

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta tropického zemědělství

Katedra udržitelných technologií



Bakalářská práce

Využití biomasy palmy olejně jako biopalivo

Praha 2014

Vedoucí práce:

Ing. Bc. Tatiana Ivanova, Ph.D.

Vypracovala:

Barbora Rakovanová

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma využití biomasy palmy olejně jako biopalivo vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a všechny použité literární prameny jsem řádně uvedla v seznamu použité literatury.

V Praze dne 25. 4. 2014

.....

Barbora Rakovanová

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce, Ing. Bc. Tatianě Ivanově, Ph.D. za její vždy ochotný a vstřícný přístup, který během vedení práce projevovala. Dále bych chtěla poděkovat, Ing. Michel Kolaříkové a Ing. Zdeňkovi Pixovi za odborné vedení v laboratoři Fakulty tropického zemědělství. V neposlední řadě bych ráda poděkovala také celé své rodině za jejich trpělivost a podporu.

Abstrakt

Předložena bakalářská práce se skládá z literární a praktické části. Literární rešerše je zaměřena na shromáždění vědeckých informací o problematice pěstování palmy olejně. Dále je pozornost věnovaná druhům biopaliv a základním parametrům ovlivňujícím kvalitu biopaliv tuhých.

Cílem práce bylo vyhodnocení možnosti využití odpadní biomasy palmy olejně jako zdroj tuhého biopaliva na základě stanovení hlavních fyzických a mechanických parametrů a výpočtu maximálního energetického potenciálu.

Jako zkoumaný materiál sloužila odpadní biomasa z endokarpu (čistá a znečištěná odpadní biomasa) původem z Indonésie. Materiál byl použit na laboratorní měření spalného tepla, vlhkosti, obsahu popela a velikosti frakcí. Veškeré parametry byly stanoveny podle platných norem na tuhá biopaliva. Následně na základě určení výnosů a údajů spalného tepla byl vypočten maximální teoretický energetický potenciál odpadního endokarpu pro tři největší pěstitele (Malajsie, Indonésie, Nigérie).

Během lisování palmového oleje vznikají i další odpadní části, a to vlákna z mezokarpu a prázdné ovocné hrozny, u kterých byl energetický potenciál také vypočítán.

Celkový maximální energetický potenciál všech částí odpadní biomasy z palmy olejně v Indonésii je 162,1-246,9 GJ/ha, v Malajsii je 120,3-191,8 GJ/ha, a v Nigérii je 8,5-13,6 GJ/ha.

Z výsledků výzkumu vyplývá, že se využití odpadní biomasy palmy olejně jako biopalivo pro přímé spalování jeví jako velice zajímavé a perspektivní.

Klíčová slova:

palma olejná, odpadní biomasa, tuhé biopalivo, energetický potenciál, spalné teplo

Abstract

The bachelor Thesis consists of theoretical and practical part. Theoretical research is focused on gathering scientific information concerning the cultivation of oil palm. Attention is also devoted to biofuel types and basic parameters affecting the quality of solid biofuels.

The aim of the study was to assess the feasibility of using waste oil palm biomass as a source of solid biofuels based on the determination of the main physical and mechanical parameters and the calculation of the maximum energy potential.

As the sample material was used waste biomass from the endocarp (clean and impure waste biomass) originally from Indonesia. The material was used for laboratory testing of gross calorific value, moisture, ash content and particle size distribution. All parameters were determined according to the valid standards for solid biofuels. Subsequently, based on the assessment of the biomass yield and the data of gross calorific value, the maximum theoretical energy potential of waste endocarp was calculated for the three largest growers (Malaysia, Indonesia, Nigeria).

During the pressing of palm oil the other waste materials are generated as palm mesocarp fibers and empty fruit bunches, for which the energy potential was also calculated.

The total maximum energy potential of all parts of the waste biomass from palm oil in Indonesia is 162.1-246.9 GJ/ha, in Malaysia is 120.3-191.8 GJ ha, and in Nigeria is 8.5-13.6 GJ/ha.

The research results show that the use of palm oil waste biomass as a biofuel for direct combustion appears to be a very interesting and promising.

Keywords:

oil palm, waste biomass, solid biofuel, energy potential, calorific value

Obsah

1. Úvod	1
2. Literární řešerše.....	2
2.1. Charakteristika palmy olejně	2
2.1.1. Historie pěstování	2
2.1.2. Botanická charakteristika.....	3
2.1.4. Sklizeň a mechanizace	4
2.1.5. Dopady na pěstování.....	6
2.2. Největší pěstitelé palmy olejně	7
2.2.1. Malajsie.....	8
2.2.2. Indonésie	10
2.2.3. Nigérie	10
2.3. Využití palmy olejně.....	11
2.3.1. Potravinářský průmysl	11
2.3.2. Energetické využití	12
2.3.3. Další využití.....	13
2.4. Biopaliva.....	14
2.4.1. Rozdělení biopaliv podle druhu použité biomasy.....	14
2.4.2. Rozdělení biopaliv podle skupenství	15
2.5. Základní fyzikální a mechanické parametry tuhých biopaliv	21
2.5.1. Vlhkost.....	21
2.5.2. Spalné teplo a výhřevnost	22
2.5.3. Sypná hmotnost a velikost částic	23
2.5.4. Obsah popela.....	23
3. Cíl práce.....	25
4. Materiál a metodika.....	26
4.1. Metodika literární řešerše	26
4.2. Rostlinný materiál.....	26
4.3. Základní naměřené parametry rostlinného materiálu	26
4.3.1. Stanovení vlhkosti vzorků	27
4.3.2. Stanovení spalného tepla	28

4.3.3. Stanovení velikosti částic odpadní biomasy	29
4.3.4. Stanovení obsahu popela	30
4.4. Výnos biomasy největších pěstitelů.....	31
4.5. Maximální energetický potenciál biomasy palmy olejné	32
5. Výsledky a diskuze.....	34
5.1. Laboratorní měření	34
5.1.1. Výsledky vlhkosti odpadní biomasy palmy olejné	34
5.1.2. Vyhodnocení spalného tepla	35
5.1.3. Analýza rozdělení velikosti částic odpadní biomasy	37
5.1.4. Výsledky obsahu popela	39
5.2. Zhodnocení výnosnosti největších pěstitelů	41
5.3. Zhodnocení maximálního energetického potenciálu	42
6. Závěr	44
7. Seznam použité literatury	46

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Plod palmy olejné.....	4
Obrázek 2: Sazení palmy olejné do tzv. školek	5
Obrázek 3: Sběr hroznů palmy olejné traktorem s poháněným přívěsem	6
Obrázek 4: Celosvětové pěstitele z roku 2011.....	7
Obrázek 5: Přehled využití palmy olejné.....	11
Obrázek 6: Průmyslové využití palmy olejné.....	13
Obrázek 7: Směsné brikety na bázi palmy olejné,	18
Obrázek 8: Zpracování biomasy palmy olejné na výrobu pelet	19
Obrázek 9: Závislost fyzikálních a mechanických parametrů.	24
Obrázek 10: Sušárna UFE 500 Memmert.....	27
Obrázek 11: Kalorimetr MS 10 A.....	29
Obrázek 12: Rozdělení frakcí materiálu	29
Obrázek 13: Vzorky palmy olejné po vyjmutí z Muflonovy pece	30

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Produkce palmového oleje v Malajsii za rok 2012-2014 [t]	9
Tabulka 2: Výchřevnost dřeva v závislosti na vlhkosti	22
Tabulka 3: Procentuální vyjádření biomasy vzniklé z endokarpu palmy olejné	31
Tabulka 4: Výsledky měření vlhkosti odpadní biomasy palmy olejné.....	34
Tabulka 5: Výsledky měření spalného tepla vzorku znečištěné biomasy palmy olejné – vysušený vzorek.....	35
Tabulka 6: Výsledky měření spalného tepla vzorku znečištěné biomasy palmy olejné – vlhký vzorek	35
Tabulka 7: Výsledky měření spalného tepla vzorku čisté biomasy palmy olejné – vysušený vzorek.....	36
Tabulka 8: Výsledky měření spalného tepla vzorku čisté biomasy palmy olejné – vlhký vzorek.....	36
Tabulka 9: Porovnání spalného tepla odpadní biomasy vybraných rostlin poskytujících oleje.....	37

Tabulka 10: Rozdělení frakcí znečištěného vzorku	37
Tabulka 11: Rozdělení frakcí čistého vzorku	38
Tabulka 12: Měření obsahu popela znečištěného a čistého vzorku biomasy z palmy olejně	39
Tabulka 13: Produkce biomasy z endokarpu palmy olejně u největší pěstitelů [t]	41
Tabulka 14: Výnos biomasy z endokarpu palmy olejně u největších pěstitelů [t/ha]	41
Tabulka 15: Maximální energetický potenciál biomasy z endokarpu palmy olejně [GJ/ha]	42
Tabulka 16: Celkový maximální energetický potenciál odpadní biomasy palmy olejně [GJ/ha]	43

Seznam grafů:

Graf 1: Grafické vyjádření produkce palmového oleje v Malajsii	9
Graf 2: Grafické vyjádření rozdělení frakcí znečištěného vzorku	38
Graf 3: Grafické znázornění rozdělení frakcí čistého vzorku	39

1. Úvod

Rostoucí závislost na fosilních palivech a stoupající ceny energie jsou důvodem, proč se dnes dostává do popředí oblast obnovitelné energetiky a hledání nových zdrojů biopaliv. Alternativní palivo musí být technicky proveditelné, konkurenceschopné, ekologicky přijatelné a snadno dostupné. Expandující nástup bionafty v Evropě a dalších zemích, je především z důvodu ochrany životního prostředí a jako náhrada nedostatku v dodávkách ropy. Jednou z možností alternativních biopaliv jsou rostlinné tuky, které například poskytuje palma olejná (Abdul Khalil et al., 2012).

Palma olejná se stala v dnešní době jednou z nejvýznamnějších olejnin světa díky své užitkovosti což je především palmový a palmojádrový olej. Olejové extráty, které se staly v Evropě nejběžněji používaným tukem, jsou obvykle vyráběny z palmy olejně guinejské (*Elaeis guineensis*), která se pěstuje na vlhkých stanovištích v deštných lesích, kde se teplota vegetace pohybuje od 27 °C do 35 °C (Kamahara, 2010; UNEO, 2011).

Počátek pěstování odstartoval v západní Africe, ale průmyslové pěstování se rozšířilo až do jižní Asie. Malajsie a Indonésie jsou dnešními největšími producenti palmového oleje a jejich plantáže každým rokem narůstají. Celková světová rozloha palmových plantáží je okolo 17.9 mil. ha (Chin et al., 2013; Dungani et al., 2013).

Po procesu lisování olejů vznikne v mlýnech ohromné množství odpadní biomasy, která se skládá z endokarpu, vláken z mezokarpu a prázdných ovocných hroznů (Mekhilef et al., 2011). Zde je místo pro otázku, jak využít odpadní biomasu, která se produkuje v dnešní době na tak rozsáhlých plantážích.

Využití rostlinnou biomasu lze obecně k výrobě biopaliv. Mezi nejčastější biopaliva patří bionafta a bioetanol. Další z možností jak využívat odpad z rostlinné produkce je transformace biomasy do tuhých paliv například briket (Ziolkowska et al., 2014; Suhartini et al., 2011).

Předložená práce je zaměřena na průzkum vlastností endokarpu palmy olejně a stanovení energetického potenciálu odpadu vzniklého po lisování oleje za účelem vyhodnocení vhodnosti a atraktivnosti využití tohoto odpadu jako tuhé biopalivo pro přímé spalování.

2. Literární rešerše

2.1. Charakteristika palmy olejné

2.1.1. Historie pěstování

Domovem planě rostoucí palmy olejné je západní Afrika, která poskytovala po staletí místním obyvatelům olej, palmové víno, stavební materiál, hnojivo a listy, jež sloužili jako krycí materiál na jejich přístřešky (Carrere, 2013). Zmínky o používání olejů sahají přibližně do 3000 let před naším letopočtem na území Egypta. Největší rozmach nastal v době, kdy Evropané přicházeli do Afriky. Když se začali na africkém kontinentu vytvářet koloniální mocnosti, Evropané měli větší přístup ke zdrojům palmového oleje a také lepší přístup k samotnému obchodování (Santosa, 2008). Západní část afrického kontinentu byla zkolonizovaná částečně Portugalci, kteří objevili při svých expanzích v 15. století také palmu olejnou. Z Afriky se postupně převáželi otroci, kteří cestovali spolu na lodích i s palmovým olejem, který se později stal jako základní přídavek do potravin (Carrere, 2013). Nejprve byly palmy součástí přírodní produktivity nebo forma přírodních hájů, které byly získávány z tradičních domorodých plantáží. Jelikož se musela někde projevit snaha o větší zisk a výnos nejevil se tento způsob hospodaření jako efektivní a tak se začala palma pěstovat průmyslově (Henderson & Osborne, 2000). V Africe tak vznikly první monokultury, na kterých byly nucené nebo otrocké práce (Carrere, 2013).

James Welsch, anglický kapitán a obchodník, který přivezl do Anglie přes 32 barelů oleje z palmy olejné v roce 1590 tak pomohl velkému objevu, který měl pak za svědomí známí anglický chemik Nicholas Leblanc, který zaznamenal, že za přítomnosti alkaloidů a chloridu sodného proběhne, tzn. hydrolýza neboli proces zmýdelnění (Henderson a Osborne, 2000). Největší rozmach na průmyslové pěstování této plodiny se stal s příchodem Evropské průmyslové revoluce, kdy olej sloužil jako mazací olej např. nápravních vagónů, který měl zabránit oxidaci železa (Santosa, 2008). V roce 1870 francouzským vědcem vznikla vůbec první zmínka o margarínu (směs dvou kyselin: kyselina stearová a kyselina palmitová). Margarín se stal velice oblíbenou náhražkou za máslo, kterého začínalo být velký nedostatek. Dalším stimulem byly zákony omezující

otroctví, které měly významný vliv, jelikož námořní doprava potřebovala alternativu k obchodu s otroky, který byl omezen (Gelder, 2004). Cena poptávky velice stoupla, takže obchodníci ze západní Afriky zjistili, že se jim více vyplatí prodávat olej než otroky (Henderson & Osborne, 2000).

2.1.2. Botanická charakteristika

Palma olejná je v současné době jednou z nejvýznamnějších a nejvíce diskutovanou olejinou světa. Olejné palmy (*Elaeis*) obsahují 3 druhy *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera*, *Elaeis melanococca*. Nejdůležitější pro svou užitečnost je *Elaeis guineensis* a *Elaeis oleifera*. *Elaeis guineensis* je původem z tropické Afriky přesněji z Guinejského zálivu, v oblasti dnešní Guinei. Plody jsou lesklé pecky a jejich dužina má vůni po fialkách. Strom začíná plodit v 5 letech po výsadce a jeho úrodnost trvá okolo 60 let (Kulhavý, 1993). *Elaeis guineensis*, dále jen palma olejná česky také olejnice guinejská, která kvetla divoce převážně v západní Africe a jihovýchodní Asii. *Elaeis oleifera* je mezidruhovú hybrace je to integrace jihoamerického druhu. Liší se tím, že nižší často plazivé kmeny, které jsou asi 6 m dlouhé a listy jsou částečně rozpoloženy do jedné roviny. Komerční nároky jsou znatelně menší než na palmu olejnou (Mozzon et al., 2013).

Jedná se o čeleď arekovitých (Arecaceae). Rostlina je jednodomá až 30 metrů vysoká, v kultuře pak okolo 20 m (Rohwer, 2002). Má silný kmen se 47 m dlouhými listy s řapíky lemovanými trny. Listy jsou zpeřené a jsou nepravidelně uspořádaný okolo 160 párů. Na kmenu zůstávají dlouhou dobu zbytky spadáných listů a často se v nich uchytí kapradiny. V paždí živých listů vyrůstají samovolně květy, které se dělí na samčí a samičí. Samičí květenství má až 6000 květů a samčí až 140000. Palma olejná má květy, které jsou malé a špinavě bílé. Peckovice jsou nahloučené na palicovitých květenstvích o délce cca 70 cm a vážící kolem 25-50 kg (Novák & Schulzová, 2002). Některé plodenství může vážít až 82 kg a obsahovat 200-2000 plodů (Sheil et al., 2011). Plod má oranžovo červenou barvu a na konci bývá zakončen až černou špičkou (viz Obrázek 1). Elipsoidní peckovice jsou asi 3,5 cm dlouhé a 2 cm široké. Mezokarp je slonovitě bílý, tlustý a obsahuje 50 % oleje. Dutina je malé semeno, které je obaleno vláknitým povrchem a obsahuje asi 45-55 % oleje v endospermu (Novák & Schulzová, 2002).



Obrázek 1: Plod palmy olejné (zdroj: Bucharová, 2011)

2.1.3. Půdní nároky na pěstování

Přirozeným biotopem pro pěstování palmy olejné jsou vlhká stanoviště v deštných lesích podél toků a distribuovaných místech, kde mají dostatek světla potřebného k pozdějšímu růstu a výnosnosti. Lze jí zařadit do tropického pásma o 16 ° severní a jižní šířky (Kongsager & Reenberg, 2012). Teplota vegetace je 27-35°C, ale však nesmí klesnout pod 18°C. Vlhkost stanoviště je základní podmínka pro existenci této plodiny. Její hodnoty kolísají a to v rozmezích 2000–3000 mm ročních srážek. Rozmnožování probíhá semeny a optimální teplota pro klíčení je okolo 35°C (Grulich, 2013). Nejlepší výsledek při klíčení je umístění semena asi 0,6 m hluboko v písku a to celé pokryt pilinami. Výnosy palmy olejné dosahují 15-30 t čerstvých hroznů za rok.

Palmové plantáže bývají často sázeny do zemědělské půdy, na které byli jiné plodiny, nebo proběhl proces odlesňování. Důvodem je co nejvíc a nejrychleji zhodnotit tuto olejninu. To má i za následek zvýšení erozí a zaselování půdy. Porost je řídký, klenba je nižší a je zde mnohem méně stabilní mikroklima. Semeny se sází několikrát do roka hlavně po období dešťů kvůli dostatečné vlhkosti půdního profilu.

Průmyslové monokulturní pěstování má mnohem větší nároky na vodu a živiny se rychleji vyčerpávají (FAO, 2013).

2.1.4. Sklizeň a mechanizace

Sklizeň plodů probíhá po období okolo 3. roku po vysázení, kdy se jejich výnosnost zvyšuje a cílem je dosáhnout produkčního vrcholu (Global Palm Resources,

2010). Do 3. roku jsou palmy v tzn. školkách, kde se jim musí dostávat co nejvíce vláhy pro jejich pozdější růst (viz Obrázek 2). Výsadky palmy olejně se obeženou pletivem, které chrání jejich růst a eliminuje napadení škůdci (FAO, 2011). Po 3. letech se palmy sázejí do již připravených palmových hájů. V tomto úseku se ztráta pohybuje od 7–12 % odumřelých rostlin. Palma produkuje v tomto věku 8-15 ks čerstvých hroznů o hmotnosti 20-25 kg. Reprodukce palmy je zhruba do 20-25 let života pak jsou stromy pokáceny a plantáže se připravují na produkci nově zařazených stromků. Pravidelná kontrola celkové bilance živin je nezbytnou součástí zajištění maximální návratnosti. Když zjištěná bilance neodpovídá nastavenému standartu používají se minerální hnojiva jako například močovina, fosfáty, chlorid draselný atd. nebo lze využít i pesticidy (Global Palm Resources, 2010).

Samotná sklizeň plodů probíhá manuálně. Zralé plody se řezou pomocí dlátem nebo srpem. Sběr spadných hroznů se provádí ručně za pomoci kolečka nebo mechanicky traktorem s poháněným přívěsem (viz Obrázek 3) (Kongsager a Reenberg, 2012). Po sběru hroznů se přesunou do automatického senzorického snímače, který odhalí kvalitu plodu. Sklizené plody musí být zpracovány do 24 hodiny po sklizni pro minimalizaci hromadění mastných kyselin (Global Palm Resources, 2010).



Obrázek 2: Sázení palmy olejně do tzv. školek (zdroj: Vacek, 2013)



Obrázek 3: Sběr hroznů palmy olejné traktorem s poháněným přívěsem (zdroj: Bucharová, 2011)

2.1.5. Dopady na pěstování

Půda je výrobní faktor ale i přírodní zdroj. V roce 2012 přesáhla celková plocha pro pěstování palmy olejné 16 mil ha. Průmyslových pěstování monokultur palmy olejné je do budoucna neúnosné kvůli velkému nárůstu během let v roce 1985 byla produkce 4 mil. t v roce 1990 15 mil. t v roce 2012 51,8 mil. t a v roce 2020 se očekává, podle navýšení využití palmy olejné pro výrobu biopaliv, že produkce bude okolo 62,8 t (Chang, 2014).

Dopady lze rozdělit do několika skupin. První skupina je zaměřena na ekonomický dopad zemí, jak už importujících tak exportujících. Základním ekonomickým indikátorem je počet zaměstnaných pracovníků. Celosvětový průměr činí 5 pracovníků na 1 ha půdy (u jiných olejnin jeden pracovník na 200 ha). Zastánci pro pěstování palmy olejné tak poukazují na přínos pěstování a to díky snižování chudoby v rozvojových zemích (Sayer et al., 2012). Produkce palmy olejné má však i negativní stránky a to především pro obyvatele, kteří osidlovali dnešní plantáže a tím pádem se museli stát mobilní. Jejich soběstačnost jim poskytoval les, který se během několika let přeměnil na monokultury. Z ekonomického hlediska je závislost na jedné komoditě nežádoucí z důvodu kolísání cen na trhu a to především pro drobné pěstitele.

Další negativní dopady jsou zábory půdy. V letech 2006 – 2007 se 27 % tropického lesa v Indonésii vykácela za účelem rozšiřování plantáží. Prognóza odhaduje, že do roku 2020 to bude až 40 % (Glopolis, 2013). Olejové plantáže jsou často nahrazeny degradovanými tropickými lesy jako tomu tak bylo v letech 1982-1983 na Borneu.

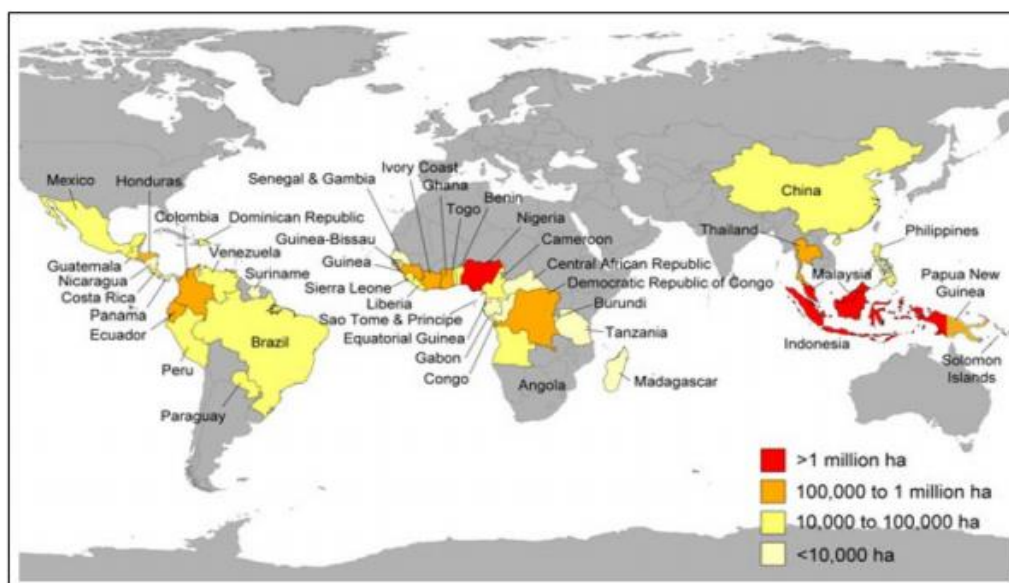
Odlesňování tropických pralesů má za následek 20 % nárůst skleníkových plynů jedním státem, který se pohybuje na prvních příčkách v produkovaní skleníkových plynů je již zmiňovaná Indonésie. Špatné dodržování ekologických norem zhoršuje tento problém.

Odlesňování je také významným faktorem ničení okolní biodiverzity například ústup rašeliníšť, které jsou původním typem vegetace nebo vymírání vzácné fauny a flory.

Pracovníci, kteří pracují na plantážích nevlastní dostatečné ochranné prostředky pro mechanizaci rostlinné výroby a tak často dochází ke zraněním (Čolas, 2013).

2.2. Největší pěstitele palmy olejná

Na rozdíl od jiné významné zemědělské rostliny, jako například řepka olejná, se stala palma olejná jednou z nejrychleji expandujících rostlin rovníkového pásma. V dnešní době se pěstuje v 43 zemích světa (viz Obrázek 4) a zabírá plochu téměř jednu desetinu světové orné půdy (Kongsager & Reenberg, 2012). Počátek pěstování začal v západní Africe, ale pěstování pro průmyslový užitek odstartoval rozsáhlé plantáže v Malajsii a Indonésii, která teď tvoří asi 90 % veškeré produkce palmového oleje (Glopolis, 2013).



Obrázek 4: Celosvětové pěstitele z roku 2011 (zdroj: Kongsager & Reenberg, 2012)

Rozšiřování plantáží začalo okolo roku 1980, kdy se celková plocha pěstování palmy olejné rozšířila o trojnásobek. Dočasná rozloha palmových plantáží dosahovala v roce 2013 17 935 000 ha (Dungani et al., 2013). Plocha, která je využívána se bude za předpokladu Wakker (2005) rozšiřovat přibližně o 3 % za rok.

2.2.1. Malajsie

Založení plantáží pro průmyslové využití je uváděno přibližně v roce 1917, které nahradili neúspěšné pěstování kaučukovníku. Nejdříve se pěstování nedařilo, ale vláda rozhodla, že sníží závislost národního hospodářství na syntetickém kaučukovníku.

Mezi lety 1990 a 2005 se plocha palmy olejné v Malajsii zvýšila o 1,8 mil. ha na 4,2 mil. ha z toho 1,1 mil. ha byly lesy (Fitzherbert et al., 2008). Dnešní plocha, kterou zabírají plantáže palmy olejné, je okolo 5,3 mil. ha přičemž hlavní oblasti pro pěstování je Sabah a Sarawak, které se nacházejí ve východní části Malajsii (MPOB, 2014). Největší část tohoto území zaujímají soukromníci, kteří mají až 60 % dále 12 % vlastní místní zemědělci a 28 % vlastní stát (UNDP, 2007). Produkce nově zařazených stromků se pohybovala v roce 2012 okolo 75 mil. ks a v roce 2013 to bylo okolo 63 mil. ks (MPOB, 2014).

Ze začátku výroby byla odpadní biomasa z prázdných hroznů, vlákna a endokarpu likvidovaná do vodních toků. Tehdy se však jednalo o mnohem menší produkce palmového oleje zhruba 92 tis. t, při kterém bylo využito zhruba 10 mlýnů na extrakci palmového oleje. V roce 2012 byl zaznamenán stav na 426 ks mlýnu (MPOB, 2014). Produkce palmového oleje v Malajsii je znázorněna v Tabulce 1.

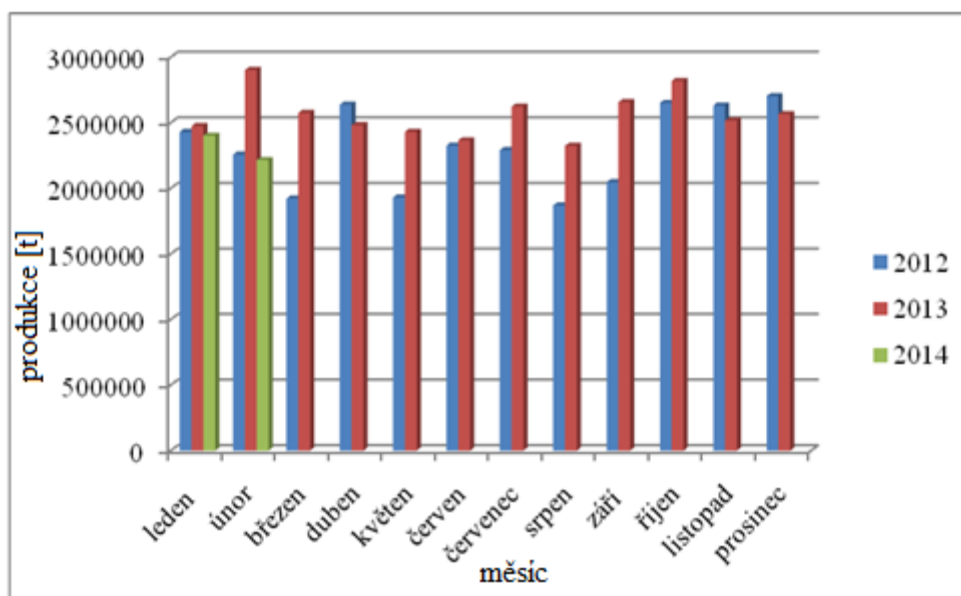
Tabulka 1: Produkce palmového oleje v Malajsii za rok 2012-2014 [t]

	2012	2013	2014
leden	2 429 826	2 474 639	2 400 972
únor	2 257 495	2 902 332	2 214 984
březen	1 922 311	2 575 004	*
duben	2 638 060	2 481 850	*
květen	1 930 084	2 430 998	*
červen	2 326 053	2 365 414	*
červenec	2 291 876	2 623 288	*
srpen	1 869 954	2 323 810	*
září	2 047 046	2 656 779	*
říjen	2 651 123	2 819 122	*
listopad	2 630 639	2 516 623	*
prosinec	2 702 720	2 565 430	*

Zdroj: vlastní zpracování informací z MPOB 2012-2014

pozn. Kolonky se znakem „*“ jsou prázdné, neboť data nejsou k dispozici

V Grafu 1 lze najít znázornění, které vyjadřuje produkci palmového oleje v letech 2012-2014.



Graf 1: Grafické vyjádření produkce palmového oleje v Malajsii (zdroj: vlastní zpracování dle MPOB 2012-2014)

Malajsie exportovala za rok 2013 2,4 mil. t palmového oleje do zemí Evropské unie. Do ostatních zemí světa exportovala 18,2 mil. t. Nejčastějšími exportéry jsou: Nizozemí (1,5 mil. t), Pákistán (1,4 mil. t) a Spojené státy americké (1,2 mil. t). Celková roční produkce za rok 2013 je 20,6 mil. t (MPOB, 2014).

Až do roku 2005 byla Malajsie největším producentem palmového oleje pak se před ní dostala Indonésie (Ludin, 2014).

2.2.2. Indonésie

Indonésie byla prvním asijským státem, do něhož byla palma olejná introdukována. Nejdříve sloužila palma olejná k okrasným účelům dnes je nejrozšířenější kvůli průmyslovému pěstování (Scovronick & Wilkinson, 2014)

Její území, které uvádí ISPO (2012) je 8,1 mil. ha přičemž 44,4 % ha vlastní místní zemědělci, 7,4 % ha je přidělováno vládě a zbytek tedy 58,2 % ha patří soukromníkům. Více jak 1 mil. ha půdy zabírají plantáže palmy olejně, tropický pralesa, který je druhý největší prales na světě (OECD, 2012).

Celková produkce palmového oleje je 23,9 mil. t z toho 1,2 mil. t je uskladněno v tancích, 0,05 mil. t je importováno, 20,7 mil. t je exportováno a 1,95 mil. t je využito v domácnostech v Indonésii (ISPO, 2012). Výnos, který dosahuje Indonésie je 25,4 mil. t/rok nově zasazených plodů se pohybuje zhruba od 2-2,2 mil. ks (Scovronick & Wilkinson, 2014).

Indonésie exportuje kolem 20,7 miliónů t palmového oleje a především do těchto zemí Indie (4,5 mil. t), Evropská unie (3,4 mil. t) a Čína (2,8 mil. t) (ISPO, 2012).

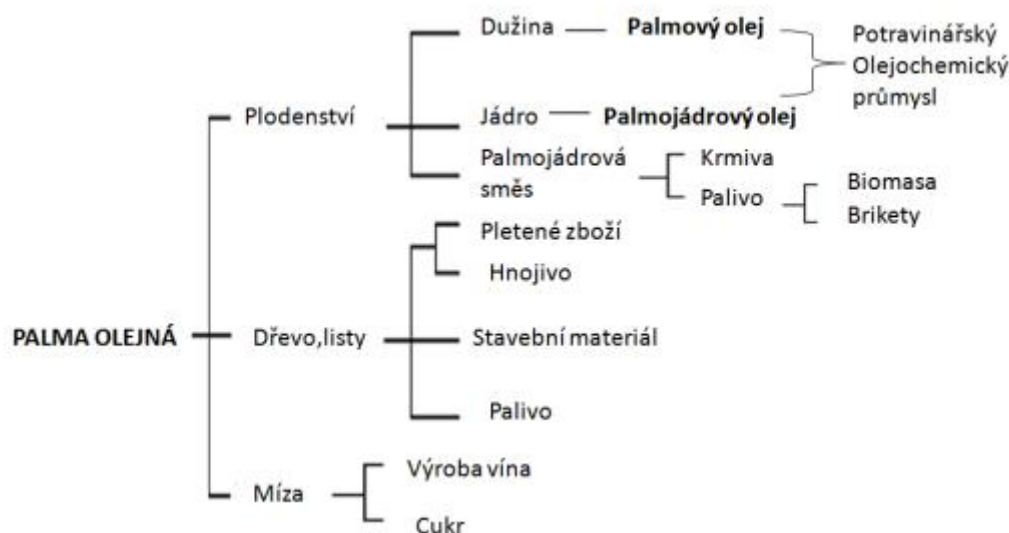
2.2.3. Nigérie

Nigérie byla světovou jedničkou ve výrobě a vývozu palmy olejně, ale po roce 1980 ztratila své dominantní postavení. V současné době se tato produkce nemůže vyrovnat té asijské, nicméně Nigérie představuje přibližně 55 % celkové africké produkce. Zatímco Malajsie a Indonésie zvýšila nároky na pěstování a to hlavně v letech 1990-2010, Nigérie zaostala daleko za nimi, protože výrobu zaměřovala na tradiční metody zemědělství (Ohimain et al., 2014).

Rozloha plochy, kterou zaujímají plantáže je přibližně 2,5 miliónů ha z toho je 4 % ha pěstováno středními a drobnými farmáři, 92 % ha patří soukromníkům a 4 % miliónů ha je vlády (FAO, 2013).

2.3. Využití palmy olejné

Palma olejná se využívá v mnoha odvětví. Následující kapitola byla rozdělena od nejdůležitějšího využití po méně známé využití palmy olejné (viz Obrázek 5).



Obrázek 5: Přehled využití palmy olejné (zdroj: Čolas, 2013)

2.3.1. Potravinářský průmysl

Oleje, který lze získat z palmy olejné se liší ve svých vlastnostech. Palma olejná produkuje jednu z nejdůležitějších komodit za poslední léta. Je to dáno tím, že oleje jsou ve srovnání s jinými rostlinným olejům cenově dostupnější se škálou hned několika vlastností a to je jejich unikátnost a univerzálnost (WWF, 2011). Světová produkce palmového oleje přináší 3krát větší výnos než kokosový olej, 7krát větší než řepkový a 10krát větší než olej ze sóji (FAO, 2011).

Z palmy olejné lze získat dva druhy oleje je to palmový olej, který je surový a získaný z mezokarpu. Je bohatý na vitamín E, který je pro lidské zdraví velice příznivý z důvodu prevence proti cévní mozkové příhodě a obsahuje množství kyseliny palmitové

(Umar et al., 2013) Barva se označuje jako oranžovo-červená a olej se následně vybělí a používá se k výrobě kuchyňského oleje. Bod tání se uvádí v rozmezí od 30-37 °C.

Znatelně odlišný je palmojádrový olej, který se získává ze semen plodenství tedy z endospermu. Více se podobá kokosovému oleji a při teplotě, která se přibližuje pokojové je polotuhý až tuhý (Henderson & Osborne, 2000). Využívá se také k výrobě kuchyňského oleje ale, protože obsahuje kyselinu stearová, která spolu s chloridem sodným způsobuje proces zmýdelnění, používá se také k výrobě mýdel a kosmetických přípravků (Novák & Schulzová, 2002).

Dalším faktorem, kterým se liší složení se počet nenasycených a nasycených mastných kyselin. Palmový olej obsahuje 50 % nasycených mastných kyselin a 50 % nenasycených mastných kyselin. Naopak složení palmojádrového oleje je 82 % nasycených mastných kyselin a 18 % nenasycených mastných kyselin. Z plodenství palmy olejné se získává desetkrát více palmového oleje než oleje palmojádrového (Obire & Putheti, 2009).

2.3.2 Energetické využití

Závislost na fosilních palivech je do budoucna neúnosné břemeno celého světa. Předpokládá se, že do několika let budou vyčerpány. Prognózy uvádějí, že zásoby ropy dojdou do 45 let a proto se už řadu let hledá alternativní zdroje energie (Kolář et al., 2010).

Biomasa pro energetické využití

Pojem biomasa obvykle označuje substanci biologického původu, jako je rostlinná biomasa pěstovaná v půdě nebo ve vodě, živočišná biomasa, vedlejší organické produkty nebo organické odpady. Teoreticky lze k získání energie využít všechny formy biomasy, protože základním stavebním prvkem živé hmoty je uhlík a jeho chemické vazby obsahující energii. Za základní zdroj biomasy se považují rostliny, které jsou pomocí světelné energie Slunce zachycené v zeleném barvivu schopny vytvořit sacharidy a následně bílkoviny (ČEZ, 2014).

Energii z biomasy lze získat

1. termochemickou konverzí

2. biochemickou konverzí
3. fyzikálně-chemickou konverzí (Celjak,2008).

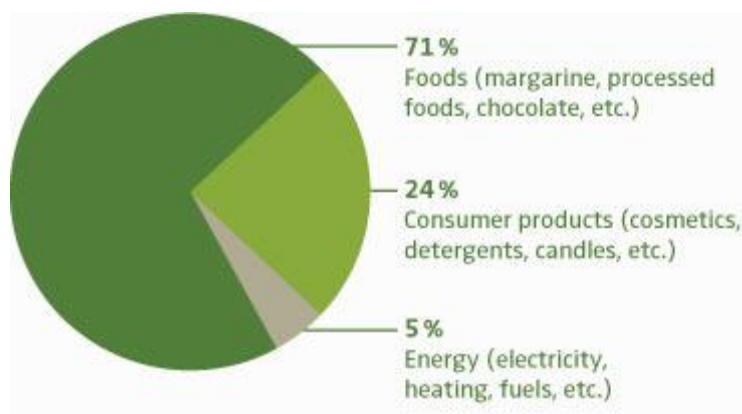
Základní skutečnosti, které se posuzují u biomasy jsou například: forma biomasy, skutečnou výhřevnost, dostupnost a zajištění množství a náklady na získání biomasy.

V současné době je biomasa převážena na elektrickou a tepelnou energii, bioplyn, a také na biopaliva, jimiž se budu zabývat dále.

Jedním obnovitelným zdrojem energie je právě biomasa palmy olejná. Jeden ha plantáže palmového oleje ročně vyprodukuje zhruba 21,625 t biomasy (Kelly-Yong et al., 2007). Biomasa slouží ve formě briket jako palivo. Brikety se dávají do kotlů pro výrobu elektřiny používané v mlýnech na zpracování svazků plodenství a někdy je přebytek využívány v okolí vesnic. Palma olejná, ze které se vyrábí biopaliva, produkuje zhruba 60 % biomasy, zatímco 10 % je využito pro energetické účely. Toto velké množství biomasy z pěstování palmy je do budoucna neúnosné (Chang, 2014).

2.3.3. Další využití

Na začátku práce byly zmíněny dva druhy oleje, které poskytuje palma olejná. Právě z palmojádrového oleje, který pochází z endospermu plodenství, se vyrábí mýdla a kosmetické produkty. Obrázek 6 ukazuje, že zhruba 24 % se používá na kosmetický průmysl.



Obrázek 6: Průmyslové využití palmy olejná (zdroj: Rainforest Rescue, 2010)

Další základní produkt, který poskytuje palma olejná je palmojádrová směs, která se často stává složkou do zvířecích krmiv, používá se pro výkrm a příkrmování hospodářských zvířat.

Efektivní technické využití je omezené díky své morfologii a nízkých mechanizačních vlastnostech. Tím pádem využití ke stavebním účelům je značně náročnější, protože olej z palmového kmene nemá sekundární a primární zesílení cévních svazků. Jeho stabilita a pružnost je o hodně nižší než u dvouděložných dřevin (Szymona et al., 2014).

2.4. Biopaliva

Biopaliva jsou obecně získané z produkce biomasy určené jako zdroj energie. Biomasa se pěstuje cíleně, jako zdroj může být využívána nejrůznější druhy například obilí, olejniny, trávy, odpadní biomasa, odpady z živočišné výroby, hlavně exkrementy hospodářských zvířat. V rámci politiky biopaliv chtějí výzkumníci z IIASA ve Vídni použít model GLOBIOM, což je částečný rovnovážný model pro využívání zemědělské půdy, studovat relativní dopad několika alternativ bioenergie (Wise et al., 2014).

Zvyšující se spotřeba energie má za následek nacházení dalších alternativních zdrojů. Každým rokem se zvyšují náklady na dopravu biomasy pro energetické účely podle autorů Wise et al. (2014), kteří uvádí, že v roce 2000 sahaly náklady na dopravu 0,6 % mld. dolarů a v roce 2030 budou náklady 7,3 % mld. Dolarů. Zde nastává otázka, do jaké míry je cena při výrobě biomasy závislá na ceně motorové nafty. Spalováním biomasy se samozřejmě vytváří CO₂ stejně jako u fosilních paliv s tím rozdílem, že je zpět absorbován do půdy při růstu nově zařazených dřevin z toho vyplývá, že je CO₂ neutrální (Timmons et al., 2010).

2.4.1. Rozdělení biopaliv podle druhu použité biomasy

Biopaliva první generace

Biomasa je produkována v tropických oblastech, kde jsou vhodné přírodní podmínky (výnosy jsou 2-3krát větší než v mírném pásmu). Plodiny obsahují vysoký podíl cukru, škrobu a oleje. Do biopaliv první generace patří například: cukernaté plodiny

(cukrová třtina, cukrová třtina, cukrový čiroku, škrobnaté plodiny (kukuřice, pšenice, ječmen, žito, kasava), olejnaté plodiny (palma olejná, řepka olejná, slunečnice, sója, hořčice) (Kochaphum et al., 2013).

Biopaliva druhé generace

Biopaliva druhé generace se liší od první generací především svým odlišným vlivem na životní prostředí. Vykazuje vyšší produkci CO₂ během celého životního cyklu a jsou vyráběny z nepotravinářské biomasy. Biopaliva jsou vyvážená z celulóзовých zdrojů a rostliny obsahují komplex buněk tzv. lignocelulóza, která se musí přeměnit na jednodušší prvky. Jednou z možností je pyrolýza, kdy výsledek se buď přímo spálí, nebo se za pomoci katalyzátoru přemění do kapalného biopaliva. Druhá možnost je rozklad enzymů a proto fermentace vzniklých cukrů (Singh & Setiawan, 2013).

Biopaliva třetí generace

A existuje ještě třetí generace využívající mikroby, které mohou žít na plochách nevhodných pro pěstování potravinářských plodin a mohou produkovat chemikálie téměř přímo využitelné v motorech (Vaněk, 2012).

Náhrada za motorovou naftu je palmový olej méně vhodnou alternativou než jiné rostlinné oleje z důvodu vysoké viskozitě, nižší energetické hustoty a vysokým bodem vzplanutí. Nicméně olej je velice výnosný a především jeho nízká cena komodity je pro pěstování rozhodujícím faktorem (Fitzherbert et al., 2008).

2.4.2. Rozdělení biopaliv podle skupenství

2.4.2.1. Tuhá biopaliva

Tuhá biopaliva jsou taková paliva, která se nacházejí v době skladování, dopravování a připravování (pro jejich budoucí energetické využití) v tuhém stavu. Zdrojem tuhých paliv podle *prEN 14961-1 – Klasifikace a třídy paliv* je následující: dřevní, ovocné, rostlinné, směsí (záměrné smíchání paliva) a příměsí (nezáměrné smíchání paliva) (Kotlánová, 2010). Nejvýznamnější tuhým palivem je dřevo, které se dá zhodnocovat trvale udržitelným způsobem. Jeho roční celosvětový přírůstek dřevní hmoty

dosahuje na 12,5 mld. m³, což představuje energetický ekvivalent tedy asi 1,3 násobek celosvětové produkce roční spotřeby uhlí (Janiček, 2009). Dřevní odpad se primárně získává z těžebního průmyslu například v oblasti nábytkářství a dřevozpracujícím průmyslu. Tento odpad je často nevyužívaný proto by se měla věnovat pozornost na účinnost technologie spalování. Mezi tuhá paliva se nejčastěji řadí například: polena, štěpka, brikety, pelety, piliny, sláma (ve formě briket nebo pelet), seno (ve formě briket a pelet). V samostatných kapitolách jsou druhy tuhých biopaliv stručně popsány. Specifické vlastnosti tuhých paliv určují základní normativní hodnoty: průměr, délka, voda, popel, mechanická odolnost, množství jemných částic, sypná hmotnost, přísady, výhřevnost v původním stavu, dusík, síra a chlór (Kotlánová, 2010). Dřevo je anizotropní materiál a jeho vlastnosti jednotlivých druhů ovlivňuje jeho pozdější využití (Strupavský, 2010). V dalších kapitolách se zaměříme na naměřené hodnoty specifických vlastností tuhých paliv.

Jednoznačné a jasné zásady tuhých biopaliv poskytuje soubor norem EN 14961 Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv, který poskytuje obecné požadavky a dodatečné výrobní a dodatečné výrobní normy. Slouží jako nástroj pro co nejefektivnější obchodování s biopalivy a umožňuje dobré normy. Slouží jako nástroj pro co nejefektivnější obchodování s biopalivy a umožňuje dobré porozumění mezi dodavatelem a odběratelem. Též slouží jako nástroj pro komunikaci s výrobcí zařízení (Kotlánová, 2010).

EN 14961 Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv sestává z následujících částí:

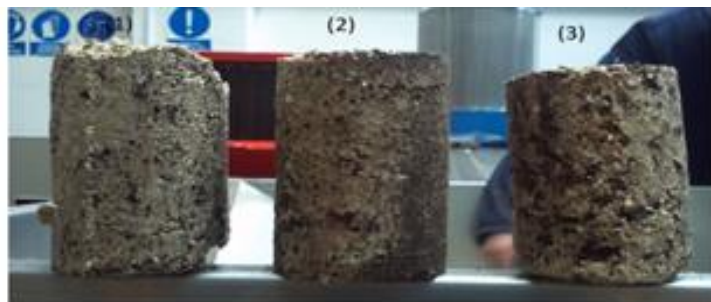
- Část 1: Obecné požadavky
- Část 2: Dřevní pelety pro maloobchodníky
- Část 3: Dřevní brikety pro maloobchodníky
- Část 4: Dřevní štěpka pro maloobchodníky
- Část 5: Palivové dřevo pro maloobchodníky
- Část 6: Nedřevní pelety pro maloobchodníky

Brikety

Jelikož se za posledních pár let značně zdražila energie, která je však nezbytnou součástí všech obytných budov stojí za otázkou, kde vzít levnější a obnovitelnější zdroj energie. Dalším tepelným využitím rostlinné produkce jsou již zmiňované brikety. Při vzniku briket je typické, že musí vzniknout tlak, který z rostlinné biomasy vytvoří určitý tvar brikety. Tvary mohou být různé. Vyskytující tvary jsou například hranol nebo kvádr se čtyřmi, šesti nebo osmi stěnami, ale však nevyskytující tvarem je válec, který má nebo nemá díru (Petříčková, 2007)

Brikety se primárně vyrábí z dřevního odpadu (piliny), bez příměsí či pojiv, a nesou tak jméno dřevní brikety. Výhřevnost dřevní brikety se pohybuje od 17–18,5 MJ/kg. Produkce každým rokem stoupá a tak se svět snaží poohlédnout po energetických plodinách (rostlinné brikety). Kdyby se výroba potřebné suroviny pěstovala na vlastních plantážích (nenastane přesouvání komodit) snížily by se tím náklady spojené s materiálem a dopravou pro briketování. Tento krok by zajistil stabilitu dodávek materiálu pro jeho výrobu. Tím by se produkce briket stala atraktivním nosičem energie především pro rozvojové země (Mariusz et al., 2013). Dřevní brikety jsou vysoce ekologické a neobsahují stopy síry ani těžkých kovů. Dobu hoření prodlužuje postupné spalování od povrchu do středu (Sublima, 2014).

V Malajsii byly zbytky palmové biomasy (zbytky vzniklé z mlýnů na lisování palmového oleje) transformovány do briket (Ng et al., 2012). Výrobou briket z odpadní biomasy palmy olejné se také zabýval Kaválek et al. (2013), který zkoumal především fyzikální a energetické vlastnosti vyrobených briket (viz Obrázek 7).



Obrázek 7: Směsné brikety na bázi palmy olejně (foto: Kaválek, 2012),

Pozn. (1)-briketa z palmy olejně o průměru vstupních frakcí 3,8 mm; (2)-briketa z palmy olejně o průměru vstupních frakcí 8 mm; (3)-briketa s poměrem dřevních pilin:palmě olejně (1:1)

Pelety

Pelety mají válcovitý tvar. Jde o průmyslové lisované granule o průměru 6–14 mm. Spalování toho paliva nahrazuje neekologické spalování fosilních paliv. Pelety rozdělujeme na dřevní, který se stejně jako dřevní brikety vyrábí především z pilin, kůry a dřevní štěpky. Vlhkost pilin by neměla přesáhnout 10 % (Pejzl, 2008). Dřevní pelety se dále dělí na bílé (vyrábí se z čisté hmoty–piliny) a tmavé (piliny smíchané s kůrou). Dále máme alternativní pelety, které pochází z lisování rostlin nebo alespoň z jejich částí. Tam patří agropelety (lisování zemědělských komodit) a ostatní (obtížné materiály na zpracování) (Verner, 2010). Dřevní pelety mohou mít rozdílnou barvu, která je ovlivněna druhem dřeva, vlhkostí nebo příměsí kůry a hlavně je barva ovlivněna procesem výroby (Stupavský, 2010). Na složení a kvalitě je závislá výhřevnost pelet. Výhřevnost se pohybuje od 15–18 MJ/kg u alternativních pelet a 17,5–19,5 MJ/kg u dřevěných pelet (Verner, 2010). Původ pelet lze poznat sensoricky, platí zde pravidlo, že čím světlejší barva tím kvalitnější materiál (Stupavský, 2010). V roce 2012 byl uzavřen první obchod mezi Malajsie a Jižní Koreou, která poptávala pelety (viz Obrázek 8) vyrobeny z prázdných hroznů palmy olejně (Koay, 2014).



Obrázek 8: Zpracování biomasy palmy olejné na výrobu pelet (zdroj: Koay, 2014)

2.4.2.2. Kapalná biopaliva

Hledání udržitelných metod k výrobě pohonné hmoty vede k obavám spojené s poptávkou a nabídkou. Globální ropné nároky vzrostly, do roku 2025 se očekává, že celosvětová poptávka vzroste o 50 %. Rostoucí závislost na ropě a neschopnost chránit zásobovací trasy z globálních politických intrik a následné kolísání cen je dalším důvodem pro prosazování alternativních paliv (Vancov, 2012).

Kapalná biopaliva jsou taková biopaliva, která jsou v době transportu, skladování a připravování v kapalném stavu. Mezi nejčastější biopaliva patří bioetanol vyráběný nejčastěji z kukuřičných zrn, pšenice, cukrové třtiny a bionafty, která je z olejnatých plodin jako například palma olejná, sója a řepka olejná (Scovronick & Wilkinson, 2014). Předpokládá se, že bionafta se bude používat jako náhrada za ropnou naftu a bioetanol jako náhrada benzínu (Demirbas, 2011).

Bionafta

Bionafta je jantarově žlutá kapalina, která má viskozitu podobnou s naftou (petronafta, nafta). Bionafta je nehořlavá a nevybušná, na rozdíl od petronafty, která má bod vzplanutí o dvojnásobek větší. Tato vlastnost dělá vozidla používající bionaftu mnohem bezpečnější než ty, poháněny naftou nebo benzínem. Na rozdíl od petronafty je

bionafta biologicky odbouratelná netoxická a výrazně snižuje toxické a další emise při spalování jako palivo. Po technické stránce je bionafta z monoalkylesterů s dlouhým řetězcem mastných kyselin získaných z živočišných tuků nebo rostlinných olejů. Bionafta se obvykle vyrábí reakcí rostlinného oleje nebo živočišného tuku s metanolem nebo etanolem v přítomnosti katalyzátoru, čímž se získá metyl- nebo ethylethery (bionafta) a glycerin (Demirbas, 2011). Účelem procesu transesterifikace je snížení viskozity a kyslíku. Bionafta produkuje o něco nižší výkon a točivý moment než nafta, což má za následek vyšší spotřebu určenou pro pohon. Nicméně, bionafta je lepší, než motorová nafta, pokud jde o obsah síry, bod vzplanutí, obsah aromatické a biologické rozložitelnosti (Rahmadi et al., 2013). Bionafta je použitelná v diesellových motorech v čisté formě nebo smícháním s naftou.

V současné době je více než 95 % bionafty vyrobené v celosvětovém měřítku z jedlých rostlinných olejů (Ashraful et al., 2014). Celosvětová produkce bionafty v roce 2008 dosáhla 12,3 miliard l. Největšími výrobci je Evropská Unie s 54 % částí a Spojené státy americké se 16 % podílem na výrobě. Řepkový a slunečnicový olej dominuje převážně v Evropské Unii, sójový ve Spojených státech amerických a palmový a kokosový olej v Asii. Thajská vláda vybuďovala cíle pro výrobu bionafty, které říkají, že v roce 2011 výroba bionafty bude 3 miliónů l za den, 3,64 miliónů l za den v roce 2016 a v roce 2022 by to mělo být 4,5 miliónů l za den (Silalertruksa et al., 2012).

Malajsie vyprodukuje ročně 16 miliónů t kalu z palmového oleje, který podle autorů Nasaruddin et al. (2014) není moc dobře využitelný pro výrobu bionafty hlavně kvůli velkému obsahu volných mastných kyselin. Surový palmový olej obsahuje nasycená a mononenasycená kyseliny. Díky kyselinám má tento olej vysokou teplotu tání (33-39 °C). Tento problém lze vyřešit přidáním aditiv, které zabrání srážení (Cukalovic et al., 2013).

2.4.2.3. Plynná biopaliva

Bioplyn

Největší perspektivní význam ze všech plynných biopaliv má bioplyn, protože splňuje dvě základní kritéria. Zpracování organického odpadu rostlinného původu, který má vyšší obsah vlhkosti a často je doplněn odpadem živočišným.

Bioplyn má vysoký obsah metanu a vodíku až 65 %. Spalné teplo bioplynu je srovnatelné se zemním plynem tedy 21,5 MJ/m³ (Petříková, 2012).

Mlýn na zpracování palmového oleje zaznamenává vzniklé odpady (viz kapitola 3.2.1), kdy největší potenciál pro výrobu bioplynu mají prázdné hrozny díky své vlhkosti okolo 65 %. Podmínkou pro výrobu bioplynu je hlavně teplota (cca 37 °C) a nepřítomnost vzduchu a kyslíku (O-Thong et al., 2012).

Využití bioplynu

1. přímé spalování k výrobě tepla
2. kogenerace
3. výroba pohonných hmot
4. energetické využití

2.5. Základní fyzikální a mechanické parametry tuhých biopaliv

2.5.1. Vlhkost

Vlhkost paliva je do jisté míry nežádoucí, protože snižuje výhřevnost paliva proto je tento parametr jeden z nejdůležitějších.

Z hlediska uložení vody dělíme:

1. Voda chemicky vázaná nelze jí oddělit sušením neboť je součástí chemických sloučenin. Dá se zjistit pouze analýzou chemických paliv a množství

představuje zhruba 1-2 % sušiny. Při určování fyzikálních a mechanických vlastnostech nemá žádný význam (Samuelsson et al., 2012).

2. Voda vázaná neboli hydroscopická je taková, která je uložena v buněčných blánách a obsažena v mezi micelárních prostorech. Vyskytuje se při vlhkosti 0-30 % a má největší význam při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastnostech.

3. Voda volná neboli kapilární vyplňuje mezibuněčné prostory a je méně významná jak voda hydroscopická (Baláš a Moskalík, 2009).

Z hlediska průběhu procesu hoření není optimální spalování suchého vzorku. Vlhkost ovlivňuje výhřevnost, růst hub a uvolňování sporů, schopnost hoření, hrozí riziko samovznícení a ovlivňuje sypanou hmotnost. Příliš suchá hmota hoří explozivně a velká část energie uniká v kouřových plynech (Samuelsson et al., 2012).

2.5.2. Spalné teplo a výhřevnost

Při hoření paliva se uvolňuje teplo, které se vyjadřuje buď jako spalné teplo nebo jako výhřevnost paliva. Definice spalného tepla je celkové možné množství, které se při spálení uvolní. Výhřevnost paliva, je množství tepla uvolněného z paliva, přičemž vlhkost paliva zůstane ve spalinách spolu s tepelnou energií, použitou na přeměnu vody ve vodní páry. Hodnota výhřevnosti je tedy nižší než spalné teplo.

Dřevo je snadno dostupná a obnovitelná surovina. Výhřevnost dřeva závisí na vlhkosti dřeva (viz Tabulka 2), protože všechna voda se vypaří v průběhu spalování. Výhřevnost sušiny se pohybuje podle výskytu vlhkosti (Souček & Koutík, 2010).

Tabulka 2: Výhřevnost dřeva v závislosti na vlhkosti

Vlhkost	Výhřevnost MJ/kg
50%	8
35%	11
20%	14
0%	18,5

Zdroj: Hruška, 2014

Čím vyšší je výhřevnost paliva, tím vyšší je možný energetický výkon. Využití zdrojů biomasy a ostatních organických odpadních materiálů chce řadu zkoumání o fyzikálních, chemických a termodynamických vlastnostech. Pro stanovení spalného tepla se používá kalorimetr. Tato metoda je sofistikovaná, nákladná a časově náročná (Nhuchhen & Salam, 2012).

2.5.3. Sypná hmotnost a velikost částic

Sypná hmotnost je poměr mezi hmotností a prostorem, které palivo zaujímá. Lze jí definovat pouze u pevných látek. Jednotka pro sypnou hmotnost se měří v mg/m^3 a je závislá od vlastností materiálu až po druh biomasy, zrnitost a vlhkost (Jandačka & Malcho, 2007).

Důležitým faktorem pro určení sypné hmotnosti, pochopení vlastností a chování různých materiálů je určení velikosti částic pevných látek (Večerka, 2012).

Metoda pro měření velkolistí tuhých látek se nazývá síťová analýza, která je označovaná jako nejjednodušší způsob měření. Tuhé látky se můžou analyzovat buď v suchém stavu, nebo ve formě suspenze.

Velikost částic ovlivňuje:

1. chemickou reakci
2. transport
3. snížení prostupu vzduchu při sušení
4. vznik prachových částic při transportu
5. zpracovatelnost
6. fyziologické vlastnosti (Jandačka & Malcho, 2007).

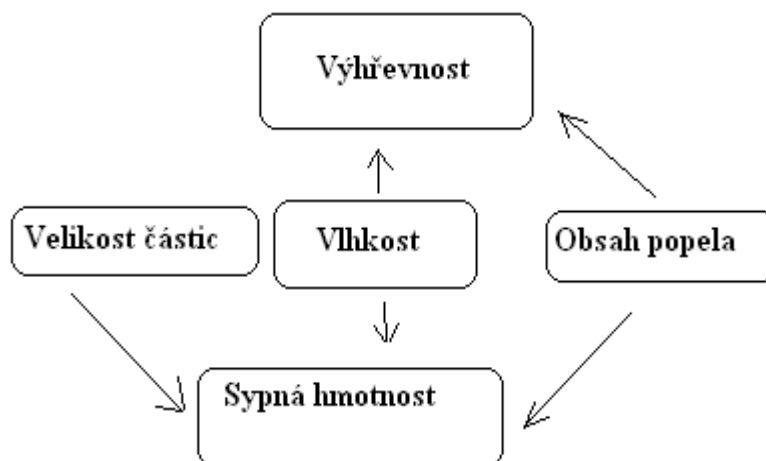
2.5.4. Obsah popela

Obsah popela dřeva ve srovnání s odpadní biomasou nabývá nižší hodnotě. Hodnoty se mohou pohybovat od 0,6-1 % u kůry ojediněle překročí 3 %. Obsah popela ovlivňuje výhřevnost materiálu (viz Obrázek 9). Díky nízkým hodnotám obsahu popela nastává finanční úspora, jelikož není třeba kontinuálního odvodu tuhých odpadů (Míka et al., 2011). Popel po spálení obsahuje řadu stopových prvků, které jsou velice prospěšné pro

půdu a slouží převážně jako hnojivo takže nastává vracení živin. Problém může nastat u výskytu těžkých kovů v dřevinách (Weger, 2009).

Obsah popela ovlivňuje:

1. emise
2. výhřevnost (Míka et al., 2011)



Obrázek 9: Závislost fyzikálních a mechanických parametrů (zdroj: vlastní zpracování z Jandačka a Malcho, 2007; Nhuchhen a Salam, 2012; Míka et al., 2011; Samuelsson et al., 2012).

3. Cíl práce

Cílem literární rešerše bakalářské práce bylo vytvořit přehled o problematice pěstování a způsobech zužitkování palmy olejně a popsat vliv základních parametrů na kvalitu tuhých biopaliv.

Hlavním cílem práce bylo zhodnocení možností využití odpadní biomasy palmy olejně jako tuhé biopalivo.

Pro dosažení hlavního cíle byly zaprvé experimentálně stanoveny základní fyzikálně-mechanické vlastnosti odpadního endokarpu palmy olejně, jako je spalné teplo, obsah popela, vlhkost a rozdělení velikostí částic. Specifickým cílem zde bylo porovnání vlastností dvou druhů materiálů, a to znečištěné pískem a čisté biomasy.

Dále pro dosažení hlavního cíle byl na základě určení výnosů vypočítán maximální energetický potenciál odpadní biomasy palmy olejně. Specifickým cílem a hlavním přínosem práce bylo zjištění a porovnání energetických potenciálů jednotlivých odpadních částí palmy olejně produkovaných během lisování oleje. Energetický potenciál endokarpu, vláknů mezokarpu a prázdných ovocných hroznů byl vyhodnocen pro tři největší pěstitelské země, a to Indonésie, Malajsie a Nigérie.

4. Materiál a metodika

4.1. Metodika literární rešerše

Hlavním zdrojem, který sloužil jako podklad pro literární rešerši, byly informace čerpané z odborné literatury. Základ literární rešerše byly poznatky týkající se historie, charakteristiky palmy olejné a využití biomasy k energetickým účelům. Vědecké články byly primárně vyhledávané podle klíčových slov. Články pocházejí především z databází jako například ScienceDirect, Scopus a Web of Knowledge. Seznam použité literatury je uveden na konci bakalářské práce. Citační normy byly sladěny podle stanovených předpisů „Pravidla citování pro FTZ ČZU v Praze pro psaní v češtině“ ze dne 11. 3. 2014.

4.2. Rostlinný materiál

Odpadní biomasa palmy olejné byla poskytnuta Českým vysokým učením technickým v Praze. Biomasa byla dovezena z Indonésie. Rostlinný materiál – odpadní biomasa z endokarpu (skořápka z palmových jader) byl dvojího druhu, znečištěná odpadní biomasa (v původním stavu) a čistá biomasa, která prošla procesem promytí vodou a poté vysušením.

4.3. Základní naměřené parametry rostlinného materiálu

Výzkum proběhl v laboratoři České zemědělské univerzity v budově Fakulty tropického zemědělství. K měření základních fyzikálních a mechanických parametru, jako je spalné teplo, obsah popela, vlhkost a velikost frakcí, byly použity pomůcky, které byly poskytnuty Českou zemědělskou univerzitou. K přehlednému vyhodnocení naměřených hodnot ve formě Grafu byl použit program Microsoft Excel, údaje byly také zpracovány do Tabulek.

4.3.1. Stanovení vlhkosti vzorku

Při stanování vlhkosti vzorků byly nejprve vzorky rozděleny do misek a vloženy do sušárny UFE 500 Memmert (viz Obrázek 10). Cílem měření bylo zjistit vlhkost znečištěné a čisté biomasy. Práce byla provedena podle platné normy ČSN EN 14774-1: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 1: Celková voda - Referenční metoda. „Norma je českou verzí evropské normy EN 14774-1:2009. Popisuje postup pro stanovení obsahu celkové vody ve vzorku tuhých biopaliv sušením v sušárně. Metoda se používá při vyžadování vysoké přesnosti stanovení obsahu vody a je použitelná pro všechna tuhá biopaliva. Metoda počítá s korekcí na působení vztlaku při stanovení obsahu vody. Vzorek biopaliva se suší v sušárně ve vzduchové atmosféře při teplotě 105 °C tak dlouho, dokud po sušení nedosáhne konstantní hmotnosti. Z úbytku hmotnosti vzorku se vypočítá obsah vody v procentech a zahrne se postup pro korekci vlivu vztlaku. Vypočítává se obsah vody v biopalivu ve vlhkém stavu a bezvodém stavu. Norma uvádí odkazy na evropské normy a přístroje pro provedení zkoušky. Součástí normy nejsou údaje o shodnosti“ (ČSN EN 14774-1, 2010).

Každý vzorek byl zvážen před vložením do sušičky i po vyjmutí z ní. Sušení vzorků trvalo 8 hodin.



Obrázek 10: Sušárna UFE 500 Memmert (foto: vlastní)

Vlhkost se stanovila podle vzorce:

$$\omega = (m_{\omega} - m_d) / m_{\omega} * 100 [\%]$$

ω - vlhkost vzorku [%]

m_{ω} - hmotnost vlhkého vzorku [g]

m_d - hmotnost suchého vzorku [g]

4.3.2. Stanovení spalného tepla

Pro měření spalného tepla byla použita platná norma ČSN EN 14918: Tuhá biopaliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti. „Norma popisuje metodu pro stanovení spalného tepla tuhých biopaliv při konstantním objemu a referenční teplotě 25 °C v kalorimetru s tlakovou nádobou, kalibrovanou spálením certifikované kyseliny benzoové a výpočet výhřevnosti tuhých biopaliv“ (ČSN EN 14918, 2010). Do spalovací misky byl navážen homogenní vzorek o hmotnosti 0,5 – 1 g, který pak byl vložen do kalorimetrické tlakové bomby. Do šroubovacích matic byl nasazen drátek, který uzavřel vodící okruh a do misky se vzorkem byl vložen papírek. Poté se bomba naplnila kyslíkem pod tlakem 28 atm. Bomba se vložila do kalorimetru, kde musela být umístěna na správně definované pozici. Napustila se voda a po 5 minutách je proces hoření ukončen. Na kalorimetru typu MS 10 A se objeví hodnota dT °C, která slouží k dalším výpočtům (viz Obrázek 11). Vypustí se voda, nádoba se vyjme a vypustí se přetlak a plyny po shoření. Proces se musí opakovat nejméně 2krát.

Vzorec pro stanovení spalného tepla:

$$Q_{gr} = dT_k * T_k - (c_1 + c_2) / m [J/g]$$

Q_{gr} - spalné teplo [J/g]

dT_k - teplotní skok [°C]

T_k - konstanta kalorimetru [9107 J]

m - váha vzorku [g]

c_1, c_2 - oprava na drátek a papírek [konstanta 90 J]



Obrázek 11: Kalorimetr MS 10 A (foto: vlastní)

4.3.3. Stanovení velikosti částic odpadní biomasy

Vzorek materiálu pro účel sítové analýzy byl odebrán a zvážen vždy po $1000 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$. Síťová analýza byla provedena pomocí soustavy sít o rozměrech ok $0,50 \text{ mm}$; $1,5 \text{ mm}$; $3,55 \text{ mm}$; $6,7 \text{ mm}$; 8 mm a 10 mm . Navážka byla vložena na horní síto s největším průměrem otvorů. Jednotlivé frakce byly separovány tzv. síťovým rozborem, během setřásání biomasy pomocí vibračního třídiče. Doba trvání zkoušky byla zvolena na 15 minut s nastavenou amplitudou 3. Celá zkouška se prováděla u každého vzorku, tzn. znečištěná biomasa a čistá biomasa, 3krát.



Obrázek 12: Rozdělení frakcí materiálu (foto: vlastní)

4.3.4. Stanovení obsahu popela

Analytické vzorky (znečištěná a čistá odpadní biomasa) se navážily v porcelánových spalovacích kelímkách. Hmotnost navážky byla 1-1,5 g. Navážený zkušební vzorek se vložil do Muflonovy pece a teplota pece po dobu 30 minut postupně stoupala na 250 °C, táto teplota se pak udržovala 60 minut, následně teplota během 30 minut řízeně stoupala na 550 °C a udržovala se 120 minut. Po době zuhelnění byly kelímky vyjmuty a nechány na odolné desce po dobu 5-10 minut pro dosažení laboratorní teploty. Po vychladnutí byly kelímky se vzorky zváženy pro zjištění obsahu popela (viz Obrázek 13). Stanovení obsahu popela tuhých paliv byl prováděn u 2krát u každého vzorku. Vše bylo prováděno podle platné normy pro stanovení obsahu popela ČSN EN 14775 (ČSN EN 14775, 2010).

Pro výpočet obsahu popela v bezvodém stavu bylo užito vzorce:

$$A_d = (m_3 - m_1) / (m_2 - m_1) * 100 * 100 / (100 - M_{ad}) [\%]$$

A_d - obsah popela [%]

m_1 - hmotnost prázdného kelímku [g]

m_2 - hmotnost kelímku se zkušebním vzorkem [g]

m_3 - hmotnost kelímku s popelem [g]

M_{ad} - obsah vody ve zkušebním vzorku [%]



Obrázek 13: Vzorky palmy olejné po vyjmutí z Muflonovy pece (foto: vlastní)

4.4. Výnos biomasy největších pěstitelů

Výnos z biomasy byl rozdělen na tři největší pěstitele palmy olejně dle kapitoly 2.2. Podle vědeckých článků byla zjištěna plocha, na které se plodina pěstuje a kolik biomasy vznikne při pěstování. Při lisování palmy olejně vznikají v mlýnech odpady, které byly rozděleny na endokarp, vlákna z mezokarpu a prázdné ovocné hrozny. Jako hlavní materiál pro měření výnosnosti a maximálního energetického potenciálu posloužila biomasa z endokarpu. Podle autorů byl tento vstupní materiál procentuálně vyjádřen (viz Tabulka 3). Procentuální vyjádření dalších odpadů vzniklých při lisování palmového oleje je znázorněny v Příloze 1.

Tabulka 3: Procentuální vyjádření biomasy vzniklé z endokarpu palmy olejně

Reference	Množství odpadní biomasy z endokarpu
Umar et al., 2014	6-8%
Chang et al., 2014	2,71 – 6,71 %
Sulaiman, 2011	5,50%

Zdroj: vlastní zpracování

Malajsie

Malajsie má celkovou rozlohu podle MPOB (2014) **5 300 000 ha** a celková vytvořená biomasa podle autora Sulaiman et al. (2011) je **74 600 000 t**.

Indonésie

Indonésie má celkovou rozlohu podle ISOP (2012) **8 100 000 ha** a celková biomasa, která se vytvoří při pěstování je **146 700 000 t** (Zafar, 2014).

Nigérie

Nigérie má celkovou rozlohu podle FAO (2013) **2 500 000 ha** a celková biomasa, která se vzniká při pěstování je **5 000 000 t**.

Pro zjištění výnosnosti biomasy z různých částí rostliny byly použity následující výpočty:

$$1. \text{ PE} = \text{PB} * \text{E} / 100 \text{ [t]}$$

PE - produkce biomasy z endokarpu [t]

PB - roční produkce biomasy celkem [t]

E - procentuální zastoupení odpadní biomasy z endokarpu [%]

$$2. \text{ VE} = \text{PE} / \text{R} \text{ [t/ha]}$$

VE - výnos odpadní biomasy z endokarpu [t/ha]

PE - produkce biomasy z endokarpu [t]

R - rozloha [ha]

4.5. Maximální energetický potenciál biomasy palmy olejné

Pro zjištění maximálního energetického potenciálů je třeba znát několik údajů, které budou použity pro další výpočty, jako je výnos biomasy palmy olejné a spalné teplo. Maximální energetický potenciál byl spočítán nejdříve individuálně u všech částí odpadní biomasy, protože se ukázalo, že zastoupení vláken z mezokarpu a prázdných ovocných hroznů je také značné. Dále byl spočítán celkový energetický potenciál všech tří odpadních částí palmy.

Pro zjištění maximálního energetického potenciálu jednotlivých částí a celkového energetického potenciálu odpadní biomasy palmy olejné byly použity následující vzorce:

$$1. \text{ EPE} = \text{VE} * \text{Q}_{\text{gr}} \text{ [GJ/ha]}$$

EPE - maximální energetický potenciál biomasy z endokarpu [GJ/ha]

VE - výnos odpadní biomasy z endokarpu [t/ha]

Q_{gr} - spalné teplo čistého vysušeného vzorku [GJ/t]

$$2. \text{ CEP} = \text{EPE} + \text{EPV} + \text{EPH} \text{ [GJ/ha]}$$

CEP - celkový maximální energetický potenciál všech odpadních částí rostliny [GJ/ha]

EPE - maximální energetický potenciál odpadní biomasy z endokarpu [GJ/ha]

EPV - maximální energetický potenciál vláken z mezokarpu a prázdných [GJ/ha]

EPH - maximální energetický potenciál prázdných ovocných hroznů [GJ/ha]

5. Výsledky a diskuze

5.1. Laboratorní měření

Pro jednodušší přehlednost byly naměřené hodnoty seříděny do tabulek. Vysvětlivky popisků vyskytujících se v tabulkách naměřených hodnot lze nalézt pod tabulkou.

5.1.1. Výsledky vlhkosti odpadní biomasy palmy olejně

Po vyjmutí ze sušárny UFE 500 Memmert byly naměřené hodnoty spočítány podle vzorců uvedené v kapitole 4.3.1. a výsledky byly uspořádaný do Tabulky 4. Výsledky měření jsou zaokrouhleny na 2 desetinná místa.

Tabulka 4: Výsledky měření vlhkosti odpadní biomasy palmy olejně

Biomasa	váha vlhkého vzorku [g]	váha suchého vzorku [g]	vlhkost [%]
Z₁	93,58	82,06	12,31
Z₂	84,38	73,85	12,48
Č₁	97,00	87,19	10,11
Č₂	97,31	87,24	10,35

Zdroj: vlastní zpracování

Vysvětlivky k tabulce 4:

Z₁ - vzorek znečištěné biomasy palmy olejně číslo 1

Z₂ - vzorek znečištěné biomasy palmy olejně číslo 2

Č₁ - vzorek čisté biomasy palmy olejně číslo 1

Č₂ - vzorek čisté biomasy palmy olejně číslo 2

Z Tabulky 4 vyplývá, že vyšší naměřenou hodnotu vlhkosti má znečištěná odpadní biomasa, která nabývá průměrné hodnoty 12,40 %, přičemž čistá odpadní biomasa má průměrnou hodnotu vlhkosti 10,23 %. Proto se očekává, že hodnota spalného tepla

vlhkého znečištěného vzorku bude nejspíše také nižší. Kaválek et al. (2013) naměřil vlhkost odpadního materiálu z palmy jako 7,46 %. Autor Ng et al. (2012) uvádí, že obsah vody u biomasy palmy olejné je 12 %. Obecně je konstatováno, že by obsah vody u biomasy neměl přesahovat 15 % vlhkosti (Baláš a Moskalík, 2009). Tím pádem naměřené hodnoty splňují nařízené limity.

5.1.2. Vyhodnocení spalného tepla

Naměřené hodnoty potřebné pro stanovení spalného tepla jsou uvedeny v Tabulkách 5, 6, 7, 8. Výsledky měření jsou zaokrouhleny na 2 desetinná místa.

Tabulka 5: Výsledky měření spalného tepla vzorku znečištěné biomasy palmy olejné – vysušený vzorek

Váha kádinky [g]			Váha vzorku [g]	Teplotní skok dT_k [°C]	Spalné teplo (Q_{gr}) [J/g]
prázdná	se vzorkem	po spálení			
6,94	7,73	6,97	0,79	1,79	20 581,7
6,58	7,35	6,61	0,77	1,75	20 505,0

Zdroj: vlastní zpracování

Průměrné spalné teplo znečištěného vysušeného vzorku je:

$$20581,7 + 20505,0 / 2 = 20543,35 \text{ J/g nebo } \mathbf{20,54 \text{ MJ/kg}}$$

Tabulka 6: Výsledky měření spalného tepla vzorku znečištěné biomasy palmy olejné – vlhký vzorek

Váha kádinky [g]			Váha vzorku [g]	Tepelný skok dT_k [°C]	Vypočtené teplo (Q_{gr}) [J/g]
prázdná	se vzorkem	po spálení			
6,95	7,80	6,10	0,86	1,82	19 315,7
6,57	7,38	6,62	0,81	1,74	19 488,1

Zdroj: vlastní zpracování

Průměrné spalné teplo znečištěného vlhkého vzorku je:

$$19315,7 + 19488,1 / 2 = 19401,9 \text{ J/g nebo } \mathbf{19,40 \text{ MJ/kg}}$$

Z Tabulek 5 a 6 lze dobře vidět, že znečištěná biomasa vysušená má větší spalné teplo než znečištěná biomasa vlhká. Je to dáno tím, že vlhkost nejvíce ovlivňuje hodnotu spalného tepla.

Tabulka 7: Výsledky měření spalného tepla vzorku čisté biomasy palmy olejné – vysušený vzorek

Váha kádinky [g]			Váha vzorku [g]	Tepelný skok dT_k [°C]	Vypočtené teplo (Q_{gr}) [J/g]
prázdná	se vzorkem	po spálení			
6,96	7,85	6,97	0,89	2,17	21978,3
6,95	7,85	4,99	0,91	2,16	21826,5

Zdroj: vlastní zpracování

Průměrné spalné teplo čistého vysušeného vzorku je:

$$21978,3 + 21826,5 / 2 = 21902,4 \text{ J/g nebo } \mathbf{21,83 \text{ MJ/kg}}$$

Tabulka 8: Výsledky měření spalného tepla vzorku čisté biomasy palmy olejné – vlhký vzorek

Váha kádinky [g]			Váha vzorku [g]	Tepelný skok dT_k [°C]	Vypočtené teplo (Q_{gr}) [J/g]
prázdná	se vzorkem	po spálení			
6,93	7,67	6,96	0,74	1,61	19693,1
4,61	5,32	4,66	0,71	1,53	19592,7

Zdroj: vlastní zpracování

Průměrné spalné teplo čistého vlhkého vzorku je

$$19693,1 + 19592,7 / 2 = 19642,9 \text{ J/g nebo } \mathbf{19,64 \text{ MJ/kg}}$$

Z naměřených hodnot vyplývá, že nejvyšší spalné teplo má čistá biomasa palmy olejné. Nižší hodnota spalného tepla znečištěné biomasy je pravděpodobně způsobená velkým obsahem písku. Podle Kaválek (2013) je spalné teplo endokarpu palmy olejné

podobné a činí 21,41 MJ/kg. Dále v Tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty spalného tepla odpadní biomasy rostlin (slupek a skořápek), které stejně jako palma olejná poskytují rostlinné oleje. Při porovnání se ukazuje palma olejná jako nejlepší.

Tabulka 9: Porovnání spalného tepla odpadní biomasy vybraných rostlin poskytujících oleje

Zdroj odpadní biomasa	Spalné teplo [MJ/kg]
bavlník keřovitý	19,85
kokosovník ořechoplodý	20,43
mandloň obecná	19,92
slunečnice roční	17,60
ořešák královský	18,91

Zdroj: Nhuchhen & Salam, 2012

5.1.3. Analýza rozdělení velikosti částic odpadní biomasy

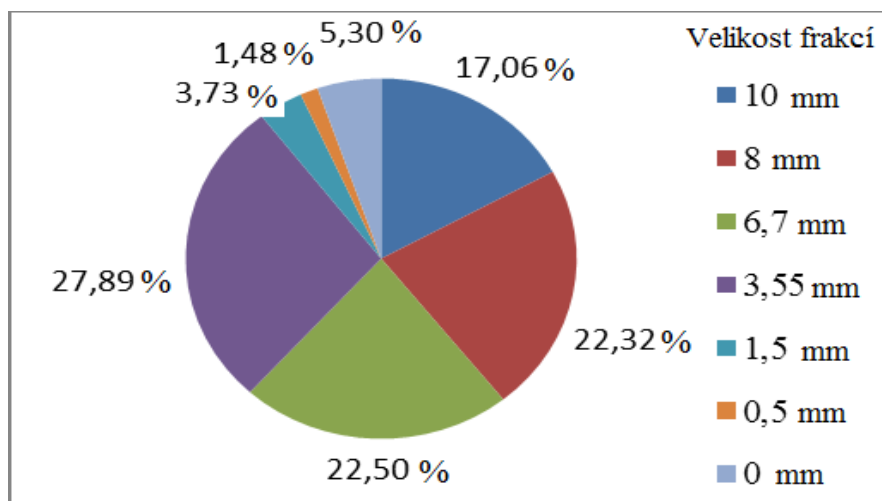
Tabulka 10 znázorňuje rozdělení velikost frakcí u znečištěného vzorku po ukončení sítové analýzy.

Tabulka 10: Rozdělení frakcí znečištěného vzorku

průměr síta [mm]	váha vzorku znečištěného [g]			% vyjádření			aritmetický průměr [%]
	1	2	3	1	2	3	
10	176,7	181,76	153,16	17,67	18,18	15,32	17,06
8	225,49	220,08	224,13	22,55	22,01	22,41	22,32
6,7	232,47	232,47	209,91	23,25	23,25	20,99	22,50
3,55	283,11	263,27	290,36	28,31	26,33	29,04	27,89
1,5	23,56	39,13	49,34	2,36	3,91	4,93	3,73
0,5	11,3	15,41	17,61	1,13	1,54	1,76	1,48
0	46,98	56,61	55,48	4,70	5,66	5,55	5,30

Zdroj: vlastní zpracování

Níže se nachází grafické znázornění rozdělení velikosti částic znečištěné biomasy z endokarpu palmových jader (viz Graf 2).



Graf 2: Grafické vyjádření rozdělení frakcí znečištěného vzorku (zdroj: vlastní zpracování)

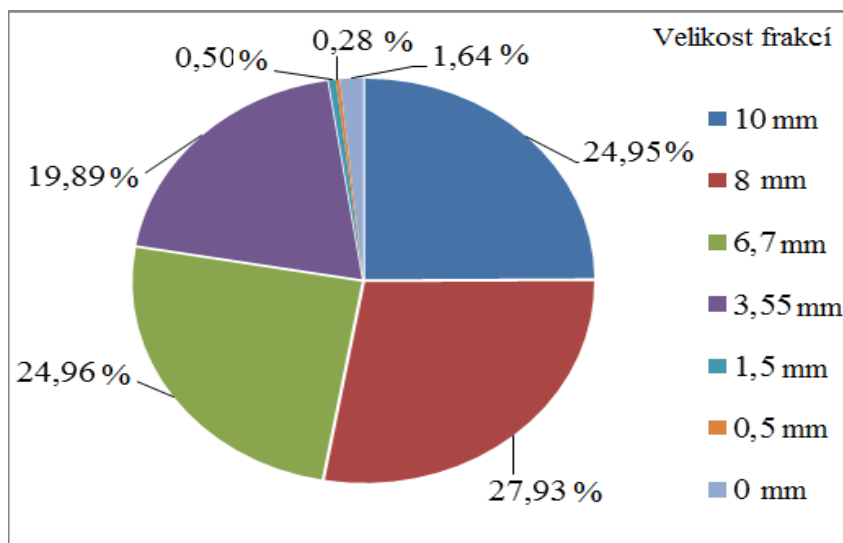
Z Grafu 2 vyplývá, že nejvyšší zastoupení velikosti částic je u průměru oka 3,55 mm. Množství materiálu zahyceného na sítích o velikosti otvoru 6,7 mm a 8 mm je o něco menší, ale přibližně stejné. Docela velké množství představuje i největší frakce 10 mm. Celkem je vidět, že 89,77 % materiálu zůstalo na horních sítích do velikosti ok 3,55 mm.

Rozdělení velikosti frakcí u čistého vzorku je uvedeno v Tabulce 11.

Tabulka 11: Rozdělení frakcí čistého vzorku

průměr síta (mm)	váha vzorku čistého (g)			% vyjádření			aritmetický průměr [%]
	1	2	3	1	2	3	
10	217,37	266,86	264,14	21,74	26,69	26,41	24,95
8	271,29	277,81	288,71	27,13	27,78	28,87	27,93
6,7	266,44	236,62	245,80	26,64	23,66	24,58	24,96
3,55	220,70	195,64	180,30	22,07	19,56	18,03	19,89
1,5	6,43	5,23	3,28	0,64	0,52	0,33	0,50
0,5	2,90	2,82	2,67	0,29	0,28	0,27	0,28
0	16,77	16,51	15,92	1,68	1,65	1,59	1,64

Zdroj: vlastní zpracování



Graf 3: Grafické znázornění rozdělení frakcí čistého vzorku (zdroj: vlastní zpracování)

Z Grafu 3 je vidět, že stejně jako u znečištěného vzorku většina materiálu čistého vzorku byla zachycená a víceméně rovnoměrně rozdělena na horních sítích o největších průměrech ok (10-3,5 mm). Ale zastoupení větších frakcí je v tomto případě vyšší a tvoří 97,73 %.

Při porovnání údajů v Tabulce 10 a 11 a také Grafu 2 a 3 vyplývá, že největší rozdíl je v zastoupení jemných částic (malých frakcí 1,5-0 mm), které u znečištěného vzorku tvoří kolem 10 % a u čistého vzorku jen 2,42 %. Při pokusu se projevilo, že znečištěný vzorek obsahuje velké množství písku, který nejspíše celkem způsobil horší vlastnosti (vyšší vlhkost, nižší spalné teplo a větší obsah popela) tohoto materiálu.

5.1.4. Výsledky obsahu popela

Hodnoty naměřené v laboratoři byly uspořádaný do Tabulky 12.

Tabulka 12: Měření obsahu popela znečištěného a čistého vzorku biomasy z palmy olejné

Biomasa	Prázdný kelímek [g]	Kelímek se vzorkem [g]	Kelímek s popelem [g]
Z ₁	15,6	16,9	15,7
Z ₂	17,1	18,6	17,2
Č ₁	18,4	19,8	18,5
Č ₂	17,7	19,2	17,8

Zdroj: vlastní zpracování

Vysvětlivky k Tabulce 12:

Z₁ - vzorek znečištěné biomasy palmy olejně číslo 1

Z₂ - vzorek znečištěné biomasy palmy olejně číslo 2

Č₁ - vzorek čisté biomasy palmy olejně číslo 1

Č₂ - vzorek čisté biomasy palmy olejně číslo 2

Podle vzorečku z kapitoly 4.3.4. byl spočítán obsah popela vyjádřený v %. Výpočty byly zakrouhleny na 1 desetinné místo. Výsledky měření jsou následující:

$$A_{d1} = 8,8 \%$$

$$A_{d2} = 7,6 \%$$

$$A_{d3} = 7,9 \%$$

$$A_{d4} = 7,4 \%$$

Průměrný obsah popela v znečištěné biomase: **8,2 %**

Průměrný obsah popela v čisté biomase: **7,7 %**

Průměrný obsah popela u znečištěné odpadní biomasy je vyšší než u odpadní biomasy čisté. Důvodem nejspíše je větší obsah popelovin v znečištěné odpadní biomase způsobený přítomností písku. Kaválek al at. (2013) uvádí obsah popela u briket z biomasy palmy olejně značně nižší (3,3 %) než naměřené hodnoty.

Podle FAO (1996) k výrobě tuhých biopaliv je vhodné mít materiál se zbytkovým popelem do 4 %, z toho důvodu, aby při spalování nevznikali problémy se struskou. Ale dle Kotlánové (2010) však může obsah popela u bylinné biomasy dosahovat hodnoty až 10 %. Takže dá se říci, že naměřené hodnoty jsou vyhovující stanoveným limitům.

5.2. Zhodnocení výnosnosti největších pěstitelů

Výsledky produkce odpadní biomasy z endokarpu palmy olejně jsou znázorněny v Tabulce 13.

Tabulka 13: Produkce biomasy z endokarpu palmy olejně u největší pěstitelů [t]

Malajsie	Indonésie	Nigérie	Hodnota % zastoupení dle autorů
4 476 000-5 222 000	8 802 000-10 269 000	3 000 000-3 500 000	Umar et al., 2014
2 021 660-5 005 660	3 975 570-9 843 570	1 355 500-3 355 500	Chang et al., 2014
4 103 000	8 068 500	275 000	Sulaiman, 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem.

Tabulka 13 vypovídá o produkci biomasy z endokarpu palmových jader v Malajsii, Indonésii a Nigérii. Z toho lze usoudit, že největším producentem je Indonésie. Při dalších výpočtech a porovnání produkce jiných částí odpadní biomasy z palmy olejně (viz Příloha 2, 3, 4) se jeví jako nejvíc perspektivní odpadní biomasa z vlákna mezokarpu, především v Indonésii (35 838 810-48 968 460 t). Produkce prázdných ovocných hroznů také převyšuje produkci endokarpu a největším producentem je rovněž Indonésie (17 604 000-33 007 500 t).

2. Výsledky výnosnosti biomasy největších pěstitelů

Tabulka 14 znázorňuje výnos biomasy z endokarpu palmy olejně. Hodnoty jsou zaokrouhleny na 2 desetinná místa pro lepší přehlednost výsledků.

Tabulka 14: Výnos biomasy z endokarpu palmy olejně u největších pěstitelů [t/ha]

Malajsie	Indonésie	Nigérie	Hodnota % zastoupení dle autorů
0,85-0,99	1,09-1,26	0,06-0,07	Umar et al., 2014
0,38-0,96	0,49-1,22	0,02-0,06	Chang et al., 2014
0,77	0,99	0,65	Sulaiman, 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Z Tabulky 14 vyplývá, že výnos odpadní biomasy z endokarpu je nejvyšší v Indonésii, přičemž rozdíl mezi výnosy v Indonésii a Malajsii není razantní. Podle autora Bazmi et al. (2011) je v Malajsii výnos 0,95 t/ha což přibližně odpovídá výpočtům. Avšak při porovnání výnosů všech tří odpadních částí se nejvyšší výnosnost ukázala u vláknů z mezokarpu v Indonésii a to v rozmezí 4,42-6,05 t/ha, dále následuje výnos prázdných ovodných hroznů v Indonésii, který tvoří 2,17-4,08 t/ha (viz Příloha 5, 6, 7).

5.3. Zhodnocení maximálního energetického potenciálu

1. Maximální energetický potenciál odpadní biomasy z endokarpu

V Tabulce 15 je uveden energetický potenciál biomasy z endokarpu palmových jader u největších pěstitelů.

Tabulka 15: Maximální energetický potenciál biomasy z endokarpu palmy olejně [GJ/ha]

Malajsie	Indonésie	Nigérie	Hodnota % zastoupení dle autorů
18,44-21,50	23,72-27,68	1,31-1,53	Umar et al., 2014
8,33-20,83	10,72-26,53	0,59-1,46	Chang et al., 2014
16,9	21,74	1,2	Sulaiman, 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Největší maximální energetický potenciál odpadní biomasy z endokarpu má Indonésie a to s hodnotou do 27,68 GJ/ha (viz Tabulka 15). Autor Bazmi et al. (2011), který také zkoumal energetický potenciál endokarpu palmy olejně uvádí, že potenciál činí 21,41 GJ/ha. Při výpočtech autor použil nižší naměřené spalné teplo 20,18 [GJ/t], proto je jeho hodnota energetického potenciálu nižší, ale je srovnatelná.

Z Přílohy 8, 9, 10 vyplývá, že nejvyšší maximální energetický potenciál mají však vláknů z mezokarpu, které v Indonésii tvoří hodnotu energetického potenciálu až 96,59-131,37 GJ/ha. Druhý nejvyšší maximální energetický potenciál vykazují prázdné ovocné hrozny 47,44-89,96 GJ/ha, a to taktéž v Indonésii.

2. Celkový maximální energetický potenciál

V Tabulce 16 je představen celkový maximální energetický potenciál odpadní biomasy palmy olejně (endokarp, vlákna z mezokarpu a prázdné ovocné hrozny), který vzniká po lisování oleje.

Tabulka 16: Celkový maximální energetický potenciál odpadní biomasy palmy olejně [GJ/ha]

Malajsie	Indonésie	Nigérie	Hodnota % zastoupení dle autorů
132,13-138,26	163,46-177,93	9,39-9,82	Umar et al., 2014
120,26-191,77	167,72-249,01	8,54-13,61	Chang et al., 2014
125,98	162,09	8,95	Sulaiman, 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Tabulka 16 ukazuje, že nejvyšším možným energetickým potenciálem disponuje Indonésie od 167,72 do 249,09 GJ/ha. Celkový energetický potenciál odpadní biomasy z palmy olejně v Malajsii je také značný a dosahuje maximální hodnoty 191,77 GJ/ha. Bazmi et al.(2011) spočítal celkový energetický potenciál pro Malajsii na 119,04 GJ/ha. Energetický potenciál palmového odpadu v Nigerii je nevýznamný.

Pro porovnání, maximální energetický potenciál u energetických plodin, jako například ozdobnice čínská, která se pěstuje primárně kvůli energetickým účelům (celá nadzemní biomasa) a je považována za jednu z nejperspektivnějších rostlin pro přímé spalování ve formě tuhých biopaliv, má podle Havrlanda et al. (2013) maximální energetický potenciál 531,9 GJ/ha. Na druhou stranu odpadní biomasa stonku bavlníku má maximální energetický potenciál v rozmezí 28,53-108,40 GJ/ha (Stavjarská, 2013).

6. Závěr

Díky své unikátnosti, univerzálnosti a cenové dostupnosti se stal olej z palmy olejné velice oblíbenou komoditou, který našel uplatnění v potravinářském a kosmetickém průmyslu, a v poslední době i velice významným zdrojem ekologického tekutého biopaliva - bionafty. Vzhledem ke stoupající produkci palmového oleje, která se každým rokem zvyšuje, vzniká při lisování olejů nadbytek odpadu, s kterým by měli producenti rozumně hospodařit. Využití odpadů jako tuhé palivo ke spalování a výrobě tepla a elektřiny by mohlo přispět k likvidaci odpadu ekonomicky a energeticky výhodnou cestou. Vyhodnocením vhodnosti využití odpadní biomasy palmy olejné jako tuhé biopalivo se zabývala tato práce.

Z měření základních fyzikálních a mechanických parametrů endokarpu palmy olejné a porovnání výsledků s vlastnostmi jiných zdrojů biomasy vyplývá, že materiál má velice dobré parametry, především nízkou vlhkost a vysoké spalné teplo, které činí 21,83 MJ/kg. Obsah popela je docela vysoký, ale splňuje limity pro rostlinnou biomasu. Experimentálně bylo prokázáno, že lepší vlastnosti (vyšší spalné teplo, nižší vlhkost a nižší obsah popela) má čistá biomasa endokarpu zbavená nečistot a písku.

K výpočtu maximálního energetického potenciálu odpadu z palmy olejné posloužily hodnoty procentuálního zastoupení jednotlivých částí odpadní biomasy, údaje o rozloze, na které se palma olejná pěstuje, vypočet produkce a výnosů a hodnota spalného tepla. Výpočty se provedly pro tři hlavní pěstitelské země, pro Indonésii, Malajsií a Nigérii. Ukázalo se, že největší potenciál veškerých odpadů vzniklých během lisování oleje, tzv. endokarpu, vláken z mezokarpu a prázdných ovocných hroznů je produkován v Indonésii. Z porovnání maximálních energetických potenciálů jednotlivých částí vyplývá, že nejlepší hodnoty potenciálu mají vlákna, dále hrozny a pak endokarp. Je potřeba se zmínit, že pro všechny výpočty byla použita hodnota spalného tepla endokarpu, proto je pro další studií doporučováno stanovení spalného tepla a měření základních parametrů i jiných odpadních částí.

Z výsledků výzkumu jednoznačně vyplývá, že je vhodnější využívat celkových energetický potenciál veškeré odpadní biomasy, který je ve srovnání s potenciálem jednotlivých částí mnohem významnější. Maximální hodnota celkového energetického potenciálu palmového odpadu dosahuje v Indonésii kolem 249,01 GJ/ha a v Malajsií 191,8 GJ/ha. Energetický potenciál odpadů z palmy olejné v Nigérii je nevýznamný a jako

jediný zdroj biomasy nemůže být pravděpodobně rentabilně využit. Získané hodnoty jsou maximální a nezahrnují žádné ztráty během pěstování a zpracování.

Lze konstatovat, že díky dobrým fyzikálně – mechanickým vlastnostem a značnému energetickému potenciálu se využití odpadní biomasy palmy olejně jako tuhé biopalivo ukazuje velice nadějným. Nejlepším a nejekonomičtějším způsobem využití by nejspíše bylo přímé spalování vzniklé odpadní biomasy bez jakýchkoliv úprav a transformací.

7. Seznam použité literatury

- Abdul Khalil HPS, Jawaid M, Hassan A, Paridah MT, Zaidon A. 2012. Oil palm biomass fibres and recent advancement in oil palm biomass fibres based hybrid biocomposites. Available at http://cdn.intechopen.com/pdfs/38389/InTechOil_palm_biomass_fibres_and_recent_advancement_in_oil_palm_biomass_fibres_based_hybrid_biocomposites.pdf: Accessed 2014-2-8.
- Ashraful MA, Masjuki HH, Kalam AM, Fattah RMI, Imtenan S, Shahir AS, Mobarak MH. 2014. Production and comparison of fuel properties. *Energy Conversion and Management* 80: 202-228.
- Baláš M, Moskalík J. 2009. Měření vlhkosti paliv. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mereni-vlhkosti-paliv>: Accessed 2014-3-1.
- Bazmi AA, Zahedi G, Hashim H. 2011. Progress and challenges in utilization of palm oil biomass as fuel for decentralized electricity generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 574-583
- Carrere, R. 2013. Oil Palm in Africa: Past, present and future scenario. World Rainforest movement series on tree plantations. Available at http://wrm.org.uy/wp-content/uploads/2014/08/Oil_Palm_in_Africa_2013.pdf: Accessed 2013-12-2.
- Celjak I. 2008. Biomasa je nezbytnou součástí lidského života. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>: Accessed 2014-2-19.
- Cukalovic A, Monbalin MJ-Ch, Eeckhort Y, Echim C, Verhé R, Heynderick G, Stevens V Ch. 2013. Development optimization and scale-up of biodiesel production from crude palm oil and of effective use in developing countries. *Biomass and Bioenergy* 56: 62-69.

- ČEZ. 2014. Informace o využívání biomasy. Available at <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/biomasa/informace-o-vyuzivani-biomasy.html>: Accessed 2014-3-24.
- Čolas D. 2013. Dopady pěstování palmy olejné na životní prostředí a místní komunity [Bc.]. Olomouc. Univerzita Palackého v Olomouci. 52p
- ČSN EN 14774-1. 2010. Tuhá biopaliva-Stanovení obsahu vody-Metoda sušení v sušárně-Část 1: Celková voda-Referenční metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví. 12p
- ČSN EN 14918. 2010. Tuhá biopaliva-stanovení spalného tepla a výhřevnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 52 p.
- Demirbas A. 2011. Competitive liquid biofuels from biomass. *Applied Energy* 81: 17-28.
- Dungani R, Islam MN, Abdul Khalil HPS, Davoudpour Y, Rumudatul A. 2014. Modification of the inner part of the oil palm trunk (OPT) with oil palm shell (OPS) nanoparticles and phenol formaldehyde (PF) resin: physical, mechanical and thermal properties. Available at http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_09/BioRes_09_1_455_Dungani_IADR_Mod_Palm_Trunk_OPS_NP_PF_Properties_4613.pdf
- FAO. 2013. Analysis of incentives and disincentives for palm oil in Nigeria. Available at http://www.fao.org/fileadmin/templates/mafap/documents/technical_notes/NIGERIA/NIGERIA_Technical_Note_PALMOIL_EN_Jul2013.pdf: Accessed 2014-2-23.
- FAO. 1996. Biomass briguetting technology and practices. Available at <http://www.fao.org/docrep/006/ad579e/ad579e00.htm>: Accessed 2014-4-23.
- FAO. 2011. Oil palm industry growth in Africa: A value chain and smallholders' study for Ghana. Available at <http://www.fao.org/docrep/018/i3222e/i3222e11.pdf>: Accessed 2014-2-10.

- Fitzherbert BE, Struebig JM, Morel A, Danielsen F, Brühl AC, Donald FP, Phalan B. 2008. How will oil palm expansion affect biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution* 23: 538-545.
- Gelder JW. 2004. Greasy Palms: European buyers of Indonesian palm oil. Available at http://www.foe.co.uk/sites/default/files/downloads/greasy_palms_buyers.pdf: Accessed 2013-12-18.
- Global Palm Resources. 2010. Harvesting. Available at <http://www.gprholdings.com/harvesting.html>: Accessed 2014-2-3.
- Glopolis. 2013. Na čem se smaží Indonésie. Available at <http://glopolis.org/cs/clanky/brozura-na-cem-se-smazi-indonesie/>: Accessed 2014-2-9.
- Grover PD, Mishra SK. 1996. Regional wood energy development programme in Asia, field document No. 46: Biomass briquetting: Technology and practices. Bangkok (Thailand): Food and Agriculture Organization of the United Nation. 43p.
- Grulich V. 2012. *Elaeis guineensis* Jacq - palma olejná. Available at <http://botany.cz/cs/elaeis-guineensis/>: Accessed 2013-2-1.
- Havrland B, Ivanova T, Lapczynska-Kordon B, Kolaříková M. 2013. Comparative analysis of bio-raw materials and biofuels. Available at https://www.email.cz/download/i/alUD5sHMmJHkd3xM3hkhzCEZNYQTeLYqI1uMx4FmOTdB2joaBqFdv8YcaCVwTJpVorjIhdBo/100_Havrland_B.pdf: Accessed 2014-4-13.
- Henderson J, Osborne JD. 2000. The oil palm in all our lives: how this came about. *Endeavour* 24: 63-68.
- Chang HS. 2014. An overview of empty fruit bunch from oil palm as feedstock for bio-oil production. *Biomass and Bioenergy* 62: 174-181.

- Chin JM, Poh EP, Tey TB, Chan ES, Chin LK. 2013. Biogas from palm oil mill effluent (POME): Opportunities and challenges from Malaysia's perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26: 717-726.
- ISPO. 2012. Indonesian palm oil in numbers 2012. Available at <http://www.ispo-org.or.id/images/Number-2012--.pdf>: Accessed 2014-3-2.
- Jandačka J, Malcho M. 2007. Biomasa jako zdroj energie. Available at <http://www.biomasa-info.sk/docs/PriruckaBiomasaZdrojEnergie.pdf>: Accessed 2014-3-16.
- Janíček F. 2009. Biomasa jako biopalivo. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-ako-palivo>: Accessed 2014-2-19.
- Kamahara H, Hasanudin U, Widiyanto A, Tachibana R, Atsuta Y, Gota N, Daimon H, Fujie K. 2010. Improvement potencial for net energy balance of biodiesel derived from palm oil: A case study from Indonesian practise. *Biomass and Bioenergy* 34: 1818-1824.
- Kaválek M, Havrland B, Pecen J, Ivanova T, Hutla P. 2013. Iol palm shell use as alternative biofuel. Available at <http://agronomy.emu.ee/>: Accessed 2014-4-10.
- Kelly-Yong LT, Lee KT, Mohamed AR, Bhatia S. 2007. Potencial of hydrogen from oil palm biomass as a source of renewable energy worldwide. *Energy Policy* 35: 5692-5701.
- Koay A. 2014 Green wealt in oil palm. Available at <http://www.eco-business.com/news/green-wealth-oil-palm/>: Accessed 2014-2-26.
- Kochaphum Ch, Gheewala HS, Vinitnantharat S. 2013. Does biodiesel demand affect palm oil prices in Thailand? *Energy for Sustainable Development* 17: 658-670
- Kolář L, Vaněk V, Kužel S. 2010. Využití odpadů z bioplynových stanic. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-bioplynovych-stanic>: Accessed 2014-3-5.

- Kongsager R, Reenberg A. 2012. Contemporary land-use transitions: The global oil palm expansion. Available at http://www.globallandproject.org/arquivos/Kongsager,_R_and_Reenberg_A_%282012%29_Contemporary_land_use_transitions_The_global_oil_palmpdf: Accessed 2013-12-10.
- Kotlánová A. 2010. Metody zkoušení fyzikálně-chemických vlastností tuhých biopaliv. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-zkouseni-fyzikalne-chemickyh-vlastnosti-tuhych-biopaliv>: Accessed 2014-2-18.
- Kulhavý J. 1993. Palmy množení, pěstování, ošetřování. Ostrava. Blesk. 56p
- Ludin AN, Bakri MAM, Kamaruddin N, Sopian K, Deraman MS, Hamid NH, Asim N, Othaman MY. 2014. Malaysian oil palm plantation sector: exploiting renewable energy toward sustainability production. *Journal of Cleaner Production* 65: 9-15.
- Mariusz JS, Szczukowski S, Tworkowski J, KrzyzaniakM, Gulczyński P. 2013. Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass. *Renewable Energy* 57: 20-26.
- Mekhilef S, Siga S, Saidur R. 2011. A review on palm oil biodiesel as a source of renewable fuel. *Renewable and Sustainable Energy* 15: 1937-1949.
- Míka M, Voláková P, Klapště B, Jankovský O, Verner V. 2011. Jak potlačit spékání biomasového popela. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/jak-potlacit-spekani-biomasoveho-popela>: Accessed 2014-3-16.
- Mozzon M, Pacetti D, Lucci P, Balzano M, Frega GN. 2013. *Food Chemistry* 141: 245-252.
- MPOB. 2014. Economics & industry development division. Available at <http://bepi.mpob.gov.my/>: Accessed 2014-4-5.

- MPOB. 2014. Oil palm & the environment. Available at <http://www.mpob.gov.my/en/palm-info/environment/520-achievements>: Accessed 2013-12-3.
- Nasaruddin RP, Alam ZM, Jami MS. 2014. Evaluation of solvent system for the enzymatic synthesis of ethanol-based biodiesel from sludge palm oil (SPO). *Bioresource Technology* 154: 155-161.
- Ng WPO, Lam HL, Ng FY, Kamal M, Lim JHE (2012) *Journal of Cleaner Production* 34: 57-65.
- Nhuchhen RD, Salam AP. 2012. Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. *Fuel*. 99: 55-63.
- Novák B, Schulzová B. 2002. *Tropické plody*. Praha: Grada Publishing. 147p
- Obire O, Putheti RR. 2009. The oil Palm tree: A renewable energy in poverty eradication in developing countries. Available at <http://ditonline.info/index.php/ditonline/index.php/ditonline/article/viewFile/1433/951.pdf>: Accessed 2014-2-2.
- OECD. 2012. Agriculture and climate change: impacts, mitigation and adaptation. Available at <http://www.oecd.org/tad/sustainableagriculture/agricultureandclimatechangeimpactsmitigationandadaptation.htm>: Accessed 2014-3-18.
- Ohimain IE, Izah CS. 2014. Energy self-sufficiency of smallholder oil palm processing in Nigeria. *Renewable Energy* 63: 426-431.
- O-Thong S, Boe K, Angelidaki I. 2012. Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas production. *Applied Energy* 93: 648-654.
- Pejzl J. 2008. Dřevěné (dřevní) pelety. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevene-drevni-pelety>: Accessed 2014-3-4.

- Petříčková V. 2007. Palivo z rostlin-brikety, pelety. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/palivo-z-rostlin-brikety-pelety>: Accessed 2013-12.10.
- Rahmadi A, Aye L, Moore G. 2013. The feasibility and implications for conventional liquid fossil fuel of the Indonesian biofuel target in 2025. *Energy Policy* 61: 12-21.
- Rohwer JG. 2002. *Tropické rostliny*. Praha: Euromedia Group. 34p.
- Samuelsson R, Larsson SH, Thyrel M, Lestander AT. 2012. Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood pellets. *Applied Energy* 99: 109-115.
- Santosa SJ. 2008. Palm Oil Boom in Indonesia: From Plantation to Downstream Products and Biodiesel. http://www.lib.ugm.ac.id/digitasi/upload/2705_MU.11100011.pdf: Accessed 2014-2-2.
- Sayer JG, Ghazoul J, Nelson P, Boedihartono AK. 2012. Oil palm expansion transforms tropical landscapes and livelihoods. *Global Food Security* 1: 114-119.
- Scovronick N, Wilkinson P. 2014. Health impacts of liquid biofuel production and use: A review. *Global Environmental Change* 24: 155-164.
- Sheil D, Casson J, Meijaard E, Noordwijk M, Gaskell J, Sunderland-Groves J, Wertz K, Kanninen M. 2009. The impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia. Available at http://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-51.pdf: Accessed 2014-1-4.
- Silalertruksa T, Bonnet S, Gheewala HS. 2012. Life cycle costing and externalities of palm oil biodiesel in Thailand. *Journal of Cleaner Production* 28: 225-232.
- Singh R, Setiawan AD. 2013. Biomass energy policies and strategies: Harvesting potential in India and Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22: 332-345.

- Souček J, Kroutík M. 2010. Parametry sušení energetických dřevin v experimentální sušárně. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/parametry-suseni-energetickyh-drevin-v-experimentalni-susarne>: Accessed 2014-3-4.
- Stavjarská M. 2013. Využití odpadní biomasy z bavlníku pro energetické účely [Bc.]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 45p.
- Stupavský V. 2010. Pelety z biomasy-dřevěné, rostlinné, kůrové pelety. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety>: Accessed 2014-1-20.
- Sublima. 2014. Výroba dřevních pelet. Available at <http://www.sublima.cz/vyrobni-program/vyroba-drevnich-briket/>: Accessed 2014-2-23.
- Suhartini S, Hidayat N, Wijaya S, 2011. Physical properties characterization of fuel briquette made from spent bleaching earth. *Biomass and Bioenergy* 35: 4209-4214.
- Sulaiman F, Abdullah N, Gerhauser H, Sahariff A. 2011. An outlook of Malaysian energy, oil palm industry and its utilization of wastes as useful resources. *Biomass and Bioenergy* 35: 3775-3786.
- Szymona K, Borysiuk P, H'ng SP, Chin LK, Maniński M. 2014. Valorization of waste oil palm (*Elaeis quineensis Jacq.*) biomass through furfurylation. *Materials & Design*. 53: 425-429.
- Timmons D, Mejira VC. 2010. Biomass energy from wood chips: Diesel fuel dependence? *Biomass and Bioenergy* 34: 1419-1425.
- Umar SM, Jennings P, Urmee T. 2013. Strengthening the palm oil biomass renewable energy industry in Malaysia. *Renewable Energy* 60: 107-115.
- Umar SM., Jennings P, Urmee T. 2014. Sustainable electricity generation from oil palm biomass wastes in Malaysia: An industry survey. *Energy* 67: 496-505.

- UNDP . 2007. Malaysia generating renewable energy from palm oil wastes. Available at http://www.undp.org.my/uploads/Renewable_Energy_Palm_oil_wastes.pdf: Accessed 2014-1-3.
- UNEP. 2011. Oil palm plantations: threats and opportunities for tropical ecosystems. Available at http://www.unep.org/pdf/Dec_11_Palm_Plantations.pdf: Accessed 2014-2-13.
- Vancov T, Alson AS, Brown T, McIntosh S. 2012. Use of ionic liquids in converting lignocellulosic material to biofuels. *Renewable Energy* 45: 1-6.
- Vaněk V. 2012. Biopaliva druhé a třetí generace. Available at <http://3pol.cz/1258-biopaliva-druhe-a-treti-generace%20Van%C4%9Bk,2012>: Accessed 2014-2-3.
- Večerka T. 2012. Metodické stanovení distribuce velikost částic metodou laserové difrakce. Available at <http://www.chempoint.cz/metodicke-aspekty-stanoveni-distribuce-velikosti-castic-metodou-laserove-difrakce>: Accessed 2014-3-5.
- Verner V. 2007. Alternativní pelety. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/alternativni-pelety>: Accessed 2013-12-4.
- Wakker E. 2005. Greasy palms: The social and ecological impacts of large-scale oil palm plantation development in Southeast Asia. London: Friends of the Earth. Available at http://www.foe.co.uk/resource/reports/greasy_palms_impacts.pdf: Accessed 2014-1-15.
- Weger J. 2009. Biomasa jako zdroj energie. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-jako-zdroj-energie>: Accessed 2014-3-17.
- Wise M, Dooley J, Luckow P, Calvin K, Kyle P. 2014. Agriculture, land use, energy and carbon emission impacts of global mandates to mid-century. *Applied Energy* 114: 366-376.

WWF. 2011. Palm oil buyers' scorecard 2011. Available at http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/agriculture/palm_oil/solutions/responsible_purchasing/scorecard2011/: Accessed 2013-12-10.

Ziolkowska R. J. 2014. Optimizing biofuels production an uncertain decision environment: Conventional vs. advanced technologies. *Applied Energy* 114: 366-376.

Seznam Příloh:

Příloha 1: Procentuální vyjádření odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně	I
Příloha 2: Produkce odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Malajsii [t]	I
Příloha 3: Produkce odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Indonésii [t]	I
Příloha 4: Produkce odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Nigérii [t]	I
Příloha 5: Výnos odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Malajsii [t/ha]	II
Příloha 6: Výnos odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Indonésii [t/ha]	II
Příloha 7: Výnos odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Nigérii [t/ha]	II
Příloha 8: Energetický potenciál odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Malajsii [GJ/ha]	III
Příloha 9: Energetický potenciál odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Indonésii [GJ/ha]	III
Příloha 10: Energetický potenciál odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Nigérii [GJ/ha]	III

Příloha 1: Procentuální vyjádření odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejné

Vláknina z mezokarpu	Prázdné ovocné hrozny	Reference
14-15 %	23%	Umar et al., 2014
24,43 – 33,38 %	12 – 22,25 %	Chang et al., 2014
13,50%	22%	Sulaiman, 2011

Příloha 2: Produkce odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejné v Malajsii [t]

Vláknina z mezokarpu	Prázdné ovocné hrozny	Hodnota % zastoupení dle autorů
10 444 000- 11 190 000	1 715 000	Umar et al., 2014
18 224 780 - 24 901 480	8 952 000 - 16 598 500	Chang et al., 2014
10 071 000	16 412 000	Sulaiman, et al., 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Příloha 3: Produkce odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejné v Indonésii [t]

Vláknina z mezokarpu	Prázdné ovocné hrozny	Hodnota % zastoupení dle autorů
20 538 000-22 005 000	33 741 000	Umar et al., 2014
35 838 810-48 968 460	17 604 000-33 007 500	Chang et al., 2014
19 804 500	32 274 000	Sulaiman et al., 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Příloha 4: Produkce odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejné v Nigérii [t]

Vláknina z mezokarpu	Prázdné ovocné hrozny	Hodnota % zastoupení dle autorů
700 000-750 000	1 150 000	Umar et al., 2014
1 221 500-1 669 000	600 000-1 112 500	Chang et al., 2014
675 000	1 100 000	Sulaiman et al., 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Příloha 5: Výnos odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Malajsii [t/ha]

Vlákná z mezokarpu	Prázdné ovocné hrozny	Hodnota % zastoupení dle autorů
1,97-2,11	3,24	Umar et al., 2014
3,44-4,70	1,69-3,13	Chang et al., 2014
1,9	3,1	Sulaiman et al., 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Příloha 6: Výnos odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Indonésii [t/ha]

Vlákná z mezokarpu	Prázdné ovocné hrozny	Hodnota % zastoupení dle autorů
2,54-2,73	4,17	Umar et al., 2014
4,42-6,05	2,17-4,08	Chang et al., 2014
2,45	3,98	Sulaiman et al., 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Příloha 7: Výnos odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Nigérii [t/ha]

Vlákná z mezokarpu	Prázdné ovocné hrozny	Hodnota % zastoupení dle autorů
0,14-0,15	0,23	Umar et al., 2014
0,24-0,33	0,12-0,22	Chang et al., 2014
0,14	0,22	Sulaiman et al., 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Příloha 8: Energetický potenciál odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Malajsii [GJ/ha]

Vlákná z mezokarpu	Prázdné ovocné hrozny	Hodnota % zastoupení dle autorů
43,02-46,09	70,67	Umar et al., 2014
75,06-102,57	36,87-68,37	Chang et al., 2014
41,48	67,6	Sulaiman et al., 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Příloha 9: Energetický potenciál odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Indonésii [GJ/ha]

Vlákná z mezokarpu	Prázdné ovocné hrozny	Hodnota % zastoupení dle autorů
48,80-59,31	90,94	Umar et al., 2014
96,59-131,37	47,44-89,96	Chang et al., 2014
53,37	86,98	Sulaiman et al., 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem

Příloha 10: Energetický potenciál odpadní biomasy z vláken a hroznů palmy olejně v Nigérii [GJ/ha]

Vlákná z mezokarpu	Prázdné ovocné hrozny	Hodnota % zastoupení dle autorů
3,05-3,27	5,02	Umar et al., 2014
5,33-7,29	2,62-4,86	Chang et al., 2014
2,95	4,8	Sulaiman et al., 2011

Zdroj: vlastní zpracování

pozn. Nejvyšší hodnota tabulky je vyznačena tučným písmem