

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: 4131R017 Biotechnologie využití biomasy

Katedra: Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Vedoucí katedry: prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BIOMASA JAKO ZÁKLADNÍ SUROVINA PRO VÝROBU PALIV A ENERGIE

Vedoucí bakalářské práce:
prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.

Autor bakalářské práce
Tomáš Hubáč

České Budějovice

2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš HUBAČ**
Osobní číslo: **Z11411**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Biotechnologie využití biomasy**
Název tématu: **Biomasa jako základní surovina pro výrobu paliv a energie**
Zadávací katedra: **Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Biopaliva mohou být pevná (biomasa, odpady), kapalná (metanol, etanol, biobutanol, syntetický benzín a syntetická nafta /FT původ/, bionafta /estery/, bionafta /bio-oleje/, bionafta /rostlinné uhlovodíky včetně mikroskopických řas/, bionafta /oleje z mikroskopických řas/) a plynná (bioplyn, vodík, dimetyleter). K rozdělení biopaliv byla použita jejich vývojová fáze. Jsou rozdělena na biopaliva první, druhé a třetí generace. Biopaliva, která jsou produkována v současnosti ve velkých objemech jsou řazena do první generace. Biopaliva, která byla již vyrobena, ale technické obtíže a vysoké náklady způsobily zpoždění jejich aplikace ve velkém měřítku, patří k druhé generaci. Za třetí generaci jsou považována ta biopaliva, která jsou ještě ve fázi výzkumu a vývoje. Technologie využití biomasy k výrobě energie a paliv zahrnují např. spalování, zplynování, pyrolýzu, anaerobní digesci, hydrolýzu biomasy a enzymatickou fermentaci atd. Při použití doporučené i další literatury vypracujte pod vedením vedoucího práce literární rešerši na téma: "Biomasa jako základní surovina pro výrobu paliv a energie". Bakalářskou práci vypracujte dle Opatření děkana č. 13 ze dne 18.12. 2009.

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy, obrázky dle potřeby

Rozsah pracovní zprávy: 30-50 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Kužel S. a kol. (2010): Komplexní využití biomasy. ZF JU v Českých Budějovicích, 1. díl, 122 s.

Scragg A. H. (2009): Biofuels production, application and development. Cambridge University Press. CABI, 236 p.

Kamm B. et al. (2006): Biorefineries - Industrial Processes and Products. WILEY-VCH Verlag GmbH, 1 vol., 441p. and 2 vol., 497p.

Kára a kol. (2007): Výroba a využití bioplynu v zemědělství. MZE, 119 s.

Spath P. L., Dayton D. C. (2003): Preliminary Screening - Technical and Economic Assessment of Synthesis gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas. NREL, 142 p.

Duta A., Philips S. et al. (2007): Thermochemical Ethanol via Indirect Gazification and Mixed Alcohol Synthesis of lignocellulosic Biomass. NREL, 125 s.

Ramey D., Shang T. Y. (2004): Production of Butyric Acid and Butanol from Biomass. U.S. Department of Energy Morgantown, WV, 103 p.

Manella M. et al. (2005): Accomplishment Towards the Roadmap for Bioenergy and Biobased Products in the United States. U.S. Department of Energy's 2005 Biomass R&D Activities.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.

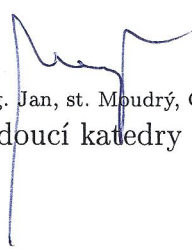
Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2014


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice


prof. Ing. Jan, st. Moudrý, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 11. března 2013

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Tomáš Hubač

Poděkování:

Tímto si dovoluji velice poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu prof. Ing. Stanislavu Kuželovi CSc., za pomoc, cenné rady a připomínky při vypracování mé práce a při celém mém studiu. Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu.

Abstrakt

V dnešní době, s ubývajícími fosilními palivy, je nezbytné najít nový zdroj energie. Jednou z jistě zajímavých možností je využívat biomasu. energii z ní lze získávat mnoha způsoby. Známe tři směry. Termochemickou konverzi, která zahrnuje spalování, zplynování a pyrolýzu. Biochemickou konverzi, která zahrnuje anaerobní fermentaci, aerobní fermentaci a alkoholovou fermentaci. Poslední možností je fyzikálně-chemická konverze, která obsahuje esterifikaci. Následně získaná biopaliva dělíme na I. II. a III. generaci dle způsobu získávání a zdrojů. Alternativně získaná biopaliva se vyrovnají a někdy i předčí ta fosilní. Biopaliva mají základní rozdělení na kapalná (bioetanol, bio-olej, atd.), pevná (dřevní pelety, brikety, atd.) a plynná (bioplyn, dřevoplyn, atd.). Je však nutno zmínit potřebu zefektivňování stávajících technologií a vývoj nových ekonomičtějších a ekologičtějších postupů.

Klíčová slova: Biomasa, biopaliva, bioplyn, fermentace

Abstract

Nowadays, with the dwindling fossil fuels there is need to find a new source of energy. One of interesting possibilities is to use biomass. The energy from biomass can be obtained in many ways. There are three main directions. Thermochemical conversion which involves incineration, gasification and pyrolysis. The biochemical conversion which comprises of anaerobic fermentation, aerobic fermentation and alcoholic fermentation. Last option is physical-chemical conversion comprising of esterification. Subsequently gained biofuel is divided into I, II, and III generation according to the method of production and resources. Alternatively derived biofuel equals, and sometimes surpasses the fossil ones. Biofuel has basic division into liquid (bioethanol, bio-oil, etc.), solid (wood pellets, briquettes, etc.) and gases (biogas, etc.). We should mention the need to improve the efficiency of existing technologies and to invent new economical and environment-friendly techniques.

Key words: Biomass, biofuels, biogas, fermentation

Obsah

1. ÚVOD	10
2. BIOMASA	11
2.1 KLASIFIKACE BIOMASY	11
2.1.1 <i>Paliva z biomasy lze obecně rozdělit</i>	11
2.1.1.1 Primární zbytky:.....	11
2.1.1.2 Sekundární zbytky:	11
2.1.1.3 Terciární zbytky:	11
2.1.1.4 Energetické plodiny.	11
2.1.2 <i>Klasifikace založená na vlastnostech</i>	11
2.1.3 <i>Klasifikace CEN TC 335</i>	12
2.2 CO JE TO BIOMASA.....	15
2.2.1 <i>Biomasa jako surovina</i>	15
2.2.2 <i>Zbytková biomasa</i>	15
2.2.2.1 Rostlinné odpady.....	15
2.2.2.2 Lesní těžební zbytky	16
2.2.2.3 Organické odpady z průmyslových výrob	16
2.2.3 <i>Záměrně produkována biomasa</i>	16
2.2.3.1 Energetické rostliny nedřevnaté.....	16
2.2.3.2 Energetické dřeviny	17
3. ZPŮSOBY ZPRACOVÁNÍ BIOMASY	17
3.1 TERMOCHEMICKÁ KONVERZE (suchý proces).....	18
3.1.1 <i>Spalování</i>	19
3.1.1.1 Praktické využití spalovacích procesů:	20
3.1.2 <i>Zplyňování</i>	21
3.1.2.1 Zplyňování v superkritických podmínkách.....	22
3.1.3 <i>Pyrolýza</i>	23
3.1.3.1 Rychlá pyrolýza	23
3.2. BIOCHEMICKÁ KONVERZE (mokrý proces).....	23
3.2.1 <i>Digesce (fermentace)</i>	24
3.2.1.1 Anaerobní digesce.....	24
3.2.2.1 Alkoholová digesce.....	27
3.2.3.1 Aerobní digesce.....	27

3.3 FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÁ KONVERZE	27
3.3.1. Esterifikace bio-olejů	28
4. GENERACE BIOPALIV	29
4.1 I. GENERACE BIOPALIV	29
4.2 II. GENERACE BIOPALIV	30
4.2.1 Optimalizace získávání bioetanolu	30
4.3 III. GENERACE BIOPALIV - ŘASY	30
4.3.1 Výhody využití řas	31
5. PRODUKTY BIOMASY JAKO ENERGETICKÉ VÝROBKY	32
5.1 POROVNÁNÍ KLASICKÝCH A ALTERNATIVNÍCH MOTOROVÝCH PALIV	32
5.2 BIOPALIVA KAPALNÁ	32
5.2.1. BTL (<i>Biomass-to-Liquid</i>)	32
5.2.1.1 Fischer - Tropschův proces	33
5.2.1.2 Mobilní proces	33
5.2.2 <i>Bio-etanol</i>	33
5.2.2.1 Kvasný líh jako palivo	34
5.2.2.2 Kvasný líh jako přísada	34
5.2.3 <i>Bio-butanol</i>	34
5.2.3.1 Biotechnologie výroby „ABE“	34
5.2.4 <i>Bio-nafta</i>	35
5.2.5 <i>Metanol</i>	35
5.2.6 <i>Bio-olej</i>	36
5.2.6.1 Výhody bio-oleje.....	36
5.2.6.2 Nevýhody bio-oleje.....	36
5.3 BIOPALIVA PLYNNÁ	37
5.3.1. <i>Bioplyn</i>	37
5.3.1.1 Kogenerace:.....	38
5.3.1.2 Srovnání bioplynu s kapalnými palivy.....	39
5.3.2 <i>Biovodík</i>	40
5.4 BIOPALIVA TUHÁ	40
5.4.1 <i>Pelety</i>	41
5.4.2 <i>Brikety</i>	41

6.VYUŽITÍ BIOMASY V ČESKÉ REPUBLICĚ	41
6.1 AKČNÍ PLÁN.....	41
6.2 CELKOVÝ POTENCIÁL BIOMASY V ČR.....	42
6.3 SPOTŘEBA BIOMASY DO ROKU 2020 Z POHLEDU NAP OZE.....	43
6.4 UPLATŇOVÁNÍ PALIV V ČR	43
6.4.1 <i>Elektrina z biomasy</i>	44
7. Závěr	45
8. Seznam použité literatury	46
9. Seznam obrázků	51

1. Úvod

Již odedávna lidstvo hledá a využívá dostupné zdroje energie. Vždy byly důležité ekonomické aspekty, v posledních letech našťastí i ty ekologické. Jsme na začátku 21. století a je jasné, že zdroje fosilních paliv, která se převážně začala využívat v minulém století, mají své hranice a dříve či později budou vyčerpány. A tato doba se závratně blíží, i když si to většina z nás nechce připustit. Máme na výběr několik cest, kterými si lidstvo může obstarat náhradní zdroj energie. Pokud se ale nechceme ubírat směrem jen k atomové energii, je nutné se porozhlížet po jiných možnostech získávání energie. Využití biomasy se jeví jako zajímavé řešení do budoucna. Samozřejmě, biomasa se využívá již dnes, ale je nutné podniknout kroky ke zlepšení a zefektivnění postupů získávání bio-energie.

Možností získání biomasy pro energetické účely je celá řada a variant, jak tuto surovinu zpracovat, také. Je vždy ale důležité se rozhodnout pro správnou technologickou cestu s ohledem na velkou technickou a finanční náročnost a v neposlední míře na praktičnost celé operace v dané situaci.

Tato práce je literární rešerší z knižních a internetových zdrojů, která se zabývá rozdělením energetických zdrojů biomasy a možností jejího následného zpracování. Na konci této práce jsem uvedl několik informací o plánech využití biomasy v České republice.

2. Biomasa

Biomasa je biologický materiál získaný z živých, nebo nedávno živých organismů. V souvislosti s tím se název „biomasa“ pro energetické účely používá pro materiál rostlinného i živočišného původu.

Zdroje energie z biomasy jsou různorodé, a proto je potřeba existence komplexního klasifikačního systému. Motivací pro takový systém je předvídaní chování biomasy dle určení do jaké třídy patří. Jedna z možností, jak biomasu rozdělovat, může být na základě základních složek. Konkrétně se jedná o celulózu, hemicelulózu a lignin, procentuální obsah složek a jejich chování. Nicméně i takový systém není schopný předpovídat interakce mezi jednotlivými složkami a proto je považován za nespolehlivý. Nicméně díky úspěchům v předvídaní chování během pyrolýzy biomasy s touto klasifikací bylo dosaženo kompenzace (KHAN et al. 2009).

Dvě hlavní klasifikace byly navrženy na základě původu biomasy a jejích vlastností.

2.1 Klasifikace biomasy

2.1.1 Paliva z biomasy lze obecně rozdělit do čtyř hlavních kategorií:

2.1.1.1 Primární zbytky: Vedlejší produkty potravinářských plodin a lesních výrobků (dřevo, sláma, obilí, kukuřice apod.).

2.1.1.2 Sekundární zbytky: Vedlejší produkty zpracování biomasy pro výrobu potravinářských výrobků nebo materiálů z biomasy (dřevní a papírové piliny, potravinářství a nápojový průmysl, pecky, semena, slupky atd.).

2.1.1.3 Terciární zbytky: Vedlejší produkty použité biomasy jako surovina (odpad a dřevo z demolic apod.).

2.1.1.4 Energetické plodiny.

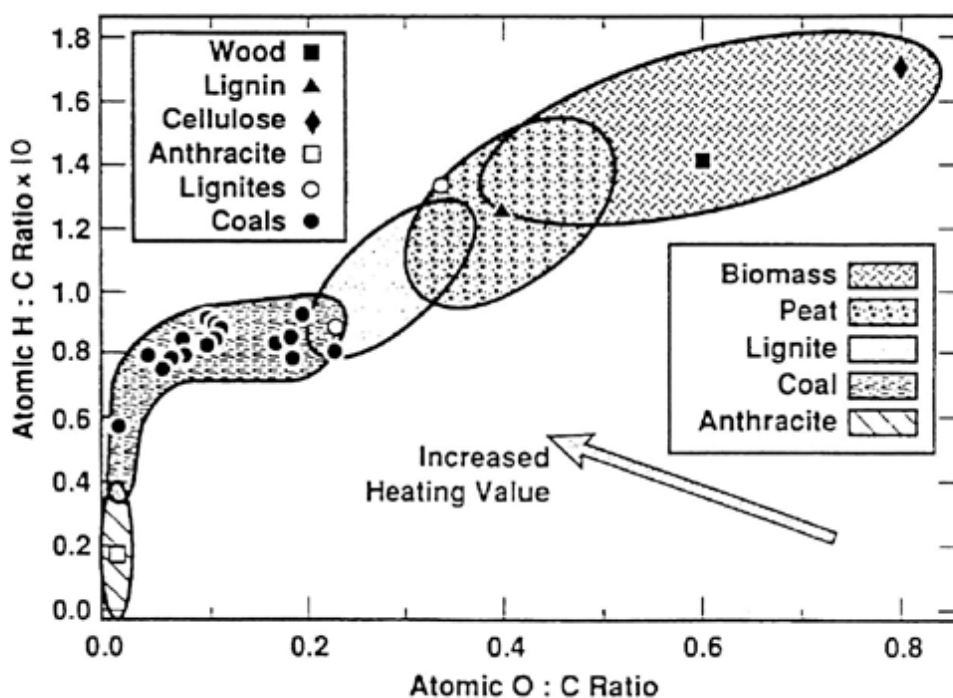
2.1.2 Klasifikace založená na vlastnostech

1. Dřevo a dřevěné palivo (tvrdé a měkké dřevo, dřevo z demolic).
2. Bylinná paliva (sláma, traviny, stopky atd.).
3. Odpady (kaly z ČOV, odpady - výroba paliva (RDF /Refuse-Derived Fuel/, atd.)).
4. Deriváty (odpad z papíru a potravinářského průmyslu apod.).
5. Vodní (řasy, atd.).
6. Energetické plodiny (speciálně pěstovány pro energetické účely).

Vzhledem k rozdílnosti paliv z biomasy se vlastnosti v těchto kategoriích liší v širokém rozsahu.

Alternativní přístup je založený na schématu dle Van Krevelena (atomový poměr H/C a O/C). Předpokladem v této klasifikaci je, že různé kategorie biomasy (například odpad, dřevo) bývají někdy v těsné blízkosti vedle sebe, ale mají velmi rozdílné vlastnosti (KHAN et al. 2009).

Obr. č.1 Atomový poměr H/C a O/C (H/C and O/C. In: What is biomass? [online] [cit. 2013-10-05])



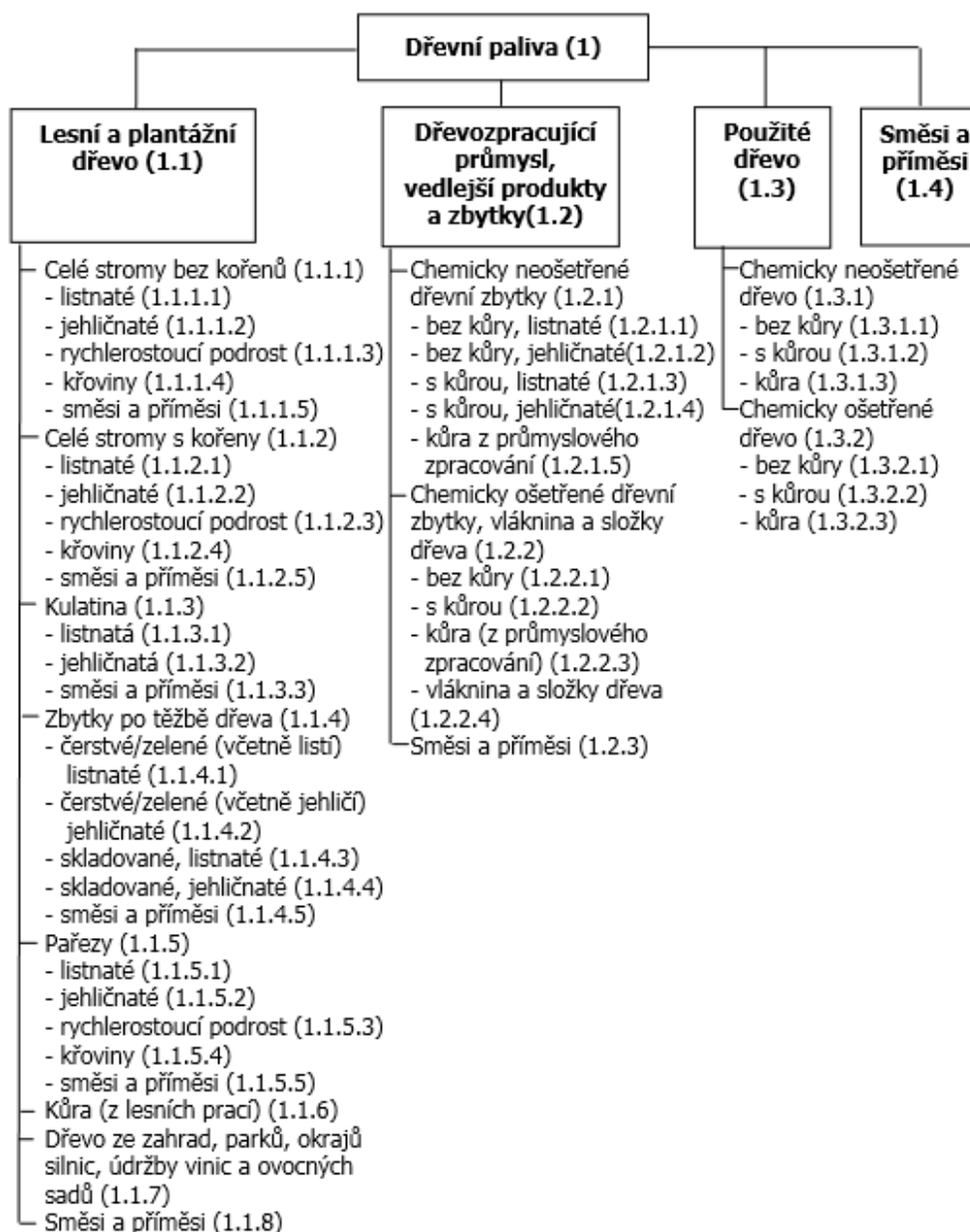
2.1.3 Klasifikace CEN TC 335

Další, novější, klasifikace, kterou lze použít, je evropská norma pro tuhá biopaliva (CEN TC 335). Tato klasifikace biopaliv je založena na původu a zdroji. V hierarchickém systému této původní klasifikace, jsou hlavní skupiny na bázi pevných biopaliv jsou:

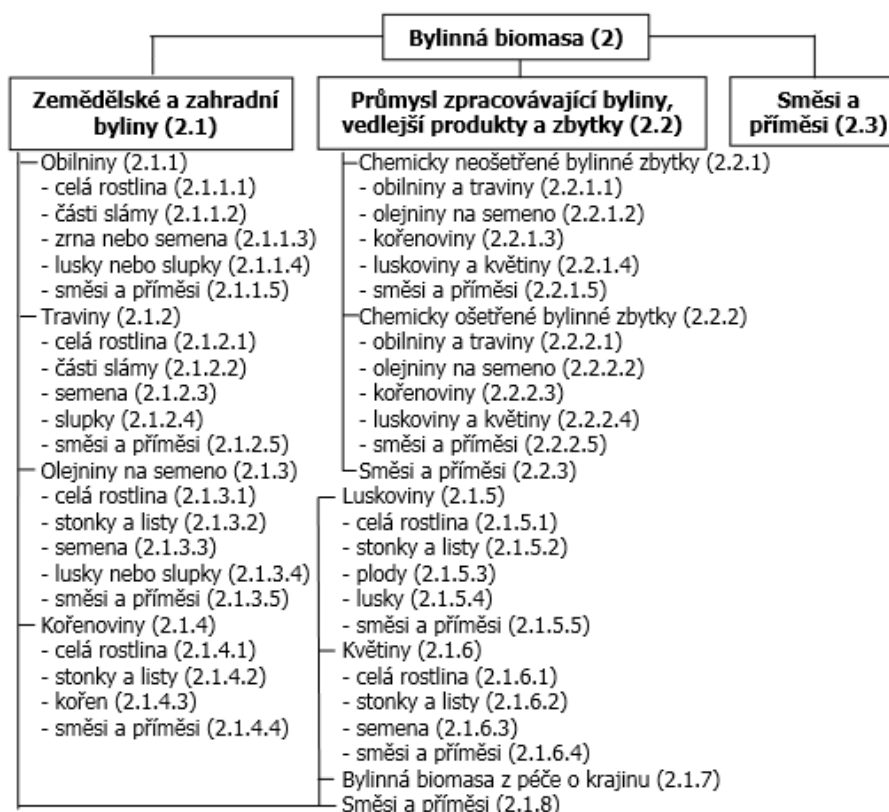
1. Dřevní biomasa (dřevní štěrka, pelety, piliny apod.).
2. Bylinná biomasa
3. Ovocná biomasa
4. Zbytky a směsi

CEN TC 335 je rozdělena do 5 podskupin, WG1 (terminologie, definice a popis), WG2 (specifikace palivové třídy), WG3 (Odběr a redukce), WG4 (fyzikální a mechanické zkoušky) a WG5 (chemické zkušební metody) (KHAN et al. 2009).

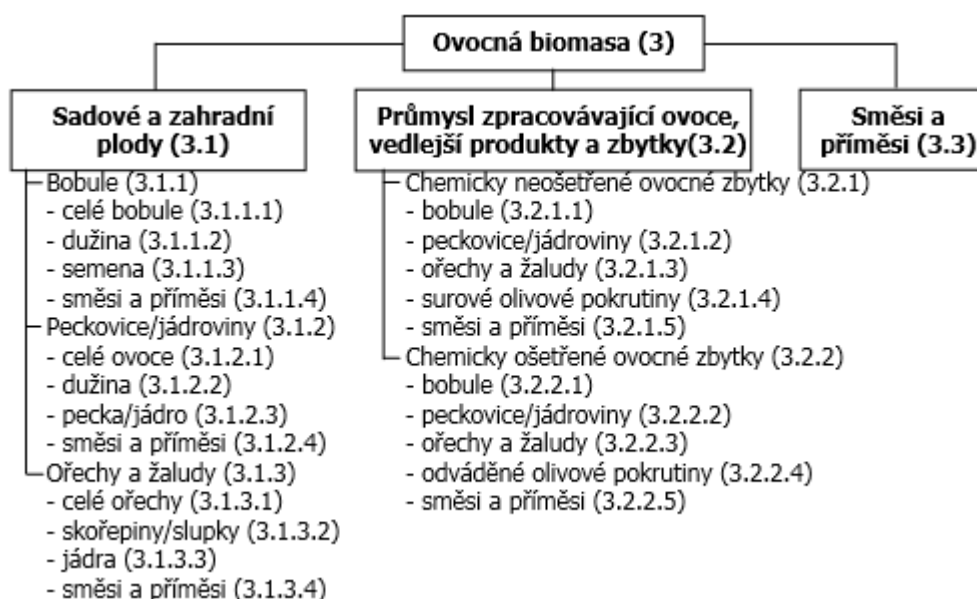
Obr. č. 2: Klasifikační schéma dřevních paliv dle původu a zdrojů v souladu s prEN 14961 (2008) (Metodická příručka MZe ČR, 2008)



Obr. č. 3: Klasifikační schéma bylinné biomasy dle původu a zdrojů v souladu s prEN 14961 (2008) Metodická příručka MZe ČR 2008



Obr. č. 4: Klasifikační schéma ovocné biomasy dle původu a zdrojů v souladu s prEN 14961 (2008) Metodická příručka MZe ČR 2008



2.2 Co je to biomasa

Biomasa je definována jako hmota organického původu, takže se pod tímto pojmem zahrnuje veškerá živá příroda. V souvislosti s využíváním energetické biomasy se rozumí rostlinnou biomasou především dřevo a různorodý dřevní odpad, resp. jiné energetické rostliny vhodné pro spalování v různých topeništích, jako jsou zemědělské produkty a jejich zbytky nebo cíleně pěstované energetické rostliny. [Energetické využívání biomasy = pro ohřev vzduchu k vytvoření tepelné pohody člověka, pro ohřev teplé užitkové vody, využití pro výrobu jiných druhů energie – přeměny energií, například jako palivo pro pohon motorů mobilních energetických prostředků, pro pohon domácích elektrických spotřebičů] (CELJAK, 2008).

2.2.1 Biomasa jako surovina

Příroda neustále obnovuje surovinu „biomasu“ pro výrobní řetězec chemických látek, paliv a materiálů pro kosmetiku a farmaceutický průmysl. Velká část průmyslu bio výrobků, které jsou používány v současné době, má základ v přímém fyzikálním nebo chemickém zpracování biomasy, například celulóza, škrob, oleje, protein, lignin a terpeny (KUŽEL et al., 2010)

2.2.2 Zbytková biomasa

Zbytková biomasa je v našich podmínkách převážně snadno dostupná a levná forma paliva. Bývá tedy prvním a zatím také hlavním zdrojem biopaliv v existujících nebo budovaných výtopeních a kotelnách na spalování biomasy. (HAVLÍČKOVÁ, WEGER et al., 2006)

2.2.2.1 Rostlinné odpady

Zemědělské sklizňové zbytky, zejména obilná sláma, mají široké uplatnění. Energetické využití u nás se začíná rozšiřovat, i když v porovnání se skandinávskými zeměmi se zpožděním. Častou námitkou proti spalování je, že veškerá sláma, která v daném roce na polích narostla, musí přijít zpátky do půdy jako hnojivo. Ve skutečnosti je ve slámě velmi málo živin. V současnosti s využívaným zaoráním za účelem obohacení půdy humusem má význam jedině na těžších půdách, jinak jen při současném hnojení kejdou nebo jiným dusíkatým hnojivem.

Řepková sláma se svojí výhřevností 15-17,5 GJ/t přibližuje lepším druhům hnědého uhlí. Není pro ni prakticky jiné využití než v energetice (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007).

2.2.2.2 Lesní těžební zbytky

Slibným zdrojem je odpadní dřevní biomasa z výchovných a mýtných těžeb v lesních porostech. Přesto, že její potenciál je velmi vysoký, není v takové míře využíván, protože lesnické společnosti, které provádějí těžbu, většinou nejsou schopny tuto biomasu vyklízet z lesa ekonomicky rentabilním způsobem (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007).

2.2.2.3 Organické odpady z průmyslových výroby

Nejčastějším zdrojem bývají pilařské a dřevozpracující provozy, které často jako odpadní produkt poskytují piliny, odřezky, hobliny a kůru. Tato forma biomasy začíná být pomalu zcela využita zejména na výrobu biopaliv, např. lisovaných dřevních pelet a briket. (HAVLÍČKOVÁ, WEGER et al., 2006)

2.2.3 Záměrně produkovaná biomasa

Poměrně novým zdrojem biomasy jsou porosty tzv. energetických rostlin. Tímto termínem jsou označovány botanické druhy dřevin, trvalek a bylin, jejich kultivary a odrůdy, přírodní a záměrní kříženci. Jejich růst a zejména objemová produkce (t/ha/rok) při intenzivním pěstování výrazně převyšuje průměrné hodnoty ostatních plodin ve sledované oblasti (HAVLÍČKOVÁ, WEGER et al., 2006).

Obecně platí, že ekonomicky a energeticky efektivnější je pěstování rostlin víceletých a vytrvalých než tradičních jednoletých (pokud není vedlejší produkt sláma obilovin či olejnin). Pěstováním netradičních vytrvalých plodin lze efektivně snížit celkové náklady na produkci jednotky biomasy a zásadně zvýšit poměr výstupu energie ke vstupu, neboli „output : input“ /dle zahraničních zdrojů až 4 – 10 x/ (MOUDRÝ, SOUČKOVÁ et al., 2006).

2.2.3.1 Energetické rostliny nedřevnaté

Jejich hlavní předností je, že dosahují vysokých výnosů a sklízí se běžnými zemědělskými stroji. Mnohé z nich jsou víceleté. Šťovík, ozdobnice čínská nebo topinambur. Produkované s nižšími výrobními náklady, například konopí seté – energetické využití pazdeří. Všechny tyto plodiny se liší od potravinářských plodin tím, že jsou pěstovány pro výnos hmoty a ne živin (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007).

Při dodržení správných pěstitelských postupů zajistí krmný šťovík (*Rumex*) dostatek fytohmoty jako vhodného paliva po několik po sobě následujících let, a to hned od 2. roku po zasetí, aniž by musel být porost znovu zakládán. Využívání tohoto „energetického“ šťovíku se u nás již začíná zdárně rozvíjet.

V poslední době, s ohledem na vysoké výnosy sušiny fytohmoty z plochy, se uvažuje s Křídlatkou (*Reynoutria*) jako alternativním obnovitelným zdrojem energie. Z Japonska jsou hlášeny výnosy sušiny 12-27 t/ha. Podobných výnosů lze dosáhnout i u nás (MOUDRÝ, SOUČKOVÁ et al., 2006).

2.2.3.2 Energetické dřeviny

Tzv. rychle rostoucí dřeviny (RRD), případně klony dřevin, které jsou schopné vysokého výnosu nadzemní biomasy v krátkém obmětí 3-6 let s životností 20-35 let (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007).

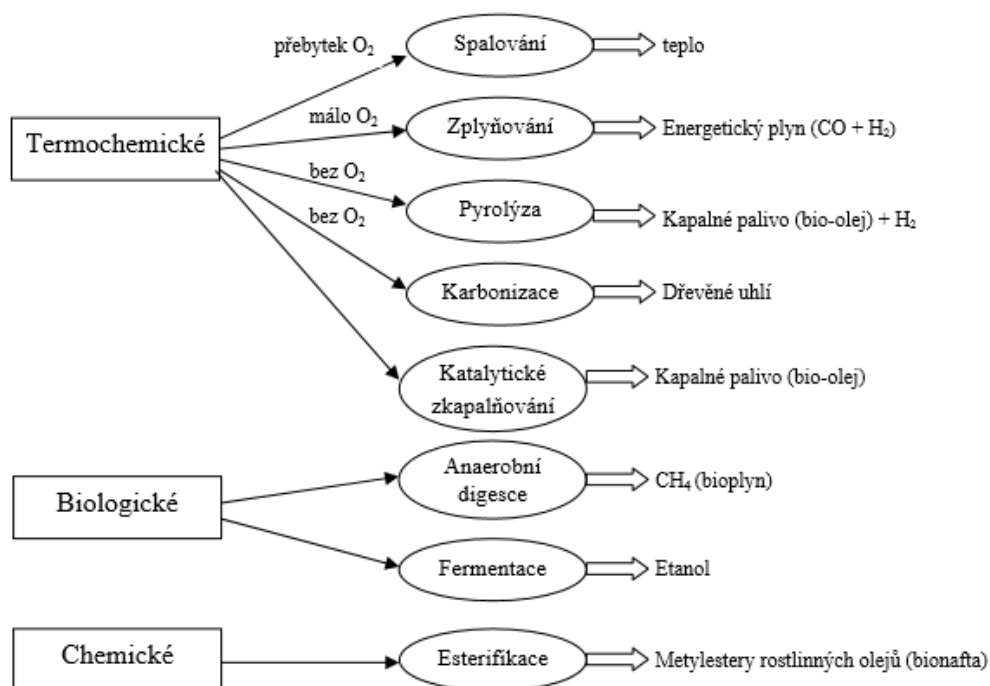
U plantáží RRD dle délky obmětí se v našich podmínkách nejvíce uplatní mini rotace, tzn. že délka obrůstání obmětí je 5-6 let, kdy se při průměru kmene cca 10 cm může docílit v příznivých podmínkách průměrný roční výnos 10 – 20 tun hmoty v absolutní sušině z plochy 1 ha (MOUDRÝ, SOUČKOVÁ et al., 2006).

3. Způsoby získávání biopaliv a energie z biomasy

- a. termochemickou konverzí (tzv. suchým procesem), to znamená spalováním, zplynováním a pyrolýzou.
- b. biochemickou konverzí (tzv. mokřím procesem), to znamená anaerobní fermentací, aerobní fermentací nebo alkoholovou fermentací.
- c. fyzikálně-chemickou konverzí, to znamená esterifikací bio-olejů

Na každou rostlinu, tedy na květinu, bylinu, keř nebo strom, lze pohlížet jako na budoucí zdroj energetické biomasy. Je v podstatě jedno, zda se jedná o tzv. rychle rostoucí topol, ovocný strom, smrk, blahovičnick (eukalyptus) nebo akát. Zvykli jsme si, že i na mnohé zemědělské plodiny můžeme také pohlížet jako na energetickou rostlinu. Legislativa nám v podobě Přílohy k nařízení vlády č.80/2007 Sb. sděluje, které plodiny lze využít pro energii. Dokonce jsme se dostali do situace, že dáváme přednost energetickým účelům biomasy před potravinářskými (CELJAK, 2008)

Obr. č. 5 Základní procesy a technologie přeměny biomasy. (JAKUBES, 2006)



3.1 Termochemická konverze (suchý proces)

Termochemická konverze je hlavní cesta k využití různých tuhých paliv, jako je uhlí a biomasa. Typické termochemické procesy zahrnují pyrolýzu (karbonizaci), zplyňování, spalování a zkapalňování. V každém z těchto procesů přeměny není nutná jedna či několik reakcí, ale vytvoření komplexní řady chemických reakcí, které jsou někdy komplikované různými teplotami a procesy přenosů hmoty. Tyto chemické reakce jsou vzájemně interaktivní a vzájemně propojené, a to zejména prostřednictvím tvorby a spotřeby mnoha typů radikálů. Rozsah těchto interakcí může být také ovlivněn fyzikálními jevy a procesy. Sada reakčních podmínek upřednostňující jednu reakci nebo jeden typ reakce nemusí být vhodná pro další reakce nebo jiné typy reakcí stejného termochemického systému přeměny (CHUN-ZHU, 2013).

3.1.1 Spalování

V procesu výroby energie z biomasy, která je již běžně k dispozici, je možno uvažovat o téměř nulové produkci CO₂, protože proti emisím vznikajícím při spalování mluví využití i oxidu uhličitého v průběhu růstu biomasy. Tímto způsobem může biomasa přispět k zachování zdrojů fosilních paliv a snížení emisí skleníkových plynů.

Nová směrnice EU týkající se obnovitelných zdrojů energie stanovuje ambiciózní cíle pro všechny členské státy.

Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Off J. 05/06/2009;140:0016–62.

EU musí získat 20% svých energetických potřeb z obnovitelných zdrojů do roku 2020 a 10% podílu obnovitelných zdrojů energie zejména v odvětví dopravy. Směrnice rovněž vyžaduje, aby vznikly vnitrostátní akční plány pro rozvoj obnovitelných zdrojů energie a zavádí kritéria udržitelnosti pro biopaliva.

Proces výroby energie spalováním má tu nevýhodu, že se vytváří velké množství popílku. Skládání je již tradičně nejrozšířenější způsob nakládání s odpadem v oblasti odpadového hospodářství. S nedávným nárůstem nákladů na získávání a rozvoj nových skládek, představuje realizace odpadu popílku vážný problém pro průmysl výroby energie. Proto je důležité najít alternativní způsoby realizace odpadů popílku.

Kromě toho, spalování pevné biomasy je osvědčená technologie výroby tepla a elektrické energie, kde se používají spalovací technologie zejména s využitím fluidního lože a roštové pece. Roštové pece obvykle vyžadují nižší úroveň investic a vyžadují menší provozní náklady, a proto se používají hlavně v menších elektrárnách. Na druhou stranu, fluidní pece nabízejí výhody jako je jejich vysoká flexibilita paliva, dobré míchání, přijatelné teploty, vysoká účinnost konverze a nízké emise znečišťujících látek.

Popílký z biomasy mají převážně anorganické frakce a méně organické frakce (nespálený uhlík). Podíl těchto frakcí závisí na různých parametrech a podmínkách spalovacího procesu, jako je například typ biomasy, zatížení, spalovací a provozní podmínky, ve kterých se proces rozvíjí atd. (GIRÓN, 2013).

3.1.1.1 Praktické využití spalovacích procesů:

Pro spalování je možnost využít například kaly z ČOV (čistíren odpadních vod).

Energetický obsah vysušených odpadních kalů se pohybuje v rozmezí 8-11MJ/kg suchého kalu. To umožňuje jejich využití jako příměsi k palivu.

Výhodou spalování v cementářských pecích je, že vzniklý popel včetně kovů, je vázaný v cementářském slínku, takže nevznikne další odpad jako při spalování v klasických spalovnách, které produkují nebezpečný odpad (popel).

Dále se vychází z toho, že v cementářských rotačních pecích jsou pro průběh exotermických oxidačních procesů vytvořené vhodné technicky provozní a fyzikálně-chemické podmínky.

Jde především o teplotu, přístup kyslíku, dostatečnou dobu zdržení pro vlastní průběh oxidační reakce a homogenitu intenzivního kontaktu odpadu se spalovacím vzduchem ve spalovacím prostoru. energii uvolněnou exotermickým procesem je možné využít i v procesu výroby cementu (STEJSKAL,2004).

Čistírenský kal je heterogenní směsí organických látek (živých i neživých buněk mikroorganismů) a anorganických látek. Mezi hlavní představitele organické části kalu patří proteiny, sacharidy a tuky. Anorganickou část kalu tvoří převážně sloučeniny křemíku, železa, vápníku a fosforu. Kromě toho kaly obsahují také celou řadu škodlivin – těžké kovy, perzistentní organické látky PCB, PCDD/F, PAU atd. a další organické škodliviny (PROCHÁZKOVÁ et al., 2007).

Energetický obsah čistírenských kalů spočívá v chemické energii organických látek schopných oxidace. Aby bylo možno tyto kaly nazvat palivem, tedy energetickou surovinou, při jejichž spalování dochází k transformaci primární energie na energii tepelnou, musí být schopny hořet. Pro dosažení energetické rovnováhy spalovacího procesu je nutné, aby výhřevnost sušiny kalu a ostatní fyzická tepla dodaná do ohniště pokryla výparné teplo vody obsažené v palivu, teplo potřebné pro přehřátí vodních par ve spalínách a teplo potřebné pro ohřátí spalín. Důležitým měřítkem pro udržení rovnováhy spalovacího procesu je tedy obsah vody v kalu. Tady vzniká problém, protože mechanicky odvodněné kaly obsahují vysoký podíl vody (cca. 60 – 80 %) při relativně nízké výhřevnosti sušiny a nelze je tedy samostatně spalovat (PROCHÁZKOVÁ et al., 2007).

Z technického hlediska existují dva modely spalování čistírenských kalů, a to spalování vysušeného kalu a spalování vlhkého kalu s jiným palivem. Z termodynamického hlediska vzhledem na výslednou energetickou bilanci jsou oba způsoby rovnocenné. Ve většině případů spalování čistírenských kalů vychází se zápornou energetickou bilancí.

Výhodou spalování čistírenských kalů je značná redukce jejich objemu a hmotnosti v porovnání s původním množstvím.

Vhodnou technologickou úpravou čistírenských kalů před jejich spalováním je peletizace. Peletizace přináší celou řadu výhod. Dochází ke snížení objemu kalu, snížení jeho prašnosti, zlepšení přepravy a skladování, k homogenizaci (velikost, tvar, specifická hmotnost) a zároveň se zamezí slepení částic při skladování, manipulaci a aplikaci (GEFFERT, 2007).

Obr. č. 6 Pelety z čistírenských kalů (GEFFERT, 2007)



3.1.2 Zplyňování

Mezi různými metodami přeměny materiálu biomasy na biopalivo, je zplyňování nejvíce vhodná termochemická konverzní technologie. Proces zplyňování nabízí technologicky atraktivní možnost, hospodářsky nejnižší závislost na ceně surovin a ekologicky šetrnější způsob využití biomasy. Přítomnost bezkyslíkatých podmínek, díky níž je zplyňování odlišováno od spalovacího procesu, způsobuje, že produkce emisí znečišťujících látek jsou podstatně sníženy (VAEZI et al., 2012).

V převážné míře se biomasa využívá k výrobě horké vody, případně páry klasickým způsobem, kdy spalováním je uvolněné teplo předáváno pracovní látce, tj. vodě. Většímu rozšíření energetického využívání brání v tomto případě závislost výkonu spalovacího zařízení na spotřebě tepla, tedy odběru horké vody či páry. Jako perspektivnější řešení se jeví zplyňování, umožňující kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie.

Skutečný zplyňovací proces je veden tak, aby byla zajištěna maximální výtěžnost hořlavých plynů. Zplyňovací proces probíhá v redukční atmosféře a při takové teplotě, aby hořlavé složky dále s kyslíkem nereagovaly. Velkým problémem

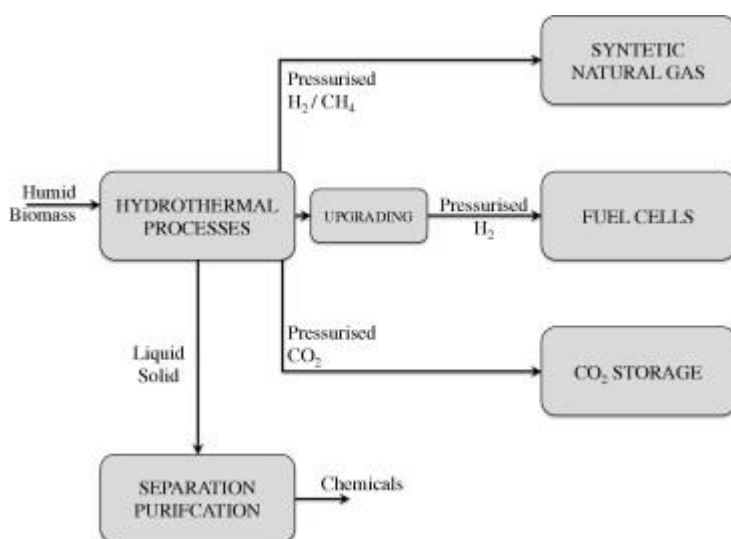
je přítomnost vyšších uhlovodíků ve formě dehtových par, které při nižších teplotách kondenzují a činí tak další využití plynu obtížným. Hořlavými složkami plynu jsou CO, H₂ a uhlovodíky a jeho výhřevnost překračuje 5 MJ. m⁻³. Výhřevnost plynu snižuje obsah vodní páry, proto je dobré používat předsušené palivo a obsah dusíku ze spalovacího vzduchu. Teoreticky je možné použitím kyslíku namísto vzduchu obsah dusíku téměř vyloučit (NOSKIEVIČ et al., 1996).

3.1.2.1 Zplyňování v superkritických podmínkách

Zplyňování pomocí vody v superkritických podmínkách je slibná technika pro řešení některých kritických bodů týkajících se zpracování biomasy s vysokou vlhkostí, jako je například odpad potravinářského průmyslu, řas nebo kalu bez před-sušení.

Kromě toho vysoký tlak získaného syntézního plynu umožňuje využití energie prostřednictvím expanze, ale plyn je vhodný také jako náhrada zemního plynu přímo pro dopravu a průmyslové využití. V tomto zájmu jsou kroky čištění plynu (zejména zachycování CO₂) žádoucí hlavně při vysokém tlaku. Také kapalná fáze obsahuje některé důležité chemické meziprodukty, které mohou mít pozitivní dopad na ekonomiku procesu. Po řádné separaci a purifikaci. Obr. č. 7 shrnuje některé žádané produkty biomasy, produkované za pomoci zplyňování s vodou za superkritických podmínek (MOLINO et al., 2013).

Obr. č. 7 Některé produkty zplyňování za subkritických podmínek (MOLINO et al., 2013).



3.1.3 Pyrolýza

Pyrolýza je jednoduchý a pravděpodobně nejstarší způsob úpravy biomasy na palivo vyšší kvality – tzv. dřevěné uhlí. Pyrolýza spočívá v zahřívání biomasy na 300-500 °C, až do doby, dokud neuniknou všechny těkavé látky.

Pyrolýza může probíhat také v přítomnosti malého množství vzduchu (zplyňování), vody (parní zplyňování) a nebo vodíku (hydrogenace).

Pyrolýza vede k nižší emisi potencionálních škodlivin v porovnání s úplným spalováním biomasy (KEBÍSEK, 2004).

3.1.3.1 Rychlá pyrolýza

Rychlá pyrolýza dřeva při teplotě 800-900°C vede k produkci jen 10% dřevěného uhlí a až 60 % materiálu se mění na energeticky hodnotné palivo – plyn bohatý na vodík a oxid uhelnatý.

Rychlá pyrolýza je vysokoteplotní proces, ve kterém je biomasa rychle zahřívána bez přítomnosti kyslíku. V důsledku toho se rozkládá převážně na páry, aerosoly a v některých případech na dřevěné uhlí. Po ochlazení a kondenzaci se vytvoří tmavě hnědá kapalina, která má výhřevnost přibližně poloviční v porovnání s běžnými topnými oleji (BRIDGWATER et al., 1999).

Rychlá pyrolýza není rovnovážný proces. Během rychlé pyrolýzy dochází k dramatickým změnám v konkrétních objemech mezi reaktanty (biopolymery) a produkty. To má za následek strhávání pevných částic a aerosolů, které by za normálních okolností nebyly těkavé při procesní teplotě. Všechny tyto jevy mají významné dopady na pyrolýzní technologii (BRIDGWATER et al., 2002).

Biomasa je komplexní polymerní materiál a jeho tepelný rozklad je víceetapový složitý proces (BRIDGWATER et al., 2002).

3.2 Biochemická konverze (mokrý proces)

Na rozdíl od zpracování termochemickou cestou, biochemické zpracování nevyžaduje teploty v oblasti 500 °C. K výrobě paliv pomocí biochemických technologií musí být suroviny zmenšeny, před-upraveny, hydrolyzovány enzymy a fermentovány.

Specifické metody předúpravy napadají různé části buněčné stěny. Procedury s amoniakem a vápnem vedou k narušení ligninu, zatímco voda a zředěné kyseliny jsou příčinou rozrušení hemicelulózy.

Účinnost předúpravy je hodnocena podle produkce relativních vláken, užitečnosti hemicelulózová frakce a omezení rozsahu, v jakém materiál inhibuje enzymatickou hydrolýzu a růst mikroorganismů během fermentace.

Předčištění může vést ke vzniku inhibičních produktů, jako jsou deriváty ligninu, xylózy a k rozkladným produktům, jako je furfural a kyselina mravenčí (SHARARA et al., 2013).

3.2.1 Digesce (fermentace)

Po úpravě biomasy a následném zcukření buněčné stěny mohou uvolněné cukry být zkvašeny a použity do biopaliv nebo jiných požadovaných bio-produktů. Je zásadní, že jak pěti, tak i šesti uhlíkaté cukry kvasí na alkohol. Zpravidla nikdy nelze dosáhnout hospodářské životaschopnosti, pokud jsou metabolizovány pouze šesti uhlíkaté cukry. K dosažení těchto zásad musí být glukóza a xylóza zpracovány pomocí mikroorganismů.

Bohužel není k dispozici organismus, který by byl schopen metabolizovat současně oba uhlíkové řetězce. Kvasinka *Saccharomyces cerevisiae* která je předním mikroorganismem při kvasné výrobě etanolu a která metabolizuje glukózu na etanol, ale není schopná metabolizovat xylózu.

Na druhé straně *Pichia stipites* je mikroorganismus, který metabolizuje xylózu na etanol.

Existují dva vědecké postupy, jak vyřešit společné zpracování glukózy a xylózy na etanol.

- Geneticky zavést chybějící možnost metabolizování xylózy do cílového organismu, jako je *Saccharomyces cerevisiae*.
- Vytvořit podkulturu organismu schopného metabolizování xylózy a glukózy, jako je *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia stipites* (SHARARA et al., 2013).

3.2.1.1 Anaerobní digesce

Anaerobní fermentace mokré hmoty o sušině 4 – 12 %, eventuálně 25 – 35 %. Anaerobní fermentace je rozklad biomasy pomocí speciálních bakterií bez přístupu vzduchu, přičemž je uvolňován metan jako zplodina metabolismu, který je využíván pro sdruženou výrobu elektrické energie a tepla (kogenerace) (MOUDRÝ, SOUČKOVÁ et al., 2006).

Biologický rozklad organických látek v anaerobních podmínkách je proces, který se nazývá metanová fermentace, metanové kvašení, anaerobní fermentace, anaerobní digesce, biogasifikace, biometanizace, biochemická konverze organické látky. Tento proces probíhá v přírodě za určitých podmínek samovolně nebo je vyvolán záměrně pomocí biotechnických zařízení. Výsledkem metanové fermentace je vždy směs plynů a fermentovaný zbytek organické látky. Pro tuto směs plynů, obsahující vždy dva majoritní plyny (metan CH_4 a oxid uhličitý CO_2) a v praxi početnou, avšak objemově zanedbatelnou řadu minoritních plynů, se ustálily různé názvy podle jejich původu nebo místa vzniku.

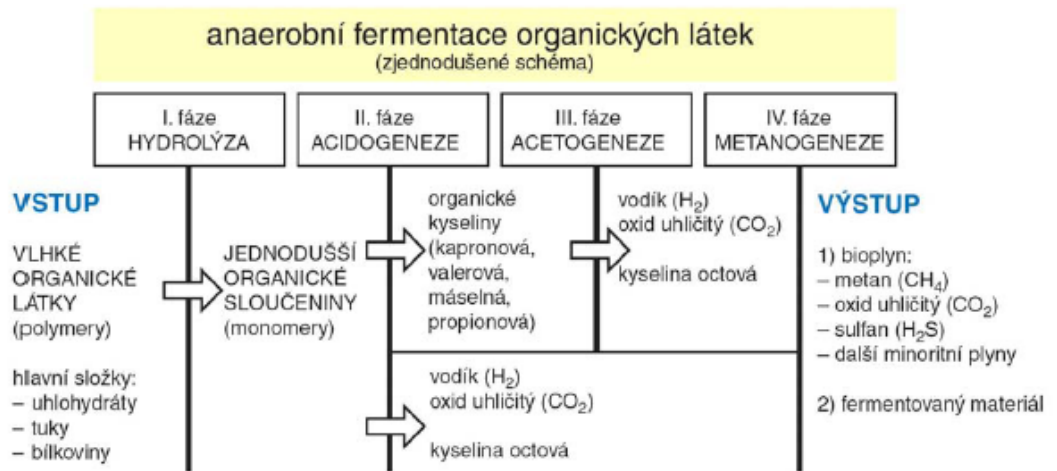
Rozeznáváme:

- 1) Zemní plyn – vznikl anaerobním rozkladem biomasy nahromaděné v dávných dobách; je energeticky nejhodnotnější, obsahuje 98 % metanu. Je klasifikován jako neobnovitelný zdroj energie.
- 2) Důlní plyn – původ jeho vzniku je obdobný jako u zemního plynu. Energetické využití má omezené jen na vhodné lokality, pro svoji výbušnost ve směsi se vzduchem resp. kyslíkem je velmi nebezpečnou příčinou důlních i povrchových havárií.
- 3) Kalový plyn – vzniká anaerobním rozkladem organických usazenin v přírodních i umělých nádržích, uvolňuje se ze dna oceánů, moří, jezer, močálů, rybníků, které se pravidelně nečistí, ale i v biologickém stupni čistíren odpadních vod, rýžovištích, rašeliníštích. Intenzita jeho vývinu i chemické složení jsou značně variabilní. Je to způsobeno variabilitou procesních podmínek, za kterých vzniká.
- 4) Skládkový plyn – většina skládek komunálního odpadu obsahuje 20 – 60 % organických materiálů, ze kterých může za vhodných podmínek anaerobní fermentací vznikat mnoho let skládkový plyn s velmi proměnlivým složením. Jeho povrchové výrony jsou velmi nebezpečné, proto je žádoucí skládkové plyny získané při odplynění skládek komunálního odpadu využít k energetickým účelům nebo likvidovat bezpečnostním hořákem.

Bioplyn – obecně lze tento název použít pro všechny druhy plyných směsí, které vznikly činností mikroorganismů. Tím je vyjádřeno, že všechny druhy bioplynu anaerobního původu vznikají principiálně stejným způsobem, ať probíhá metanogenní proces pod povrchem země, v zaživacím traktu živočichů, zvláště přežvýkavců, na skládkách komunálního odpadu, v lagunách nebo řízených anaerobních reaktorech. V technické praxi se ustálilo použití názvu bioplyn pro plynou směs vzniklou anaerobní fermentací vlhkých organických látek v umělých technických zařízeních (reaktorech, digestorech, lagunách se zařízením na jímání bioplynu, atd.) (KÁRA et al., 2007).

Anaerobní fermentace je velmi složitý proces, který se skládá z mnoha dílčích na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Metanogeneze je pouze konečná fáze biochemické konverze biomasy v anaerobních podmínkách na bioplyn a zbytkový fermentovaný materiál (KÁRA et al., 2007).

Obr. č. 8 Zjednodušené schéma anaerobní fermentace organických látek (KÁRA et al., 2007)



Metanizace

Metanizace je soubor dějů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá bez přístupu vzduchu organické látky (substrát) přítomné ve zpracovávaných materiálech – kalech, odpadních vodách a organických odpadech. Konečným produktem je „stabilizovaná organická hmota“ obsahující i narostlou biomasu a dále plyn, obsahující hlavně CH₄, CO₂, v některých případech i H₂S, H₂, N₂.

Hydrolýza – je rozklad makromolekulárních rozpuštěných a nerozpuštěných organických látek (polysacharidů, lipidů, proteinů) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů (hydroláz).

Acidogeneze – je další rozklad produktů hydrolýzy na jednoduché organické látky, hlavně na nižší mastné kyseliny, alkoholy, CO₂ a H₂ pomocí acidogenních bakterií.

Hydrolýzu i acidogenezi zajišťují velmi pestré a početné kultury příslušející k čeledím *Streptococcaceae* a *Enterobacteriaceae* a k rodům *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium* a dalším.

Acetogeneze – je tvorba kyseliny octové, H_2 a CO_2 z produktů předchozích fází acetogenními bakteriemi produkujícími H_2 , dále tvorba kyseliny octové a CO_2 denitrifikačními a sulfát redukujícími bakteriemi a acetogenní respirace H_2 a CO_2 homoacetogenními bakteriemi.

Acetogeneze je známá také jako syntrofní acidogeneze. Bakterie tzv. syntrofních druhů jsou vrcholně důležité pro anaerobní rozklady. Vstupují jako funkční mezičlánky poskytující jednak krok za krokem kratší alifatické kyseliny a jednak přitom produkují směs vodíku a oxidu uhličitého.

Metanogeneze – je tvorba metanu z kyseliny octové acetotrofními metanogenními bakteriemi a z jednoduhlíkatých substrátů, a tvorba metanu z CO_2 a H_2 hydrogenotrofními bakteriemi (STRAKA, 2004).

3.2.1.2 Alkoholová digesce

Při kvašení pomocí organismů lze vyrobit jak etanol, tak butanol. Tyto dva alkoholy jsou osvědčené jako pohonné hmoty a oba se vyrábí v komerčním měřítku fermentací různých cukrů a škrobů. Fermentace na alkoholy probíhá v anaerobních podmínkách, což má za následek relativně pomalé kvašení, ale vysokou retenci uhlíku z původního cukru do produkovaného paliva, protože není přítomen kyslík na oxidaci uhlíku na CO_2 (SCOTT, 2012).

Alkohol je velice dobré palivo a v některých případech může být náhražkou za kapalná fosilní paliva. Zdrojem pro alkoholové kvašení ve velkých objemech vhodné pro energetické využití je cukrová třtina, která se nejvíce pěstuje v Brazílii, proto je tam nejvíce tento druh paliva i využíván (ŠKORPÍK, 2006).

3.2.1.3 Aerobní digesce

Jedná se o pokračování alkoholového kvašení (předchozího procesu) v případě, že prostor není uzavřen a je přiváděn vzduch. Je nutná přítomnost octových bakterií. Výsledkem může být např. kyselina octová (ethanová kyselina) a voda (při přeměně alkoholu na octovou kyselinu vznikají meziprodukty, např. acetaldehyd) (ŠKORPÍK, 2006).

3.3 Fyzikálně-chemická konverze

Pomocí fyzikálně-chemických procesů můžeme biomasu upravovat do formy kapalného paliva. Pro tento proces jsou vhodné olejiny, ze kterých se pomocí esterifikace oleje vytváří látka s vlastnostmi podobnými motorové naftě.

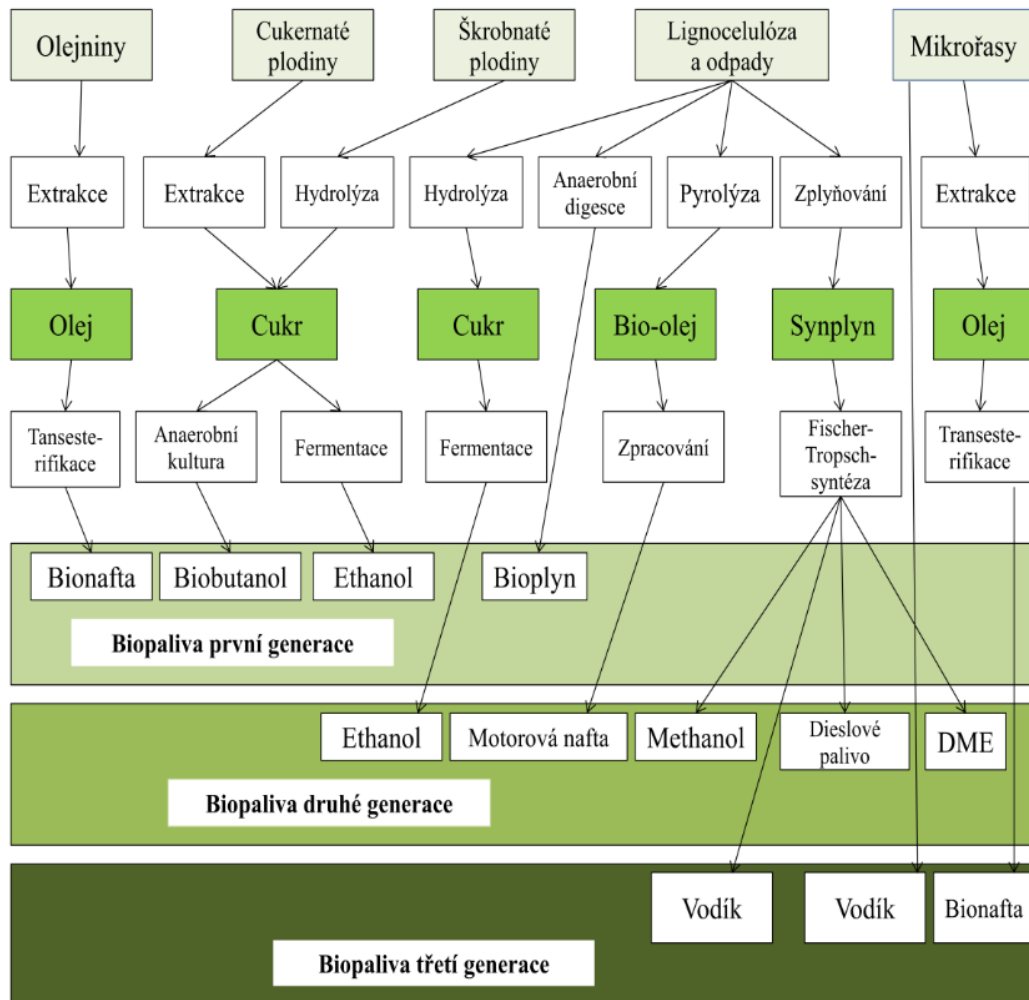
3.3.1. Esterifikace bio-olejů

V centrálních olejových mlýnech jsou olejnatá semena lisována po předešlém ohřevu na 80 až 90°C, čímž se deaktivují některé enzymy, zlepšuje se separovatelnost oleje a zajišťuje optimální podíl vlhkosti. Lisování probíhá prostřednictvím šnekových lisů, čímž se získá asi 50 % oleje obsaženého v rostlinách. Zbytky po lisování jsou dále drceny a dopravovány do extraktoru, kde se pomocí rozpouštědla (nejčastěji hexanu) extrahuje zbylá část oleje. Z extraktu – miscely se po filtraci destilací oddělí rozpouštědlo, které se vrací zpět do procesu. Ve zbytku olejniny zůstává asi 1,5 až 2 % oleje. Olej z lisování a z extrahování je možno smíchat, oleje mají stejné vlastnosti a nazývají se surovými oleji. Oleje jsou použitelné jako palivo pro upravené spalovací motory.

Dalším možným způsobem, jak využít rostlinných olejů jako paliva vznětových motorů, je úprava rostlinných olejů do podoby, ve které budou zaměnitelné s motorovou naftou. Tato úprava je dosažitelná procesem esterifikace, kdy výsledné metylestery mastných kyselin mají vlastnosti velice podobné naftě (Podpora lokálního vytápění biomasou: Technologie. [online]. [cit. 2014-02-01]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/techeste.htm>).

4. Generace biopaliv

Obr. č. 9 Zdroje a procesy pro produkci biopaliv první, druhé a třetí generace (SIKYTOVÁ, 2013)



4.1 I. generace biopaliv

První generace biopaliv je založena na přeměně stávajících zemědělských komodit. Bio-oleje mohou poskytnout paliva pro kotle, osobní i nákladní automobily, motory, turbíny a dieslové generátory k výrobě elektřiny. Nicméně vzhledem k obsahu vody a kyslíkatých sloučenin v bio-oleji se odhaduje, že jeho výhřevná hodnota dosahuje přibližně 50% výhřevnosti palivové nafty. Ve většině případů bio-olej nemůže být použit jako jediné palivo. Vyžaduje kombinaci buď s alkoholem, nebo naftou. Výhodou bio-oleje používaného jako paliva je nižší produkce znečišťujících látek, jako jsou oxidy síry a dusíku s výjimkou uhlikatých monoxidů (SCOTT, 2012).

4.2 II. generace biopaliv

Mezi hlavní druhy biopaliv patří bioetanol, který může být použit buď jako příměs do benzínu nebo může benzín zcela nahradit. Získávání velkého množství bioetanolu z odpadních materiálů představuje velkou výzvu. O významu biopaliv druhé generace svědčí některé údaje z USA. V roce 2009 uveřejnila Biotechnology Industry Organisation se sídlem ve Washingtonu, D. C., studii, v níž dochází k závěru, že by tato biopaliva mohla do roku 2022 snížit dovoz benzínu do USA za téměř 70 miliard dolarů. Bruce Dale z Office of Biobased Technology z Michigan State University je ještě optimističtější a domnívá se, že biomasa druhé generace by mohla být zdrojem až 350 milionů litrů biopaliv ročně, což představuje roční dovoz ropy do USA (VANĚK, 2012).

4.2.1 Optimalizace získávání bioetanolu

V současné době lze na energii přeměnit asi jen jednu třetinu biomasy cukrové třtiny. Jde tedy o velmi neefektivní proces. Ke zvýšení efektivity na dvojnásobek by bylo třeba získávat bioetanol i z nepoživatelných částí rostliny. K tomu musíme vědět víc o struktuře rostliny. Tímto problémem se zabývá biolog Marcus Buckenridge z University of Sao Paulo, kde koordinuje program Biogen v rámci státního výzkumného střediska. Tento biolog, který se biologii buněčných stěn věnuje již 20 let, se domnívá, že se technologii výroby fermentačních cukrů z nepoživatelných částí rostlin podaří vyvinout během krátké doby. Tento výzkumný program je v odborných kruzích označován jako „Projekt Manhattan“ v oblasti výroby „etanolové bomby“ (VANĚK, 2012).

4.3 III. generace biopaliv – řasy

Vývoj biopaliva z vodních řas je velmi žádoucí vzhledem k evropským problémům výroby biopaliv a biomasy takzvané první generace – nedostatek zemědělské půdy a prokázané zdražení potravin. Pěstované vodní řasy tyto negativní jevy nepůsobí a v dobrých podmínkách se mohou vodní řasy ve vodních nádržích donekonečna rozmnožovat (BUUREN, 2008).

Energie z řas by mohla v budoucnu produkovat biopaliva srovnatelná s palivy na bázi konvenční surové ropy.

V první etapě celého procesu se mění struktura řas tak, aby produkovaly uhlovodíky. Zatímco jiné skupiny vědců se snaží CO₂ ukládat, zde je snahou CO₂ využít k přeměně řas na ropu. Další etapa spočívá ve zpracování surové ropy z řas

v existujících rafinériích a ve výrobě stejných produktů získávaných z konvenční ropy, tj. benzínu, nafty a leteckého paliva. Realizace záměru si vyžádá asi 10 let a jeho reálnost spočívá v tom, že jsou k dispozici nejen velké finanční prostředky společnosti Exxon Mobil, ale také její technické a technologické zázemí (VANĚK, 2012).

Vývojem přeměny řas na biobutanol se zabývají i společnosti Du Pont a Bio Architecture Lab of Seattle, které získaly od amerického ministerstva energetiky (US DOE) grant ve výši 9 milionů dolarů. Prvním cílem je výroba suroviny na bázi celulózy, která by měla mít vyšší výnosy než například kukuřice. Navíc, vyrobený biobutanol má oproti bioetanolu větší energetickou hustotu a může být proto přidáván do benzínu ve větší koncentraci. Problém je zatím v tom, že se nepodařila přeměna řas na základní cukry, ani jejich následné zpracování na biobutanol s použitím biokatalyzátoru. Pokud se ale podaří pěstovat řasy na 12,5 % příbřežních vod v USA, mohl by vyrobený biobutanol ročně nahradit 26 miliard litrů benzínu.

Řasy mohou sloužit nejen jako zdroj pro výrobu biopaliva, ale mohou pomoci i čistit odpadní městskou vodu (VANĚK, 2012).

Vodní řasy mají výborný energetický potenciál a v blízké budoucnosti mohou být významnou složkou z oblasti obnovitelných zdrojů energie. A tak se velmi pravděpodobně za několik let budou mnohem více využívat. Fakt, že biopaliva z vodních řas mohou být přímo používána v autech s dieslovým motorem bez výrazné technické úpravy motoru, je považován za jednu z největších výhod energetického využití vodních řas. V přírodě existuje přibližně 80 000 druhů a odrůd, k pěstování jich bude využíváno však jen pár druhů (BUUREN, 2008).

4.3.1 Výhody využití řas

Mikrořasy jsou jednobuněčné organismy, jejichž fotosyntetický aparát je podobný vyšším rostlinám. Díky jednoduché buněčné struktuře a růstu ve vodním prostředí, kde mají optimální přístup k vodě, CO₂ a výživě, jsou v homogenních, dobře míchaných masových akvakulturách obecně daleko efektivnější při přeměně sluneční energie na biomasu než vyšší rostliny (MASOJÍDEK, 2009). Po dodání CO₂ rostou zelené řasy velmi rychle a pokud se je podaří přeměnit na biopalivo, jsou stonásobně výnosnější na hektar než kukuřice, soja nebo cukrová třtina. Porovnání vyrobeného biopaliva z některých plodin ukazuje srovnání: Sojové boby – 470 l/ha; řepka olejka – 1 200 l/ha; řasy – 66 000 až 94 000 l/ha (VANĚK, 2012).

Mají také výhodu velmi rychlých reprodukčních cyklů, větší toleranci k vysoké ozáření a vyšší účinnost přeměny energie na biomasu díky malým nárokům na vedlejší metabolické funkce (MASOJÍDEK, 2009).

5. Produkty biomasy jako energetické výrobky (palivo, energie)

5.1 Porovnání vlastností klasických a alternativních motorových paliv

Vlastnosti alternativních paliv ze zemědělské produkce jsou velmi podobné v porovnání s ostatními motorovými palivy ropného původu. Ropná paliva mají jiné složení. Fyzikální a chemické vlastnosti rostlinných olejů a jejich esterů jsou však velmi podobné naftě a fyzikální a chemické vlastnosti alkoholů a éterů jsou velmi podobné automobilním benzínům. Použití čistých rostlinných olejů a alkoholů si vyžaduje speciální úpravu motorů. Užití esterů a éterů jako přípravků v palivových směsích úpravy nevyžaduje (KÁRA, 2001)

5.2 Biopaliva kapalná

Kapalná biopaliva na rozdíl od pevných a plynných biopaliv se uplatňují především na pohon motorových vozidel. Nejdůležitějšími palivy, která se v současnosti vyrábějí z biomasy, jsou etanol, metanol a bionafta (VLK, 2006).

5.2.1. BTL (Biomass-to-Liquid)

BTL paliva mohou být vyrobena z téměř jakéhokoli typu biomasy s nízkou vlhkostí, zbytků nebo organických odpadů, jako např. rychle rostoucích dřevin, trvalek trávy, slámy, lesní probírky, kůry, odpadního papíru nebo rekultivovaného dřeva. Odhaduje se, že více než 4 m³ BTL-paliva mohou být vyrobeny z hektaru půdy ročně. Proto by se v budoucnu, pokud by 4-6 milionů ha půdy bylo použito k pěstování energetických plodin, dalo nahradit 20 – 25 % kapalného paliva pro dopravu při současné spotřebě.

Výhoda BTL technologie směřované do kapalných pohonných hmot spočívá ve schopnosti použít téměř jakýkoliv typ biomasy s malou nutností jiné předúpravy než kontrola vlhkosti. To je proto, že surovina je zplynována v první fázi procesu. Vzniklý plyn se poté dále čistí, odstraňuje se dehet, pevné částice a plynné nečistoty, a upravuje se poměr požadovaných plynů (vodík a oxid uhelnatý). Výsledkem je vyvážený syntézní plyn, který může být použit v druhé, katalytické fázi. Syntézní plyn se může také získat pyrolýzou uhlí.

Dva hlavní katalytické procesy pro BTL výrobu jsou Fisher – Tropšova syntéza a Mobilní proces. (In:www.biofuelstp.eu [online]. [cit. 2014-01-10])

5.2.1.1 Fischer - Tropschův proces

Fischer - Tropschův proces je katalyzovaná chemická reakce, při které jsou oxid uhelnatý a vodík převedeny na kapalné uhlovodíky různých forem. Obecně použité katalyzátory, pro následující reakci, jsou založeny na železu a kobaltu.

Jedním z problémů jsou vysoké kapitálové náklady na vícestupňový proces. Ty mohou být větší, protože rozsah provozu může být omezen na vzdálenost, na kterou může být biomasa transportována do továrny na zpracování. Náklady na údržbu jsou také poměrně vysoké.

5.2.1.2 Mobilní proces

Mobilní proces je dvoustupňový katalytický proces. V první fázi se vyrábí metanol. Metanol se používá jako surovina pro generování uhlovodíků o různé délce řetězce, za použití katalyzátoru zeolitu. Při konverzi řada reakcí probíhá v plynné fázi. Konverze je zahájena odstraněním vody pro výrobu dimetyleteru (In:www.biofuelstp.eu[online].[cit.2014-01-10])

5.2.2 Bio-etanol

Bioetanol je považován ve světě jako alternativní palivo s největším potenciálem nahradit fosilní paliva. Je zodpovědný za významnou frakci emisí skleníkových plynů. Z důvodu zvyšující se poptávky po energii, předpokládaném vyčerpání ropy a vysokým nákladům na průzkum a zájem o zemi, svět obrací svou pozornost k lignocelulóze nebo druhé generaci etanolu, který se vyrábí z bohaté a relativně levné suroviny, která neohroží bezpečnost potravin. Nicméně druhá generace výrobní technologie bioetanolu je stále ve vývoji. Intenzivní struktura spojující tři hlavní součásti ligno-celulózové biomasy (celulóza, hemicelulóza a lignin) brání jeho přeměnu na nezkvasitelné cukry (DIAS et al., 2013).

Fermentací roztoků cukrů je možné vyprodukovat etanol. Vhodnými materiály jsou cukrová řepa, obilí, kukuřice, ovoce nebo brambory. Cukry mohou být vyrobeny i ze zeleniny nebo celulózy. Teoreticky lze z 1 kg cukru získat 0,65 l čistého etanolu. V praxi je však energetická výtěžnost 90 až 95 %. Fermentace cukrů může probíhat jen v mokřím (na vodu bohatém) prostředí. Vzniklý alkohol je nakonec oddělen destilací a je vysoce hodnotným kapalným palivem pro spalovací motory.

Jeho přednosti jsou ekologická čistota a antidetonální vlastnosti. Nedostatkem etanolu je schopnost vázat vodu a působit korozi motoru, což lze odstranit přidáním anti-korozivních přípravků (VLK, 2006).

Využití bioetanolu pro pohon zážehových motorů je v zásadě možné dvěma způsoby. Buď jako palivo, nebo jako přísada.

5.2.2.1 Kvasný líh jako palivo

První cestou se jako jediná na světě vydala Brazílie. Ale ani zde se nepoužívá kvasný líh jako jediná složka motorového paliva, v každém případě se jedná o pohon upravených zážehových motorů.

- Alkoholické palivo (95 - 96 % kvasného lihu + 5 % autobenzínu)
- Směsné benzínové palivo (22 % bezvodého kvasného lihu + 78 % autobenzínu)
- Směs MEG (33 % metanolu, 60 % kvasného lihu, 7 % autobenzínu)

5.2.2.2 Kvasný líh jako přísada

V USA i Evropě roste snaha legislativně zakotvit určité množství oxigenátů (látek obsahujících kyslík a zároveň vhodných jako komponenta motorových paliv) do autobenzínů. Důvodem je především snaha snížit škodlivost emisí, zejména ve městech v období smogového nebezpečí (KÁRA, 2001).

5.2.3 Bio-butanol

Butanol je čtyř-uhlíkatý alkohol. Jeho molekula má dvojnásobný počet atomů uhlíku než etanol, což se projevuje vyšší energetickou hustotou a více než o 25 % vyšší výhřevností. Svými vlastnostmi se více přibližuje k benzínu než k etanolu. Při motorových zkouškách se prokázaly velmi dobré palivové vlastnosti butanolu a na základě požadavků neustálého zvyšování podílu náhrady fosilních paliv biopalivy byly uskutečněny dlouhodobé výzkumné práce v USA a VB, jejichž výsledky se už zavádějí do výroby kapalných paliv.

Butanol je alkohol, který může, ale i nemusí být přimícháván do motorových fosilních paliv a může být používán samostatně. Butanol využívaný jako pohonné palivo v motorech s vnitřním spalováním neprodukuje SO_x , NO_x , nebo CO, což jsou spaliny škodící zdraví. Produkované CO_2 a H_2O se nepovažují za škodliviny, pouze se vrací do ovzduší, ze kterého byly rostlinami přijaty v době vegetace.

5.2.3.1 Biotechnologie výroby „ABE“

Biotechnologie „ABE“ je průmyslovou technologií využívající fermentace zrnin k výrobě acetonu, butanolu a etanolu pomocí mikroorganismů *Clostridium acetobutylicum*. Při běžné kvasné technologii zpracování glukózy (ABE) je podíl butanolu v konečném produktu velmi nízký, většinou kolem 15 %, výjimečně kolem 25 %. Rozsah jeho výroby je limitován biologickým omezením, protože butanol i při nízké koncentraci (1,5 – 2 %) v roztoku, inhibuje růst a činnost mikroorganismů a zastavuje celý fermentační proces. Běžně je při ABE procesu podíl butanolu ve

fermentovaném materiálu nižší než 1,3 %. Proto hlavním výrobním problémem u této technologie soustavné odstraňování butanolu ze zpracovávaného materiálu už v průběhu výroby.

Proto byly vyšlechtěny zcela nové kvasinky *Clostridium tyrobutyricum* a nově vyšlechtěné odrůdy kvasinek *Clostridium acetobutylicum*, které v návaznosti na sebe zajišťují optimální produkci butanolu 4,64 g/L/h a výtěžnost z glukózy 42 – 45 %. Jednoduše řečeno: jeden mikrob maximalizuje přeměnu glukózy na vodík a kyselinu máselnou a druhý mění tuto kyselinu na butanol (SLADKÝ, 2006).

5.2.4 Bio-nafta

Metylester kyselin řepkového oleje (MEŘO) se sice chemicky liší od ropných produktů, avšak jeho hustota, viskozita, výhřevnost a průběh spalování se motorové naftě velmi přibližují. MEŘO se ve srovnání s motorovou naftou vyznačuje vcelku pozitivním vlivem na životní prostředí. MEŘO vykazuje podstatně lepší parametry ve srovnání s motorovou naftou v emisích CO₂ a SO₂ a kouřivosti. Mírně vyšší má pouze emise NO_x, což lze eliminovat seřízením motoru. Provozní přechod na metylester (a naopak) usnadňuje neomezená mísitelnost s motorovou naftou.

Během průběhu realizace OLEOPROGRAMU (projekt na zpracování řepky na motorové alternativní palivo) došlo pod tlakem technických a ekonomických podmínek k jednoznačnému nástupu využívání směsného paliva pro vznětové motory s obsahem 30 – 36 % hm. MEŘO. Dalšími složkami jsou ropné produkty vybrané tak, aby směsné palivo splnilo podmínku 90 % biologické rozložitelnosti za 21 dní dle programu CEC.

Široká veřejnost v průběhu posledních let nazývá bionaftou jak původní čisté MEŘO, tak i směsné palivo s obsahem MEŘO. Pro svoji obsahovou nejednoznačnost se proto termín bionafta v technické dokumentaci vůbec nepožívá. Technické normy ČSN ve své nynější podobě uznávají pouze termíny:

- Metylester řepkového oleje (MEŘO)
- Směsné palivo pro vznětové motory s obsahem metylesteru řepkového oleje (30 - 36 % hm. MEŘO) (KÁRA, 2001)

5.2.5 Metanol

Metanol je čistá kapalina bez zápachu. Energie obsažená v 1 litru metanolu představuje 18 MJ, ale účinnost motoru při aplikaci tohoto paliva je vyšší než v případě benzínu (asi o 20 %), což potom zvyšuje hmotnostní energii metanolu na 22,5 MJ. Metanol je možné vyrobit nejen z biomasy, ale také z některých fosilních paliv jako například ze zemního plynu nebo z uhlí. Nevýhodou výroby metanolu z biomasy je jeho dvojnásobná cena v porovnání se syntetickým metanolem, který je vyrobený ze zemního plynu. Zajímavostí též je, že z metanolu je možné vyrobit také benzín, avšak celý proces výroby probíhá s energetickou ztrátou, a proto se

nevyužívá. Ze zkušeností vyplývá, že z jedné tuny suché biomasy je možné vyrobit asi 700 litrů metanolu (JANÍČEK, 2009)

5.2.6 Bio-olej

Obecně platí, že bio-olej obsahuje asi 15 až 30 % hmotnosti vody. Voda obsažená v bio-oleji má pozitivní vliv na snížení viskozity, ale negativní vliv na snížení jeho výhřevnosti. Voda v bio-oleji pochází z původní vlhkosti vstupních surovin a je výsledkem dehydratačních reakcí během rychlé pyrolýzy biomasy. Lze konstatovat, že většina vodní páry vznikající během dehydratace kondenzuje v kondenzátoru, což vede k oddělení vody při výrobě bio-oleje. To je účinný způsob, jak používat frakční kondenzaci k oddělení vody během výroby bio-oleje. pH bio-oleje z různých dílčích kondenzátorů při pokojové teplotě bývá 2,84-3,36. Nízké pH může působit problémovou korozi na uhlíkové oceli a hliníkových materiálech, a to zejména při vysokých teplotách a při zvýšení obsahu vody (YIN et al., 2013).

Z 1 hektaru řepky olejné se získají zhruba 3 tuny olejnatých semen, z nichž se vylisuje přibližně 1100 kg řepkového oleje. Rostlinné oleje mají v porovnání s motorovou naftou vysokou viskozitu, která neumožní dobré rozprášení oleje vstříkovaného do spalovacího prostoru, vysokou teplotu vzplanutí, vysokou teplotu tání, nízké cetanové číslo, vyšší měrnou hmotnost, nižší výhřevnost, malou oxidační stabilitu a snadno polymerují. Obsahují přibližně 11 % kyslíku.

5.2.6.1 Výhody bio-oleje

Za výhody provozu vozidlových motorů na rostlinné oleje v porovnání s provozem na naftu je považována netoxičnost a dobrá biologická odbouratelnost olejů, jejich nesnadná zápalnost z hlediska požární bezpečnosti a technicky i energeticky málo náročná výroba. Produkce oxidu uhličitého je kompenzována jeho spotřebou při fotosyntéze probíhající v rostlinách, ze kterých jsou oleje vyrobeny.

5.2.6.2 Nevýhody bio-oleje

Nevýhodami provozu motorů na rostlinné oleje je nutnost provedení potřebných úprav palivového příslušenství naftového motoru, tvorba úsad v palivovém systému i v motoru a znehodnocování motorového oleje polymerací rostlinného oleje vyžadující kratší výměnné lhůty motorového oleje, než při provozu na naftu (LAURIN, 2008).

Obr. č. 10 Vlastnosti nafty a řepkového oleje (In: Biom.cz [online]. 2008-10-29 [cit. 2013-10-21])

Parametr	Jedn.	Nafta	Řepkový olej
Hustota (15 °C)	kg.m ⁻³	830	915
Výhřevnost	MJ.kg ⁻¹	42,5	36
Kinem. viskozita (40 °C)	mm ² .s ⁻¹	3,0	35
Teplota vzplanutí P-M	°C	55	246
Cetanové číslo		51	38

5.3 Plynná biopaliva

Dřevoplyn i bioplyn je možné použít v benzínových a naftových motorech s jistými úpravami. Výhodou plynných paliv je, že při spalování se lépe míchají se vzduchem, a proto hoří lépe než paliva kapalná. V porovnání s benzínem a naftou mají vyšší oktanové číslo. Vyšší kvalita plynných paliv umožňuje použití vyššího kompresního poměru - až do 10:1 v benzínových spalovacích motorech a 15:1 v naftových motorech, což má za následek vyšší výkon a účinnost motoru. Z energetického hlediska však plynná biopaliva nedosahují úroveň například zemního plynu ($35 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$). Energie obsažená v dřevoplynu je podstatně nižší než u bioplynu a její minimální hodnota představuje jen asi $5,6 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$. Složení bioplynu a dřevoplynu není však konstantní a mění se v závislosti od podmínek jejich výroby. U dřevoplynu je nejdůležitější složkou vodík, v bioplynu je to metan. Metan má kritickou teplotu pro zkapalnění $-82 \text{ }^\circ\text{C}$, nedá se jednoduše zkapalnit a používat v takovém stavu. Ve světě však existují příklady použití stlačeného (při tlaku 200 – 220 baru) nebo zkapalněného bioplynu v traktorech s objemem válců 50 litrů. Zkušenosti ukazují, že zkapalnění bioplynu a následné využití jako paliva pro motorová vozidla nepřináší pro uživatele výraznější ekonomické výhody, a proto se aplikace bioplynu v současnosti koncentruje převážně ve stacionárních motorech – kogeneračních jednotkách (výroba elektřiny a tepla). Každá organická hmota po odumření podléhá rozkladu. Pokud tento proces probíhá účelově bez přítomnosti kyslíku, dochází k výrobě bioplynu (JENÍČEK, 2009)

5.3.1. BIOPLYN

Termín „bioplyn“ v posledních letech 20. století zcela zobecněl a stal se běžně rozšířeným nejen mezi technickou odbornou veřejností, nýbrž i jistým synonymem čehosi ekologicky příznivého v majoritní laické veřejnosti. Snad právě díky popularizačním pokusům masmédií nejrůznějších typů i odborných úrovní byl v laické veřejnosti fixován dojem, že „bioplyn“ je sice možná páchnoucí, nicméně užitečný a ekologicky čistý plyn vznikající v živých organismech resp. Působením těchto organismů (STRAKA, 2006).

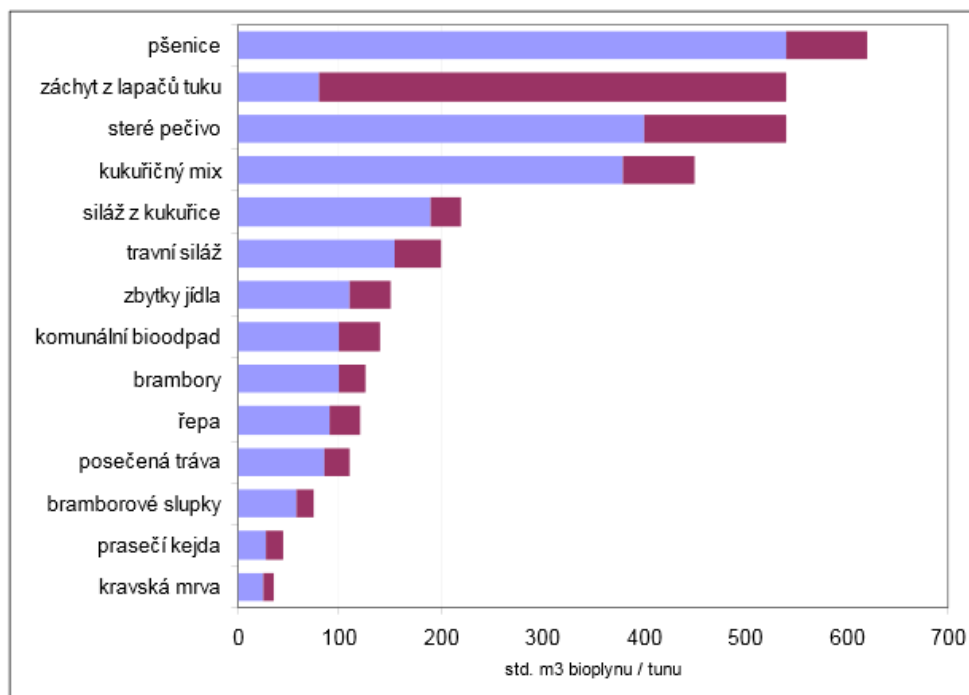
Proces, při kterém anaerobní organismy rozkládají organické látky za tvorby metanu, se někdy označuje obecným pojmem „metanizace“; jde o výraz jak pro anaerobní stabilizaci kalů, tak pro anaerobní čištění odpadních vod a anaerobní zpracování různých organických materiálů (STRAKA, 2006).

Při rozkladu organických látek (hnůj, zelené rostliny, kal z čističek) v uzavřených nádržích bez přístupu kyslíku vzniká bioplyn. Tento proces, kdy se organická hmota štěpí na anorganické látky a plyn, vzniká díky bakteriím pracujícím

bez přístupu kyslíku (anaerobně). Rozkládání víceméně odpovídá procesům probíhajícím v přírodě s rozdílem, že v přírodě probíhají i za přítomnosti kyslíku (aerobní procesy). Proto jsou meziprodukty těchto procesů odlišné a také chemické složení konečných produktů se liší. Zbytky vyhnívajícího procesu jsou používány jako hnojivo nebo kompost. Bioplyn obsahuje cca 55–70% objemových metanu, výhřevnost se proto pohybuje od 19,6 do 25,1 MJ. m⁻³ (VLK, 2006).

Produkce bioplynu z fytomasy je efektivnější, než ze zvířecích exkrementů (mrva, kejda, trus drůbeží apod.) o cca 50–70%. Spolu s výrobou bioplynu z travní fytomasy lučních porostů a podobné fytomasy jako je šťovík *Uteuša*, trávy z údržby veřejných trávníků, sportovních hřišť apod., vzniká jako odpad stabilizované organické hnojivo, které se vrací do zemědělského procesu. Zvláště důležité je, že významný podíl uhlíku zůstává v tuhém zbytku a neprochází atmosférou jako při spalování. Tím snižuje množství CO₂ v plynné atmosféře (MOUDRÝ, SOUČKOVÁ et al., 2006).

Obr. č. 11 Výtěžnost bioplynu z různých surovin (JAKUBES, 2006)



5.3.1.1 Kogenerace

Definice: Kogenerace je společná, postupná nebo současná produkce konečných forem energií přeměněných z primární formy energie v transformačních řetězcích a připravených k využití u spotřebitele.

Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla se označuje jako KVET nebo kogenerace (KG), v anglické literatuře se pak uvádí označení CHP (Combined Heat and Power). Kombinovaná jednotka elektrické energie a tepla se uskutečňuje v energetických výrobnách – tzn. Teplárny nebo kogenerační jednotky (KGJ). Výroba může probíhat v jednom řetězci (parní nebo plynový oběh, spalovací motor, palivový článěk) nebo ve dvou transformačních řetězcích (paroplynový oběh). Soustava pro výrobu a dopravu energií o určitých parametrech se nazývá kogenerační systém (KS).

Kogenerace nabízí několik nesporných výhod, z nichž nejvýznamnější je energetická výhodnost. Celková účinnost při kogeneraci je o desítky procent vyšší než při výrobě oddělené. Rozdíl mezi účinnostmi závisí na použitých technologiích, respektive na účinnosti těchto technologií. Vyšší celková účinnost výroby energií vede ke snížení spotřeby primárních energetických zdrojů, což vede k nižším produkcím znečišťujících látek a skleníkových plynů.

Další výhodou je možnost decentralizace těchto zdrojů, která umožňuje využití lokálních zdrojů a spotřebu v místě výroby, která také souvisí s bezpečností dodávky energií. S lokální výrobou a spotřebou energií souvisí také snížení distribučních ztrát obou energií.

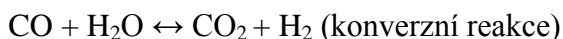
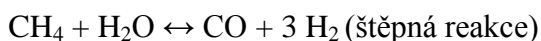
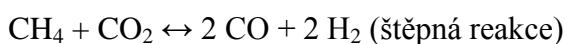
Podmínkou kogenerace je spotřeba vyrobeného tepla, což není vždy jednoduché. Klimatické podmínky často nedovolují využít teplo pro vytápění celoročně, využití tepla pro technologii je podmíněno existencí technologie a využití tepla pro trigeneraci je nákladnou záležitostí (BRANC, 2007)

5.3.1.2 Srovnání bioplynu s kapalnými palivy

Oproti alternativním druhům motorových paliv a konceptům pohonu kapalnými uhlovodíkovými palivy, bioplyn stále vykazuje nejvyšší energetickou hustotu a bude do značné míry přispívat k soukromé, veřejné a nákladní dopravě v příštích desetiletích. S ohledem na zachování zdrojů a vzhledem k cílům na snižování emisí CO₂, využití biomasy jako jediného zdroje uhlíku z obnovitelných zdrojů je třeba prozkoumat a rozvíjet jeho přínos v této oblasti. Vzhledem k očekávané hospodářské soutěži pro výrobu potravin a krmiv, jsou biopaliva první generace omezena v jejich potenciálním podílu na světové spotřebě motorových paliv (DAHMEN et al., 2012).

5.3.2 Biovodík

Biovodík by bylo možno vyrábět z bioplynu i chemickými postupy:



Tento postup je ale technologicky náročný a mohl by se uplatnit jen u velkých jednotek. V konečném stavu však tyto reakce vždy produkují zbytkový CO_2 , který je nutno z vodíku odstranit. Teoreticky lze tímto způsobem z jednoho molu metanu získat až čtyři moly vodíku, ovšem s deficitem energie, který je nutno doplnit z externích zdrojů (teoreticky asi 20 % energie vstupního metanu, prakticky je ale navýšení spotřeby tepla asi 25–35 % energie štěpné reakce vstupního metanu). Požadavek „bez emisního“ postupu, tj. výroby vodíku bez emisí CO_2 , tedy nelze splnit a z tohoto hlediska je měrná emise CO_2 shodná jako při spalování bioplynu (tj. na 1 mol metanu se uvolňuje 1 mol vyprodukovaného CO_2).

Základní environmentální problém, který je společný všem postupům včetně spalovacích, tedy zneškodnění CO_2 , zůstává nevyřešen. Naprosto čistým „bezemisním“ postupem výroby vodíku tak zůstávají pouze procesy elektrolytické, využívající elektřinu z bezemisních zdrojů (jaderné, vodní, solární či větrné elektrárny) (STRAKA, 2011).

5.4 Tuhá biopaliva

Vedle energetických plodin je v agrárních oblastech k dispozici další množství fytomasy, která je nevyužita a kterou můžeme označit jako druhotnou agrární surovinu. Jde především o obilnou slámu, řepkovou slámu, trvalé travní porosty a další. Při porovnání zdrojů fytomasy je významným parametrem její dostupnost v dostatečném množství a obsah vody v čase a místě dodávky. Pokud je obsah vody vyšší než asi 20 %, vznikají tím požadavky na sušení, tzn. další náklady. Těmto požadavkům přednostně vyhovuje sláma obilovin a řepková sláma. Tyto suroviny jsou k dispozici ve značném množství, vysoké kvalitě, tzn. s nízkým obsahem vody, který nepřekračuje 15 %. Vhodnost těchto surovin pro energetické využití umocňuje i rozvinutá technika sklizně a manipulace s materiálem.

Standardní forma paliva ve formě balíků má výhodu ve snadné manipulaci, v použití i v obchodování. Toto palivo je vhodné pro centrální kotelny, kde jsou použity kotle nad 1 MW. Většina těchto kotelen ovšem preferuje palivo ve formě

balíků hranolových. Pro spalování balíků slámy byly vyvinuty i kotle pro menší výkony. Slámu ve formě balíků lze ovšem zpracovat do hodnotnějších forem tuhých biopaliv, do briket nebo pelet. Ze slámy se jeví jako vhodnější výroba topných pelet. Pro tuto produkci jsou dodávány výrobní linky s nejrůznějším výkonem.

5.4.1 Pelety

Pro spalování pelet ze slámy jsou na trhu vhodná spalovací zařízení. Pelety z jiných než dřevěných materiálů se vyznačují výrazně vyšším obsahem popela, s čímž je nutno počítat při konstrukci kotlů i při jejich provozu. Vhodným typem pro použití v rodinných domcích je například typ A25, výrobce Verner, a. s. Tento kotel má konstrukčně upraveno automatické odpopelnění a umožňuje spalovat pelety z různých typů biomasy.

Dalším významným zdrojem fytohmoty jsou trvalé travní porosty. Tyto plochy je třeba sklízet a usušenou travní hmotu je možno výhodně zpracovávat do formy tuhých paliv. Pro vytápění rodinných domů nebo malých farem je vhodnější použití topných briket, pro jejichž výrobu jsou na trhu kompaktní briketovací lisy s vhodným výkonem.

5.4.2 Brikety

Brikety s lepšími užitnými vlastnostmi získáme při použití travní fytohmoty v kombinaci s jinými rostlinnými materiály. K tomu je možno použít např. štěpku z plantáží energetických dřevin, nebo jiné energetické rostliny. Technologie zhodnocení biopaliv, tj. peletování i briketování slámy a TTP, umožňují využití těchto zdrojů v lokálních topeništích na biomasu. To je významný aspekt při uvážení těchto paliv jako alternativy k používání uhlí, zvláště při předpokládaném výrazném zvýšení cen veškerého uhlí v nejbližší budoucnosti. Dá se tedy předpokládat, že tato paliva si najdou místo na trhu s palivy. Je však třeba, aby veškeré znalosti a technologie výroby i užití těchto paliv byly budovány a využívány na úrovni odpovídající získaným poznatkům (HUTLA, MAZANCOVÁ, 2009)

6. Využití biomasy v české Republice

6.1 Akční plán

Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012-2020 představuje analýzu využití biomasy v ČR pro energetické účely a navrhuje opatření vhodná pro udržení zemědělsko-energetického propojení do roku 2020. Cílem tohoto materiálu je tudíž propojit hlavní sektorovou prioritu určení potenciálu zemědělské půdy pro zajištění

100 % potravinářské soběstačnosti země s možností efektivního využití zbývajících potenciálů zemědělské půdy ČR a lesní dendromasy pro energetickou potřebu. Účelem je tak i upřesnění odhadu možného přínosu biomasy pro energetickou bilanci. Materiál obsahuje informace o hlavních oblastech energetického využití biomasy včetně využití pevné biomasy pro přímé spalování na výrobu tepla a elektrické energie, výroby bioplynu a kapalných biopaliv, a navrhuje opatření vhodná pro udržitelnost této oblasti do roku 2020.

Využití biomasy pro energetické účely je v ČR tradičním a v posledních 20 letech rozvíjejícím se oborem hospodářské činnosti. Přestože vyrobený objem energie z biomasy nemůže výrazně konkurovat jiným primárním zdrojům energie, zaujímá stále významnější komplementární postavení v energetickém mixu energetických zdrojů v ČR. Při trvale udržitelném nastavení využití biomasy pro výrobu energie lze dosáhnout řady doprovodných ekologických (v lokálním i globálním kontextu), krajinářských či regionálně-rozvojových přínosů pro ČR. Vedle diversifikace zemědělského hospodaření lze významně přispět k rozvoji biodiverzity české krajiny a rovněž sladit pěstování biomasy s půdo-ochrannými a protipovodňovými opatřeními. Vhodnou formou podpory rozvoje vybraných technologií využití biomasy lze dosáhnout i příznivého dopadu na rozvoj zaměstnanosti na českém venkově a zároveň snížit strategickou závislost (včetně výdajů) na dovážených primárních zdrojích (APB v ČR, 2012)

6.2 Celkový potenciál biomasy v ČR

Souhrnný kvalifikovaně odhadnutý a vypočtený potenciál zemědělské a lesní biomasy pro výrobu energie v ČR činí v rozpětí 160,2 – 217,2 PJ/rok se střední hodnotou 189,7 PJ/rok.

Obr. 12 Celkový energetický potenciál v ČR (zdroj expertní tým APB, MZe, 2011)

Druh biomasy	Hodnota potenciálu [PJ]	Střední hodnota [PJ]	[%]
Zemědělská biomasa	133,9–186,8	161,4	75,1
Lesní dendromasa	26,3–30,4	28,3	13,2
BRKO	25	25	11,7
Celkem	185,2–242,2	214,7	100

Hlavní podíl tohoto potenciálu leží v oblasti zemědělské biomasy (85%) s komplementárním podílem lesní dendromasy (15%). Energetický potenciál biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) byl stanoven na 25 PJ/rok. V porovnání s aktuálně využívaným potenciálem biomasy ve výši zhruba 95 PJ/rok znamená zjištěný celkový energetický potenciál biomasy prakticky dvojnásobek současného stavu.

6.3 Spotřeba biomasy do roku 2020 z pohledu NAP OZE

Na základě směrnice 2009/28/ES Evropské komise o podílu OZE na konečné spotřebě v roce 2020 byl Ministerstvem obchodu a průmyslu ČR definován návrh dalšího rozvoje využití obnovitelných zdrojů do roku 2020, s podrobnějším rozpracováním dosažení národního cíle 13,5%. Jeho plnění má zajistit Národní akční plán ČR pro energii z obnovitelných zdrojů (NAP OZE), který zároveň určuje podíly jednotlivých druhů obnovitelných zdrojů (APB v ČR, 2012).

*Obr. 13 Odhad konečné spotřeby OZE v roce 2012, 2015, 2020 (návrh rok 2012)
(Zdroj-Národní plán pro OZE, MPO, 2012) (APB v ČR, 2012)*

Druh OZE		Rok		
		2012	2015	2020
		TJ		
Biomasa	domácnosti	50 732	53 343	57 885
	mimo domácnosti	32 555	33 308	34 561
BRKO		1 873	1 873	3 883
Biologicky rozložitelná část PRO a ATP		1 320	1 320	1 320
Bioplyn		10 012	15 032	17 971
Kapalná biopaliva	doprava	13 226	18 345	28 082
Vodní elektrárny (normalizace)		7 943	8 577	9 043
Větrné elektrárny (normalizace)		1 490	2 336	3 650
Fotovoltaické systémy		7 053	7 324	7 737
Celkem		129 281	146 634	173 250

6.4 Uplatňování biopaliv v ČR

Dosud platila povinnost, že motorová paliva, uváděna na území České republiky do volného daňového oběhu, musí obsahovat určitý podíl biopaliv. V současné době je tento podíl následující:

4,1 % V/V bioetanolu z celkového množství benzinů

6,0 % V/V FAME z celkového množství motorové nafty

Dodavatel pohonných hmot je povinen postupně snižovat emise skleníkových plynů na jednotku energie obsaženou v pohonné hmotě v úplném životním cyklu pohonné hmoty. Toto snížení musí dosáhnout hodnoty 2 % do 31. 12. 2014; 4 % do 31. 12. 2017 a 6 % do 31. 12. 2020

Do plnění povinností uplatňování biopaliv mohou být započtena pouze biopaliva splňující kritéria udržitelnosti, která musí dosáhnout min. 35 % do 31. 12. 2016 a min. 50 % od 1. 1. 2017. Pro nové jednotky uvedené do provozu od 1.1 2017 pak musí biopalivo od 1. 1. 2018 dosáhnout kritéria udržitelnosti min. 60 %. Každá dodávka biopaliva musí být doprovázena certifikátem udržitelnosti, který musí obsahovat mj. údaje o druhu biomasy použité k výrobě biopaliva (podíl jednotlivých druhů), původu biomasy (stát) a hodnotě emisí skleníkových plynů v g CO₂ ekv. MJ⁻¹ (PRAŽÁK, 2013).

6.4.1 Elektřina z biomasy

Je nesporné, že podpora výroby elektřiny z biomasy v ČR je nutná. Je také nesporné, že kvalitativně lepší palivo, biomasa, by mělo být využíváno s co největší efektivitou. Avšak je nutné zopakovat, že to bude možné, až dojde k masivnímu rozvoji kogeneračních jednotek čistě spalujících biomasu. Rozvoj těchto jednotek by nebyl možný, kdyby neexistoval trh s biomasou. A výrazný rozvoj trhu s biomasou začal poté, co byla vytvořena poptávka po biomase způsobená subjekty, které biomasu spalují s neobnovitelným zdrojem. Domníváme se, že spalování biomasy a neobnovitelných zdrojů ve větších elektrárnách má svůj význam v rozvoji využívání obnovitelných zdrojů energie (LEHNEROVÁ, 2007)

7. Závěr

Jak již bylo řečeno v úvodu této práce, lidstvo je nuceno hledat nové, či alespoň zefektivňovat stávající zdroje energie. Biomasa se jeví jako krok dobrým směrem. Biomasa je všude kolem nás, obklopuje náš svět. Musíme mít však na paměti, že výroba energie z biomasy má i svá úskalí. Ne vždy je vybudování technologických procesů výhodné z hlediska finanční návratnosti. Na získání energie z biomasy je potřeba minimálně ze začátku mnoho energie vložit. Další problém, který se dle mého názoru začne v blízké budoucnosti objevovat, jde ruku v ruce s technologickým pokrokem lidstva. Naše společnost bude v budoucnu potřebovat stále více energie pro pokrytí svých životních potřeb a my si musíme položit otázku, zda je výhodné investovat nemalé finanční prostředky do výzkumu a vývoje získávání energie z biomasy, nebo svůj pohled zaměřit raději ještě o něco dále, na získávání energie z jiných, v budoucnu zcela jistě lepších zdrojů. Zdrojů, ze kterých se bude získávat energie nepoměrně větší množství, ale za cenu menšího úsilí.

Ať již se lidstvo rozhodně jakkoliv, je jasné, že množství nevyužité energie v biomase okolo nás je značné a její využití by přispělo nemalou měrou i k vyřešení ekologických problémů naší společnosti. Zda využijeme naše momentální možnosti, či je necháme ležet ladem, to ukáže jen čas.

Pokud se však rozhodneme maximalizovat využití zdrojů biomasy na produkci energie, je zásadní aby se především využívaly zdroje odpadní a neomezovala se zemědělská produkce potravin určená pro spotřebu jak lidí, tak zvířat. Využití zdrojů biopaliv III. generace, jako jsou speciální pěstované řasy, bude zásadní. Vzhledem k nízkým nárokům na produkci a vysoké efektivitě, je v těchto řasách do budoucna obrovský potenciál.

8. Seznam použité literatury

1. *Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012-2020: schválený vládou ČR dne 12.9.2012 pod č. j. 920/12*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 100 s. ISBN 978-80-7434-074-1.
2. BRANC, Michal. Hodnocení kogenerace z biomasy. In: LISÝ, Martin, Marek BALÁŠ a Jan BOGDÁNEK (ed.) *Energie z biomasy VII: Sborník příspěvků ze semináře*. 2007. vyd. Brno: Vysoké učení technické, s. 15-20. ISBN 978-80-214-3542-1
3. BRIDGWATER, A. (ed.) *Fast pyrolysis of biomass: a handbook. Vol. 2*. repr. Newbury: CPL Press, 2002, 426s. ISBN 18-726-9147-1
4. BRIDGWATER, A., CZERNIK, S., DIEBOLD, J., MEIER, D., OASMAA, A., PEACOCKE, C., PISKORZ, J., RADLEIN, D. *Fast pyrolysis of biomass: a handbook*. repr. Newbury: CPL Press, 1999. 188s. ISBN 18-726-9107-2.
5. BUUREN, Martin van: Vodní řasy pro energetiku – zkušenosti z Nizozemska. *Biom.cz* [online]. 2008-10-22 [cit. 2014-02-18]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-bioodpady-a-kompostovani/odborne-clanky/vodni-rasy-pro-energetiku-zkusenosti-z-nizozemska>>. ISSN: 1801-2655.
6. CELJAK, Ivo: *Biomasa je nezbytná součást lidského života*. *Biom.cz* [online]. 2008-12-22 [cit. 2013-10-21]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>. ISSN: 1801-2655.
7. ČSN EN 14961 – *Tuhá paliva – Specifikace a třídy paliv*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010
8. DAHMEN, N., DINJUS, E., KOLB, T., ARNOLD, U., LEIBOLD, H., STAHL, R., State of the art of the bioliq® process for synthetic biofuels production. *Environmental Progress*. 2012, vol. 31, issue 2, s. 176-181. DOI: 10.1002/ep.10624.
9. DIAS, O.S.M., JUNGUEIRA, L.T., ROSSELL., E.C., FILHO, M. R., BONOMI, A *Evaluation of process configurations for second generation integrated with first generation bioethanol production from sugarcane. Fuel Processing Technology*. 2013, vol. 109, s. 84-89. DOI: 10.1016/j.fuproc.2012.09.041
10. European biofuels technology platforms: Biomass to Liquids. In: www.biofuelstp.eu [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z <http://www.biofuelstp.eu/btl.html>

11. GEFFERT, Peter, Jarmila Geffertová. Energetické využívanie odpadov – Fikcia či realita? In: LISÝ, Martin, Marek BALÁŠ a Jan BOGDÁNEK (ed.) *Energie z biomasy VII: Sborník příspěvků ze semináře*. 2007. vyd. Brno: Vysoké učení technické, s. 49-53. ISBN 978-80-214-3542-1
12. GIRÓN, R.P., RUIZ, B., FUENTE E., GIL, R.R., SUÁREZ-RUIZ, I Properties of fly ash from forest biomass combustion. *Fuel*. 2013, vol. 114. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.04.042.
13. H/C and O/C. In: *What is biomass?* [online] IFRF Combustion Handbook [cit. 2013-10-05]. Dostupné z www.handbook.ifrf.net/handbook/cf.html?id=23
14. HAVLÍČKOVÁ, Kamila a Jan WEGER. *Metodika analýzy potenciálu biomasy jako obnovitelného zdroje energie: metodická příručka*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, c2006, 132 s. ISBN 80-865-5955-6
15. HAVLÍČKOVÁ, Kamila a Jan WEGER. *Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin: vědecká monografie*. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2007, 92 s. ISBN 978-80-7040-948-0
16. HUTLA, Petr a Jana MAZANCOVÁ. Tuhá biopaliva z místních zdrojů. [online] 2009. vyd. [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://energie21.cz/tuha-biopaliva-z-mistnich-zdroju>
17. CHUN-ZHU, L., XU, G. Decoupled Thermochemical Conversion – Preface. *Fuel*. 2013, vol. 112, s. 607-608. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.06.027
18. JAKUBES, Jaroslav, Helena BELLINGOVÁ a Michal ŠVÁB. Moderní využití biomasy: Technologické a logistické možnosti. ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA. [online]. 2006. vyd. [cit. 2014-02-17]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>
19. JANÍČEK, František: Biomasa ako palivo. *Biom.cz* [online]. 2009-01-30 [cit. 2014-02-17]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-ako-palivo>>. ISSN: 1801-2655
20. JEVIČ, Petr. *Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů: metodická příručka*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. ISBN 978-80-86884-42-4. [cit. 2013-10-21] Dostupné z WWW: <http://svt.pi.gin.cz/vuzt/publ/P2008/101.PDF>

21. KÁRA, Jaroslav. *Motorová paliva z biomasy v České republice*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, c2001, 39 s. ISBN 80-727-1095-8
22. KÁRA, Jaroslav. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Vyd. 1. Praha: VÚZT, 2007. ISBN 978-80-86884-28-8
23. KEBÍSEK, M.,(2004): Biodegradabilní odpad: Biomasa a organický odpad jako složka komunálního odpadu. Odpady biodegradabilní: sborník z mezinárodní konference konané v rámci oslav 85. výročí založení Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, 9. listopadu 2004. V Brně, 2004, 162s. ISBN 80-715-7790-1
24. KHAN, A. A., de JONG, W., JANSENS, P.J., SLPLIETHOF, H. Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. *Fuel Processing Technology*. 2009, vol. 90, issue 1, s. 21-50. DOI: 10.1016/j.fuproc.2008.07.012
25. KUŽEL, Stanislav, Jiří PETERKA, Ladislav KOLÁŘ. *Komplexní využití biomasy: I. díl*. České Budějovice, 2010. Skripta. JU v Českých Budějovicích.
26. LAURIN, Josef: *Rostlinné oleje jako motorová paliva*. Biom.cz [online]. 2008-10-29 [cit. 2013-10-21]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>. ISSN: 1801-2655
27. LEHNEROVÁ, Jarmila: Využívání biomasy v podmínkách ČR. *Biom.cz* [online]. 2007-10-19 [cit. 2014-02-17]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuzivani-biomasy-v-podminkach-cr>>. ISSN: 1801-2655
28. MASOJÍDEK, Jiří. *Jednobuněčné řasy vytvářejí biomasu efektivněji než rostliny*. [online]. [cit. 2014-02-17]. Dostupné z: http://www.scienceworld.cz/aktuality/jednobunecne-rasy-vytvareji-biomasu-efektivneji-nez-rostliny-4777/?switch_theme=mobile
29. MOLINO, A., MIGLION, M., NANNA, F., TARQUINI, P., BRACCIO, G.; Semi-continuous biomass gasification with water under sub critical conditions, *Fuel*. 2013, vol. 112, s. 249-253. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.05.020
30. NOSKIEVIČ, Pavel. *Biomasa a její energetické využití*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 1996, 68 s. ISBN 80-707-8367-2. Podpora lokálního vytápění biomasou: Technologie. [online]. [cit. 2014-02-01]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/techeste.htm>

31. PRAŽÁK, Václav. *Motorová paliva a biopaliva*. ČESKÁ RAFINÉRSKA. [online]. [cit. 2014-02-17]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42013/motorova-paliva-a-biopaliva.html>
32. PROCHÁZKOVÁ, Olga, Markéta Gryncmanová, Pavel Kolat, Lukáš Pilař. Čistírenské kaly zpracování metodou termické analýzy. In: LISÝ, Martin, Marek BALÁŠ a Jan BOGDÁNEK (ed.) *Energie z biomasy VII: Sborník příspěvků ze semináře*. 2007. vyd. Brno: Vysoké učení technické, s. 175-177. ISBN 978-80-214-3542-1
33. RENZHAN, Y., RONGHOU L., YUANFEIM., FEI a XINGGUAN SUN. Characterization of bio-oil and bio-char obtained from sweet sorghum bagasse fast pyrolysis with fractional condensers. *Fuel*. 2013, vol. 112, s. 96-104. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.04.090
34. SCOTT, M. I., ABOU-ZAID, M., (2012): Pyrolysis Bio-Oils from Temperate Forests: Fuels, Phytochemicals and Bioproduct, In: CARRIER, Danielle Julie, Shri RAMASWAMY a Bergeron., Chantal, BERGERON., CHANTAL., Biorefinery co-products. Hoboken: John Wiley, 2012, xix, 361 s. ISBN 9780470973578
35. SHARARA., A. M., CLAUSEN, C. E., CARRIER, J. D., (2012) : An Overview of Biorefinery Technology. In: CARRIER, Danielle Julie, Shri RAMASWAMY a Bergeron., Chantal, BERGERON., CHANTAL., Biorefinery co-products. Hoboken: John Wiley, 2012, XIX, 361 s. ISBN 9780470973578
36. SIKYTOVÁ, Pavlína (2013): Biomasa jako základní surovina pro výrobu paliv a energie [Bakalářská práce]. České Budějovice, 39 s. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií
37. SLADKÝ, Václav. Biobutanol – alkohol nahrazující benzín. In: *Zemědělská technika a biomasa: Výzkumný ústav techniky*, vyd. Praha. 2006. s. 118-122. ISBN 80-86884-15-5
38. SOUČKOVÁ, Helena a Jan MOUDRÝ. *Nepotravinářské využití fytohmoty*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2006. ISBN 80-704-0857-X
39. STEJSKAL, B., (2004) Materiálově-energetické využití kalů z ČOV při spalování v cementářských pecích, odpadu. Odpady biodegradabilní: sborník z mezinárodní konference konané v rámci oslav 85. výročí založení Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, 9. listopadu 2004. V Brně, 2004, 162s. ISBN 80-715-7790-1.

40. STRAKA, František a kol. Bioplyn: příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. 2., rozšíř. a dopl. vyd. Praha: GAS, 2006, 706 s. ISBN 80-7328-090-6
41. STRAKA, František, DOUCHA, Jiří: Nové možnosti energetického využití bioplynu. *Biom.cz* [online]. 2011-07-11 [cit. 2014-01-15]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nove-moznosti-energetickeho-vyuziti-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
42. ŠKORPÍK, Jiří. Biomasa jako zdroj energie, *Transformační technologie*, 2006-10, [date of last update 2011-08]. Brno: Jiří Škorpík, [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/biomasa-jako-zdroj-energie.html>
43. VAEZI M., PASSANDIDEH-FARD, M., MOGHIMAN, M., CHARMCHI, M. (JUN 2012), On a methodology for selecting biomass materials for gasification purposes *Fuel Processing Technology*. 2012, vol. 98, s. 74-81. DOI: 10.1016/j.fuproc.2012.01.026
44. VANĚK, Václav. Obnovitelné zdroje: Biopaliva druhé a třetí generace. [online]. 2012. vyd. [cit. 2014-02-18]. Dostupné z: <http://3pol.cz/1258-biopaliva-druhe-a-treti-generace>
45. VLK, František. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, Dr. Sc, 2006, 376 s. ISBN 80-239-6461-5

9. Seznam obrázků

Obr. č. 1: Atomový poměr H/C a O/C.....	12
Obr. č. 2: Klasifikační schéma dřevních paliv dle původu a zdrojů v souladu s prEN 14961(2008).....	13
Obr. č. 3: Klasifikační schéma bylinné biomasy dle původu a zdrojů v souladu s prEN 14961 (2008).....	14
Obr. č. 4: Klasifikační schéma ovocné biomasy dle původu a zdrojů v souladu s prEN 14961 (2008).....	14
Obr. č. 5: Základní procesy a technologie přeměny biomasy.....	18
Obr. č. 6: Pelety z čistírenských kalů.....	21
Obr. č. 7: Některé produkty zplyňování za subkritických podmínek.....	22
Obr. č. 8: Zjednodušené schéma anaerobní fermentace organických látek	26
Obr. č. 9: Zdroje a procesy pro produkci biopaliv první, druhé a třetí generace.....	29
Obr. č. 10 Vlastnosti nafty a řepkového oleje.....	36
Obr. č. 11 Výtěžnost bioplynu z různých surovin.....	38
Obr. č. 12 Celkový energetický potenciál v ČR.....	42
Obr. č. 13 Odhad konečné spotřeby OZE v roce 2012, 2015, 2020.....	43