V_{d2} [%]	$\overline{V_{d2}}$ [%]
surové žito	1	74,265	74,3	81,933	81,9
	2	73,963		81,586	
	3	74,612		82,292	
žito 2 mm	1	72,987	73,1	81,156	81,3
	2	73,105		81,326	
	3	73,080		81,317	
žito 1,5 mm	1	73,481	73,6	81,620	81,7
	2	73,799		81,920	
	3	73,444		81,450	
žito 0,5 mm	1	76,240	76,4	81,592	81,8
	2	76,854		82,245	
	3	76,176		81,600	

Příloha 3: Hodnoty amarantu

Materiál	Vzorek	M_{ad} [%]	$\overline{M_{ad}}$ [%]	A_{d1} [%]	$\overline{A_{d1}}$ [%]	A_{d2} [%]	$\overline{A_{d2}}$ [%]
surový amarant	1	17,402	17,3	9,659	8,7	11,694	10,5
	2	16,824		9,047		10,775	
	3	17,682		7,469		8,980	
amarant 2 mm	1	12,273	12,4	7,748	7,7	8,832	8,7
	2	12,281		7,554		8,612	
	3	12,483		6,832		7,806	
amarant 1,5 mm	1	12,933	13,1	7,518	7,2	8,635	8,2
	2	13,120		7,152		8,232	
	3	13,140		7,161		8,244	
amarant 0,5 mm	1	10,527	10,6	7,265	7,2	8,120	8,0
	2	10,605		7,199		8,054	
	3	10,366		7,144		7,970	

Materiál	Vzorek	V_{d1} [%]	$\overline{V_{d1}}$ [%]	V_{d2} [%]	$\overline{V_{d2}}$ [%]
surový amarant	1	64,198	65,3	77,723	78,4
	2	66,443		79,136	
	3	63,655		76,531	
amarant 2 mm	1	67,087	67,5	76,473	78,1
	2	68,955		78,608	
	3	67,876		77,557	
amarant 1,5 mm	1	69,265	68,1	79,553	78,4
	2	68,023		78,300	
	3	68,209		78,527	
amarant 0,5 mm	1	69,685	69,2	77,884	77,8
	2	69,384		77,615	
	3	69,064		77,051	

Příloha 4: Hodnoty lnu

Materiál	Vzorek	M_{ad} [%]	$\overline{M_{ad}}$ [%]	A_{d1} [%]	$\overline{A_{d1}}$ [%]	A_{d2} [%]	$\overline{A_{d2}}$ [%]
surový len	1	8,937	9,0	18,808	17,8	20,411	19,5
	2	7,857		15,748		17,305	
	3	9,051		18,807		20,666	
len 2 mm	1	5,599	5,7	33,444	33,2	35,447	34,9
	2	5,702		33,083		35,064	
	3	5,558		33,136		34,285	
len 1,5 mm	1	5,496	5,5	29,624	28,6	31,347	30,3
	2	5,590		28,592		30,285	
	3	5,994		27,439		29,189	
len 0,5 mm	1	3,435	3,5	29,376	29,3	30,424	30,3
	2	3,428		29,366		30,414	
	3	3,474		29,077		30,115	

Materiál	Vzorek	V_{d1} [%]	$\overline{V_{d1}}$ [%]	V_{d2} [%]	$\overline{V_{d2}}$ [%]
surový len	1	65,230	63,3	70,792	70,0
	2	63,597		69,882	
	3	63,054		69,285	
len 2 mm	1	53,364	54,5	56,530	58,4
	2	55,408		58,758	
	3	54,857		58,085	
len 1,5 mm	1	56,647	56,8	59,942	59,9
	2	57,512		60,917	
	3	56,348		59,941	
len 0,5 mm	1	57,286	57,5	59,324	59,4
	2	57,414		59,452	
	3	57,941		60,027	