

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zemědělská fakulta
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Bakalářská práce

Navrhněte zařízení pro kontinuální produkci
dřevoplynu.

Vedoucí práce: Ing. Josef Frolík, CSc.

Autor práce: Miloš Zoul

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská technika, obchod, servis a služby

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miloš ZOUL**
Osobní číslo: **Z08936**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Zemědělská technika, obchod, servis a služby**
Název tématu: **Navrhněte zařízení pro kontinuální produkci dřevoplynu.**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

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

Cílem práce je prověřit možnosti kontinuální výroby dřevoplynu , bez nutnosti odstavení a opětovného nastartování procesu vývinu dřevoplynu. Dále prověřit nutnost úpravy dřevní hmoty před vložením do reaktoru a posouzení vhodnosti druhu dřevin pro uvedenou reakci. Při posuzování procesu se zaměřit i na technické parametry získaného plynu a jeho zplodiny hoření. V závěru nastínit i ekonomiku celého procesu.

1. Proces výroby dřevoplynu.
2. Základní zdroje surovin pro výrobu dřevoplynu, jejich vlastnosti a produkční schopnosti.
3. Požadavky na úpravu vstupní suroviny - velikost frakcí, vlhkost apod.
4. Základní chemické složení, výhřevnost, složení spalin, produkce odpadů a vliv na životní prostředí.
5. Navrhněte technologické schéma zařízení pro výrobu, úpravu a případné skladování vyrobeného plynu.
6. Porovnejte předpokládanou nákladovost, energetickou náročnost a výkonnost navrženého postupu.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Murtinger, K., Beranovský, J. : Energie z biomasy. ERA, Brno, 2006.
ISBN 80-7366-071-7;
Mráz, V., Mráz, J.: Dřevoplynové generátory. březen 1954.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Frolík, CSc.
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

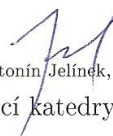
Datum zadání bakalářské práce: 19. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2011


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.

děkan

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


doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.

vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 12. března 2010

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích, 12. dubna 2011

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Josefu Frolíkovi CSc. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce a za čas, který mi věnoval.

Abstrakt:

Zoul M., 2011: Navrhňte zařízení pro kontinuální produkci dřevoplynu. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské, manipulační a dopravní techniky.

Klíčová slova: dřevoplyn, zplyňování dřeva, dřevo, plyn, kontinuální výroba dřevoplynu, zplyňovací generátory.

Anotace:

Práce se zabývá kontinuální výrobou dřevoplynu, bez odstavení a opětovného nastartování procesu vývinu dřevoplynu.

Teoretická část se věnuje historii dřevoplynu, principu vývinu dřevoplynu z různých druhů surovin a typem generátorů. Praktická část obsahuje návrh technologického schématu pro kontinuální výrobu dřevoplynu a schéma generátoru.

Abstract:

Zoul M., 2011: Design a device for continuous production of wood gas. Bc. Thesis. The University of South Bohemia, České Budějovice, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Engineering and Services.

Key words: wood gas, gasification of wood, wood, gas, continuous production of wood gas, gasification generátore.

Annotation:

The continuous production of wood gas without decommissioning and restarting the process of wood gas development was studied in this labour.

The theoretical part contains the history of wood gas, principle of development wood gas from various kinds of raw materials and different types of generator practical part includes a proposal of the technological scheme of continuous production of wood gas and a scheme of generator.

Obsah

1. Úvod	9
2. Literární přehled	10
2.1 Co je to dřevoplyn	10
2.2 Vývoj dřevoplynu v automobilovém průmyslu.....	10
2.2.1 Výzkumný program ve Švédsku.....	11
2.2.2 Co na to pohled 21. století	11
2.3 Historie zplyňování.....	12
2.4 Zplyňování pevných paliv	12
2.4.1 Hlavní druhy generátorů.....	12
2.4.2 Jednotlivé typy zplyňovacích generátorů	13
2.4.3 Popis a schéma jednotlivých typů generátorů	15
2.4.3.1 Protiproudý generátor s pevným ložem	15
2.4.3.2 Souproudý generátor s pevným ložem.....	16
2.4.3.3 Generátor s křížovým proudem.....	17
2.4.3.4 Další typy generátorů s pevným ložem	18
2.4.3.5 Porovnání generátorů s pevným ložem	18
2.5 Popis jednotlivých etap procesu zplyňování.....	19
2.5.1 Složení plynu	21
2.5.2 Čistící zařízení	22
2.6 Základní suroviny pro výrobu dřevoplynu	23
2.6.1 Dřevo	23
2.6.1.1 Chemické složení dřeva	23
2.6.1.2 Vlastnosti dřeva.....	25
2.6.2 Rašelina	25
2.6.3 Hnědé uhlí	26
2.6.3.1 Vlastnosti hnědého uhlí.....	27
2.6.4 Antracit	27
2.6.5 Dřevěné uhlí	28
2.6.6 Hnědouchelný polokoks	28
2.6.6.1 Nízkotepečná karbonizace	28

2.7 Požadavky na úpravu vstupní suroviny	29
2.7.1 Dřevo	29
2.7.2 Hnědé uhlí – brikety	30
2.7.3 Rašelina	30
3. Vlastní práce	31
3.1 Úprava generátoru	31
3.1.1 Doprava paliva do generátoru	31
3.1.2 Odstranění popela	33
3.2 Využití dřevoplynu	33
3.2.1 Chladič plynu.....	33
3.2.2 Kogenerační jednotka	35
3.2.2.1 Co je kogenerace	35
3.2.2.2 Jak pracuje kogenerační jednotka.....	35
3.2.2.3 Výhody kogenerace	35
3.2.2.4 Rozdělení KJ dle výkonu.....	36
3.3 Využití energií	37
3.4 Ekonomické zhodnocení.....	37
4. Závěr.....	39
5. Seznam použité literatury a zdroje informací	40

1. Úvod

Dnešní lidskou společnost charakterizují neustále se zvyšující nároky na spotřebu energie. Tím je potřeba vyrábět tuto energii stále nutnější. Již v 19. a 20. století prudce vzrůstala spotřeba energie. V průběhu století se zdroje pro získávání energie měnily. Do konce 19. století bylo rozhodujícím zdrojem energie dřevo, které je i předmětem této práce. Počátkem 20. století se hlavním zdrojem energie stává uhlí, později pak ropa a následně zemní plyn. Jsou to fosilní paliva vzniklá z organických, rostlinných nebo živočišných zbytků.

Vzhledem ke stále rostoucí spotřebě těchto paliv ubývají rychle jejich světové zásoby. Tato skutečnost se odráží i v nepřetržitém růstu cen paliv a energií. Zajištění zdrojů pro výrobu energie se stává globálním problémem. V dnešní době začíná být populárním vyrábět energie za pomoci obnovitelných zdrojů.

Cílem této práce je navrhnout úpravu dřevoplynového generátoru pro kontinuální výrobu plynu a jeho následné využití.

V první části práce bych se rád zabýval úvodem do historie dřevoplynu, druhy zplyňovacích generátorů, průběhem vývinu dřevoplynu a možnými druhy paliv. V druhé části bych rád představil upravený generátor pro kontinuální výrobu dřevoplynu, následné popsání jeho provozu a další zpracování vyprodukovaného dřevoplynu. V třetí části bude následovat ekonomické zhodnocení procesu produkce dřevoplynu a jeho využití.

2. Literární přehled

2.1 Co je dřevoplyn

Dřevoplyn je produkt ze zplyňování biomasy, při kterém uhlí v molekulách reaguje za vysoké teploty ($>500^{\circ}\text{C}$) s párou nebo kyslíkem. Při tomto procesu vzniká směs oxidu uhelnatého (CO), vodíku (H_2), metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2). V některých generátorech může vzniknout větší množství dehtových látek, které obsahují rakovinotvorné polycyklické aromatické uhlovodíky.

Dřevoplyn může být využit k pohonu automobilů v běžných spalovacích motorech, ke kterým je připojen zplyňovací generátor. Tento způsob využití byl rozšířený v některých evropských státech (včetně u nás) během druhé světové války, kdy ropa byla k dispozici pouze pro armádní účely. Dřevoplyn lze používat také k vaření a vytápění nebo k výrobě elektřiny. Oproti technologie ze 40. let jsou dnešní generátory vybaveny elektronickými kontrolními systémy, tudíž nepotřebují stálý kontrolní dohled.[1]

2.2 Vývoj dřevoplynu v automobilovém průmyslu

Počátkem roku 1840 byl v Evropě dřevoplyn užíván jako zdroj tepla a v roce 1884 bylo již zvykem tímto palivem pohánět i motory.[2] Ve 20. letech 20. století vyvinul německý inženýr Georges Imbert generátor dřevoplynu pro mobilní použití. Plyny byly vyčištěny, vysušeny a přivedeny do spalovacího motoru, které bylo třeba jen nepatrně uzpůsobit. Od roku 1931 byl Imbertův generátor vyráběn hromadně. Na konci 30. let bylo v provozu okolo 9000 dopravních prostředků, které poháněl dřevoplyn, téměř všechny se nacházely v Evropě.

Po druhé světové válce se tato technologie v mnoha evropských zemích stala samozřejmostí a to v důsledku zavedení přidělového systému na fosilní paliva. Jen v samotném Německu bylo na konci války v provozu asi 500 000 dřevomobilů.

Byla zřízena síť, čítající tři tisíce „čerpacích stanic“, kde se řidiči mohli zásobit dřevem. Nebyla to jen osobní auta, která byla vybavena zplyňovacím zařízením, ale také auta nákladní, autobusy, traktory, motorky, lodě a vlaky. Dokonce i některé tanky byly vybaveny zplyňovací jednotkou, kde ovšem Němci preferovali pro vojenské účely produkci kapalných syntetických paliv, které se vyráběly rovněž ze dřeva či z uhlí.

Během války, počátkem roku 1942, tato technologie zatím nedosahovala vrcholu své slávy. Ve Švédsku bylo v provozu 73 000 aut na dřevoplyn, ve Francii 65 000, v Dánsku 10 000, v Rakousku 9 000 a téměř tolik aut i v Norsku a ve Švýcarsku. Finsko mělo v roce 1944 asi 43 000 „dřevomobilů“, z toho 30 000 autobusů a nákladních automobilů, 7 000 osobních aut, 4000 traktorů a téměř 600 lodí.

Auta na dřevoplyn se objevovala také v dalších částech světa. V USA, Asii a obzvláště Austrálii, měli k dispozici 72 000 „dřevomobilů“. Celkem to bylo více než milion dopravních prostředků na dřevoplyn, které byly v provozu během druhé světové války. Po válce, když začal být benzín opět dostupnější, upadla tato technologie téměř ihned v zapomnění např. V Západním Německu na počátku 50. let bylo v provozu jen asi 20 000 dřevomobilů.

2.2.1 Výzkumný program ve Švédsku

Počátek roku 1957 spustila švédská vláda výzkumný program za účelem příprav na rychlý přechod zpět k automobilům na dřevoplyn v případě náhlého výpadku zásobování ropou. Švédsko nemá žádné zásoby ropy, ale vlastní rozlehlé lesy, které lze využít na palivo. Cílem výzkumu bylo vyvinout a zdokonalit standardizované zařízení, které by bylo možné uzpůsobit pro použití ve všech druzích dopravy.

Výzkum podpořený výrobcem aut Volvo vedl k získání obsáhlých teoretických znalostí a praktických zkušeností. Bylo vyvinuto několik aut a traktorů. Výsledky jsou shrnuty v dokumentu FAO¹ z roku 1986, kde se také rozebírají některé experimenty z jiných zemí. Švédští a zejména finští amatérští inženýři využili tato data k dalšímu rozvoji této technologie.[3]

2.2.2 Co na to pohled 21. století

V severských státech se pohon na dřevoplyn stále místy využívá. Je pravděpodobné, že kdyby nehrozila ropná krize, bylo by od tohoto pohonu upuštěno. Největší záporou používání dřevoplynu jsou - vysoké riziko možných otrav z toxických výparů vznikajících při nedokonalém spalování dřeva, zamoření spalinami při dlouhém chodu naprázdno, nízký výkon motoru, velká váha generátoru dřevoplynu a poměrně velký prostor pro uložení paliva.

¹Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organizace spojených národů pro výživu a zemědělství)

Jeho využití je vhodné spíše pro stacionární motory – např. Stirlingův motor, kde váha a ostatní jeho nevýhody nevadí. V tomto případě jeho využití nevadí, naopak prospívá životnímu prostředí a likvidaci odpadu.[4]

2.3 Historie zplyňování

Zplyňování tuhých paliv není novou technologií. Její kořeny sahají až na konec 18. století. K objevení zplyňování došlo současně, avšak nezávisle na sobě v Anglii a Francii v roce 1798. Nicméně k prvnímu skutečnému využití zplyňování dřeva došlo poprvé v Anglii a to v roce 1850, kde bylo zplyňování uhlí využito k osvětlení Londýna městským plynem.

Tato technika produkce plynu se brzy rozšířila do větší části Evropy. V roce 1920 už i většina amerických měst dodávala tento plyn nejen pro domácnosti (do kuchyň a k topení), ale také pro městské osvětlení. Přesto objevení zemního plynu v Americe a jeho kladných vlastností, jako jsou jeho vysoká výhřevnost a nízká cena vedly k rychlému nahrazení městského plynu.

Naopak v Evropě, hlavně příčinou 1. světové války, došlo ke zvýšenému zájmu o produkci plynu. Pomocí zplyňování byly budovány zplyňovací jednotky v blízkosti skladů tuhých paliv. Produkovaný plyn pak sloužil k pohonu automobilů, vlaků a k produkci elektrické energie. V období mezi dvěma světovými válkami výzkum v oblasti zplyňování pokračoval, díky nízkým nákladům na pořízení zplyňovacího zařízení a možnostem výroby benzínu.[5]

2.4 Zplyňování pevných paliv

Zplyňování je myšlenka termochemická. Vzniká přeměněním uhlíkatého materiálu v pevném či kapalném skupenství na výhřevný energetický plyn pomocí zplyňovacích médií a tepla. Produktem je plyn obsahující výhřevné složky (H_2 , CO , CH_4 a další minoritní sloučeniny), doprovodné složky (CO_2 , H_2O , N_2) a znečišťující složky (dehet, prach, sloučeniny síry, chlóru, alkálie a další).[8]

2.4.1 Hlavní druhy generátorů

Postupem vývoje vznikly dva hlavní druhy generátorů na pevná paliva a to:

1. generátory pro pevná paliva bohatá na dehet,
2. generátory pro pevná paliva chudá na dehet (dehtuprostá).

Do paliv bohatých na dehet řadíme: dřevo, rašelinu a hnědouhelné brikety. Do paliv chudé na dehet patří: antracit, dřevěné uhlí, kámen - a hnědouhelné polokoksy. Přítomnost dehtu v palivu je velmi důležitá a rozhodující při konstrukci generátoru. Proto se nemůže v každém generátoru zplyňovat libovolné pevné palivo. Ke zplyňování pevných paliv proto dochází hlavně dvojím způsobem:

1. U paliv bohatých na dehet sestupně, to znamená shora dolů.
2. U paliv chudých na dehet nebo dehtuprostých vzestupně, to je zdola nahoru.

Existují rovněž konstrukce generátorů s příčným zplyňováním (příčný tah).

Paliva bohatá na dehet se zplyňují sestupně, protože bychom jinak nemohli zneškodnit dehtové páry, které by nám mohly znemožnit provoz vozidla. Zalepily by se nám dehtem ventily, sací potrubí, mísič, klapky atd. Proto paliva bohatá na dehet zplyňujeme sestupně a dehet tím zneškodňujeme. Zneškodníme ho tím, že jej prosajeme celým žárovištěm, při čemž jej částečně spálíme a při vysoké teplotě rozštěpíme (krakujeme²) a proměníme v hořlavý plyn.

Typ generátoru se řídí výskytem vhodného paliva a z těchto důvodů přicházejí u nás v úvahu hlavně generátory na dřevo, hnědouhelné brikety a rašelinu. Jsou to proto generátory na pevná paliva bohatá na dehet a budou muset být zařízeny na zplyňování sestupné.

Z vyjmenovaných tří druhů paliv považujeme dřevo za nejvhodnější, protože jak hnědouhelné brikety, tak i rašelina musí splnit určité jakostní požadavek, aby zaručily bezporuchový a plynulý provoz generátoru.[6]

2.4.2 Jednotlivé typy zplyňovacích generátorů

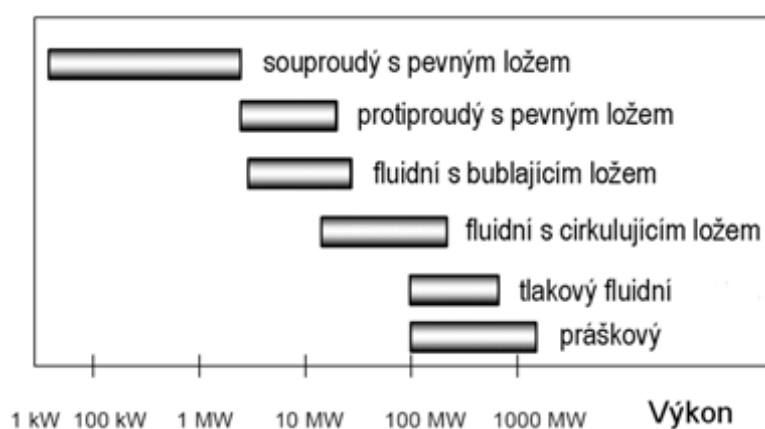
Zplyňovací reaktory, též zvané generátory, je možné typově dělit podle mnoha hledisek. V tomto textu je klíčové dělení na základě technologického principu následovné:

- Generátory se suvným ložem
- Generátory s fluidním ložem
- Hořákové generátory

² Krakování je tepelný rozpad uhlovodíků s delším řetězcem na uhlovodíky s kratším řetězcem.

Každý typ generátoru v důsledku jiných podmínek, které v něm panují, produkuje plyn o rozdílném složení, obsahu znečišťujících látek a teplotě. Každý typ generátoru se také hodí pro jiné výkonové měřítko. Orientační výkony jednotlivých generátorů jsou uvedeny na následujícím obrázku (Obr. 2.1). Dále je možné reaktory dělit, například podle tlakových poměrů (atmosférické nebo tlakového provedení), směru proudění materiálových proudů (soproudé či protiproudé), formy odvádění popela (v tuhé formě nebo ve formě strusky), či dalších parametrů.

Obr. 2.1. Orientační výkon různých zplyňovacích generátorů [1]



Výše uvedené typy zplyňovacích generátorů se značně odlišují ve svém funkčním principu. Z toho vyplývají i rozdílné požadavky jednotlivých technologií na parametry paliva. Přehled nejdůležitějších požadavků je uvedena v následující tabulce (Tab. 2.1).[9]

Tab. 2.1 Požadavky na kvalitu paliva pro jednotlivé typy generátorů [1]

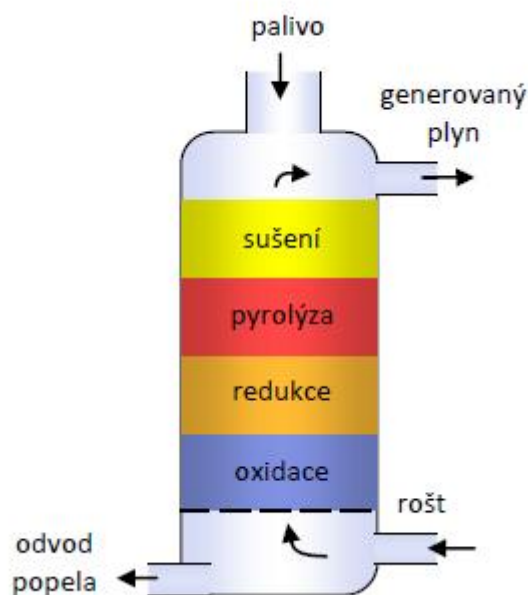
Typ generátoru	Sesuvný protiproudý	Sesuvný soproudý	Fluidní	Hořákový
Velikost částic (mm)	5-100	20-100	10-100	< 0,1
Vlhkost (hm. %)	< 50	15-20	< 40	< 15
Popel (hm. %)	< 15	< 5	< 20	< 20
Sypná hmotnost (kg.m ⁻³)	> 400	> 500	> 100	> 400
Teplota tavitelnosti popela (°C)	> 1000	> 1250	> 1000	< 1250

2.4.3 Popis a schéma jednotlivých typů generátorů

2.4.3.1 Protiproudý generátor s pevným ložem

Nejjednodušším typem zplyňovacích zařízení je protiproudý generátor s pevným ložem (Obr. 2.2). Biomasa je přiváděna ústím, které je na vrcholu zařízení a směřuje dolů, proti směru proudícího vzduchu, odtud také název - protiproudý. Výsledkem je její přeměna a odstranění popela. Vzduch je přiváděn ve spodní části, plyn je odváděn na vrcholu. Biomasa se pohybuje proti proudu plynu a postupně prochází zónami oxidace, redukce, pyrolýzy a sušení. V sušicí zóně je biomasa vysušena. V destilační zóně nebo v zóně pyrolýzy je biomasa rozložena na těkavé plyny a pevné částice. Teplo pro pyrolýzu a sušení je přiváděno převážně z nahoru proudících plynů a částečně ze záření z ohniště. V redukční zóně dochází k mnoha reakcím obsahující polokoks, oxid uhličitý, a vodní páru, ve kterých je uhlík přeměněn na oxid uhelnatý a vodík. Tyto látky jsou hlavní složkou produkovaného plynu. V ohništi je zbytek pevné hmoty spálen a poskytuje teplo, oxid uhličitý a vodní páru pro reakce probíhající v redukční zóně.[26]

Obr.2.2 Protiproudý generátor s pevným ložem [2]



Hlavní výhodou tohoto typu zplyňovacího zařízení je její jednoduchost a vnitřní výměna tepla, která vede k vysoké účinnosti zplyňování. Díky vnitřní výměně tepla je palivo na vrcholu zplyňovacího zařízení vysušeno. Proto můžeme užít palivo s vysokým obsahem vlhkosti (až 60 procent). Kromě toho může tento druh

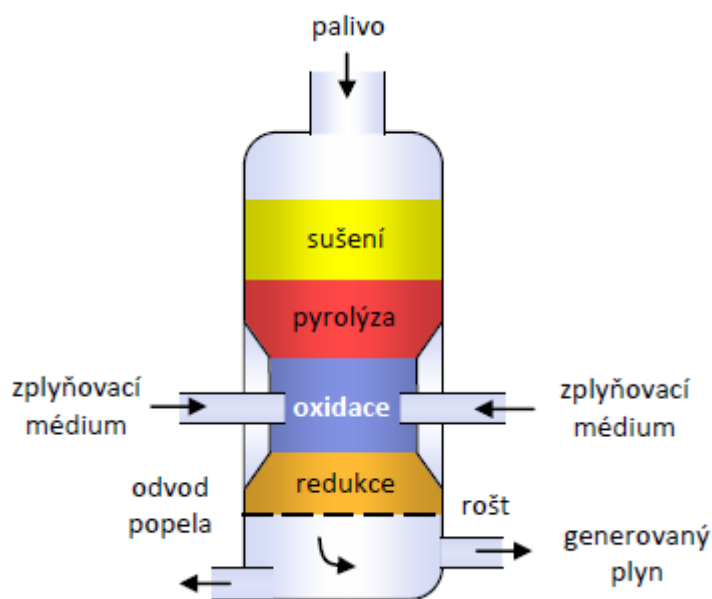
zplyňovacího zařízení zpracovat dokonce i malé částice v palivu a zpracuje i některé rozdíly velikosti v palivu.

Hlavní nevýhodou je vysoké množství dehtu a produktů pyrolýzy. Protože plyny z pyrolýzy neprocházejí ohništěm, nedojde k jejich spálení. Tento problém je nevýznamný, pokud je plyn určen pro přímou tepelnou aplikaci, ve které se dehet jednoduše spálí. Ale při použití plynu pro motory, je nutné rozsáhlé čištění odpadních plynů. Protiproudé generátory se v současné době nevyužívají. [26]

2.4.3.2 Souproudý generátor s pevným ložem

V souproudém generátoru s pevným ložem je biomasa přiváděna na vrcholu. Vzduch je přiváděn také na vrcholu nebo po stranách. Plyn opouští reaktor na dně a pohybuje se stejným směrem (Obr. 2.3), odtud také název - souproudý. Zóny jsou podobné jako u předchozího typu, ale pořadí je poněkud odlišné. Biomasa je sušena v sušící zóně, pyrolýza pak probíhá v destilační zóně. Tyto zóny jsou vyhřívány hlavně zářením (a částečně konvekcí) z ohniště, kde je část dehtu spálena. Plyny z pyrolýzy projdou taktéž touto zónou, kde jsou spáleny. Záleží na konstrukci, biomase a dovednosti obsluhy do jaké míry se plyny z pyrolýzy skutečně spálí. Po oxidační zóně zbývající dehet a produkty spalování (oxid uhličitý a vodní pára) přechází do redukční zóny, kde se tvoří CO a H₂.

Obr. 2.3 Souproudý generátor s pevným ložem [3]



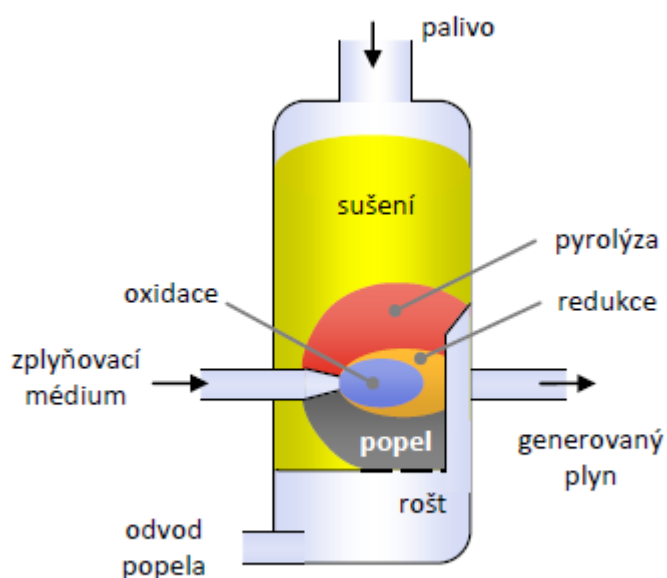
Hlavní výhodou tohoto typu zplyňovacího zařízení je výroba plynu s nízkým obsahem dehtu, který téměř vyhovuje aplikaci ve spalovacích motorech. Důvod nízkých emisí dehtu je v dvojitém spalování s postupným přívodem. Tyto typy zplyňovacích zařízení se používají k výrobě elektrické energie v rozsahu 50 až 500 kW a více.

Mezi nevýhody souprůdých generátorů patří velké množství popela a prachových částic v plynu, protože plyn prochází skrze oxidační zónu. Vysoké teploty spalin vedou k nižší účinnosti zplyňování. Dále také vysoké požadavky na palivo. Biomasa musí být jednotné velikosti mezi 4 až 10 cm, aby nedošlo k zablokování přívodu paliva a k nepravidelnému proudění. Často je nezbytné peletování či briketování biomasy. Vlhkost biomasy by neměla být větší než 25%. [26]

2.4.3.3 Generátor s křížovým proudem

Generátory s křížovým proudem jsou přizpůsobeny pro použití dřevěného uhlí (Obr. 2.4). Výsledné produkty zplyňování dřevěného uhlí v ohništi jsou extrémně teplé (1500 °C a více), což může vést k lokálním problémům rozžhaveného materiálu. Nevýhodou je nízký rozklad dehtu a to spěje k potřebě velmi kvalitního paliva.

Obr. 2.4 Generátor s křížovým proudem [4]



2.4.3.4 Další typy generátorů s pevným ložem

Existuje velké množství dalších typů generátorů, například s otevřeným jádrem, vícestupňové atd. Generátory s otevřeným jádrem jsou navrženy speciálně pro zplyňování jemných materiálů s nízkou objemovou hmotností, jako jsou například rýžové slupky, piliny apod. Díky nízké hustotě paliva není použito žádné hrdlo, které by se mohlo ucpat. Tyto generátory bývají osazeny rotačními rošty, které míchají palivo a odvádějí popel. Při zplyňování rýžových slupek je nutný plynulý systém odstraňování popela kvůli velkému obsahu ve slupkách (přibližně 55% původního objemu paliva). Na dně generátoru je nádrž s vodou, pomocí které je zajištěno unášení popela.

Vícestupňové generátory se používají za účelem oddělení zplyňovacích zón, které se mohou v závislosti na operačních podmínkách přesouvat či překrývat. Díky konstrukci těchto generátorů se zóny oddělují do osamocených nádob. Výsledek těchto úprav má za následek snížení koncentrace dehtů v plynu. [26]

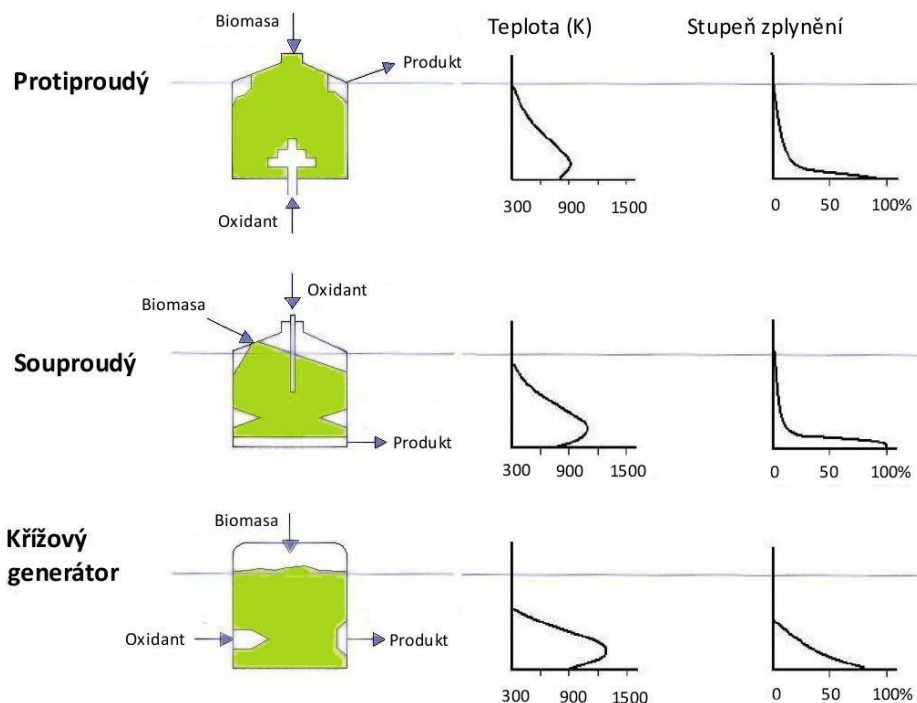
2.4.3.5 Porovnání generátoru s pevným ložem

V tabulce (Tab. 2.2) se nachází hlavní charakteristiky generátoru s pevným ložem při použití dřeva jako paliva. Hodnoty jsou pouze orientační, ale rozdíly generátorů jsou zřejmé. Na obrázku (Obr.2.5) jsou patrné závislosti stupně zplynění na teplotě vybraných generátorů. [26]

Tab. 2.2 Srovnání generátorů s pevným ložem [2]

Typ generátoru		Souproudý	Protiproudý	S křížovým tokem	S otevřeným jádrem
Palivo		dřevo	dřevo	dřevěné uhlí	dřevo
vlhkost	%	12 (max. 25)	43 (max. 60)	10,0 - 20,0	7 - 15 (max. 15)
obsah popela v sušině	%	0,5 (max. 6)	1,4 (max.25)	0,5 - 1,0	1 - 2 (max.20)
velikost	mm	20,0 -100,0	5 - 100	5,0 - 20,0	1,0 - 5,0
Teplota výstupního plynu	°C	700	200 - 400	1250	250-500
Dehty	g/m ³ _n	0,015 - 0,5	30 - 150	0,01 - 0,1	2,0 - 10,0
Citlivost na kolísání výkonu		velká	malá	velká	malá
Účinnost (teplý plyn)	%	85 - 90	90 - 95	75 - 90	70 - 80
Účinnost(studený plyn)	%	65 - 75	40 - 60	70 - 85	35 - 50
Výhřevnost	MJ/m ³ _n	4,5 - 5,0	5,0 - 6,0	4,0 - 4,5	5,5 - 6,0

Obr. 2.5 Charakteristika jednotlivých typů generátorů s pevným ložem [5]



2.5 Popis jednotlivých etap procesu zplyňování

Tuto činnost popíšeme na souproudém zplyňovacím generátoru Imbert. (Obr. 2.6) Zplyňování v sobě zahrnuje několik navazujících procesů. Jedná se o tyto čtyři:

- **Sušení** - Je to první zóna, kde se vylučuje vodní pára ze dřeva a kde teplota dosahuje téměř 170°C.
- **Pyrolýza** - Zde dochází za vyšších teplot k odplynění paliva za vzniku pevného uhlíkatého zbytku a plyných produktů pyrolýzy. Tyto produkty následně přecházejí do oxidační zóny.
- **Oxidace** – Zde je obvykle několika tryskami přivedeno zplyňovací médium (v případě tohoto typu generátoru převážně vzduch) a v této zóně dochází ke spálení především plyných pyrolýzních produktů a části pevného uhlíkatého zbytku.

- **Redukce** – Zde dochází k reakci plynných produktů oxidačních reakcí (převážně CO_2 a H_2O) a nezreagovaných produktů pyrolýzy s pevným uhlíkatým zbytkem a anorganickými složkami obsaženými ve vstupní biomase. Za vysokých teplot ($>900\text{ }^\circ\text{C}$) dochází k redukčním pochodům, při kterých vzniká primárně CO a H_2 . Vysoké teploty v této zóně rovněž umožňují efektivnější rozklad pyrolýzních produktů, a proto se tento typ generátoru vyznačuje nízkým obsahem dehtu ve výstupním plynu.[7]

Obr. 2.6 Schéma souproudého zplyňovacího generátoru [6]



Spalovací teplo, které se tvoří v oxidační oblasti v blízkosti vzduchových trysek, slouží k udržování chemických procesů, které teplo spotřebovávají a to nad a pod oxidační oblastí. Teplota v oxidační oblasti nesmí klesnout pod určitou mez, aby i při volnoběhu motoru (to je při malém odběru plynu) byla tato teplota dostatečná.[6]

2.5.1 Složení plynu

Složení konečného plynu vycházejícího z generátoru, kolísá podle zatížení generátoru. Obsahuje však vždy značné procento nehořlavých plynů a to dusík (N_2) a oxid uhličitý (CO_2). Hořlavými součástmi tohoto plynu je oxid uhelnatý (CO), vodík (H_2) a metan (CH_4). Průměrné složení generátorového plynu je asi toto:

Hořlavé plyny:

- 23% CO (oxid uhelnatý)
- 15% H_2 (vodík)
- 2% CH_4 (metan)

Nehořlavé plyny:

- 50% N_2 (dusík)
- 10% CO_2 (oxid uhličitý)

To je celkem asi 40% hořlavých plynů a asi 60% nehořlavých plynů. Tyto podíly se stále mění podle zatížení generátoru. Účinnost generátoru je 70%, to znamená, že pouze 70% energie z pevného paliva je převedeno do generátorového plynu. Protože plyn sám bez vzduchu nehoří, potřebuje přibližně stejné množství vzduchu jako plyn. Výhřevnost generátoru je tedy menší asi o 30% než u benzínu.

Proto je nutné tuto ztrátu na výkonu vhodným opatřením částečně snížit. Abychom si však mohli učinit představu o hospodárnosti provozu generátorového pohonu při použití dřeva jako paliva, uvádíme toto srovnání:

- 1 litr benzínu je nahrazen 2,2 – 2,5 kg dřeva
- 1 litr nafty je nahrazen 3,4 – 3,7 kg dřeva.[6]

Udávalo se, že asi 2 – 2,5 kg dřeva nahradí 1 litr benzín. Z 1 kg dřeva (s obsahem vody do 20%) se vyvinulo zhruba 2,5 m³ plynu.[11]

2.5.2 Čistící zařízení

Plyn je možno spalovat přímo v plynovém kotli, spalovacím motoru, ve spalovací/plynové turbíně nebo jej použít pro palivový článek či na výrobu kapalných paliv. Podle použití dřevoplynu se liší způsob jeho konečné úpravy. Pro různé typy zařízení je potřeba dosáhnout různé kvality a čistoty dřevoplynu.

Aby bylo možné stanovit vhodnou metodu čištění plynu ze zplyňování, je potřeba provést podrobnou analýzu tohoto plynu.

Plyn produkovaný zplyňovačem může být bez jakékoliv úpravy použit v plynovém kotli. Zvýšená koncentrace některých sloučenin, jako například kyselinotvorných prvků či solí mohou vést po delší době ke korozi nebo k vysokoteplotní korozi zařízení, která se nachází za kotlem.[5]

V zařízení na dřevoplyn značky IMBERT, která se montovala do automobilů se skládá z předčističe, kondenzačního hrnce, odlučovače a dočišťovače.

Předčistič bývá umístěn poblíž vyvíječe tak, aby bylo jeho závitové víko snadno přístupné a aby se dala celá vložka předčističe snadno vyjmout a vyčistit. Plyn, který vstupuje do předčističe má ještě vysokou teplotu, takže v předčističi působením nárazkových plechů a snížením rychlosti se srážejí větší suché částičky prachu a popela. Pro přívod a odvod plynu jsou v plášti předčističe upraveny přípojky. Soudobý typ generátoru je opatřen za vyvíječem ještě odprašovačem (cyklonem).

V potrubí od předčističe k odlučovači klesne již teplota plynu, tak že se začíná na stěnách potrubí srážet, zvláště v zimě vodní pára. Proto bývá na vhodném místě vestavěn kondenzační hrnec, v němž se voda shromažďuje a kde se usazují i nečistoty. Kondenzační hrnec je opatřen přírubami pro připojení potrubí a na spodku vodní výpustí. Odlučovač bývá umístěn spolu s chladičem a dočišťovačem vpředu vozidla. Odlučovač Imbert pracuje rovněž jako nárazový čistič, má střešovou dole děrovanou vložku z plechu, na kterou plyn naráží, a jelikož se zde již teplota plynu sníží, dosáhne se bodu kondenzace vody. Tato kondenzovaná voda zachycuje na mokřých plechových překážkách částičky uhelného prachu a stéká pak s nimi na dno odlučovače, z něhož se potom rychlouzávěrem pravidelně vypouští. Soudobý typ odlučovače čistí plyn probubláváním plynu vodou, takže se vypouští pouze hladina, která není potřebná pro čištění plynu.[6]

Dočišťovač, který bývá nejčastěji umístěn po straně vozidla, obsahuje na děrovaném mezidnu korkovou náplň. Průvlaky jakož i obvykle vodní výpust, umožňují dostatečný dohled a ošetření. Ve zvláštních případech bývá přímo část odlučovače provedena jako dočišťovač. Nebo se dočišťovač plynu provádí ve dvou stupních, to je částečně ve zvláštním oddíle odlučovače a dále pak ještě v normálním dočišťovači.[10]

2.6 Základní suroviny pro výrobu dřevoplynu

Jak bylo již zmíněno máme dva druhy paliva pro výrobu dřevoplynu. Paliva bohatá na dehet a paliva chudá na dehet. Paliva bohatá na dehet jsou: dřevo, rašelina, hnědouhelné brikety a paliva chudá na dehet jsou: antracit, dřevěné uhlí, kameno- a hnědouhelné polokoksy.

2.6.1 Dřevo

Dřevo je pevné pletivo stonků vyšších rostlin, které označujeme jako dřeviny. Vzniká v rostlinách z meristémových buněk. Dřevo je zahrnováno mezi obnovitelné zdroje energie, jako jeden z druhů biomasy. Je to snadno dostupný přírodní materiál, který lidé široce využívají po celou dobu své historie.[12]

Dřevo je hmota organického původu. Je tvořena třemi základními složkami: celulosou, hemicelulosami a ligninem. Všechny mají charakteristické vlastnosti, které významným způsobem ovlivňují vlastnosti dřevní hmoty.[13]

2.6.1.1 Chemické složení dřeva

Jakkoli jsou anatomické elementy jehličnanů a listnáčů různorodé, výzkum elementárního složení různých druhů dřeva ukazuje, že chemické složení je u všech dřevin přibližně stejné. Průměrně se udává 49,5% uhlíku, 44,2% kyslíku a 6,3% vodíku. Kromě toho ještě dřevo obsahuje 0,12% dusíku a malé množství minerálních sloučenin.

Dřevo představuje heterogenní koloidní systém složek s rozdílnou chemickou strukturou, kdy tři hlavní složky každé dřeviny jsou celuloza, hemicelulosa a lignin.

Celulosa

Celulosa je přírodní polysacharid a tvoří hlavní složku buněčné stěny. U různých dřevin tvoří obsah celulosy v průměru 32 – 56% z její hmotnosti. Vlákňité řetězcové makromolekuly celulosy se seskupují a vytváří nadmolekulovou strukturu – elementární fibrily (micely). 20 – 60 elementárních fibril skládá mikrofibrilu. Asi 20 mikrofibril pak tvoří vyšší strukturní jednotku, tzv. makrofibrilu, viditelnou už mikroskopem. Z makrofibril jsou složeny lamely a lamely nakonec tvoří vrstvy, z kterých se skládají buněčné stěny.

Hemicelulosy

Kromě celulosy se ve dřevě vyskytuje řada dalších polysacharidů, které se souborně nazývají hemicelulosy. Jejich stavebními jednotkami jsou různé monosacharidy. Monosacharidy hemicelulos mají nízký polymerizační stupeň a nízký podíl krystalických oblastí. Jsou to vesměs lineární polysacharidy a tvoří tmelící vrstvu mezi řetězovitými celulosovými makromolekulami a váže se na ně lignin. Dřevo jehličnanů a listnáčů se liší nejen obsahem hemicelulos, ale také jejich skladbou.

Lignin

Jde o makromolekulární látku aromatické povahy, jejímž základem je hydroxyfenylpropanová jednotka s jednou hydroxylovou a dvěma methoxylovými funkčními skupinami.

Množství ligninu ve dřevě kolísá od 15 do 35% dřevního komplexu. Větší zastoupení je ve dřevě jehličnanů a i jeho struktura je rozdílná. Lignin je termoplastický a je uložen v celé tloušťce buněčné stěny, přičemž nejvyšší zastoupení je ve střední lamelle a to 60 – 90%. Obaluje polysacharidy, který je s nimi částečně spojen chemickými vazbami. Jeho hlavní funkcí je, že spojuje dřevní vlákna (mezibuněčná vrstva), dále zpevňuje i celulosové molekuly v rámci buněčné stěny, kde má také i funkci hydrofobní. Je zodpovědný za pevnost dřeva v tlaku.[14]

2.6.1.2 Vlastnosti dřeva

Výhřevnost dřeva u různých druhů v tabulce (Tab. 2.3).

Tab. 2.3 Výhřevnost dřeva [3]

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost
	[%]	[MJ/kg]
Listnaté dřevo	15	14,605
Jehličnaté dřevo	15	15,584
Borovice	20	18,4
Vrba	20	16,9
Olše	20	16,7
Habr	20	16,7
Akát	20	16,3
Dub	20	15,9
Jedle	20	15,9
Jasan	20	15,7
Buk	20	15,5
Smrk	20	15,3
Bříza	20	15
Modřín	20	15
Topol	20	12,9

2.6.2 Rašelina

Rašelina je nahromaděný, částečně rozložený rostlinný materiál. Obsahuje převážně organické látky (celulosu) a organické kyseliny, pH 2-6. Rašelina vzniká v rašeliníštích, které se často lidově nazývají močály, bažiny nebo slatě. Celosvětové zásoby rašeliny jsou 4 triliony m³ rašeliny, pokrývají 2 % povrchu Země (asi 3 miliony km²). Je v nich uloženo 8 miliard terajoule (TJ) energie. Největší zásoby rašeliny se nacházejí v Rusku.[15]

Rašelina se vrství z rostlinného materiálu, obvykle v bažinatých oblastech, kde je omezen úplný rozklad rostlin díky acidickým a anaerobním podmínkám. Je složena převážně z vegetace mokřin: stromů, tráv, hub a ostatních druhů organických zbytků, jako je hmyz a živočichové. Za určitých podmínek (v nepřítomnosti kyslíku) je rozklad inhibován a natolik zachovalý, že archeologové mohou tento materiál často využívat.

Za správných podmínek je rašelina nejranější etapou v tvorbě uhlí. Většina nových rašelinišť byla vytvořena ve vysokých zeměpisných šířkách po ústupu ledovce na konci poslední doby ledové asi před 9000 lety. Obvykle rašelina roste pomalu, asi milimetr ročně.

Rašelina je měkká a snadno se stlačuje. Pod tlakem vody a dalších vrstev rašeliníku v rašeliništích je stlačována.

Rašelina obsahuje více jak 53–58 % spalitelných látek. Po usušení rašelina může být použita jako fosilní palivo. Má průmyslový význam jako palivo v některých zemích, jako například v Irsku a Finsku, kde je těžena v průmyslovém měřítku. V mnoha zemích, včetně Irska a Skotska, kde je málo stromů, se rašelina tradičně používá k vaření a vytápění domů. Cihly sušící se rašeliny vykopané z bažin lze stále vidět v některých venkovských oblastech. [16]

Výhřevnost rašeliny viz tabulka (Tab. 2.4).

Tab. 2.4 Výhřevnost rašeliny [4]

Výhřevnost v původním stavu	MJ/kg	15
Výhřevnost v bezvodném stavu	MJ/kg	21,36
Výhřevnost v hořlavíně	MJ/kg	22,12

2.6.3 Hnědé uhlí

Hnědé uhlí je druh méně kvalitního uhlí, používaného především jako palivo.

Hnědé uhlí je geologicky mladší než černé uhlí. Kromě uhlíku obsahuje velké množství příměsí – především různých popelovin a síry, obvykle také mnoho vody. Nejmladší a nejméně karbonizované hnědé uhlí se nazývá lignit. Chemicky se jedná především o makromolekulární komplex polyelektrolytů (např. huminových kyselin), polysacharidů, polyaromátů, uhlíkových řetězců se sirnými a dusíkatými a kyslíkatými články.

2.6.3.1 Vlastnosti hnědého uhlí

Vlastnosti hnědého uhlí jsou individuální a v každé lokalitě značně odlišné v závislosti na stáří a geologických podmínkách.

- Výhřevnost 7 MJ/kg - 22 MJ/kg
- Spalné teplo 28 MJ/kg - 35 MJ/kg
- Obsah jaloviny: 2 - 10 % (v současné době i mnohem více)
- Obsah prchavých hořlavin (uhlovodíků) z hořlavých látek - 50 - 60 %
- Obsah vody 5 - 40 %
- Obsah síry 0,5 - 2 % [17]

2.6.4 Antracit

Antracit je druh černého uhlí, který se vyznačuje nejnižším obsahem těkavých hořlavých látek (12 – 8 % hmotnosti), vysokým obsahem uhlíku (90 – 96%) a velkou výhřevností. Je to černé uhlí, které bylo vystaveno velkému tlaku a teple. Používá se na vytápění a k výrobě chemikálií.[18] Antracit obsahuje do 10% popela, tudíž se nespéká a shoří všechen.[19]

Černé uhlí patří mezi jedno z nejdůležitějších fosilních paliv, které se využívalo již dříve, avšak průmyslová revoluce dala rozvoji těžby černého bohatství nový impuls. Na rozdíl od hnědého uhlí se černé uhlí těží hlavně v podzemí. Nerostné bohatství v tuhé podobě vzniklo dlouhodobým procesem z odumřelých živočichů a rostlin v bažinách. V dnešní době je černé uhlí jedním z hlavních surovin při výrobě elektřiny a lze jej zušlechťovat na koks. Černé uhlí se skládá hlavně z uhlíku, v menším množství z vody, jílových hornin a sloučenin síry.[20]

Údaje o výhřevnosti antracitu jsou v tabulce (Tab. 2.5).

Tab. 2.5 Výhřevnost antracitu

Zrnitost (mm)	Výhřevnost [MJ/kg]	Obsah popela [%]	Obsah vody [%]	Obsah síry [%]	Prchavé látky [%]
8-16	26-28	7-10	4-6	0,7-1	2-5
13-32	28-30	7-10	4-6	0,7-1	2-5
25-50	30-32	7-10	4-6	0,7-1	2-3,5
25-80	30-32	7-10	4-6	0,7-1	2-3,5

2.6.5 Dřevěné uhlí

Dřevěné uhlí je dřevo karbonizované za vysokých teplot bez přístupu vzduchu. Dříve se připravovalo v mlířích, dnes v kovových karbonizérech. Dřevěné uhlí bylo po dlouhou dobu základním zdrojem tepla pro kovářské výhně, hutě a další provozy závislé na intenzivním zdroji tepla. Je také velmi důležitou surovinou pro výrobu černého střelného prachu. Během 19. století bylo vytlačeno uhlím kamenným a dnes je využíváno jen velmi zřídka (vytápění, provoz grilů, výroba střelného prachu pro historické zbraně).[21]

Dřevěné uhlí je drobný až kusovitý, tvrdý, pórovitý, snadno hořlavý, vysoceuhlíkatý nekystalický produkt suché destilace dřeva, mající černou barvu, matný kovový lesk, výraznou dřevitou strukturu, při nárazu kovový zvuk, lasturovitý lom a vysokou absorpční schopnost. Obsahuje nízký podíl síry, bod vznícení má v rozmezí 300 - 400°C, výhřevnost průměrně 27,2 MJ.kg⁻¹ (až 1,8 krát vyšší než dřevo), a měrnou hmotnost 140 až 220 kg.m³. [22]

Dřevěné uhlí se z chemického hlediska skládá z 50,42% uhlíku, 6,7% vodíku, 42,15% kyslíku, 0,65% dusíku a 0,08% síry.[23]

2.6.6 Hnědouhelný polokoks

Karbonizace (koksování) uhlí

Karbonizace uhlí je pyrolytický rozklad uhelné hmoty za nepřístupu vzduchu, při které vzniká tuhý karbonizační zbytek (koks nebo polokoks), kapalná složka (karbonizační dehet a karbonizační voda) a plynná složka (karbonizační plyn). Podle teploty při karbonizaci rozeznáváme nízkotepeelnou karbonizaci, která se provádí za teplot kolem 600°C a vysokotepeelnou karbonizaci, která probíhá asi při 1 000°C.

2.6.6.1 Nízkotepeelná karbonizace

Hlavní surovinou pro nízkotepeelnou karbonizaci je hnědé uhlí. Z 1 tuny hnědé uhlí vznikne přibližně 0,4 tuny polokoksu, 0,1 tuny dehtu, 0,13 tuny fenolových vod, 0,006 tuny karbonizačního benzínu a 60 až 100 Nm³ karbonizačního plynu. V současné době se nízkotepeelná karbonizace již nepoužívá, protože je zatím

ekonomicky výhodnější získávat organické látky z ropy, než destilačně zpracovávat dehet (zdroj fenolů a aromatických uhlovodíků).[24]

2.7 Požadavky na úpravu vstupní suroviny

2.7.1 Dřevo

Dřevo je velmi vhodným palivem hlavně proto, že obsahuje pouze 0,5 až 2% jemného popela a neobsahuje žádnou síru, která má velmi škodlivé účinky. První typy generátorů na dřevo fungovaly uspokojivě pouze při použití tvrdého dřeva (hlavně buku), dnešní typy generátorů na dřevo nejsou však v tomto směru vůbec citlivé a zplyňují i měkké dřevo jakékoliv jakosti. Přitom je však nutno zdůraznit, že bukové dřevo nebo směs měkkého a tvrdého dřeva jsou pro generátor lepším palivem.

Lepší vlastnosti tvrdého dřeva netkví v jeho složení, které je u všech dřevin stejné, nýbrž v tom, že dřevěné uhlí vytvořené z tvrdého dřeva je pevnější a lépe odolává otřesům při jízdě vozidlem. Naproti tomu má dřevěné uhlí vytvořené z měkkého dřeva větší účinnou plochu, protože je pórovité a snadněji se rozhoří, čímž se zkrátí doba rozdmýchávání.[6]

Výhřevnost dřeva je srovnatelná s hnědým uhlím. U rostlinných paliv však kolísá podle druhu a vlhkosti, na kterou jsou tato paliva citlivá. Čerstvě vytěžené dřevo má relativní vlhkost až 60 %, dobře proschlé dřevo na vzduchu má relativní vlhkost cca 20 %; pod střešou sníží svůj obsah vody na 20 % za půl až jeden rok. Dřevěné brikety mohou mít relativní vlhkost od 3 do 10 %, podle kvality lisování.

Pro spalování štěpek je optimální vlhkost 30 - 35 %. Při vlhkosti nižší má hoření explozivní charakter a mnoho energie uniká s kouřovými plyny. Při vyšší vlhkosti se mnoho energie spotřebuje na její vypaření a spalování je nedokonalé. Pro spalování dřeva lze doporučit vlhkost cca 20 %.[25]

Tím se dostáváme k důležitému bodu a to k velikosti špalíčků. Příliš velké špalky vedou k takzvaným prohořeným dutinám (klenbám), které znemožňují automatické padání dřeva do žároviště a tím nastane porucha v plynulé výrobě plynu. Naproti tomu příliš malé špalíčky se vlivem otřesů vozidla tak zhušťují, že zvyšují odpor (podtlak) sání motoru, čili zmenšují průchod volného plynu v potřebném

množství a tím snižují i výkon motoru. Proto největší velikost špalíčků nemá přesahovat délku 7 – 10 cm a průměr 5 – 7 cm, nejmenší rozměry nemají být nižší než 2 – 3 cm.

Pokud se týká složení plynu z různých dřevin, jsou rozdíly tak malé, že nemají prakticky žádného vlivu na chod motoru.[6]

2.7.2 Hnědé uhlí – brikety

Hnědé uhlí v přirozeném stavu nelze použít hlavně pro jeho velký obsah vody, který může činit i více než 50%. Dále nutno říci, že každý druh hnědé uhlí není vhodný, protože zde rozhoduje obsah popela, síry a dehtu. Vhodné hnědé uhlí musí být proto nejdříve zbavováno velkého obsahu vody, musí mít vhodnou velikost a nemá se snadno rozpadávat. Proto se vyrábějí generátorové brikety z hnědé uhlí v lisech o tlaku až 101,325 MPa. Velikost těchto briket činí nejvýše 7 cm. Jakostní předpis pro vhodné generátorové brikety zní:

- obsah vody nejvýše 15%,
- obsah popela méně než 6%,
- celkový obsah síry nejvýše 1%,
- obsah dehtu nejvýše 10%.

Výhodou hnědouhelných briket je také jejich nižší cena a větší měrná hmotnost, která umožní ujet větší počet kilometrů se stejným objemovým množstvím.

2.7.3 Rašelina

Rašelina je svým způsobem mladší než příbuzné hnědé uhlí a vykazuje proto podobné výhody a nevýhody. Výhodou rašeliny je možnost vysušení až na obsah 15-20% vody. Briketováním jí můžeme dát vhodnou formu a rozměr. Hustší druhy rašeliny můžeme zplyňovat i bez briketování. Ke dřevu můžeme přimísit rašelinu až do 30%.

Nevýhodou rašeliny je někdy velký obsah síry (od 0,1 – 4%) a velký obsah popela (1 – 20%). Platí zde tytéž jakostní předpisy jako u hnědouhelné brikety a je třeba spíše se držet značně pod přípustnou mez. Proto každý výskyt rašeliny nemusí být vhodný. Rašelina by měla mít nejvýše rozměr pěsti a nejméně rozměr palce.[6]

3. Vlastní práce

Cílem vlastní práce je navrhnout a upravit zařízení pro kontinuální výrobu dřevoplynu, bez nutnosti odstavení a opětovného nastartování celého procesu. A také vygenerovaný dřevoplyn přeměnit na elektrickou energii.

Ve vlastní práci se budu nejprve zabývat úpravou generátoru pro kontinuální výrobu dřevoplynu. Generátory pracují cyklicky. To znamená, že se generátor naplní palivem a zapálí. Po vyhoření přestane generátor produkovat dřevoplyn a musí se vyčistit. Vyčištění spočívá v tom, že se z generátoru odstraní všechny popel. Po vyčištění se generátor znovu naplní palivem a zapálí. S touto úpravou by měl generátor produkovat dřevoplyn kontinuálně bez přerušení. Měli by jsme být schopni za provozu doplňovat palivo a odstraňovat popel a to bez úniku a přerušení produkce dřevoplynu.

3.1 Úprava generátoru

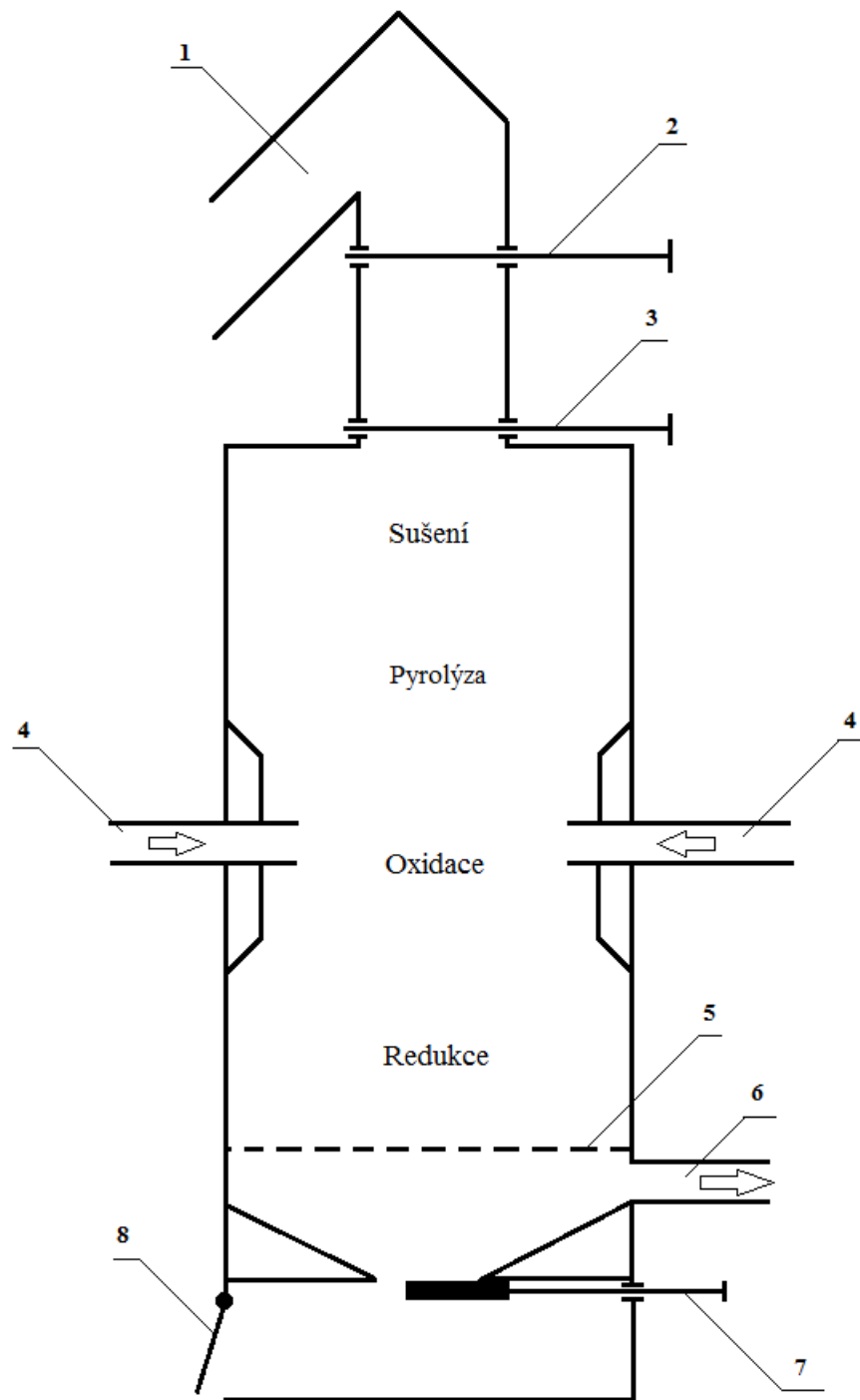
Pro takovouto úpravu jsem si vybral souproudý generátor. Který jsem doplnil o uzavírací přepážky. Přepážky by měly zajistit, aby zařízení pracovalo kontinuálně, jak lze vidět na schéma (Obr. 3.1).

3.1.1 Doprava paliva do generátoru

Palivo by se do generátoru mělo dostávat ze zásobníku, ke kterému bude dostatečný přístup pro doplňování paliva do zásoby. O přísun materiálu do generátoru se bude starat šnekový dopravník, který bude mít nastavené přesné dávkování. Dávka se musí vejít mezi přepážky. Generátor je doplněn o dvě uzavírací přepážky. Palivo se pomocí těchto přepážek dostává do generátoru bez ztráty dřevoplynu v něm.

System plnění paliva by pracoval tímto způsobem. Přepážka č.1 se otevře pomocí elektromotoru. Po otevření se zapne šnekový dopravník, který přemístí palivo ze zásobníku do komory mezi přepážkou č.1 a přepážkou č.2. Po naplnění komory palivem se přepážka č.1 uzavře. Při potřebě paliva v generátoru se otevře přepážka č.2 a tím se palivo propadne do spalovacího prostoru generátoru. Po vyprázdnění se přepážka č.2 uzavře a celý cyklus se může opakovat.

Obr. 3.1 Schéma upraveného generátoru



1. Šnekový dopravník
2. Přepážka č.1
3. Přepážka č.2
4. Přívod zplyňovacího média
5. Rošt
6. Výstup generovaného plynu
7. Uzavírací šoupě
8. Dvířka generátoru

3.1.2 Odstranění popela

Popel by se měl z generátoru odstraňovat pomocí dvířek generátoru a uzavíracího šoupěte. Při chodu generátoru budou dvířka generátoru uzavřena a uzavírací šoupě otevřené. Tím by měl popel padat na dno generátoru. Při potřebě odstranění popela by se uzavírací šoupě zavřelo a tím by se oddělil spalovací prostor. Při otevírání dvířek by nemělo docházet v generátoru k ucházení vyvinutého dřevoplynu. Po uzavření šoupěte a otevření dvířek generátoru můžeme odstranit popel. Po odstranění popela se dvířka generátoru uzavřou a otevře se uzavírací šoupě. Tímto principem by se měl odstraňovat všechn popel.

3.2 Využití dřevoplynu

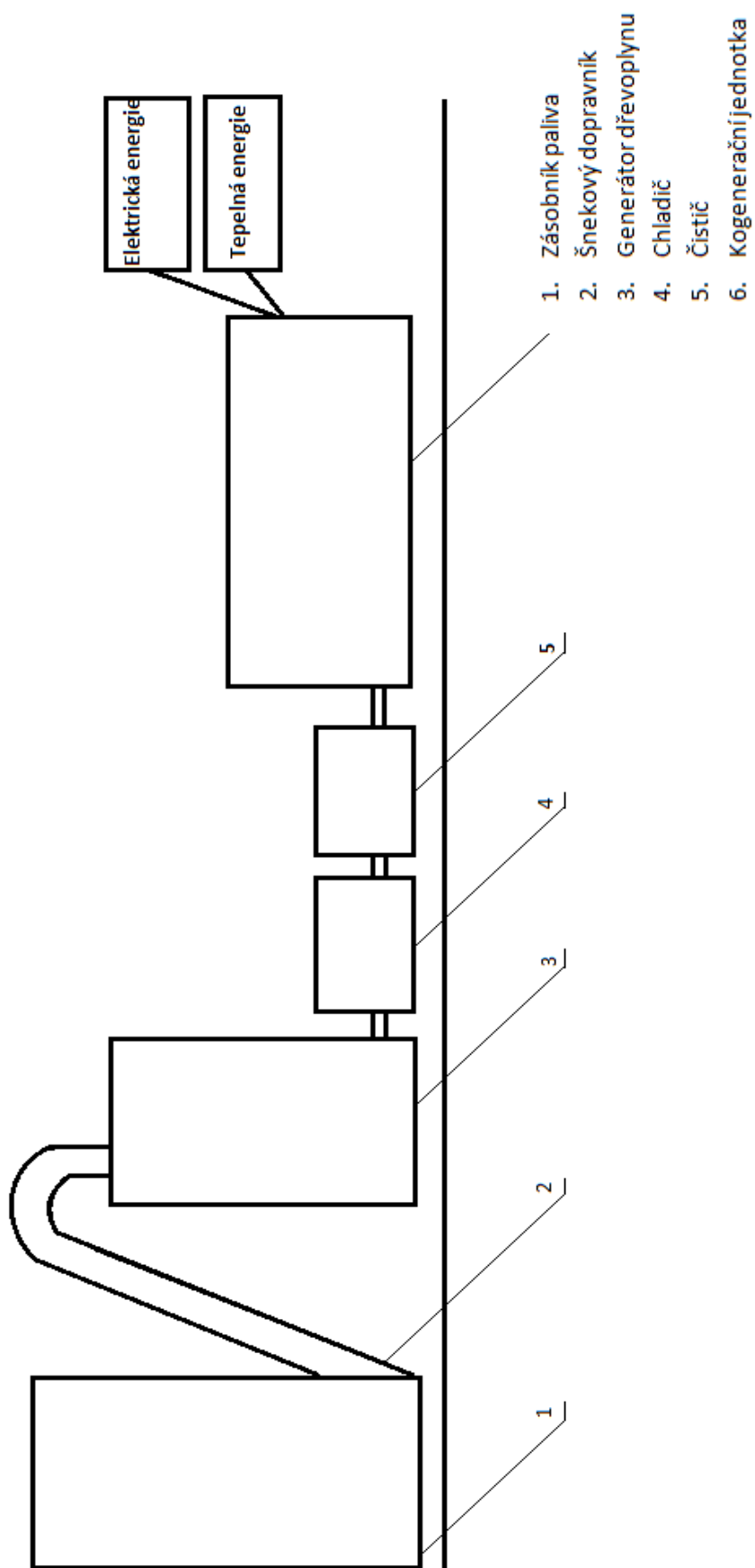
V této práci budu vyprodukovaný dřevoplyn používat k pohonu kogenerační jednotky a tím k výrobě elektrické a tepelné energie. Schéma celé technologické linky je na obrázku (Obr. 3.2). Než se plyn dostane do kogenerační jednotky musí projít řadou zařízení. Celá linka začíná zásobníkem na dřevěné brikety, štěpku nebo peletky. Záleží z čeho budeme dřevoplyn chtít vyrábět.

Palivo se tedy ze zásobníku pomocí šnekového dopravníku dostane do generátoru plynu. Zde je palivo zplyněno a odchází do chladiče plynu, kde se palivo zchladí. Po zchlazení plyn pokračuje do čističe a z čističe pokračuje už přímo do kogenerační jednotky.

3.2.2 Chladič plynu

Plyn, který vystupuje z generátoru má teplotu okolo 700 °C. Toto teplo můžeme využít nebo nechat bez využití. Pokud ho budeme chtít využít, místo klasického výměníku zapojíme rekuperační výměník PLYN-VODA a vodu, která se nám ohřeje od horkého vzduchu můžeme využívat. Využití může mít například u vzduchotechnikou vytápěných prostor, vytápění domů, ohřev vody v bazénu atd. Přebytečné teplo bude mařeno na výměnících.

Obr. 3.2 Technologické schéma linky



3.2.2 Kogenerační jednotka

3.2.2.1 Co je kogenerace

Pojem kogenerace znamená kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Oproti klasickým elektrárnám, ve kterých je teplo vzniklé při výrobě elektrické energie vypouštěno do okolí, využívá kogenerační jednotka teplo k vytápění. A dále tak šetří palivo i finanční prostředky potřebné na jeho nákup.

3.2.2.2 Jak pracuje kogenerační jednotka

Elektrická energie vzniká ve všech elektrárnách roztočením elektrického generátoru pomocí turbíny. Teplo nutné k výrobě páry, která turbínu pohání, se většinou získává spalováním uhlí nebo štěpením jader uranu. Velká část tepla však není využita a je bez užitku vypouštěna do ovzduší. Účinnost výroby v tepelných elektrárnách se pohybuje kolem 30%, nejmodernější paroplynové elektrárny pak mají účinnost kolem 50%, ovšem k dalším ztrátám ve výši asi 11% dochází při transformaci a dálkovém přenosu elektrické energie.

V kogenerační jednotce vzniká elektrická energie stejným způsobem jako v jiných elektrárnách - roztočením elektrického generátoru, a to pomocí pístového spalovacího motoru. Motory v kogeneračních jednotkách jsou standardně konstruovány na zemní plyn, mohou však spalovat i jiná kapalná či plynná paliva.

Teplo, které se ve spalovacím motoru uvolňuje, je prostřednictvím chlazení motoru, oleje a spalin efektivně využíváno a díky tomu se účinnost kogeneračních jednotek pohybuje v rozmezí 80 - 90 %.

3.2.2.3 Výhody kogenerace

Úspora paliva

Použití kogeneračního způsobu výroby tepla a elektrické energie, představuje zhruba 40% úsporu paliva. Převáděno na peníze to znamená, že za stejné množství energie zaplatí uživatel pouze 60% finančních prostředků.

Úspora nákladů na nákup energie

Ze stejného množství paliva získá přibližně dvojnásobné množství energie, z níž část může prodávat a tím opět snižovat vlastní náklady.

Minimalizace nákladů na rozvod energie

Teplo i elektrická energie navíc vznikají v místě své spotřeby, čímž odpadají náklady na rozvod energie i ztráty tímto dálkovým rozvodem způsobené. Teplo vznikající v kogenerační jednotce je využito k vytápění budov, přípravě teplé užitkové vody nebo k přípravě technologického tepla.

Ekologický způsob výroby

Protože se při použití kogeneračního způsobu výroby elektřiny a tepla ušetří asi 40% paliva, zatěžuje kogenerace z ekologického hlediska přibližně o 40 procent méně životní prostředí.

Energie pro případ nouze

Kogenerační jednotky slouží často také jako nouzové zdroje elektrické energie v místech její nepřetržité potřeby.

Výroba chladu

Pomocí absorpčního výměníku je vyrobené teplo možné využít i k výrobě chladu pro technologické účely nebo klimatizaci. V takovém případě se hovoří o tzv. trigeneraci, kombinované výrobě elektrické energie, tepla a chladu.[27]

3.2.2.4 Rozdělení kogeneračních jednotek dle výkonu

- **Mikrokogenerační jednotky(MKJ) s výkonem do 50 kWe** – používají se zejména pro vlastní spotřebu elektrické energie zároveň s využitím tepla pro vytápění objektu a ohřev vody (například rodinného domku).
- **Mini-kogenerační jednotky s výkonem 50 – 150 kWe** – využívají se k vytápění podnikatelských objektů, zdravotnických zařízení, hotelů apod.
- **Kogenerace malého s výkonem od 150 kWe do 1MWe** – jsou používány v průmyslových podnicích a teplárenských zařízeních.
- **Kogenerace středního výkonu do 1MWe**
- **Kogenerace velkého výkonu nad 1MWe** [28]

3.3 Využití energií

Z kogenerační jednotky budeme mít tedy dva druhy energie, elektrickou a tepelnou. Elektrickou energii můžeme dodávat do sítě a inkasovat za ní finance. Můžeme jí ovšem i využívat pro vlastní spotřebu. Přebytek, který je obzvláště v noci dodávat do sítě.

Tepelnou energii můžeme mařit na výměnících pokud by jsme pro ni nenašli upotřebení. Používat ji můžeme na ohřev vody, vytápění domů nebo průmyslových staveb. Teplo můžeme také využít na sušení paliva do generátoru, aby mělo menší měrnou vlhkost.

3.4 Ekonomické zhodnocení

Pokud se budeme zabývat ekonomickou stránkou celého zařízení dospějeme k názoru, že pokud dřevo, které se převážně používá jen pro vytvoření tepelné energie, vytvoříme zplyněním dřevoplyn, který pomocí kogenerační jednotky přeměníme na tepelnou a elektrickou energii. Prostřednictvím zplynění dřeva a využití kogenerační jednotky, dokážeme lépe zužítkovat vlastnosti dřeva.

Uvedeme si to na příkladu. Pokud budeme mít dřevo v hodnotě 100 Kč, které budeme chtít spálit doma v kotli a vytvořit tím teplo pro ohřev vody v ústředním topení, tak z té stokoruny využijeme pouze 85 Kč. Zbýlých 15 Kč nám projde komínem jako ztráta. Pokud by jsme toto dřevo dali do generátoru a vytvořili z něj dřevoplyn, který projde přes kogenerační jednotku, tak vyrobíme teplo pro ohřev vody v ústředním topení a zároveň i elektrickou energii, kterou prodáme do sítě. Při tomto postupu původní stokorunu zhodnotíme asi na 350 Kč. Jde o to, jaké by jsme používali dřevo, jakou bude mít dřevo měrnou vlhkost a za kolik budeme vyrobenou elektrickou energii prodávat.

Samozřejmě čím větší zařízení pořídíme, tím více energie jak tepelné tak i elektrické vyrobíme. Na druhou stranu se nám zvýší i celková pořizovací cena zařízení. Nejde tak ani o to, jestli je zařízení drahé nebo levné, ale jde především o to, za jak dlouho po uvedení do provozu se nám peníze investované do zařízení vrátí zpět, pokud zařízení bude pracovat kontinuálně v průměru 7680 hodin za rok. Zbytek hodin se spotřebuje na opravy, údržbu a na nečekané negativní vlivy, kvůli kterým by se muselo zařízení dočasně zastavit. Zařízení bude mít výkon 100 kW

elektrických, které budeme prodávat do sítě za 4Kč/kWh. Za rok tedy prodáme elektrickou energii celkem za 3 miliony a 72 tisíc. Musíme odečíst ovšem vstupní hodnoty jako jsou práce obsluhy, pořízení paliva, opravy a údržbu. Pořizovací cena takového zařízení je okolo 4 milionů korun. Pokud by nám po odečtení všech vstupů zbyl 1 milion korun, zařízení by se nám zaplatilo za čtyři roky. Navíc je zde možnost čerpání státní dotace ve výši 30-50 %.

4. Závěr

Cílem mé práce bylo prověřit možnosti kontinuální výroby dřevoplynu, bez nutnosti odstavení a opětovného nastartování procesu vývinu dřevoplynu. Dále prověřit nutnost úpravy dřevní hmoty před vložením do reaktoru a posouzení vhodnosti druhu dřevin pro uvedenou reakci.

V mém návrhu jsem zjistil, že dřevoplyn lze vyvíjet kontinuálně bez nutnosti odstavení a opětovného nastartování procesu vývinu dřevoplynu. Dřevoplynový generátor bude doplněn o šnekový dopravník, který dopravuje palivo do generátoru ze zásobníku a dvě přepážky pomoci, kterých se dávkuje palivo do generátoru. Pro odstranění popela bez úniku vyvinutého dřevoplynu byl generátor doplněn o uzavírací šoupě, které při uzavření odděluje dno generátoru od spalovacího prostoru. Následně je možné popel odstranit.

Vyvíjený plyn odchází z generátoru do výměníku, kde se ochladí. Poté pokračuje do čističe, kde se odstraní prach a dehtové složky. Po vyčištění je plyn nasáván kogenerační jednotkou, kde je mísen se vzduchem 1:1 a následně je směs nasávána do válců spalovacího motoru. Spalovací motor roztáčí generátor, který produkuje elektrickou a tepelnou energii.

Při ekonomickém zhodnocení jsem došel k závěru, že pořízení dřevoplynové elektrárny o výkonu 100 kW elektrických se pohybuje okolo 4 milionů korun. Což je poměrně velká investice, ale její návratnost by se měla pohybovat okolo 4 let. Je to závislé na výkupní ceně elektrické energie, poruchovosti výroby a vstupních nákladech. Doba splacení se nám může snížit pokud se nám podaří získat státní dotaci a to v rozmezí 30-50 %.

V dnešní době se dřevoplynové generátory pro výrobu elektrické energie nepoužívají. Jsou využívána jen velmi zřídka pro vedlejší zdroj příjmu například v nábytkářských firmách nebo truhlárnách.

Při spalování dřevoplynu ve spalovacím motoru vzniká oxid uhličitý, který se dále dostává do atmosféry a díky absorpci stromů a procesu fotosyntézy je uzavřen koloběh oxidu uhličitého. V dnešní době by se měla energie vytvářet více za pomoci obnovitelných zdrojů.

5. Seznam použité literatury a zdroje informací

Text

- [1] Dřevoplyn <http://cs.wikipedia.org/wiki/Dřevoplyn> (staženo 13.12.2010)
- [2] Ing. Petr Novák CSc. Farmář 05/2005 Motory v zemědělství str. 92
- [3] Mají budoucnost auta na dřevoplyn? Přeložil a redakčně vykrátil Marek Kvapil. <http://www.energybulletin.cz/?q=clanek/maji-budoucnost-auta-na-drevoplyn> (staženo 13.12.2010)
- [4] Dřevoplyn jako pohonné médium <http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/drevoplyn-jako-pohonne-medium> (staženo 13.12.2010)
- [5] Ing. Ivan Kržin: Kvalita plynu ze zplyňování dřeva (Autoreferát doktorské disertační práce) 2008
- [6] Mráz, V., Mráz, J.: Dřevoplynové generátory. Březen 1954
- [7] BEŇO, Zdeněk, SKOBLIA, Siarhei: Souproudé zplyňovací generátory a jejich použití pro výrobu elektrické energie z biomasy. Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2
- [8] POHOŘELÝ, Michael, JEREMIÁŠ, Michal: Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění . (kolektiv autorů), Výsledky výzkumu, vývoje a inovací pro obnovitelné zdroje energie (OZE 2010) (staženo 6.1.2011)
- [9] Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění <http://files.tretiruka.cz/200001013-a770ca86ad/109.pdf> (staženo 6.1.2011)
- [10] IMBERT Generátory – společnost s.r.o.: Zařízení na dřevoplyn zn. IMBERT, jeho uspořádání a obsluha
- [11] Zdeněk Vacek: Věda, technika a my 7/99 str.9
- [12] Dřevoplyn <http://cs.wikipedia.org/wiki/Dřevoplyn> (staženo 6.1.2011)
- [13] Chemické složení dřeva <http://drevo.celyden.cz/slozeni-vlastnosti-dreva/> (staženo 8.1.2011)

- [14] Chemické složení dřeva <http://www.ohybacidrevo.cz/vlastnosti/chemicke-slozeni-dreva> (staženo 8.1.2011)
- [15] Rašelinové brikety <http://www.webareal.cz/brikety/eshop/13-1-Raselinove-brikety> (staženo 8.1.2011)
- [16] Rašelina http://cs.wikipedia.org/wiki/Rašelina#cite_note-0 (staženo 19.1.2011)
- [17] Hnědé uhlí http://cs.wikipedia.org/wiki/Hnědé_uhlí (staženo 19.1.2011)
- [18] Antracit <http://cs.wikipedia.org/wiki/Antracit> (staženo 19.1.2011)
- [19] Nabídka antracitu <http://www.mhas.cz/ru/download/nabidka-antracitu.pdf> (staženo 19.1.2011)
- [20] Černé uhlí <http://www.cernehli.cz/> (staženo 22.1.2011)
- [21] Dřevěné uhlí http://cs.wikipedia.org/wiki/Dřevěné_uhlí (staženo 22.1.2011)
- [22] Výroba, zpracování a využití biomasy
http://www.rarsm.cz/download/cd3/vyroba_zpracovani_vyuziti_biomasy.pdf
(staženo 22.1.2011)
- [23] Zdroj tepla
http://fstroj.uniza.sk/web/ket/subory/pre%20studentov/zt/Zdroje_tepla_4.pdf
(staženo 22.1.2011)
- [24] Karbonizace http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-588-9/pdf/145.pdf (staženo 29.1.2011)
- [25] Biomasa obecně <http://ekowatt.cz/uspory/biomasa.shtml> (staženo 20.2.2011)
- [26] Zplyňování biomasy
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30775
(staženo 20.2.2011)
- [27] Princip kogenerace <http://kogenerace.tedom.cz/princip-a-vyhody.html> (staženo 20.2.2011)
- [28] Mikrokogenerace
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30560
(staženo 20.2.2011)

Obrázky:

[1] Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění <http://files.tretiruka.cz/200001013-a770ca86ad/109.pdf> (staženo 6.1.2011)

[2] Zplyňování biomasy

http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30775

(staženo 20.2.2011)

[3] Zplyňování biomasy

http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30775

(staženo 20.2.2011)

[4] Zplyňování biomasy

http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30775

(staženo 20.2.2011)

[5] Zplyňování biomasy

http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30775

(staženo 20.2.2011)

[6] BEŇO, Zdeněk, SKOBLIA, Siarhei: Souproudé zplyňovací generátory a jejich použití pro výrobu elektrické energie z biomasy. Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2

Tabulky:

[1] Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění <http://files.tretiruka.cz/200001013-a770ca86ad/109.pdf> (staženo 6.1.2011)

[2] Zplyňování biomasy

http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30775

(staženo 20.2.2011)

[3] Některé vlastnosti dřeva <http://www.enviweb.cz/clanek/topeni/67835/nektere-vlastnosti-dreva> (staženo 20.2.2011)

[4] Pelety <http://www-exin-cz.navrh.cz/pelety> (staženo 20.2.2011)

[5] Nabídka antracitu <http://www.mhas.cz/ru/download/nabidka-antracitu.pdf> (staženo 19.1.2011)