

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

PEDAGOGICKÁ FAKULTA  
KATEDRA FYZIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vliv složení biomasy na účinnost přeměny energie v plynovém  
spalovacím motoru**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Šerý

Autor:

Bc. Lubomír Novotný

2011

## Anotace

Tato diplomová práce „Vliv složení biomasy na účinnost přeměny energie v plynovém spalovacím motoru“ se zabývá problematikou získávání energie z biomasy pro pohon motorů. Je zde popsán historický vývoj využití dřevoplynu a proces zpracování biomasy k jeho výrobě od počátku tohoto objevu po období využití a plošné realizace ve světě. V poslední části je uvedeno několik pokusů s různými druhy biomasy a pokus o zjištění získané energie v jednoduchém plynovém spalovacím motoru. Součástí práce je konstrukce prototypu.

## Annotation

This thesis "The influence of composition on biomass energy conversion efficiency in the gas combustion engine" deals with the matter of obtaining energy from biomass to propel engines. It describes the historical development and use of the wood gas treatment process for its production of biomass from the beginning of this discovery up to the use and large scale implementation around the world. The last section presents several experiments with different types of biomass and an experiment to determine the energy obtained in a simple gas combustion engine. Construction of a prototype is part of this thesis.

## Klíčová slova:

biomasa, dřevoplyn, spalovací motor, zplynování dřeva, generátor

## Keywords:

Biomass, Wood Gas, Combustion Engine, gasification of Wood, Generator

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

Datum.

Podpis studenta

Děkuji panu Ing. Michalovi Šerému za cenné rady, dohled a odborné vedení při zpracování diplomové práce na téma Vliv složení biomasy na účinnost přeměny energie v plynovém spalovacím motoru.

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>BIOMASA .....</b>	<b>8</b>
2.1.	DEFINICE BIOMASY .....	8
2.2.	VZNIK BIOMASY .....	8
2.3.	KOLOBĚH UHLÍKU .....	8
2.4.	ROZDĚLENÍ BIOMASY Z HLEDISKA PŮVODU .....	9
2.5.	ZPRACOVÁNÍ BIOMASY .....	11
2.6.	ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY - BIOCHEMICKÁ PŘEMĚNA .....	13
2.7.	ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY - MECHANICKO-CHEMICKÁ PŘEMĚNA .....	14
2.8.	ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY - TERMOCHEMICKÁ PŘEMĚNA .....	15
2.9.	VÝHODY A NEVÝHODY ENERGETICKÉHO VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY .....	17
<b>3</b>	<b>DŘEVOPLYN VE SPALOVACÍCH MOTORECH (HISTORIE) .....</b>	<b>18</b>
3.1.	VYUŽITÍ DŘEVOPLYNU (DO 2. SVĚTOVÉ VÁLKY) .....	18
3.2.	AMATÉRSKÉ VYUŽITÍ DŘEVOPLYNU PO DRUHÉ SVĚT. VÁLCE .....	22
<b>4</b>	<b>DŘEVOPLYNOVÉ GENERÁTORY V AUTOMOBILECH .....</b>	<b>24</b>
4.1.	Hlavní typy generátorů .....	24
4.2.	POPIS ZPLYŇOVACÍHO GENERÁTORU .....	26
4.3.	NÁROKY NA PALIVO (DŘEVO) .....	28
4.4.	PROCES ZPLYNOVÁNÍ V DŘEVOPLYNOVÉM AGREGÁTU .....	30
4.4.1.	<i>Průměrné složení generátorového plynu .....</i>	<i>32</i>
<b>5</b>	<b>GENERÁTOROVÁ SOUPRAVA IMBERT .....</b>	<b>33</b>
5.1.	ČISTÍCÍ A CHLADÍCÍ ZAŘÍZENÍ IMBERT .....	33
5.2.	PŘÍSLUŠENSTVÍ IMBERT .....	35
5.3.	ČINNOST SOUSTAVY IMBERT .....	35
<b>6</b>	<b>ZKONSTRUOVÁNÍ MODELU SPALOVACÍHO MOTORU NA DŘEVOPLYN ..</b>	<b>38</b>
6.1.	ANALÝZA DANÉ PROBLEMATIKY .....	38
6.2.	KONSTRUKCE GENERÁTORU DŘEVOPLYNU .....	39
6.3.	VÝBĚR A PŘÍZPŮSOBNÍ MOTORU .....	44
6.4.	KONSTRUKCE SMĚŠOVACÍHO ZAŘÍZENÍ .....	45
6.5.	PRVNÍ POKUS O UVEDENÍ MOTORU DO CHODU .....	48
6.5.1.	<i>Stanovené závěry z výsledku pokusu: .....</i>	<i>50</i>
6.6.	PŘIDÁNÍ STARTÉRU .....	50
6.7.	NAMONTOVÁNÍ CHLADIČE PLYNU .....	51
6.8.	KONTROLKA HOŘLAVOSTI PLYNU .....	52
6.9.	PŘIDÁNÍ PLYNOVÉ Klapky .....	53

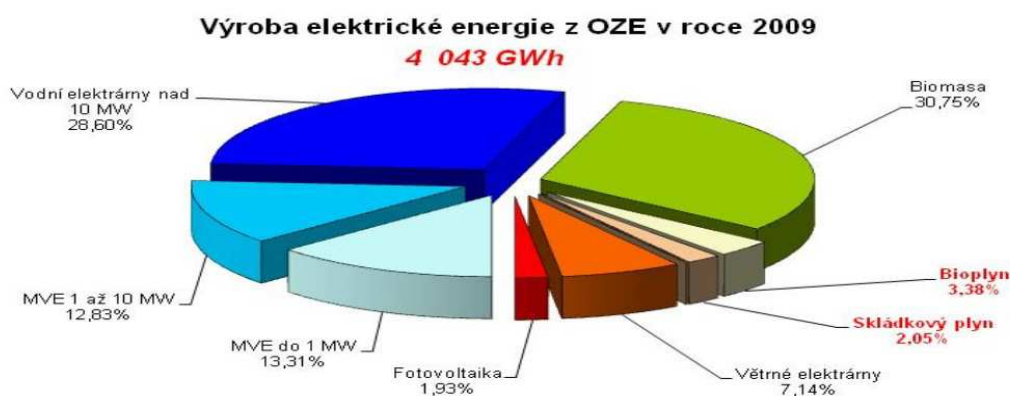
6.10.	SNÍŽENÍ PŘEDSTIHU ZAPALOVÁNÍ.....	54
6.11.	SESTROJENÍ STOJATÉHO RÁMU MOTORU .....	55
6.12.	DRUHÝ POKUS O UVEDENÍ MOTORU DO CHODU.....	56
	6.12.1. Stanovené závěry z výsledku druhého pokusu: .....	58
6.13.	SESTROJENÍ DMYCHADLA.....	58
6.14.	KONSTRUKCE FILTRU DEHTU .....	60
6.15.	USAZENÍ MODELU DO MOBILNÍ KONSTRUKCE .....	61
6.16.	INSTALACE ALTERNÁTORŮ.....	63
<b>7</b>	<b>POKUS O NAMĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH HODNOT .....</b>	<b>64</b>
7.1.	VÝSLEDKY PRVNÍHO MĚŘENÍ .....	65
<b>8</b>	<b>POŘIZOVACÍ A PROVOZNÍ NÁROČNOST PROTOTYPU .....</b>	<b>66</b>
8.1.	ČASOVÁ NÁROČNOST NA MODEL.....	66
8.2.	NÁKLADY NA MODEL .....	67
8.3.	PROVOZ ZAŘÍZENÍ .....	67
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>68</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>69</b>
<b>11</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>71</b>

# 1 Úvod [1, 2, 3, 4]

V dnešní době náročné na spotřebu energie, kdy světové zásoby ropy a uhlí jsou z větší části již vyčerpány a počet obyvatel Země se stále zvyšuje, např. za posledních 10 let přibýlo 800 milionů lidí, stoupají i nároky na energii. Toto má za následek hledání a využívání jiných alternativních obnovitelných zdrojů. Jedním z těchto obnovitelných zdrojů je bezesporu biomasa. V našich zeměpisných šířkách byla biomasa ve formě dřeva již od pradávna hlavním energetickým zdrojem. Po nástupu fosilních paliv tato surovina přestala být postupně energeticky zajímavá a ustoupila do pozadí, aby mohla v dnešním moderním světě opět nastat její renesance.

Biomasa jakožto palivo (biopalivo) zabírá zhruba 14 % světové spotřeby energie a to hlavně v chudších částech světa, kde se využívá většinou k vytápění příbytků. Ve vyspělých zemích, jako je Švédsko, tvoří dnes podíl energie z biomasy kolem 18 %.

Snad největší problém, co se týče biomasy, je prostor, kde tuto biomasu pěstovat a zároveň zachovat prostor pro ostatní plodiny. Jedním z řešení by mohlo být využití půdy nevhodné pro pěstování konzumních plodin, jako např. rekultivace skládek. Tyto plochy by mohly být zajímavým řešením pro rostliny typu (japonský topol), či jiné rychle rostoucí rostliny vhodné pro energetické využití. Otázku obnovitelných zdrojů řeší i Evropská unie. Jednou z hlavních priorit EU je rozšíření těchto zdrojů za spoluúčasti jednotlivých členských států. Toto nařízení stanovuje směrnice 2001/77/EC, podle které má Česká republika jakožto členská země zvýšit svůj podíl obnovitelných zdrojů z dnešních přibližně 8 % na 13 % do roku 2020.



Obrázek 1-1 Graf výroby el. energie z OZE (2009). [4]

## **2 Biomasa [5, 6, 7, 8, 9, 10 ,11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]**

### **2.1. Definice biomasy**

Biomasa je hmota organického původu, ať už rostlinného či živočišného (souhrn látek tvořících těla všech organismů, jak rostlin, tak živočichů). Energie biomasy má svůj původ ve slunečním záření a fotosyntéze, proto se jedná o obnovitelný zdroj energie.

V kontextu s energetickými zdroji se většinou jedná o dřevní odpad, slámu a další zemědělské zbytky, ale i exkrementy užitkových zvířat.

### **2.2. Vznik biomasy**

V zemské atmosféře a na povrchu Země dochází k neustálému fyzikálnímu a chemickému oběhu prvků a různých sloučenin. Život na Zemi, cirkulace látek a prvků je podmíněn slunečním zářením. Hlavní úlohu má fotosyntéza.

Fotosyntéza (z řeckého *fós, fotós* - světlo a *synthesis* – skládání) je biochemický proces, při kterém se mění přijatá energie světelného záření na energii chemických vazeb. Využívá světelného, např. slunečního, záření a tepla k tvorbě (syntéze) energeticky bohatých organických sloučenin – cukrů – z jednoduchých anorganických látek – oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a vody.

K zachování dynamické rovnováhy v biosféře má jednu z nezastupitelných úloh „živá biomasa“. Biochemické reakce zabezpečují trvalý oběh biogenních prvků a transformují sluneční energii na chemickou. Toto se využívá jako energetický zdroj pro většinu biochemických procesů a růstu rostlin.

### **2.3. Koloběh uhlíku**

Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) z atmosféry a voda absorbovaná kořenovým systémem rostlin jsou sloučeny při fotosyntéze a produkují uhlohydráty (sacharidy), které tvoří biomasu. Sluneční energie, která řídí fotosyntézu, je „uskladněná“ v chemických vazbách složek biomasy. Při spalování biomasy se kyslík z atmosféry spojí s uhlíkem



v biomase a produkuje  $\text{CO}_2$  a vodu. Tento proces je cyklický, neboť oxid uhličitý je potom dostupný na výrobu nové biomasy.

Vliv lidské činnosti na přirozený oběh uhlíku se nejvýrazněji projevuje enormní produkcí oxidu uhličitého při spalování fosilních paliv. Přirozené mechanismy (fotosyntéza), které udržovaly obsah  $\text{CO}_2$  v atmosféře na konstantní úrovni v posledních desetiletích, nestačí udržovat rovnovážný stav,  $\text{CO}_2$  v atmosféře se začíná hromadit a jeho obsah stoupá. Toto má za následek tzv. skleníkový efekt a tím i neblahý vliv na životní prostředí na Zemi.



Obrázek 2.3-1 Schéma skleníkového efektu. [10]

## 2.4. Rozdělení biomasy z hlediska původu

**Záměrně pěstovaná biomasa** je energetická (rychle rostoucí) dřevina nebo rostlina bylinného charakteru. Z dřevin se jedná především o rychle rostoucí topoly a vrby, stébelniny jsou zastoupeny především šřovíkem, pšenicí, amarantem, řepkou, bramborami, řepou atp.

### Odpadní biomasa

- odpady ze zemědělské prvovýroby (sláma, náletové dřeviny, ořezy ze sadů, údržby zeleně)

- odpady ze živočišné výroby (zbytky krmiv, exkrementy zvířat, odpady z potravinářského průmyslu, hnůj, kejda)

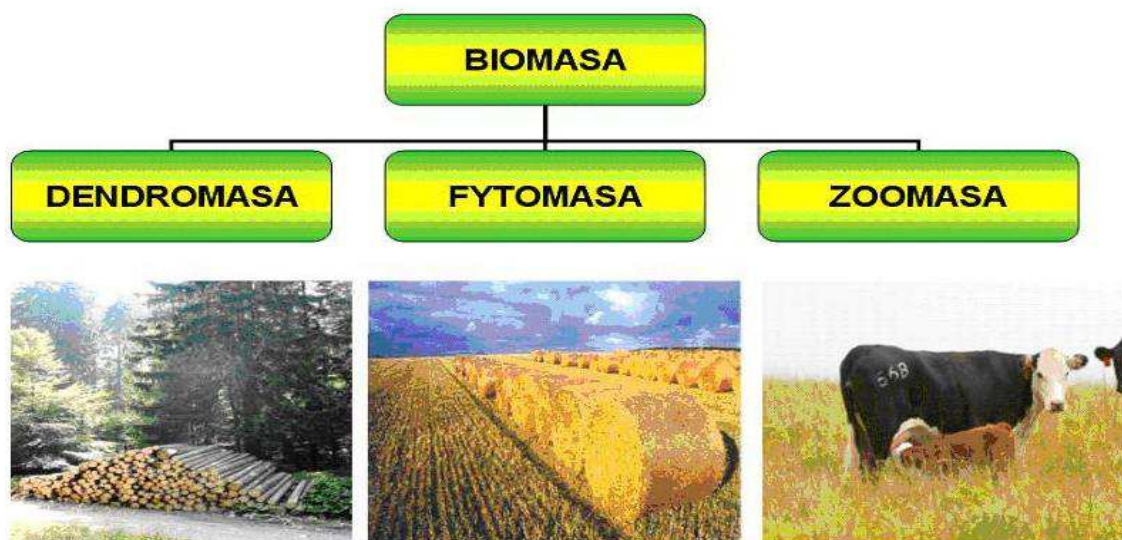
- odpady z lesní těžby (dřevní hmota, kůra)

- odpady z dřevozpracujícího průmyslu

- komunální odpady (kaly, organický komunální odpad)

Pro tepelně energetické využití je potřeba biomasu upravit, aby vlastnosti dodávaného paliva vyhovovaly požadavkům konkrétních spalovacích zařízení. Dřevo se upravuje do tvarů kusového dřeva, dřevní štěpky, briket nebo pelet, stébelniny se využívají ve formě balíků, briket nebo pelet. Technologie založené na fermentaci vyžadují biomasu ve formě drcené či kašovité hmoty.

## Rozdělení biomasy



Obrázek 2.4-1 Rozdělení biomasy. [11]

**Dendromasa** je lesní odpad (šišky, pařezy, kůra, větve, piliny, špičky stromů, štěpka).

**Fytomasa** je objem hmoty rostlinného původu vytvořený působením fotosyntézy na určité ploše. Množství (hmotnost) fytomasy se určuje bez vody v suchém stavu. Dále se tento termín používá v souvislosti s nekonvenční (nepotravinářskou) zemědělskou činností. Pod tímto pojmem si lze představit olejninu, obilovinu, slámu, seno, rostlinné zbytky.

**Zoomasa** jsou veškeré organické látky živočišného původu (exkrementy zvířat).

## 2.5. Zpracování biomasy

**Briketovací lisy** jsou většinou určeny pro truhlářské provozy, nebo dřevozpracující pily. Násypku briketovacího lisu je možné propojit s odsávacím zařízením materiálu. V dnešní době bývají tyto lisy již plně automatické, propojené řídicí jednotku, která umožňuje komunikaci briketovacího zařízení s dalšími zařízeními na výrobní lince. Lisováním při vysokém tlaku (kolem 31 MPa) se dosáhne hustoty výlisku okolo  $1200 \text{ kg m}^{-3}$  a výhřevnosti  $19 \text{ MJ kg}^{-1}$ . Produktem je lisovaná **briketa**.



Obrázek 2.5-1 Brikety. [13]

**Peletovací lisy** mohou zpracovávat řadu druhů materiálů na pelety pro topení či na krmné směsi, jako jsou agromateriály sláma, seno, řepka, nebo dendromasa. Měkké druhy dřeva jako smrk či borovice se peletují velmi dobře. Tvrdé druhy dřev jako švestka, buk se smíchají s měkkým dřevem a jsou opět dobře peletovány.

Jemně zvlhčený rozdrčený materiál se stlačí do kónické díry v matici a dojde k uvolnění energie. Takto se matrice i válce zahřejí na teplotu  $85 \text{ °C} - 110 \text{ °C}$ . Tato teplota má za následek uvolnění pojiva (ligninu) obsaženého v materiálu a tím dojde ke spojení pelety. Jiné pojivo není třeba. Produktem je lisovaná granule o rozměrech  $5 \times 22 \text{ mm}$  - **peleta**.



Obrázek 2.5-2 Pelety. [13]



Pelety jsou vhodné díky svým fyzikálním parametrům pro automatické samoobslužné dávkovací zařízení (vytápěcí kotle, krmné zařízení).

**Štěpkovače dřevní hmoty** jsou rychloběžné zařízení s vyšším výkonem. Sekáním dřevního odpadu je dosaženo vysoce kvalitní štěpky, která je následně určena pro další zpracování v dřevařském či papírenském průmyslu.



Obrázek 2.5-3 Štěpkovací zařízení. [14]

**Drtiče dřevní hmoty** jsou zařízení s nižší rotací drtícího ústrojí, tím je dána i nižší hladina hluku než u sekačky dřevní hmoty. Drcením je dosaženo vhodné štěpky především pro výrobu především dřevních briket, nebo rovnou pro spalování. Čím dál častěji se drtiče používají k drcení zbytků po těžbě dřeva, proto jsou často sestrojena jako mobilní zařízení. Štěpka je vhodná pro automatické dávkování za pomoci šnekových zařízení.



Obrázek 2.5-4 Drtící zařízení. [14]

**Mlýny dřevní hmoty** jsou rychloběžné zařízení, jejichž výkon je závislý na velikosti vstupního materiálu, druhu materiálu a vlhkosti. Mletá štěpka se dále využívá, jako surovina pro výrobu pelet či briket.



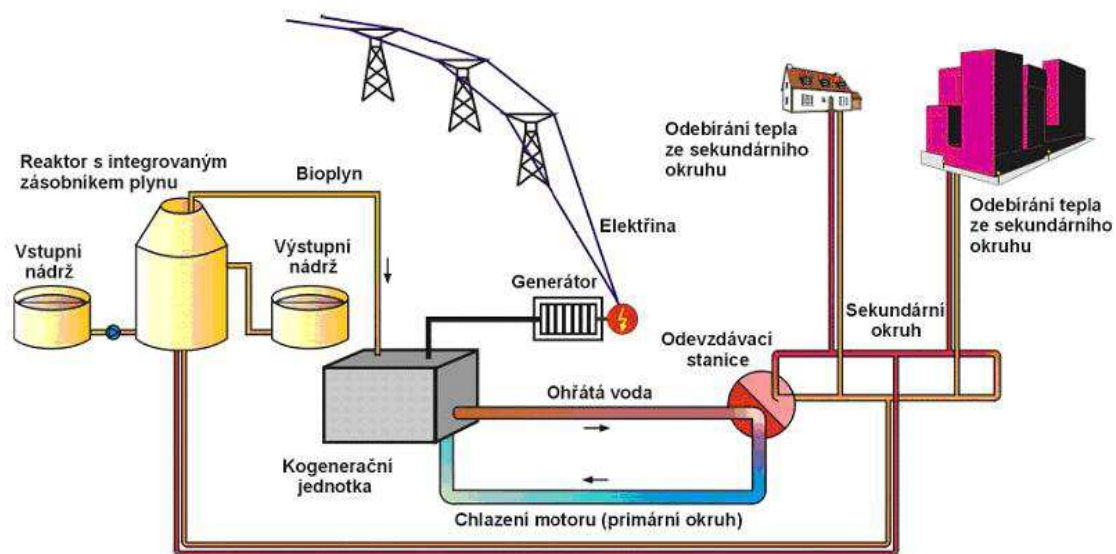
Obrázek 2.5-5 Mlecí zařízení. [14]

## 2.6. Energetické využití biomasy - biochemická přeměna

(tj. mokré procesy)

**Alkoholová fermentace** (produkce etanolu) - dochází k postupnému procesu rozkládání sacharidů prostřednictvím vinných kvasinek za současného vzniku  $\text{CO}_2$  a bioethanolu. Suroviny mohou být cukernaté (melasa z cukrové řepy), nebo škrobnaté (obilí, brambory).

**Anaerobní vyhnívání** (produkce bioplynu) - rozkladem vyhnívání resp. metanového kvašení organických látek (kejda, hnůj, části zelených rostlin, kaly z čistíren) v uzavřených nádržích za nepřítomnosti kyslíku vzniká bioplyn. Bioplyn je tvořen z hlavní části metanem (od 55 % do 70 %) a oxidem uhličitým. Je nutno optimálně řídit podmínky, za kterých lze fermentaci dosáhnout (obsah sušiny, reakční teplota, pH).



Obrázek 2.6-1 Anaerobní vyhnívání. [17]

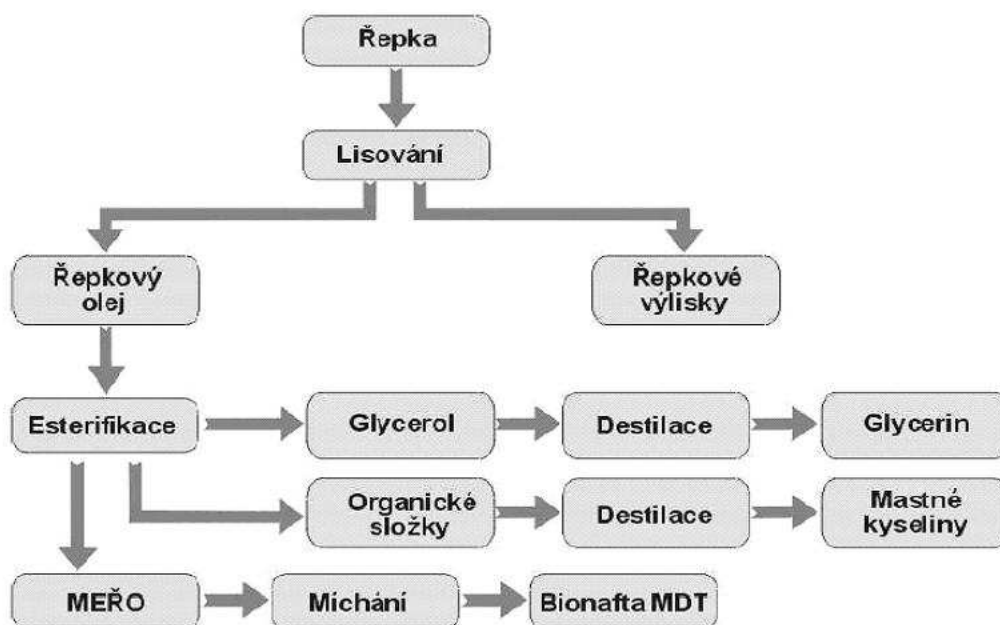
**Aerobní fermentace (produkce tepla)** - aerobní fermentace je nejlépe známa z výroby kompostu, kdy za nepřístupu kyslíku, správného pH a působení vhodných kultur mikroorganismů dochází k rozkladu organických látek. Tento proces kompostování může trvat řádově týdny až měsíce. Průmyslová aerobní fermentace je kratší, cca 2 až 3 týdny. U této fermentace brzy po startu dojde k samovolnému nárůstu teploty (až na 65 - 70 °C) a k rychlému rozkladu organické hmoty. Výsledným produktem je potom hnojivo (výroba kompostu a hnojiv), voda ve formě páry a CO<sub>2</sub>. Tento proces aerobní fermentace lze řídit překládáním a obracením jednotlivých vrstev a provzdušňováním odpadu. Jako možný nežádoucí jev vznikají tzv. pachové plyny.

## 2.7. Energetické využití biomasy - mechanicko-chemická přeměna

(lisování olejů, produkce kapalných paliv, oleje)

**Výroba metylesterů** (výroba bionafty a přírodních maziv) - z řepkového semene se vylisuje olej, který se působením různých katalyzátorů (např. NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a vysoké teploty mění na metylester řepkového oleje tzv. MEŘO, což je v podstatě již bionafta. Výroba bionafty se ukazuje dražší ve srovnání s běžnou motorovou naftou. Proto je jednou z příčin míchání řepkové nafty s některými lehkými ropnými produkty, přičemž množství metylesteru řepkového oleje musí být minimálně 30 % v této směsi.

Dalším důvodem míchání řepkové nafty s ropnými produkty je dáno chemickým složením bionafty. Jde o problémy se skladovatelností, bionafta by se měla spotřebovat do šesti měsíců od její výroby, dále se objevují při dlouhodobém provozu na čistou bionaftu problémy s rozkladem pryžových těsnění a hadic, které tento druh paliva rozkládá.



Obrázek 2.7-1 Výroba nafty z řepkového oleje. [17]

## 2.8. Energetické využití biomasy - termochemická přeměna

(tj. suché procesy)

**Přímé spalování** (teplo) - spalování je nejstarší známou termochemickou přeměnou. Spalování je chemický proces rychlé oxidace, kterým se uvolňuje chemická energie vázaná ve spalovaném palivu na energii tepelnou. Jedná se o nejjednodušší metodu pro termickou přeměnu organických (fosilních ale i obnovitelných) paliv za dostatečného přístupu zpravidla atmosférického kyslíku na tepelnou energii. Spalovat lze jakoukoliv biomasu s nízkým obsahem vody maximálně však do 50 % absolutní vlhkosti. Nejčastějším palivem v kotlích na biomasu je dřevní hmota, jejíž výhřevnost s rostoucím obsahem vody klesá oproti úplně suchému dřevu. Spalování biomasy je v současnosti technicky dostatečně vyřešeno především v kogeneračních jednotkách.

**Zplynování** (produkce plynu) - jde o proces, který přeměňuje organické materiály na hořlavé plyny. Ze suché biomasy se působením teplot kolem 500 °C, s minimálním přístupem vzduchu a přístupem atmosférického tlaku ve zplynovacím zařízení uvolňují hořlavé plynné složky, tzv. dřevoplyn. Při přítomnosti vzduchu by docházelo k běžnému spalování. Dřevoplyn je následně odváděn do spalovacího prostoru, kde se spaluje podobným způsobem jako běžná plynná paliva. Např. produktem zplynování dříví je dřevoplyn obsahující 40 % N<sub>2</sub>, 25 % CO, 20 % H<sub>2</sub>, 10 % CO<sub>2</sub> a 3 % CH<sub>4</sub>.

**Pyrolýza** (produkce plynu, oleje, dřevěného uhlí) - pyrolýzou je míněn termický rozklad organických materiálů za nepřístupu kyslíku (vzduchu). Podstatou pyrolýzy je ohřev materiálu nad mez termické stability přítomných organických sloučenin, což vede k jejich štěpení až na stálé nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek. Z technologického hlediska lze pyrolýzní procesy dále rozdělit dle dosahované teploty:

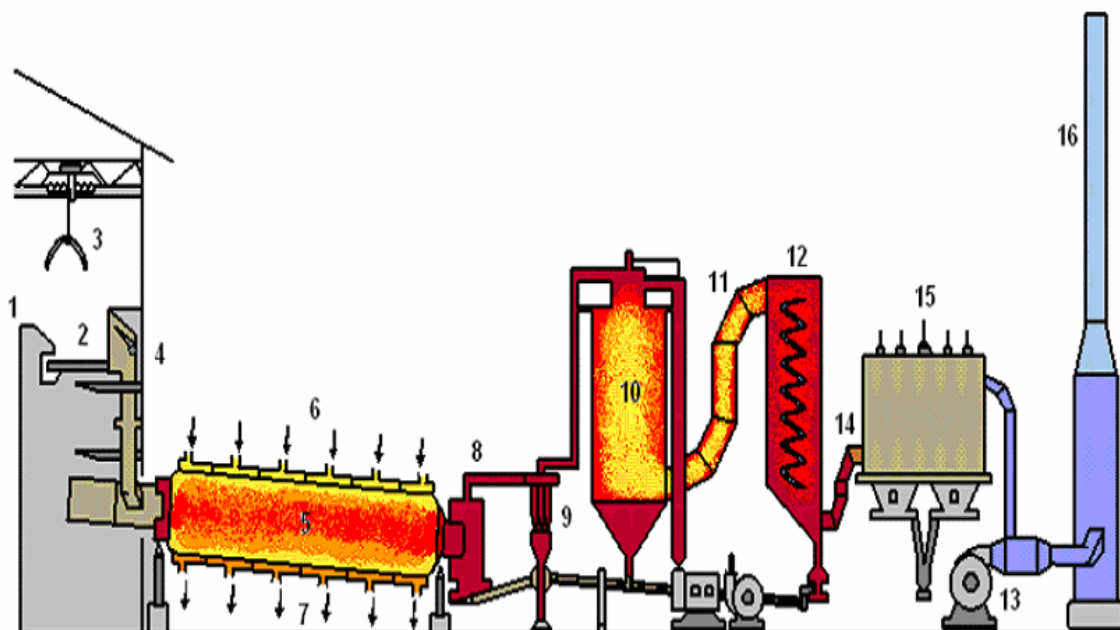
- nízkoteplotní (< 500 °C),
- středněteplotní (500-800 °C),
- vysokoteplotní (> 800 °C).

Jde o jeden z nejnovějších procesů ve skupině technologií, které mění biomasu ve formě dřeva a jiných odpadních materiálů na produkty vyšší energetické úrovně, jako jsou plyny, kapaliny a pevné látky. Jejím primárním energetickým produktem je kapalina bio olej, kterou lze snadno skladovat a přepravovat.

Jedná se o tmavě hnědou kapalinu s hustotou kolem 1200 kg m<sup>-3</sup>, výhřevností 16-19 kJ/kg. Důležitým krokem pro omezení obsahu vody v biooleji je předsoušení biomasy k nižší vlhkosti než 10 % (výjimečně až 15 %). Správný průběh pyrolýzního procesu je dán extrémně rychlým přívodem tepla do suroviny, udržováním potřebné teploty, krátkou dobou pobytu par v reakční zóně a co nejrychlejším ochlazením vzniklého produktu.

Produkcí tekutého paliva pyrolýzou lze uskutečnit z libovolného biopaliva. Na procesech rychlé pyrolýzy se intenzivně podílí řada institucí a výrobců především během posledního desetiletí. Biomasu je nutno před vstupem do reaktorů rozdrtit na požadovanou velikost (podle typu reaktoru), což má za následek rychlý průběh reakce a následně snazší oddělení pevných částí.





Obrázek 2.8-1 Schéma pyrolýzní jednotky Babcock. [20]

1 – svoz odpadu do bunkru, 2 – násypka, 3 – drapák suroviny, 4 – vstup vápna, 5 – rotační pyrolýzní pec, 6 – vstup otopových spalin, 7 – odtah otopových spalin, 8 – vynášecí komora, 9 – cyklon, 10 – spalovací komora, 11 – vstup spalin do kotle, 12 – kotel na odpadní teplo, 13 – spalinový ventilátor, 14 – sekundární vstup vápna, 15 – tkaninový filtr, 16 – komín

## 2.9. Výhody a nevýhody energetického využívání biomasy

### výhody:

- obnovitelný zdroj
- zvýšení zaměstnanosti
- relativně dobrá skladovatelnost
- značně velký potenciál biomasy v ČR
- možná úprava paliva (pelety, brikety a štěpky)
- možnost získání energie z odpadního materiálu
- možnost získání energie z odpadního materiálu
- dotační programy náhrady fosilních paliv biomasou
- běžná dostupnost technologií pro spalování biomasy
- cenová dostupnost technologií pro zpracování biomasy

**nevýhody:**

- dopravní náklady
- vyšší hlučnost a prašnost
- nutnost prostoru pro skladování
- při transformaci do jiné formy (např. pelety a štěpky) je třeba energetická dotace

### **3 Dřevoplyn ve spalovacích motorech (historie) [21, 22, 23]**

#### **3.1. Využití dřevoplynu (do 2. světové války)**

Jean Joseph Étienne Lenoir byl francouzský vynálezce a obchodník belgického původu, který počátkem 50. let 19. století emigroval do Francie, usídlil se v Paříži. Během svého života podal k patentování 80 svých vynálezů, z nichž nejznámějším je první úspěšný stacionární plynový spalovací motor.

U stabilních motorů nepředstavoval pohon na plyn problém. K přívodu paliva stačila pouhá přípojka trubkou nebo hadicí, asi jako u plynového sporáku.

Z benzínu se za první světové války stala strategická surovina. Důsledkem bylo, že v následujících letech a hlavně těsně před druhou světovou válkou, bude benzín, jako strategické suroviny využíváno, a stala se akutní otázka náhradních paliv. Pohon dřevoplynem se tehdy začal jevit jako nejvhodnější varianta. Dřevoplyn si totiž každé vozidlo produkuje samo, podle okamžité potřeby a ještě k tomu z té nejběžnější a nejlevnější suroviny – dřevěného odpadu.

Jednou z nejznámějších firem na výrobu generátorů byla německá „IMBERT G.m.b.H“ Köln, pojmenovaná po inženýru Imbertovi, který se problematikou a vývojem generátorů na pevná paliva zabýval už od dvacátých let. Tato firma nabízela stavebnicovou řadu generátorových souprav pro vozidla prakticky všech typů. Dodávala jak prvovýrobcům automobilů, tak i v malém, pro individuální přestavby. U nás například nabízela s generátorem IMBERT své nákladáky kopřivnická Tatra.

Mezi první automobilky, kde začala sériová výroba v aut na dřevoplyn v Čechách, patřila Mladá Boleslav. Toto nákladní auto s generátorem na dřevoplyn vedle kabiny bylo z roku 1926 a na chladiči mělo dvě značky – oválný emblém Škoda, protože boleslavská automobilka od roku 1925 patřila pod plzeňský koncern. Přes voštiny chladiče ale byl ještě plechový nápis Laurin & Klement, protože se jednalo o konstrukci pocházející z doby před fúzí se škodovkou.



**Obrázek 3.1-1 Škoda 500 Laurin & Klement s generátorem na pryžových obručích (1925). [22]**

Za druhé světové války se pohon dřevoplynem týkal hlavně válčící Evropy, kde poroučelo Německo. Na benzín jezdil výhradně Wehrmacht a pro civilní nákladní vozidla byl provoz na náhradní palivo nařízen. Vozidlo na dřevoplyn bylo možno získat rovnou od výrobce, v předválečných a válečných letech měla takový typ ve výrobním programu povinně každá značka. Němci to samozřejmě věděli a tak povinný provoz na náhradní palivo platil pro vozidla s karburátorovým motorem od dvou tun výše.

Takovou předválečnou lidovou škodovku Populára, který měl maximálně 18 koní, sotva mělo smysl na dřevoplyn učit jezdit. Jednak jste jej už předem zatížili skoro dvěma metráky váhy, které souprava obnášela. A pak jste, i když to fungovalo sebeideálněji, měli pro čtyřsedadlový vůz k dispozici jen něco mezi deseti až dvanácti koňmi. Což v praxi znamenalo, že se vůz na trojku, na přímý záběr, už nebyl schopen utáhnout.

Továrna to tedy zkoušela s vrchovým Rapidem, který měl motor o obsahu 1.564 cm<sup>3</sup> a původní výkon na benzin 42 koní. Ale na pořádné svezení to tak jako tak nebylo a hlavně, fabrika měla nařízený zbrojní program a Němci neviděli rádi, když se rozptylovala pokusy, které zjevně nesloužily ideám vůdcova vítězství... .



**Obrázek 3.1-2 Osobní vůz Škoda Rapid s vestavěným generátorem plynu v kufru (1942). [22]**

Přestavbu stávajícího staršího nákladáku na náhradní pohon dostal majitel příkazem a byl povinen to udělat dodatečnou montáží generátorové soupravy. To ovšem nebyla nijak jednoduchá záležitost. V první řadě je třeba si uvědomit, že vozidla předělaná na dřevoplyn měla značně nižší výkon, v ideálním případě dvoutřetinový. To je dáno obecně nižší výhřevností plynu oproti benzínu. Takže přestavba měla význam hlavně u velkoobsahových vozů s pořádným výkonem.

Na dřevoplyn se tedy jezdit dalo, či spíše podle německých nařízení muselo. Ale že by to bylo nějak zvlášť ideální? V první řadě se to muselo umět. Už jen samotné startování byl obřad.

Nejdřív bylo třeba kotel naplnit dřevem a zkontrolovat, zda jeho víko těsní. Pak se musel zapnout elektrický ventilátor a u zapalovacího otvoru (vzduchové klapky) na boku generátoru přidršet zapálený vlněný doutnák, namočený do petroleje.

Tah vyvolaný ventilátorem vtáhl plamen doutnáku dovnitř topeniště, a pokud bylo vše v pořádku, palivo se vznítilo, začalo rozhořovat a produkovat plyn. Jenže zpočátku, než se hoření ustálilo, nebyl dřevoplyn ještě dost hodnotný. Proto vývod ventilátoru, obvykle umístěného pod kapotou, byl vyveden rourou ven, kde ústil do volného prostoru. Tady se loučí provádělo zkušební zapálení vycházejícího plynu.

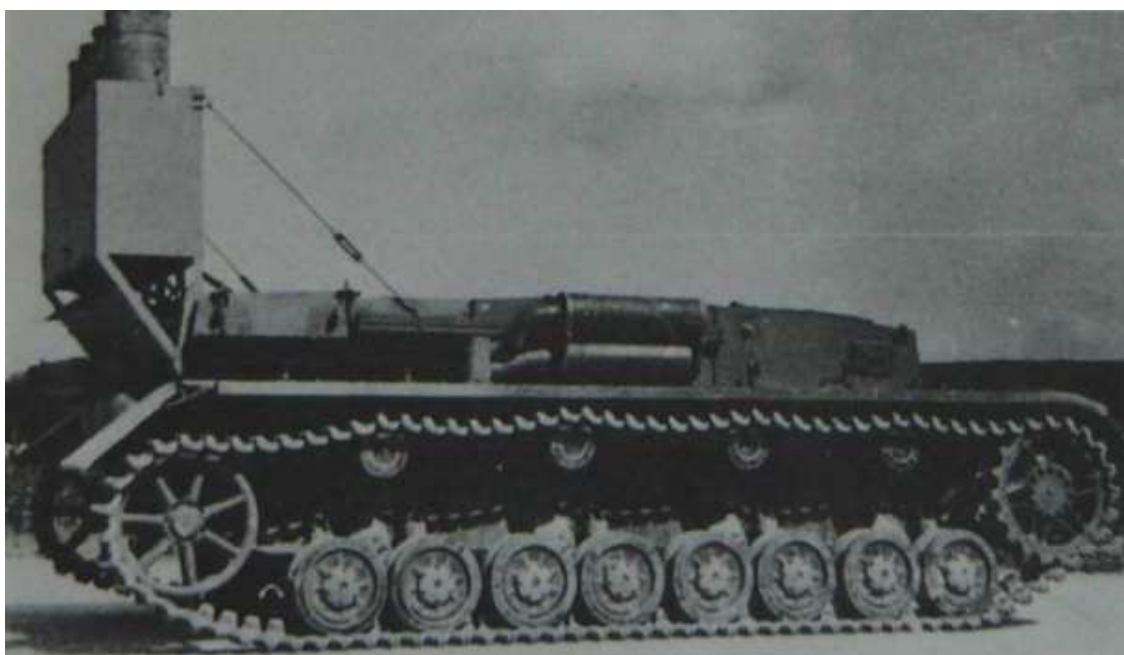
Teprve když plamen přestal zhasínat a rozhořel se jasným modročerveným plamenem, byl plyn natolik kvalitní, že bylo možné ventilátor vypnout a začít se startováním.

Celá procedura startování znamenala mimořádné nároky na elektrický systém vozidla. Baterii mohl vyčerpat chod ventilátoru, ještě než se přikročilo ke startování, proto se často přidávala baterie druhá. Dlouhé opakované starty ničily kromě baterie i samotný startér.

Některá vozidla proto používala ventilátor na ruční pohon klikou a firma Bosch vyráběla na ruční pohon i startér, pracující na principu roztočeného setrvačnicku. Klikou se dlouze roztáčel, a když dosáhl dostatečných otáček, přepnul se na pomalý převod a teprve pak se zasunul do setrvačnickového věnce motoru.

Pokud už se šofér konečně opatrně rozjel, bylo potřeba co chvíli zastavovat, roštovat pod kotlem a také dosypávat palivo, obvykle bukové špalíky a odřezky. Měly být pokud možno suché, přibližně stejných rozměrů a vozily se sebou většinou v papírových pytlích.

Tah plynů, způsobovaný sáním motoru, se za jízdy ustavičně měnil podle toho, jel-li vůz po rovině, z kopce, či do stoupání, a dále podle sešlápnutí plynového pedálu. To samozřejmě ovlivňovalo hoření a tím i složení vyvíjených plynů – důsledkem byla ustavičná nutnost manipulace s páčkami vzduchu a plynu. Necitlivým zacházením to mohlo zhasnout, nebo naopak kotel poškodit přehřátím.



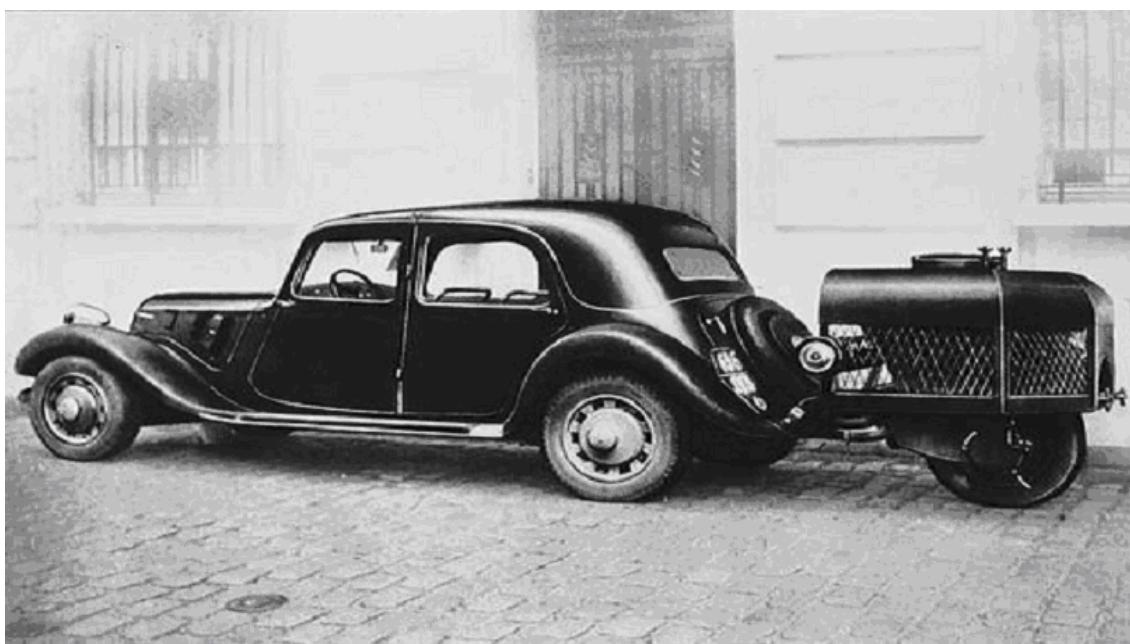
**Obrázek 3.1-3 Vozidlo pro výcvik na bázi PzKpfw IV na plynový pohon. [23]**



V důsledku nedostatku pohonných hmot za druhé světové války byl využit dřevoplyn jak v silniční dopravě (např. v Praze v autobusech městské hromadné dopravy), ale i na železnici pro pohon lokomotiv, zejména v Německu.

Přestavěno pro pohon na dřevoplyn bylo i několik podvozků tanku Panzer IV. U školních strojů nebyl plnohodnotný výkon tak důležitý jako u těch bojových.

Autá poháněná dřevoplynem se objevila také v Asii, USA a v Austrálii. Dohromady to bylo více než milion dopravních prostředků na dřevoplyn, které byly v provozu za druhé světové války.



**Obrázek 3.1-4 Auto na dřevoplynový pohon 2. svět. válka. [24]**

Po válce, když se opravily ropné rafinérie a benzín a nafta začaly být opět dostupné, upadla pozvolně tato technologie, co se týče komerčního využití téměř v zapomnění.

### **3.2. Amatérské využití dřevoplynu po druhé svět. válce**

I když technologie zpracování dřeva za účelem výroby dřevoplynu po válce upadala, nebo alespoň se dále nevyvíjela, zůstalo v Evropě, ale i jinde na světě „pár drobných firem či nadšenců“, kteří se otázkou užití dřevoplynu k pohonu automobilů zajímali i nadále, např. taxi poháněná plynem z uhlí byla běžně k vidění v Koreji ještě v roce 1970.

V roce 1957 spustila švédská vláda výzkumný program za účelem příprav na rychlý přechod k autům na dřevoplyn v případě náhlého výpadku zásobování ropou. Švédsko nemá žádné zásoby ropy, ale má 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 dopravních prostředků.



**Obrázek 3.2-1 Auto na dřevoplynový pohon po 2. svět. válce. [24]**

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 FAO 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.

Generátor dřevoplynu, který vypadá jako velký kotel na vodu, lze umístit na přívěsný vozík (což znesnadňuje parkování), do kufru auta (což zabere téměř veškerý úložný prostor) anebo na plošinu před či za autem (v Evropě nejpopulárnější řešení). V případě amerického vozu pick-up lze vyvíječ instalovat do nákladní části. Za druhé světové války byla některá auta vybavena zabudovaným skrytým vyvíječem.



**Obrázek 3.2-2 Auto na dřevoplynový pohon po 2. svět. válce. [24]**

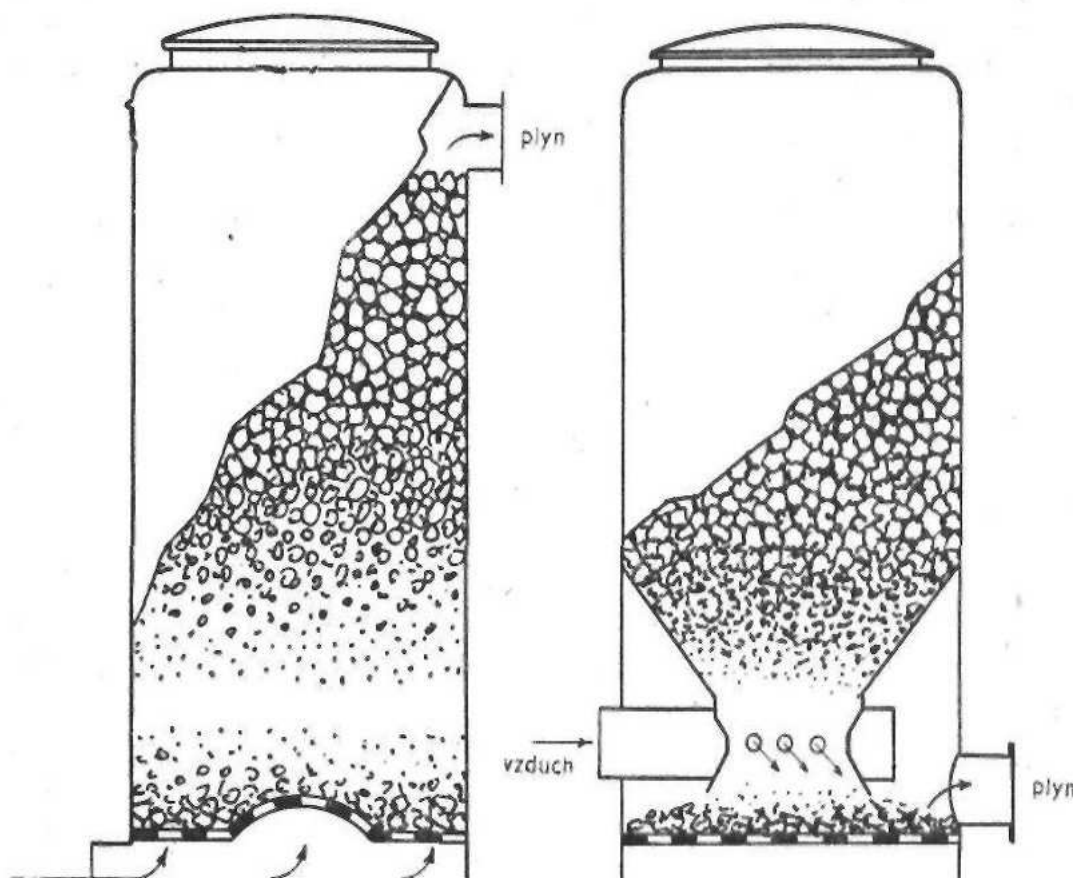
Navzdory všemu ale i modernější typy automobilů využívající dřevoplyn potřebují až deset minut, aby se vytopily na provozní teplotu. Není tedy možné naskočit do auta a ihned se s ním vydat na cestu. Navíc před každým doplněním paliva, je třeba vyhodit popel. Usazování dehtu v aparátu nepředstavuje již takový problém jako před sedmdesáti lety, ale i tak je třeba pravidelně čistit filtry.

## **4 Dřevoplynové generátory v automobilech [25, 26, 27]**

### **4.1. Hlavní typy generátorů**

**Protiproudé generátory** (vzestupné) - výhodou vzestupných generátorů (obr.4.1-1) je jejich jednoduchá konstrukce. Je to v podstatě nádoba s palivem, kde je vzduch nasáván dole roštem a prochází palivem, nejprve zónou oxidace (hořením vzniká  $\text{CO}_2$ ), poté zónou redukce ( $\text{CO}_2$  se redukuje na využitelný  $\text{CO}$ ), zónou pyrolýzy, kde se uvolňuje methanol, kyselina octová a dehet, a nakonec přes zónu vysoušení (uvolňování vodní páry) je vzniklý plyn odsáván vrchem generátoru. Hlavní nevýhodou, jak je patrné, je velké znečištění plynu dehtem. Proto jsou vhodná pro použití v těchto generátorech paliva chudá na obsah dehtu (antracit, hnědé uhlí).





**Obrázek 4.1-1 Protiproudý (vlevo) a souprroudý (vpravo) generátor [26]**

**Souproudé generátory** (sestupné) - tyto generátory (obr. 4.1-1) mají trochu složitější konstrukci. Vzduch se přivádí (zhruba) do spodní čtvrtiny paliva, kde opět vzniká oxidací  $\text{CO}_2$ , který postupuje stejným směrem jako palivo - dolů (proto souproudý) a prochází vrstvou žhavého uhlí, kde dochází nejen k jeho redukci na CO ( $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2 \text{CO}$ ), ale také se zde štěpí podstatná většina vzniklých organických látek (včetně dehtu) na spalitelné plyny, což je velkou výhodou.

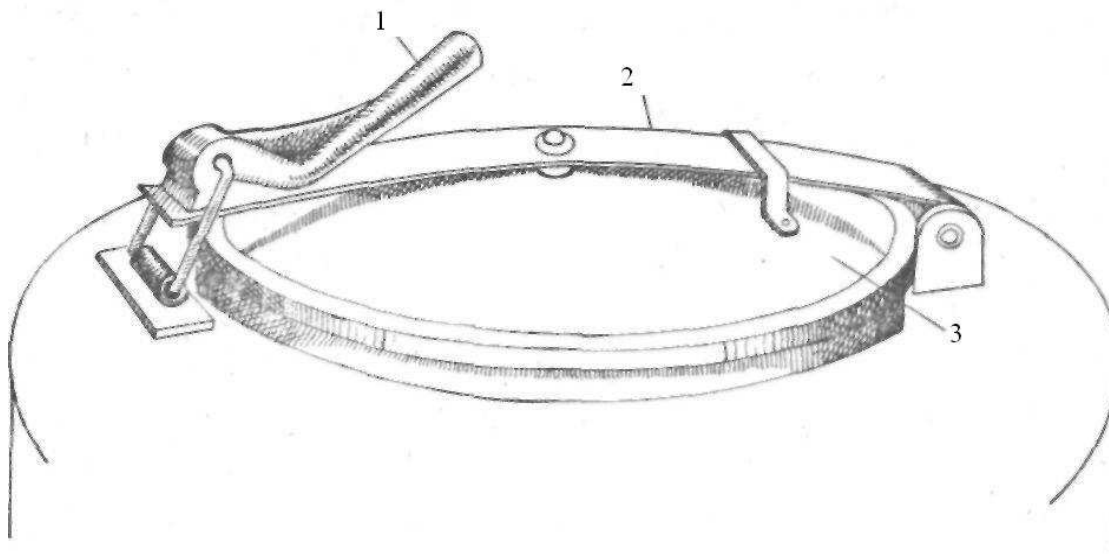
Paliva bohatá na dehet (dřevo, rašelina) se zplynují sestupně proto, že bychom v opačném případě nemohli zneškodnit dehtové páry, které by nám potom znemožnily provoz vozidla. Byly by zalepeny dehtové ventily, sací potrubí, mísič, klapky atd. Zplynujeme proto paliva bohatá na dehet sestupně a dehet zneškodňujeme tím, že jej sajeme celým žárovištěm, přičemž jej částečně spálíme a při vysoké teplotě rozštěpíme (krakujeme) a proměníme v hořlavý plyn.

Horší je však zase manipulace s odpadním popelem. Ten musí být v zásobníku, který je součástí generátoru, a popelová dvířka musí být dobře utěsněná, aby přisáváním vzduchu nevznikala výbušná směs už v generátoru, což by bylo velmi nebezpečné.

## 4.2. Popis zplyňovacího generátoru

Generátor má válcovitý tvar, jehož průměr a výška jsou závislé na žádaném výkonu a použitelném místě. Generátor plynu je kulatý, z výrobních důvodů a pro dobré využití jeho prostoru. Dřevo lehce padá, netvoří se mrtvé kouty. U nákladních a tažných vozů bývá vyvíječ umístěn za řidičovou budkou, nebo také ve zvláště upravené části budky. U autobusů bývá na zádi vozu, u traktorů a zvláštních vozidel též na jiných místech. Vždy musí být od dopravovaného nákladu nebo vnitřku vozu dobře chráněn izolační stěnou.

V tělese vyvíječe je zavěšena vložka vyvíječe, která s tělesem vytváří dvojitý plášť. Vespod je dno, které je opatřeno stříšacím sítem. Nahoře je příklop s odklopným víkem, jehož otvorem se doplňuje dřevo. Víko má pružný uzávěr, takže působí celé jako přetlakový ventil a je zařízeno tak, že při tzv. prsknutí ve vyvíječi se buď nadzvedne, nebo i samo otevře, aby vzniklý přetlak mohl uniknout (viz obr. 4.2-1).



Obrázek 4.2-1 Víko generátoru [26]

1. uzavírací páka, 2. pojistné péro, 3. vlastní víko

Těleso vyvíječe, vložka vyvíječe a příklop jsou pevně spojeny šrouby. Jednotlivé díly jsou vzájemně utěsněny kruhovými těsněními. Těsně pod tímto spojem se odvádí z vyvíječe plyn přípojkou a kolenem.

Nejdůležitější částí vyvíječe je vložka vyvíječe, pozůstávající z válcovitého pláště, který je uvnitř chráněn emailováním nebo mosazným plechem proti leptavým výparům.

Další součástí vyvíječe je žároviště, které končí hrdlem vzdorujícím vysokému žáru. Na obvodu žároviště je upravena řada trysek, do kterých je vzduchovým potrubím přiváděn ke zplynování potřebný vzduch ze společné komory. Do komory vniká vzduch vzduchovým nebo zápalným otvorem. Příruba tohoto otvoru je opatřena zpětnou klapkou a je sešroubována s tělesem generátoru a s komorou generátoru.

Průměr žároviště je menší a je přizpůsoben sníženému objemu uhlí, které se tvoří v dolní části. Vzduch je přiváděn více tryskami na celém obvodu žároviště, poněvadž jedna tryska sahající doprostřed žároviště by zabraňovala dobrému průchodu paliva a odebírala by teplo ze středu žároviště. Generátor nemá vyzdívku (šamot), která je těžká, nevzdoruje otřesům a má sklon k napékání paliva.

V generátoru IMBERT se používá vytvořeného plynu k ochraně stěn žároviště proti opalu, poněvadž neobsahuje kyslík. Stěna žároviště v nejteplejších místech nepřichází do styku se vzduchem, nemůže hořet a z ohnivzdorné slitiny je vyrobena pouze proto, aby se nekroutila.

V tělese vyvíječe jsou otvory opatřené závitovými hrdly a závitovými víky. Otvory slouží ke kontrole a spodní kromě toho též k čištění.

Dvojitý plášť, který je protažen až nahoru, dovoluje odsávání plynu v horní části, čímž se používá teploty odcházejícího plynu k předsušování náplně dřeva v horní části generátoru a zlepšuje se tak tepelná bilance generátoru. Výstupní teplota plynu se sníží, jelikož její část se odevzdává k sušení náplně a tím lze plyn lépe chladit. Horní vývod plynu rozděluje pravidelně odsávání kolem žárového zvonu, snižuje rychlost plynu a hrubší částičky prachu nejsou strhovány do vedení, nýbrž padají svojí vahou volně dolů do náplně dřevěného uhlí. Již zde nastává částečné samočištění plynu ve vyvíječi samém.

Prsteneček se vzduchovými tryskami je zcela v oblasti odcházejících teplých plynů a je tedy vstupní vzduch náležitě přehříván.

Dřevěné uhlí se může volně rozšiřovat nahoru a tak generátor nemá sklon k zanášení se i při velkých otřesech. Vnitřek zásobníku paliva je chráněn mosaznou nebo měděnou vložkou před leptavými účinky kyseliny octové. Může zde být použito k ochraně i smaltu, hliníku, nebo i dalšího vnitřního pláště z ocelového plechu, aby bylo zabráněno proleptávání vložky kyselinou octovou.

Po zastavení motoru přestává sání a tím i tvoření plynu, žár je schopen se udržet až 5 hodin, kdy je možno ještě po krátkém rozdmýchání motor opět nastartovat.

### **4.3. Nároky na palivo (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), novější typy generátorů na dřevo nejsou však v tomto směru vůbec citlivé a zplynují 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 dřev stejné, nýbrž v tom, že dřevěné uhlí vytvořené z tvrdého dřeva je pevnější a lépe vzdoruje otřesům při jízdě vozidla. Naproti tomu má dřevěné uhlí vytvořené z měkkého dřeva větší účinnou plochu, protože je pórovitější a snadněji se rozhoří, čímž se zkrátí doba rozdmýchávání.

Nevýhodou dřeva může být jeho přílišná vlhkost, která při čerstvě poraženém dřevu může činit až 50 %, což je pro dokonalé zplynování příliš velký podíl vody. Tuto vlhkost lze sušením na vzduchu snížit až na 15 %, avšak s obsahem vody do 25 % je již provoz generátoru dokonalý. Nejlépe vysušíme dřevo ve špalíčkách, které vhodně skladujeme.

Tím se dostáváme k důležitému bodu, a to k velikosti špalíček. 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 výšku 5—7 cm, nejmenší rozměry nemají být nižší než 2—3 cm.



**Obrázek 4.3-1 Dřevěný špalík. [autor]**

Kupované dřevěné špalíčky byly vyráběny na speciálních strojích, které byly zařízeny tak, že velikost dodávaných špalíčků odpovídá potřebám provozu.

Aby bylo možné si učinit ucelenou představu o hospodárnosti provozu automobilového motoru poháněného dřevoplynem, uvádíme toto srovnání:

1 l benzínu je nahrazen 2,2—2,5 kg dřeva,

1 kg nafty je nahrazen 3,4—3,7 kg dřeva.

#### 4.4. Proces zplynování v dřevoplynovém agregátu

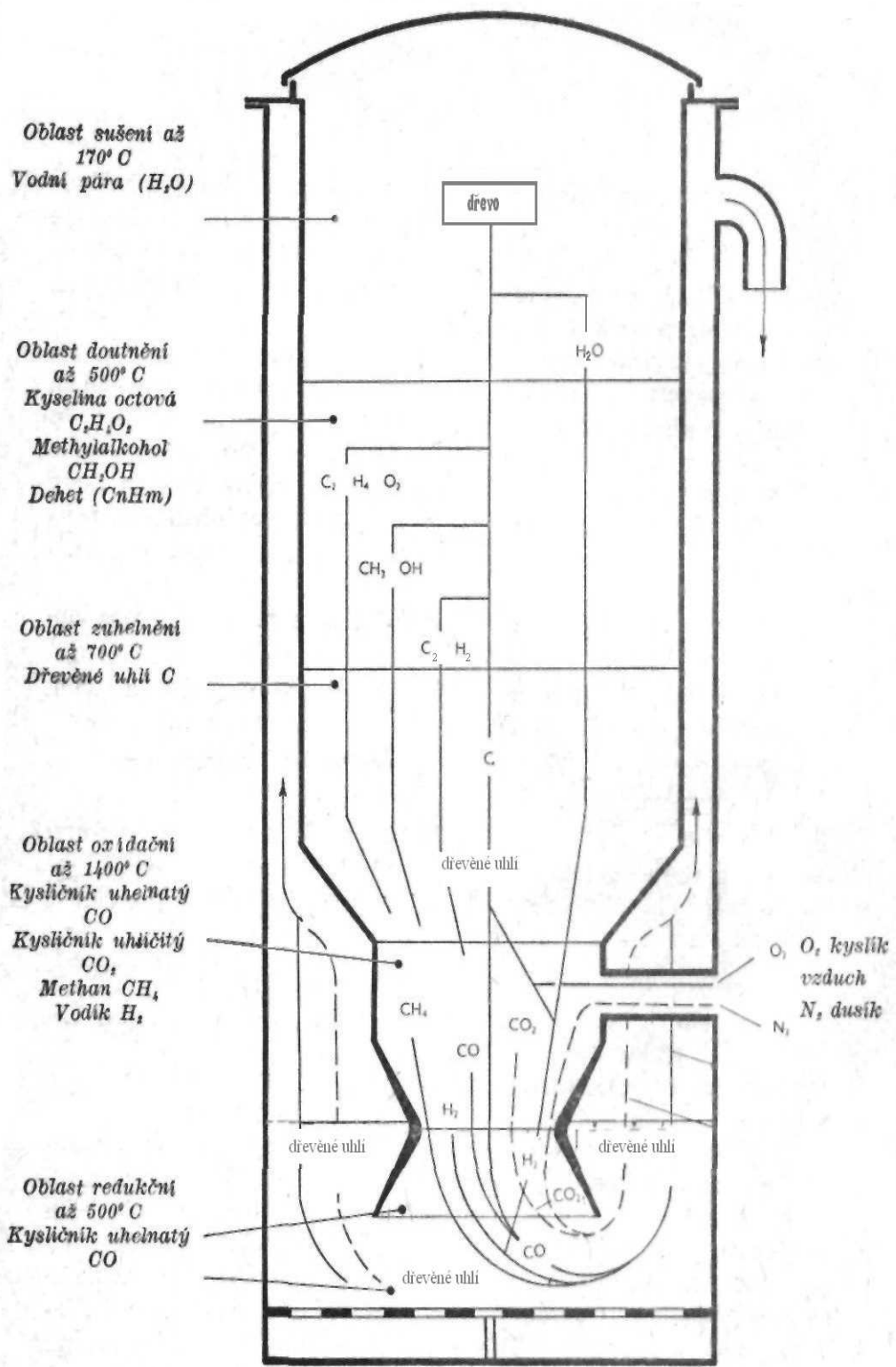
Mezi nejznámější vyvíječe (generátory) dřevoplynu určené pro provoz automobilů na našem území byly generátorové soustavy IMBERT.

Celou jednu náplň paliva, v našem případě dřeva, rozdělujeme na pět oblastí, to je shora dolů od dřeva, předsušeného dřeva, částečně zuhelnatělého dřeva až po dřevěné uhlí, z něhož se nám potom tvoří hořlavý plyn. Těchto pět oblastí, které si ovšem nemůžeme představit přísně ohraničené ve směru shora dolů, můžeme postupně pojmenovat takto:

1. **oblast sušení**, kde se vylučuje vodní pára ze dřeva a kde teplota dosahuje asi 170 stupňů C,
2. **oblast doutnání**, kde je již teplota až 500 stupňů C a kde se vylučuje kyselina octová, dřevný líh (methylalkohol) a dehet,
3. **oblast zuhelnění**, kde se dokončuje proces tvoření dřevěného uhlí, teplota zde dosahuje až 700 stupňů C,
4. **oblast oxidační (žárová)**, kde po příchodu vzduchu tryskami se dosahuje teplot až 1400 stupňů C, kde se dříve vytvořené dřevěné uhlí částečně spaluje — spaluje se a štěpí dehet, dřevný ocet a tvoří se hořlavý plyn,
5. **oblast redukční**, kde pokračuje ještě přeměna částí nehořlavých plynů v plyny hořlavé.

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 se dosáhlo dokonalého spálení a rozštěpení dehtu.

Složení konečného plynu, vycházejícího z generátoru, **kolísá podle zatížení generátoru**, obsahuje však vždy značné procento nehořlavých plynů, a to dusík ( $N_2$ ) a kysličník uhličitý ( $CO_2$ ). Hořlavými součástkami tohoto plynu je kysličník uhelnatý ( $CO$ ), vodík ( $H_2$ ) a methan ( $CH_4$ ).



Obrázek 4.4-1 Schéma generátoru IMBERT [26]

#### **4.4.1. Průměrné složení generátorového plynu**

##### **Hořlavé plyny:**

- **CO** (kysličník uhelnatý) - 23 %
- **H<sub>2</sub>** (vodík) - 15 %
- **CH<sub>4</sub>** (methan) - 2 %

##### **Nehořlavé plyny:**

- **N<sub>2</sub>** (dusík) - 50 %
- **CO<sub>2</sub>** (kysličník uhličitý) - 10 %

Z těchto údajů je patrné, že zhruba kolem 40 % plynů je hořlavých a kolem 60 % plynů je nehořlavých. Tyto podíly stále kolísají podle momentálního zatížení generátoru.

##### **Základní informace o dřevoplynu:**

- **výhřevnost:** cca 4,61 – 5,86 MJ/m<sup>3</sup>
- **meze výbušnosti:** 4,5 – 35 % se vzduchem
- **zápalná teplota:** 560 °C

Jedná se o hořlavý a výbušný plyn, který je lehčí než vzduch, barvy šedé, s charakteristickým zápachem po nečistotách (sirovodíku a dehtu. Má dobré spalovací vlastnosti, které jsou dané obsahem vodíku a metanu. Nebezpečnou vlastností je jeho jedovatost, daná velkým obsahem oxidu uhlíku – CO (až 30 %).



## 5 Generátorová souprava IMBERT [26]

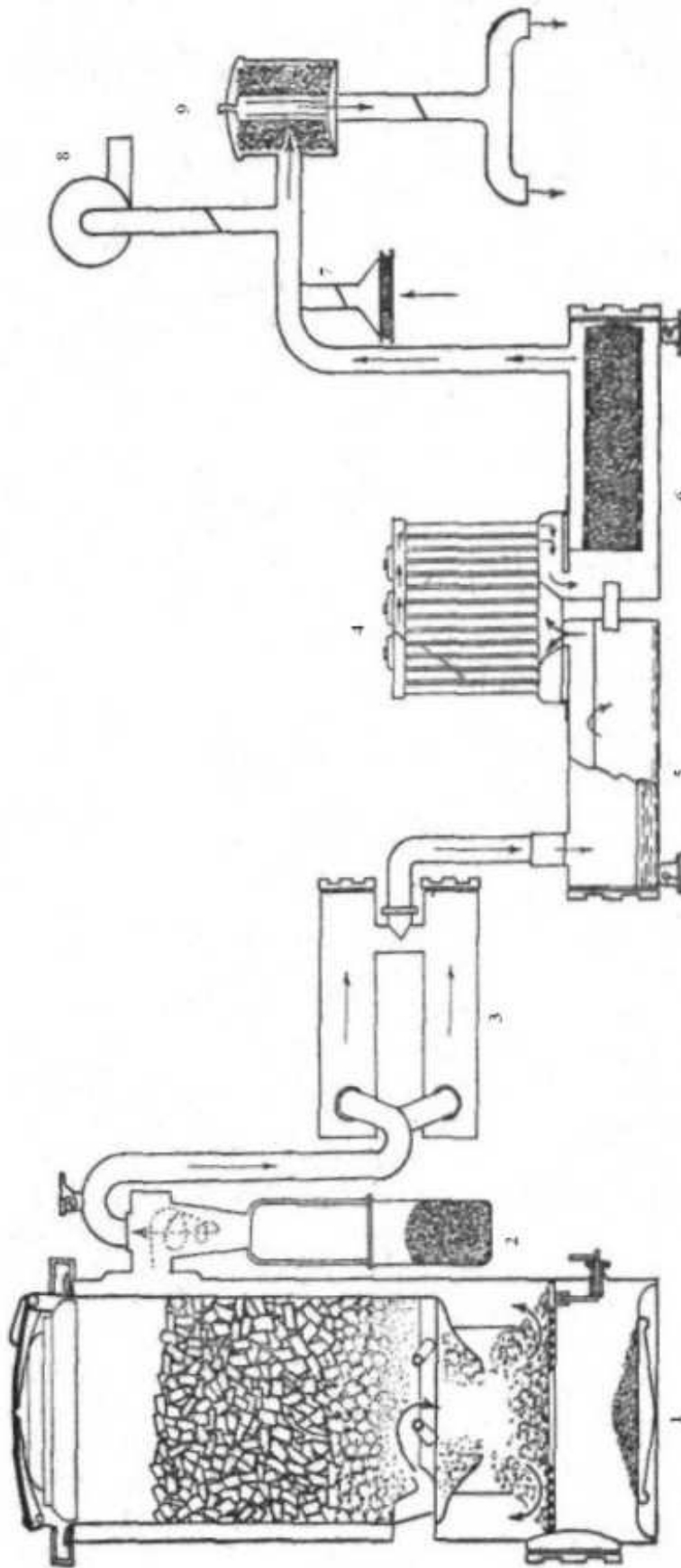
### 5.1. Čistící a chladící zařízení IMBERT

Skládá se z předčističe, kondenzačního hrnce, odlučovače, chladiče plynu a dočišťovače.

Předčistič bývá umístěn poblíže vyvíječe tak, aby bylo jeho závitové víko snadno přístupné a aby se dala celá vložka předčističe snadno vyjmout a vyčistit. Plyn, přicházející do předčističe, má ještě vysokou teplotu, takže se v předčističi působením nárazkových plechů a snížením rychlosti srážejí větší suché částičky prachu a popela. Novější typy generátorů jsou opatřeny za vyvíječem ještě odprašovačem (cyklonem).

V potrubí od předčističe k odlučovači klesne již teplota plynu tak, že se počíná na stěnách potrubí srážet vodní pára. Proto bývá na vhodném místě vestavěn kondenzační hrnec pro kondenzaci vody. 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 snížila, dosáhne se bodu kondensace vody. Tato kondensovaná voda zachycuje na mokřících plechových překážkách částičky uhlé prachu a stéká pak s nimi na dno odlučovače, z něhož se potom rychlouzávěrem pravidelně vypouští. Soudobý typ odlučovače čistí plyn probubláváním plynu vodou.

Chladič plynu je připojen vstupním hrdlem k odlučovači a výstupním hrdlem k dočišťovači. Plyn je ve spodku chladiče stejnoměrně rozdělen do svislých širokých trubek, aby se snížila rychlost proudění plynu, zvýšilo se chlazení a zmenšilo se strhávání zde vytvořených vodních kapek do motoru. Horní část chladiče je opatřena víky k čištění a proplachování chladiče. K zadržení posledních zbytků prachu a vody slouží dočišťovač. Jeho náplní je zpravidla korek, který má při malé váze velký povrch. Může jej nahradit dobře vytřepaná dřevitá vlna, malé dřevěné špalíčky nebo šišky. Novější typy generátorů (viz obr. 5.1-1), má ještě za mísičem koncový pojistný filtr, aby byl motor chráněn před vniknutím případných dehtových zbytků, který pracuje na odstředivém principu.



Obrázek 5.1-1

Schéma generátorové soupravy IMBERT souproudého typu. 1 - vyvíječ, 2 - cyklónový odprašovač, 3 - nárazníkový předčistič, 4 - chladič, 5 - odlučovač, 6 - dočistič, 7 - mísič (směšovač), 8 - sací ventilátor, 9 - koncový pojistný filtr

## 5.2. Příslušenství IMBERT

Před vstupem do motoru je dřevoplyn smíšen s potřebným přídavným vzduchem v mísiči. Klapka směsi slouží k regulování množství směsi a je ovládána nožním pedálem plynu a ruční páčkou plynu.

Rozdmýchávací větrák slouží k uvedení vyvíječe v činnost. Přitom se plyn nasává po otevření uzavírací klapky do větráku a odvádí se zkoušecí rourou ven. Malý elektrický motorek větráku je napájen z baterie vozidla a proud se vypíná vypínačem namontovaným na uzavírací klapce, a to táhlem z kabiny řidiče. Ve zvláštních případech se může provést úprava k odebírání elektrického proudu i ze sítě přímo v garáži nebo může být použito ručního větráku. Potrubí je zhotoveno z tenkostěnných ocelových trubek, ze svařovaných kolének a hotových částí potrubí. K usnadnění montáže a k uvolnění jsou v určitých vzdálenostech potrubí uspořádány buď příruby, nebo hadicové spojky. Tyto jsou staženy hadicovými sponkami. Použitím hadicových spojek je dosaženo takové pružnosti celého potrubí, že jakékoli provozní otřesy vozidla na ně neúčinkují.

## 5.3. Činnost soustavy IMBERT

Souprava na dřevoplyn zn. IMBERT je v podstatě nasávacím zařízením. To znamená, že si motor sám v každém okamžiku potřebné množství plynu nasává z vyvíječe. Výroba a doprava plynu během provozu se tedy neděje dmycháním vzduchu do vyvíječe. Sací zdvih motoru způsobuje nasátí plynu; vzniklý podtlak působí v poměru odpovídajícím otevření klapky směsi a otáčkám motoru na vyvíječ a způsobuje tam nasátí vzduchu vzduchovým (zapalovacím) otvorem v takovém množství, jakého je potřebí k vyvíječícímu pochodu v tom okamžiku.

Vzduch vnikne nejdříve do vzduchové komory vyvíječe a odtud se rozdělí kruhovým vzduchovým potrubím a tryskami do žároviště. Před a pod tryskami leží v žárovišti vrstva dřevěného uhlí, která je také uvnitř kolem žárového hrdla. Nad tryskami leží částečně zuhelnatělé dřevo.

S přiváděným vzduchem z dřevěného uhlí, které bylo před uvedením vyvíječe v činnost zažehnuto, se v blízkosti trysek částečně vyvíjí hořlavý CO (oxid uhelnatý) a částečně CO<sub>2</sub> (oxid uhličitý), který je nehořlavý. Oxid uhličitý se však dalším

procházením žhavým dřevěným uhlím částečně promění v oxid uhelnatý, čímž se užitečný obsah plynu zvětší.

Působením žáru v žárovišti se dřevo, které je nad tryskami, mění v dřevěné uhlí. Tímto způsobem si vyvíječ vyrábí stále potřebné množství dřevěného uhlí sám, a to z náplně obyčejného dřeva. Přitom se vyvíjí plyn a vodní páry, které mohou odcházet pouze žárovou clonou. Tam v důsledku zúžení hrdla je i při malém zatížení vyvíječe tak vysoká teplota (700 až 1400 stupňů C), že se v plynu obsažený dehet, dřevitý ocet atd., rozloží beze zbytků (krakuje) a přemění v dobře hořlavý plyn.

Zastavením motoru ustane i jeho sací účinek a tím i příchod vzduchu do vyvíječe. Tím přestane i vyvíjení plynu, což prakticky znamená, že spotřeba paliva skončí. Přesto ale dřevěné uhlí zůstane tři až pět hodin žhavé, takže po krátkém rozdmýchání ventilátorem vyvíječ opět počne dodávat plyn, aniž bychom byli nuceni znovu zapalovat.

Průchodem dřevěným uhlím strhává dřevoplyn s sebou uhelný prach a drobné částičky popela a dále obsahuje ještě nerozloženou vodní páru z vlhkosti dřeva. Zbavení plynu těchto částic a současně i jeho chlazení obstarává na zcela jednoduchém principu chladič a čisticí zařízení.

V předčističi se usazují těžší částičky prachu a popela účinkem nárazových plechů, vsunutých do předčističe. Plyn je zde ještě teplý, takže ještě nenastává kondensace vodních par. Teprve v potrubí od předčističe k odlučovači plyn je ochlazen natolik, že se začne srážet voda. Proto se na vhodném místě zapojuje kondenzační hrnec, kde se kondensovaná voda shromažďuje a vypouští vodní výpustí.

V odlučovači se usazují částičky prachu a popela účinkem odražení se od střešovité vložky a vlhkých stěn, které srážející se voda stále orosuje. Účinně působí i to, že se dřevoplyn vstupem do odlučovače rozpíná a tím se snadněji na chladnějších stěnách usazují kapičky vody a nečistoty.

V chladiči plynu, který je vystaven proudění vzduchu, jednak působením ventilátoru, jednak jízdou vozidla, se dosahuje dalšího ochlazení a čištění dřevoplynu. Přitom odtéká sražená voda spolu s prachem zpět do odlučovače, takže protijdoucí plyn je tím čištěn. Jedná se tedy o současné protiproudové propírání plynu, a to vodou, pocházející z plynu samotného. Zbývající částičky vody a prachu se zachytí

v dočistovači, v jeho filtrační náplni (korek, malé kousky dřeva, dřevitá vlna apod.), a dřevoplyn je schopen provozu.

Svou konstrukcí dává souprava IMBERT všestrannou možnost přizpůsobit se všem provozním podmínkám. Je pružná. Chladicí a čisticí zařízení stejnoměrně čistí a chladí dřevoplyn. Tak dostaneme, po smíšeném spalování potřebného vzduchu v mísiči, dobrou a čistou směs k motoru.

Složení dřevoplynu ze soupravy IMBERT je v celých % průměrně asi toto:

- **CO** (oxid uhelnatý) - 23 %
- **H<sub>2</sub>** (vodík) - 18 %
- **CH<sub>4</sub>** (methan) - 2 %
- **N<sub>2</sub>** (dusík) - 47 %
- **CO<sub>2</sub>** (kysličník uhličitý) - 10 %

Poměr nasátého vzduchu ke spálenému plynu je 1 až 1,2 m<sup>3</sup> na 1 m<sup>3</sup> plynu.

Z jednoho kilogramu na vzduchu sušeného dřeva, tj. dřeva pro náplň, která nemá mít více než 20 — 25 % vody, dostaneme přibližně 2,5 m<sup>3</sup> dřevoplynu.

Jedna náplň dřeva stačí asi na 2—5 hodin provozu nebo např. u nákladního vozu na trať 80 - 130 km. Toto je dáno velikostí vyvíječe a zařízením. Záleží také na druhu dřeva. Náplň těžkého tvrdého dřeva vydrží přirozeně déle než náplň lehkého dřeva měkkého (suché dřevo vydrží déle než vlhké). Avšak smíšené dřevo, tvrdé a měkké, stejné váhy a stejně suché, dá také dobrý dřevoplyn, takže ve vyvíječi můžeme upotřebit každý druh dřeva s výborným výsledkem.

Dřevoplyn vyžaduje veliký předzápal, proto bývá na vozidle namontováno zařízení k ručně řízenému předzápalu, což je zvláště nutné, má-li se také jezdit na tekuté palivo.

## 6 Zkonstruování modelu spalovacího motoru na dřevoplyn

### 6.1. Analýza dané problematiky

V dnešní době se žádná běžná auta na dřevoplyn po českých silnicích nepohybují, proto není zrovna jednoduché sehnat relevantní informace z praktického provozu či mít možnost prohlédnout si funkční zařízení.

Z dostupné literatury či spíše z článků na internetu se dá dočíst, co se týče motorů na dřevoplyn v minulosti, že jsou vhodnější vyšší objemy motorů cca od 2000 cm<sup>3</sup>. O to méně snadnější je představa sestavení „malého“ modelu.

Jako první, co se týče samotné konstrukce modelu (spalovacího motoru na dřevoplyn) a k tomuto připojeného generátoru plynu s ostatními zařízeními, je představa o samotné velikosti kompletního zařízení.

Jelikož se jedná o model, tak by rozměry, celková hmotnost zařízení a bezpečnost měly splňovat určité parametry:

- bezpečnost (kryty, stabilita zařízení, tupé hrany, prostor pro předvádění atd.)
- rozměry (co nejsnadnější manipulace)
- měl by projít běžnými dveřmi
- podvozek pro snazší manipulaci
- hmotnost celého zařízení do 90 kg (manipulace zvládne jedna dospělá osoba)
- hlučnost (tlumič výfuku)
- čistota (únik oleje nebo dehtu - těsnost celého zařízení)
- jednoduchá údržba
- co možná nejjednodušší obsluha

Dále je potřeba promyslet použití samotných součástí a materiálů, z něhož by se měl model postavit, aby v případě nějaké poruchy se daná součást dala snáze

nahradit. Důležitou věcí je zajištění si takových činností potřebných pro konstrukci, jakými jsou např. svářečské či soustružnické práce.

Dalším úkonem k dosažení cíle je zamyšlení a úvaha o postupu a samotném pořadí vytváření jednotlivých dílů a komponentů (Začít u motoru, nebo s generátorem dřevoplynu?).

Důležité je též odhadnout či stanovit celkové finální náklady, do kterých by se postavený model měl vejít a v neposlední řadě je vhodné si udělat představu o časové náročnosti celého projektu. Těžko si přesně představit či dokonce stanovit, v jakém časovém rozmezí by mohlo být zařízení sestrojeno a plně funkční.

## **6.2. Konstrukce generátoru dřevoplynu**

Generátor dřevoplynu je nasávací zařízení, kterým si motor sám podle momentální potřeby reguluje výrobu dřevoplynu. Proto by generátor měl mít určité rozměry, které zaručí maximální požadavek motoru na generovaný plyn a na druhou stranu udržovat generátor v chodu i při nízkých otáčkách motoru, který bude na něj napojen.

Jedna z prvních věcí, která byla promyšlena a zvažována před začátkem konstruování generátoru, je jeho typ a rozměry vyhovující později připojenému motoru.

Jelikož motor bude použit z nefunkční travní sekačky o objemu cca 148 cm<sup>3</sup> a schéma či plány, co se týče tak malého objemu motoru v použité literatuře či na internetu nebyly nalezeny, nezbylo mi nic jiného než se pokusit vše odhadnout.

Po úvaze bylo rozhodnuto sestrojít protiproudý (vzestupný) generátor, i když není příliš vhodný, co se týče budoucí testované biomasy z hlediska tvorby vysokého procenta dehtu. Na druhou stranu je jeho nespornou výhodou nižší technická náročnost a jednoduchost než u souprůdných generátorů.

1. Pro základní stavbu „těla“ generátoru byly použity dvě šamotové komínové vložky o vnitřním průměru 155 mm, které dobře akumulují teplo a navíc do sebe navzájem zapadají (obr. 6.2-1).



**Obrázek 6.2-1 Šamotové vložky. [autor]**

2. Takto vzniklý válec byl oplechován plechem o síle 1,5 mm (obr. 6.2-2) a to proto, aby mohl plnit funkci nosné části (možnost později přimontovat další součásti, dobré fixování komínových vložek při vysokých teplotách).



**Obrázek 6.2-2 Oplechování generátoru. [autor]**



3. K výrobě roštu byl použit již starý litinový rošt, který se rozřezal a následně opět svařil tak, aby se vešel do těla generátoru. Rošt je umístěn na dně generátoru, tak aby vyřezané okno určené k nasávání vzduchu bylo těsně pod tímto roštem (obr. 6.2-3).



**Obrázek 6.2-3 Rošt generátoru. [autor]**

4. Takto vzniklé neúplné zařízení „generátor“ již bylo možno vyzkoušet, zda je schopno plnit svou nejzákladnější funkci, a to produkovat dřevoplyn.

Po prvním zatopení se ukázal dobrý tah generátoru při bezvětrí, tudíž jej bylo možno dál roztopit na teplotu, při které by se již měla vyvíjet hořlavá směs dřevoplynu.

Co se týče rozměrů dřeva, lze roztápět zpočátku podobně jako v menších kamnech na fosilní paliva (papír, jemně našťípané kousky). Později po roztopení, kdy dolní šamot a rošt jsou již zbarveny do červena, je vhodnější použít kratší kousky přibližně  $20 \times 10 \times 30$  mm (štěpku), aby nedocházelo k zaseknutí paliva nad žárovištěm (prohořelé dutiny, klenby), které nejsou schopny umožnit další posun paliva směrem k žárovišti, čímž by se znemožnila produkce hořlavého dřevoplynu.

Celé roztopení trvalo přibližně 50 min (obr. 6.2-4). Generátor je potřeba stále při roztápění kontrolovat a průběžně doplňovat palivo tak, aby předčasně nedocházelo k doutnání a tím ke generování nehořlavého plynu.



**Obrázek 6.2-4 Roztopení generátoru. [autor]**

Výstup plynu z generátoru zajišťuje vodovodní trubice o průměru 3/4" (obr. 6.2-5) usazená v horní části.



**Obrázek 6.2-5 Generování dřevoplynu. [autor]**

Bez pozitivního výsledku (viz. obr. 6.2-5 produkování hořlavého plynu) by nemělo cenu pokračovat v dalších krocích celého budoucího modelu.

5. Víko generátoru bylo voleno masivní a dvouplášťové. Důvodem je jeho pevné držení a přiléhání ke generátoru. Dvouplášťové řešení by mělo zmírnit unikání tepla a tím zabránění nadměrnému ohřátí rukojeti na víku (obr. 6.2-6).



Obrázek 6.2-6 Víko generátoru. [autor]

6. Jako konečnou část generátoru zbylo dodělat dvířka sacího otvoru, která by šla jednoduše obsluhovat za provozu, byla jednoduše vyřešena a v případě nutnosti šla odšroubovat.

Celková konečná hmotnost hotového generátoru plynu (obr. 6.2-7) je 18 kg a objem cca 12 litrů. Časová náročnost na výrobu generátoru činila kolem 35 hodin.



Obrázek 6.2-7 Generátor. [autor]

### 6.3. Výběr a přizpůsobení motoru

Po předchozí úvaze byl vybrán motor Briggs & Stratton 35 Classic o objemu 148 cm<sup>3</sup>. Tento typ motoru je jedním z nejvíce rozšířených a používaných motorů v České republice (zahradní sekačky, elektrocentrály).

Konkrétně se jedná o vertikální motor, který byl vymontován z již nefunkční travní sekačky. Na motoru byla provedena nezbytná repase dílů (vyrovnání klikové hřídele, výměna ložiska atd.) a celkové přetěsnění (výměna simerinku, těsnění) - (obr. 6.3-1).



Obrázek 6.3-1 Motor. [autor]

K tomuto typu motoru je pevně přimontováno příslušenství (palivová nádrž s palivovou pumpou, karburátor atd.). Tyto součásti jsou určeny pro provoz na kapalná paliva (benzín), tudíž byly demontovány.

Po repasi motoru byl ke kruhové přírubě motoru zhotoven kovový rám z profilů 20 × 50 mm, do něhož byl motor usazen.

Dále bylo posuzováno, zda motor usadit opět vertikálně či horizontálně. Při uložení motoru ve vodorovné poloze by bylo snadnější namontování a obsluhování dalších prvků a zařízení (směšovače, řemenic, generátorů, atd.). Po pokusech upravit olejové lopatky v klikové skříni tak, aby bylo zajištěno správné mazání motoru v horizontální poloze, byl motor opět uložen ve vertikální poloze.

V klikové skříni motoru jsou z části použity silonové součásti a mechanismy (olejové lopatky, ale i rozvodová soukolí vačkové hřídele), které neumožňují



dostatečnou plastickou deformaci. Tímto způsobem by se dalo vyřešit natočení olejových lopatek a tím zajistit mazání klikového hřídele.

Celková časová náročnost na repasi motoru činila cca 30 hodin.

#### **6.4. Konstrukce směšovacího zařízení**

Směšovací zařízení (směšovač, mísič) plní u plynových motorů podobnou funkci jako u motorů na kapalná paliva karburátor (směšuje nasávaný vzduch s palivem).

Pro smontování směšovače bylo nejdříve použito starého dvoukomorového karburátoru z osobního automobilu Škoda 120. Po několika úpravách, kdy jedna klapka byla nastavena pro nasávaný vzduch a druhá pro plyn, se ukázal další postup jako zbytečně pracný, šlo o další usazení směšovače k sání motoru a nalícování přírub směšovače k tomuto sání. Proto se od dalšího postupu upustilo.

Po promyšlení a celkovém posouzení zkušeností z předešlé konstrukce směšovače bylo rozhodnuto použít pro další konstrukci směšovače praktičtější a také dostupnější vodovodní díly a součásti, které lze jednoduše kombinovat a skládat.



**Obrázek 6.4-1** Součásti budoucího směšovacího zařízení. [autor]

Tento postup se později ukázal, co se týče konstrukce času, ale i nákladů, jako efektivnější.

Samotné sestavení směšovače se skládá ze dvou vodovodních kohoutů o rozměrech 3/8", které jsou posazeny ve vodorovné rovině a otočeny o úhel 180° tak, aby jednotlivá ovládání těchto kohoutů byla posazena proti sobě (obr. 6.4-2). Dále byly použity a upraveny fitinky, kolena, matice atd. stejného rozměru.



**Obrázek 6.4-2** Pozice plynových kohoutů. [autor]

Dalším postupem bylo usazení takhle vzniklého kusu do nosného plechu tak, aby celé zařízení v případě potřeby šlo dobře rozebrat (obr. 6.4-3).



**Obrázek 6.4-3** Nosný plech směšovacího zařízení. [autor]

Jako poslední součástí, kterou zbývalo dodělat, bylo táhlo ovládání, které je schopno ovládat oba použité kohouty najednou.

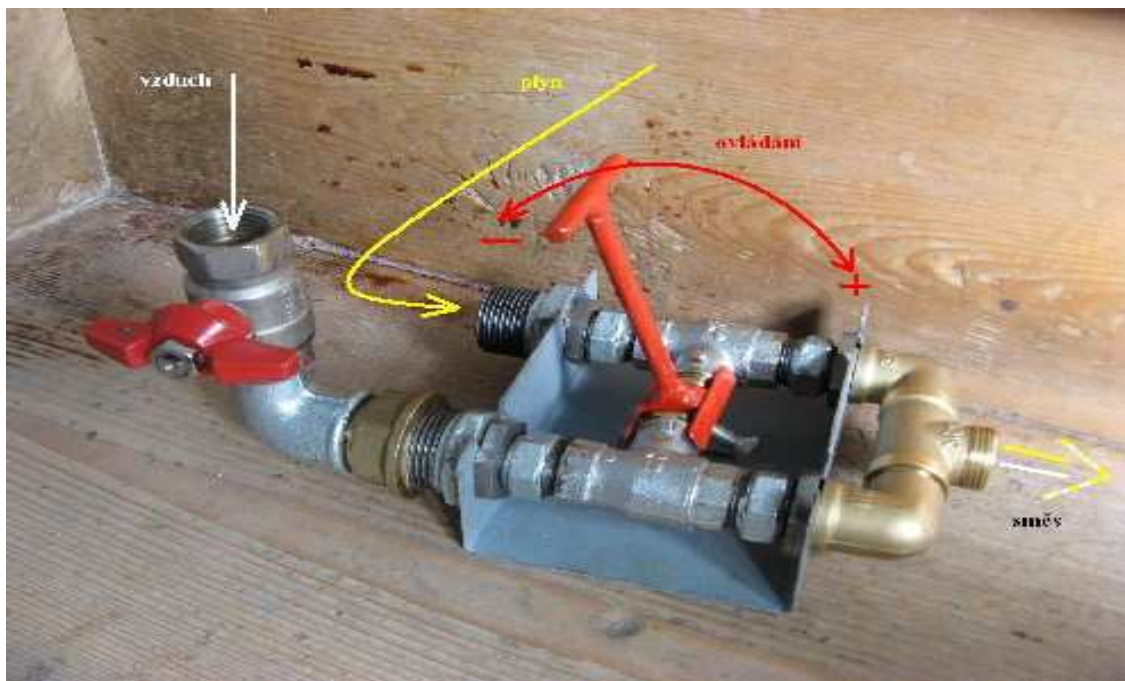


Jelikož ovládání kohoutů byla posazena proti sobě (obr. 6.4-2), bylo nejpraktičtější řešením spojit je vzájemně převlečným prvkem, který byl opatřen táhlem umožňujícím ovládání obou kohoutů na jednou (obr. 6.4-4).



Obrázek 6.4-4 Ovládání směšovacího zařízení. [autor]

V poslední fázi sestavení se ke směšovači přimontoval další škrťací kohout o rozměrech 3/4", určený pro regulaci množství nasávaného vzduchu. Kompletní směšovací zařízení s řízením vstupních hodnot (poměr plyn/vzduch) se ovládá červeným táhlem tvaru písmena T (obr. 6.4-5).



Obrázek 6.4-5 Směšovací zařízení. [autor]

Nakonec byl zhotoven jednoduchý rám z pásové oceli. Celé směšovací zařízení se přimontovalo na blok motoru a napojilo pomocí převlečného hrdla na sací trubici na místo karburátoru (obr. 6.4-6).



**Obrázek 6.4-6 Umístění směšovacího zařízení. [autor]**

Celková časová náročnost na sestavení a namontování směšovacího zařízení, činila cca 25 hodin.

## **6.5. První pokus o uvedení motoru do chodu**

Po zkonstruování generátoru dřevoplynu, směšovače a repasi motoru se mohlo přistoupit k prvnímu pokusu uvedení celého zařízení do chodu.

Začalo se roztopením generátoru na teplotu, která byla schopna vyvíjet hořlavý dřevoplyn, toto trvalo kolem 45 min. Poté byl generátor s motorem provizorně propojen plastovou hadicí.

Vyvíjený plyn se začal tlačit z generátoru propojovací hadicí do směšovacího zařízení, kde prošel oběma ovládacími kohouty, které byly v poloze otevřeno a začal unikat přes sací kohout ven. Tam bylo opět vyzkoušeno, zda je plyn stále hořlavý (zapálením). Po této nezbytné proceduře se mohlo přistoupit k samotnému startování.

Startování motoru bylo zatím ponecháno původní (ruční startování). Při pokusech o nastartování nastal problém nasáváním správného poměru směsi, neboť motor je čtyřdobý, takže je každá druhá otáčka pracovní, tudíž i každá druhá otáčka



nasává směs. Jelikož bylo startování ruční, tak při zatažení za madlo startování se motor otočil čtyřikrát, což znamená, že nasál dvakrát. Při obsahu motoru  $148 \text{ cm}^3$  nelze tímto způsobem startovat delší dobu, neb je tento způsob fyzicky náročný a proto při startování byly nutné přestávky. Toto mělo za následek, že generovaný plyn, který se tlačil přes směšovač, vytlačoval vzduch, který tímto nemohl být nasáván ve správném poměru.

Dále se projevil nedostatek generátoru, a to tím, že uzavřený generátor rychle ztrácí teplo, a tím se mění kvalita hořlavého plynu. Je nutno v pravidelných intervalech sledovat kvalitu (hořlavost) generovaného plynu.

V plastové trubce, kterou byl propojen generátor se směšovačem, docházelo ke kondenzaci vody a tekutého dehtu uvolněného z dřevoplynu, což mělo za následek zanesení a zkratování zapalovacích kontaktů na svíčke (obr. 6.5-1) a tím slabé (nedostatečné) zážehy.



**Obrázek 6.5-1 Zapalovací svíčka. [autor]**

Navzdory tomu byly patrné známky zažehnutí směsi (motor slíbil). Byl patrný opakovaný zpětný chod motoru (plyn se vznítil před horní úvratí). Zhruba po 30 minutách pokusů o nastartování pokus skončil.

### **6.5.1. Stanovené závěry z výsledku pokusu:**

- je zapotřebí snížit předstih zapalování
- ke generátoru přidat chladič plynu
- mezi generátor a směšovač vřadit plynovou klapku, aby nedocházelo k přesycení směsi
- místo ručního startování instalovat elektrický startér
- motor opatřit stabilním, stojatým rámem
- použít zapalovací svíčku pro provoz na plyn
- připravit si předem dostatečné množství vhodně přizpůsobeného paliva
- pokus provádět za co možná nejmenšího větru (zhasínání plamenu při roztápění generátoru)
- vložit „kontrolku“ hořlavosti plynu

### **6.6. Přidání startéru**

Nutnost instalace startéru byla patrná již na začátku prvního pokusu nastartování motoru. Po předchozí úvaze bylo zvoleno použití startéru ze Škody 120. Tento byl přimontován ze spodu rámu motoru.

Setrvačnick byl upraven na soustruhu na nezbytnou tloušťku 20 mm, čímž došlo ke snížení jeho původní hmotnosti, která činila kolem devíti kilogramů. To se ukázalo vzhledem k vertikálnímu usazení motoru a jeho hmotnosti nezbytné. Na to byl setrvačnick osazen věncem (obr. 6.6-1).



**Obrázek 6.6-1 Startér. [autor]**

Nakonec byl zhotoven mezikus, kterým se sešrouboval věnec a takto osazen byl našroubován na konec klikového hřídele. Očekávané vysoké otáčky startování se neprojevíly. Motor má podobné otáčky startování jako při použití ručního startování a je při startování stabilnější.

Celková časová náročnost na úpravu a instalaci startéru byla cca 15 hodin.

## **6.7. Namontování chladiče plynu**

Během prvního pokusu o nastartování byla zjevná kondenzace kapalných nehořlavých látek ve spojovací trubici mezi generátorem a motorem, ale i v samotném sání motoru, a toto vše mělo za následek špatné spalování a zkratování kontaktů na zapalovací svíčke.

Bylo třeba přistoupit ke chlazení plynné směsi, tak aby kondenzované složky nemohly vnikat do spalovacího prostoru motoru a současně, aby vzniklý kondenzát bylo možno pohodlně vypouštět z chladičného zařízení i během provozu.

Po předběžné úvaze bylo přistoupeno k rozhodnutí zhotovit tento chladič dřevoplynu ze staršího použitého chladiče vody z osobního automobilu. K tomuto účelu se hodil chladič vody z osobního vozu Škoda Favorit, který odpovídal svými rozměry i konstrukcí požadavkům chladiče plynu.

Ke zvolenému chladiči byl posléze ještě přimontován elektrický ventilátor, který by mohl celé chlazení urychlit.

Takto smontovaný chladič se přimontoval vertikálně na generátor plynu, tak aby původní nalévací hrdlo bylo v nejnižší poloze a toho se dále mohlo využít na odkalení vzniklého kondenzátu. Chladič je namontován bokem ke generátoru, tak aby co nejdříve odolával tepelnému záření z generátoru (obr. 6.7-1).



**Obrázek 6.7-1 Chladič plynu. [autor]**

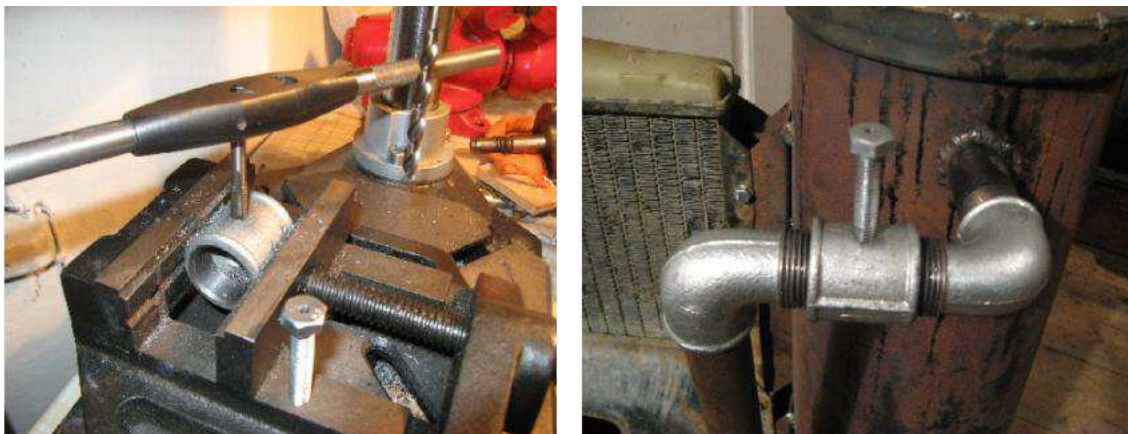
Takto namontované chlazení se s generátorem propojilo vodovodní trubicí o rozměrech 3/4", tak aby vycházející plyn z generátoru jako první proudil do spodní části chladiče, neb chladič je částečně sestaven z plastových prvků. Odvod plynu je vyveden v horní části chladiče tak, aby vzniklý kondenzát a zachycené plynné částice, které se koncentrují a usazují na dně chladiče, nemohly být dále nasávány do plynového potrubí.

## **6.8. Kontrolka hořlavosti plynu**

Při provozu generátoru bylo pozorováno, že se hořlavost plynu mění. Po roztopení a uzavření generátoru se vlivem jeho malého objemu nedaří udržet správnou teplotu po delší dobu (cca 6 min.) v takové výši, aby byl schopen generátor produkovat dále hořlavý dřevoplyn. Proto byl udělán pokus o tzv. kontrolku hořlavosti plynu.

Toto se provedlo navrtáním plynového potrubí těsně za výstupem z generátoru. Do navrtaného otvoru se vyřízl závit a našrouboval šroub o rozměrech M8, ve kterém byl vertikálně provrtán otvor o průměru 3 mm (obr. 6.8-1).

Tímto otvorem při generování plynu uniká malé množství plynu, které lze jednoduše zapálit a tím sledovat, zda je generovaný plyn hořlavý.



**Obrázek 6.8-1** Kontrolka hořlavosti plynu. [autor]

Avšak v pozdější praxi se toto moc neosvědčilo, neb i malý pohyb větru či akcelerace motoru a tím způsobené rychlejší nasání tento plamínek uhasí.

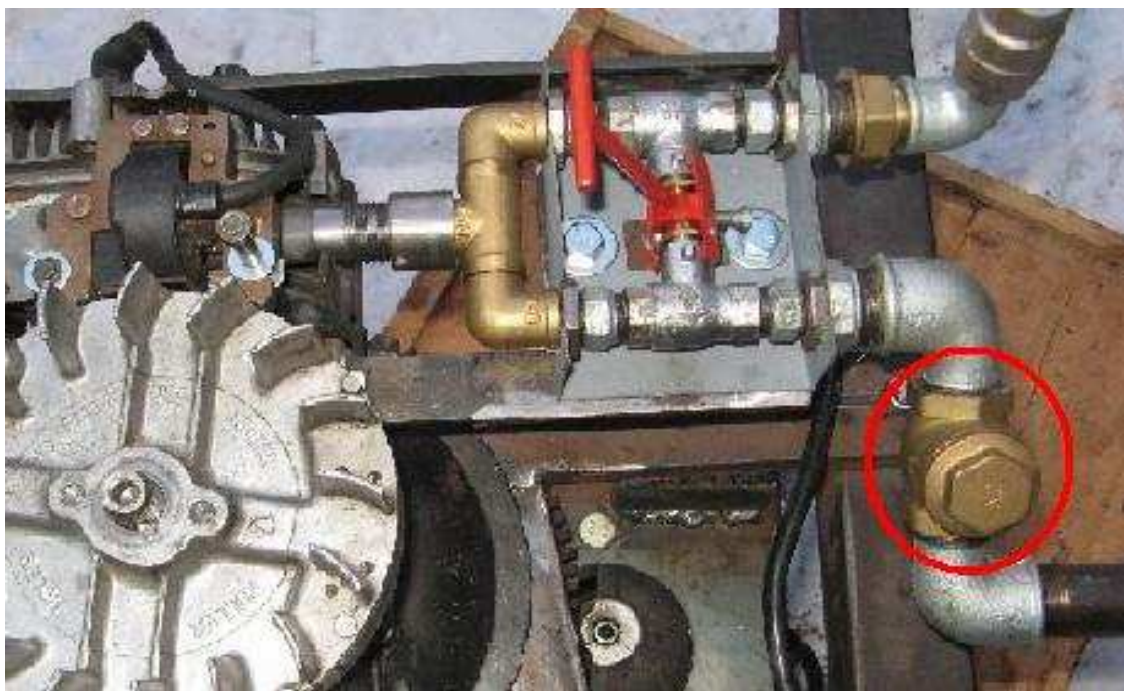
## **6.9. Přidání plynové klapky**

Při generování plynu bez chodu motoru nastává v generátoru mírný přetlak. To mělo za následek, že generovaný plyn samovolně prošel celým směšovacím zařízením až do sání vzduchu, čímž došlo k přesycení palivem. Vzdálenost mezi kohoutem ovládající přístup vzduchu a sacím ventilem motoru je 300 mm. To neumožňovalo krátkými ručními starty vysát všechnen plyn ze zahlceného směšovače, tak aby nasával vzduch a plyn ve správném poměru.

Jelikož část propojovacího potrubí mezi motorem a generátorem byla zhotovena z vodovodních součástí, bylo praktické použít jako klapku plynu zpětnou topenářskou kapku, která má gumové těsnění, dá se případně jednoduše rozebrat, vyndat či vyčistit. Díky šroubovému víku klapky lze jednoduše kontrolovat stav vnitřku propojovacího potrubí (kontrola kondenzátu).

Klapka byla umístěna těsně před směšovací zařízením tak, aby bylo možné kontrolovat kondenzát v nejvzdálenějším místě od generátoru (obr. 6.9-1).





Obrázek 6.9-1 Zpětná klapka. [autor]

Dalším důvodem, proč umístit zpětnou klapku v blízkost směšovacího zařízení, je případný „zpětný zášleh“ do směšovače.

## 6.10. Snížení předstihu zapalování

Při ručním startování motoru došlo k opakovanému zpětnému protočení motoru a proto se přistoupilo k upravení předstihu (jeho snížení) tak, aby směs neshořela před horní úvratí.

Bohužel tyto typy motoru nemají standardně možnost upravení předstihu. Předstih je pevně daný pozicí namontovaného bezkontaktního elektromagnetického zapalování, kolem kterého rotuje ventilátor se vsazeným magnetem, tak nebylo jednoduché toto zapalování seřizovat.

Jedním z řešení se jevilo namontování celého zapalování na kruhovou posuvnou plochu, která by kopírovala rotor ventilátoru, měla by kruhové otvory, ve kterých by se dalo se zapalováním pohybovat. Avšak tento způsob usazení zapalování byl nakonec zamítnut, jelikož daná plocha kolem setrvačnicku není na přidělení tohoto mechanismu dostatečně rozměrná a také je značně členitá.

Jako praktičtější pro pokus se jevila cesta úpravy samotného zapalování, a to jeho vlastních úchyťů tvořených izolovanými listovými plechy jádra zapalovací cívky.

Tyto úchyty jsou tvořeny dvěma otvory pro šroubový spoj, které byly propilovány proti směru otáčení ventilátoru tak, aby bylo možno posunout zapalování po směru otáčení ventilátoru a tím dosaženo snížení daného předstihu (obr. 6.10-1).



**Obrázek 6.10-1 Zapalování. [autor]**

Z obrázku č. 6.10-1 je patrné, že otvory byly propilovány až na krajní možnou mez, neboť samotné držáky neposkytovaly dostatek místa. Na uchycení celého zapalování byly nakonec použity ocelové podložky o vyšším průměru tak, aby bylo dosaženo dostatečného držení. Tímto způsobem se podařilo snížit předstih přibližně o úhel 3°. Celkový předstih není u těchto typů motoru veřejně znám, není udán ani v technických parametrech a datech o motoru.

### **6.11. Sestrojení stojatého rámu motoru**

S ohledem na namontování startéru a jeho umístění pod motor se přistoupilo ke zvednutí rámu motoru tak, aby pod tímto rámem, ve kterém je uchycen motor, bylo dostatek místa jak pro startér, tak pro případný akumulátor.

Stojan jednoduchého rámu byl svařen z profilů 20 × 20 mm, na výšku měl 500 mm. Celý stojan rámu motoru byl řešen provizorně, neboť se již uvažovalo kompletní zařízení usadit do rámu s podvozkem.



Vzhledem k tomu, že představy a názory ohledně finální podoby a konstrukce kompletního zařízení se stále měnily a vyvíjely během celého konstruování, nebylo nutné tento stojan řešit více propracovaně.

Celé zařízení se po následujících úpravách skládalo ze dvou hlavních částí, a to generátoru dřevoplynu s chladičem a motorem s příslušenstvím usazeným v rámové konstrukci.

Při provozu zařízení se tyto obě části sestavily vedle sebe v těsné blízkosti tak, aby při obsluze a běhu motoru nedocházelo k větším vibračním tak, jak je patrné z obrázku 6.11-1.



**Obrázek 6.11-1** Sestavení generátoru plynu a motoru. [autor]

Obě části zařízení byly mezi sebou propojeny plastovou trubicí pro vedení plynu z generátoru k motoru. Ta brání přenosu vibrací z motoru na generátor.

## **6.12. Druhý pokus o uvedení motoru do chodu**

Opět se začalo s roztopením generátoru na teplotu, která byla schopna vyvíjet hořlavý dřevoplyn, cca 45 min.

Vyvíjený plyn se začal tlačit z generátoru propojovací hadicí do směšovacího zařízení, přes nově vsazenou zpětnou klapku (odpor klapky se dal seřídit podle její pozice natočení). To mělo za následek, že generovaný plyn se dostal do směšovacího

zařízení jen v případě, když motor nasál. Mírný přetlak generovaného plynu z generátoru nebyl schopen otevřít klapku.

Hořlavost plynu se dala vyzkoušet přímo u zpětné klapky, která je opatřena šroubovým vstupem. Po úspěšné zkoušce hořlavosti se mohlo začít se startováním.

Startování již bylo prováděno instalovaným startérem, který byl napojen na akumulátor o kapacitě 55 Ah a napětí 12 V. Akumulátor zajišťoval dostatečný výkon potřebný k delšímu startování bez možnosti dobíjení.



**Obrázek 6.12-1 Roztápění generátoru. [autor]**

Po delším startování se motor rozběhl, avšak po cca 10 sekundách se zastavil. Startování se opakovalo, poté se motor opět rozběhl po dobu zhruba 2 minut. Dále byl plyn již nehořlavý, tak bylo nutno opět otevřít, doložit palivo a roztopit generátor (obr. 6.12-1).

Pokus se několikrát opakoval, ale motor se nepodařilo rozběhnout na delší dobu než 2 minuty. Po ukončení pokusů byl proveden průzkum celého zařízení. V chladiči plynu se nacházel vodní kondenzát o objemu 0,15 l. V dalším potrubí od chladiče k motoru se nacházel kondenzovaný dehet, který byl nasáván při běhu motoru (obr. 6.12-2).



**Obrázek 6.12-2 Dehet v plynovém potrubí. [autor]**

Na konec se provedlo vyčištění celé palivové soustavy. Vodní kondenzát v chladiči plynu obsahoval také stopy dehtu. Po vypuštění se celá palivová soustava propláchla benzínem a vyčistila se zapalovací svíčka.

#### ***6.12.1. Stanovené závěry z výsledku druhého pokusu:***

- instalace dmyhadla (rychlejší roztopení generátoru)
- instalace dehtového filtru
- celé zařízení vsadit do mobilní konstrukce
- namontování alternátoru (použití jako elektrická brzda)

### **6.13. Sestrojení dmyhadla**

Již při prvním roztápění generátoru se projevila dlouhá doba, než je generátor schopen produkovat hořlavý plyn. Toto se projevilo později jak při prvním pokusu o nastartování, tak i při druhém pokusu.

S přidáním dmyhadla se počítalo již při konstruování chladiče plynu, neb se jevílo jako racionální řešení využít chladícího ventilátoru jako dmyhadla při roztápění generátoru.



Po celkové úvaze se jako první začalo s „trychtýřem“ vzduchu, který se nejdříve narýsoval, vystříhl a nakonec slepil z papíru. Poté se rozstříhal a překreslil na pozinkovaný plech, z kterého byl sletován (obr 6.13-1).



**Obrázek 6.13-1 Konstruování dmyhadla. [autor]**

K tomuto byla též z pozinkovaného plechu zhotovena dvě pravoúhlá kolena, tak aby se tlačенý proud vzduchu otočil o úhel  $180^\circ$  a mohl proudit do sání generátoru (obr. 6.13-2).



**Obrázek 6.13-2 Dmyhadlo. [autor]**

Plechová kolena nejsou spojena pevně, jsou do sebe zasunuta, aby se s nimi dalo otáčet, takto bylo vyřešeno připojení a odpojení dmyhadla od generátoru.

Celková časová náročnost dmyhadla činila cca 6 hodin.

## 6.14. Konstrukce filtru dehtu

Při předchozích zkouškách generátoru i celého zařízení byla zjevná nadměrná produkce dehtu. To je z větší části zapříčiněno daným typem generátoru, jelikož u protiproudého generátoru dehet neprochází žárovištěm a následně se nespaluje.

Vlivem kondenzace dehtu dochází k zanášení celé plynové soustavy a zvláště negativně se dehet projevuje ve válci motoru, kde zkratuje kontakty zapalovací svíčky a tím dochází k nepravidelnému chodu či zastavení motoru.

K výrobě samotného filtru byla použita plechová krabice z potravinářského výrobku, vodovodní trubice 3/4" a vodovodní kolena (obr. 6.14-1).

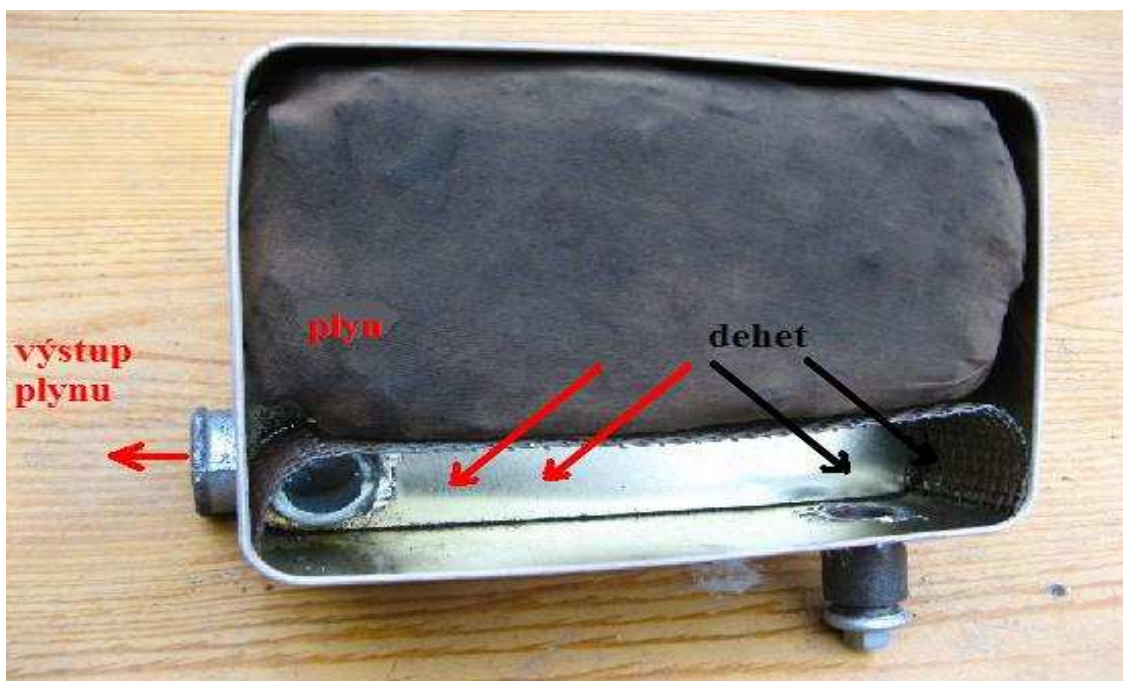
Do plechové krabice se vyřezaly tři otvory a pak se jednotlivé součásti přiletovaly cínem. Jelikož teplota tání klempířského cínu je kolem 230 °C a generovaný plyn je již ochlazen v chladiči plynu, je cín vhodný pro letování slabého plechu.



Obrázek 6.14-1 Konstruování filtru dehtu. [autor]

Filtr se skládá z vaku obsahující dřevěné uhlí, hrubého síta, těsnění a odkalovacího šroubu.

Plyn je nasáván přes dřevěné uhlí, které je pórovité a tím dobře zachytává plynný dehet. Hrubé síto drží vak s dřevěným uhlím nad výstupem plynu z filtru tak, aby se kondenzovaný dehet nevsákl do tohoto vaku a tím nedocházelo k ucpání filtru (obr. 6.14-2).



**Obrázek 6.14-2 Filtr dehtu. [autor]**

Nejvíce bylo pozorováno kondenzování dehtu za chladičem plynu a dále v plynovém vedení k motoru. Filtr se proto instaloval za chladič plynu tak, aby zachycoval co nejvíce dehtu hned na začátku plynového vedení.

Celková časová náročnost dmyhadla činila cca 5 hodin.

### **6.15. Usazení modelu do mobilní konstrukce**

Jednou z konečných fází modelu spalovacího motoru na dřevoplyn bylo vsazení do mobilní konstrukce.

Konečná hmotnost modelu je 95 kg včetně akumulátoru, tudíž by nebylo v silách jedné osoby manipulovat s modelem.

Jednonápravový podvozek byl svařen z podobných profilů jako držák motoru. Náprava byla usazena na hraně konstrukce na místě, kde se budou nacházet nejhmotnější součásti a zařízení modelu tak, aby při nadzvednutí a přemísťování celého modelu se nacházela největší část hmotnosti na této nápravě (obr. 6.15-1).





**Obrázek 6.15-1 Základ mobilní konstrukce. [autor]**

Místo v oblasti usazení nápravy, kde byl později přimontován generátor plynu, bylo vyztuženo.

Na takto zhotovený podvozek byl přizpůsoben a následně přivařen rám s motorem. Pak se ke konstrukci za nápravu přimontoval generátor (obr. 6.15-2).



**Obrázek 6.15-2 Upevnění rámu do mobilní konstrukce. [autor]**



Poslední částí celé mobilní konstrukce bylo zhotovit a namontovat rukojeti, které umožní nadzvednutí, tažení či tlačení celého modelu. Tyto byly opět zhotoveny z ocelových profilů (obr. 6.15-3).



**Obrázek 6.15-3 Rukojeti. [autor]**

Při spojování jednotlivých komponentů (generátor plynu, motor, rukojeti) k mobilní konstrukci byly použity šroubové spoje, aby bylo možno tyto jednotlivé části v případě přepracování či opravy zvlášť vyjmout.

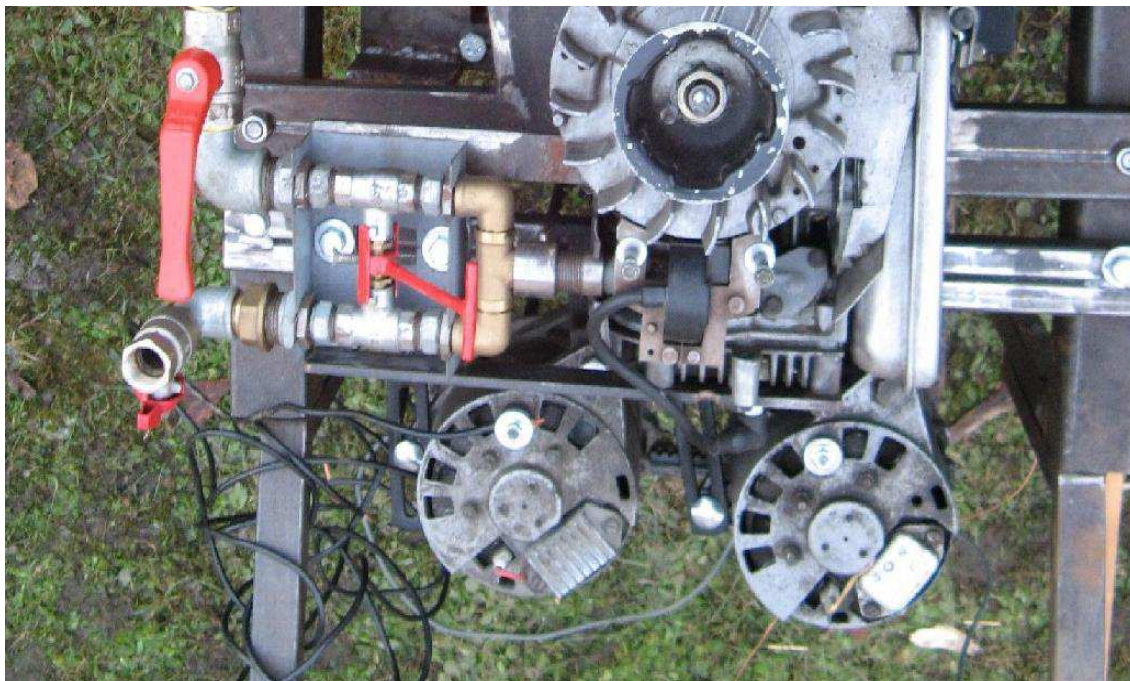
Celková časová náročnost mobilní konstrukce činila cca 12 hodin.

## **6.16. Instalace alternátorů**

Konečnou fází celého modelu byla instalace alternátoru. Po úvaze, co použít jako vhodnou brzdu motoru k určení jeho momentálního výkonu, se jevil alternátor ze Škody Favorit, který má parametry 14 V a 55 A, z tohoto vyplývá výkon 770 W.

Jelikož daný motor Briggs & Stratton 35 Classic má deklarovaný výkon pro benzín 2,5 kW a z uváděných zdrojů z praxe (viz. kapitola 3.1.) vyplývá, že předělané motory na dřevoplyn mají nižší výkon než benzinové, a to až o jednu třetinu, ale i více. To by znamenalo, že při zapojení těchto dvou alternátorů a plné zátěži, by tyto alternátory byly schopny tento motor ubrzdit (cca  $2 \times 770$  W). Zároveň by se jeden z alternátorů mohl použít jako napínací kladka řemenu.

Alternátory byly usazeny vedle sebe tak, aby se dal použít napínací normovaný řemen (Škoda Favorit) a instalovány vertikálně (obr. 6.16-1).



**Obrázek 6.16-1 Alternátory. [autor]**

Řemenice alternátorů byly upraveny tak, aby poměr obvodů těchto řemenic vůči hnací řemenici na setrvačnicku motoru byl 1:2, jelikož otáčky použitého motoru byly vždy nižší než při provozu na benzin.

Dostatečný počet otáček by měl zajistit, že alternátory budou schopny přenášet veškerý výkon motoru i v nižších otáčkách na výkon elektrický.

Celková časová náročnost na instalaci a úpravu alternátorů činila cca 9 hodin.

## **7 Pokus o naměření elektrických hodnot**

Vzhledem ke skutečnosti, že celé zařízení, na kterém by se měly provádět pokusy je prototypem, který byl promyšlen a následně vyvíjen postupně, tak jak se postupně objevovaly různé překážky, problémy a navíc byl konstruován bez jakýchkoliv podkladů, se nepodařilo napoprvé vše sestrojít tak, aby výsledek plně odpovídal představám, které byly na začátku konstruování celého modelu.

K tomu, aby bylo možno naměřit elektrické hodnoty, je zapotřebí pro tuto činnost určitý čas a nejlépe konstantní otáčky motoru. To by ale znamenalo, že



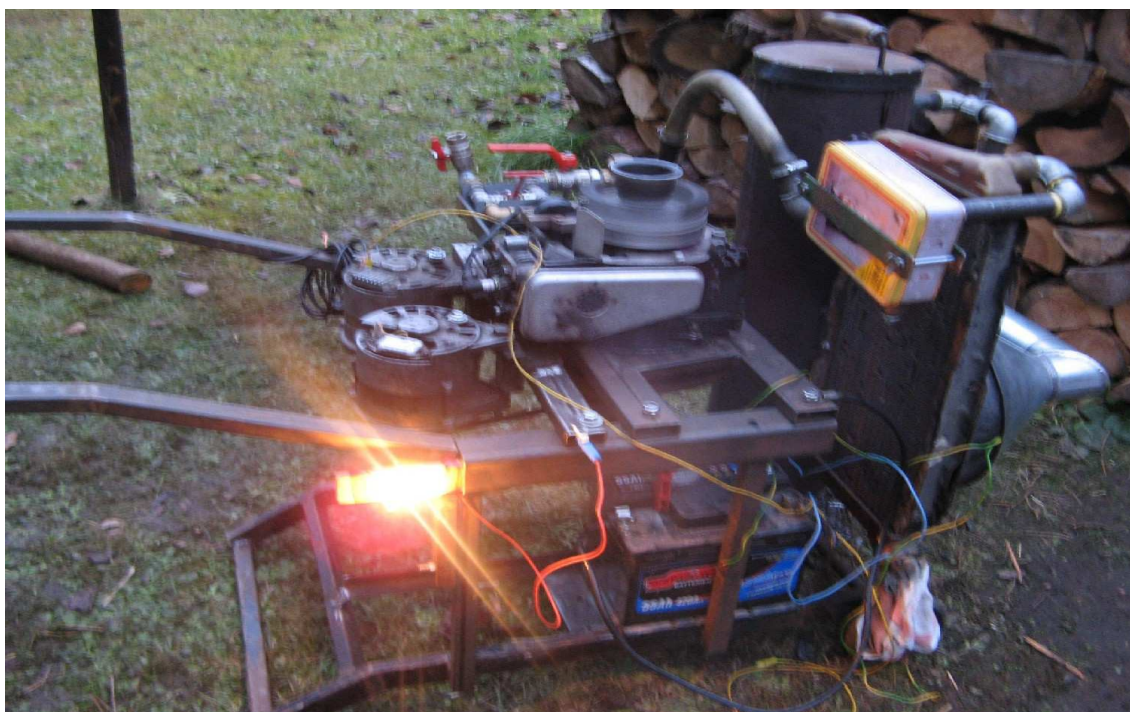
generátor plynu bude schopen po určitou dobu nezbytnou k měření generovat hořlavý dřevoplyn. Tohoto však nebylo s úspěchem dosaženo.

### 7.1. Výsledky prvního měření

Pro první pokus o naměření elektrických hodnot byly použity dvě halogenové žárovky s parametry 12 V a 50 W. Tyto byly upevněny v provizorním dřevěném držáku, který byl nasazený na model, a zapojeny paralelně. Následně byl jeden z kontaktů žárovek propojen s jedním z alternátorů na svorce B+ a druhý kontakt byl připojen ke kostře. Na těchto žárovkách po nabuzení alternátorů měly být měřeny veličiny proudu a napětí.

Po roztopení generátoru dřevem a následném nastartování motoru, kdy se motor rozběhl pouze na nízké otáčky, bylo připojeno budící vinutí alternátoru. Následně došlo k rozsvícení obou halogenových žárovek (2 x 50 W) a následnému zabrzdění (zhasnutí) motoru.

Toto ukazovalo, že k ubrzdění motoru při nízkých otáčkách stačí zátěž 100 W, neboli motor měl výkon cca 100 W (obr. 7.1-1).



Obrázek 7.1-1 Brzdění motoru. [autor]

Dále se tento pokus opakoval za použití dřevěného uhlí jako paliva v generátoru. Motor se rozběhl na vyšší otáčky než při roztopení dřevem. Při následném nabuzení

alternátoru se obě žárovky opět rozsvítily, ale při přidání otáček došlo k jejich spálení. Následně po několika sekundách motor zhasl vlivem vyčerpání hořlavého plynu z generátoru.

Jelikož se stále nedařilo generátor roztopit tak, aby produkoval dostatek hořlavého plynu k udržení motoru v chodu pro nezbytnou dobu k měření, toto znemožňovalo naměření relevantních elektrických hodnot (motor se po několika pokusech dařilo udržet pouze v neustálených otáčkách podobu od 0,5 do 1,5 minuty).

Pokud by motor běžel stabilně delší dobu, nezbytnou pro úkony měření, užilo by se pro ubrzdění motoru připojení dalších halogenových žárovek tak, aby došlo k ubrzdění motoru. V těchto okamžicích by se měřily hodnoty proudu a napětí na jednotlivých žárovkách. Součet celkového proudu a napětí by odpovídal maximálnímu výkonu motoru přeneseného na elektrické hodnoty. Toto by se opakovalo za použití různých druhů biomas v generátoru plynu.

## **8 Pořizovací a provozní náročnost prototypu**

### **8.1. Časová náročnost na model**

- generátor dřevoplynu 35 hodin
- motor 30 hodin
- směšovací zařízení 25 hodin
- startér 15 hodin
- chladič plynu 7 hodin
- dmychadlo 6 hodin
- filtr dehtu 5 hodin
- mobilní konstrukce 12 hodin
- úprava a instalace alternátorů 9 hodin

Z výše uvedených údajů se dá vyčíst, že hrubá časová náročnost na model byla 144 hodin.

V těchto uvedených hodinách není započítán čas strávený namontováním či výrobou drobnějších zařízení (zpětná klapka, kontrolka hořlavosti plynu atd.). Dále zde není uveden čas strávený úvahami či výpočty, ani čas strávený prováděním pokusů.

## **8.2. Náklady na model**

- generátor dřevoplynu 1200 Kč
- motor 550 Kč
- směšovací zařízení 400 Kč
- startér + setrvačnick 650 Kč
- chladič plynu 400 Kč
- dmychadlo 450 Kč
- filtr dehtu 300 Kč
- mobilní konstrukce 500 Kč
- úprava a instalace alternátorů 400 Kč
- zpětná klapka 350 Kč

Z výše uvedených údajů se dá vyčíst, že hrubé náklady na postavení modelu činily 5200 Kč (není uvedena cena projetého benzínu za účelem sestavování jednotlivých částí modelu).

## **8.3. Provoz zařízení**

Zařízení jako celek není zcela jednoduché obsluhovat. Aby se dostal model do provozu, je nutno učinit mnoho úkonů k jeho rozběhnutí. Ideálním pro uvedení celého zařízení do činnosti je obsluha dvou nejlépe předem poučených osob.

Prostor, kde se tento pokus provádí, může být nasycen štiplavým a jedovatým kouřem (CO) a s tím spojenými dýchacími a zrakovými problémy, ke kterým dochází při respiraci kouře (nelze provozovat v uzavřených prostorech). Při provozu záleží na povětrnostních podmínkách a umístění, kde se má model dřevoplynového motoru provozovat. Procedura roztápění plynového generátoru je časově náročná a generátor po roztopení není schopen generovat hořlavý plyn po delší dobu.

## 9 Závěr

Jak již bylo několikrát zmíněno v předchozích kapitolách, celé zařízení je **prototypem**, což znamená, že nebylo sestavováno a konstruováno podle jiného osvědčeného modelu nebo předem daných plánů.

V rámci diplomové práce se podařilo postupně zkonstruovat a sestavit jednotlivé součásti dřevoplynového motoru a plynového generátoru. Na základě výsledků provozních zkoušek a pokusů bylo celé zařízení postupně zdokonalováno připojováním dalších technických prvků, které vylepšovaly jeho funkčnost. Postupně byl k zařízení přidán startér, chladič plynu, filtr dehtu atd.

Se zkonstruovaným modelem dřevoplynového motoru bylo provedeno několik pokusů s použitím různých typů paliva (biomasy), které v závislosti na typu paliva (druhu biomasy) následně vykazovaly rozdílný výkon motoru.

Vzhledem k technickým problémům vytvořeného prototypu nebylo možno provést dostatečné množství relevantních měření spojených se zjišťováním účinnosti modelu v závislosti na typu použité biomasy.

## 10 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1-1 GRAF VÝROBY EL. ENERGIE Z OZE (2009). [4] .....	7
OBRÁZEK 2.3-1 SCHÉMA SKLENÍKOVÉHO EFEKTU. [10] .....	9
OBRÁZEK 2.4-1 ROZDĚLENÍ BIOMASY. [11].....	10
OBRÁZEK 2.5-1 BRIKETY. [13] .....	11
OBRÁZEK 2.5-2 PELETY. [13] .....	11
OBRÁZEK 2.5-3 ŠTĚPKOVACÍ ZAŘÍZENÍ. [14].....	12
OBRÁZEK 2.5-4 DRTÍCÍ ZAŘÍZENÍ. [14].....	12
OBRÁZEK 2.5-5 MLECÍ ZAŘÍZENÍ. [14] .....	13
OBRÁZEK 2.6-1 ANAEROBNÍ VYHNÍVÁNÍ. [17] .....	14
OBRÁZEK 2.7-1 VÝROBA NAFTY Z ŘEPKOVÉHO OLEJE. [17].....	15
OBRÁZEK 2.8-1 SCHÉMA PYROLÝZNÍ JEDNOTKY BABCOCK. [20].....	17
OBRÁZEK 3.1-1 ŠKODA 500 LAURIN & KLEMENT S GENERÁTOREM NA PRYŽOVÝCH OBRUČÍCH (1925). [22] .....	19
OBRÁZEK 3.1-2 OSOBNÍ VŮZ ŠKODA RAPID S VESTAVĚNÝM GENERÁTOREM PLYNU V KUFRU (1942). [22]	20
OBRÁZEK 3.1-3 VOZIDLO PRO VÝCVIK NA BÁZI PzKpFW IV NA PLYNOVÝ POHON. [23].....	21
OBRÁZEK 3.1-4 AUTO NA DŘEVOPLYNOVÝ POHON 2. SVĚT. VÁLKA. [24].....	22
OBRÁZEK 3.2-1 AUTO NA DŘEVOPLYNOVÝ POHON PO 2. SVĚT. VÁLCE. [24] .....	23
OBRÁZEK 3.2-2 AUTO NA DŘEVOPLYNOVÝ POHON PO 2. SVĚT. VÁLCE. [24] .....	24
OBRÁZEK 4.1-1 PROTIPROUDÝ (VLEVO) A SOUPROUDÝ (VPRAVO) GENERÁTOR [26].....	25
OBRÁZEK 4.2-1 VÍKO GENERÁTORU [26] .....	26
OBRÁZEK 4.3-1 DŘEVĚNÝ ŠPALÍK. [AUTOR].....	29
OBRÁZEK 4.4-1 SCHÉMA GENERÁTORU IMBERT [26].....	31
OBRÁZEK 5.1-1 GENERÁTOROVÁ SOUPRAVA IMBERT. [26] .....	34
OBRÁZEK 6.2-1 ŠAMOTOVÉ VLOŽKY. [AUTOR] .....	40
OBRÁZEK 6.2-2 OPLECHOVÁNÍ GENERÁTORU. [AUTOR] .....	40
OBRÁZEK 6.2-3 ROŠT GENERÁTORU. [AUTOR] .....	41
OBRÁZEK 6.2-4 ROZTOPENÍ GENERÁTORU. [AUTOR].....	42
OBRÁZEK 6.2-5 GENEROVÁNÍ DŘEVOPLYNU. [AUTOR].....	42
OBRÁZEK 6.2-6 VÍKO GENERÁTORU. [AUTOR].....	43
OBRÁZEK 6.2-7 GENERÁTOR. [AUTOR].....	43
OBRÁZEK 6.3-1 MOTOR. [AUTOR] .....	44
OBRÁZEK 6.4-1 SOUČÁSTI BUDOUCÍHO SMĚŠOVACÍHO ZAŘÍZENÍ. [AUTOR] .....	45
OBRÁZEK 6.4-2 POZICE PLYNOVÝCH KOHOUTŮ. [AUTOR] .....	46
OBRÁZEK 6.4-3 NOSNÝ PLECH SMĚŠOVACÍHO ZAŘÍZENÍ. [AUTOR].....	46
OBRÁZEK 6.4-4 OVLÁDÁNÍ SMĚŠOVACÍHO ZAŘÍZENÍ. [AUTOR].....	47
OBRÁZEK 6.4-5 SMĚŠOVACÍ ZAŘÍZENÍ. [AUTOR] .....	47
OBRÁZEK 6.4-6 UMÍSTĚNÍ SMĚŠOVACÍHO ZAŘÍZENÍ. [AUTOR] .....	48
OBRÁZEK 6.5-1 ZAPALOVACÍ SVÍČKA. [AUTOR].....	49



OBRÁZEK 6.6-1 STARTÉR. [AUTOR].....	51
OBRÁZEK 6.7-1 CHLADIČ PLYNU. [AUTOR] .....	52
OBRÁZEK 6.8-1 KONTROLKA HOŘLAVOSTI PLYNU. [AUTOR].....	53
OBRÁZEK 6.9-1 ZPĚTNÁ KLAPKA. [AUTOR] .....	54
OBRÁZEK 6.10-1 ZAPALOVÁNÍ. [AUTOR] .....	55
OBRÁZEK 6.11-1 SESTAVENÍ GENERÁTORU PLYNU A MOTORU. [AUTOR] .....	56
OBRÁZEK 6.12-1 ROZTÁPĚNÍ GENERÁTORU. [AUTOR].....	57
OBRÁZEK 6.12-2 DEHET V PLYNOVÉM POTRUBÍ. [AUTOR] .....	58
OBRÁZEK 6.13-1 KONSTRUOVÁNÍ DMYCHADLA. [AUTOR] .....	59
OBRÁZEK 6.13-2 DMYCHADLO. [AUTOR] .....	59
OBRÁZEK 6.14-1 KONSTRUOVÁNÍ FILTRU DEHTU. [AUTOR] .....	60
OBRÁZEK 6.14-2 FILTR DEHTU. [AUTOR].....	61
OBRÁZEK 6.15-1 ZÁKLAD MOBILNÍ KONSTRUKCE. [AUTOR] .....	62
OBRÁZEK 6.15-2 UPEVNĚNÍ RÁMU DO MOBILNÍ KONSTRUKCE. [AUTOR].....	62
OBRÁZEK 6.15-3 RUKOJETI. [AUTOR].....	63
OBRÁZEK 6.16-1 ALTERNÁTORY. [AUTOR] .....	64
OBRÁZEK 7.1-1 BRZDĚNÍ MOTORU. [AUTOR].....	65

## 11 Literatura

[1] *Příroda.cz* [online]. 2004 [cit. 2011-12-11]. Biomasa jako obnovitelný zdroj energie. Dostupné z WWW: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=126>>.

[2] *Setrime-energie.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-12-11]. ČR a plnění cíle 8% podílu elektřiny z OZE . Dostupné z WWW: <<http://www.setrime-energie.cz/clanky/bleskovky/cr-a-plneni-cile-8-podilu-elektriny-z-oze>>.

[3] *Mpo-efekt.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-12-11]. 02.pdf (application/pdf objekt). Dostupné z WWW: <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>>.

[4] *Mzp.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-12-11]. Obnovitelné zdroje - informační podpora. Dostupné z WWW: <[http://www.mzp.cz/cz/obnovitelne\\_zdroje\\_informacni\\_podpora](http://www.mzp.cz/cz/obnovitelne_zdroje_informacni_podpora)>.

[5] *Http://hobby.idnes.cz* [online]. 2000 [cit. 2011-12-11]. Co je biomasa a jak se s ní topí. Manuál nejen pro Kateřinu Jacques - iDNES.cz. Dostupné z WWW: <[http://hobby.idnes.cz/co-je-biomasa-a-jak-se-s-ni-topi-manual-nejen-pro-katerinu-jacques-pww/hobby-domov.aspx?c=A090407\\_171941\\_hobby-domov\\_mce](http://hobby.idnes.cz/co-je-biomasa-a-jak-se-s-ni-topi-manual-nejen-pro-katerinu-jacques-pww/hobby-domov.aspx?c=A090407_171941_hobby-domov_mce)>.

[6] *Http://elektrarny-elektrina.blog.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-12-11]. Biomasa-obnovitelne-zdroje. Dostupné z WWW: <<http://elektrarny-elektrina.blog.cz/0909/biomasa-obnovitelne-zdroje>>.

[7] *Forestportal.sk* [online]. 2008 [cit. 2011-12-11]. Rozdelenie biomasy, Výhody biomasy, Každá minca má dve strany. Dostupné z WWW: <[http://www.forestportal.sk/forestportal/les\\_financie/biomasa/cyklus\\_uhlika/cyklus\\_uhlika.html](http://www.forestportal.sk/forestportal/les_financie/biomasa/cyklus_uhlika/cyklus_uhlika.html)>.

[8] *Ipofe.sk* [online]. 2007 [cit. 2011-12-11]. I P O F E. Dostupné z WWW: <[http://www.ipofe.sk/index.php?cmd=clanky&lang=svk&kateg=47&k\\_id=103&id=4](http://www.ipofe.sk/index.php?cmd=clanky&lang=svk&kateg=47&k_id=103&id=4)>.

[9] Fotosynt%C3%A9za. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2004, last modified on 2006 [cit. 2011-12-11]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotosynt%C3%A9za>>.

[10] Soubor:Schema sklenikovy efekt.gif. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-12-11]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Schema\\_sklenikovy\\_efekt.gif](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Schema_sklenikovy_efekt.gif)>.

[11] *Kvt.sjf.stuba.sk* [online]. 2008 [cit. 2011-12-11]. 08\_IMS\_Biomasa.pdf (application/pdf objekt). Dostupné z WWW: <[http://www.kvt.sjf.stuba.sk/WEB/ims%20-%20prednasky/08\\_IMS\\_Biomasa.pdf](http://www.kvt.sjf.stuba.sk/WEB/ims%20-%20prednasky/08_IMS_Biomasa.pdf)>.

[12] *Cbpoint.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-12-11]. Hydraulický briketovací lis Brikstar CS 25. Dostupné z WWW: <<http://www.cbpoint.cz/vyrobky/briketovaci-lisy/d:hydraulicky-briketovaci-lis-brikstar-cs-25>>.

[13] *Wiapest.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-12-11]. ZV\_o\_peletovani. Dostupné z WWW: <<http://www.wiapest.cz/www-zatopimevam-cz-poradna/ve-o-peletovani>>.

[14] *Sg-stroj.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-12-11]. Sekání, štěpkování, drcení a mletí dřeva. Dostupné z WWW: <<http://www.sg-stroj.cz/drceni-dreva>>.

[15] *Tzb-info.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-12-11]. Využití biomasy a akumulční zdroje pro vytápění RD - TZB-info. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/945-vyuziti-biomasy-a-akumulacni-zdroje-pro-vytapeni-rd>>.

[16] *Http://ufmi.ft.utb.cz/* [online]. 2009 [cit. 2011-12-11]. EF\_14.pdf (application/pdf objekt). Dostupné z WWW: <[http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_14.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_14.pdf)>.

[17] *Biomasa-info.sk* [online]. 2007 [cit. 2011-12-11]. 08mikulik\_s.pdf (application/pdf objekt). Dostupné z WWW: <[http://www.biomasa-info.sk/docs/08mikulik\\_s.pdf](http://www.biomasa-info.sk/docs/08mikulik_s.pdf)>.

[18] Spalov%C3%A1n%C3%AD. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2001, last modified on 2002 [cit. 2011-12-11]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Spalov%C3%A1n%C3%AD>>.

[19] Pyrol%C3%BDza. In *Wikiskripta* [online]. Praha : MEFANET, [cit. 2011-12-11]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Pyrol%C3%BDza>>.

[20] *Biom.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-12-11]. Biom :: Schéma pyrolýzní jednotky Babcock. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/obrazek/schema-pyrolyzni-jednotky-babcock>>.

[21] %C3%89tienne Lenoir. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2001, last modified on 2002 [cit. 2011-12-11]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%89tienne\\_Lenoir](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%89tienne_Lenoir)>.

[22] *Motomuseum.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-12-11]. Jihočeské motocyklove museum. Dostupné z WWW: <[http://www.motomuseum.cz/index.php?grhead=2&nav=01&id\\_group=8&t=\\_art\\_print&id\\_art=370](http://www.motomuseum.cz/index.php?grhead=2&nav=01&id_group=8&t=_art_print&id_art=370)>.

[23] *Panzernet.net* [online]. 2011 [cit. 2011-12-11]. Panzer IV, PzKpfw IV, Panzerkampfwagen IV. Dostupné z WWW: <<http://www.panzernet.net/panzernet/stranky/tanky/pz4.php>>.

[24] *Energybulletin.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-12-11]. Mají budoucnost auta na dřevoplyn? | EnergyBulletin. Dostupné z WWW: <<http://www.energybulletin.cz/?q=clanek/maji-budoucnost-auta-na-drevoplyn>>.

[25] *Gorvin.mysteria.cz* [online]. 2004 [cit. 2011-12-11]. Gorvinův generátor dřevoplynu. Dostupné z WWW: <<http://www.gorvin.mysteria.cz/generator.htm>>.

[26] MRÁZ, V., MRÁZ, J. *Dřevoplynové generátory*. Vydání 1. Praha: Naše vojsko, 1954. 85 s.

[27] NAVRÁTIL, J. *Domácí kůtil a... dřevoplyn*. Vydání 1. - 1998. Tiskárna Olomouc, Studentská 5, 77164 Olomouc: Vydal vlastním nákladem, 1998. 132 s. ISBN 80-902244-2-3.