

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Energetické využití dřevoplynu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONŮ)

Jméno a příjmení: **Ondřej RADINA**
Osobní číslo: **E10B0182P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Energetické využití dřevoplynu**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište rozdíl mezi dřevoplynem a ostatními energetickými plyny, zejména bioplynem. Zmiňte specifika dřevoplynu (dehtování, toxicita) a úskalí jeho využívání.
2. Vytvořte přehled technologií výroby a následného využití dřevoplynu pro energetické účely.
3. Analyzujte situaci na trhu těchto zařízení (nejen v ČR) a diskutujte ekonomickou výhodnost těchto aplikací.

Abstrakt

V bakalářské práci popisuji formou rešerše proces zplyňování a rozdíly mezi dřevoplynem a ostatními energetickými plyny. Zabývám se zde specifikací a úskalím jeho využívání pro energetické účely. Nakonec vytvářím přehled technologií výroby a analyzuji situaci zařízení pro výrobu dřevoplynu na světovém trhu. Mým cílem je vytvoření základního přehledu a uvedení čtenáře do dané problematiky.

Klíčová slova

energie z biomasy, dřevoplyn, historie zplyňování, zplyňování biomasy, zplyňovací zařízení, využití dřevoplynu

Abstract

My bachelor thesis describes by a form of research the process of gasification and the differences between wood gas and other energy gases. It deals with the specification and risks of its use for energy purposes. Finally, I create the list of production technologies and I analyze the situation of equipment for the production of wood gas in the world market. The main objective of my bachelor thesis is to create a general overview and to introduce readers to the issue.

Key words

energy of biomass, wood gas, history of gasification, biomass gasification, gasifier equipment, the use of wood gas

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne 3.6.2013

.....

Ondřej Radina

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Petru Jindrovi za cenné rady a kontakty. Dále bych rád poděkoval Ing. Radovanu Šejvlovi za poskytnuté materiály, Bc. Jiřímu Musílkovi za poskytnutí ekonomického modelu a rodině za podporu při studiu.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM ZKRATEK	9
1 ENERGIE Z BIOMASY	10
1.1 DŘEVO JAKO SUROVINA PRO ZPLYŇOVÁNÍ	11
1.2 HISTORIE ZPLYŇOVÁNÍ	12
1.3 DŘEVOPLYN	13
1.4 NEČISTOTY V PLYNU	14
1.5 OSTATNÍ ENERGETICKÉ PLYNY	16
2 TECHNOLOGIE VÝROBY	18
2.1 ZPLYŇOVÁNÍ	18
2.2 KONSTRUKCE GENERÁTORU	22
2.2.1 Zplyňovací generátory s pevným ložem	23
2.2.2 Zplyňovací generátory s fluidním ložem	25
2.2.3 Zplyňovací generátory s unášivým ložem.....	26
3 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ PLYNU	27
3.1 PLYNOVÉ HOŘÁKY A KOTLE	28
SPALOVACÍ MOTORY	29
3.2 PLYNOVÉ TURBÍNY	30
3.3 PALIVOVÉ ČLÁNKY	30
3.4 KAPALNÁ A PLYNNÁ PALIVA	31
4 SITUACE NA TRHU A EKONOMICKÁ VÝHODNOST	31
4.1 DŘEVOPLYNOVÉ KOTLE.....	31
4.2 ZPLYŇOVACÍ A KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	32
5 ZÁVĚR	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	39
PŘÍLOHY	42

Úvod

Pro toto téma jsem se rozhodl, protože mne velmi zaujala myšlenka přeměny biomasy a především dřevních odpadů na využitelný plyn, který by mohl být levnější alternativou fosilním palivům. Technologie dřevoplynu byla využívána již dříve, ale až vývoj v oblastech automatizace, elektrotechniky, strojírenství, chemie a materiálového inženýrství navrátil zplyňování znovu do hry. Problematika zplyňování je velmi rozsáhlé téma, které prostupuje napříč více obory. V bakalářské práci se snažím shrnout základní poznatky v tomto oboru. Pro lepší orientaci a snadnější porozumění jsem rozdělil práci na čtyři části. V první části vytvářím přehled energetického využití biomasy, popisuji co si pod pojmem dřevoplyn vlastně představit a jaké nečistoty tento energetický plyn obsahuje. Neméně důležitou částí pro úplnou představu je také historie používání dřevního plynu. Druhá část je zaměřena na konstrukční uspořádání a popis jednotlivých zplyňovacích reaktorů, jejich výhody, nevýhody a vhodnost použití. Přibližuji zde chemické procesy, ke kterým při zplyňování v reaktoru dochází a jejich vliv na výsledný plyn. V další části uvádím možnosti využití dřevoplynu pro energetické účely. Zmiňuji limitní hodnoty nečistot a možná omezení, vyplívající z požadavků na kvalitu plynu. Poslední část práce je věnována přehledu aktuálně komerčně nabízených a odzkoušených zplyňovacích zařízení uvedených na trh.

Seznam zkratk

CH₄.....Metan

NH₃Amoniak

HCN.....Kyanovodík

KJ.....Kogenerační jednotka

1 Energie z biomasy

Biomasa je definována jako biologicky rozložitelná část výrobků, odpadu, zbytků z provozování zemědělství, lesního hospodářství, souvisejících průmyslových odvětví, zemědělské produkty pěstované pro energetické účely a rovněž biologicky rozložitelná část vyříděného průmyslového a komunálního odpadu. energii z biomasy lze získávat termochemickou nebo biochemickou přeměnou. Nejdůležitější limitující faktory pro využití biomasy k energetickým účelům jsou výhřevnost, způsob zpracování, druh získané energie, obsah popelovin, prchavých látek, vlhkosti, dostupnost a samozřejmě cena. Výhřevnost je dána podílem prchavé hořlaviny. Hořlavina je složena z popelovin a směsi hořlavých uhlovodíků (celulózy, hemicelulózy a ligninu). Převážnou část složení tvoří uhlík, vodík a kyslík. (C 44 - 51% , H₂ 5.5 - 6.7% , O₂ 41 - 50%). Ve stopovém množství jsou zde zastoupeny také prvky Zn, Cl, Pb, Ca, Mg, Na a K. Množství těchto stopových látek je ovlivněno místem původu. Biomasa je spalována přímo nebo spalujeme produkty jejího zpracování (kapalně a plynně). Podle způsobu přeměny můžeme biomasu rozdělit následovně:

Tab. 1.1 Přeměny biomasy, zdroj: vlastní zpracování

Typ přeměny biomasy	Způsob přeměny	Energetický výstup	Druhotná surovina
Suché procesy (termochemické)	Spalování	vázané teplo	popeloviny
	Zplyňování	syntézní plyn	dehtový olej, uhlíkaté palivo
	Pyrolýza	syntézní plyn, dřevěné uhlí	dehtový olej, pevné hořlavé zbytky
Mokré procesy (biochemické)	Anaerobní digesce	bioplyn	fermentovaný substrát
	Aerobní digesce	vázané teplo	fermentovaný substrát
	Alkoholová fermentace	alkohol	výpalky
Fyzikálně-chemické procesy	Esterifikace bioolejů	metylester biooleje	glycerin

Již výše zmiňovaná vlhkost, resp. obsah sušiny je velmi významným parametrem. Hodnota 50 % sušiny je přibližnou hranicí mezi suchými a mokřými procesy. Podle Tab. I.I patří

zplyňování k suchým procesům. Příliš vlhká biomasa není vhodná pro termochemickou přeměnu. Vlhkou biomasu lze využít při biochemických procesech, například při výrobě bioplynu anaerobní digescí. [6]

1.1 Dřevo jako surovina pro zplyňování

Dřevo patří z hlediska rozdělení biomasy podle původu do skupiny dendromasa, jinými slovy dřevní hmota. Pro termochemickou přeměnu můžeme použít rychle rostoucí dřeviny, kusové dřevo a odpadní dendromasu. Rychle rostoucí dřeviny jsou energetické plodiny mající největší příbytek materiálu během obmýtní doby 6 až 12 let, dle vysázeného druhu (např. vrby, topoly, olše, akáty, osiky, břízy). Odpadní dendromasa je produkt z dřevních závodů, lesních prořezů, těžby a procesů spojených s údržbou krajiny (např. hobliny, kůra, větve), zpracovaný dále na štěpku, pelety a brikety. Dřevo, od něhož je název dřevoplyn historicky odvozen, je velmi vhodným palivem hlavně pro svůj nízký obsah popela 0.1 až 6 % a skoro zanedbatelný obsah síry < 0.1 %. Nevýhodou může být ona vysoká vlhkost. Čerstvě poražené dřevo má v celém svém objemu různý obsah vody, který může činit až 55 %. Takový obsah vody není pro zplyňování přípustný. Vyšší množství vody významně ovlivňuje kvalitu zplyňování a dopravu paliva. Při zplyňování musí dojít k odpaření přebytečné vody, což má za následek, snížený energetický výnos, zvýšený obsah oxidu uhličitého a nadměrnou tvorbu dehtu. Dobře vyschlé dřevo má po roce sušení na vzduchu 20% obsah vody. Umělým vysoušením v sušárně lze vlhkost snížit na 10 %. Tyto hodnoty jsou přibližně stejné pro všechny druhy dřeva. Ke zplynění můžeme používat dřevo již s 25% obsahem vody, ideální jsou hodnoty v rozmezí 10 - 15 %. Důležitá je i správná velikost vstupujícího paliva, jinak by mohlo docházet k přerušování plynulé výroby plynu nebo k omezení potřebného množství plynu. Při použití kusového dřeva se používají špalky o hranách 5 - 10 cm nebo hrubá štěpka v délce 3 - 12 cm. [18]

1.2 Historie zplyňování

Dřevní plyn nebyl vždy žádanou látkou, ale nejprve vznikal jako vedlejší produkt při výrobě dřevěného uhlí v milířích, kde docházelo ke karbonizaci dřeva a úniku plynu skrz vrstvu hlíny tvořící izolaci. První pokusy o výrobu dřevoplynu zplyňováním provedl Philippe Lebon na konci 18. století, ale teprve v Londýně roku 1812 byla uskutečněna první úspěšná suchá destilace (uvolňování plynných látek z organických sloučenin). V 30. letech 19. století začal růst zájem o vytápění dřevoplynem. Během roku 1839 byl vyvinut Gustavem Bischofem první komerční zplyňovač a od roku 1840 byl plyn produkovaný z hnědého uhlí, koksu a dřeva používán pro výrobu tepla. Dřevoplyn byl až do nástupu zemního plynu levnou náhradou tehdejšího svítiplynu, který se používal pro svícení, vytápění a vaření.

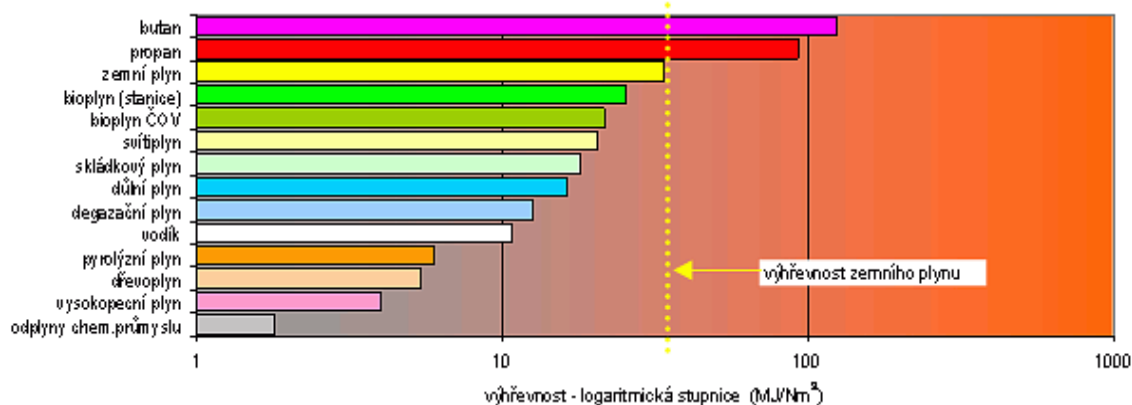
Tím ale využití dřevoplynu neskončilo. Francouzský mechanik Jean Lenoir roku 1860 sestrojil plně funkční stacionární plynový motor a již roku 1884 byly v Anglii známy upravené plynové motory. Začátkem 20. století byl zkonstruován T. H. Parkerem první automobil poháněný dřevoplynem s vlastní mobilní zplyňovací jednotkou. V době krize byl dřevoplyn levnou alternativou, trpěl však zásadními nedostatky, mezi které patřilo časté zanášení kamen a motorů dehtem. Běžný byl snížený a nestálý výkon. Při větším množství popílku (prachu) docházelo ke zvýšenému opotřebení abrazí konstrukčních částí. Lepší volbou v tuto dobu byly rychle se rozšiřující elektromotory a naftové motory, které nevyžadovali složitou údržbu. Kvůli těmto nevýhodám byl odsunut na druhou kolej. Tyto nevýhody byly z velké části podpořeny neznalostí konstrukce generátoru, jeho údržby a absencí čištění výchozího plynu. Největšímu zájmu se této technologii dostalo až s hospodářskou krizí po 1. světové válce a s příchodem 2. světové války v letech 1938 až 1945, se kterou byl spojen nedostatek ropných paliv a jejich přidělový systém. Většinu benzínu a nafty využívaly složky armády.

Došlo k širokému využití generátorů plynu v zemědělství, v průmyslu, pro pohon stacionárních motorů, v automobilové a lodní dopravě. Dokonce i armáda využívala generátory u vozidel sloužících pro cvičné boje nebo transport materiálu. Ve Švédsku v roce 1945 i navzdory nespolehlivosti pohonu na dřevoplyn, jej využívalo více než 40 % dopravních prostředků. V Dánsku dokonce 90 % vozidel. Odhaduje se, že bylo v provozu 9 miliónů zplyňovacích jednotek. Po 2. světové válce vzrostla dostupnost ropných paliv a zájem v oblasti zplyňování upadl, i přes svůj strategický význam nebylo dále podporováno. Nicméně ve Švédsku pokračovali ve výzkumu, který byl urychlen Suezskou krizí roku 1956.

Omezení dodávek ropy Suezským průplavem zajistilo zplyňovacím technologiím místo ve Švédských nouzových strategických plánech. Výzkum provedl Národní švédský institut pro testování zemědělské techniky, který je stále v činnosti. Vozidla taxislužby na dřevoplyn byly k vidění v Koreji ještě v 70. letech. [9,10]

1.3 Dřevoplyn

Dřevoplyn, někdy též nazývaný jako energoplyn nebo syntézní plyn, je tvořený směsí uhlovodíků a vzniká procesem zvaným zplyňování (termochemickou konverzí). V podstatě je to obecný pojem označující produkty zplyňování biomasy. Dřevoplyn je tvořený výhřevnými složkami CH_4 , H_2 , CO , doprovodnými složkami H_2O , N_2 , CO_2 a nečistotami ve formě prachových částic, dehtu, vyšších uhlovodíků, tuhého zbytku a dalších sloučenin síry, dusíku, chloru, fluoru a alkalických kovů. Výhřevnost při zplyňování vzduchem se pohybuje okolo $4 - 7 \text{ MJ/m}^3$ a v případě použití kyslíku nebo vodní páry $14 - 18 \text{ MJ/m}^3$. Ve srovnání s bioplynem je to čtyřikrát méně, v případě zemního plynu až osmkrát viz. Obr. 1.1. Jedná se tedy o nízkovýhřevný plyn, který může být použit jako palivo v kotlích, hořácích, plynových motorech v kogeneračních jednotkách a plynových turbínách.



Obr. 1.1 - Výhřevnosti plynů, zdroj: [20]

Dřevoplyn je bezbarvá hořlavá směs plynů lehčí než vzduch. Vlivem obsaženého CO má toxické účinky (jedovatý) a charakteristicky zapáchá po dehtu. Přibližné složení dřevoplynu odpovídá 45 - 60 % dusíku, 10 - 30 % oxidu uhelnatého, 8 až 25 % vodíku, 2 až 16 % oxidu uhličitého a až 5 % metanu. Obsahuje též řadu nežádoucích látek způsobujících abrazi, korozi, narušení chemických reakcí (katalyzátory), tvorbu usazenin a ekologické zátěže (CO , NO_x). [1]

1.4 Nečistoty v plynu

Kvůli negativním účinkům na provoz zařízení jsou některé složky v plynu nežádoucí. Jak bylo již uvedeno, způsobují tvorbu usazenin, abrazi, korozi a narušují chemické reakce.

Rozdělení nečistot:

- pevné částice (prach)
- dehet
- sloučeniny síry, dusíku, chlóru
- alkalické sloučeniny

U spalovacích motorů může negativně působit na kvalitu mazacího oleje také fluor a křemík.

Pevné částice

Jako pevné částice jsou definovány látky ve výstupním plynu tvořené nezreagovanou částí biomasy a popelovinami (anorganické látky). Určitý podíl je tvořen také sazími a jejich odstranění je vlivem dehtu problematické. Navíc při zchlazení plynu hrozí vznik dalších pevných částic. K odstranění se používají mokré vypírky, bariérové filtry, cyklony a elektrostatické odlučovače. [14,21]

Dehet

Dehet je směs vyšších uhlovodíků a jejich sloučenin, kondenzujících při ochlazení plynu, jejichž složení je závislé na typu zařízení a podmínkách při jakých je provozováno. Ne všechny složky pod označením dehet jsou nežádoucí. Některé mohou zvyšovat výhřevnost plynu. Za problematické se považují dehty, které kondenzují při teplotách vyšších než 0 °C. Zdrojem dehtu je prchavá hořlavina obsažená v biomase a uvolňovaná pyrolýzou. Obsah dehtu v plynu se pohybuje v rozmezí 0.1 - 100 g/m³ a v kombinaci s prachem tvoří četné usazeniny. Opatření proti vzniku dehtu dělíme na primární a sekundární. Primární metody jsou zaváděny přímo ve zplyňovacím reaktoru. V oxidační zóně nastává za vysokých teplot částečná transformace dehtů. Využívá se rozkladu uhlovodíků (krakování) za přítomnosti katalyzátoru (dolomit, olivín), který sníží teplotu štěpení dehtů na 800°C. Množství dehtu se

tak výrazně sníží, ale nedosáhneme tak potřebné kvality plynu. Za sekundární metodu čištění považujeme úpravu již produkovaného plynu. Nejčastěji je využívána mokrá vypírka, katalytické metody a keramické filtry. Využívá se přírodních katalyzátorů (zeolit, kalcit, dolomit, olivín) nebo kovových katalyzátorů (Co, Mo, Ni atd.). Použitím horkých keramických filtrů a kovových katalyzátorů umožňuje provoz ve spalovacích motorech. [14,21]

Síra

Při zplyňování se vyskytuje hlavně v podobě H_2S nebo SO_x . Obsah síry v dendromase bývá většinou pod hranicí 0.1 % hmotnosti a v převážné většině aplikací využívající dřevoplyn není třeba sloučeniny síry odstraňovat. Potenciální komplikace se mohou vyskytnout v případě použití některých katalyzátorů na odstraňování dehtu, které jsou citlivé i na nízký obsah síry např. kovové katalyzátory. V kombinaci s chlorem, fluorem a alkalickými sloučeninami způsobuje síra korozi konstrukčních materiálů. V potrubích se mohou vlivem kondenzace vyskytovat kyseliny HCl, HF a H_2SO_4 , které jsou příčinou degradace provozních olejů a korozi dalších částí. V praxi se sloučeniny síry odstraňují mokrou vypírkou, nebo vhodným sorbentem. [14,21]

Chlor

Nejčastější reaguje chlor s vodíkem a tvoří kyselinu HCl, která je odstranitelná též mokrou vypírkou. Chlor způsobuje korozi konstrukčních částí. [14,21]

Alkalické sloučeniny

Alkalické látky tvoří při zplyňování sloučeniny jako např. KCl a KOH. Nemají takový vliv jako prach a dehet, ale velmi rychle reagují s chlorem a sírou. Hrozí zde kondenzace a koroze. Při přímém spalování plynu jsou přípustné. U plynových turbín a spalovacích motorů však mohou způsobit jejich destrukci. [14,21]

Dusíkaté sloučeniny

V generovaném plynu je převážná většina dusíku ve formě N_2 . Zplyňovací reaktor vytváří mimo jiné také malá množství NH_3 a HCN, která primárně vznikají konverzí N_2 obsaženém v palivu. Z tohoto důvodu je podíl těchto složek závislý na složení paliva. Při spalování

vytvářejí sloučeniny NO_x . Jejich odstranění se provádí katalytickými metodami nebo mokrou vypírkou při nižších teplotách. [14,21]

1.5 Ostatní energetické plyny

Zemní plyn

V mnoha případech se vyskytuje společně s ropou nebo uhlím, ale také je těžen samostatně. Zemní plyn je vysoce výhřevný, hořlavý, bezbarvý, přírodní plyn přibližně dvakrát lehčí než vzduch a bez charakteristického zápachu. Zároveň je také nejčistším primárním palivem. Více než 70 % obsahu je tvořeno metanem, dále pak oxidem uhličitým, sulfanem a vyššími uhlovodíky. Produkované spaliny mají v porovnání s ostatními primárními palivy nejmenší obsah CO , NO_x a neobsahují prakticky žádné oxidy síry, ani pevné částice (popílek). Výhřevnost zemního plynu se pohybuje v rozmezí 20 - 40 MJ/m^3 . Po vytěžení je z důvodu jeho dopravy a dalšího využití provést jisté úpravy. Zemní plyn musíme vysušit, zbavit mechanických nečistot a nežádoucích příměsí jako je voda, sulfan, sloučeniny síry, soli, vosky, prach. Důsledkem přítomnosti vody je tvorba hydrátů, koroze konstrukčních částí a eroze regulátorů v potrubí při dopravě. Mechanické nečistoty se odstraňují pomocí separátoru a filtru, vlhkosti se zbavujeme sušením pomocí trietylenglykolu v absorpční koloně a konečné odstranění kyselých plynů CO_2 a H_2S se provádí v absorberu. Mezi nevýhody patří nutnost těžby až v několika kilometrové hloubce a nutnost dopravní sítě. Naopak značnou výhodou je vysoká výhřevnost, méně náročná úprava plynu a možnosti jeho dalších úprav např. zkapalnění (LPG) a stlačování (CNG). Vzhledem ke své čistotě je zemní plyn úspěšně využíván, kromě výroby tepla i v kogeneračních jednotkách na bázi spalovacích motorů a plynových turbín. [25,26]

Tab. 1.II Složení zemního plynu, zdroj: [23]

Složka		Obsah v %
Metan	CH_4	70 - 90
Étan, Propan, Butan	C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10}	0 - 20
Oxid Uhličitý	CO_2	0 - 8
Kyslík	O_2	0 - 0.2
Dusík	N_2	0 - 5
Sirovodík	H_2S	0 - 5
Vzácné plyny	A, He, Ne, Xe	stopové množství

Bioplyn

Bioplyn vzniká rozkladem organických látek rostlinného a živočišného původu bez přístupu kyslíku na anorganické produkty a plyn. Tento proces zajišťují bakterie pracující za teplotního rozmezí 0 až 70 °C v prostředí chudém na kyslík (anaerobní metanová fermentace). Pod názvem bioplyn se skrývá plynná směs složená převážně z metanu cca 60 % a oxidu uhličitého cca 30 %. Složení je proměnlivé s ohledem na skutečnost, je-li plyn produkovaný fermentorem nebo skládkou. Dalšími složkami jsou sulfan, oxid uhličitý, vodík, dusík, křemík a nepatrné množství amoniaku. Procentuální zastoupení jednotlivých složek viz. Tab. 1.III. Výhřevnost bioplynu se pohybuje od 18 do 25 MJ/m³ a blíží se tedy výhřevnosti zemního plynu. Největší problémy způsobují sloučeniny křemíku a síry, které se usazují v motorech kogeneračních jednotek a způsobují korozi. Jejich odstranění se provádí například použitím vhodné absorpční metody (aktivního uhlí) nebo pomocí biologické metody rozkladu sírnými bakteriemi. [23]

Tab. 1.III Složení bioplynu, zdroj: [23]

Složka	Obsah v %
CH ₄	45 - 75
CO ₂	25 - 48
H ₂	0 - 3
H ₂ S	0,0 - 1
N ₂	1.3
NH ₃	stopové množství

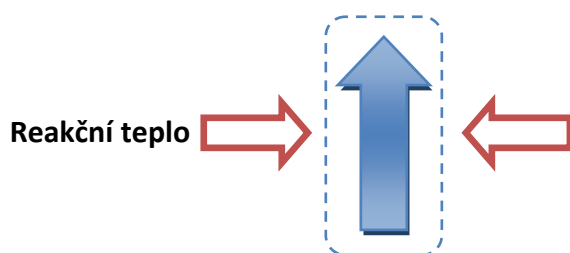
Důsledkem biologických pochodů na skládkách tuhých komunálních odpadů je tvorba skládkového plynu, jehož složení se v průběhu let mění. Probíhají zde stejné procesy jako u bioplynu. Kvalitní skládkový plyn se svým složením podobá bioplynu. Podstatnou nevýhodou bioplynu je v případě fermentorů velký požadavek na místo a nutnost zajištění odběru elektřiny a tepla, což je především problémem u skládek. [23]

2 Technologie výroby

2.1 Zplyňování

Termochemické zplyňování je proces konverze pevných uhlíkatých látek na hořlavý plyn při teplotách až 1500°C. Celý proces probíhá za omezeného (podstechiometrického) přístupu zplyňovacího média za vhodných podmínek v zařízení zvaném reaktor nebo zplyňovač. Reaktor si představíme jako válcovou nádobu, ve které dochází vedle dokonalého spalování paliva k tvorbě plynných produktů nedokonalého spalování a dalších využitelných látek. Výroba těchto plynů je reakcí vodní páry a oxidu uhličitého přes žhnoucí vrstvu dřevěného uhlí. Výstupem tohoto procesu je hořlavý plyn. Pro další použití je nutné plyn vyčistit nebo přímo spalovat v hořácích.

Dřevoplyn = CH₄ + H₂ + CO + doprovodné složky + nečistoty

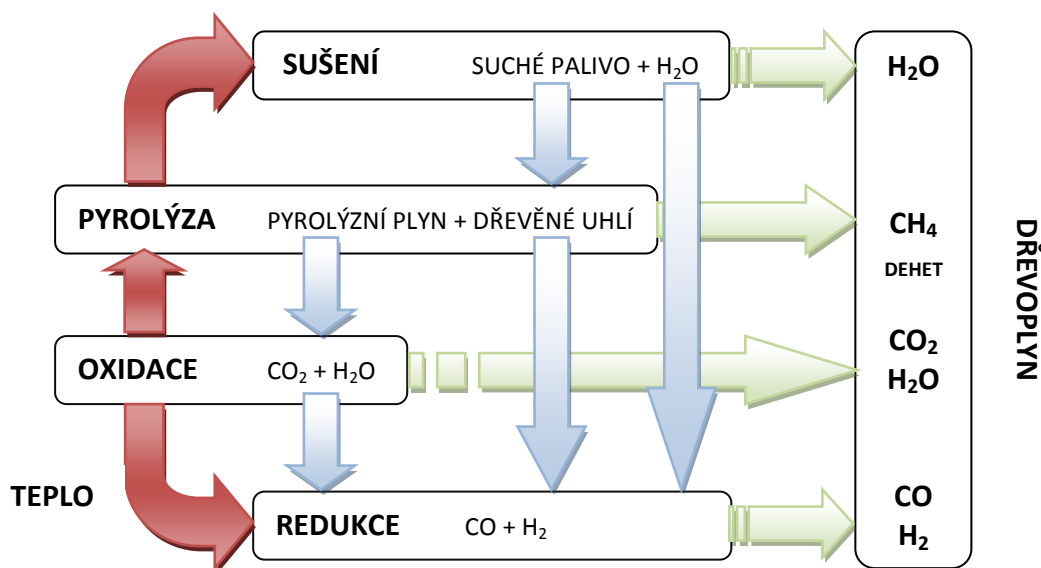


Palivo + zplyňovací médium (vzduch, kyslík, pára nebo jejich kombinace)

Obr. 2.1 - Princip zplyňování

Při zplyňování dochází k reakcím, které můžeme popsat pomocí čtyř základních fází:

- sušení paliva
- pyrolýza
- redukce
- oxidace



Obr. 2.2 - Fáze zplvňování

V závislosti na konstrukčním řešení reaktoru mohou probíhat reakce postupně u sesuvných reaktorů anebo zároveň v případě fluidních reaktorů. Reakce probíhající v jednotlivých zónách jsou ovlivňovány množstvím vlhkosti, tlakem, teplotou, reakčním povrchem a dobou setrvání. Oxidace je jediným exotermickým pochodem, ostatní pochody energii spotřebovávají. Pokrytí energie pro endotermické reakce je řešeno dvěma principy:

- Autotermní princip
- Alotermní princip

V případě autotermního principu využijeme energii části paliva určeného ke zplyňování, kterou získáme jeho shořením. V tomto případě je nutný přívod vzduchu. Vzduch nám naředí plyn dusíkem a dojde tak ke snížení výhřevnosti. Možným řešením této situace je přívod čistého kyslíku nebo molekulární síto (redukce N_2), čímž se zvýší finanční náklady. Další možností je alotermní dodání energie, kdy potřebnou tepelnou energii dodáváme nepřímo ohřevem stěn reaktoru, či předehtím zplyňovacího média (vodní pára nebo směs s oxidem uhličitým) nebo inertním materiálem (např. písek). Výsledný produkt má vyšší výhřevnost opět za cenu vyšších nákladů. Použito může být i odpadní teplo výfukových plynů spalovacího motoru pro zlepšení energetické bilance. [17]

Zóna sušení

Palivo se zbavuje volně vázané vody zahříváním na teplotu 200°C. Reakce probíhající při vysoušení jsou endotermické a vyžadují velké množství tepla, které se uvolňuje z oxidační zóny. Vyšší obsah vlhkosti zdatelně snižuje účinnost přeměny. Proto se preferuje palivo s nižším obsahem vlhkosti, ideálně do 15 %. Vzniklé páry přecházející u protiproudého reaktoru do plynu nebo v případě souproutého reaktoru mohou dále reagovat v redukční zóně. [5,17]

Zóna pyrolýzy

Pyrolýza, neboli odplynění, probíhá za nepřístupu zplyňovacího média při teplotách 300 °C až 700 °C. Průběh pyrolýzy spočívá ve štěpení původních molekul s dlouhými řetězci, na kratší stabilní molekuly a tuhý zbytek podobný koksu. Palivo se ohřívá na mez termické stability daných organických sloučenin. Nastává tepelný rozklad organických látek při 300 °C až 500 °C na dřevěné uhlí, za vzniku kondenzovaných uhlovodíků (dehtů) a plynů. Tomuto procesu se říká suchá destilace. Při teplotách nad 500 °C se produkty suché destilace dále štěpí a přeměňují. Z pevného uhlíku a kapalných látek tvořených převážně dehtem a vodní parou, vznikají stabilní plynné látky CH₄, H₂, CO a CO₂. Konečné produkty jsou pyrolýzní plyn, olej, který vznikl kondenzací par, a koks (zbytek). Zbytek obsahuje nejčastěji 80 až 85 % uhlíku, 15 až 20 % prchavé látky a 0 až 2 % popel. Tyto produkty následně přecházejí do oxidační zóny. Účinnost zplyňovače ve velké míře ovlivňuje kvalita zplynění dřevěného uhlí, a proto je oblast pyrolýzy nejdůležitější. Rozhodující je složení a poměr organických anorganických látek paliva. [5,17]

Zóna oxidace

Spalováním vzniká potřebné teplo, nutné pro zplyňovací proces. Pokud je použit stechiometrický obsah kyslíku nebo vzduchu, vytvoří se oxidační vrstva s teplotou až 1500 °C. Oblast oxidace se nachází u přívodu zplyňovacího média. Spalují se zde především plynné produkty pyrolýzy a část uhlíkatého zbytku. [17]

Oxidace plynných produktů probíhá podle následujících rovnic:

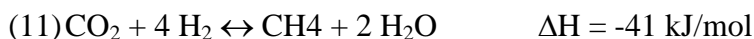
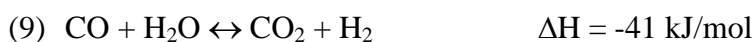




Naším cílem je částečná oxidace pevného uhlíku a tvorba oxidu uhelnatého (1). Výsledkem je přeměna biomasy na spalitelný plyn. Úplnou oxidací pevného uhlíku (2) vzniká oxid uhličitý. Po dobu, kdy je nutné dodávat energii pro průběh procesu, je tato reakce žádoucí. Oxid uhličitý z reakce (3) a (5) není spalitelný, proto jsou tyto exotermické reakce nežádoucí. Při průchodu produktů pyrolýzy skrz zónu oxidace dochází k velkému snížení obsahu dehtu výstupního plynu. [5,17]

Redukční zóna

V této oblasti reagují plynné produkty částečné oxidace (H_2O , CO_2), které procházejí vrstvou rozpáleného dřevěného uhlí. Všechny redukční reakce jsou žádané a mají významnou roli, jelikož se podílejí na tvorbě spalitelného plynu. Boudardova reakce (6) a heterogenní reakce vodního plynu (7) jsou hlavní redukční reakce. CO_2 se redukuje na CO a H_2O na H_2 . Tyto reakce jsou silně endotermické a snižují teplotu plynu. V důsledku toho se v redukční zóně pohybují teploty okolo $800 \text{ }^\circ\text{C}$ až $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Heterogenní vznik metanu je zapsán reakcí (8). Společně s heterogenními reakcemi probíhá i homogenní reakce vodního plynu (9) a homogenní vznik metanu (10-11). [5,17]



2.2 Konstrukce generátoru

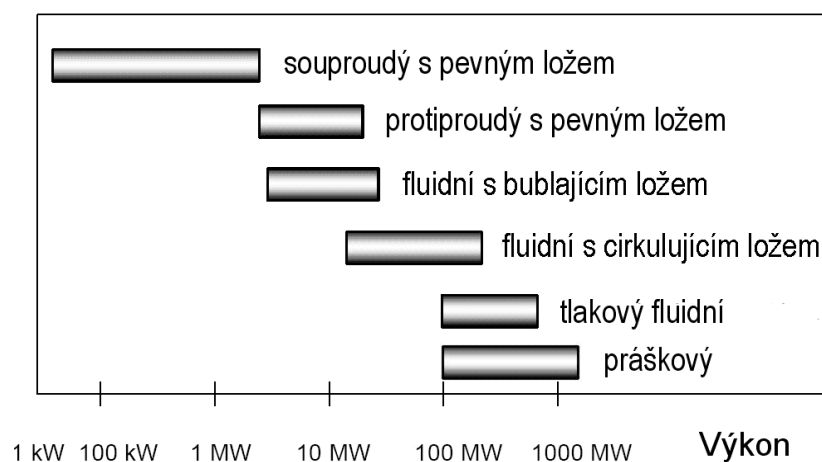
Během vývoje zplyňování byly vyvinuty tři základní konstrukce zplyňovacích reaktorů, pokrývající široké rozmezí výkonů viz Obr. 2.3 :

- generátory s pevným ložem (sesuvné)
- generátory s fluidním ložem
- generátory s práškovým ložem (unášivé)

Tab. 2.1 Vlastnosti zplyňovačů, zdroj: [10,11]

Typ reaktoru	Výstupní teplota [°C]	Dehet [g/m ³]	Prach [g/m ³]
sesuvný souproudý	500 - 800	0,1 - 2	0,1 - 1
sesuvný protiproudý	70 - 300	10 - 100	0,1 - 0,5
fluidní stacionární	750 - 950	2 - 5	20 - 100
fluidní cirkulační	750 - 950	1 - 20	5 - 50
unášivý	1000 - 1300	-	-
dvoustupňový	700 - 750	> 0,005	0,1 - 100

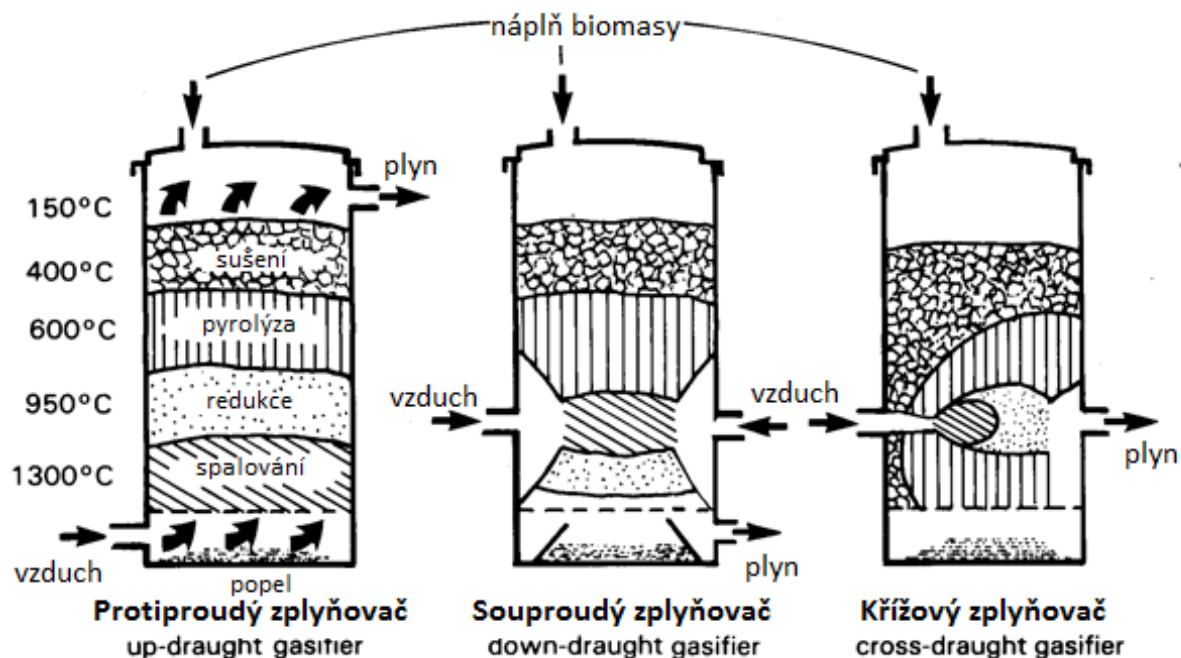
Zvláštní skupinou jsou dvoustupňové procesy tvořené jejich kombinací, které umožňují produkovat plyn téměř prostý dehtů.



Obr. 2.3 - Obvyklé výkony zplyňovačů, zdroj: [8]

2.2.1 Zplyňovací generátory s pevným ložem

Generátor s pevným ložem (sesuvný reaktor) je nejpoužívanějším typem zplyňovacího reaktoru pro zplyňování dřeva. Podle směru proudění média a paliva se dělí na protiproudý, souproudý a křížový. Směr proudění ovlivňuje účinnost reaktoru, složení plynu, obsah dehtu a prachových částic. Schéma jednotlivých typů viz *Obr. 2.4*.



Obr. 2.4 - Typy zplyňovačů, zdroj: [17], vlastní zpracování

Protiproudý zplyňovač

Protiproudý reaktor má jasně definované zóny pro spalování, redukci, pyrolýzu a sušení, které se více či méně prolínají. Zplyňovací médium, přiváděné spodní částí, proudí proti směru paliva a prochází postupně všemi zónami. Shora je dodáváno palivo, které se vlastní vahou posouvá dolů. Teplo pro sušení paliva je přiváděno ze vzhůru stoupajících plynů a částečně zářením oxidační zóny. V oblasti sušení jsou zachycovány produkty pyrolýzy, prach, vodní páry a plyn se zde ochlazuje pod 250 °C. V zóně pyrolýzy je palivo rozloženo na hořlavé plyny. V redukční zóně je uhlík přeměněn na CO a H₂. Zbytek pevných látek je v oxidační zóně spálen a zajišťuje teplo, CO₂ a vodní páru pro redukční reakce. Výstupní plyn je odváděn z horní části.

Protiproudý zplyňovač vyniká jednoduchou konstrukcí, nenáročností na vlhkost paliva (až 50 %) a použitelností v širokém rozpětí výkonů. Vzniklý plyn má výhřevnost

až 7 MJ/m^3 , nízký obsah prachových částic a v popelu malý obsah nedopalu. Tento typ zplyňovače má nejvyšší účinnost přeměny energie ($>80 \%$). Hlavní nevýhodou je nadměrná produkce dehtu (není v praxi často využívám), protože pyrolýzní plyny neprocházejí oxidační zónou a nedochází tak k jejich částečnému rozkladu. V případě využití plynu k přímému spalování v kamnech, hořácích, rotačních a žíhacích pecích se obsažený dehet spálí. Problém nastává při využití pro plynové motory a turbíny, kdy je nutné plyn vyčistit. [5,18]

Souproudý zplyňovač

V souproudém zplyňovači proudí plyn stejným směrem jako palivo, které postupně prochází zónou sušení, pyrolýzy, oxidace a redukce. Pod přívodem zplyňovacího média se nachází vrstva aktivního dřevěného uhlí, kde probíhá tvorba většiny plynných látek. Při vysoké teplotě se dehty v oxidační zóně štěpí a jejich obsah v plynu klesá. Za redukčním pásem jsou v uhlíkatém loži z části zachyceny prachové částice. U tohoto typu reaktoru je kladen důraz na tvar a vlhkost paliva, vzhledem k možnému vzniku studených oblastí nad ložem a vyšší produkci dehtu. Je tedy nutné zajistit optimální teplotu reaktoru pro správný chod. Stabilizací procesu a vhodnou vlhkostí paliva (do 25%) ovlivníme obsah dehtu, ale neovlivníme větší množství prachových částic. Navzdory menšímu využití paliva (30 až 70% tvoří tuhý zbytek) je výhřevnost plynu dostatečná (až $6,5 \text{ MJ/m}^3$). Po zchlazení a odstranění prachových částic je plyn použitelný pro spalovací motory. Výsledný plyn obsahuje nízké procento dehtu a je tak ideální pro KJ, kotle, kontinuální pece a sušičky.

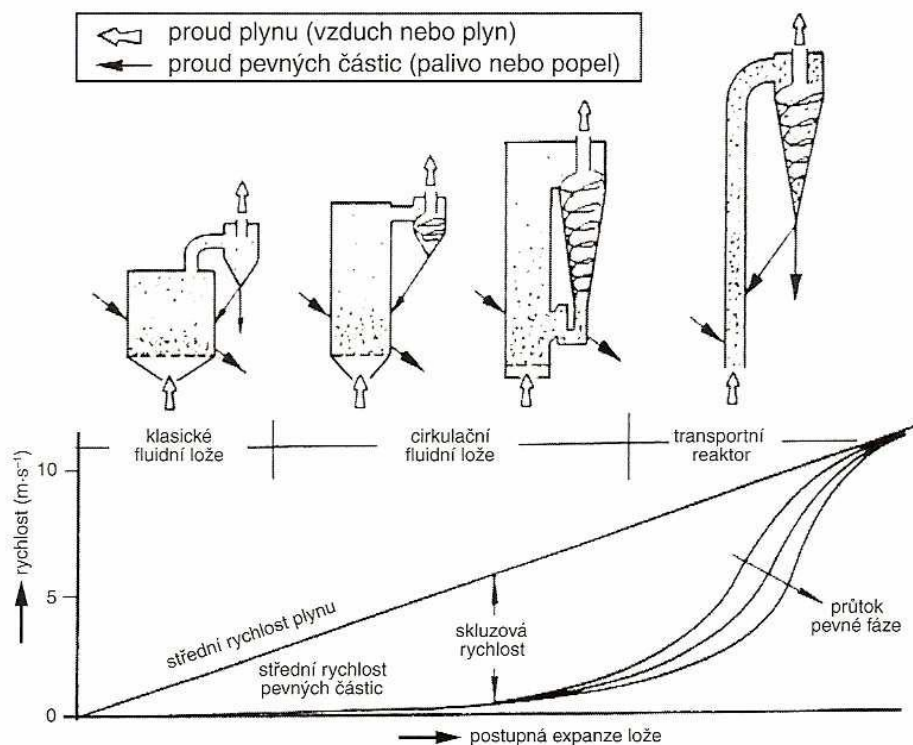
Pro použití v KJ je z hlediska její životnosti a spolehlivosti plyn dodatečně zbavovat dehtů. Ve snaze snížit koncentraci dehtů se objevují speciální souproudé zplyňovače. Příkladem může být vícestupňový souproudý zplyňovač, který má jednotlivé fáze pevně oddělené. Fáze pak můžeme překrývat či měnit jejich vzájemnou polohu. [5,18]

Křížový zplyňovač

Původní využití bylo pro zplyňování uhlí. V oblasti oxidace se vyznačuje vyšší teplotou (až $1500 \text{ }^\circ\text{C}$), což má za následek vyšší nároky na kvalitu zpracování zařízení. Nevýhodou je nízký rozklad dehtu a vysoké nároky na kvalitu paliva. Výhoda tohoto systému spočívá v jednoduchém čištění plynu a nízké ekonomické náročnosti. Čistící trasa, tvořená pouze cyklonem a horkým keramickým filtrem, může být připojena rovnou k spalovacímu motoru. Použití je omezeno malým rozsahem výkonů viz. Obr. 2.3. [5,18]

2.2.2 Zplyňovací generátory s fluidním ložem

Technologie používaná pro zplyňování uhlí byla použita pro biomasu z důvodů předcházení provozním problémům, které se objevovaly u zplyňovačů s pevným ložem. Mezi tyto problémy patří tvorba výrazně chladnějších a teplejších oblastí, tvorba klenby v reaktoru, omezení velikosti a nevhodnost použití drceného paliva. Fluidní reaktor je naplněn pevným materiálem, který je vlivem vhněnění média o dostatečné rychlosti udržován v turbulentním pohybu.



Obr. 2.5 - Typy fluidních zplyňovačů, zdroj: [17]

Tento stav se nazývá fluidizace. Pevné částice se vlivem plynu chovají jako kapalina. Jako pevný materiál v loži se používá převážně křemenný písek nebo jiný katalyticky aktivní materiál. Probíhající procesy nelze rozdělit do čtyř oblastí jako u předchozích. Procesy probíhají najednou v celém objemu reaktoru a rychle dojde k jejich promísení. Lože je rovnoměrně vyhříváno a po dosažení optimálně vysoké teploty jsou částice paliva zavedeny dolní částí do reaktoru. Podle granulometrie paliva se určuje pracovní režim reaktoru. Zplyňování probíhá velmi rychle. Ve výsledném plynu je vždy určité množství dehtu a prachových částí, které je možné čistit v cyklonu a horkém keramickém filtru. Přibližně čtvrtina paliva, zajišťující průběh reakcí shoří a zbytek se zplyní. Výhodou fluidního lože je snadnější změna poměru média a paliva. Regulace teploty lože je tedy lehčí. Teplota

ve fluidní vrstvě bývá téměř konstantní. Se vzrůstající teplotou zplyňování se zvyšuje kvalita plynu, roste obsah H_2 , snižuje se množství dehtů, CO_2 , obsah CH_4 se nemění nebo klesá. Množství CO záleží na reakčních podmínkách. Při snížení teploty je jediným kladem snížení finanční náročnosti. Obvyklé pracovní teploty jsou v rozmezí 800 až 900 °C. Velice důležitou vlastností tohoto zplyňovače je také možnost zpracovat různé druhy paliv, jelikož je v praxi velmi obtížně (až nemožné) zajistit přísun paliva s konstantními vlastnostmi. [17,22]

Fluidní generátory se dělí na dva základní typy:

- stacionární
- cirkulující

Stacionární fluidní lože (BFB - bubbling fluidised bed)

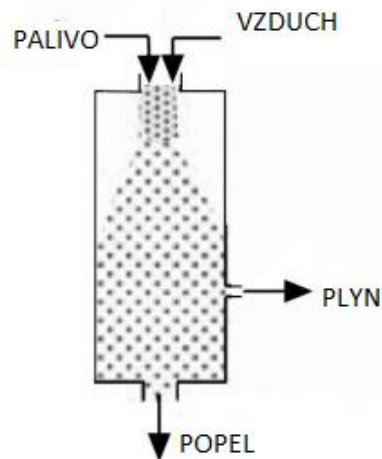
Rychlost plynu ve fluidní vrstvě musí být 5 až 30 násobně vyšší než rychlost fluidizace. Fluidní vrstva je zřetelně zakončena hladinou. Úroveň dehtů 1 - 2 %. Průměr reaktoru dán rychlostí plynu, z důvodu eliminace úletu částic. [17,22]

Cirkulující fluidní vrstva (CFB - circulating fluidised bed)

Vrstva je omezena stropem reaktoru bez viditelné hladiny, konverze je dokonalejší a dochází k lepšímu vyhoření uhlíku. Prachové částice jsou zachyceny cyklonem a přes sifon vráceny zpět dnem do fluidního lože. Vrstva má v jednotlivých výškách rozdílnou hustotu, v horní části nejnižší. [17,22]

2.2.3 Zplyňovací generátory s unášivým ložem

Tato technologie se využívá pro uhlí s 10 - 25% podílem biomasy. Jemné rozemleté palivo do 100 μm je zaváděno vrchem do reaktoru spolu se zplyňovacím médiem a dochází k velmi rychlé přeměně (pod 1s). Tento typ reaktoru je charakteristický vysokou teplotou reaktoru 1300 až 1600 °C, vysokým provozním tlakem 2,5 až 6 MPa a výkony nad 100 MW. Mezi hlavní výhody patří nižší produkce dehtů a vyšší kvalita plynu. [21]



Obr. 0.1 - Zplyňovací generátor s unášivým ložem, zdroj: [21]

3 Energetické využití plynu

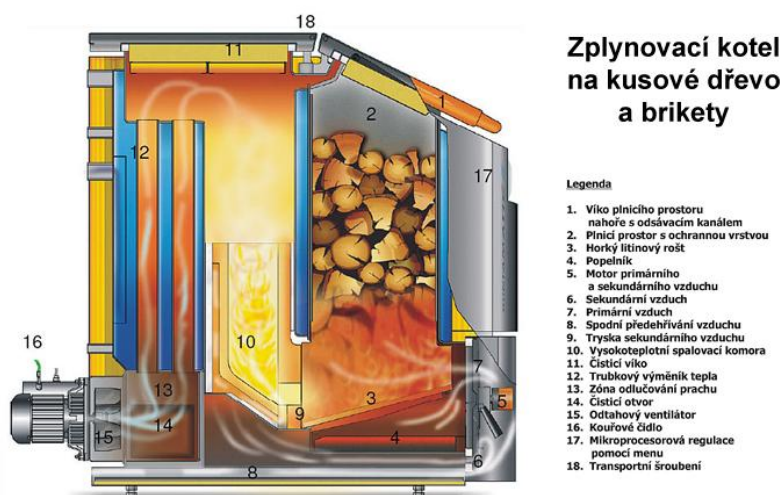
Syntézní plyn lze využít jako náhradu fosilních paliv ve výrobních provozech (cementárny, vápenky, cihelny), v energetice (kogenerační jednotky, předtopeniště klasických kotlů), jako palivo spalovacích motorů a plynových turbín. Před využitím jsou nutné úpravy plynu v podobě zbavení nečistot a snížení teploty na požadovanou hodnotu. Znalost obsahu těchto složek je důležitá pro regulaci primárních opatření a volby čistících procesů. Volba stupně čištění je dána technologií využívající plyn a emisními požadavky na jejím výstupu.

Dřevoplyn se používá v následujících aplikacích:

- plynové hořáky a kotle
- spalovací motory
- plynové turbíny
- palivové články
- výroba kapalných a plyných paliv

3.1 Plynové hořáky a kotle

Přímé spalování v hořácích má uplatnění při výrobě tepla využitelného např. pro sušení dřeva, provoz vápenek, cementáren a cihelen. Spalování plynu lze snadněji řídit a regulovat než spalování pevných paliv. Nižší výhřevnost plynu vyžaduje vyšší průtok paliva v tryskách hořáku než je tomu u zemního plynu a běžné hořáky při použití dřevoplynu musí projít

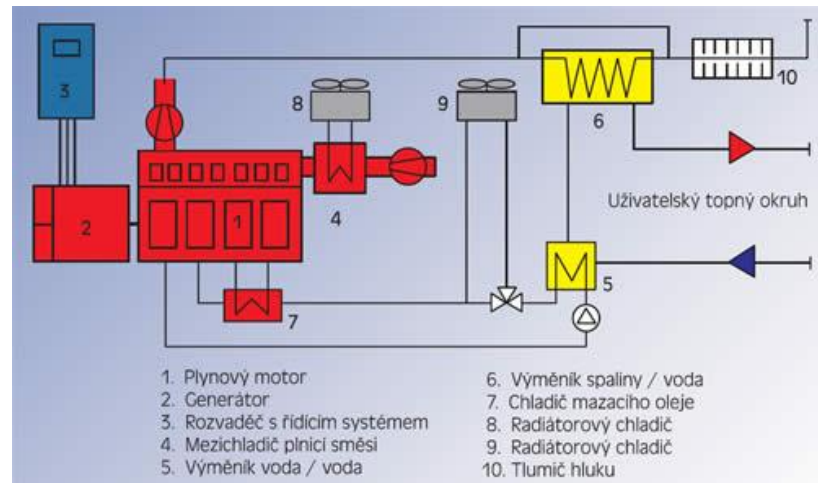


Obr. 3.1 - Řez zplynovacím kotlem Synchro od firmy Gunmatic, zdroj: [16]

speciální úpravou. Množství dehtu při přímém spalování nehraje zásadní roli, jelikož při vysokých teplotách plamene dojde k jejich úplnému spálení a zvyšují výhřevnost. Stačí odstranit většinu prachových částic pomocí cyklonu řazeného za reaktorem a zchladit jej na požadovanou teplotu. Pro přímé spalování se uvádí hodnota 5 - 30g/m³ prachových částic. Kdybychom prach z plynu neodstranili, hrozilo by jeho zachytávání a ucpání hořáků. Plyn zbavený prachových částic můžeme tedy rovnou spalovat za účelem vzniku tepla. Hospodárnější a energeticky zajímavější variantou je jeho využití ve spalovacích motorech nebo plynových turbínách pro pohon generátoru. Generátor vyrábí elektrickou energii a zároveň produkuje odpadní teplo, které můžeme dále využít. [9,13]

Spalovací motory

Pro pohon spalovacích motorů musíme plyn zbavit dehtu, prachových částic a zchladit ho přibližně na teplotu 40 °C. Prachové částice způsobující abrazi pohyblivých částí a dehet kondenzující v studených částech motorů tvoří aerosoly. Z malých kapiček dehtu dochází za opakovaného dlouhodobého kolísání teplot ke vzniku sazí, které postupně vytvářejí pevné



Obr. 3.2 - Blokové schéma kogenerační jednotky, zdroj: [15]

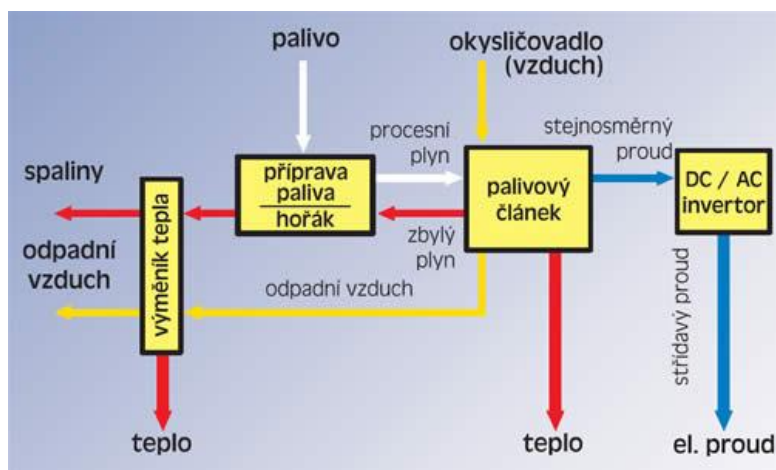
nánosy koksu. Proto je nutné se u spalovacích motorů, stejně jako u plynových turbín, zbavit prachových částic dokonalejším způsobem. Ideální hodnotou je 10 mg/m^3 a méně, které dosáhneme mokrou vypírkou nebo filtrací. Obsah dehtu je nutno snížit minimálně pod 50 mg/m^3 . Čím nižší hodnoty jsme schopni dosáhnout, tím delší budou servisní intervaly a zvýší se spolehlivost zařízení (nebudou se tvořit nánosy v motoru). Doporučená hodnota je sice stanovena na 50 mg/m^3 , ale i tak je nutno motor na tento pohon uzpůsobit. Na chod motoru má také zásadní vliv složení plynu. Obsah vodíku a jeho změny zřetelně mění spalovací rychlost směsi. Nehořlavé složky plynu se chovají jako inhibitory detonace, proto je možné využít vyšší kompresní poměr motoru. Zvýšením kompresního poměru a spalováním za nižšího přebytku vzduchu lze kompenzovat pokles výkonu způsobený nižší výhřevností plynu. Spalovacích motorů se využívá hojně v KJ v kombinaci s generátorem pro výrobu elektrické energie a tepla. [9,13]

3.2 Plynové turbíny

Turbíny jsou složeny ze vzduchového kompresoru, spalovací komory a expanzní turbíny. V principu jsou to rotující spalovací motory, pracující za vysokých teplot (do 1300 °C). Vysoká teplota spalin se využívá k výrobě vysokotlaké páry pro paroplynový cyklus. Teplota vstupujícího plynu se může pohybovat kolem 450 - 600 °C. Pokud budeme chtít spalovat nízkovýhřevný dřevoplyn, musí dojít k úpravě spalovacího prostoru a palivového systému. Nutné je zajištění vyššího průtoku paliva, potřebné teploty a stability plamene. Největším problémem pro použití je přítomnost částic prachu a alkalických kovů v plynu. Jemné prachové částice způsobují abrazi lopatek turbín a alkalické kovy vytvářejí nánosy usazenin v chladnějších částech turbíny. Alkalické kovy při teplotě 600 °C začínají přecházet do plynné fáze a po dosažení 850 °C způsobují korozi. Dehet je i zde nežádoucí z důvodu kondenzace na chladnějších částech turbíny, vedoucí k jejich zanášení. Při atmosférickém zplyňování se může zanášet kompresor potřebný ke stlačení plynu. Tento problém se u tlakového zplyňování neprojevuje, protože se dehet spálí před vstupem do turbíny (v expanzní části). Nebezpečí zanášení lopatek hrozí při neúplném shoření plynu a vyšší produkci sazí. [9,13]

3.3 Palivové články

Palivové články jsou zjednodušeně elektrochemická zařízení s vysokou účinností, přeměňující energii chemickou v palivu za oxidačně - redukční reakce na energii elektrickou. Palivové články jsou tvořeny vhodnými elektrodami a elektrolytem. Jejich funkci zajišťuje membrána oddělující prostor oxidace a redukce. Palivo ionizuje společně s okysličovacím médiem (vzduch) na povrchu elektrod a ionty vedené elektrolytem k druhé elektrodě vytvářejí stejnosměrný elektrický proud. Při záměru dodávek energie do sítě je nutný štfídač proudu.



Obr. 3.3 - Principiální schéma palivového článku, zdroj: [15]

Nízkoteplotní alkalické články vyžadují pro svou činnost velmi čistý plyn. U vysokoteplotních článků a článků s tuhým elektrolytem není nutný čistý vodík, a proto nemusíme provádět jeho separaci z plynu, jako u nízkoteplotních. Použit lze plyn s obsahem CH_4 , CO , N_2 a CO_2 . Uvnitř palivového článku probíhá tzv. reforming uhlovodíků a produkce H_2 . Tyto články jsou více odolné proti nečistotám, ale také jsou citlivější zejména na přítomnost H_2S , který způsobuje deaktivaci části článku. Výhodou těchto článků je vysoká účinnost, minimální emise a tichý provoz ve srovnání se spalovacími motory. [8,15]

3.4 Kapalná a plynná paliva

Syntéza kapalných (metanol, kapalné uhlovodíky) a plyných paliv (syntetický zemní plyn) vyžaduje z hlediska kvality plynu, aby poměr majoritních složek (CO a H_2) byl shodný s optimálním poměrem dané syntézy a zároveň koncentrace nežádoucích látek, které by mohly deaktivovat technologické procesy, byla minimální. Je tedy nutná úprava poměru hlavních složek a odstranění složek neúčinných (CO_2 , H_2O). Syntéza a úprava plynu je provozně a finančně náročná. Před přivedením do syntézní jednotky je koncentrace částic snížena pod $0,02 \text{ mg/m}^3$ a obsah dehtu pod $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Zpravidla však nároky na čistotu plynu pro výrobu kapalných a plyných paliv vyžadují z technologického hlediska dokonalé odstranění dehtu. Důvodem je jeho další úprava např. stlačováním pomocí kompresoru na daný tlak. [8]

4 Situace na trhu a ekonomická výhodnost

4.1 Dřevoplynové kotle

Oproti klasickým kotlům staré konstrukce s účinností okolo 70 % a omezenou regulací, nabízejí zplyňovací kotle účinnost 90 % s regulací výkonu v rozmezí 30 až 100 %. Vyšší účinnost a lepší regulační vlastnosti v praxi přináší úsporu 20 - 30 %. Příkládat postačí dvakrát až třikrát denně a vzhledem k velkému topeništi podle typu kotle můžeme příkládat polena délky 30 - 100 cm. Odpadá zdlouhavá úprava paliva a s ní spojené náklady. Základem ekonomického a úspěšného provozu je zamezení vzniku nežádoucích látek poškozujících kotel. Průměrná udávaná životnost kotlů na trhu je minimálně 10 let. [12]

Obecné základní podmínky provozu:

- suché palivo max. 20 % vlhkost
- kvalitní zapojení a regulace - nebezpečí tvorby dehtů při nízkých teplotách
- vhodný výkon - podle skutečného odběru tepla
- využívání výkonu - kotel není konstruován k topení na min. výkon (kondenzace dehtů, poškození kotle), vhodná je kombinace s akumulací nádržemi

Nabídka zplyňovacích kotlů je velmi široká v různých cenových hladinách podle potřebného výkonu. Vlivem zpřísnování emisních norem vytlačí z trhu klasické kotle. Vybraní dodavatelé : ROJEK, DAKON, BUDERUS, DAKON, VIGAS, ATMOS, VIGAS, ATTACK, VIADRUS, FERROLI, MAGA a VERNER.

4.2 Zplyňovací a kogenerační jednotky

Na trhu zplyňovacích a KJ je situace trochu složitější. Vždy je největší důraz kladen na čistotu syntézního plynu a celkovou spolehlivost zařízení. Optimalizací procesu zplyňování, čistícími metodami a následným využitím v KJ, ať už na bázi spalovacího motoru nebo plynové turbíny, se zabývá více společností. Většina jich je zatím v testovacích fázích svých projektů nebo nabízejí řešení, která nejsou dostatečně provozně odzkoušena, a proto není zaručen jejich bezproblémový chod. Proto se zde snažím uvést pouze společnosti, které nabízejí již hotové celky a v provozu osvědčená řešení.

Z dostupných materiálů a poskytnutých informací vychází počáteční investice na 1 kW elektrického výkonu v rozmezí 80 až 120 tisíc korun. Výhodnost provozu a návratnost investice je odvíjí od množství využitého tepla a elektrické energie, kategorie použitého paliva a nároku na dotace v podobě zelených bonusů, pro představu viz. Příloha A a B. Ekonomický model zplyňovací jednotky WGPP Kuntschar, který poskytla firma B:Power. V zjednodušeném modelu se neřeší náklady financování a odpisy.

Tab. 4.1 Kategorie využívaných paliv, zdroj: [28]

Kategorie	
01	Odpady z geologického průzkumu, těžby, úpravy a dalšího zpracování nerostů a kamene
02	Odpady z prvovýroby v zemědělství, zahradnictví, myslivosti, rybářství a z výroby a zpracování potravin
03	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek, nábytku, celulózy, papíru a lepenky

ATEKO a. s.

Ateko je česká společnost zabývající se dodávkami funkčních celků s optimalizací na míru. V letech 2008 až 2010 vyvíjela jednotku EZOB pro zplyňování odpadní biomasy, kterou nabízí v portfoliu svých produktů. Surovinou je biomasa (dřevní štěpka, tříděný odpad apod.). Spotřeba vstupní suroviny činí 100 - 150 kg/h. [19]

„Pro zplyňování štěpky je zde použit běžný zplyňovací kotel. Plyn je dopalován ve speciální spalovací komoře, kde se dosahuje teploty spalin kolem 1200°C. Spaliny jsou vedeny do speciálního tepelného výměníku. Systém kogenerace spočívá v použití jednohřídelového turbosoustrojí, kde je kompresorem stlačený vzduch ve výměníku, navazujícím na spalovací komoru energoplynu, ohříván na teplotu 850°C a následně expandován ve dvoustupňové expanzní turbíně. Z turbíny vystupující vzduch s teplotou cca 450°C je částečně využit pro zplyňování a spalování a zbytek je možno využít pro jiné účely, stejně jako horké spaliny



Obr. 4.1 - Zplyňovací jednotka EZOB, zdroj: [19]

(sušárny řeziva, otop budov, skleníků, bazénů apod.). Elektrický výkon v tomto systému je 100 kW elektrických a 300 kW tepelných. Velkou výhodou použitého turbosoustrojí je skutečnost, že turbína pracuje s horkým vzduchem nikoliv se spalinami, což má velmi pozitivní vliv na její životnost. Turbosoustrojí je řízeno špičkovým řídicím systémem." [19]

Burkhardt GmbH

Německá firma sídlící v Mühlhausen se zabývá zplyňovacími technologiemi od roku 2005. Více než 600 000 hodin provozních zkušeností získala na zplyňovacích zařízeních, kterých má instalováno v Německu a Itálii přes čtyři desítky ve spojení s KJ MAN osazenými turbodmychadly s elektrickou účinností až 32 %. Spotřeba zařízení je 110 kg/h pelet při produkci 180 až 200 kW elektrického a 240 až 260 kW tepelného výkonu. Pelety jsou používány pro nízkou vlhkost a homogenitu paliva. Pro pokrytí energie potřebné ke zplyňování je potřeba 4 kg/h vstupního paliva. Odpadem z celého procesu je 2 kg/h popele a 8 l/h nezávadného kondenzátu z chladiče. Čištění plynu je prováděno katalytickou metodou.



Obr. 4.2 - Zplyňovací jednotka ECO 180 HG, zdroj: [11]

Celková účinnost přeměny energie v palivu odpovídá hodnotě 75 %. Celý systém je automatizován. Servisní zásahy jsou potřeba jednou týdně z důvodu výměny zásobníku na popel a vyčištění reaktoru. Jednou měsíčně je nutné vyměnit filtry a provozní oleje KJ. [11]

Kuntschar ENERGIEERZEUGUNG GmbH

Společnost Kuntschar se již přes 15 let zabývá systémy zplyňování biomasy a jejich zařízení jsou úspěšně provozovány po celém Německu. Instalace Kuntschar naleznete také ve Švýcarsku, Itálii, Japonsku a České republice. Po odstranění všech problémů a úspěšném ročním provozu (7000 hodin) bylo uvedeno na trh hotové řešení. U nás je dodavatelem této technologie firma B:Power, která provedla instalaci v Havlíčkově Brodě. [27]



Obr. 4.3 - Zplyňovací jednotka WGPP Kuntschar , zdroj: [27]

Zplyňovací jednotka WGPP Kuntschar se skládá ze zplyňovače s keramickými filtry, chladiče plynu, cyklonu a KJ. Palivem je dřevní štěpka 3 - 7 cm o vlhkosti < 15 % a průměrná spotřeba je udávána na 130 kg/h. Výstupní výkon jednotky je 130 kW elektrických a 230 kW tepelných z KJ. Přívod paliva je řešen dvojitým hermetickým uzávěrem, nečistoty z generovaného plynu jsou odstraněny průchodem integrovanými keramickými filtry v tělesu zplyňovače, prachové částice jsou odloučeny v cyklonu a v chladiči je plyn ochlazen pro vstup do KJ. O chod celého zařízení se automaticky stará rozvaděč s řídicí elektronikou, ovládacími a jistícími prvky. KJ je poháněna výhradně vyrobeným plynem a odpadem je pouze čistý popel. Nájezd do plného výkonu je možný do deseti minut a ideální provozní režim je nepřetržitý provoz. Díky automatickému startu je ale možný i přerušovaný provoz. Návratnost tohoto celku se pohybuje dle informací B:Power v rozmezí 4 až 10 let podle způsobu využití elektrické a tepelné energie. Počáteční investice je v rozmezí 15 až 18 miliónů korun v závislosti na rozsahu dodávky. [27]

CLEANTSGAS

Původem rakouská firma nabízí na trhu technologii CLEANSTGAS 250. Jednotlivé zóny jsou v jejich zplyňovači fyzicky rozdělené, což zlepšuje regulaci, kontrolu a snižuje primární produkci prachu a dehtů na velmi nízké hodnoty. Není tak potřeba dalších nákladů na vyčištění plynu pro jeho použití v KJ. Podle dostupných informací by mělo jejich zařízení mít za sebou několik let bezproblémového testovacího provozu a poskytovat 250 kW elektrického a 430 kW tepelného výkonu. Jako paliva se opět využívá dřevní štěpky. Udávaná výhřevnost dřevního plynu před spalovacím motorem má hodnotu $4,9 \text{ MJ/m}^3$, množství prachu $<5 \text{ mg/m}^3$ a množství dehtu $<30 \text{ mg/m}^3$. Celý proces je řízen automaticky. Udávaná návratnost je méně než 4 roky. [26]



Obr. 4.4 - Zplyňovací jednotka CLEANSTGAS 250 v St. Margarethen an der Raab, zdroj: [26]

GB Gasified

Ve spojení s indickou technologickou společností IE India Pvt. Ltd. během desetileté spolupráce realizovali více než 500 aplikací. Nabízejí protiproudé, souproudé i unášivé zplyňovací jednotky v rozsahu výkonů od 80 kW do 3000 kW elektrického výkonu při vlhkosti biomasy 15 %. Zplyňovací jednotky mají jednoduchou konstrukci, nižší pořizovací náklady, rychlé njetí do provozu, umožňují chod na prázdko a produkují plyn o vysoké čistotě. Odprášení plynu je provedeno v několikastupňovém cyklonu. Zařízení využívá nepřímého chlazení, a proto není nutné mokré čištění plynu, což zamezuje kondenzaci dehtů. Obsah prachu v plynu se pohybuje při využití systému filtrace horkého

plynu cyklonem obvykle pod hranicí 80 mg/m^3 a s využitím tkaninového filtru můžeme jeho množství ještě snížit. Systém je nabízen plně automatizován s účinností až 91 %. [24]

XYLOWATT

Belgická firma Xylowatt po více než deseti letech zkušeností uvedla do provozu v roce 2009 zplyňovací jednotku NOTAR ve spojení s KJ. Vývoj této technologie trval šest let a bylo do něho investováno přes 7 miliónů eur. Jako palivo lze využít i dřevěný odpad, kontaminované dřevo, železniční pražce a zbytky ze zemědělské činnosti. Zplyňovací reakce jsou zde také rozděleny do jednotlivých pevně vyhrazených oblastí. Účinnost odstranění dehtů je uváděna na 99 %. Obsah dehtu v syntézní plynu na ústí reaktoru $< 100 \text{ mg/m}^3$, účinnost konverze paliva 98%, bez pevného zbytku. Pro odstranění prachu a zbytkového dehtu se využívá jednotky složené z cyklonu, odsiřovacího zařízení a chladicího výměníku. Po odstranění dehtu a prachu je plyn ochlazen a sušen. Po tomto vyčištění by měl obsahovat méně než 10 mg/m^3 prachu a dehtu. Tyto hodnoty nabízejí velmi efektivní řešení a následné využití takto čistého plynu. [20]



Obr. 4.1 - Schéma zplyňovacího zařízení NOTAR, zdroj: [20]

Závěr

Hlavní překážkou v rozšíření dřevoplynu byl dehet a prach. Běžný obsah dehtu v plynu za reaktorem se pohybuje v jednotkách gramů. Záslouhou vývoje moderních čistících postupů a zlepšením primárních opatření jsme dnes schopni snížit obsah dehtu na přijatelnou hranici 50 mg/m^3 a využívat jej v motorech KJ. Pro dosažení těchto hodnot se využívá suchý keramický nebo kovový filtr, dále pak katalytické metody. Záslouhou této činnosti se začínají objevovat na trhu celky mající povahu malosériové výroby.

Provoz zplyňovacího agregátu by mohl být velmi rentabilní v těžebních a dřevozpracujících závodech, kde je velký přísun odpadní biomasy a dostatečné využití energie z KJ. Vyrobenu elektrickou energii můžeme tak využít k pokrytí vlastní spotřeby a tepelnou energií zásobit sušárny paliva popř. výrobní prostory.

Zplyňování je vhodné a mělo by být využíváno především pro přeměnu druhotných surovin na užitečnou komoditu. Používání kusového dřeva je podle mého názoru plýtváním. Výhodou biomasy je její dostupnost v porovnání s ostatními alternativními zdroji, které vyžadují buď geotermální vrty, blízkost vodního toku, určitou rychlost větru nebo dostatek slunečního záření. Nehledě na to, že energii z biomasy vyrábíme v čase, kdy je jí potřeba.

Technologie zplyňování patří bezesporu mezi alternativní zdroje energie, které mohou sehrát roli v bezpečnosti dodávek energie jako decentralizovaný zdroj. Proto vidím ve zplyňovacích technologiích velký potenciál a dle mého názoru lze očekávat renesanci v tomto oboru.

Seznam použité literatury

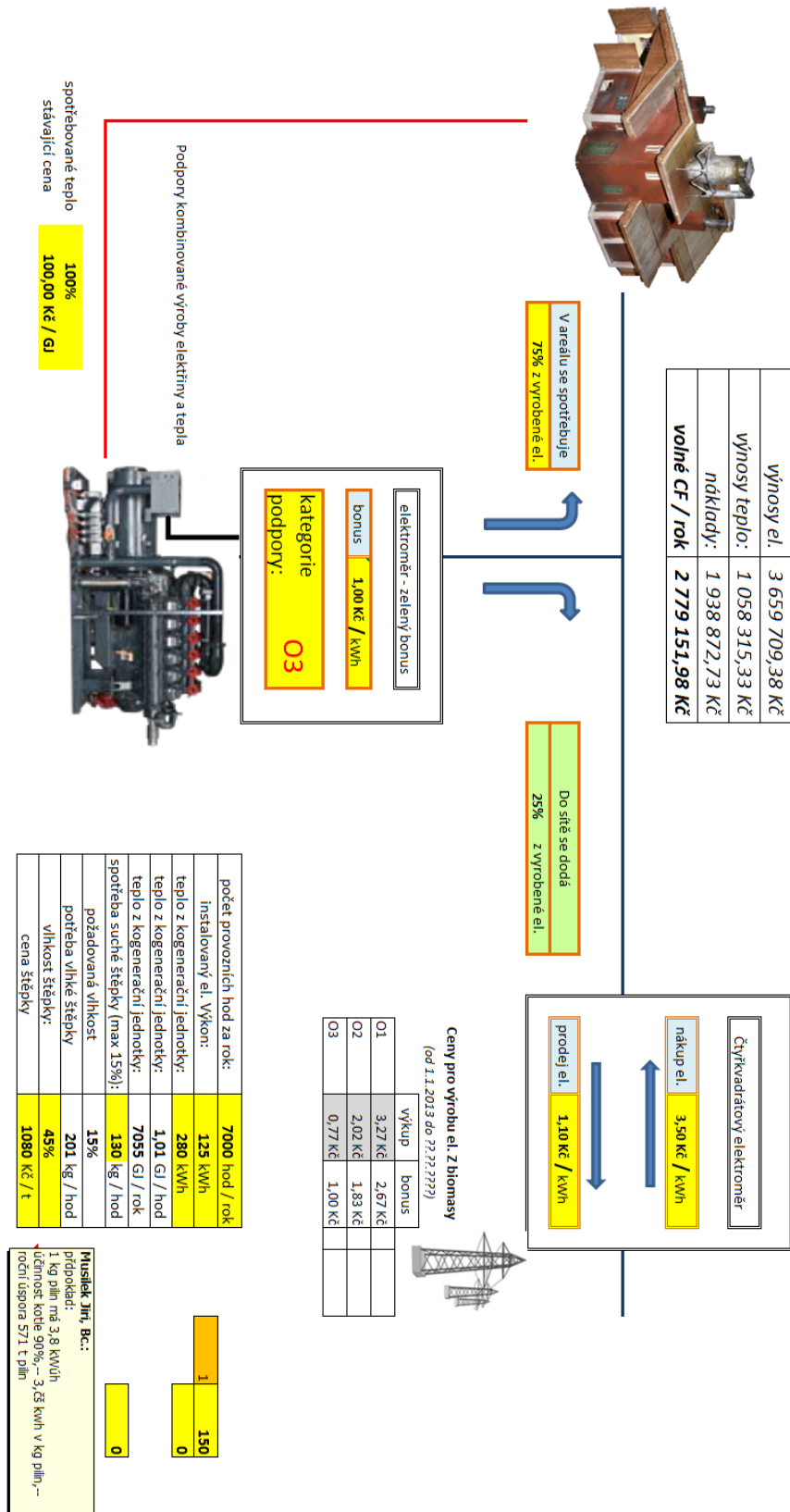
- [1] Energie z biomasy III: *sborník příspěvků ze semináře*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, FSI - EÚ - OEI, 2004, 133 - 138. ISBN 80-214-2805-8.
- [2] KALETOVÁ, Alice. Bioplyn jako alternativní zdroj energie v České republice [online]. 2011. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Ekonomicko-správní fakulta. Vedoucí práce Vilém Pařil. Dostupné z: <http://theses.cz/id/Ogo1sq/>.
- [3] SKÁLA, Zdeněk. *Energetické parametry biomasy: projekt : GAČR 101/04/1278*. 1. vyd. Brno: VUT Fakulta strojního inženýrství, 2007. 91 s. ISBN 978-80-214-3493-6.
- [4] SIMANOV, Vladimír. *Dříví jako energetická surovina: možné způsoby energetického využívání těžebního odpadu a dalších opomíjených zdrojů dříví*. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky v Agrospojì, 1993, 116 s. ISBN 80-708-4062-5.
- [5] MECHANICAL WOOD PRODUCTS BRANCH, Forest Industries Division. *Wood gas as engine fuel*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1986. ISBN 92-510-2436-7.
- [6] PŘICHYSTAL, Lukáš. *Biomasa jako obnovitelný zdroj energie: Biomass as renewable energy resources*. Brno: VUT, Fakulta chemická, 2008. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/4486/biomasa%20jako%20obnoviteln%C3%BD%20zdroj%20energie.pdf?sequence=1>
- [7] STRAKA, František a Karel CIAHOTNÝ. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. 3., zkrác. vyd. Praha: GAS, 2010, 305 s. ISBN 978-80-7328-235-6.
- [8] SKOBLJA, Sergej. *Úprava složení plynu ze zplyňování biomasy*. Praha, 2004. Doktorská disertační práce. VŠCHT.
- [9] ŠEJVL, Mgr. Radovan. *Možnosti výroby elektrické energie z OZE: Elektrina s vůní dřeva...* [online]. 2007. vyd. [cit. 2013-02-01]. Dostupné z: http://energis24.cz/sites/default/files/Elektrina_s_vuni_dreva.pdf
- [10] Historie vozidel poháněných plynem. [online]. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/jizda-auta-na-plyn-methan-drevoplyn-svitiplyn.htm>
- [11] Burkhardt GmbH s. r. o. Produkty: Zplyňováním dřeva. [online]. [cit. 2013-03-03]. Dostupné z: http://www.burkhardt-gmbh.de/en/energy/wood_gasification/
- [12] CANKAŘ, Petr. Proč kotel ATMOS - výhody a poznatky. 2003. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1431-proc-kotel-atmos-vyhody-a-poznatky>

- [13] PRAVDA, L. Energoplyn - produkt zplyňování. In *Energie z biomasy III*. Brno: OEI EU FSI VUT v Brně, 2004. p. 133 (p.) ISBN: 80-214-2805- 8.
- [14] LISÝ, Martin, Marek BALÁŠ, Přemysl KOHOUT a Zdeněk SKÁLA. Kogenerace s fluidním zplyňováním biomasy a odpadů. In: *All for Power* [online]. Ostrava: Konstrukce Media, s.r.o, 2008. ISSN 1802-8535. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/UserFiles-AllforPowerCz/File/2008/kogenerace.pdf>
- [15] EKOWATT. Kogenerace. [online]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>
- [16] GUNMATIC. [online]. Dostupné z: <http://www.guntamatic.esel.cz/>
- [17] NAJSER, Jan. *Zplyňování dřeva pro kogeneraci: autoreferát doktorské disertační práce*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 31 s. ISBN 978-80-248-1935-8.
- [18] QUAACK, Peter, Harrie KNOEF a Hubert E STASSEN. *Energy from biomass: a review of combustion and gasification technologies*. Washington, D.C.: World Bank, c1999, xvii, 78 p. World Bank technical paper, no. 422. ISBN 08-213-4335-1.
- [19] ATEKO, A. s. Alternativní zdroje energie: *EZOB – energetické zplyňování odpadní biomasy*. In: [online]. [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: <http://www.ateko.cz/portfolio-cinnosti/alternativni-zdroje-energie.htm>
- [20] The NOTAR® Gasifier. *Xylowatt* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.xylowatt.com/index.php/solutions/the-notar-gasifier.html>
- [21] HIGMAN, Chris. *Gasification*. Amsterdam: Elsevier, 2003, 391 s. ISBN 07-506-7707-4.
- [22] BASU, Prabir. *Combustion and gasification in fluidized beds*. Boca Raton: CRC, 2006, 473 s. ISBN 08-493-3396-2. Dostupné z: <http://uicchemegroupa.wikispaces.com/file/view/Combustion+and+Gasification+in+Fluidized+Beds.pdf>
- [23] JELÍNEK, Antonín. *Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel*. Praha: Agrospoj, 2001, 236 s., Semafor. ISBN 80-239-4234-4.
- [24] BIOMASS GASIFIER MODEL. *BG Gasified* [online]. [cit. 2013-02-03]. Dostupné z: <http://www.gbgasified.com/model.html>

- [25] BERÁNEK, Jan. *Analýza vyšších uhlovodíků v zemním plynu* [online]. Praha, 2006 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://ebookbrowse.com/24-analyza-vyssich-uhlovodiku-v-zemnim-plynu-soubor-pdf-d262424451>. Semestrální projekt. VŠCHT Praha. Vedoucí práce Ing. Ondřej Prokeš, Ph.D.
- [26] CLEANSTGAS - Innovation. *CLEANSTGAS* [online]. [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: <http://www.cleanstgas.com/en/technologie/innovation.html>
- [27] Wood Gasification: with the Kuntschar-wood-gas power plant. *Kuntschar holzgas* [online]. [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: <http://www.kuntschar-holzgas.de/en/wood-gasification.html>
- [28] MŽP. vyhláška č. 381/2001 Sb. *Katalog odpadů* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-381#p1>

Přílohy

Příloha A - Ekonomika provozu WGPP Kuntschar 1



Příloha B - Ekonomika provozu WGPP Kuntschar 2

VÝNOSY ZA ELEKTRINU:			
Roční produkce elektřiny	875 000	KWh	
Vlastní spotřeba	3,85%		
Roční výnos za zelený bonus	841 313 x	1,00 Kč =	841 312,50 Kč
Roční výnos za doplňkový zelený bonus	841 313 x	0,45 Kč =	378 590,63 Kč
Roční výnos za spotřebovanou el.	630 984 x	3,50 Kč =	2 208 445,31 Kč
Roční výnos za prodej do sítě	210 328 x	1,10 Kč =	231 360,94 Kč
VÝNOSY ZA TEPLU:			
Roční produkce tepla	7 055	GJ	
teplo využitě v areálu	100,00%		
Podpora KVET (50 Kč / GJ)	7 055 x	50,00 Kč =	352 771,78 Kč
Roční výnos za vyrobené teplo	0%	7 055 x 100,00 Kč =	705 543,56 Kč
VÝNOSY ZA EL. A TEPLU CELKEM:			4 718 024,71 Kč
PROVOZNÍ NÁKLADY:			
Spotřeba štepky v t / rok	7 000 x	201 =	1 406 t / rok
Cena paliva v Kč za rok (t paliva * cena / t)	1 406 x	1 080 =	1 518 873 Kč / rok
Náklady na obsluhu (dny * 1hod * mzda)	292 x	240 =	70 000 Kč / rok
Servisní náklady (kč / hod. provozu)	7 000 x	50 =	350 000 Kč / rok
NÁKLADY NA PROVOZ ZAŘÍZENÍ			1 938 872,73 Kč
VOLNÉ CASHFLOW (výnosy za el a teplo - náklady na provoz)			
			2 779 151,98 Kč / rok

	roční výnos za el. a teplo	roční náklady na provoz	volné cash flow za rok
1. rok provozu zařízení	4 718 024,71 Kč	1 938 872,73 Kč	2 779 151,98 Kč
2. rok provozu zařízení	4 788 795,08 Kč	1 967 955,82 Kč	2 820 839,26 Kč
3. rok provozu zařízení	4 860 627,01 Kč	1 997 475,16 Kč	2 863 151,85 Kč
4. rok provozu zařízení	4 933 536,41 Kč	2 027 437,28 Kč	2 906 099,13 Kč
5. rok provozu zařízení	5 007 539,46 Kč	2 057 848,84 Kč	2 949 690,62 Kč
6. rok provozu zařízení	5 082 652,55 Kč	2 088 716,57 Kč	2 993 935,98 Kč
7. rok provozu zařízení	5 158 892,34 Kč	2 120 047,32 Kč	3 038 845,01 Kč
8. rok provozu zařízení	5 236 275,72 Kč	2 151 848,03 Kč	3 084 427,69 Kč
9. rok provozu zařízení	5 314 819,86 Kč	2 184 125,75 Kč	3 130 694,11 Kč
10. rok provozu zařízení	5 394 542,16 Kč	2 216 887,64 Kč	3 177 654,52 Kč
11. rok provozu zařízení	5 475 460,29 Kč	2 250 140,95 Kč	3 225 319,33 Kč
12. rok provozu zařízení	5 557 592,19 Kč	2 283 893,07 Kč	3 273 699,12 Kč
13. rok provozu zařízení	5 640 956,08 Kč	2 318 151,46 Kč	3 322 804,61 Kč
14. rok provozu zařízení	5 725 570,42 Kč	2 352 923,74 Kč	3 372 646,68 Kč
15. rok provozu zařízení	5 811 453,97 Kč	2 388 217,59 Kč	3 423 236,38 Kč
16. rok provozu zařízení	5 898 625,78 Kč	2 424 040,86 Kč	3 474 584,93 Kč
17. rok provozu zařízení	5 987 105,17 Kč	2 460 401,47 Kč	3 526 703,70 Kč
18. rok provozu zařízení	6 076 911,75 Kč	2 497 307,49 Kč	3 579 604,26 Kč
19. rok provozu zařízení	6 168 065,42 Kč	2 534 767,10 Kč	3 633 298,32 Kč
20. rok provozu zařízení	6 260 586,41 Kč	2 572 788,61 Kč	3 687 797,79 Kč

EKONOMIKA PROVOZU ZAŘÍZENÍ BEZ NÁKLADŮ NA FINANCOVÁNÍ