ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra environmentálního inženýrství
a ochrany prostředí

Obor DUTSS

Bakalářská práce na
téma

Problematika vedlejších energetických produktů ze spoluspalování odpadů a biomasy

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petra Ševčíková

Autor práce:

Marek Dědeček

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Problematika vedlejších energetických produktů ze spoluspalování odpadů a biomasy“ vypracoval samostatně. Během zpracování práce jsem použil pouze citované literární, informační podklady uvedené v seznamu literatury.

V Praze dne ……

8. března 2011 Marek Dědeček

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval Ing. Petře Ševčíkové za její odborné vedení, podporu a věcné připomínky, které mi poskytla při vypracovávání této bakalářské práce.

Abstrakt

Práce je zaměřena na popis vedlejších energetických produktů (VEP), tedy materiálů vznikajících spalováním, a jejich charakteristika a možnosti dalšího využití. Dále na současné možnosti energetického využití odpadů a biomasy, včetně popisu vlastností a charakteristiky odpadů, které je možné spalovat v souvislosti s platnou legislativou České republiky. Také popisuje možnosti spalování a typy spaloven.

Abstract

This work is focused on the description of energy by-products (VEP), materials resulting from the incineration, and their characteristics and potential future use. Further the present possibilities of energy recovery of waste and biomass, including a description of characteristics of wastes that can be incinerated in the context with the valid law in Czech Republic. It also describes the possibilities of incineration and types of incinerators.

Klíčová slova

Biomasa, spoluspalování, vedlejší energetické produkty, *obnovitelné zdroje energie, energetické využití odpadu*

Key words

Biomass, co-incineration, energy by-products, renewable sources of energy, energetic recovery of the waste

Obsah

1. ÚVOD....6

2. CÍLE PRÁCE....7

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE....7

3.1 Způsoby nakládání s odpadem a biomasou....7
3.1.1 Skládkování....8
3.1.2 Kompostování....9
3.1.3 Recyklace....9
3.1.4 Energetické využití odpadů....10
3.1.4.1 Přímé spalování....12
3.1.4.2 Spoluspalování vytříděných a upravených odpadů....13
3.1.4.3 Spoluspalování alternativních paliv....14
3.1.4.4 Spoluspalování ve vysokých pecích....15
3.1.4.5 Pyrolýza, zplyňování....15
3.1.4.6 Anaerobní digesce....16
3.1.4.7 Využití skládkového plynu....17
3.1.5 Energetické využití biomasy....19
3.1.5.1 Spalování biomasy....21
3.1.5.2 Zplyňování a pyrolýza biomasy....23
3.1.5.3 Spoluspalování biomasy....24
3.2 Vedlejší energetické produkty....30
3.2.1 Energosádrovec....31
3.2.2 Popílek, škvára, struska....33
3.2.3 Produkt polosuché metody odsíření, stabilizát, aglomerát....33
3.2.4 Popel z fluidních kotlů....34
3.3 Současný stav ve světě a Evropské Unii....35
3.3.1 Odpady....35
3.3.2 Biomasa....36
3.3.3 Vedlejší energetické produkty....37
3.4 Současný stav v České republice....38
3.4.1 Odpady....38
3.4.2 Biomasa....39
3.4.3 Vedlejší energetické produkty....40

4. DISKUSE....41

5. ZÁVĚR....42

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY....43

1. Úvod

Lidská civilizace už od nepaměti, ale především od dob průmyslové revoluce, řeší problém s šetrným využitím odpadu. Ve starověku existovaly odpadní jámy, kam se odhazoval odpad nebo poškozené nástroje. Ve starém Řecku a Římě se prováděl občasný generální úklid, skrápěly se vozovky a čistila kanalizace. Ve středověku vše upadlo v zapomenutí a řada velkých měst měla potíže se zásobováním vodou a dodržováním základních podmínek čistoty, což vedlo k mnoha problémům a epidemiím.

Teprve 18. a druhá polovina 19. století přináší konkrétní opatření organizačního a technického charakteru. Na počátku 20. století je již technologicky i organizačně zvládnut odvoz odpadků z měst, začínají se stavět vodovody a kanalizace.

První spalovny a řízené skládky byly uvedeny do provozu ve Velké Británii koncem 19. a na počátku 20. století. Ve zbytku světa se rozšiřovaly pomaleji, převážně v druhé polovině 20. století. K výrobě elektřiny se však odpady využívají pouze několik desetiletí, ruku v ruce s výzkumem a rozvojem nových technologií.

Výroba levné energie je pro celý svět také velmi důležitým a často diskutovaným tématem. Energie pro lidstvo je v současnosti zajišťována především využíváním zdrojů fosilních paliv, tedy uhlí, ropy a zemního plynu. Zásoby těchto látek se na Zemi vytvářely stovky milionů let, v současnosti však s růstem a rozvojem lidské populace a zvyšováním jejích nároků na energetické zdroje velmi rychle ubývají. Možností, jak je lze alespoň částečně nahradit, je využití obnovitelných zdrojů energie. Mezi tyto zdroje, kromě větrné, vodní, sluneční či geotermální energie, můžeme zařadit i energii využitelnou z odpadů a biomasy.

V této práci se pokusím shrnout v současnosti používané možnosti energetického využití odpadů a biomasy. Dále se zaměřím na možnosti a způsoby spalování a druhy odpadů takto využívaných, a na vedlejší energetické produkty těchto procesů. Na úvod problematiky také popíši nejběžněji používané způsoby nakládání s odpady a biomasou.

2. Cíle práce

Cílem této práce je popis v současnosti využívaných způsobů nakládání s odpady a biomasou, se zaměřením na jejich energetické využití, konkrétně na spoluspalování. Dalším cílem je analýza vedlejších energetických produktů, jejich charakteristika a možnosti dalšího využití, včetně legislativních opatření. K tomuto účelu bude proveden důkladný rozbor dostupných textových materiálů, týkajících se této problematiky, a výběr důležitých informací. Přínosem práce by mělo být shrnutí a vysvětlení výše uvedené problematiky tak, aby nezasvěcenému čtenáři sloužila k rychlému pochopení a orientaci v tématu.

3. Literární rešerše

3.1 Způsoby nakládání s odpadem a biomasou

Dle zákona č. 185/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů (dále „zákon o odpadech“), lze nakládání s odpady definovat jako „jejich shromažďování, soustřeďování, sběr, výkup, třídění, přeprava a doprava, skladování, úprava, využívání a odstraňování.“

V současné době ve světě i v České republice převažuje likvidace odpadů nad jejich využíváním. Tento způsob zacházení s odpady bohužel není dlouhodobě udržitelný. Nejrozšířenější metodou nakládání s odpady je skládkování, které začíná být částečně nahrazováno spalováním (SLEJŠKA 1999). U biologicky rozložitelných odpadů je vhodné, i když jen ojediněle využívané, kompostování. Nejšetrnějším způsobem využití odpadu je recyklace, ale zatím se prosazuje a vštěpuje do myšlení lidí velmi pomalu. Navíc v málo rozvinutých zemích světa recyklace prakticky neexistuje a většina odpadu zůstává nevyužita.

Pojmy:

Odpad je movitá věc, které se člověk zbavuje nebo má úmysl či povinnost se jí zbavit (zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech). Odpad je obecně vysoce heterogenní materiál složený v podstatě z organických látek, minerálů, kovů a vody. Odpadem je tak myšleno vše, co při výrobě nebo jiné lidské činnosti nebylo z původního zdroje využito (KVASNIČKOVÁ 1994).

Biomasa je souhrn látek tvořících těla všech organismů, jak rostlin, bakterií, sinic a hub, tak i živočichů. Tímto pojmem se často označuje rostlinná biomasa využitelná pro energetické účely. Energie biomasy má svůj prapůvod ve slunečním záření a fotosyntéze, proto se jedná o obnovitelný zdroj energie (SLEJŠKA 2005).

3.1.1 Skládkování

Podstatou skládkování je uložení odpadu na skládky.

Existují tři typy ukládání na skládky:

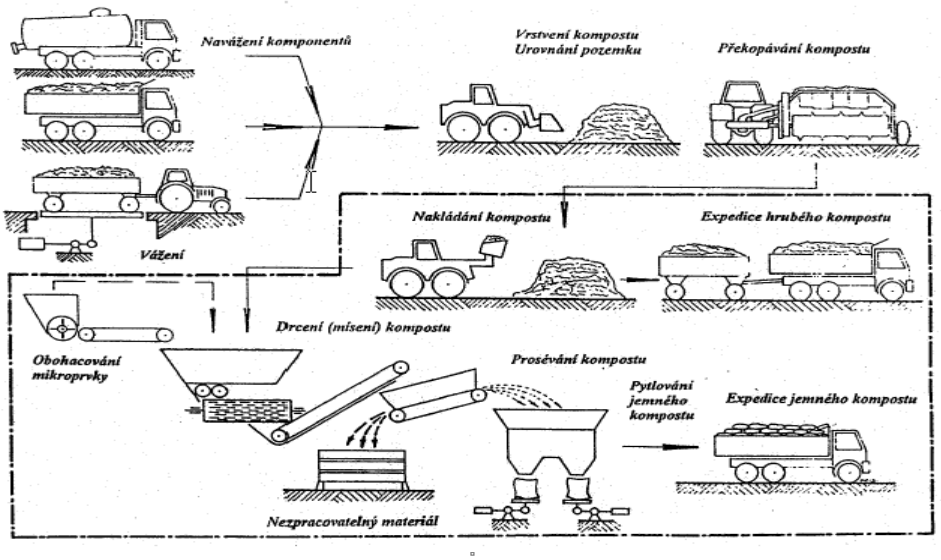
- **dočasné ukládání** – odpady se skladují jen do doby, než bude zavedena technologie jejich přepracování nebo odstraňování,
- **dlouhodobé ukládání** – odpady se skladují do doby, než bude vyvinuta ekonomicky přijatelná technologie odstraňování, nebo než nastanou ekonomicky příznivé podmínky její realizace.
- **trvalé ukládání** – odpady, u kterých nelze uvažovat s potenciální možnosti budoucího využití se ukládají do velkokapacitních úložišť netříděných nebezpečných odpadů.

Skládkování je většinou považováno za nejhorší možný způsob nakládání s odpadem, protože odpad už není dále využíván. Tím ztrácíme mnoho cenných surovin a materiálů. Lze se domnívat, že v daleké budoucnosti budou naše skládky sloužit k těžbě širokého sortimentu surovin. Současná technologie zatím bohužel není schopna tyto materiály vrátit zpět do oběhu, nebo je to neekonomické.

Ve vyspělých zemích se skládky postupně začínají přeměňovat nebo jsou nahrazovány manipulačně-výrobními sklady, ve kterých probíhá dotřiďování tříděného odpadu a mechanická úprava jednotlivých složek, které jsou poté dále využívány (SLEJŠKA 1999).

3.1.2 Kompostování

Kompostování je biologická metoda využívání biologicky rozložitelného odpadu a biomasy, kterou se za kontrolovaných podmínek aerobních procesů a činností mikroorganismů přeměňuje tento odpad na kompost, který se poté využívá jako hnojivo v zemědělství. Lze předpokládat, že se kompostárenství v ČR bude nadále rozvíjet, podobně jako je tomu v jiných evropských státech. Záleží na tom, zda bude v dohledné době přijat vhodný právní předpis, který stanoví jednoznačné podmínky pro kompostování (VÁŇA et al. 2004).



Obr. 1: Schéma kompostovací linky (KÁRA et al. 2002).

3.1.3 Recyklace

Recyklace je výraz pro takové nakládání s odpadem, které vede k jeho dalšímu využití. Umožňuje šetřit obnovitelné i neobnovitelné zdroje a v některých případech může omezovat zátěž životního prostředí. V původním slova smyslu se recyklací rozumí vrácení do procesu, ve kterém odpad vzniká – tedy pro původní účel a stejný systém (MIKOLÁŠ 1986).

V našich podmínkách je již poměrně dobře zažitý sběr druhotných surovin, a díky propagaci a navyšování počtu nádob na separovaný odpad začíná stále více domácností a firem své odpadky třídit. Recyklovány jsou plasty, papír, sklo, tetrapak, autovraky, elektroodpad, dřevo stavební odpad a další. Teoreticky by bylo možno znovu využít téměř všechen odpad, který lidská společnost produkuje, avšak zásadní je zde otázka efektivity a hospodárnosti - celkové náklady na třídění, recyklaci a likvidaci druhotných odpadů by měly být nižší, než náklady na prvovýrobu a likvidaci (MĚCHURA 2009).

3.1.4 Energetické využití odpadů

Energetické využití odpadů je prokazatelně nejčistší zdroj energie získávané termicko oxidačním procesem. Žádné spaliny ze sebelépe odsířených elektrárenských procesů se nemohou svojí kvalitou srovnávat s vyčištěnými spalinami z procesů energetického využívání odpadů. Tato technologie desetinásobně sníží objem a o 60 – 70% sníží hmotnost odpadu (ŘEZNÍČEK et al. 2010). Inertní vlastnosti zbytkových materiálů z procesu energetického využívání odpadů umožňují jejich zpracování na použitelné produkty nebo bezpečné uložení.

Takovéto využívání odpadů je z hlediska životního prostředí, stejně jako je tomu u biomasy, neutrální ve vztahu k oxidu uhličitému, který vzniká oxidací organického uhlíku. Navíc se, v porovnání se skládkováním, zamezí emisím skleníkových plynů. Další výhodou energetického využití, je pochopitelně významná úspora fosilních paliv. Energetické využívání spalitelných odpadů, které nelze látkově využívat, vyhovuje všestranným nárokům kladeným na ochranu životního prostředí (KRENÍKOVÁ 1999).

V rámci předpisů o hospodaření s energií se hovoří o **obnovitelných energetických zdrojích**, kterými je i energie biomasy, skládkového plynu a bioplynu. Biomasa je buď cíleně pěstovaná k energetickému využití, nebo zbytková, do které se řadí i odpad biologicky rozložitelný. Jeho část pocházející z komunální sféry se nazývá biologicky rozložitelný komunální odpad. Podíl biologicky rozložitelného odpadu v komunálním odpadu se pohybuje od 40 do 60 % (ŘEZNÍČEK et al. 2010).

Do obnovitelných energetických zdrojů se řadí i paliva alternativní či náhradní, která vznikají převážně z vybraných průmyslových odpadů na základě speciálních receptur připravovaných pro konkrétní účely využití, například v cementárnách (KÁRA et al. 2008).

Tyto a další související pojmy vycházejí z právních předpisů[1] pro odpady, ochranu ovzduší, o podpoře vhodných způsobů využití a hospodaření s energií. Ke splnění těchto předpisů bohužel zatím nejsou dostatečné kapacity zařízení k materiálovému a energetickému využití. Tuto situaci komplikují i nízké ceny za skládkování odpadů, které je v současné době bohužel stále nejlevnějším způsobem nakládání s odpady.

1 **Hlavní právní předpisy týkající se odpadů:**
EU - Směrnice Evropského parlamentu a Rady ES č. 2008/98/ES ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech.
ČR - Zákon č.154/2010Sb., kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Východiskem mohou být legislativní změny vedoucí ke zvýšení poplatků za ukládání odpadů na skládky a podpora zařízení k využívání těchto odpadů, to znamená především podpora zařízení pro přímé energetické využití komunálních odpadů, bioplynových stanic využívajících odpady, zařízení mechanicko-biologických úprav a úprav stávajících energetických zdrojů pro umožnění spoluspalování. (ŘEZNÍČEK et al. 2010).

V dnešní době jsou tyto provozy navrhovány a konstruovány tak, aby mohly nakládat téměř se všemi druhy odpadů. V mnoha případech i s odpady kontaminovanými nebezpečnými látkami. Většinou se jedná o materiál nehomogenní, různorodý, s vysokým obsahem vlhkosti (FRIES 2007).

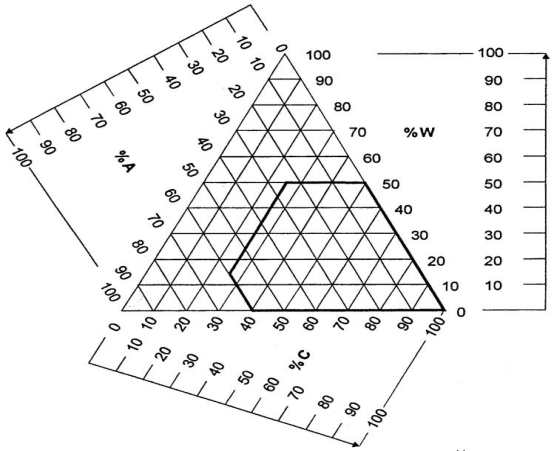
Odpady použitelné pro spalování:

- komunální odpady,
- průmyslové odpady,
- zemědělské a lesnické odpady,
- speciální odpady (nemocniční a veterinární odpad).

Odpady jsou charakterizovány jednak obsahem hořlavin (především obsahem C, H, S), dále obsahem nespalitelných složek a vlhkostí. Odpad může hořet pouze v případě, že obsahuje dostatečný podíl hořlavin. Pokud však významně stoupne obsah nespalitelných částí paliva, muže dojít k nedostatečné produkci tepla a tím k nedostatečnému ohřátí popelovin na spalovací teplotu a odpaření vlhkosti. (OBROUČKA 1997). Podmínkou pro samostatné hoření odpadu odpovídá následující složení:

- Obsah popela (A) 60%
- Obsah vlhkosti (W) 50%
- Obsah hořlaviny (C) 25%

Pětiúhelník v diagramu (obr. 2) vymezuje oblast, v níž odpad hoří bez přídavného paliva.



Obr. 2: Spalovací trojúhelník odpadu (OBROUČKA 1997).

Energetický potenciál odpadů:

Hlavní snahou a předpokladem moderního odpadového hospodářství, vedle předcházení vzniku odpadů a snížení množství odpadů ukládaných na skládky, je využití surovin a energie z odpadů. V této souvislosti je důležité specifikovat tzv. energetický potenciál odpadů, v tomto případě komunálních odpadů. (VLÁDA ČR 2004).

V současné době, při uvažované průměrné výhřevnosti směsného komunálního odpadu asi 10 MJ/kg a při skutečném ročním spálení asi 360 tis. tun směsného komunálního odpadu získáváme pouze asi 3,6 mil. GJ energie (ŘEZNÍČEK et al. 2010).

Podle známých bilancí a přehledů o současném nakládání s odpady a v návaznosti na strategii vývoje odpadového hospodářství se konstatuje, že v roce 2020 bude nutno u nás provozovat zařízení k energetickému využívání odpadů o celkové roční zpracovatelské kapacitě 2 mil. tun směsného komunálního odpadu. Při uvedené průměrné výhřevnosti směsného komunálního odpadu, získáme při energetickém využití tohoto množství minimálně 20 mil. GJ energetického potenciálu za rok (ŘEZNÍČEK et al. 2010).

Současné druhy energetického využití odpadů zahrnují poměrně široké spektrum technologií, které jsou u nás i v Evropě na různém stupni rozvoje a praktického používání (FIŠER 2010).

3.1.4.1 Přímé spalování

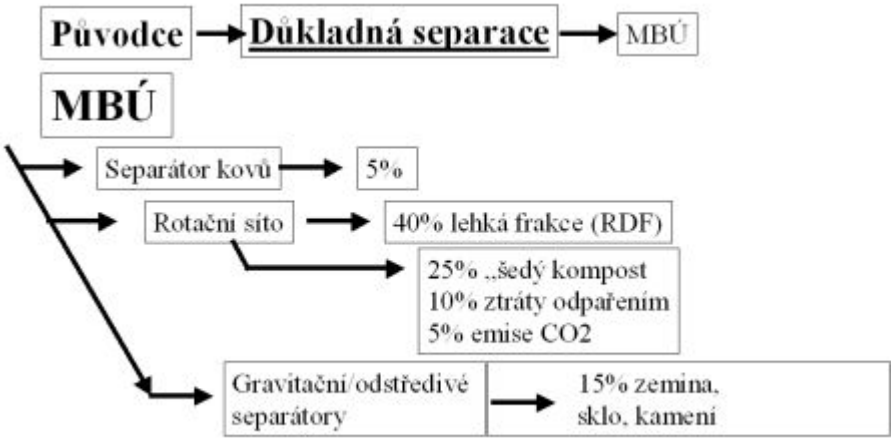
Přímé spalování neupravených komunálních odpadů se provádí v klasických spalovnách komunálních odpadů. Tato zařízení patří mezi nejlépe a nejpřísněji sledované technologie z hlediska emisí do ovzduší a obecně vlivu na životní prostředí. Limity jsou přísné, je povinně zavedeno kontinuální monitorování spalin atd. (MBU 2011).

Materiály z procesu spalování v klasické spalovně odpadů splňují v případě strusky a popílku (asi 1/3 objemu ze zpracovaného odpadu) požadavky na uložení do skládky S-IO (inertní odpad), případně splňují kritéria pro výrobek (stavebnictví, tvorba a rekultivace krajiny). Zbytky z procesu čištění spalin (zhruba 1 % váhově ze zpracovaného odpadu) jsou stabilizovány solidifikací[2] a jsou používány např. na zabezpečení skládky nebezpečných odpadů, nebo jsou dále využívány jako zdroj surovin. (VYŠTEJNOVÁ 2004).

2 Solidifikace je technologický proces úpravy odpadů, spočívající v jejich stabilizaci vhodnými přísadami, které sníží možnost vyluhování nebezpečných prvků a sloučenin z matrice odpadu. Solidifikací dochází ke snížení rizikovosti odpadu vůči životnímu prostředí. (KAFKA et PUNČOCHÁŘOVÁ 2000).

3.1.4.2 Spoluspalování vytříděných a upravených odpadů

Spoluspalování vytříděných a upravených odpadů probíhá v klasických energetických zdrojích nebo tzv. monozdrojích. Tyto procesy využívají výstupů z metod mechanicko-biologické úpravy odpadu (MBÚ). MBÚ představuje zpracování odpadů, jak na využitelné (energeticky či materiálově), tak i nevyužitelné odpady a dále biologické úpravy vytříděných biologických složek.



Obr. 3: Obecné schéma linky mechanicko-biologické úpravy (HABART 2007).

Podle technologického postupu lze tyto procesy rozdělit do tří skupin:

- mechanicko – biologická úprava,
- mechanicko – biologická stabilizace (biosušení),
- mechanicko – fyzikální úprava (fyzikální sušení).

Hlavní cíl MBÚ je minimalizovat dopad na životní prostředí spojený s konečným odstraňováním biologicky rozložitelných odpadů a k tomu získat další hodnotné materiály ze vstupujících odpadů v podobě materiálově či energeticky využitelných materiálů, jako je především výhřevná frakce tuhého odpadu, bioplyn, kovy atd. (MBU 2011).

Výstupy z MBÚ jsou vedle použité technologie závislé také na vstupních odpadech. Do zařízení vstupují směsné komunální odpady včetně živnostenských, které mohou být upravovány s průmyslovými odpady nebo čistírenskými kaly[3].

3 Čistírenské kaly jsou výstupem z procesu čištění odpadních vod v ČOV. Kaly jsou různorodou suspenzí anorganických a organických látek, tedy zdrojem jak organické hmoty, základních živin a stopových prvků, tak i rizikových prvků, nebezpečných organických sloučenin a mikroorganismů (KUBÍK 2009).

Jedná se o následující vystupující skupiny odpadů:

- **Odpady k materiálovému využití** - především železné a neželezné kovy, eventuálně určité druhy plastů, papíru. Výstup z biologické úpravy umožňuje svou kvalitou využití např. jako technický materiál ve skládkách či při rekultivacích.
- **Odpady k energetickému využití** - vytříděná výhřevná frakce ve formě paliva je určena do cementáren, energetických zdrojů či monozdrojů.
- **Odpady k termické úpravě** - odpady s nižší výhřevností a horší kvality určené do spalovny.
- **Odpady k uložení na skládku** - frakce biologicky stabilizovaná, která nelze využít, nebo vytříděné nevyužitelné materiály, např. inertní materiály (MBU 2011).

3.1.4.3 Spoluspalování alternativních paliv

Spoluspalování (a současně materiálové využití) alternativních paliv a některých vybraných odpadů (např. pneumatik v cementárnách) je další variantou k nahrazení či obohacení fosilních paliv. Alternativní palivo je palivo vyrobené z jiného než nebezpečného odpadu, určené k energetickému využití a zužitkování ve spalovnách (spalovacích zařízeních) nebo zařízeních pro spoluspalování a splňující požadavky na třídění a specifikaci.

Výroba alternativních paliv je v mnoha ohledech výhodnější oproti spalování samotného směsného komunálního odpadu. Výhodou tuhého alternativního paliva je možnost dlouhodobého skladování, a při jeho úpravě lisováním do briket nebo pelet i snadná manipulace a doprava. Příznivé jsou i stálé fyzikální vlastnosti, jako je výhřevnost a měrná hmotnost. Tato paliva lze využít v předem stanovených systémech spalování, jako je spalování na roštu, spalování ve fluidním kotli nebo zplyňování, a kromě toho je lze spoluspalovat v kotlích na uhlí, v cementárenských pecích anebo spoluzplyňovat při zplyňování biomasy a uhlí. (KOLÁŘOVÁ 2009).

Alternativní palivo vytvořené separací z komunálního odpadu je v současné době možné spalovat v existujících spalovacích zařízeních pouze při splnění náročných legislativních požadavků. Pokud budou přijaty nové principy při hodnocení paliv, lze tyto materiály využít pro výrobu standardních tuhých paliv, např. ve formě briket. Pro tyto účely je však třeba zlepšit jejich užitné vlastnosti (ŘEZNÍČEK et al. 2010).

3.1.4.4 Spoluspalování ve vysokých pecích

Ke spoluspalování (a současně materiálovému využití) ve vysokých pecích, je možné využít velké množství odpadů, a to především odpadů plastových. Tuhé alternativní palivo vyrobené z plastových odpadů má výhodu, že nenahrazuje pouze klasická paliva, ale ve vysoké peci působí zejména jako redukční činidlo. Pro správnou funkci musí mít vysokou spalovací teplotu, která odpovídá teplotě plamene koksu, a zejména co nejnižší obsah chloru. Požadavek na nízkou hodnotu chloru je obtížné splnit, ale je nutný z důvodu nebezpečí koroze vyzdívky (KÁRA et al. 2008).

Směsné plasty se musí před použitím upravovat. Základním předpokladem je odstranění PVC, následně jsou plasty drceny a granulovány na fragmenty o maximální zrnitosti 6 mm. Upravené palivo je do vysoké pece foukáno spolu se vzduchem. Pro výrobu jedné tuny surového železa je zapotřebí 500 kg klasického paliva, z toho je možné až 200 kg nahradit připraveným alternativním palivem (MATOUŠEK 2009).

V ČR je ve vysokých pecích vyráběno velké množství surového železa. Spoluspalováním alternativního paliva vyrobeného z odpadu lze výrazně ušetřit klasická paliva tj. koks a kvalitní černé uhlí, zlepšuje se i přestup tepla v peci a tím stoupá účinnost, což je ekonomicky výhodné. Nezanedbatelné jsou i přínosy z ekologického hlediska jako např. snížení produkce oxidu uhličitého nebo skutečnost, že se při spalování tohoto paliva minimalizuje vznik škodlivých sloučenin (MATOUŠEK 2009).

3.1.4.5 Pyrolýza, zplyňování

Podstatou pyrolýzy je termický rozklad organických materiálů za nepřístupu médií obsahujících kyslík. Jedná se o ohřev materiálu nad mez termické stability přítomných organických sloučenin, což vede k jejich štěpení až na stálé nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek.

Z technologického hlediska lze pyrolýzní procesy dále rozdělit dle dosahované teploty na:

- nízko teplotní (< 500 °C),
- středně teplotní (500-800 °C),
- vysoko teplotní (> 800 °C).

V závislosti na dosažené teplotě, lze při pyrolytickém procesu pozorovat řadu dějů, které je možné pro jednoduchost rozdělit do 3 teplotních intervalů. V oblasti teplot do 200 °C dochází k sušení a tvorbě vodní páry fyzikálním odštěpením vody. Tyto procesy jsou endotermické. V rozmezí teplot 200 až 500 °C následuje oblast tzv. suché destilace. Zde nastává ve značné míře odštěpení bočních řetězců z vysokomolekulárních organických látek a přeměna makromolekulárních struktur na plynné a kapalné organické produkty a pevný uhlík. Ve fázi tvorby plynu v oblasti teplot 500 až 1200 °C jsou produkty vzniklé suchou destilací dále štěpeny a transformovány. Přitom jak z pevného uhlíku, tak i z kapalných organických látek vznikají stabilní plyny, jako je H_2, CO, CO_2 a CH_4 ((SLEJŠKA 2005)).

Většina v současné době provozovaných pyrolýzních systémů je založena na termickém rozkladu odpadu v rotační peci vytápěné zevně spalinami, které vznikají z následného spalování pyrolýzních plynů v tzv. termoreaktoru. Pyrolýzní jednotky bývají vhodné pro využití výběrového odpadu, který nemá příliš vysoký obsah škodlivin a nemá tendenci ke spékání. Zbytek energie ze spálení plynů, která se nespotřebuje na ohřev vsádky, se využívá v kotlích na odpadní teplo k výrobě páry nebo teplé užitkové vody. Další možností je využití pyrolýzního plynu jako chemické suroviny nebo jako topného plynu např. pro motory kogeneračních jednotek (STAF 2005).

3.1.4.6 Anaerobní digesce

Anaerobní digesce (rozklad za nepřístupu vzduchu) je velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích, na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Zjednodušeně lze říci, že se jedná o bioenergetickou transformaci organických látek, při které nedochází ke snížení jejich hnojivé hodnoty. Výslednými produkty jsou biologicky stabilizovaný substrát s vysokým hnojivým účinkem a bioplyn s obsahem 50–70% metanu a výhřevností cca 18–25 $MJ.m^{-3}$ (MUŽÍK et KÁRA 2009).

Anaerobní digesci, stejně jako všechny ostatní biochemické procesy, ovlivňuje především teplota – se zvyšující se teplotou vzrůstá rychlost všech probíhajících procesů, ale změnou teploty a tím i rychlosti probíhajících pochodů dochází k porušení dynamické rovnováhy. Pro stabilní průběh anaerobního rozkladu je tedy nutné udržovat konstantní teplotu. Většina provozovaných bioplynových stanic pracuje pří teplotách 35-42°C (KAJAN et LHOTSKÝ 2006).

Další faktory, které ovlivňují anaerobní rozklad:

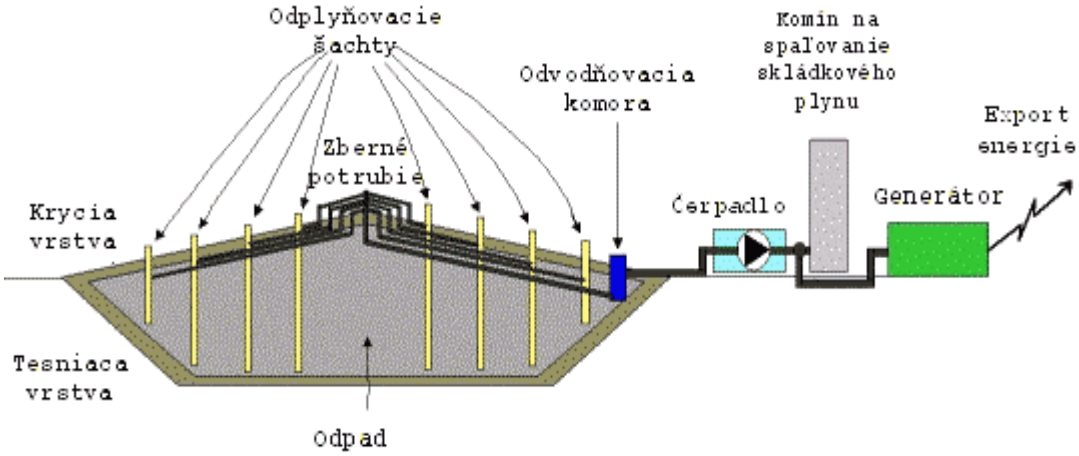
- **vlhkost prostředí** - metanové bakterie mohou pracovat a množit se pouze ve vlhkém prostředí (vlhkost minimálně 50%),
- **teplota prostředí** - tvorba metanu probíhá v širokém rozmezí teplot (4 - 90°C). Pro udržení stability procesu je rovněž nutné zajistit konstantní teplotu,
- **hodnota pH** – optimální pH pro růst metanogenních mikroorganismů je 6,5 – 7,5,
- **přísun živin** - metanové bakterie potřebují pro svou buněčnou stavbu rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky,
- **přítomnost toxických a inhibujících látek** – za toxické nebo inhibující látky se pokládají látky, které nepříznivě ovlivňují biologický proces,
- **zatížení vyhnívacího prostoru** – udává, jaké maximální množství organické sušiny na m^3 a den může být dodáváno do fermentoru, aby nedošlo k jeho přetížení,
- **rovnoměrný přísun substrátu** – je třeba zajistit, aby nedošlo k nadměrnému zatížení fermentoru.

Produkty anaerobní digesce jsou bioplyn a biologicky stabilizovaný substrát (digestát). Bioplyn je vysoce kvalitní obnovitelný zdroj energie poskytující celou řadu možností energetického využití. Výhřevnost bioplynu ovlivňuje obsah metanu (CH_4), který závisí především na složení vsázky a technologických parametrech bioplynové stanice. Problémovou složkou bioplynu je však sulfan (H_2S), jenž je při spalování bioplynu příčinou tvorby kyseliny sírové, která při kondenzaci ze spalin způsobuje korozi. Proto se musí z bioplynu odstraňovat (MUŽÍK et SLEJŠKA 2003).

3.1.4.7 Využití skládkového plynu

Pojmem skládkový plyn (označován také LFG z anglického Landfill Gas) je označován plyn vznikající samovolně ve skládkách anaerobním rozkladem. Tento plyn vzniká naprosto shodným způsobem jako reaktorový bioplyn, tedy postupnou přeměnou biologicky rozložitelného substrátu působením bakterií acidogenních (tvořících kyselinu) a methanogenních (tvořících metan).

Množství a složení skládkového plynu závisí na množství skládkovaného odpadu, složení ukládaného odpadu (druh ukládaného odpadu, pH, poměr zastoupení jednotlivých složek odpadu), stupni jeho rozkladu a teplotě (SOUČEK 2000).



Obr.4 - Postup při získavaní skládkového plynu ze skládky tuhého komunálního odpadu (HORBAJ 2003).

Typická složení skládkových plynů vykazují obsahy methanu v rozmezí 60 - 63 % obj., jsou však využívány i skládky, jejichž plyn obsahuje 45 % obj. CH_4 i méně. U mladých skládek je typickým jevem vysoký obsah CO_2 (nad 35% obj.), což ukazuje na dosud intenzivně probíhající acidogenní fázi. S postupným rozvojem methanogeneze obsah CO_2 klesá a současně s tím roste obsah CH_4 (STRAKA 2010).

Současná legislativa ukládá povinnost vypracovat projekt odplynění skládky jako nedílnou a odborně zpracovanou součást projektu skládky a její rekultivace, případně rekultivace starých ekologických zátěží. Odplynění skládky má zabránit hromadění LFG, které by mohlo mít za následek porušení izolační bariéry skládky (foliové nebo jílové) a předejít jeho úniku či případné příčině výbuchu (SOUČEK 2000).

3.1.5 Energetické využití biomasy

Biomasa se jako zdroj energie využívá již od dob, kdy lidé ovládli sílu ohně. V současnosti se biomasa určená k energetickému využití může pěstovat záměrně (především rychlerostoucí byliny), nebo lze užít odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby krajiny a péče o ni, atd.

Teoretické propočty různých odborníků uvádějí **celosvětovou** roční produkci biomasy na úrovni 100 miliard tun, a její energetický potenciál se pohybuje kolem l400 EJ (1 EJ = 10^{18} J). To je téměř pětkrát více, než roční světová spotřeba fosilních paliv (300 EJ). Tímto způsobem lze teoreticky vyřešit jeden z nejzávažnějších globálních problémů – potřebu energie (ÚŘAD VLÁDY ČR 2008).

Hlavní překážky ve využívání biomasy k energetickým účelům:

- Produkce biomasy pro energetické účely konkuruje dalším způsobům jejího využití (např. k potravinářským a krmivářským účelům, zajištění surovin pro průmyslové účely, uplatnění mimoprodukční funkce biomasy).
- Zvyšování produkce biomasy vyžaduje rozšiřovat produkční plochy nebo zvyšovat intenzitu výroby biomasy, což přináší potřebu zvyšovat investice do výroby biomasy.
- Získávání energie z biomasy v současných podmínkách jen s obtížemi ekonomicky konkuruje využití klasických energetických zdrojů. Tato skutečnost může být postupně měněna tlakem ekologické legislativy.
- Maximální využití zdrojů biomasy k energetickým účelům z celosvětového hlediska je problematické vzhledem k rozmístění zdrojů biomasy a spotřebitelů energie, vzhledem k potížím s akumulací, transportem a distribucí získané energie.

Na druhé straně existují nesporné výhody využití biomasy:

- Menší negativní dopady na životní prostředí
- Zdroj energie má obnovitelný charakter (HRŮZA 2007).

Způsoby využití biomasy k energetickým účelům

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je do značné míry předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Velmi důležitým parametrem je vlhkost, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokrými procesy (obsah sušiny je menší než 50 %) a suchými procesy (obsah sušiny je větší než 50 %) (SLADKÝ 1995).

Lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy a přípravy biomasy pro energetické využití:

termochemická přeměna biomasy (suché procesy pro energetické využití biomasy):

- spalování biomasy
- spoluspalování biomasy s fosilními palivy
- zplynování biomasy
- pyrolýza biomasy

biochemická přeměna biomasy (mokré procesy pro energetické využití biomasy):

- alkoholové kvašení,
- metanové kvašení,

fyzikální a chemická přeměna biomasy

- mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování. mletí apod.),
- chemicky (esterifikace surových bio-olejů).

získávání odpadního tepla při zpracování biomasy

- při kompostování
- při aerobním čištění odpadních vod
- při anaerobní fermentaci pevných organických odpadů.

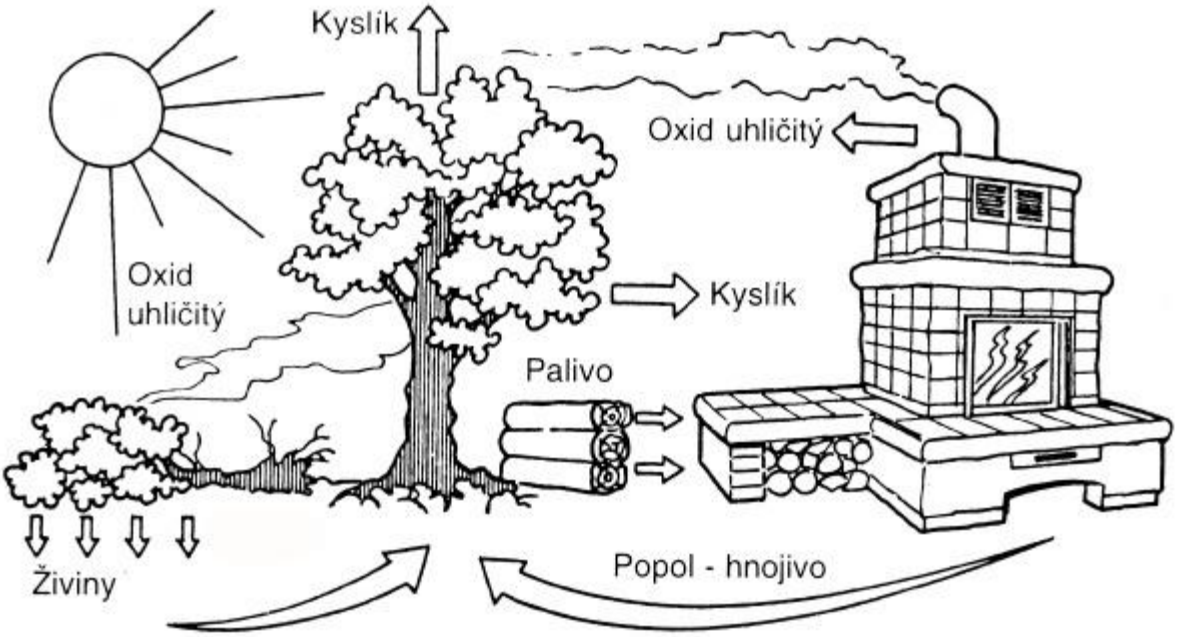
Přestože existuje více způsobů využití biomasy k energetickým účelům, v praxi převládá ze suchých procesů spalování biomasy, a z mokrých procesů výroba bioplynu anaerobní fermentaci. Z ostatních způsobů dominuje výroba metylesteru kyselin bio-olejů, získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin (KÁRA et al. 2008).

Pro účel této práce se budu podrobněji zabývat pouze suchými procesy využití biomasy.

3.1.5.1 Spalování biomasy

Spalování biomasy slouží k výrobě tepla, páry (ohřev vody) nebo elektrické energie. Při tomto spalováni za vysokých teplot (nad 660 °C) dochází k rozkladu organického materiálu na hořlavé plyny, destilační produkty, uhlí a dále oxidací na oxid uhličitý a vodu (SPVEZ 2008).

Pro spalování biomasy se používají kamna nebo kotle nejrůznějších velikostí, výkonů a systémů. Pro spalování biomasy nelze použít kotelní zařízení konstruovaná na uhlí. Také topeniště kotlů musí být uzpůsobeno druhu a stavu paliva, které bude použito. Na rozdíl od fosilních paliv, která po vytěžení nevyžadují velké úpravy, aby je bylo možno spalovat, je třeba paliva z biomasy většinou upravit (krácení, štípání, sekání, lisování, mletí, sušení apod.). Množství uvolněné energie závisí na výhřevnosti spalované látky.



Obr. 5: Spalovaní biomasy ve vztahu k CO_2 (BIO-BRIKETY.MEU.ZOZNAM.SK 2009).

Při spalování biomasy nevzniká více oxidu uhličitého (CO_2), než bylo předtím rostlinami přijato. Biomasa neobsahuje téměř síru (ve slámě je asi 0,1 %, ve dřevě téměř není, nejvíce je v seně do 0,5 %, hnědé uhlí má min. 2 %). Tvorbu oxidů dusíku je možno kontrolovat udržováním optimální teploty plamene. Obsah těžkých kovů v biomase je velmi nízký a se spalinami se do ovzduší nedostane. Něco může zůstat v popelu, kterého je oproti uhlí velmi málo (obsah popelovin slámy 5 %, dřeva 0,5 %) (SLADKÝ 1995).

Negativním jevem je nebezpečí úletu jemného popílku (jsou používány odlučovače a filtry). Při spalování vlhké biomasy existuje nebezpečí vzniku kouře (aromatické uhlovodíky). Proto musí být palivo suché, nebo musí mít čas, aby proschlo, než přijde k místu zapálení. Ke spalování se v největší míře používá dřevo, sláma, odpadové dřevo nebo různé posklizňové zbytky, které se spalují buď samostatně, nebo se mísí s uhlím. Samotné dřevo se spaluje ve formě polen, štěpků, pilin, briket nebo pelet. Slámu lze spalovat volně loženou, ve formě různých typů balíků, briket, pelet (JČU 2006).

Možnosti spalování biomasy:

- **Spalování kusové dřevní hmoty** (polena, odřezky atd.) - Pro tento druh paliva se používají teplovodní kotle. Do zásobníku se ručně přiloží palivo, které se zde zplyňuje za částečného přívodu vzduchu. Vyrobený dřevoplyn pak prochází v dolní části zásobníku paliva štěrbinou, která je opatřena tryskami pro přívod sekundárního spalovacího vzduchu. Vyrobený dřevoplyn je pak za štěrbinou spalován jako plynné palivo v další části kotle. Kotel je celý chlazen vodním obsahem teplosměnných ploch. Přívod spalovacího vzduchu zajišťují malé vzduchové ventilátory, které jsou řízeny regulačním systémem kotle.
- **Spalování drobné dřevní hmoty** (piliny, lesní štěpka, drcená kůra atd.) **-** Tento druh paliva se používá převážně v průmyslové sféře. Tepelný výkon těchto zařízení se pohybuje až do cca 10 MW. Používané kotle jsou v teplovodním, horkovodním a parním provedení. Kotle jsou vybaveny zásobníkem paliva s posunem, aby bylo palivo automaticky dopravováno ze zásobníku do kotle. Větší kotelní jednotky jsou vybaveny i automatickým odpopelňováním a řízením přívodu spalovacího vzduchu.
- **Spalování slámy -** V současné době je upřednostňována technologie spalování slámy, která používá přívod paliva do kotle po menších částech a ne v celých balících. Balík slámy je nejdříve dělen (nebo odřezáván) a toto palivo pak pokračuje do kotle. Jedná se především o roštové kotle v teplovodním, horkovodním i parním provedení. Tepelný výkon kotlů se opět běžně pohybuje cca do 10 MW (KEA 2006 – 2009).

3.1.5.2 Zplyňování a pyrolýza biomasy

Zplyňování biomasy je proces termochemické přeměny pevného materiálu na plyn, který se dále používá jako palivo nebo dále pro chemickou syntézu na výrobu metanolu. V porovnání s biochemickými reakcemi je zplyňování rychlou reakcí, která nevyžaduje velká, investičně nákladná zařízení. Rozklad biomasy na plynné palivo je možný těmito způsoby:

- **Zplyňování teplem** (Pyrolýza) - rozklad, kdy se biomasa při nízkých teplotách rozkládá na dehet, olejová paliva a plyny (H_2, CO)
- **Zplyňování vzduchem** - rozklad biomasy za přítomnosti vzduchu přidávaného v limitovaném množství do reaktoru. Při tomto způsobu se uvolňuje plyn s nízkou výhřevností (pod 8000 $kJ.m^{-3}$).
- **Zplyňování kyslíkem** – rozklad, při kterém se do reaktoru vhání kyslík. Tím jsou odstraněny obtížněji spalitelné složky biomasy. Získaný plyn má střední výhřevnost (8000-14000$kJ.m^{-3}$).
- **Zplyňování vodíkem** – v tomto procesu dochází k přeměně biomasy pod tlakem ve vodíkovém prostředí. Vzniklý plyn má vysokou výhřevnost (nad 20000 $kJ.m^{-3}$).
- **Zplyňování vodní parou -** probíhá spolu s vháněným vzduchem. Vodní pára je vedena přes rozžhavené uhlí. Získaný plyn je středně výhřevný (MOUDRÝ 2004).

Dříve relativně skeptický pohled na možnosti materiálového a energetického využití pyrolýzních produktů se v posledních letech dosti podstatně mění. Příkladem může být velký rozvoj technologií zpracovávajících převážně odpadní biomasu v USA. Rozvíjí se mimo jiné zpracování odpadního dřeva a dalších substrátů dříve skládkovaných, čímž se rozšiřuje rozsah užitých zdrojů. Stoupá též zájem o energetické využívání chlévské mrvy a kejdy, protože se zpřísňují předpisy zajišťující ochranu zemského povrchu a spodních vod před znečištěním (STAF 2005).

Technologie, které na základě rychlé pyrolýzy vyrábějí vysoce kvalitní pyrolýzní olej (většinou z dřevních pilin), se už dostaly v posledních létech na komerční úroveň. Ačkoli hlavní upotřebení kvalitního dřevního oleje je v oblasti biochemie, probíhá výzkum jeho užití i jako náhradního paliva, např. po úpravě pro pohon pomaloběžných lodních a podobných velkoobsahových dieselových motorů nebo spalovacích turbin (SLEJŠKA 2005).

3.1.5.3 Spoluspalování biomasy

Paliva na bázi biomasy jsou dělena na dřevní a nedřevní biomasu, přičemž obě tyto kategorie obsahují zbytky a energetické plodiny. Vlastnosti biomasy jako paliva jsou odlišné, než vlastnosti fosilních paliv, a také se významně liší mezi jednotlivými typy biomasy.

Ačkoliv má biomasa podobné vlastnosti a složení, existují rozdíly v energetickém obsahu, obsahu popelovin nebo výhřevnosti. Ty jsou významně ovlivněny zejména vlhkostí, která je obvykle vysoká u surové biomasy a může být snížena procesem dosušování před samotným spalováním. Další vlastnosti biomasy, které se odlišují od uhlí, jsou všeobecně vysoká vlhkost, vysoký obsah chloru, relativně nízká výhřevnost a nízká objemová hmotnost. Tyto vlastnosti ovlivňují návrh, provoz a výkon spoluspalovacího systému (JAKUBES 2010).

Palivové dřevo se energeticky využívá v podobě polen pro spalování v malých topeništích a ve formě dřevní štěpky pro spalování ve velkých topeništích výtopen a tepláren. Pro spalování je použitelné dřevo suché, s obsahem vlhkosti do cca 25 %, jehož výhřevnost se pohybuje kolem 13 - 16 GJ/t (BELLINGOVÁ et al. 2006). Vlastnosti dřevní biomasy kladou značné nároky na technologii. Jedná se o celkový obsah popela, teplotu tání popela a jeho chemické složení. Dřevěná paliva obsahují v popelovině značné množství alkalických kovů, které jsou obvykle příčinou zanášení teplosměnných ploch, a tyto alkalické kovy se snadno uvolňují ve zplyňovací fázi spalování. U paliv z biomasy mají tyto složky podobu solí nebo jsou vázány v organické hmotě, ale například u rašeliny jsou anorganické složky z větší části vázány v silikátech, které jsou při zvýšených teplotách stabilnější (JAKUBES 2010).

Sláma obilovin a olejnin se nejčastěji spaluje ve velkých topeništích výtopen a tepláren, kam je dopravována ve formě balíků, které jsou zpravidla před podáváním do topeniště mechanicky rozdružovány. Výtopna na slámu musí mít velkoobjemové kryté skladiště na dlouhodobé uskladnění paliva, vzhledem k sezónnímu charakteru dostupnosti slámy (BELLINGOVÁ et al. 2006). Sláma může být při společném použití s jinými palivy poněkud problematická, protože má nízkou objemovou hustotu a vysoký obsah chlóru a draslíku. Kotle spalující slámu mívají značné problémy s rychlým usazováním nečistot a korozí, protože popel ze slámy je bohatý na alkalické kovy, kovy alkalických zemin a křemík (VOLÁKOVÁ 2009). I přesto se sláma používá v některých zemích k výrobě energie už mnoho let. Nejnižší úrovně zanášení, struskování a koroze je na základě praktických zkušeností dosahováno u práškových kotlů (JAKUBES 2010).

Odpadní dřevo ve formě hoblin, pilin, štěpky se využívá buď přímo, nebo je upravováno do formy dřevěných briket či pelet. Výroba štěpků je často základním zpracováním odpadní dřevní hmoty. Štěpku lze snadno skladovat a je základem většiny dalších technologií. Štěpka se používá přímo jako topivo, dále ke kompostování, k výrobě bioplynu, jako mulčovací materiálů, nebo pro výrobu tuhých paliv. Intenzivní nárůst spotřeby energie vyžaduje stále nové technologie, mezi ně se řadí výroba a spalování peletek a briket z dřevního odpadu (ADAMEC et al. 2010). Tato paliva najdou uplatnění jak v malých, tak i ve velkých topeništích. Dřevěné pelety se za vysokého tlaku lisují z pilin bez přísady pojidel. Mívají délku 1 až 3 cm a průměr 0,5 až 2 cm a svým jednotným rozměrem usnadňují rovnoměrné a účinné spalování. Jejich výhodou je možnost automatické dodávky do spalovací komory a z toho plynoucí bezobslužný provoz zdroje tepla (BELLINGOVÁ et al. 2006).

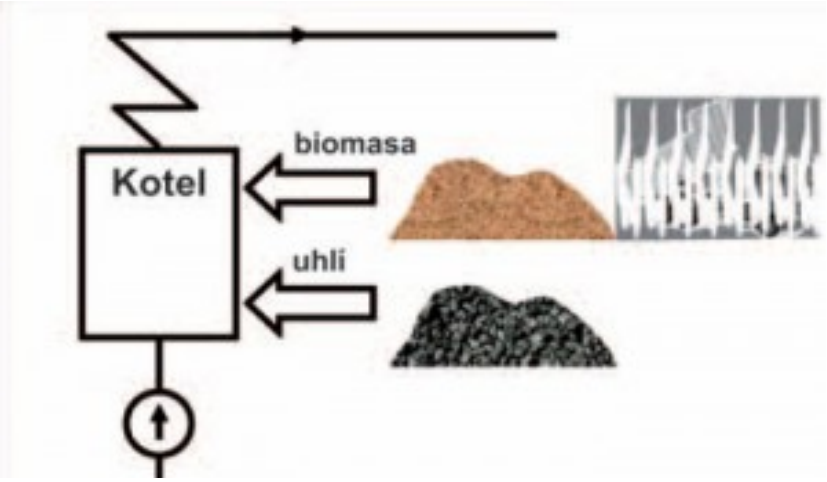
Energetické rostliny jsou rychle rostoucí rostliny pěstované pro specifický účel - produkci energie z celé části nebo některých částí rostlin. Hospodářsky využívané energetické plodiny jsou typicky plodiny s vysokými výnosy, nízkými náklady na pěstování a výhodnými vlastnostmi vyprodukované biomasy pro logistiku a následné energetické využití (JAKUBES 2010). Biomasa z plantáží energetických rostlin (např. speciální odrůdy topolů, konopí, šťovík, amarantu aj.) může být určena buď pro spalování ve formě štěpky či řezanky, zpracována do formy briket či pelet, využita pro výrobu kapalných biopaliv nebo pro výrobu bioplynu (BELLINGOVÁ et al. 2006). Jestliže je žádoucí obsah uhlovodíků pro produkci bioplynu, jsou využívány rostliny, jako je kukuřice, súdánská tráva, proso, vojtěška, řepka olejka a mnohé další. Energetické plodiny můžou být použity buď k přímému, nebo nepřímému spoluspalování v závislosti na druhu (JAKUBES 2010).

1. Přímé spoluspalování

Přímé spoluspalování je nejméně nákladný, nejjednodušší a nejvyužívanější postup. Biomasa a uhlí jsou společně spalovány v topeništi uhelného kotle. Při spalování v práškovém kotli jsou společně či odděleně využívány stávající mlýny a hořáky, což závisí na charakteru spoluspalované biomasy, konstrukčním provedení kotle a systému zásobování palivem. Přímé spoluspalování zahrnuje mísení biomasy s uhlím na skládce uhlí a transport směsi přes normální zauhlovací systém. Pro tuto metodu jsou vhodnou technologií fluidní kotle. Za určitých podmínek není nutno při zahájení spoluspalování provádět zásadní zásahy do stávajících zařízení, což je velkou ekonomickou výhodou této metody (KARAFIÁT 2010).

Přímé spoluspalování je z hlediska investičních nákladů nejvýhodnější, protože není nutno stavět nový samostatný kotel (jako u hybridních systémů) ani zplyňovací jednotku (jako u nepřímých systémů). Přímé spoluspalování je také snadno použitelné jak v nových, tak i rekonstruovaných zdrojích, protože lze využít stejné systémy pro podávání obou složek paliva i stejné hořáky pro biomasu a fosilní palivo.

V ČR se jedná o rozšířený způsob spoluspalování, který je využíván jak v elektrárnách (ČEZ – Tisová, Hodonín, Poříčí), tak i v teplárenských a průmyslových zdrojích (ČEZ - Dvůr Králové, Plzeňská teplárenská, Teplárna Písek, Ško-Energo Mladá Boleslav, Mondi Štětí, Dalkia – Krnov, Olomouc, Teplárna Otrokovice a další) (JAKUBES 2010).

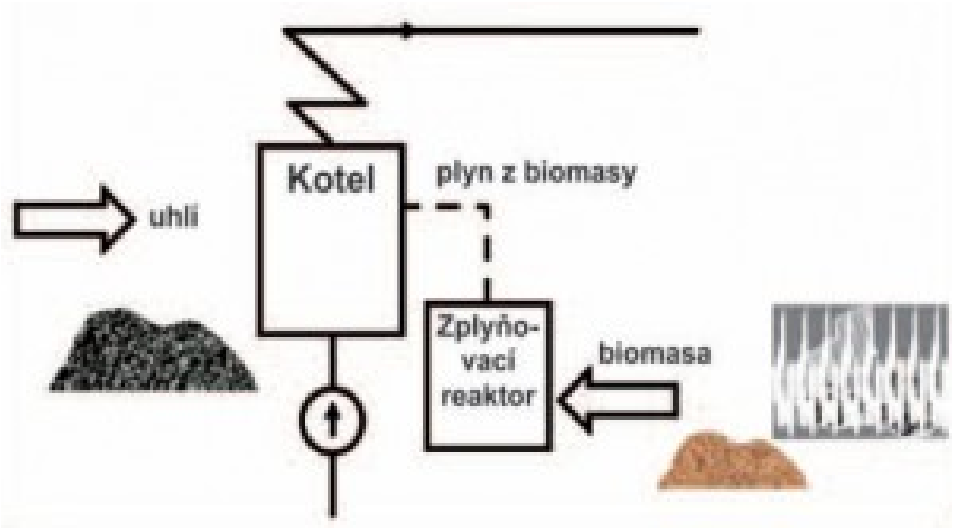


Obr. 6: Přímé spoluspalování biomasy (JAKUBES 2010).

2. Nepřímé spoluspalování

Nepřímé spoluspalování je založeno na odděleném zplyňování biomasy a následném přímém spálení vzniklého plynu v hořáku kotle. Výhodou je, že je možné použít různé druhy biomasy o různém fyzikálním a chemickém složení. Další výhodou je to, že vzniklé popeloviny jsou oddělené od popelovin z uhlí (OCHODEK 2006).

Nepřímé spoluspalování je nejnákladnější možností, jak spalovat více paliv, zejména proto, že je potřeba samostatná zplyňovací jednotka se systémem čištění plynu. Ekologické dopady jsou ale nižší než u přímého spoluspalování více paliv, zejména díky tomu, že vzniklý plyn lze před spálením v kotli vyčistit. Díky instalaci samostatných systémů se získá vyšší flexibilita při volbě paliva a lze dosáhnout velmi vysokého podílu biomasy v palivu (JAKUBES 2010).

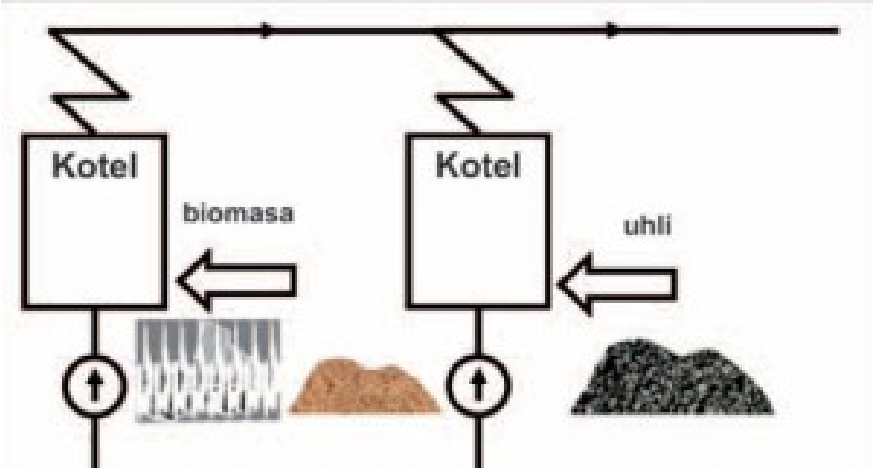


Obr.7: Nepřímé spoluspalování biomasy (JAKUBES 2010).

3. Paralelní spalování

Paralelní spalování je společné spalování biomasy a neobnovitelného zdroje, při kterém se oba druhy paliv spalují odděleně v samostatných kotlích dodávajících vyrobené teplo do společné parní sběrnice, ze které se uskutečňuje odběr tepla pro výrobu elektřiny (Vyhláška č. 502/2005 Sb.).

Paralelní spalování je nejvíce populární v průmyslu papíru a celulózy, kde jsou kotle vyhrazené pro biomasu užívané ke spalování kůry a odpadního dřeva. Investiční náklady paralelního spoluspalovacího systému jsou výrazně vyšší ve srovnání s nepřímým spoluspalováním. Paralelní spoluspalovací systém zahrnuje nejen oddělenou linku a strojní zařízení pro dodávku biomasy, ale také vyhrazený kotel na biomasu. Existuje řada možných uspořádání hybridních systémů zahrnujících kombinaci zplyňování biomasy a jak tradičních, tak i čistých uhelných technologií, které jsou ve stadiu výzkumu nebo vývoje (JAKUBES 2010).



Obr. 8: Paralelní spalování - hybridní systém (JAKUBES 2010).

4. kombinovaný cyklus s integrovaným zplyňováním biomasy (IGCC)

Pokročilé zplyňovací elektrárny jsou v současnosti na počátku uvádění do komerčního provozu. V systému IGCC je uhlí (případně ve směsi s biomasou) zplyňováno a vzniklý plyn je spalován s tím, že horké spaliny pohánějí plynovou turbínu. Je dosahováno vysoké účinnosti díky plnému využití pracovních teplot plynových turbín a využitím odpadního tepla v parní turbíně, přičemž vzniká plyn se střední výhřevností, jehož hlavními spalitelnými složkami jsou oxid uhelnatý a vodík (JAKUBES 2010).

Stojí také za to poznamenat, že kombinovaný cyklus zplyňování produkuje nižší emise SO_2 a NOx, než je tomu u klasických uhelných elektráren. Emise SO_2 z elektrárny na práškové uhlí je obecně o jeden řád vyšší než z kombinovaného cyklu zplyňování. Emise NOx z elektrárny na práškové uhlí bez katalytického odlučování NOx je faktorem třikrát vyšším než u IGCC. Přísnější limity na emise by vyžadovaly vyšší náklady pro elektrárny na práškové uhlí (KOLAT et al. 2008).

V roce 2001 byly zahájeny programy testování současného spalování uhlí a přídavného paliva, kterým může být papírenský kal, kaly z čistíren odpadních vod, dřevo, drůbeží trus nebo směsi dřeva a kalu z čistíren odpadních vod. O tom, jaký palivový mix bude skutečně používán v budoucnu, rozhodne vývoj trhu s biomasou (JAKUBES 2010).

5. Spoluspalování v kotlích s cirkulujícím fluidním ložem (CBFC)

Spalování ve fluidním loži má výborné podmínky pro účinné spalování široké palety různých paliv a s nízkými emisemi. Spoluspalování biomasy s uhlím je také účinnou metodou ke snížení emisí oxidů síry (OCHODEK et al. 2007).

V těchto kotlech se uhlí spaluje spolu s vápencem pro omezení emisí síry, ale rychlost plynu je taková, že je podstatný objem materiálu lože strháván do vzestupného proudu plynů. Strhávané horké pevné částice opouštějí reakční prostor a jsou zachycovány velmi účinným vnějším odstředivým filtrem (cyklonem) a pak vraceny, často přes tepelné výměníky, do spodní části spalovací jednotky. Pára může vznikat ve vodním plášti kotle či ve vnějších tepelných výměnících. Některé spalovací jednotky obsahují i přehříváky páry.

Technologie cirkulujících fluidních ložů je vhodnější pro širší spektrum paliv z biomasy a odpadů než jakákoli jiná technologie spalování. Jeví se jako zvlášť vhodná pro spalování směsi uhlí/biomasy/odpadu, protože množství oxidů dusíku klesá s poklesem spalovací teploty na relativně nízkou hodnotu, k čemuž přispívá i fázovaný přívod vzduchu do spalovacího prostoru. Dalšího snížení emisí oxidů dusíku lze dosáhnout deskovými systémy selektivní katalytické redukce v kouřovodu mezi ekonomizéry (JAKUBES 2010).

3.2 Vedlejší energetické produkty

Vedlejší energetické produkty (VEP) jsou látky, které vznikají při spalování a spoluspalování v tepelných elektrárnách a dalších zařízeních především v průběhu odsíření spalin. Je jich celá řada a lze je využít jako druhotné suroviny. Po vytvoření odpovídajících dokumentačních, technických, organizačních a obchodních podmínek se v souladu s právními předpisy stávají tzv. certifikovanými výrobky. Za odpady se považují jen nevyužité vedlejší energetické produkty, které je potřeba odstranit uložením na skládky (ANDRT et al. 2006).

Ukládání nevyužitých produktů

Dříve se veškerá produkce popílku a strusky ukládala ve formě hydrosměsi na odkalištích tzv. plavením. Moderním způsobem jsou v současnosti využívané tzv. suché odběry, které jsou předpokladem pro další využití cenné suroviny i pro ekologičtější způsoby ukládání nevyužité části odpadů. Jejich doprava na místo uložení probíhá pomocí korýtkových dopravních pásů, trubkových pásových dopravníků, nákladních automobilů, železnice popř. potrubím ve formě husté suspenze (ADAMEC et al. 2009).

Opora v zákonech

Pro český průmysl mělo velký význam zejména přijetí nových zákonů o ovzduší, o odpadech a o posuzování vlivů na životní prostředí. Tyto zákony byly v uplynulých 10 letech z důvodu sladění právních předpisů ČR s předpisy Evropské unie pro ochranu životního prostředí novelizovány. Povinnosti obsažené v právních předpisech vedly podniky ke zpracování vlastních strategií, koncepcí a programů ochrany životního prostředí, jež jsou založeny většinou na dodatečné instalaci zařízení k omezování znečišťování, na výměně technologií, na využívání druhotných surovin, monitorování znečištění atd.(VODNÍ A TEPELNÉ ELEKTRÁRNY 2005).

První právní předpis v ČR, zákon č. 238/1991 Sb., o odpadech, stanovil povinnosti a požadavky při nakládání s odpady. Již v tomto zákoně měl původce odpadů povinnost co nejvíce omezovat vznik odpadů, vytvářet předpoklady pro využívání a zneškodňování odpadů, využívat odpady jako druhotné suroviny a zajistit zneškodnění v případě, kdy není možné jejich využití. Za druhotnou surovinu byla podle zákona přitom považována surovina nebo materiály získané z odpadu, které jsou způsobilé k dalšímu využití. Zákon současně stanovil institut placení poplatků za ukládání odpadů. Poplatky měly kromě jiného stimulovat původce odpadů k minimalizaci množství ukládaných odpadů (ANDRT et al. 2006).

Následující zákony o odpadech (č. 125/1997 Sb. a č. 185/2001 Sb.) tento základní přístup původců odpadů zachovaly a jako motivaci přednostního využívání odpadů před jejich ukládáním zavedly zvyšování ročních sazeb za ukládání. V současné době upravuje nakládání s odpady zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech. Jeho návrh byl vypracován již s využitím příslušné legislativy EU. Odpady ze spalování uhlí a z čištění spalin z uhelných elektráren náležejí do skupiny 10 "Odpady z tepelných procesů", resp. do podskupiny 10 01 "Odpady z elektráren a jiných spalovacích zařízení". Žádný z odpadů nepatří do kategorie "nebezpečný", všechny tyto produkty po spalování a odsiřování spalin náležejí do kategorie "ostatní" (VODNÍ A TEPELNÉ ELEKTRÁRNY 2005).

Charakteristika vedlejších energetických produktů dle legislativy:

- Splňují definici „vedlejšího produktu“ dle čl. 5 směrnice (ES) 98/2008 o odpadech.
- Splňují definici „vedlejšího produktu“ dle § 2 odst. 5 zákona 185/2001 Sb. O odpadech.
- Vznikají jako nedílná součást technologického procesu výroby elektrické energie nebo tepla.
- Využití je zajištěno – existuje trh a poptávka (např. jako stavební výrobky).
- Využití bez dalšího zpracování je běžné (příměsi do betonů, cementů, atd.).
- Využití je v souladu s dalšími právními předpisy a nepovede k nepříznivým účinkům na životní prostředí nebo lidské zdraví
- (KULHÁNKOVÁ 2011).

3.2.1 Energosádrovec

Energosádrovec je vedlejším produktem odsíření spalin metodou mokré vápencové vypírky. Jeho hlavní složkou je dihydrát síranu vápenatého ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), a proto se využívá jako náhrada přírodního sádrovce. V poslední době došlo k vyčlenění energosádrovce z evropského katalogu odpadů s tím, že je klasifikován jako surovina. Hlavní rozdíl oproti přírodnímu sádrovci spočívá ve fyzikálních vlastnostech - velikost zrna, tvorba typu krystalů a technicky důležitá sypná hmotnost. Tyto vlastnosti jsou odvislé od jednotlivých odsiřovacích procesů a provozů (LEDERER OVÁ et al. 2006).

Energosádrovec odpadá z běžného odsiřovacího procesu mokrým způsobem jako vlhký, jemnozrnný prášek s obsahem povrchové vlhkosti 8 - 12%. Tím se podstatně odlišuje od dosud běžně používaného přírodního sádrovce, který je dodáván jako suchý, drcený materiál.

Vzhledem k chemické čistotě se energosádrovec jevil jako velmi výhodná surovina zejména pro průmysl zpracování sádry, fyzikální vlastnosti však nutily k novému úpravárenskému procesu. Tento tlak byl významný zejména v Německu, kde průmysl výroby a úpravy sádry měl širší požadavky než na příklad v Japonsku, kde je použití sádry zaměřeno převážně na výrobu sádrokartonových desek. Pro průmyslové využití se může energosádrovec vyskytovat buď ve stavu, v jakém odpadá, to je jako vlhký, jemný prášek s obsahem vody kolem 10%. Tento materiál je špatně manipulovatelný, špatně tekoucí ze zásobníků, prakticky netransportovatelný ve šnekových dopravnících nebo elevátorech. V upraveném stavu - to je suchém - se může vyskytovat jako suchý, jemný prášek dobře tekoucí až vystřelující a silně prášící, nebo jako suchý, kusovitý materiál, který se prakticky chová jako drcený přírodní sádrovec (VODNÍ A TEPELNÉ ELEKTRÁRNY 2005).

Energosádrovec jako surovina je průmyslově využíván hlavně při výrobě sádry a při výrobě cementu. Další uplatnění je při výrobě omítkových směsí a stabilizátů. Méně čisté, případně průmyslově nevyužité energosádrovce jsou mnohde ukládány na skládky. Hlavní uplatnění energosádrovce v cementářském průmyslu je jako regulátor tuhnutí, v některých případech pak jako přídavek do surovinové směsi na vázání většího množství alkálií - to slouží k úpravě síranového modulu (ANDRT et al. 2006).

Nejvíce je energosádrovec využíván v cementářském průmyslu Japonska, ve kterém pokrývá prakticky veškerou potřebu sádrovce na regulaci tuhnutí cementu. Velké uplatnění má dále v Rakousku, Německu, Polsku a dalších zemích i tam, kde se nacházejí velká ložiska přírodních sádrovců. Česká republika patří mezi země s malými a nízkohodnotnými zásobami přírodního sádrovce, který je těžen na jediném ložisku v Kobeřicích u Opavy. V minulosti byl rozhodující podíl těžby tohoto sádrovce zpracováván v cementárnách jako přísada regulující tuhnutí cementu a pouze menší podíl - cca 10% - kvalitnějšího sádrovce byl využíván pro výrobu sádry ve vlastním závodě v Kobeřicích. Vzhledem k nižší kvalitě a problematické dostupnosti, i z hlediska ekonomického, je postupně od používání přírodního sádrovce jako regulátoru tuhnutí v cementárnách upouštěno a je nahrazován energosádrovcem nebo jiným druhem chemosádrovce (LEDERER OVÁ et al. 2006).

3.2.2 Popílek, škvára, struska

Popel ve formě škváry a strusky je odstraňován z prostoru ohniště většinou v aglomerované formě. Ve spalinách se vyskytuje určité množství polétavého popela (popílku) v závislosti na použité technologii spalování. Z procesu odsíření odpadá velké množství tuhých odpadů, které jsou kvalitativně odlišné podle použité metody odsíření. Tyto vedlejší energetické produkty odebírají stavební firmy a využívají je při výrobě betonů a malt. Popílek může působit jako aktivní i neaktivní složka (přispívá ke tvrdnutí či nikoli), struska a škvára zastává především funkci plniva. Popílek a škvára slouží i při výrobě cementu, cihel, umělého kameniva, lehkého betonu nebo jako aditivum do asfaltu. Popílek lze využít také k výrobě náplní filtrů pro čistírny odpadních vod nebo pro zneškodňování nebezpečných odpadů jejich tzv. *Sodofikací* [4] (KEPÁK 2010).

3.2.3 Produkt polosuché metody odsíření, stabilizát, aglomerát

Jedná se vesměs o materiály vhodné k využití pro stavební účely - vyplňování příkopů, zásypy, konstrukční vrstvy silnic a dálnic apod.). Výhodou je schopnost nabýt alespoň minimální pevnosti. Úpravou receptury stabilizátu (směs popele a produktů odsíření nebo popele z fluidních kotlů, který se míchá s vodou za případku aditiva vápna, cementu) a jeho ukládání za určitých podmínek lze připravit vrstvu, která splňuje všechny požadavky na těsnicí materiály pro skládky. Stabilizát po zatuhnutí dosahuje pevnosti až 10 MPa a může být dosaženo velmi nízké propustnosti. Vrstva stabilizátu, aglomerátu (směs popílku nebo popele s asi 25 % vody) a deponátu (směs popele, energosádrovce a 25 % vody) může být úspěšně použita jako technická rekultivační vrstva skládek, úložišť apod. před překrytím zeminou a konečnou úpravou povrchu. Stabilizát je velmi vhodným materiálem pro rekultivaci bývalých odkališť. Tyto materiály jsou též vhodné pro vyplňování prostor po povrchové těžbě uhlí a obnovení původního nebo tvorbu nového reliéfu krajiny (VODNÍ A TEPELNÉ ELEKTRÁRNY 2005).

4 Sodofikace - směs popílku, cementu a vody po přidání kalu z čistírny odpadních vod vytvoří pevnou hmotu s velmi nízkou vyluhovatelností, kterou lze bez rizika uložit na skládku (VODNÍ A TEPELNÉ ELEKTRÁRNY 2005).

3.2.4 Popel z fluidních kotlů

Některé z elektráren a tepláren používají technologii fluidního spalování za atmosférického tlaku. V těchto zmodernizovaných provozech vznikají pevné odpady v podobě ložového popele a popílků z elektrofiltrů (odlučovačů). Výsledným produktem je pak směs popela z původního paliva, nezreagovaného odsiřovacího činidla (CaO s případnými zbytky $CaCO_3$), síranu vápenatého, produktů reakce popelovin s CaO a nespáleného paliva. Vzhledem k tomu, že teploty spalování jsou při fluidních procesech nižší než při klasickém spalování, je nezreagovaný CaO přítomen ve formě tzv. měkce páleného vápna a je tedy reaktivní. Pro fluidní popílky je též charakteristický nízký obsah taveniny (VUT 2008).

V důsledku transportu kouřových plynů z prostoru ohniště dochází k separaci jednotlivých frakcí této směsi, jemné podíly jsou odnášeny spalinami ve formě úletu a hrubší zůstávají ve spalovacím prostoru. Úlet tuhých látek je z kouřových plynů odstraňován běžnými technologickými postupy (cyklóny, filtry). Každá fluidní spalovací jednotka proto zpravidla produkuje fluidní popílky dvojího druhu, a to **popílek z prostoru ohniště** (označovaný např. ložový) a **popílek získaný z úletu** (označuje se cyklónový, filtrový apod.). Vlastnosti obou těchto popílků se výrazně liší jak ve fyzikálních vlastnostech (granulometrie, měrný povrch, hustota, sypná hmotnost), tak v chemickém a mineralogickém složení, i když pocházejí z téhož technologického procesu fluidního spalování a odsiřování. Stejně jako u popílku klasického se i u fluidních popílků obou druhů projevuje nevýhoda kolísavých vlastností, zejména chemického složení, měrné hmotnosti a ostatních parametrů, způsobená nestabilitou spalovacího procesu a variabilitou vlastností vstupních komponent (uhlí a odsiřovacího činidla).

Pro zkoušení fluidních popílků jako jedné z přísad do cementu zatím neexistují normové předpisy. Fluidní popílky obsahují na rozdíl od popílků klasických vyšší množství měkce páleného reaktivního vápna (15 až 35%) a mají poměrně vysoký obsah SO_3 (7 až 18%). Pro spolehlivé posouzení popílků je experimentální ověření možnosti výroby cementu a zkoušky jeho vlastností v maltě a betonu nezbytné (VUT 2008).

Na rozdíl od klasických popílků, které se v cementářském průmyslu používají při výrobě některých cementů, nejsou dosud s fluidními popílky v českém cementářském průmyslu významnější zkušenosti a ani žádná z českých cementáren tento typ popílku nevyužívá (ANDRT et al. 2006).

3.3 Současný stav ve světě a Evropské Unii

V současnosti představuje energetické využívání odpadů a biomasy hospodárnou alternativu k fosilním palivům. Takto je to vnímáno v mnoha zemích s vysokou úrovní ochrany životního prostředí. Energetickým využíváním odpadů a biomasy se získává elektřina a teplo a dochází rovněž ke snižování množství vypouštěných skleníkových plynů. Biomasa se spaluje ve spalovnách, v provozech cementáren, ale i v soukromém sektoru díky novým typům kotlů, využívaným k vytápění a ohřevu vody.

Na evropském kontinentu se odpad spaluje již 140 let. Tehdejším cílem bylo odpady především hygienicky odstranit, záhy však začal být využíván jejich energetický, ale i materiálový potenciál. Většina Evropy proto ustupuje od přímého skládkování odpadů a přechází právě na tyto způsoby využívání odpadů (ŘEZNÍČEK et al. 2010).

V Evropě je v provozu přes 340 spaloven a dalších 60 až 80 se připravuje nebo staví. Při vzájemném srovnání Švýcarsko, Německo, Nizozemsko, Švédsko a Belgie téměř veškerý odpad po materiálovém využití spalují. Podobně na tom je i Dánsko a Rakousko (MIKOLÁŠ 2004).

3.3.1 Odpady

Spoluspalování odpadu se využívá především ve spojení s technologiemi mechanicko-biologické úpravy. V Německu a Rakousku došlo v důsledku zákazu ukládání komunálních odpadů na skládky bez jejich předchozí úpravy k rozsáhlé výstavbě zařízení na mechanicko-biologickou úpravu odpadů, i když z počátku byly zaznamenány značné problémy s uplatněním výstupu z těchto zařízení, protože nebyla připravena zpracovatelská kapacita pro výhřevnou frakci. Nyní v obou zemích existují vedle sebe technologie mechanicko-biologické úpravy s následným spálením výhřevné frakce v monozdrojích, nebo jejich spoluspálením.

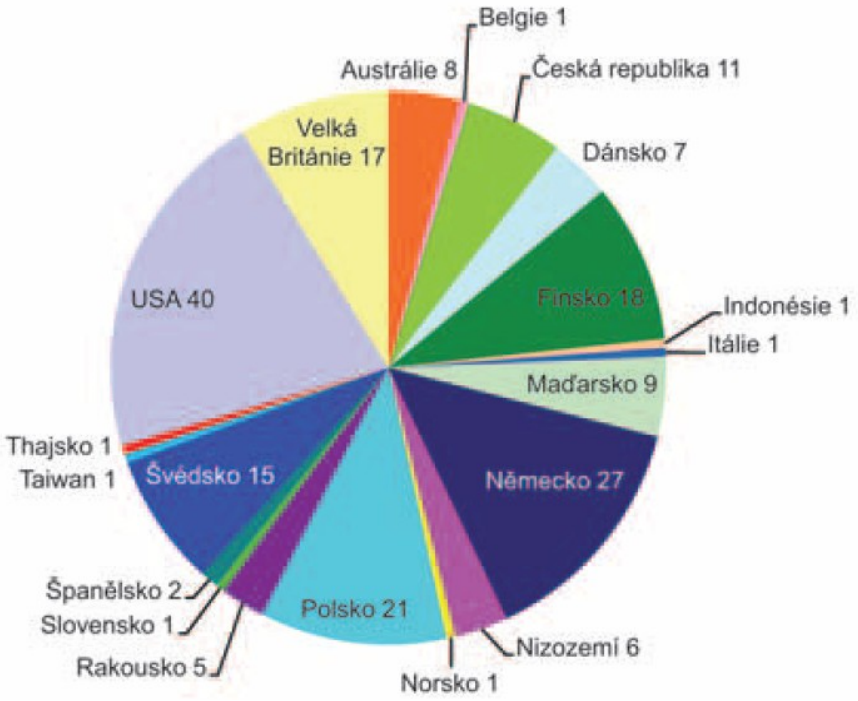
Další evropskou zemí, kde se tato cesta uplatňuje je Itálie. Zde jsou linky mechanicko-biologické úpravy přímo integrovány s energobloky spalujícími RDF (Refuse derived fuel)[5], např. v lokalitě Corteolona či bloky Lomelina I a II. Jedná se o energobloky s fluidními kotli, ve kterých je spalováno dokonce 100 % RDF vyráběného ze směsného komunálního odpadu v zařízeních na mechanicko-biologickou úpravu. Výstavba dalších jednotek spalujících RDF probíhá v SRN i jinde (ŘEZNÍČEK et al. 2010).

5 Refuse derived fuel (RDF). Tento název je v různých zemích interpretován odlišně. Je to dáno i tím, že je terminologie ovlivněna specifickými odpady, u kterých existují místní a legislativní požadavky na recyklaci. „Refuse“ je běžný název pro komunální odpad v anglických zemích a RDF je obvykle vztaženo k tříděné, vysokovýhřevné frakci komunálního a průmyslového odpadu (KOHOUT 2008)

Nicméně i přes značné zkušenosti existují na tuto cestu energetického využití odpadů protichůdné názory. Zařízení na energetické využití odpadu s sebou může nést riziko odbytu pro vyrobené teplo, otázky legislativní a značný odpor veřejnosti. Na druhé straně některé země Evropy řeší pomocí energetického využití většinu svého nakládání s odpady (VYŠTEJNOVÁ 2004).

3.3.2 Biomasa

Spoluspalování biomasy s fosilními palivy v elektrárnách a teplárnách se stalo běžnou praxí v mnoha zemích. Ve světě má již zkušenosti se spoluspalováním více než 150 uhelných elektráren a tepláren, a to alespoň na základní úrovni. Nejvíce těchto energetických zdrojů se nachází v USA, Německu, Finsku a Švédsku, avšak v řadě případů jsou instalace v USA omezeny na zkoušky či demonstrační provoz (JAKUBES 2010).



Obr. 9: Počty energetických zdrojů, které měly zkušenosti se spoluspalováním biomasy v roce 2005 (JAKUBES 2010).

Množství spoluspalované biomasy je v různých typech zdrojů odlišné. Kotle na spalování práškového uhlí jsou obvykle velmi velké a absolutní množství vyžadované biomasy pro určité procento spoluspalování je mnohem větší, než např. u kotlů s cirkulující nebo bublinkovou fluidní vrstvou (JAKUBES 2010).

Spoluspalování je jednou z efektivních možností, jak výrazně přispět ke zvýšení podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, proto je ve vyspělých zemích světa podporováno. Na druhou stranu je ve stávajících, převážně kondenzačních, zdrojích elektřiny velmi často kritizováno a zatracováno jako neefektivní způsob přeměny biomasy na elektrickou energii, který může mít negativní dopady na trh s biomasou (BLÁHA 2007).

Tyto problémy jsou velmi běžné nejen v nových členských zemích EU v regionu střední a východní Evropy, ale i zemích západní Evropy. Ne vždy optimální technická řešení spoluspalování biomasy a s tím spojené problémy či nízká účinnost přeměny na užitečnou energii jsou mezi jiným způsobeny i nedostatečnými znalostmi o dostupných technologiích spoluspalování biomasy, a o možných dopadech spoluspalování na procesy přeměny energie v samotné elektrárně či teplárně. Za nedostatečnou nabídkou biomasy a nedostatečným rozvojem trhu s biomasou stojí často nedostatek informací. Navzdory tomuto nedostatku, rozsah využívání biomasy pro výrobu elektřiny v středoevropském regionu roste (JAKUBES 2010).

3.3.3 Vedlejší energetické produkty

Energetické produkty vyprodukované ve světě a v zemích EU jsou využívány převážně ve stavebním průmyslu, na silniční stavby, jako stavební materiál při zahlazování důlní hlubinné činnosti (v EU 53%), nebo na rekultivaci povrchových lomů a dolů (v EU 36%). Popílek nachází nejčastější využití jako přísada do cementu a betonu a při stavbě pozemních komunikací (ASVEP 2011).

V roce 2007 bylo v původních patnácti zemích EU vyprodukováno asi 61 milionů tun energetických produktů. Z této celkové produkce se množství popelovin (popílky, škvára) pohybuje okolo 50 mil. tun, přičemž 11 mil. tun činí produkty získané z odsiřování spalin (ANDRT et al. 2006).

V bilanci všech dvaceti sedmi zemí EU je celková produkce vedlejších energetických produktů odhadována na 100 milionů tun. Přesná čísla z nových členských států však stále nejsou k dispozici (ASVEP 2011).

3.4 Současný stav v České republice

V České republice stále roste zájem provozovatelů energetických provozů o hledání alternativních paliv, kterými by bylo možné nahradit spalování uhlí a ropy.

3.4.1 Odpady

Ročně vzniká na území ČR přibližně 31 mil. tun všech odpadů, z toho asi 4,4 mil tun odpadů komunálních. Komunální odpady tedy představují necelých 15 % celkového množství odpadů, které u nás vzniká. Komunální odpady jsou velmi různorodé a zahrnují v sobě odpady z domácností, z měst a obcí, objemné odpady, ale i živnostenské odpady podobné komunálním. Většina komunálních odpadů – 78 % se dnes skládkuje, 14 % se materiálově využívá a jen 8 % se energeticky využívá (ŘEZNÍČEK et al. 2010).

V současné době je v ČR v provozu 27 zařízení na spalování odpadu a lze předpokládat, že se toto číslo bude zvyšovat. (DVOŘÁKOVÁ 2011)

Spoluspalování odpadů a biomasy je realizováno v souvislosti s mechanicko – biologickou úpravou odpadu. V ČR je v provozu celkem pět cementáren využívajících výše uvedené technologie. Cementárny v Mokré a Radotíně náleží do společnosti Českomoravský cement, nástupnická společnost, a. s., která je součástí koncernu Heidelberger Cement Group. Cementárna v Čížkovicích spadá pod koncern Lafarge Cement, a. s. a cementárna v Prachovicích vyrábí pod koncernem Holcim. Cement Hranice, a. s., je součástí skupiny Dyckerhof-Buzzi (ANDRT et al. 2006).

Tyto cementárny dosud téměř nevyužívaly palivo vytříděné z komunálního odpadu v trvalém provozu. Důvodem byl relativní dostatek odpadu z průmyslových výrob o rovnoměrnější kvalitě energetické i materiálové, částečně i občasná nejasnost původu nabízené vyseparované frakce komunálního odpadu. V případě, že stálost kvality tohoto náhradního paliva bude zaručena, lze předpokládat kapacitu spoluspalování až 100 kt ročně. Cementárna o produkci slínku asi 500 $kt.r^{-1}$ může využít cca 15 kt spalitelné složky komunálních odpadů. Celková výroba slínku v ČR je asi 3750 $kt.r^{-1}$, při ní se může využít až asi 113 kt spalitelné složky komunálních odpadů (ŘEZNÍČEK et al. 2010).

Obsah spalitelného podílu v komunálních odpadech je 37,5 %. Průměrná aglomerace se 400 000 obyvateli produkuje 90 $kt.r^{-1}$ komunálního odpadu, který obsahuje 33,75 $kt.r^{-1}$ spalitelné složky (KÁRA et al. 2008).

V české právní úpravě je mechanicko-biologická úprava zakotvena ve vyhlášce č. 482/2005Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy a definuje tuto technologii v § 2 písmena h) jako „úpravu směsného komunálního odpadu a průmyslového odpadu svou charakteristikou a složením podobným komunálnímu odpadu, spočívající v kombinaci mechanických a jiných fyzikálních postupů, jako jsou například rozdrobení a třídění, s biologickými postupy, jako jsou zejména hnití a fermentace, k oddělení některých složek obsažených v těchto odpadech a k jejich biologické stabilizaci.“(VYHLÁŠKA č. 482/2005Sb.).

3.4.2 Biomasa

Co se týče rozvoje spoluspalování biomasy, nastal v České republice po roce 2000 v tomto odvětví boom. Způsobily to nesprávně nastavené příplatky za elektřinu vyrobenou s využitím spalování dřeva a jiné spalitelné biomasy v elektrárnách. Energetický regulační úřad argumentoval v té době tím, že se biomasa pro výrobu elektřiny v kondenzačních elektrárnách pálit musí, protože v ČR není možné dosti rychle zavést účinnější způsoby využití biomasy v energetice, aby mohl být splněn závazek na výrobu 8% elektřiny a 6% veškeré energie z hrubé domácí spotřeby z obnovitelných zdrojů do roku 2010. Pod tlakem varování ekologických odborníků, kteří poukazovali na kontraproduktivní účinky tak rozsáhlého spalování biomasy v elektrárnách, ERÚ tyto nesprávně stanovené ceny opravil, takže se později spoluspalování biomasy v ČR podstatně omezilo (BLÁHA 2007).

Spoluspalování biomasy se u nás aplikuje v existujících uhelných kotlích. Začíná se však objevovat problém s dostupností biomasy, obzvlášť trh dřevní štěpky je velmi citlivý na roční období a výskyt větrných kalamit (ŘEZNÍČEK et al. 2010).

V současné době se znovu objevují projekty na spalování biomasy v nových elektrárnách, především v elektrárnách menšího výkonu, které by vystačily se spalitelnou biomasou z bližšího okolí, to znamená z okruhu několika desítek kilometrů kolem nově vybudované elektrárny, aby bylo možné dopravovat k elektrárně biomasu v její původní formě (například slámu v balících), a také ji v této formě skladovat a podávat ke spalování v kotlích.¨Připravuje se ale i výstavba nebo rekonstrukce několika středně velkých kondenzačních elektrárenských bloků, které mají spalovat biomasu ve formě vysoce kvalitního paliva, které by bylo s mnohem vyšším efektem možné využít na jiné účely nebo s vyšší účinností (BLÁHA 2007).

3.4.3 Vedlejší energetické produkty

Roční produkce vedlejších energetických produktů (VEP) v rámci ČR se v současnosti pohybuje kolem 15 mil. tun. Do 90. let dvacátého století byly VEP převážně odstraňovány jako odpady (ukládaly se ve formě hydrosměsi na odkaliště). Produkty odsíření a produkty spalování ve fluidních kotlích se v ČR vyskytují až ke konci 20. století.

V současné době je převážná část produkce využívána, a to například k zahlazování důlní činnosti, rekultivacím báňských výsypek, stavbám konstrukčních vrstev vozovek, protihlukových valů a násypů (ADAMEC et al. 2009).

Popílek se u nás využívá hlavně jako surovina pro výrobu stavebních výrobků, např. betonu, cementu, malt, cihlářských pálených výrobků, asfaltových hydroizolačních pásů. Dále lze popílku využít ve formě podkladní vrstvy vozovek zpevněných cementem.

Energosádrovec se využívá k výrobě cementu jako náhrada přírodního sádrovce, dále k výrobě sádrokartonových desek, nebo jako přísada při výrobě pórobetonu. Je také surovinou pro výrobu umělých hnojiv a samonivelačních anhydritových podlahových směsí (ANDRT et al. 2006)..

V České republice je velké množství producentů vedlejších energetických produktů. Pro všechny producenty, kteří chtějí tyto produkty nabízet k prodeji, je podle nařízení REACH (nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006, o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky) nutná certifikace těchto produktů. Touto problematikou se v České republice zabývá asociace pro využití VEP s názvem **ASVEP**

4. Diskuse

Nejvíce článků o spoluspalování biomasy je v databázi nevládní organicace BIOM. Co se týče příspěvků uveřejněných na internetových stránkách této asociace jsem zastáncem spíše názorů Jaroslava Jakubese (2010), Jarmily Lehnerové (2007) a dalších, kteří považují spoluspalování biomasy za efektivní možnost náhrady ubývajících fosilních paliv. Na druhou stranu musím dát za pravdu dalšímu odborníkovi, a to Pavlu Bláhovi (2007), který upozorňuje na nevhodnost spalování a spoluspalování biomasy v kondenzačních elektrárnách, které nejsou na tuto možnost konstruovány.

V oblasi spoluspalování odpadů přispívá svými poznatky nejvíce odborníků do měsíčníku ODPADOVÉ FÓRUM. Zde dostupná příručka „ODPAD JE NEVYČERPATELNÝ ZDROJ ENERGIE“ (2010), zpracovaná s pomocí řady specialistů v tomto oboru mne přesvědčila o vhodnosti tohoto způsobu využívání odpadu, i když pochopitelně jen v provozech dostatečně technologicky vybavených, a pod dozorem České inspekce životního prostředí a dalších orgánů ochrany přírody.

Materiálů týkajících se vedlejších energetických produktů ze spoluspalování je u nás i ve světě velmi málo. Při shromažďování literatury ke zpracování této práce jsem zjistil, že tato problematika zatím nebyla podrobněji popsána. Dle mého názoru je to dáno tím, že technologie spoluspalování je relativně nová a ještě není v masové míře využívána. S tím souvisí i nedostatečná legislativa týkající se těchto velmi specifických způsobů využití odpadu a biomasy. Myslím si, že vedlejší energetické produkty spoluspalování mají obdobné vlastnosti a jsou v zásadě i využívány podobně, jako produkty klasických spalovacích a odsiřovacích procesů. Z tohoto důvodu se asi tímto tématem mnoho lidí nezabývá. Vzhledem k rozvoji těchto technologií lze očekávat, že na základě budoucích výzkumů budou brzy stanoveny legislativní a jiná opatření týkající se tohoto odvětví energetiky.

5. Závěr

Problematika nakládání s odpadem je často diskutována na celém světě. Jedná se o významný globální problém, neboť s rozvojem lidské civilizace vzniká stále více obtížných odpadů. Mnoho odpadů by při jejich třídění mohlo být recyklováno a využito jako surovina pro další výrobu. Bohužel nejsou tříděny všechny odpady, a tak je velké množství recyklovatelných odpadů likvidováno ve spalovnách a další odpady jsou ukládány na skládky. Část odpadů v plynné formě uniká do ovzduší, dostává se deštěm do vodních nádrží, toků, oceánů a do půdy. Z hlediska ochrany životního prostředí je nutno především zamezit likvidaci odpadů skládkováním.

Odpady, stejně jako biomasa, se řadí mezi obnovitelné zdroje energie. Vzhledem k úbytku neobnovitelných zdrojů je nutné celosvětově zvýšit podíl vyráběné energie právě z obnovitelných zdrojů. Spoluspalování je jednou z efektivních možností, jak lze tohoto zvýšení dosáhnout. Tyto technologie, na rozdíl od spalování samotných fosilních paliv, nepřispívají tolik ke globálnímu oteplování a jsou vesměs čistší.

Vedlejší energetické produkty spoluspalování najdou uplatnění v mnoha oborech průmyslu, stejně jako produkty klasického spalování. Tím, že se k fosilním palivům přidává biomasa či odpad, nedochází ke znehodnocení těchto produktů, takže není problém s jejich využitím.

6. Seznam použité literatury

- ADAMEC, P., et al.: „Mysli globálně, jednej lokálně“. metodická příručka. In Ucitsnadno.cz [online]. Most: Asistenční centrum, a. s., 2010 [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <www.ucitsnadno.cz/>.

- ANDRT, M., BENEŠ, D., JIRKOVSKÁ, V., PŠENIČKOVÁ, A. SLAVÍK, J., VIKTOROVÁ, D., VLČKOVÁ, J.: Modely produkčních a odbytových bilancí pro vybrané toky odpadů v komparaci s navržením nástrojového mixu k podpoře prevence vzniku materiálového využití odpadů. MŽP Praha 2006. RIV/61384399:31150/04:00020868

- BELLINGOVÁ, H., JAKUBES, J., ŠVÁB, M.: Moderní využití biomasy-technologické a logistické možnosti. [online]. Česká energetická agentura 2006. [cit. 2011-04-13]. Dostupné z WWW: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf >

- BLÁHA, P.: Spalování a spoluspalování biomasy v kondenzačních elektrárnách je technický, ekologický a ekonomický omyl. Biom.cz [online]. 2007-09-24 [cit. 2011-04-13]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/spalovani-a-spoluspalovani-biomasy-v-kondenzacnich-elektrarnach-je-technicky-ekologicky-a-ekonomicky-omyl>. ISSN: 1801-2655.

- DVOŘÁKOVÁ, I.,: Seznam spaloven odpadů v ČR [online]. 2001 - 2011, 18.4.2011 [cit. 2011-04-21]. Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z WWW: <http://old.chmi.cz/uoco/emise/spalovny/index.html>.

- FIŠER, M.: Energetické využití odpadů. Odpadové fórum, 11, 2010, č. 10, příl., s. 2-3.

- FRIES, J.: Stroje pro zpracování odpadu [online]. Ostrava, Vysoká škola Báňská, 2007.[cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/SZO/vyukovy_text.pdf>.

- HABART, J.: Soubor: MBU schema.jpg. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 26. 1. 2005, last modified on 24. 8. 2007. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:MBU_schema.jpg>.

- HORBAJ P.: Energetický potenciál bioplynu v SR [online]. Strojnícka fakulta, TU Košice 2003, [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/1540-energeticky-potencial-bioplynu-v-sr>

- HRŮZA, R.: Možnosti náhrady využívaných fosilních paliv palivy vyrábných z obnovitelných zdrojů [online]. Energetická agentura Vysočiny 2007. Dostupné z WWW: <http://eav.cz/wp-content/eav_studie_3.pdf>

- JAKUBES, J.: Spoluspalování biomasy s fosilními palivy – od výzkumu k praktickému využití. Biom.cz [online]. 2010-10-20 [cit. 2011-04-12]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/spoluspalovani-biomasy-s-fosilnimi-palivy-od-vyzkumu-k-praktickemu-vyuziti>. ISSN: 1801-2655.

- KAFKA, S., PUNČOCHÁŘOVÁ, J.: Využití procesu solidifikace/stabilizace při zneškodňování nebezpečných složek v průmyslových odpadech [online]. Praha, vysoká škola chemicko-technologická, 2000. Dostupné z WWW: <http://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/B_17.pdf>

- KAJAN, M., LHOTSKÝ, R.: Možnosti zvýšení výroby bioplynu na stávajících zařízeních [online]. Třeboň 2006. Dostupné z WWW: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/30.pdf>

- KÁRA, J., PASTOREK, Z., JELÍNEK, A.: Kompostování zbytkové biomasy. Biom.cz [online]. 2002-01-31 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>. ISSN: 1801-2655.

- KÁRA, J.; HUTLA, P.; PASTOREK, Z. : Využití organických odpadů ze zemědělské výroby a venkovských sídel. sběr, třídění a využití organických odpadů. zařízení pro termické zpracování organických odpadů. In Metodická příručka MZe ČR [online]. Praha 6: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., 2008 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <http://www.vuzt.cz/doc/metodiky/metodika-kara.pdf?menuid=636>.

- KARAFIÁT, P.: Spoluspalování biomasy v kotlích Elektrárny Kladno. Biom.cz [online]. 2010-04-07 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/spoluspalovani-biomasy-v-kotlich-elektrarny-kladno>. ISSN: 1801-2655.

- KEPÁK, F. Energetika a životní prostředí [online]. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem , 2010 [cit. 2011-04-14]. Dostupné z WWW: <http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/enzp/ENZPskripta.pdf>.

- KOHOUT, P.: Výzkum a vývoj kotle pro spalování tříděného komunálního odpadu. IMPULS [online]. 2008 - 2010, [cit. 2011-04-14]. Dostupný z WWW: <www.pbs.cz/cze/getfile.php?FileID=77>.

- KOLÁŘOVÁ, M.: Tuhé alternativní palivo s biomasou. Biom.cz [online]. 2009-08-03 [cit. 2011-04-05]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/tuhe-alternativni-palivo-s-biomasou>. ISSN: 1801-2655.

- KRENÍKOVÁ, V.: Odpadové hospodářství, skripta Univerzity J. E. Purkyně, 1999 Ústí nad Labem.

- KUBÍK, L.: Rizikové prvky v kalech z čistíren odpadních vod (ČOV). Biom.cz [online]. 2009-02-09 [cit. 2011-04-20]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rizikove-prvky-v-kalech-z-cistiren-odpadnich-vod-cov>. ISSN: 1801-2655.

- KULHÁNKOVÁ, P. : Reach z pohledu mpo. ASVEP [online]. 10. 2. 2011, [cit. 2011-04-03]. Dostupný z WWW: <http://www.asvep.cz.web3.web4ce.cz/index2.php>.

- KVASNIČKOVÁ, D.: Základy ekologie, 1. vyd. Praha, Scientia, 1994, 63-68. ISBN 80-85827-84-0

- LEDERER OVÁ, J., et al. Dílčí zpráva II. etapa 1.7. – 30.9. 2006 [online]. Centrum Výzkumu integrovaného systému využití vedlejších produktů z těžby, úpravy a zpracování energetických surovin, 2006 [cit. 2011-04-03]. Dílčí cíl v 003 – navrhnout a ověřit nové a dosud neaplikované způsoby využití vedlejších energetických produktů pro ostatní odvětví průmyslu. Dostupné z WWW: <http://www.hgf.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/hgf/cvvp/cs/okruhy/vysledky/zpravy/dilci_zprava_II_etapa_2006.pdf>.

- MATOUŠEK, P.: Podmínky pro spalování paliv vyrobených z odpadu z pohledu platné legislativy [online]. Brno: VUT Brno, 2009 [cit. 2011-04-03]. 47 s. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Dostupné z WWW: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16705>.

- MĚCHURA, P.: Předcházení vzniku stavebních a domovních odpadu jejich termickým využitím v teplovodních krbech, in sborník Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin, Brno 2009. Dostupné z WWW: <http://www.arsm.cz/dok/Sbornik_RECYCLING_2009.pdf>.

- MIKOLÁŠ, J.: Recyklace průmyslových odpadů. Praha: SNTL, 1986 [cit. 2011-04-03]. 87 s. ISBN 04-833-87.

- MIKOLÁŠ, J.: Energetické využívání odpadu nepoškozuje životní prostředí. EnviWeb [online]. 2004 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/49999/energeticke-vyuzivani-odpadu-neposkozuje-zivotni-prostredi>

- MOUDRÝ, J.: Databáze využití nepotravinářské zemědělské produkce [online]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2004. Dostupné z WWW: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/index.php?n1=1&n2=4&n3=0&n4=0&poloha=1>

- MUŽÍK, O., KÁRA, J.: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. Biom.cz [online]. 2009-03-04 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>. ISSN: 1801-2655.

- MUŽÍK, O., SLEJŠKA, A.: Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. Biom.cz [online]. 2003-07-14 [cit. 2011-04-14]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>. ISSN: 1801-2655.

- OBROUČKA, K. Termické zneškodňování odpadu, Vysoká škola Báňská Ostrava, Ediční středisko VŠB, 1997 [cit. 2011-04-03], ISBN 80-7078-505-5.

- OCHODEK, T.: Úvod do problematiky spoluspalování biomasy v uhelných kotlích elektráren a tepláren. Biomasa jako zdroj energie – seminář. Ostravice, 2006.

- OCHODEK, T., KOLONIČNÝ, J., BRANC, M., Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007, ISBN 978-80-248-1426-1

- ŘEZNÍČEK, T.; PROCHÁZKA, O.: Odpad je nevyčerpatelný zdroj energie: Energetické využití odpadů. Odpadové fórum [online]. Září 2010, 9/2010, [cit. 2011-03-01]. Dostupný z WWW: <http://odpadoveforum.cz/>. ISNB 978-80-85990-15-7.

- SLEJŠKA, A.,: Biomasa. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 21. 5. 2005, last modified on 8. 2. 2011 [cit. 2011-04-12]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Biomasa>.

- SLEJŠKA, A.,: Možnosti a perspektivy zpracování bioodpadu, in Biom: Sborník ze sympozia Bioodpad'99 konaného ve dnech 19. – 21. 4. 1999, Praha, [cit. 2011-04-14], Dostupné z WWW: <http://stary.biom.cz/sborniky/bioodp99/01.html>.

- SLEJŠKA, A.,: Pyrolýza. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 2. 2. 2005, last modified on 10. 1. 2011 [cit. 2011-04-04]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pyrolyza>.

- SLADKÝ, V.: Příprava paliva z biomasy. Stud. Infor. ÚZPI, Praha, Ř. Zeměd. Techn. a Stavby, 1995 [cit. 2011-04-03], č. 3, 50 s.

- SOUČEK, J. Skládkový plyn - odpad, nebo zdroj energie?. Biom [online]. 2000, [cit. 2011-04-14]. Dostupný z WWW: <http://stary.biom.cz/clen/jso/a_lfg.html>.

- STAF, M.: Výzkum termické konverze odpadní biomasy na plynná a kapalná paliva. *Biom.cz* [online]. 2005-01-12 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-termicke-konverze-odpadni-biomasy-na-plynna-a-kapalna-paliva?add_disc=1>. ISSN: 1801-2655.

- STRAKA, F.: Využívání skládkového plynu. Biom.cz [online]. 2010-05-17 [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuzivani-skladkoveho-plynu>. ISSN: 1801-2655.

- VÁŇA, J.; BALÍK, J. ; TLUSŤOŠ, P. Pevné odpady. Praha: ČZU, 2004 [cit. 2011-04-13]. Kompostování bioodpadů, s. 119.

- VOLÁKOVÁ, P.: Nedoceněný zdroj energie: balíkovaná sláma. 2009. časopis Energie 21, č. 2/09.

- VYŠTEJNOVÁ, J. IHNED.CZ [online]. 12. 3. 2004 15:04 [cit. 2011-03-14]. ODPADY.IHNED.CZ . Dostupné z WWW: <http://odpady.ihned.cz/c1-14091610-dva-pristupy-ke-zpracovani-komunalniho-odpadu>.

- Vyhláška č. 502/2005 Sb. o stanovení způsobu vykazování množství elektřiny při společném spalování biomasy a neobnovitelného zdroje. In č. 175/2005 Sbírky zákonů 2005, 9841, s. 12-13.

- Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In Sbírka zákonů České Republiky. [cit. 2011-3-15]. Dostupné z WWW: <http://iris.env.cz>.

- Zpráva Nezávislé odborné komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu. In Nezávislá odborná komise. Asocr.cz [online]. Praha: Úřad vlády ČR,, 2008 [cit. 2011-03-25]. Dostupné z WWW: <http://www.asocr.cz/dokumenty/090216zpravakomise.pdf>.

- Vláda ČR. Aktualizovaný program podpory environmentálních technologií v České republice. In Akční plán na podporu environmentálních technologií v roce 2004. 2009,[cit. 2011-04-13]. s. 5. Dostupný také z WWW: <http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/CENMSFQP2T8Q/$FILE/aktualETAPcr.pdf>.

- Anonymus, in Energia z Fytomasy [online]. 2009 [cit. 2011-03-24]. Bio-brikety.meu.zoznam.sk. Dostupné z WWW: <http://bio-brikety.meu.zoznam.sk/o-nas>.

- Anonymus, in Energie z biomasy [online]. 2006 [cit. 2011-03-24]. Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů. Dostupné z WWW: <http://www.spvez.cz/pages/biomasa.htm#TOP>.

- Anonymus, in Fytomasa [online]. 2006 [cit. 2011-03-24]. Www2.zf.jcu.cz. Dostupné z WWW: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Fytomasa.htm>.

- Anonymus, in INFORMAČNÍ CENTRUM STAVEBNÍCH HMOT S VYUŽITÍM ODPADŮ [online]. [cit. 2011-03-25] Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Brno. Dostupné z WWW: <http://waste.fce.vutbr.cz/Odpad/Popilek.html>.

- Anonymus, in Mbu.cz [online]. 13. 4. 2010 [cit. 2011-03-24]. Co je MBÚ. Dostupné z WWW: <http://www.mbu.cz/cz/Cojembu.php>.

- Anonymus, in Obnovitelné zdroje energie - Energetické využití biomasy [online]. 2006 - 2009 [cit. 2011-03-24]. Kea-olomouc.cz. Dostupné z WWW: <http://www.kea-olomouc.cz/index.php?ca=zdroje&ar=07>.

- Anonymus, in úspěšná registrace VEP [online]. 2011 [cit. 2011-03-24]. ASVEP. Dostupné z WWW: <http://www.asvep.cz.web3.web4ce.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=35&Itemid=1>.

- Anonymus, in Vedlejší energetické produkty [online]. 2005 [cit. 2011-04-21]. Vodní a tepelné elektrárny. Dostupné z WWW: <http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz/vedlejsi-energeticke-produkty.htm>.