

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace
Studijní obor: Dopravní a manipulační prostředky
Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky
Vedoucí katedry: doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukční úpravy motorů pro pohon dřevoplynem a měření
jejich základních veličin

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Frolík, CSc.

Autor bakalářské práce: Petr Šedivý

Rok vydání: 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské – diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích, dne

.....

Podpis

Poděkování

Poděkování patří v první řadě vedoucímu této práce, Ing. Josefu Frolíkovi, CSc, za vstřícnost a obětavost při řešení problémů spojených s vypracováním.

Velký dík patří technikovi katedry Miroslavu Zemanovi za pomoc při měření a souvisejících pracích.

Abstrakt

Bakalářská práce obsahuje stručné seznámení s problematikou provozu spalovacích motorů na dřevoplyn, jeho výrobou, zpracováním a efektivním využitím. Práce se dále zabývá měřením a vyhodnocováním konkrétního strojního zařízení poháněného dřevoplynem.

Klíčová slova:

Dřevoplyn, zplynování, dřevo, spalovací motor

Abstract

Bachelor thesis contains a brief introduction to the problems of combustion engines powered by woodgas, its production, processing and effective use. The paper focuses on measurement and evaluation of specific machinery powered by woodgas.

Keywords:

Woodgas, gasification, wood, internal combustion engine.

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Stručná historie úprav motorů a vozidel	11
3. Dřevoplyn v současnosti	13
4. Obecný princip pohonu dřevoplynem.....	14
4.1 První fáze – výroba surového dřevoplynu	15
4.1.1 Vlastnosti dřevoplynu	18
4.1.2 Vliv paliv.....	21
4.1.3 Vliv použitého dřeva	23
4.1.4 Duhy generátorů.....	24
4.2 Druhá fáze úprava dřevoplynu – filtrace, chlazení	28
4.2.1 Filtrace dřevoplynu	29
4.3 Třetí fáze spalování dřevoplynu.....	33
4.3.1 Úvod do problematiky	33
4.3.2 Motory vhodné k přestavbě.....	34
4.3.3 Dřevoplyn jako motorové palivo	35
4.3.4 Kompresní poměr motoru	35
4.3.5 Plnění motoru	36
4.3.6 Zapálení směsi.....	39
4.3.7 Tvorba směsi	41
5. Vlastní práce – Měření základních provozních veličin motoru poháněného dřevoplynem.....	43

5.1 Popis měřeného zřízení	43
5.2 Technický popis	44
5.3 Motor.....	45
5.4 Generátorová souprava měřeného zařízení	46
5.5 Měření výkonu motoru.....	49
5.5.1 Metodika	49
5.5.2 Měření č. 1	52
5.5.3 Měření č.2	54
5.5.4 Měření č.3	56
5.5.5 Měření č.4	58
5.5.6 Měření č. 5	59
5.5.7 Měření č. 6	60
5.6 Vyhodnocení měření	62
6. Závěr	66
7. Seznam literatury	67

1. Úvod

Spalovací motor je hybatelem celého světa nikoli však takovým jako jsou peníze. Mám na mysli skutečného, fyzického hybatele, který dokáže přemístit téměř vše odkudkoliv komkoliv vzduchem, po vodě, po souši i pod zemí. Všechno co si lze koupit, zkonsumovat, upotřebit, vypít, vykouřit, vyhodit, ztopit, použít, sníst vlastně téměř jakékoliv předměty, potažmo i lidské činnosti mají jedno společné, k jejich výrobě, provozování, přemísťování a ničení bylo potřeba vynaložit určitou energii způsobem obvykle nevratným. Pomineme-li elektrickou energii a energii sluneční, zbytek vynaložené energie případně na pohon spalovacích motorů. Těchto motorů potažmo strojů, které pohání, není zrovna málo a jejich spotřeba je v souhrnu značná. Pokud se zaměříme pouze na pístové motory s vnitřním spalováním, jedná se o spotřebu poměrně kvalitních paliv, které tyto motory k provozu potřebují. V České republice se jako paliv pro motory používají převážně rafinované ropné produkty, či těžené plyny, které je nutno dovážet z ciziny, v našich podmínkách převážně z Ruska. Jedná se o automobilový benzin, motorovou naftu, zkapalněný ropný plyn (LPG) a stlačený zemní plyn (CNG), popřípadě zkapalněný (LNG), který se ale zkapalňuje až v tuzemsku. Tyto paliva, zejména pak první dvě, jsou v ČR nejužívanějšími (často nadužívanými) palivy pro spalovací motory pro své nesporné výhody. Musí se ale čerpat ze zásob, které jsou zatím dostatečné nikoli však nekonečné. Jestli tento problém vyřeší alternativní paliva není stále jasné. V současnosti lze za bionáhražky považovat líh, řepkový nebo jiný olej rostlinného původu či jejich estery, stlačený bioplyn, popř. bioplyn zbavený oxidu uhličitého tedy zemní plyn z rostlin a plyn vyrobený zplynováním dřeva či jiných rostlinných zbytků. Bionáhražky nejsou dnes ani zdaleka schopny pokrýt spotřebu těchto motorů. Tato práce se zabývá právě možností pohonu strojů a vozidel plynem vyrobeným zplynováním dřeva. Nutno ovšem podotknout že ani toto řešení svět nespasilo a ani nespasí z důvodu náročnosti a složitosti celého zařízení. Jeho velkou výhodou je možnost použití méně kvalitních paliv rostlinného původu, která lze použít v jejich přírodní nerafinované formě bez nutnosti dovozu z ciziny. Tímto palivem lze pohánět zážehové i vznětové motory vozidel a pracovních strojů. Náplní

práce je konkrétní seznámení s pohonem na dřevoplyn zejména pak s pohonem pracovních strojů, které se nepohybují po pozemních komunikacích. Provoz takového zařízení na pozemních komunikacích je z legislativních důvodů zatím nemožný. Mimo technické nezpůsobilosti stát hodnotí pohon dřevoplynem jako daňový únik, což je jeden z mnoha důvodů proč se dřevoplyn nemůže ujmout na poli dopravy. Při provozu pracovních strojů a elektrocentrál však tato „obtíž“ odpadá. Práci je možno pojmout jako návod pro stavbu podobného zařízení. Většina zde uvedených informací je mnou odzkoušena.

2. Stručná historie úprav motorů a vozidel

Myšlenka pohonu spalovacích motorů plynem vyrobeným z tuhých paliv je stará jako spalovací motor sám. Jako první se začaly na konci devatenáctého století objevovat stacionární motory upravené na plyn z uhlí, koksu a antracitu určené pro průmyslová zařízení, tam kde se neosvědčily tehdy klasické způsoby, tedy parní stroj, vodní a větrný pohon nebo animální síla. Použití klasického stacionárního motoru na kapalná paliva znamenalo tehdy, ostatně stejně jako dnes, vysoké náklady na palivo pokud vůbec bylo k dostání. Záměrem bylo vyvinout levné a spolehlivé zařízení, které by bylo schopno pracovat na dostupnější – tedy levnější paliva. Z počátku se ne vždy dařilo, avšak rozvoj techniky po první světové válce umožnil velké rozšíření generátorového pohonu. V našich podmínkách se generátorový pohon používal zejména ve mlýnech, hamrech a zámečnických dílnách, nejvíce zastoupeným palivem bylo uhlí (obrázek 2.1). S rozvojem elektrifikace se od generátorového pohonu upouštělo pro pracnost obsluhy.



Obrázek 2.1 Pozůstatky generátorového zařízení - Hanzův mlýn nedaleko Trhových Svinů - provozováno mezi lety 1928 - 1936. generátorová souprava firmy Wikov. foto 2011



Obrázek 2.2 Ukázka nelegální přestavby vozidla na pohon dřevoplynem. Lada 2103 - 1500ccm, maximální rychlost 70km/h, spotřeba 50-60 kg dřeva/100km.

U vozidlových motorů byla situace poněkud jiná. Počáteční nesnáze úprav vozidel se podařilo překonat až roku 1907 kdy byl autobus poháněný generátorovým plynem z dřevěného uhlí použit k pravidelné přepravě osob v Paříži na trase mezi Place Michel a Monmartrem. V letech 1914 – 1918 již používala francouzská armáda stovky nákladních vozidel na dřevoplyn. Největší rozmach generátorového provozu zaznamenala vozidla v meziválečném a válečném období, kdy se v důsledku nedostatku kapalných paliv soustředila pozornost právě na generátorový pohon. Průkopníkem se stal Georges Imbert, který vyrobil a rozšířil první prakticky použitelný generátor na dřevo a systematicky se věnoval jeho zdokonalování. Generátory značky Imbert se staly nejrozšířenějšími zařízeními na dřevo ve válkou zmítané Evropě, kdy drtivou část silniční dopravy obstarávala vozidla na dřevoplyn a animální síla (obrázek2.3). V poválečných letech kdy do Evropy začala proudit levná ropa z Ruska a severní Afriky se na tento způsob pohonu zcela zapomělo. V sedmdesátých a osmdesátých letech se dřevoplyn pokoušeli obnovit ve Švédsku, ale zůstalo jen u několika prototypů. V současnosti se neuvažuje o dřevoplynu jako

o alternativě kapalných paliv pro potřeby silniční dopravy, nutno ovšem podotknout že na celém světě jezdí stovky vozidel na dřevoplyn. Děje se tak ale nadšeneckým přičiněním zručných majitelů majících zájem o alternativu ke klasickým palivům (obrázek 2.2).



Obrázek 2.3 Přestavba traktoru Deutz (generátor typu Imbert). Převzato z [7]

3. Dřevoplyn v současnosti

Důvodů proč využívat dřevoplynový pohon v současnosti mnoho není. Hlavním důvodem proč se tento způsob pohonu používá jen velmi omezeně, je zatím poměrně nízká cena klasických paliv pro spalovací motory. Pokud se cena motorové nafty v současnosti pohybuje okolo 35 Kč/l znamená to v nynějším legislativním prostředí že výrobní cena jednoho litru nafty je zhruba poloviční, pohybuje se tedy na úrovni 17 Kč/l, zbytek tvoří spotřební daň, daň z přidané hodnoty a marže prodejců a obchodníků. Nafta je tedy stran výrobních nákladů poměrně laciné palivo, které skýtá mnoho výhod v uskladnění, při manipulaci, při přepravě a při výrobě. Její rozšíření je tak velké že současné motory neumožňují bez nákladných přestaveb provoz na jiná paliva neropného původu. Většina států světa si je tohoto vědoma a

zatěžuje prodej ropných paliv poměrně vysokou spotřební daní a často je používání paliv pro provoz na pozemních komunikacích ze kterých nebyla odvedena spotřební či jiná daň postaveno mimo zákon (obrázek 3.1). O dřevoplynu tedy jako alternativě nafty v silniční dopravě uvažovat nelze. Jeho využití se všemi jeho výhodami a nevýhodami je možné jen v omezené míře, buď pro pohon pracovních strojů které se nepohybují po pozemních komunikacích nebo se nepohybují vůbec a k výrobě elektrické energie.



Obrázek 3.1 Nelegální přestavba osobního vozidla Opel převzato z [7]

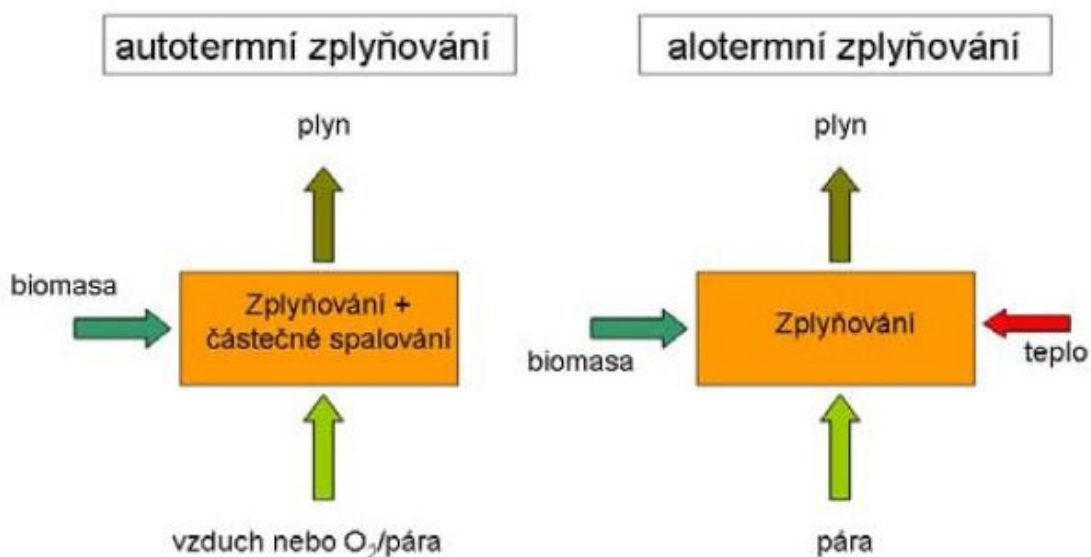
4. Obecný princip pohonu dřevoplynem

Pohon pístových spalovacích motorů dřevoplynem lze rozdělit na tři fáze. V první fázi je nutné vyrobit dostatečné množství dřevoplynu v co nejlepší kvalitě s pokud možno nejvyšší výhřevností. Tento zatím ještě surový plyn je nutno upravit tak, aby se mohl stát palivem pro spalovací motor. Pokud již máme použitelný plyn zbývá ho jen efektivně proměnit v mechanickou práci.

4.1 První fáze – výroba surového dřevoplynu

Podstatou výroby dřevoplynu je přeměna tuhého paliva na plynné pomocí zplyňování. Zplyňováním je myšlena termochemická konverze uhlíkatého materiálu v pevném skupenství na výhřevný generátorový plyn působením zplyňovacích médií a vysoké teploty. [2]

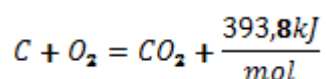
Jako zplyňovací médium bývá použit volný či vázaný kyslík nebo vodík. Produktem je plyn obsahující výhřevné složky (H_2 , CO , CH_4 a další organické minoritní sloučeniny – C_xH_y), doprovodné složky (CO_2 , H_2O a N_2) a znečišťující složky (dehet, prach, sloučeniny síry, chlóru, alkálie a další). Proces se skládá z několika základních pochodů: sušení, pyrolýzy (odplynění prchavých podílů hořlaviny), redukce a oxidace. Tyto jednotlivé dílčí procesy mohou probíhat buďto postupně – v sesuvných generátorech, či souběžně – ve fluidních a hořákových generátorech. Teplo je do procesu dodáváno přímo (obrázek 4.1), tj. částečným spalováním biomasy v reaktoru (jedná se o tzv. autotermní zplyňování), anebo nepřímo – přísunem tepla zvenku, tzv. alotermní zplyňování. Produkovaný generátorový plyn má variabilní vlastnosti zejména v závislosti na použitém zařízení a zplyňovacím médiu a nachází uplatnění především jako energetický plyn a syntézní plyn. Energetický plyn je využíván jak



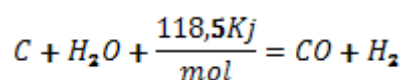
Obrázek 4.1 Principy zplyňování. Převzato z [1]

k topným účelům, tak pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie, a syntézní plyn pak zejména jako meziprodukt při transformaci pevných paliv a odpadů na chemické komodity – benzin, naftu, methanol, dimethylether, náhradní zemní plyn, vodík, methyl-terc-butylether apod.. Kromě toho nachází uplatnění také v metalurgii, kde slouží pro přípravu redukčních plynů a ochranných atmosfér. Proces zplyňování má vysoce komplexní povahu a nelze ho jednoduše popsat jednou rovnicí, aniž bychom se dopustili nepřipustného zjednodušení. Zplyňování tuhých paliv zahrnuje řadu chemických reakcí, které mohou být rozděleny podle rozličných hledisek.[1]

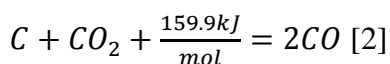
Při dokonalém spalování vzniká oxid uhličitý z uhlíku a voda z vodíku. Spotřeba kyslíku při spalování je snížena o množství obsažené v palivu. Spalování vyskytující se v oxidační zóně je popsáno následujícími rovnicemi:



Rovnice vyjadřuje, že při dokonalém spálení 1 molu uhlíku, což ve skutečnosti představuje 12,01g, se uvolní teplo o velikosti 393,8kJ. Jedná se o exotermní reakce poskytující teplo pro endotermické, jako jsou pyrolýza, sušení a redukce. Vodní pára obsažená ve vstupujícím vzduchu a vodní pára produkovaná sušením a pyrolýzou biomasy reaguje s pevným uhlíkem podle reakce vzniku vodního plynu. Tato reakce je vratná. [2]



Reakce vzniku vodního plynu spolu s následující reakcí Boudouardovou, jsou nejdůležitější redukční reakce.



Pro vysvětlení způsobu zplyňování použijí souproudý generátor, který je nejrozšířenějším typem pro nenáročné aplikace. Zplyňování zde pobíhá kontinuálně a lze ho rozdělit do pěti částí – oblastí.

1. Oblast sušení – ve vrchní části generátoru dohází k sušení vlhkého dřeva, odpařuje se voda a prchavé hořlaviny – teplota dosahuje až 170 C°
 2. Oblast suché destilace dřeva – vylučuje se kyselina octová, metylalkohol a dehet – začíná se tvořit dřevěné uhlí. Teplota se pohybuje okolo 500 C°
 3. Oblast úplného zuhelnění – teplota stoupá až na 700 C°. Proces tvorby dřevěného uhlí je ukončen.
 4. Oblast oxidační – zde je přiváděn spalovací vzduch. Dříve připravené dřevěné uhlí se částečně spaluje a uvolňuje velké množství tepla potřebné k štěpení dehtu, kyseliny octové a vodní páry. Teplota dosahuje až 1400 C°. Tvoří se dřevoplyn.
 5. Oblast redukční – zde dochází k dokončení všech reakcí, spalovací vzduch je vyčerpán, za stále ještě vysoké teploty cca 800 C° vychází surový dřevoplyn .
- [3]

Spalovací teplo, které se tvoří v oxidační oblasti v blízkosti vzduchových trysek, slouží k udržování chemických procesů, které teplo spotřebovávají, a to nad a i pod oxidační oblastí. Teplota v oxidační oblasti nesmí klesnout pod určitou mez, aby se dosáhlo co nejlepšího rozštěpení dehtu. Pokud by teplota poklesla, zvýšil by se obsah dehtu v plynu, což by mohlo poškodit motor. Pokud by tato situace trvala dlouhodobě nastala by zvýšená koroze všech částí zařízení včetně motoru, rovněž by došlo k zanesení či zalepení filtru dřevoplynu. Při náhlém zvýšení obsahu dehtu v plynu například vinou poškození či propálení některé části generátoru může dojít k takzvanému zalepení sacích ventilů. Na funkční plochy vodítek a dřívků ventilů ulpí kondenzací dehet. Toto se při chodu motoru nikterak neprojeví, za chodu je totiž motor ohřátý na provozní teplotu, která nedovolí zatuhnutí dehtu. Problém nastává při zastavení motoru a následném studeném startu. Dehet na dřívících ventilů zatuhne a s ventilem není možno pohnout. Následkem toho dojde při startu k ohnutí zdvihacích tyček nebo k ohnutí dřívku právě otevřeného ventilu. Zvýšený obsah dehtu v plynu či poruchu generátoru lze však snadno poznat na nepravidelném chodu motoru a značně sníženém výkonu motoru. Tato situace může nastat i použitím příliš vlhkého paliva, rozklad vodní páry, která se v nadměrném množství uvolní při jeho sušení,

spotřebuje velké množství tepla v oxidační oblasti generátoru, čímž dojde k poklesu teploty a zvýšené tvorbě dehtu.

Složení konečného plynu, vycházejícího z generátoru kolísá podle zatížení generátoru, tedy podle množství odebíraného plynu, obsahuje však vždy značné procento nehořlavých plynů, které jsou při spalování nevyužity – oxid uhličitý, dusík a jeho sloučeniny. Hořlavými plyny jsou oxid uhelnatý, vodík a metan. Průměrné složení dřevoplynu je:

23% oxidu uhelnatého

15% vodíku

2 % metanu

49% dusíku

10% oxidu uhličitého

2% čpavku, kyslíku, dehtu, No_x a jiných marginálních složek

Dále plyn obsahuje vodní páru - množství závisí na vlhkosti vstupní suroviny, její obsah se nezapočítává do složení plynu. [3]

4.1.1 Vlastnosti dřevoplynu

Dřevoplyn je směsný plyn jehož vlastnosti vycházejí z jednotlivých složek, které obsahuje. Vlastnosti generátorového plynu silně ovlivňuje typ generátoru (reaktoru) ve kterém byl vyroben. Hlavním parametrem dřevoplynu je jeho výhřevnost. Ta se u dřevoplynu vyrobeného ze dřeva v souproutém generátoru pohybuje okolo $5,2\text{MJ/m}^3$, což je v porovnání s jinými plynnými palivy poměrně málo.

Zemní plyn	$33,48 \text{ MJ/m}^3$
Svítiplyn	$14,50 \text{ MJ/m}^3$
karbonský – důlní	$30,11 \text{ MJ/m}^3$
Koksárenský plyn	$15,62 \text{ MJ/m}^3$
Vysokopecní plyn	$3,81 \text{ MJ/m}^3$
Bioplyn	$20 - 26 \text{ MJ/m}^3$

Tabulka 4.1 Orientační hodnoty výhřevnosti vybraných plynů. Převzato z [8].

Významnou vlastností dřevoplynu je obsah pevných částic, které vznikají při jeho výrobě. Jedná se o popel a dřevěné uhlí. Dřevěné uhlí obsažené v plynu je ve formě velmi jemného prachu. Obsah těchto složek omezuje jeho využití v surovém stavu a pro pohon pístových spalovacích motorů je nutno plyn následně čistit a filtrovat. [4]

Hlavní výhřevnou složkou dřevoplynu je oxid uhelnatý. Oxid uhelnatý (CO) je bezbarvý, nedráždivý plyn bez zápachu, lehčí než vzduch. Vůči lidskému organismu je vysoce toxický. Chemicky se váže na červené krevní barvivo hemoglobin (vzniká karboxylhemoglobin) asi 220 krát lépe než kyslík. Stačí velmi malá koncentrace oxidu uhelnatého, aby zablokoval schopnost krve vázat a přenášet kyslík. Už při malých koncentracích působí zprvu lehkou nevolnost pak nastává bezvědomí v krátkém čase smrt. Delší vystavení nízké koncentraci tohoto plynu může způsobit nasládlou pachut' v ústech. [6]

CO je bezbarvý a bez zápachu, člověk ho v čisté formě nedokáže rozpoznat, pokud je ale přítomen v dřevoplynu, zápach ostatních složek tohoto plynu člověk dokáže lehce rozpoznat (dehet, čpavek). V uzavřených prostorách může ale po čase vlivem rozdílné hustoty složek dřevoplynu dojít k oddělení oxidu uhelnatého, což je pro člověka velmi rizikové. Generátorové zřízení je nutno umístit v dobře větraných prostorách nebo v exponovaných místnostech umístit hlásiče CO. Stejně tak je nutné vybavit hlásičem i kabinu poháněného stroje. CO je lehčí vzduchu Hlásiče je nutno umístit vždy u stropu.

Dřevoplyn tvoří se vzduchem výbušnou směs. Rozsah její zápalnosti je však poměrně úzký pohybuje se v rozmezí přibližně 1:1 až 1:1,2 v porovnání s acetylénem, který tvoří výbušnou směs se vzduchem téměř v jakékoliv koncentraci je v tomto směru dřevoplyn poměrně bezpečný, přesto však k výbuchům může dojít zejména uvnitř generátorového zařízení při jeho poruše. Vhodnou úpravou generátoru však lze riziko výbuchu a rozsah následných škod eliminovat. [3]

Generátorový plyn vyrobený ze dřeva v souprroudých generátorech je poměrně silně korozivní díky obsahu sloučenin dusíku zejména pak čpavku. Ten tvoří s vodní

párou, kterou plyn také obsahuje, kyselinu dusičnou. Ta působí poměrně rychlou korozi nízkolegovaných ocelí. Pokud je generátorové zařízení vyrobeno z těchto ocelí je napadeno korozi v celé délce a zejména v místech kde dochází k častému kolísání teplot (obrázek 4.2). Nejvíce je ohrožen generátor – zejména jeho spodní část, vedení horkého plynu a chladič.



Obrázek 4.2 koroze spodní části chladiče

Generátorové zařízení vyrobené z ocelí, které nejsou odolné proti korozi, podléhá korozi poměrně rychle. Dvoumilimetrový plech 11 500 může na exponovaném místě prorezavět za méně než rok provozu. Hliník a jeho slitiny ač v běžných podmínkách nekorozi, vystavené dřevoplynu podléhají korozi. Zejména pak slitiny hliníku a zinku („zinkomály“) podléhají korozi velmi rychle. Jedinou ochranou proti této korozi je použití nekorozičních materiálů (anticoro nebo PVC v chladných částech zařízení). Většina ochranných nátěrů je neúčinná.

Generátorový plyn obsahuje vodní páru, její množství závisí na vlhkosti vstupního materiálu. Část vodní páry, která se uvolní v generátoru při fázi „sušení“ projde oxidační a redukční částí generátoru beze změny – nerozloží se na kyslík a vodík. Pára při chlazení plynu kondenzuje na stěnách chladiče. Tento kondenzát je nutno odstranit, obvykle se tak děje výpustným ventilem na dně kondenzační nádoby popřípadě soustavou ventilů (obrázek 4.3). Kondenzát je v ideálním případě čirý a silně zapáchá po čpavku. [3]



Obrázek 4.3 Vypouštění kondenzátu

Zvýšený obsah dehtu v plynu způsobí zbarvení do hněda, zvýšený obsah pevných nečistot způsobí zbarvení do černa.

4.1.2 Vliv paliv

Teoreticky lze vyrobit generátorový plyn z jakéhokoliv materiálu, který je schopný zuhelnatět cestou suché destilace. Zplynovat lze s větším či menším úspěchem velkou škálu přírodních i fosilních paliv v surové nebo přírodní formě. Ne

každé palivo však může být s úspěchem použito pro výrobu generátorového plynu v poměrně jednoduchých generátorech, které jsou určeny zejména pro pohon mobilních zařízení a strojů. Za nejvhodnější a nejehospodárnější palivo lze považovat dřevo, které je v našich podmínkách poměrně snadno dostupné a zatím levné. V některých odvětvích se dřevo (odřezky) považuje za odpad. Například v období druhé světové války bylo několik nákladních vozidel firmy Baťa přestavěno na dřevoplyn a jako palivo jim sloužily odřezky z výroby dámských podpatků. [3]

4.1.2.1 Fosilní paliva

Fosilní paliva se pro zplynování využívají od počátku jejich využívání vůbec a stále se ke zplynování využívají, ne však pro výrobu plyných paliv ale zejména pro chemickou výrobu. Jako palivo pro generátorový pohon jsou poměrně vhodná, konstrukce generátorů je snadná avšak má svá specifika vyplývající z vlastností fosilních paliv, jedná se zejména o vysokou výhřevnost a velmi vysoké teploty, kterých se dosahuje při jejich spalování. Dalším specifikem je vysoké procento popela a často vysoký podíl síry. Vysoká výhřevnost fosilních paliv umožňuje přidávání vodní páry do procesu zplynování nebo použití vodní páry jako zplynovacího média. Získá se středně výhřevný plyn s vysokým obsahem vodíku. Přebytečná tepelná energie při zplynování se využívá k rozkladu vody na vodík a kyslík. Vodík obohatí výsledný plyn a kyslík je použit k dalšímu zplynování. Přidáváním vody se rovněž snižuje velmi vysoká teplota uvnitř generátoru i přesto jsou generátory na fosilní paliva tepelně velmi zatěžovány a je nutné použití žáruvzdorných materiálů popřípadě speciální vyzdívkou a to zejména při použití černého uhlí. Velmi vysoká teplota u některých druhů uhlí vede ke spékání popela a tvorbě strusky, která brání normální funkci generátoru. Generátory na fosilní paliva tedy musejí být vybaveny zařízením pro odstraňování strusky. Pokud struska znemožní propadávání popela generátor brzy přestane pracovat. Odvod popela je u některých fosilních paliv poměrně značný problém. Fosilní paliva obecně tvoří velké množství popela - některé druhy hnědého uhlí a lignitu obsahují více než 20 % popela, který je nutno neustále odstraňovat. U tuhých fosilních paliv obvykle odpadá problém s vlhkostí paliva vyjma rašeliny, která je pro využití v generátorech poměrně nevhodná pro nízkou výhřevnost a vysoký podíl vody kterou lze odstranit jen velmi obtížně, protože je v rašelině vázána koloidně. Nevýhodou některých

fosilních paliv je vysoký podíl síry, která působí korozivně na motor a jeho výfukovou soustavu. Poslední dobou velmi sledované hledisko je uhlíková stopa, jež je u fosilních paliv, ať se zpracují jakkoliv, vždy kladná a podle mnohých přispívá skleníkovému efektu. S nulovou uhlíkovou stopou se lze setkat jen u paliv z obnovitelných zdrojů.

4.1.2.2 Obnovitelná paliva

Pro potřeby zplynování je to především dřevo, které je snadno dostupné, lze ho použít v jeho přírodní nerafinované formě, nemusí se dovážet a lze ho získat i svépomocně na rozdíl od paliv fosilních. Dřevo neobsahuje síru, ale při jeho suché destilaci vzniká poměrně velké množství vody a dehtu, který obsahuje kyselé látky, jež způsobují korozi vrchní části generátoru. Problém při použití dřeva jako paliva pro generátorový pohon působí vlhkost dřeva, která za normálních podmínek neklesá pod 20 %. Voda obsažená v dřevu se při suché destilaci vypařuje a prochází žárovou částí generátoru. Z části se rozloží na vodík a kyslík, část páry projde zplynovacím pásmem beze změny a po zchlazení plynu tvoří kondenzát. Při vlhkosti dřeva do 30 % pracují běžné generátory s uspokojivým výsledkem, je-li vlhkost příliš vysoká, poklesne teplota ve zplynovacím pásmu a dehet ze suché destilace se přestane rozkládat a objeví se v plynu. Při provozu je nutno velmi dbát na vlhkost dřeva. Vlhké dřevo značně prodlužuje dobu roztápění generátoru a často generátor roztopit nelze vůbec. Výsledný plyn obsahuje množství vody a dehtu, jeho výhřevnost klesá. Nekvalitní plyn vycházející z generátoru má charakter kouře a silně zapáchá dehtem.

4.1.3 Vliv použitého dřeva

Prakticky lze zplynovat jakýkoliv druh dřeva, pokud je dostatečně suché a „zdravé“ tj. nejeví známky hniloby a rozkladu, takové dřevo velmi špatně tvoří dřevěné uhlí, které je v procesu zplynování důležité. Dřevěné uhlí, které se při procesu zplynování tvoří, má velký vliv na chod generátoru. Tvrdé a polotvrdé dřevo tvoří kvalitní dřevěné uhlí, které se nedrolí a je pevné, generátor, zejména jeho redukční zónu, neucpává drobnými částmi. Dřevěné uhlí z měkkého dřeva se snadno drolí, je značně pórovité a málo pevné. Měkké dřevo tvoří uhlí velmi snadno, vytvořené uhlí se snadno zapaluje a rychle hoří. Měkké dřevo se velmi snadno zbavuje vlhkosti oproti dřevu tvrdému. V praxi je vhodné používat směs tvrdého a

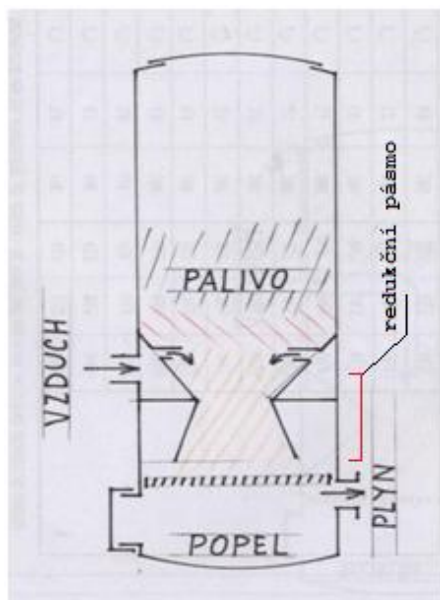
měkkého dřeva nebo dřevo pouze tvrdé. Spotřeba dřeva se u jednotlivých druhů dřeva velmi liší, což značně ovlivňuje akční rádius na naplněný generátor. Nejnižší objemovou spotřebu vykazují bukové špalíky o něco vyšší je spotřeba směsi tvrdého a měkkého dřeva a nejvyšší je spotřeba náletové štěpky z tvrdých dřevin.

4.1.4 Duhy generátorů

4.1.4.1 Rozdělení generátorů

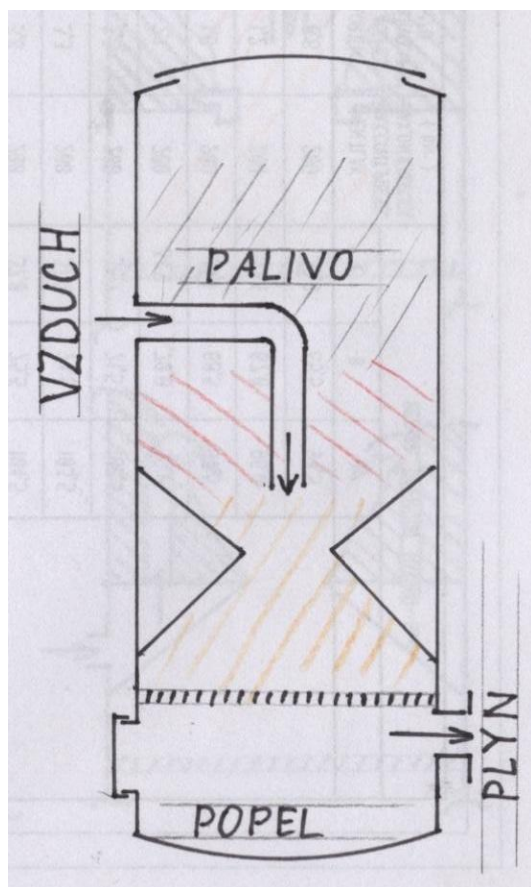
Zplynovací generátory pro pohon vozidel a strojů jsou specifická zařízení, která musí splňovat různé požadavky stran použitého paliva a jeho charakteru, množství dodávaného plynu (výkon) a náročnosti obsluhy. Tyto zplynovací generátory se značně liší od generátorů určených pro energetické účely, které jsou podstatně složitější jak konstrukcí, tak ovládáním.

Nejrozšířenějším typem generátoru pro zplynování dřeva je souproutý generátor (obrázek 4.4). Tento typ generátoru může mít různé podoby a způsoby řešení ale jeho hlavním znakem je že plynné produkty suché destilace dřeva (vodní pára, dehet, kyselina octová, a další) musí vždy projít redukčním pásmem generátoru, kde za vysoké teploty shoří nebo se přemění v jiné hořlavé plyny nebo v plyny netečné.



Obrázek 4.4 Souproutý generátor

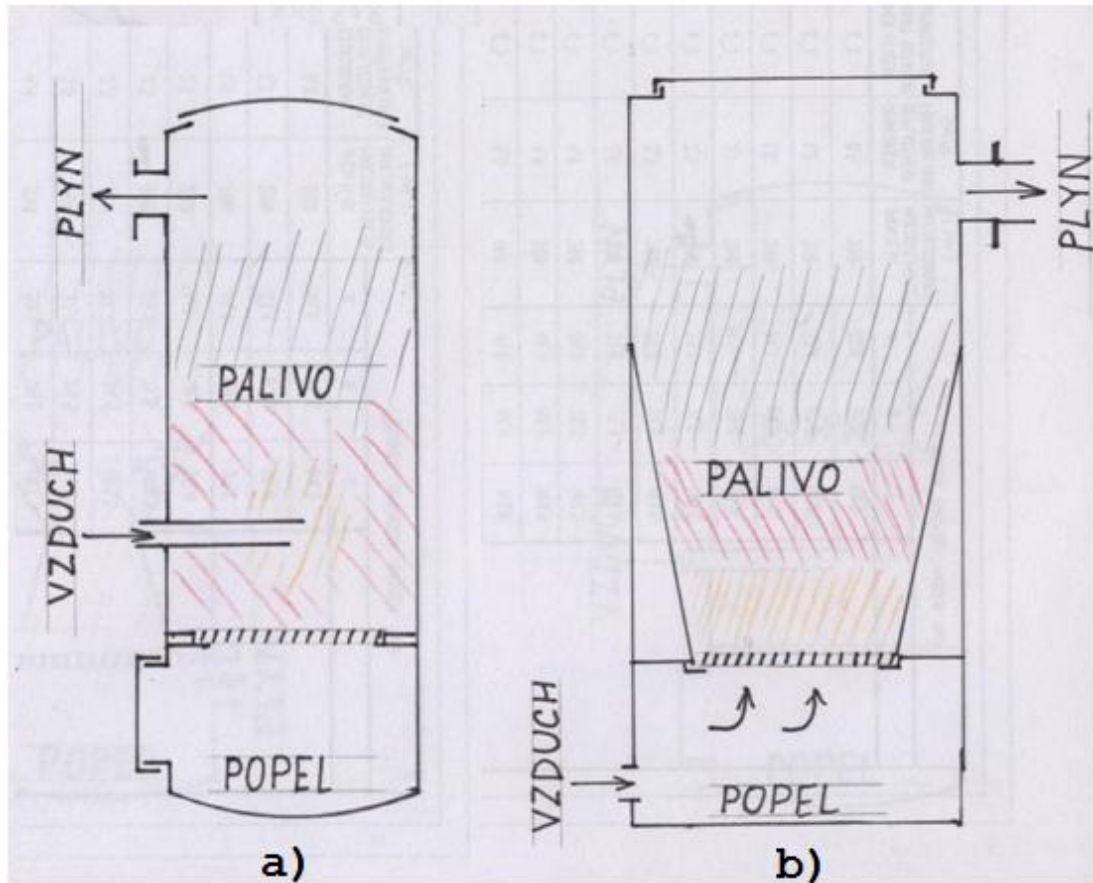
Vzduch potřebný pro zplynování vstupuje do generátoru souborem vzduchových trysek, které jsou rozmístěny na vnitřním obvodu spalovacího pásma. U jiných konstrukcí se lze setkat i s jedinou tryskou umístěnou uvnitř generátoru.



Obrázek 4.5 Souproudý generátor s vrchní tryskou

Tato tryska může být umístěná jak shora (obrázek 4.5) tak zdola. Tryska umístěná shora není teplotně namáhána, její konstrukce ale může bránit dobrému sestupu paliva. Tryska umístěná zdola nikterak nebrání palivu v sestupu protože prochází celou žárovou částí. Její nevýhodou je vysoké teplotní namáhání a nutnost použití žáruvzdorných materiálů.

Generátory užívané pro zplynování uhlí mají poněkud odlišnou konstrukci, většina druhů uhlí netvoří při svém zplynování dehet. To umožňuje použití jednodušší protiproudé konstrukce. Viz obrázek 4.6.

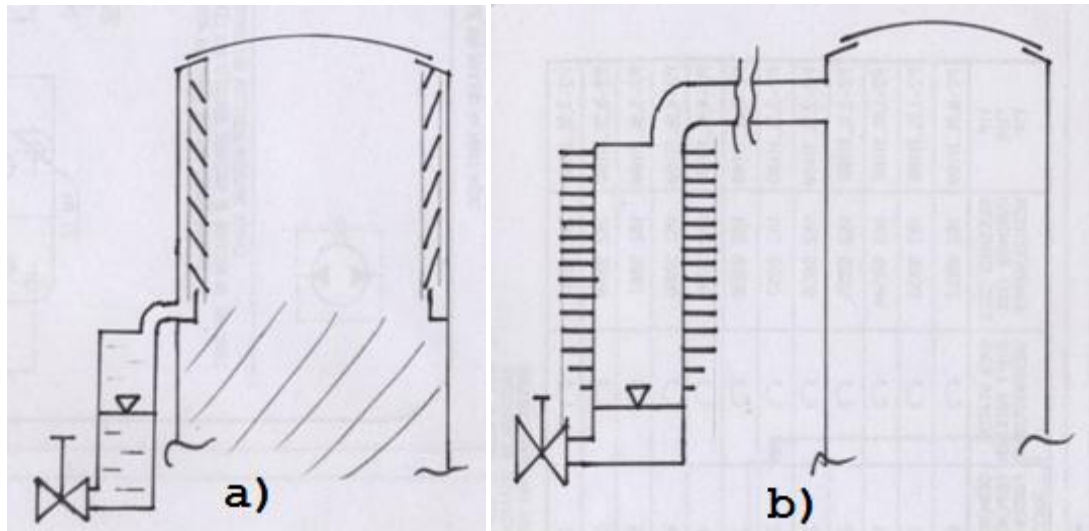


Obrázek 4.6 Protiproudá konstrukce generátoru

a) se vzduchovou tryskou

b) s přiváděním vzduchu roštem

Konstrukční řešení souproudých generátorů může být velmi rozmanité v závislosti na požadavcích kladených na generátor. Jedním z požadavků na generátor je možnost použití paliva o vyšší vlhkosti (okolo 30 %). Způsoby jak dosáhnout lepšího chodu generátoru i při zpracování vlhčího paliva jsou různé. Nejvhodnější je však vždy používat dřevo dostatečně suché. Nejrozšířenějším způsobem je alespoň částečné odstranění vodních a dehtových par uvnitř generátoru v sušící oblasti.



Obrázek 4.7 Odstranění vodních dehtových par

a) Použití okapničky

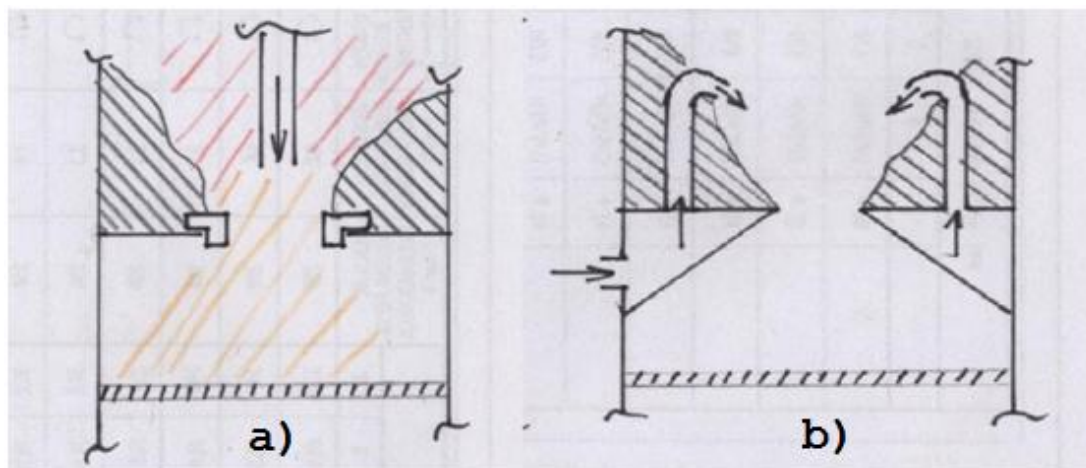
b) Použití chlazené nádoby

Jednou z možností jak dosáhnout částečné odstranění par nad palivem je použití okapničky na vnitřním obvodu generátoru, v jeho horní části (obrázek 4.7 a). Toto řešení je vhodné pro tepelně neizolované generátory, kde plášť generátoru v jeho horní části je natolik chladný, že umožňuje kondenzaci par na jeho vnitřní straně. Kondenzát stéká do okapničky odkud odtéká do zvláštní nádoby s výpustným kohoutem nebo s cyklicky pracujícím výpustným zařízením. Okapnička může být chráněna proti ucpání drobnými částmi paliva vhodně upraveným plechem. Další řešení využívá obecné vlastnosti plynů zaplňovat vymezený prostor. Vodní a dehtové páry vstupují do chlazeného prostoru, kde kondenzují. Tento kondenzát je jímán v chlazené nádobě nebo v jiné pomocné nádobě, kterou je nutno pravidelně vypouštět (obrázek 4.7 b).

4.1.4.2 Tepelné namáhání generátorů

Pro spalování a zplynování paliva je zapotřebí co nejvyšší teplota v redukční části generátoru. Vysoká teplota má ale za následek nadměrný opal exponovaných částí generátoru, tedy zejména jeho redukční části. Řešením je použití žáruvzdorných materiálů nebo volit konstrukci generátoru tak, aby plocha na kterou působí nejvyšší teploty byla co nejmenší. V praxi to znamená vytvoření „hluchých“ koutů, kde se při provozu nahromadí dřevěné uhlí, dřevouhelný prach a dehtová struska. Tato vrstva je

ideálním tepelným izolantem, dobře odolává vysokým teplotám a její povrch se neustále obnovuje. Ke styku vysoké teploty a materiálu generátoru dochází jen ve zúžené části, která může být konstruovaná jako výměnná. Obrázek 4.8 ukazuje toto řešení pro generátor se středovou tryskou a pro generátor s obvodovými tryskami.



Obrázek 4.8 Vstup vzduchu do generátoru

a) středovou tryskou

b) obvodovými tryskami

4.2 Druhá fáze úprava dřevoplynu – filtrace, chlazení

Surový dřevoplyn vycházející z generátoru má vlastnosti jež se neslučují s pohonem spalovacího motoru. Surový dřevoplyn má poměrně vysokou teplotu 100 – 300°C. Teplota plynu na výstupu z generátoru je značně ovlivněna konstrukcí generátoru a zvyšuje se použitím tepelné izolace generátoru. Konvenční spalovací motory obvykle nejsou schopny spalovat plyn o takto vysoké teplotě. Jedním z důvodů je fakt, že spalovací motory jsou z části chlazeny nasávaným vzduchem nebo směsí vzduchu a paliva. V druhém případě je nutno připočítat i skupenské teplo paliva (benzínu), které motor chladí. Motor pracující s plynem o vysoké teplotě, byť by tato teplota byla ponížena chladným vzduchem, který spolu s dřevoplynem tvoří pohonnou směs, by se mohl přehřívat.

Hlavním důvodem proč se nespaluje dřevoplyn o vysoké teplotě, je jeho tepelná roztažnost. Pokud je pohonná směs horká, nasaje se jí hmotnostně méně než by se nasálo směsi studené (tj. teplota okolního prostředí). Menší množství nasáté směsi znamená menší výkon, který je již značně ponížěn nízkou výhřevností dřevoplynu.

Proto je nutné dřevoplyn chladit na co nejnižší teplotu, tedy na teplotu okolního prostředí. Dřevoplyn lze chladit nepřímo v chladičích různých konstrukcí nebo přímo – chladnou vodou, která se vstříkuje do procházejícího plynu, tento způsob lze nalézt obvykle jen u stabilních zástaveb a jeho nevýhodou je značné množství odpadní vody kterou je nutno likvidovat. U mobilních zástaveb mají největší uplatnění chladiče typu plyn-vzduch různých konstrukcí, vždy však navrženy tak aby bylo možno čistit teplosměnou plochu na straně plynu, na kterou se usazují nečistoty a dehet.

4.2.1 Filtrace dřevoplynu

Jedním z důvodů proč se dřevoplyn nerozšířil jako alternativa získávání mechanické či elektrické energie je jeho filtrace. Pokud máme na mysli využití dřevoplynu spalením ve spalovacím motoru vyvstává problém s čistotou plynu. Norma pro spalovací motory stanovuje maximální znečištění vzduchu (plynu) pro spalování 50mg/m^3 . Vzhledem k tomu že surový dřevoplyn může obsahovat 500 až 5000 mg/m^3 musí být filtrace účinná a výkonná. I přes moderní technologie a značný pokrok v tomto směru je v praxi velmi obtížné dosáhnout alespoň normou stanovenou hodnotu. Znečištěný plyn způsobí zkrácení životnosti motoru.

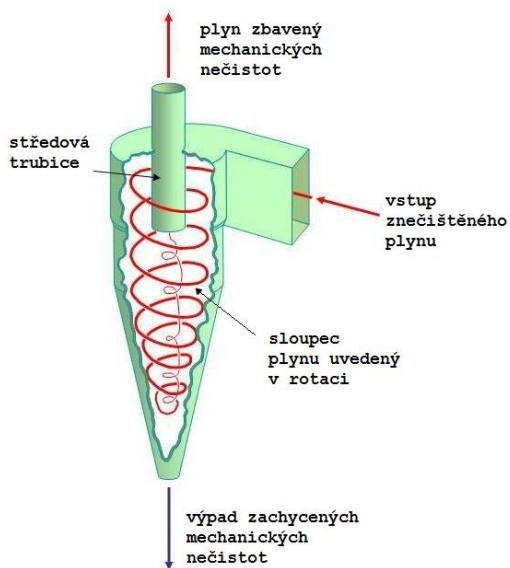
Během vývoje generátorového pohonu se ustálilo několik způsobů filtrace, které se v praxi mohou prolínat. Filtraci lze řešit suchou či mokrou cestou.

4.2.1.1 Suchou cestou

Cyklonové odlučovače

Principem cyklonových odlučovačů je uvedení sloupce filtrovaného plynu v rotaci, obvykle tečným přivedením plynu do válcové nádoby. Vzniká odstředivá síla, která vrhá pevné částice na vnitřní stěnu odlučovače, kde nárazem ztratí svoji kinetickou energii a vlastní vahou padají do jímací nádoby (obrázek 4.9 a 4.10). Plyn zbavený mechanických nečistot je odváděn středovou trubkou. Cyklonové odlučovače lze použít i za vysokých teplot, proto se obvykle zařazují těsně za generátor, kde odlučují nejhrubší nečistoty z plynu tak aby nebylo zbytečně zanášeno následné filtrační zařízení. Tyto odlučovače totiž nejsou schopny zachytit veškeré pevné částice a dosáhnout tak hodnoty 50 mg/m^3 , proto se používají jako předčističe. Jejich

výhodou je poměrně malá ztráta tlaku a bezporuchový provoz. Často se montují do paralelních skupin tzv. multicyklonů nebo sériově do baterií.



Obrázek 4.9 Cyklonový odlučovač



Obrázek 4.10 Použití cyklonu pro odprášení generátorového plynu

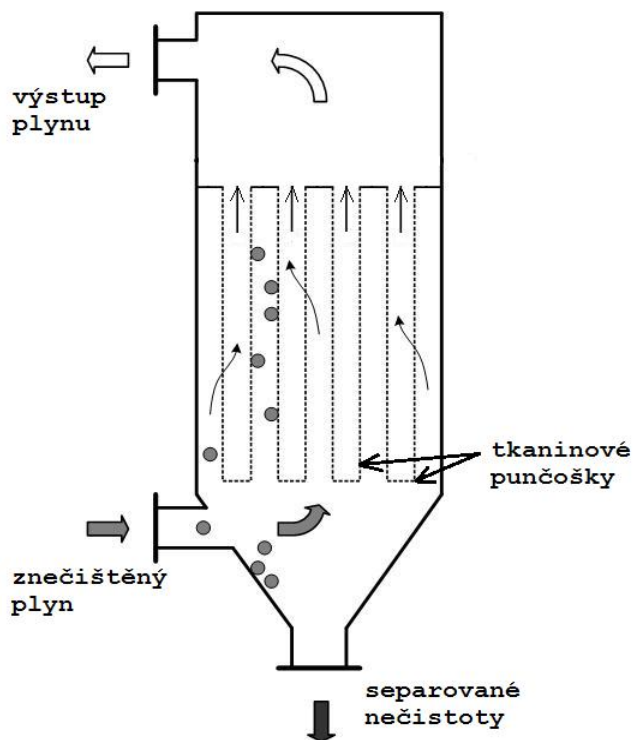
Tkaninové filtry

Základem těchto zařízení je filtrační materiál, který má vhodné vlastnosti a je patřičně uložen. Zaprášený plyn prochází filtrační vložkou, kde zůstávají pevné částice zachyceny (obrázek 4.11). Rozsah použití a kvalita odloučení je závislá na vlastnostech filtračního materiálu. [5]

Částice, které filtrační materiál zachytí, ucpávají póry materiálu a je třeba je odstraňovat (*regenerovat*). U mobilních použití se obvykle používá způsobu kdy je filtrační tkanina navlečena na vertikální pružné prvky. Při vibracích stroje (nerovnosti, vibrace motoru) dochází k mechanickému oklepu nečistot

V minulosti se spíše využívaly tkané textilie, které se uspořádávaly do rukávů, pytlů apod. Aktuálně se dává přednost netkaným textiliím. Používají se jak přírodní materiály (př. bavlna), tak i umělé (př. polyester). Maximální teplota, do které jsou tyto materiály použitelné, se pohybuje v rozpětí 120 – 150 °C. Pro vyšší teploty se používají vložky keramické nebo teflonové. [5]

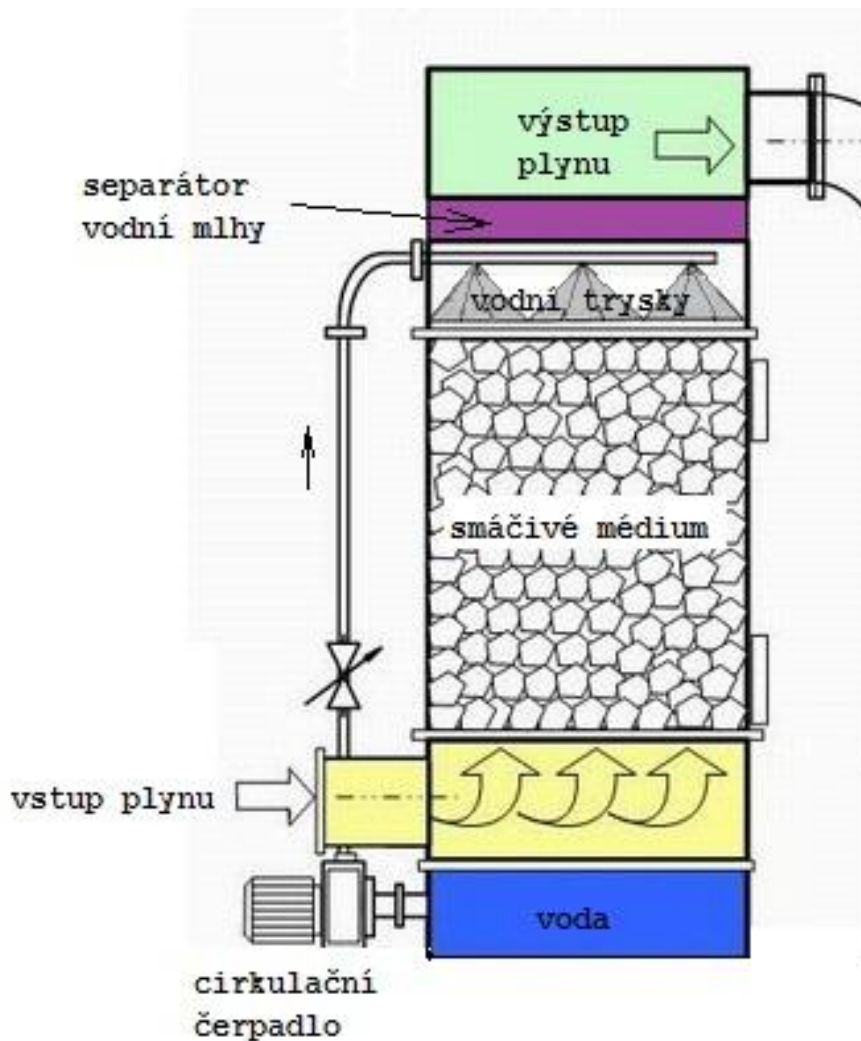
Filtry dosahují velmi vysoké účinnosti (více než 99,9 %) a řadí se tak mezi nejúčinnější odlučovače. Tlaková ztráta přesahuje 1 kPa a zařízení je rozměrné. Použití je omezeno pouze na suché plyny, zvýšená vlhkost by způsobila zalepení pórů, které by nebylo možno běžným způsobem regenerovat. [5]



Obrázek 4.11 Tkaninový filtr

4.2.1.2 Mokrou cestou

Mokré filtry, odlučovače nebo též skrubry využívají schopnosti kapalin smáčet povrch pevných částic, které zachytávají a odstraňují z proudu plynu. Touto kapalinou je nejčastěji voda ale lze se setkat i s olejem. Smočená částice prachu se stává příliš těžkou na to, aby mohla být dále unášena proudem plynu (obrázek 4.12). Nečistoty se usazují v kapalině, kterou je nutno filtrovat nebo měnit. Výhodou skrubrů je poměrně vysoká účinnost a malá tlaková ztráta. V mobilních zařízeních je určitou nevýhodou velké množství kapaliny (vody), která představuje další zátěž pro vozidlo. [5]



Obrázek 4.12 Skrubr

4.3 Třetí fáze spalování dřevoplynu

4.3.1 Úvod do problematiky

Provoz motoru na generátorový plyn sebou nese mnohá úskalí a problémy jejichž překonání je velmi obtížné, často nemožné. Dřevoplyn je velmi specifické palivo, jeho výhřevnost je nízká a kvalita proměnlivá. Proto je nutné motory upravovat s přihlédnutím k tomuto faktu. Motory přímo určené pro podobná paliva se vyrábí jen velmi omezeně a jejich cena je oproti konvenčním motorům značná. Navíc připočteme-li sníženou životnost motoru v důsledku obsahu dehtů a pevných částic v plynu, je investice do speciálního motoru téměř nevratná. Je nutné si uvědomit kde bude motor pracovat, s jakým zatížením, pro jaké účely, s jakým časovým

nasazením, jaké jsou nároky na efektivitu a obsluhu a bude-li motor pracovat pouze na dřevoplyn nebo se střídavým provozem na jiná paliva. Stupeň úprav je rozdílný a s každou zástavbou se liší. Stávající zařízení na klasická paliva při přechodu na dřevoplyn potřebuje větší úpravy motoru aby byla alespoň částečně vyrovnána velká ztráta na výkonu motoru. Naopak nově budovaná zařízení vyžadují jen malé úpravy motoru, jelikož motor můžeme předem „nadimenzovat“ podle potřeby výkonu, obvykle zvolením motoru s větším zdvihovým objemem.

4.3.2 Motory vhodné k přestavbě

Pro přestavbu na generátorový pohon se nejvíce hodí atmosférické zážehové čtyřtákní motory se zdvihovým objemem nad dva litry. Motory menších objemů se nevyplatí upravovat. Výkon, značně snížený oproti benzínu, by neměl praktické využití. Pro ilustraci uvedu příklad: Výhřevnost generátorového plynu je zhruba $5,2 \text{ MJ/m}^3$, výhřevnost zápalné směsi generátorového plynu se vzduchem v poměru 1:1,1 je zhruba $2,4 \text{ MJ/m}^3$, výhřevnost automobilového benzínu se pohybuje okolo 32 MJ/l výhřevnost směsi benzínu se vzduchem je přibližně $3,2 \text{ MJ/m}^3$. Pro stejný výkon je tedy nutné spálit $3,2/2,4=1,33$ krát více směsi generátorového plynu oproti směsi vzducho-benzínové. Pro stejný výkon jako má benzinový 2000 cm^3 motor potřebujeme při dřevoplynovém pohonu motor o objemu 2660 cm^3 za předpokladu že oba motory mají stejnou účinnost a koeficient plnění. Zážehový motor má tedy $1/1,33=0,75$ tj. 75% výkon oproti pohonu na benzin opět za předpokladu že koeficient plnění motoru zůstane nezměněn, což je u atmosféricky plněných motorů problém.

Parametry jako uspořádání válců, počet válců, systém rozvodu a způsob chlazení nemají podstatného významu. Zážehové motory mají již hotovou zapalovací soustavu, která se nemusí pracně vytvářet tak jako u vznětových motorů, které jsou pro generátorový pohon méně vhodné, z důvodu náročnější přestavby. Jejich výhodou je že se vyrábí i ve velkých objemech, které se u zážehových motorů nevyskytují. Deseti a více litrové motory bychom v zážehových řadách hledali jen těžko. Takto velké zážehové motory se vyrábějí pouze pro speciální využití ve vojenství, energetice a podobně. Dalším kritériem při výběru motoru je přeplňování. Jak již bylo řečeno, výkonová ztráta při generátorovém pohonu je značná. Jednou

z cest jak tuto ztrátu vyrovnat je právě přeplňování. U motoru, který byl vybaven přeplňováním už před přestavbou bychom ztratily výhodu dodatečného využití přeplňování. Zcela nevhodné pro přestavbu jsou dvoutakty a motory s rotačním pístem (WANKEL). Nevhodné je rovněž provádět přestavbu na jakémkoliv motoru, který je silně mechanicky opotřeбен nebo je ve špatném technickém stavu.

4.3.3 Dřevoplyn jako motorové palivo

Pokud již máme hotovou generátorovou soustavu schopnou dodat dostatečné množství dřevoplynu v dostatečné kvalitě je nutné ji efektivně využít tak aby nedocházelo k přílišným ztrátám nebo k poškozování motoru. Je nutné si uvědomit že dřevoplyn hoří pomaleji než benzín a má podstatně vyšší odolnost proti detonačnímu spalování.

4.3.4 Kompresní poměr motoru

Zážehové motory

U moderních zážehových motorů se pohybuje hodnota kompresního poměru mezi 9:1 až 12:1. Taková hodnota je pro generátorový pohon naprosto dostačující a není nutné do tohoto parametru nikterak zasahovat. Dřevoplyn sice dovoluje použití ještě vyššího kompresního poměru, ale jeho další dodatečné zvyšování nepřináší kýžené zvýšení výkonu, protože nárůst výkonu daný zvýšeným středním indikovaným tlakem ve válci pokryje jen malou část zvýšených mechanických ztrát. Tím se efekt zvýšení kompresního poměru téměř ztratí. Navíc při zvyšování kompresního poměru musíme počítat se zvýšeným mechanickým namáháním motoru.

Vznětové motory

Při úpravách vznětového motoru mohou nastat dva případy:

Použijeme-li k úpravě motory s nepřímým vstřikem paliva je nutno kompresní poměr snížit. Hodnoty kompresních poměrů u nepřímého vstřiku paliva, které se pohybují mezi 15:1 až 22:1, jsou příliš vysoké a je nutno je snížit použitím silnějšího těsnění mezi válci a hlavou nebo montáží těsnění dvou slabších. Problém však může nastat u motorů s kovovým těsněním. Kovová těsnění se vyrábí obvykle jen v jedné tloušťce a jeho dvojitá montáž je diskutabilní.

Motory s přímým vstřikem paliva

Pokud kompresní poměr takového motoru nepřesahuje hodnotu 15:1, zpravidla nejsou nutné žádné úpravy. U vyšších kompresních poměrů je nutno snížit kompresní poměr podobně jako u motorů s nepřímým vstřikem paliva.

Pro zažehnutí směsi dřevoplynu se vzduchem je nutný vnější podmět stejně jako u motorů zážehových, děje se tak přeskokem jiskry na zapalovací svíčke, nebo vstříknutím malého množství vznětlivého paliva (nafty), což je jedna z variant úprav vznětového motoru. Generátorový pohon má však jistá specifika, která je nutno při přestavbě zohlednit.

4.3.5 Plnění motoru

Atmosférické plnění motoru

Motor při tomto způsobu plnění nasává dřevoplyn přes filtry a chladič z generátoru. Těsně před škrtkou je přisáván vzduch nutný pro spalování. Vzduch musí být přisáván k dřevoplynu v poměru asi 1:1 až 1:1,2. Způsob regulace bohatosti směsi je popsán níže. Motor k plnění používá svůj vlastní sací účinek. Oproti pohonu na benzín či naftu musí tedy překonávat odpor v plynovém potrubí, ve filtrech, v chladiči a v samotném generátoru. Tento odpor je v praxi poměrně značný a zásadním způsobem snižuje naplnění válce směsí generátorového plynu a vzduchu. Ztráta náplně způsobí ještě větší ztrátu na výkonu oproti pohonu na benzín. Vhodnými konstrukčními úpravami generátorové soupravy lze tuto ztrátu náplně snížit na únosnou mez. Jedná se zejména o zvolení dostatečné světlosti všech průchozích průřezů a odstranění všech překážek, které by mohly plyn ve vedení brzdít jako například ostré ohyby potrubí (obrázek 4.13).



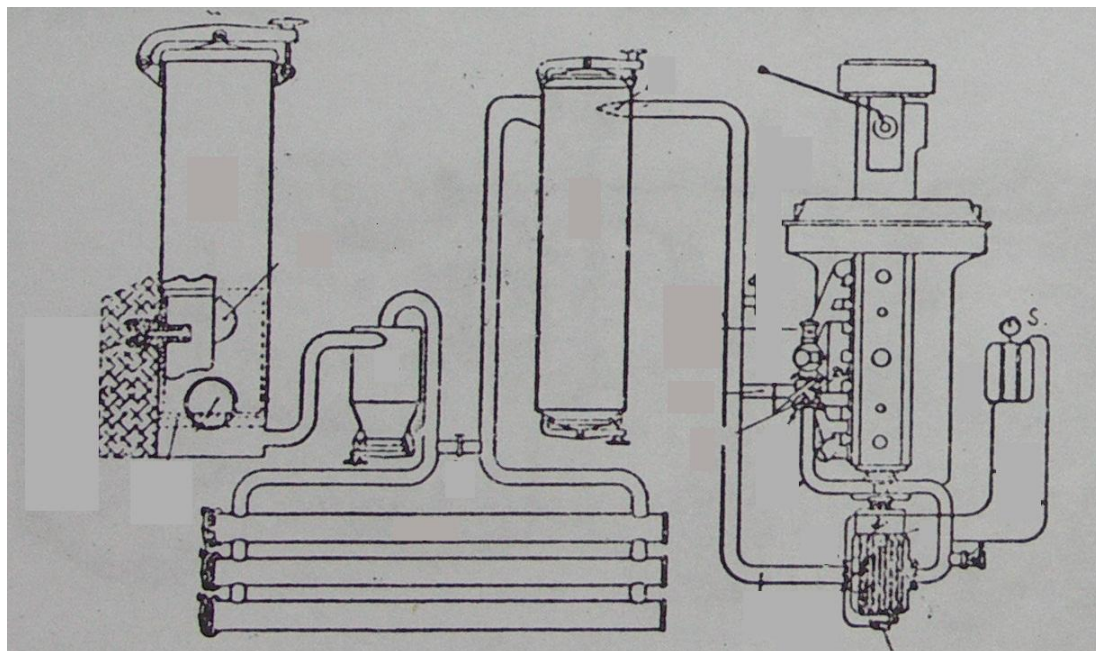
Obrázek 4.13 Nepříliš zdařilá přestavba motoru škoda 1203 (příliš mnoho zúžených průřezů a ostrých ohybů).

Při atmosférické plnění nikdy nedosáhneme koeficientu plnění který by se rovnal koeficientu plnění motoru na benzín, přesto však má atmosférické plnění několik výhod. Sací účinek motoru udržuje v celém zařízení podtlak, který nedovolí při případné netěsnosti nebo mechanickém poškození některých částí zařízení únik dřevoplynu vně zařízení. Podstatně se tak snižuje riziko otravy oxidem uhelnatým, tedy za předpokladu že je motor v chodu. Celá soustava je poměrně jednoduchá a opadají poruchové součástky.

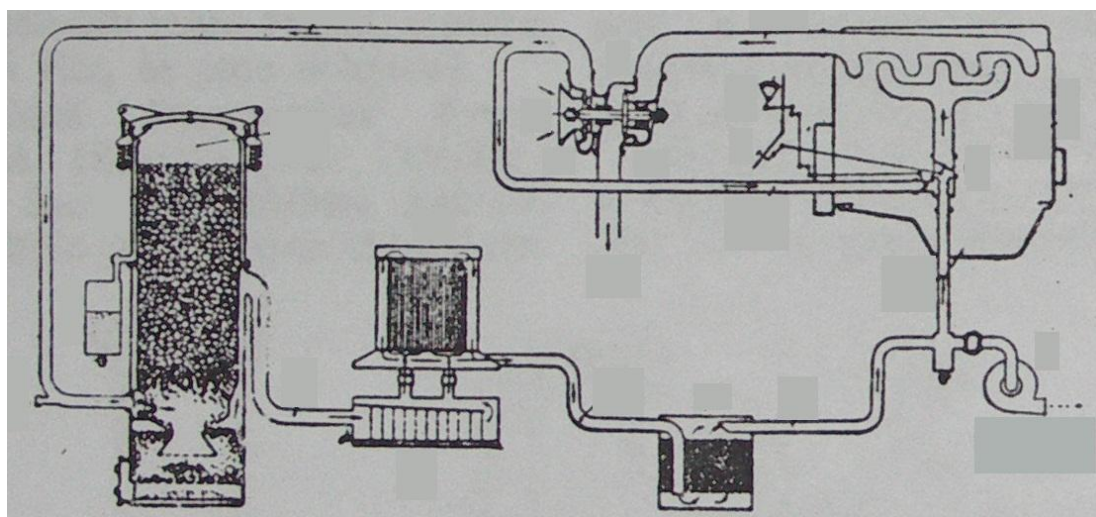
Přeplňování

Účelem přeplňování je zvýšit koeficient plnění motoru na hodnotu před přestavbou nebo jí přesáhnout. Tímto dodatečným opatřením lze zcela vyrovnat ztrátu na výkonu oproti benzínu. Značnou nevýhodou je poměrně složitá konstrukce, nutnost použití dmyhadla a možnost úniku jedovatého oxidu uhelnatého. V praxi lze použít v zásadě dvě konstrukce, které se liší zapojením dmyhadla

1. Dmychadlo je zařazeno v těsné blízkosti motoru, Odsává plyn ze soustavy a tlačí jej do motoru (obrázek 4.14)
2. Dmychadlo je zařazeno v těsné blízkosti motoru, Odsává plyn ze soustavy a tlačí jej do motoru Dmychadlo tlačí vzduch do generátoru, celá soustava je přetlaková (obrázek 4.15)



Obrázek 4.14 Přeplňování mechanicky poháněným kompresorem



Obrázek 4.15 Systém přeplňování turbodmychadlem

V prvním případě kdy je dmyhadlo zapojeno těsně před motorem, je určitou výhodou že v generátorové soustavě zůstává téměř v celé délce podtlak což znamená že jedovatý dřevoplyn i v případě netěsností soustavy nemůže uniknout do okolí. Nevýhodou tohoto systému je značné chemické namáhání dmyhadla dřevoplynem, který může působit korozi jeho pracovních částí nebo tyto části zanášet dehtem. Souběh těchto okolností značně snižuje životnost dmyhadla. V druhém případě je celá soustava přetlaková a musí být z bezpečnostních důvodů dokonale utěsněna. Určitou výhodou je fakt že dmyhadlo pracuje pouze s čistým vzduchem.

4.3.6 Zapálení směsi

Zážehové motory

Při použití zážehového motoru pro spalování dřevoplynu odpadá problém se zapálením směsi dřevoplynu a vzduchu ve válci. Z hlediska úprav se jedná o nenáročnou variantu, protože stávající zapalovací soustava zůstane zachována bez větších zásahů. Je však potřeba osadit motor zapalovacími svíčkami s vyšší tepelnou hodnotou a zvětšit předstih. Zvyšovat energii jiskry není za potřeby, protože výkon zapalování (energie jiskry) u současných zážehových motorů mnohonásobně převyšuje hodnotu potřebnou pro zažehnutí benzínové směsi a dostatečně postačuje i pro zažehnutí chudého generátorového plynu. Současně s nízkou výhřevností je u generátorového plynu problém s nižší rychlostí hoření jeho směsi se vzduchem oproti směsi benzínové. Tato okolnost musí být vyvážena zvětšením předstihu zážehu, což sebou přináší komplikace. U klasických zážehových motorů s mechanickým rozdělovačem napětí stačí pootočením celého rozdělovače upravit předstih na odpovídající hodnotu, kterou však nelze vypočítat či předem určit. Nastavení se provádí za chodu motoru tzv. „na ucho“. Větší komplikace nastává u elektronicky řízených zapalování, kde okamžik zažehnutí určuje řídicí jednotka na základě algoritmu a informace od indukčního snímače. V tomto je nutno brát ohled na konkrétní konstrukci motoru a umístění snímačů a určit způsob úpravy. Možné způsoby úprav:

- Montáž druhého indukčního snímače, který je posunut od stávajícího cca o 10° v protisměru otáčení motoru. V praxi je možno volit mezi „benzínovým“ a „dřevoplynovým“ předstihem.

- Úprava indukčního kola snímače.
- V případě že je motor vybaven snímačem klepání není potřeba žádná úprava, řídicí jednotka sama předstih zvětší.
- Motor nijak neupravovat a ponechat „benzínový“ předstih. Skutečný výkon motoru bude o něco nižší než dosažitelný.
- Upravit algoritmus řídicí jednotky – pouze teoretické řešení (neodzkoušeno)

Vznětové motory

Zapálení směsi dřevoplynu a vzduchu ve válci vznětového motoru vyžaduje určité konstrukční úpravy, které lze rozdělit do dvou základních skupin.

Konverze na zážehový motor

Tento poměrně náročný způsob v sobě zahrnuje přestavbu na zážehový motor se vším co k zážehovému motoru patří. Motor je nutno vybavit zapalovací soustavou a osadit jej zapalovacími svíčkami. Tak náročná přestavba se obvykle neobejde bez nákladných úprav motoru a často je velmi komplikovaná u motorů s nepřímým vstřikováním paliva, kde je komůrka vytvořena z velmi odolného a tvrdého materiálu a zalita do materiálu hlavy válců. Materiál komůrky neumožňuje její obrábění a nelze v ní zhotovit závit pro zapalovací svíčku. Je tedy nutné použít speciálních zapalovacích svíček (pokud jsou k dostání) nebo zvláštních držáků svíček. Rovněž montáž rozdělovače a přerušovače je problematická. Pokud je motor vybaven klasickým vstřikovacím čerpadlem ať už řadovým či rotačním, obvykle stačí nahradit vstřikovací čerpadlo rozdělovačem. Problém nastává u elektronických vstřikovacích systémů typu comon rail, kde je přestavba velmi náročná a ekonomicky nevýhodná. Při konverzi na zážehový motor ztratíme výhodnou charakteristiku vznětového motoru a možnost použití dvojího paliva (nafty a dřevoplynu). Zpětná přestavba na vznětový motor je obtížná, často nemožná.

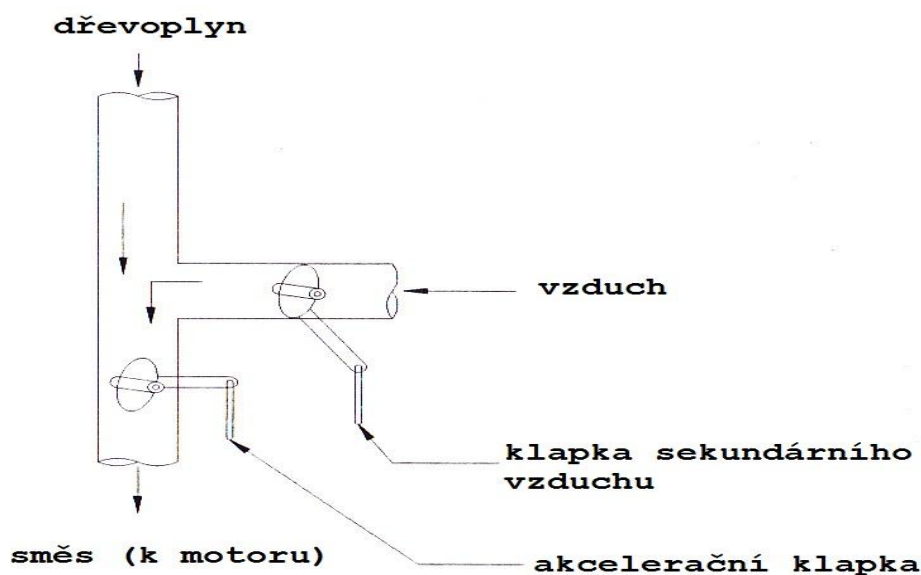
Úprava palivové soustavy vznětového motoru

U tohoto způsobu zůstává palivová soustava téměř bez úprav. K zapálení směsi dřevoplynu a vzduchu dochází vstříknutím malého množství motorové nafty do

stlačené a zahřáté směsi kde se vznítí stejně jako ve vzduchu a zapálí okolní směs. Výhodný průběh točivého momentu zůstane zachován, za cenu spalení malého množství nafty. Tento způsob přestavby vyžaduje nastavení čerpadla na jednotnou malou dávku paliva za všech otáček motoru. Obvykle postačuje množství menší než by bylo potřebné pro udržení volnoběžných otáček motoru provozovaného pouze na motorovou naftu. Nastavení takto malého množství vstřikovaného paliva je problém zejména u vstřikovacích čerpadel s výkonnostní regulací. Dále je nutno upravit nebo vyměnit vstřikovače tak aby byly schopné dobře rozpráshit i velmi malou dávku paliva.

4.3.7 Tvorba směsi

Jak již bylo řečeno, směs dřevoplynu a vzduchu musí být v poměru 1/1 až 1/1,2. Při překročení tohoto rozsahu se směs stává nezápalnou a nepoužitelnou pro pohon motoru. Pro dosažení správného poměru slouží velice jednoduché směšovače (obrázek 4.16).



Obrázek 4.16 Jednoduchý směšovač

Účelem těchto směšovačů je přisát k dřevoplynu pokud možno správné množství vzduchu tak aby byl zachován jejich ideální poměr. Nejjednodušší konstrukce jsou ovládané pouze ručně. Obsluha tedy klasicky ovládá akcelerační klapku („plyn“) a navíc ještě klapku sekundárního vzduchu tak aby poměr vzduchu a dřevoplynu zůstal

zachován i při měnícím se zatížení motoru. Poloha klapky sekundárního vzduchu se určuje pouze subjektivně a je nastavována do polohy kdy má motor při daném otevření akcelerační klapky největší výkon. Pokročilejší konstrukce řídí úhel otevření klapky sekundárního vzduchu elektronicky na základě napětí lambda sondy umístěné ve výfukovém potrubí.

5. Vlastní práce – Měření základních provozních veličin motoru poháněného dřevoplynem

5.1 Popis měřeného zřízení

Pro účely měření byl použit pracovní stroj vlastní konstrukce i výroby vybavený dřevoplynovým pohonem. Jedná se o stroj primárně určený pro dopravu nákladů na krátké vzdálenosti a pohon přípojných zařízení. Stroj je využíván hlavně sezóně pro přibližování a vyvážení dřevní hmoty pro dopravu sypkých materiálů a jiných pevných břemen na vlastní sklopné ložné ploše. Dále umožňuje pohon dřevozpracujících strojů jako okružní kotoučová pila, kuželová štípačka a hydraulická štípačka na přední hydraulický závěs je možno připevnit radlici pro shrnování klestu či lehké zemní práce (obrázek 5.1). Vozidlo není způsobilé pro provoz na pozemních komunikacích.



Obrázek 5.1 Měřené zařízení v rané fázi vývoje při prvních praktických zkouškách (jarní smykování pastvin)

5.2 Technický popis

Šířka 1950mm, délka 4900 mm ,výška 2400 mm

Stroj má dvě nápravy z kterých je hnaná pouze zadní neodpružená náprava (použita z PV3S). přední, nehnaná náprava je rovněž neodpružena umístěná na výkyvném čepu(použita z krmného vozu KT-4) Rám je obdélníkový uzavřený, v přední části zúžen. Vzduchové brzdy působí pouze na tři kola, pomocná, hydraulicky ovládaná kotoučová brzda umístěná na odděleném vývodu redukční převodovky, působí přes kloubový křídél na zadní nápravu. Snadné ovládání zajišťuje hydrostatické plně strojní řízení. Vozidlo je vybaveno hydraulickým pětiokruhovým systémem který zajišťuje sklápění korby a ovládání předního a zadního hydraulického závěsu, tři okruhy jsou pro agegaci přípojných zařízení. Stroj je vybaven zadním vývodovým hřídelem s pohonem závislým na zařazeném rychlostním stupni. Pro pohon méně náročných zařízení je určena boční řemenice na klínové řemeny, její pohon je nezávislý na zařazeném rychlostním stupni. Uprostřed stroje je umístěn mechanicky poháněný naviják o síle 35 kN pro lesní a vyprošťovací práce. V současnosti je stroj nejvíce využíván jako valník (obrázek 5.2).



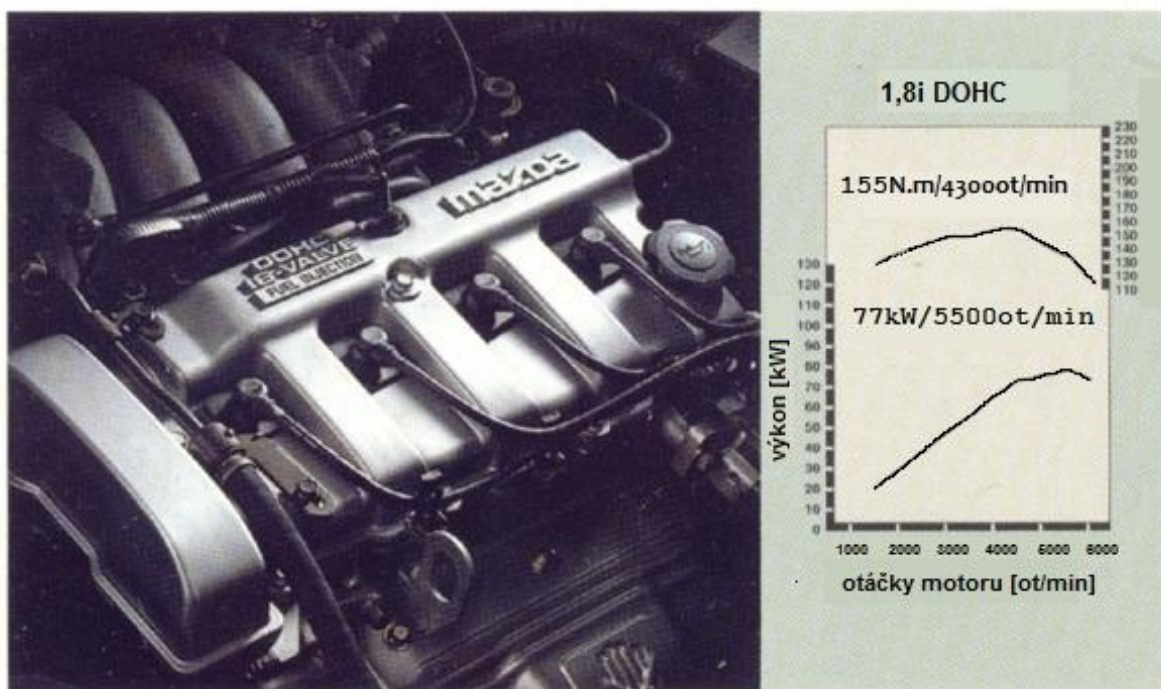
Obrázek 5.2 Současný stav stroje

5.3 Motor

K pohonu stroje slouží zážehový nepřepíňovaný čtyřválec o objemu 1840 ccm, použitý z vozidla Mazda 626 rok výroby 1992. Jedná se o klasický motor běžně užívaný v osobních automobilech. Motor je vybaven systémem rozvodu DOHC a používá čtyři ventily na válec. Původně byl vybaven vícebodovým vstřikováním benzínu se snímačem množství vzduchu, lambda regulací a s recirkulací výfukových plynů. Zapalování obstarával rozdělovač s halovým snímačem. Na motor navazuje pětistupňová převodovka z téhož vozu, u které bylo nutno vyřadit z provozu diferenciál (zavařením). Podrobnější údaje viz tabulka 5.1. a obrázek 5.3.

Mazda 626	1.8 16V
Počet válců	4 v řadě
Objem	1840 cm ³
Vrtání	83 mm
Zdvih	92 mm
Rozvod	DOHC
Stupeň komprese	1:9
Příprava palivové směsi	Vícebodové sekvenční vstřikování
Maximální výkon M_{max}	77 kW (105 k)
Při	5500 ot/min ⁻¹
Maximální točivý moment M_k	155 N.m
Při	4300 ot/min ⁻¹

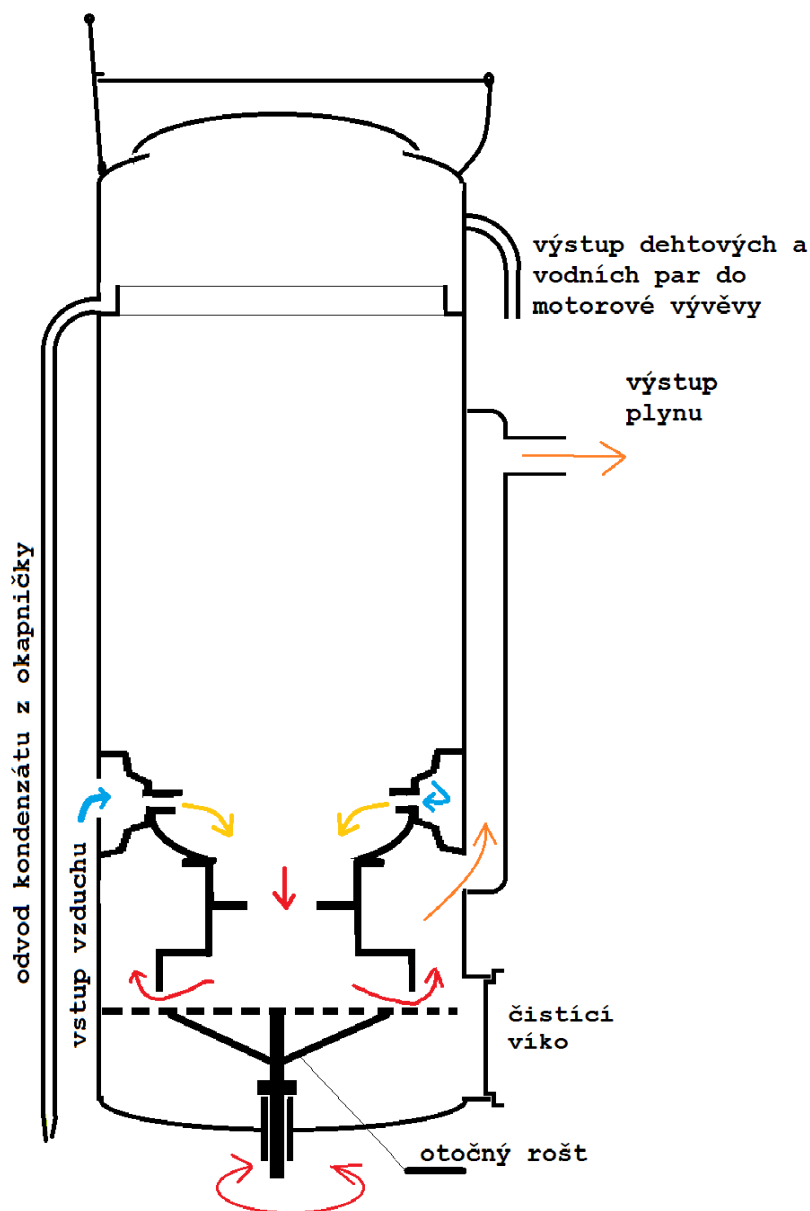
Tabulka 5.1 Technická data motoru Mazda 626 1,8



Obrázek 5.3 Motor mazda 626 a jeho výkonová charakteristika. [9]

5.4 Generátorová souprava měřného zařízení

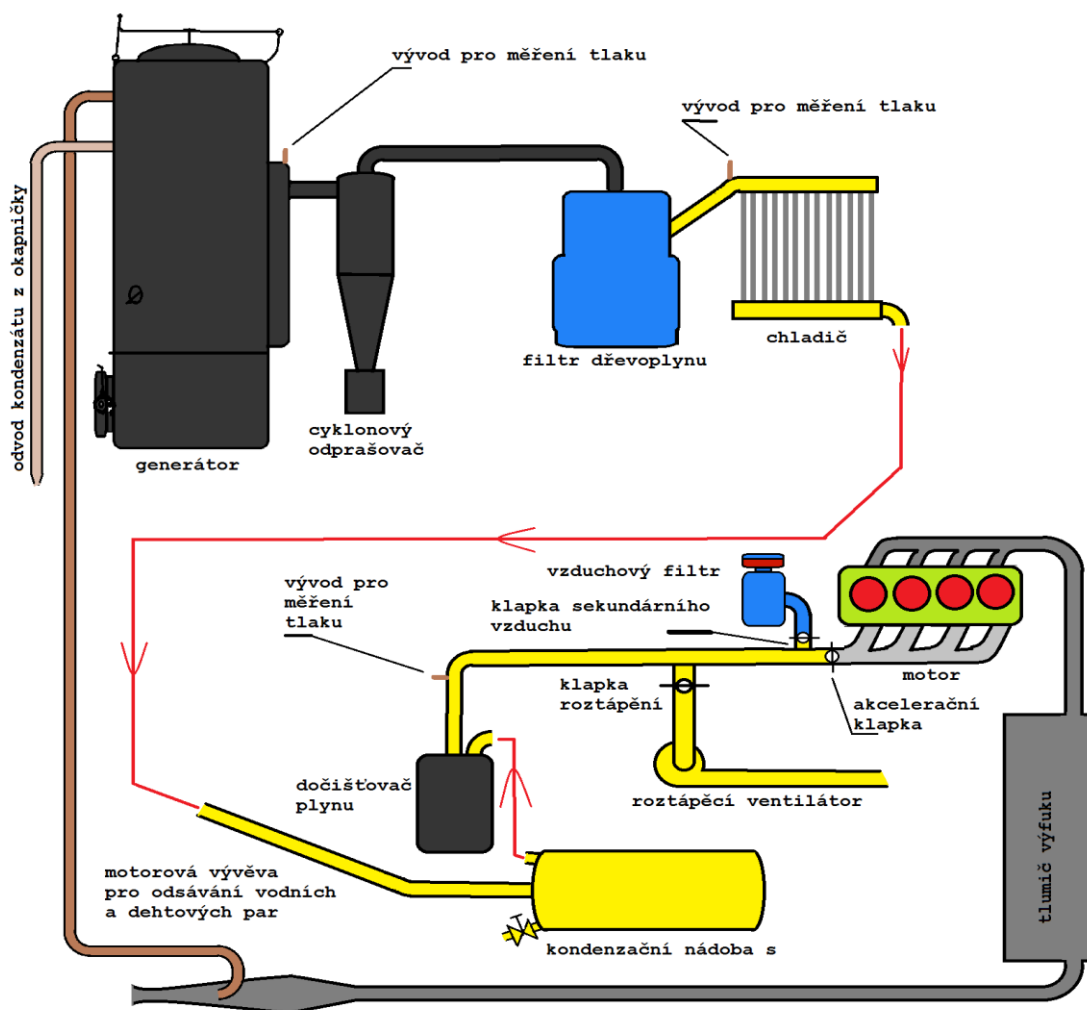
Dřevoplyn pro pohon motoru vytváří souproudý celokovový generátor vlastní výroby a konstrukce (obrázek 5.4). Generátor je konstruován pro tvrdé dřevo listnatých stromů popřípadě směs tvrdého a měkkého dřeva s obsahem vlhkosti do 25% a bez cizích příměsí. Velikost kousků dřeva, na které je schopen generátor pracovat, se pohybuje od jednoho do osmi centimetrů.



Obrázek 5.4 Generátor vlastní konstrukce

Generátor popř. vyvíječ je tvořen násypkou s bezpečnostním vrchním plnicím víkem. Násypka je schopna pojmout 50 až 60 kg paliva. Plnicí víko je konstruováno tak aby při vzplanutí směsi vzduchu s dřevoplynem uvnitř vyvíječe nemohlo dojít k explozi a poškození vyvíječe. Tato situace může nastat po otevření horního plnicího víka z důvodu plnění nebo proražení případné klenby, do prostoru násypky vnikne vzduch, který s plynem může vytvořit výbušnou směs, ta je zapálená od žhavého paliva uvnitř generátoru. Tyto výbuchy jsou sice v provozu nepříjemné ale

při použití bezpečnostního víka nikterak nebezpečné. Riziko výbuchů které by mohly způsobit výraznější problém či poškození soustavy roste nejvíce při netěsnosti v žárové části generátoru. Vzduch který je netěsností přisáván do již „hotového dřevoplynu“ tvoří s tímto výbušnou směs, která je po dosažení meze zápalnosti zažehnta rozpáleným dřevěným uhlím. Rychlé prohoření může způsobit poškození plynového vedení od vyvíječe nebo filtru.



Obrázek 5.5 Schéma zařízení

Z generátoru plyn vstupuje do cyklonového odlučovače, kde se zachycuje část prachu z plynu. Dále se plyn filtruje v kombinovaném sacím filtru s mokrou olejovou vložkou, filtr je použit ze sklízecí mlátičky E – 512. Poté je plyn chlazen v trubkovém chladiči systém plyn-vzduch. Z chladiče plyn vstupuje do nádrže kondenzátu, která je umístěna pod úrovní chladiče. Kondenzát vzniklý v chladiči do

ní může volně odtékat. Z nádrže je nutno kondenzát ručně vypouštět kohoutem. Plyn dále vstupuje do dočišťovače, který je v současnosti nefunkční (nulová filtrace). Další vedení plynu směřuje do motoru nebo k roztápěcímu ventilátoru. Roztápěcí ventilátor je radiální konstrukce o příkonu cca 100 W. Celé zařízení na obrázku 5.5.

5.5 Měření výkonu motoru

5.5.1 Metodika

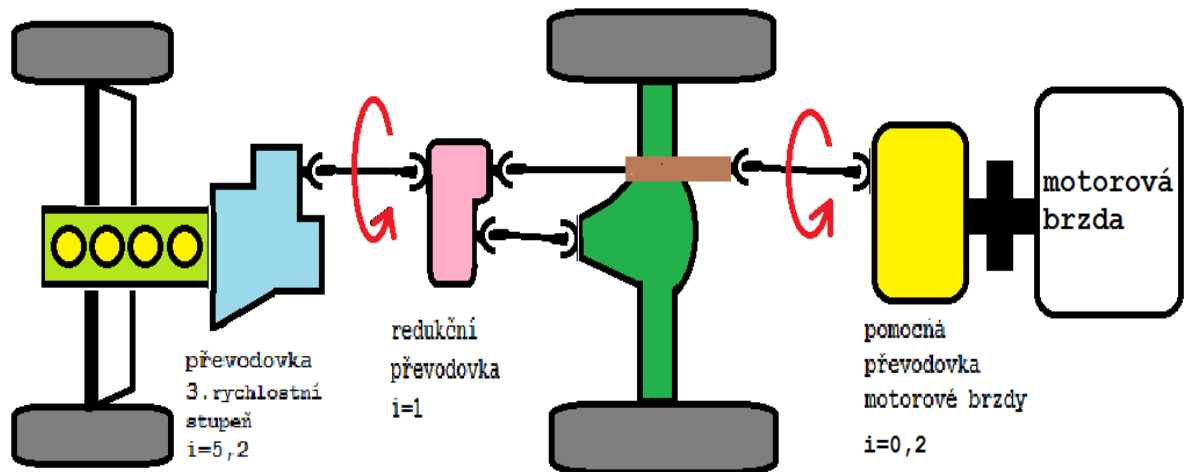
Výkon byl měřen motorovou brzdou (typ TDH 045, VÚES Brno 1971) v areálu Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Motor byl napojen na motorovou brzdou nejprve přes přední vývodový hřídel (obrázek 5.6). Řetězový převod pohánějící vývodový hřídel ale nebyl schopen přenést maximální výkon motoru z důvodu přetížení a následného poškození řetězu. Výkon motoru bylo nutno vyvést z redukční převodovky pomocí narychlo zhotoveného vývodového hřídele (obrázek 5.7). Motor byl tedy k motorové brzdě připojen následovně: motor – převodovka s rozvodovkou- kloubový hřídel- redukční převodovka- kloubový hřídel- pomocná skříň motorové brzdy- motorová brzda (obrázek 5.8 a 5.9). V převodovce s rozvodovkou byl zařazen třetí rychlostní stupeň, převodový poměr 5,2:1 V redukční skříni zařazen rychlostní stupeň s poměrem 1:1, převodový stupeň v pomocné převodovce motorové brzdy roven 1:5. Výsledný převodový poměr mezi motorem a motorovou brzdou je tedy 1:0,96



Obrázek 5.6 Přední vývodový hřídel



Obrázek 5.7 Narychlo zhotovený zadní vývodový hřídel



Obrázek 5.8 Schéma zapojení motorové brzdy



Obrázek 5.9 Zapojení měřeného zařízení

Pro zjištění podtlaku v generátorové soupravě byly použity tři U-trubice s vodou. První trubice byla připojena mezi generátor a cyklonový odlučovač. Druhá trubice byla připojena mezi filtr a chladič plynu. Třetí trubice byla umístěna těsně před vstupem plynu do motoru (obrázek 5.10).



Obrázek 5.10 Připojení U-trubic

5.5.2 Měření č. 1

Pro první měření bylo jako paliva použito bukových špalíků získaných z proschlého kmenového dříví (obrázek 5.13) nejprve nařezáním na délku cca 6-7cm a posléze naštípáním na menší kusy. Průměrná vlhkost 9,3 % podle měřícího přístroje (tester vlhkosti dřeva a stavebních materiálů, typ WHT – 860, výrobce ELBEZ), podle vypočítané vlhkosti z poměru hmotností vzorku a vysušeného vzorku 11 %. Jako náplň filtru byla použita originální nezvlhčená filtrační vložka („tráva“) pro stroje E-512. Dočišťovač plynu byl dlouhodobě vyřazen z činnosti vynětím papírové filtrační vložky, z důvodu naprosté nevhodnosti papíru jako filtračního materiálu pro dřevoplyn.

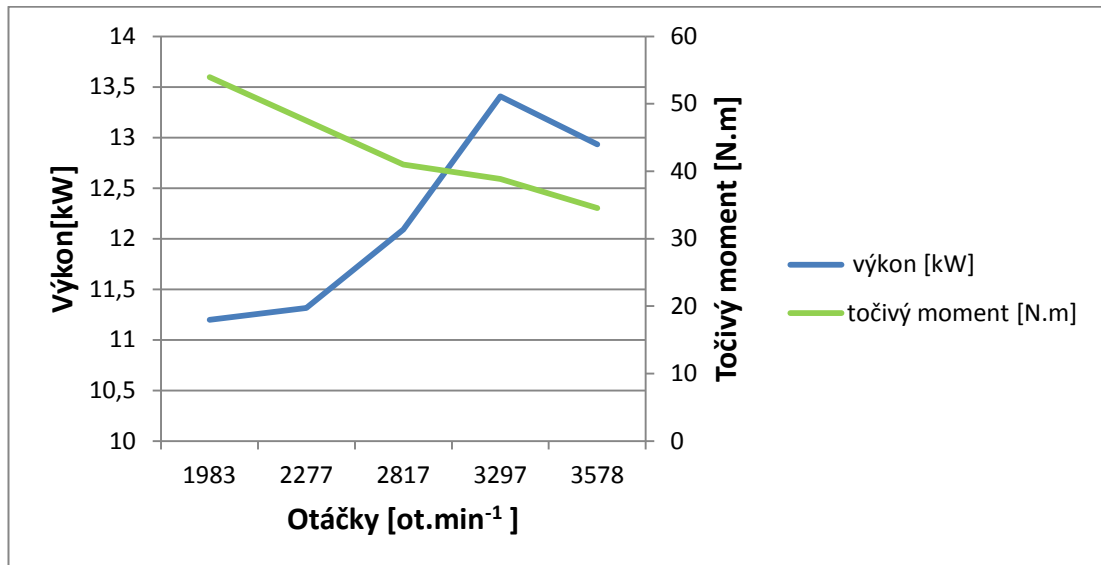
První graf (obrázek 5.11) znázorňuje výkonovou a momentovou křivku motoru. Druhý graf (5.12) ukazuje závislost tlaku v různých místech soustavy na otáčkách motoru při plném zatížení motoru.

Nejvyšší dosažený výkon 13,5 kW při 3500 ot/min

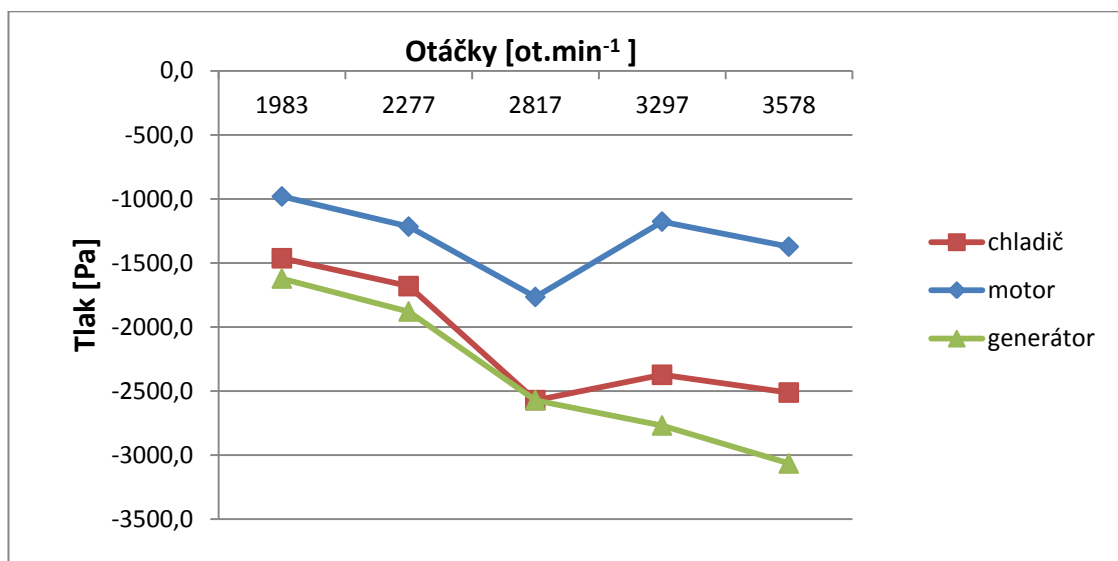
Nejvyšší dosažení točivý moment 54 N.m

Nejvyšší tlaková ztráta celého zařízení 3040 Pa

Průměrná ztráta tlaku ve filtru 800 Pa



Obrázek 5.11 Průběh momentu a výkonu při měření č. 1



Obrázek 5.12 Průběh tlaků při měření č.1



Obrázek 5.13 Použité palivo pro měření č.1

5.5.3 Měření č.2

Jako palivo druhého měření posloužila směs štěpky vyrobené z lískových keřů (teoretická délka řezanky 4,5 cm) a odpadu z měkkého dřeva o velikosti 6-8 cm. Průměrná naměřená vlhkost 12,4 %, vypočítaná vlhkost 9,2 % (obrázek 5.16).

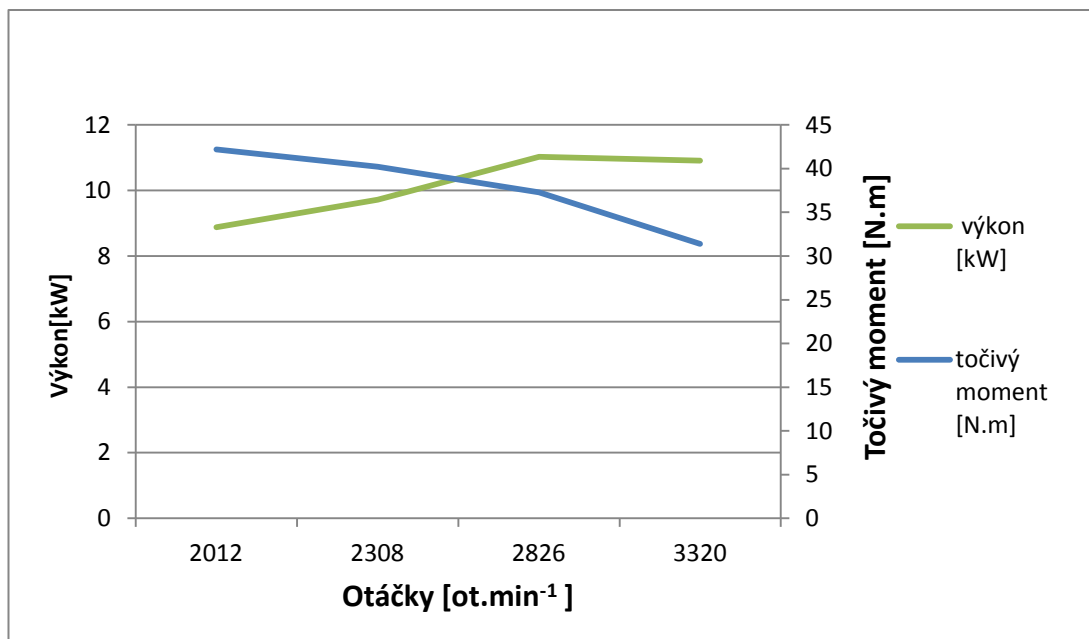
Jako filtrační vložka posloužila náplň stavební skelné vaty užívané jako izolace.

Nejvyšší dosažený výkon 12 kW při 3320 ot/min

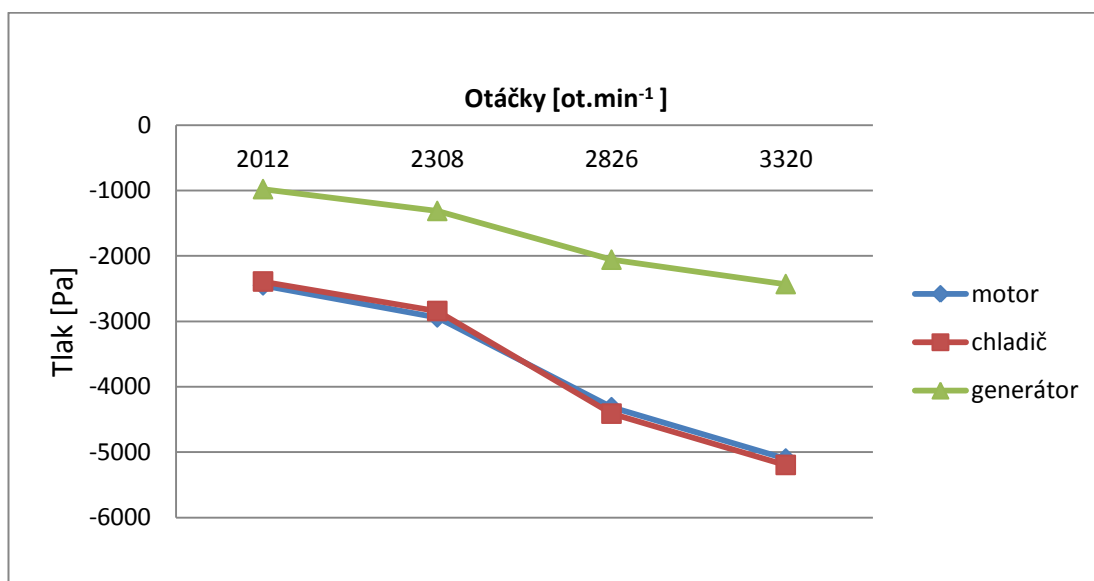
Nejvyšší dosažení točivý moment 46 N.m při 2000 ot/min

Nejvyšší tlaková ztráta celého zařízení 5100 Pa

Průměrná ztráta tlaku ve filtru 1980 Pa (obrázek 5.14 a 5.15)



Obrázek 5.14 Průběh momentu a výkonu při měření č. 2



Obrázek 5.15 Průběh tlaků při měření č.2



Obrázek 5.16 Použité palivo pro měření č.2

5.5.4 Měření č.3

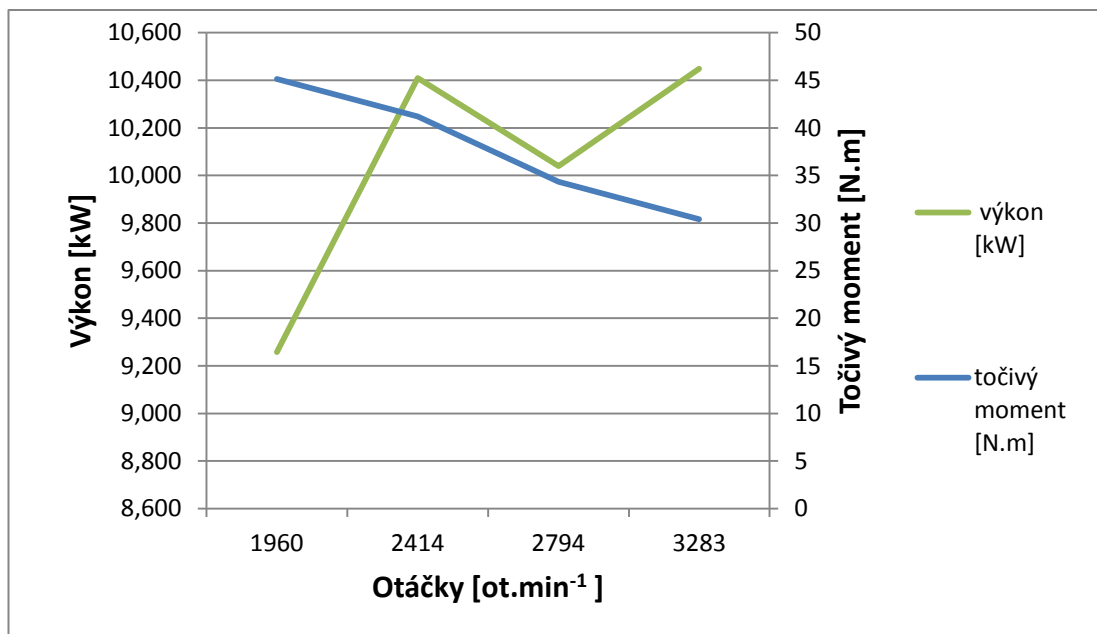
Jako palivo pro měření 3;4;5 a 6 bylo použita dřevní štěrpa z náletových dřevin (teoretická délka řezanky 4,5 cm), vyrobená v lednu 2012. Toto palivo je jednoznačně nejužívanější pro snadnou přípravu, dostupnost a schopnost rychlého vysychání (obrázek 5.19). Jako pohon štěpkovače může sloužit měřené zařízení. Průměrná naměřená vlhkost 18,8 %, vypočítaná vlhkost 17,2 %.

Nejvyšší dosažený výkon 11,4 kW při 3220 ot/min

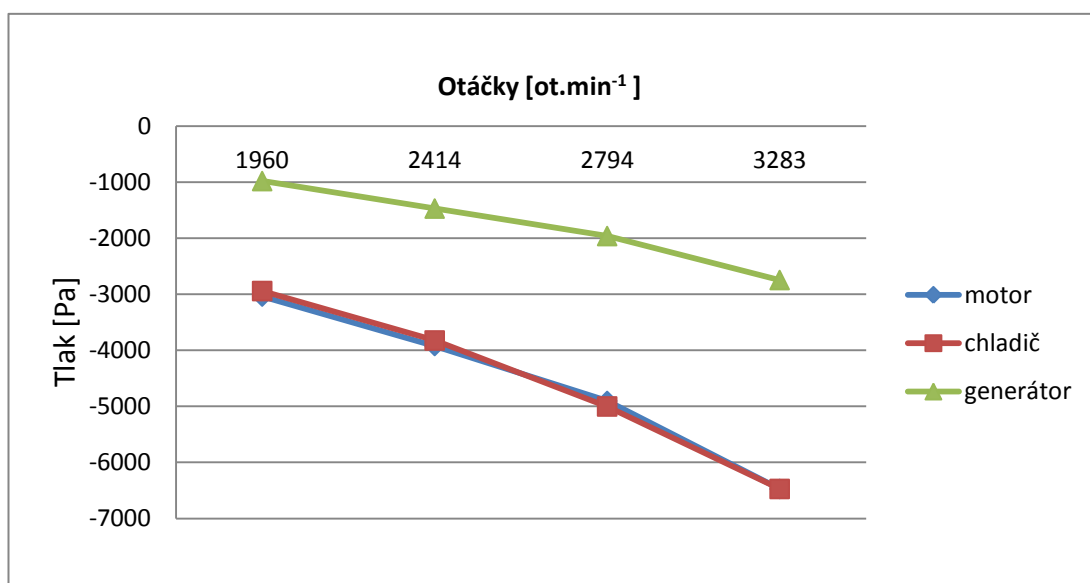
Nejvyšší dosažení točivý moment 50 N.m při 1900 ot/min

Nejvyšší tlaková ztráta celého zařízení 6470 Pa

Průměrná ztráta tlaku ve filtru 2700 Pa (obrázek 5.17 a 5.18)



Obrázek 5.17 Průběh momentu a výkonu při měření č. 3



Obrázek 5.18 Průběh tlaků při měření č.3



Obrázek 5.19 Použité palivo pro měření č.3

5.5.5 Měření č.4

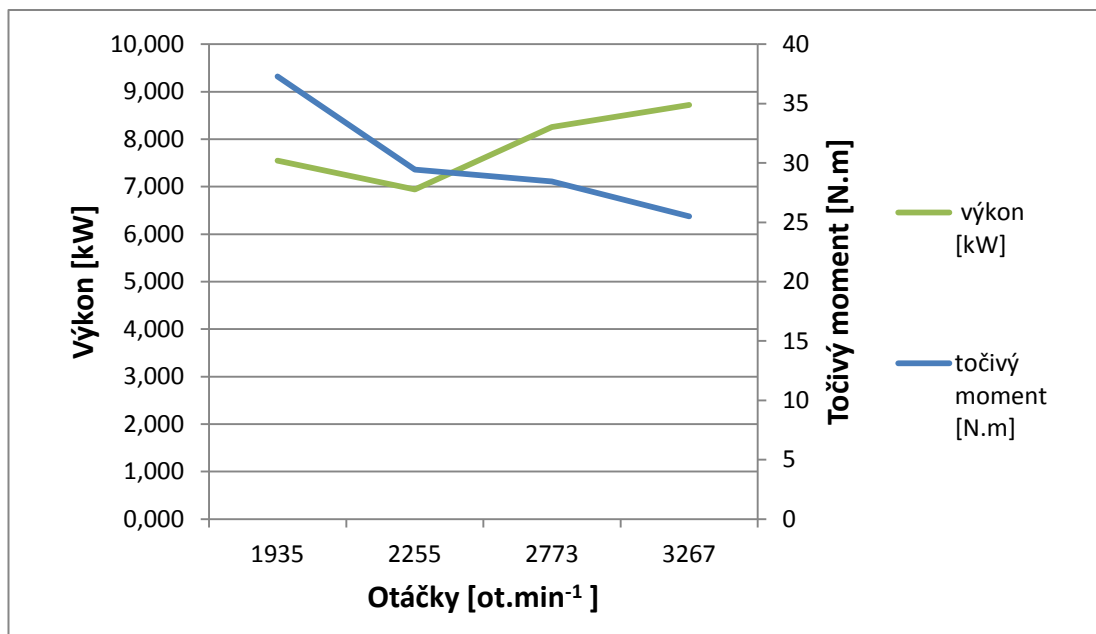
Podmínky stejné jako u předchozího měření.

Nejvyšší dosažený výkon 10,7 kW při 3280 ot/min

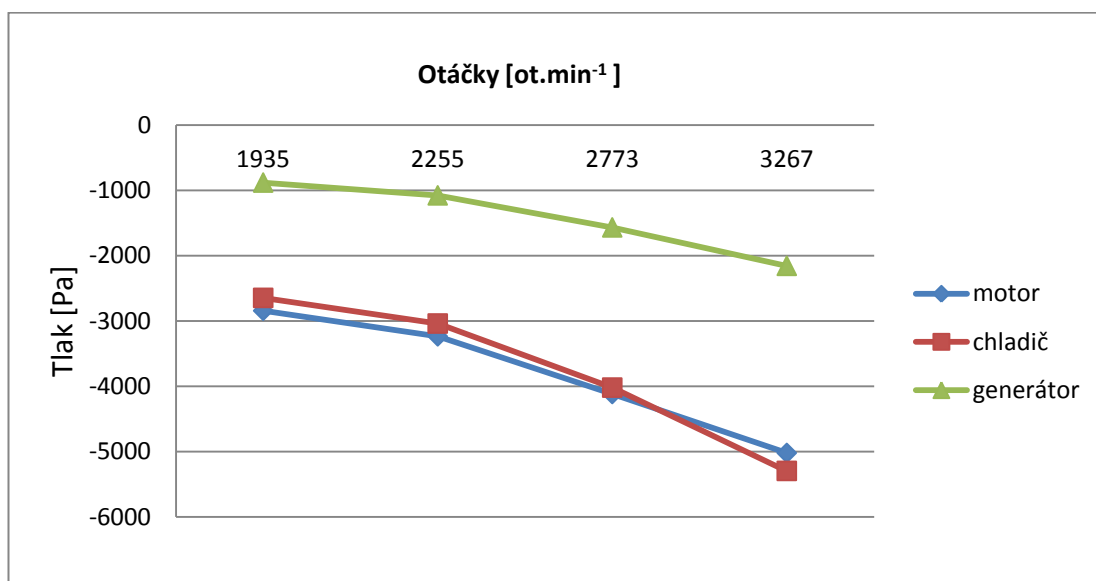
Nejvyšší dosažení točivý moment 41 N.m při 1900 ot/min

Nejvyšší tlaková ztráta celého zařízení 5100 Pa

Průměrná ztráta tlaku ve filtru 2320 Pa (obrázek 5.20 a 5.21)



Obrázek 5.20 Průběh tlaků při měření č.4



Obrázek 5.21 Průběh tlaků při měření č.4

5.5.6 Měření č. 5

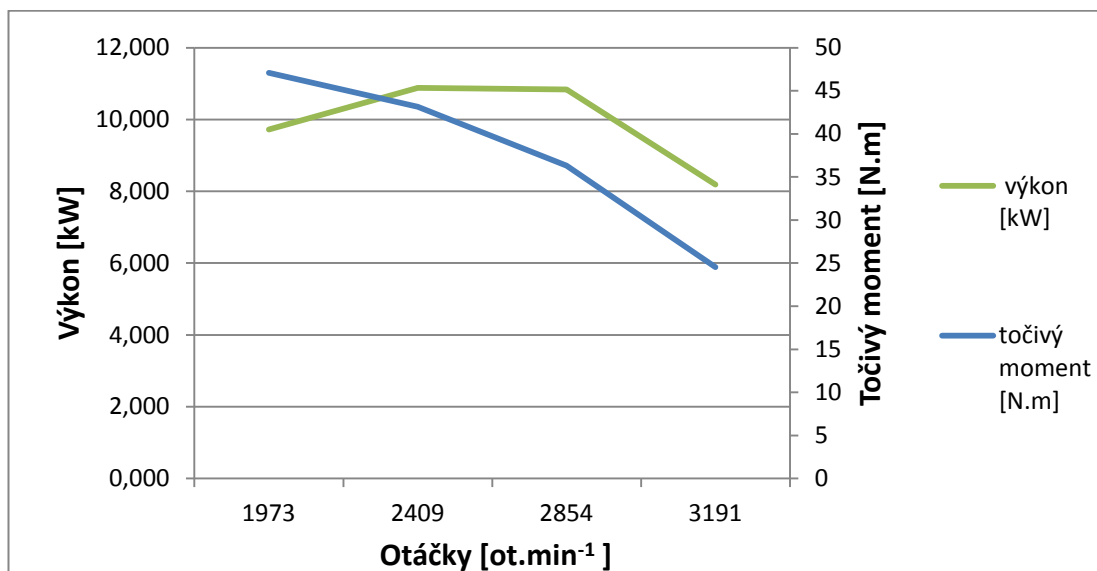
Podmínky stejné jako u předchozího měření. Pouze palivo bylo před upotřebením skladováno v jiných podmínkách, které umožnily snížení jeho vlhkosti. Naměřená průměrná vlhkost 13,2 %, vypočítaná vlhkost 11,4 %.

Nejvyšší dosažený výkon 12 kW při 3100 ot/min

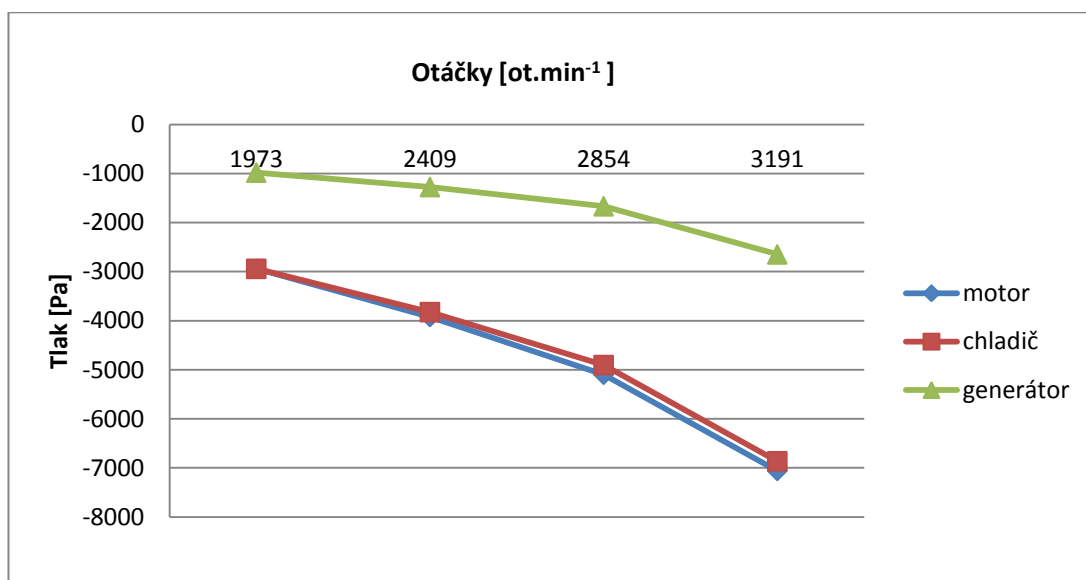
Nejvyšší dosažení točivý moment 50 N.m při 2000 ot/min

Nejvyšší tlaková ztráta celého zařízení 7060 Pa

Průměrná ztráta tlaku ve filtru 3000 Pa (obrázek 5.22 a 5.23)



Obrázek 5.22 Průběh tlaků při měření č.5



Obrázek 5.23 Průběh tlaků při měření č.5

5.5.7 Měření č. 6

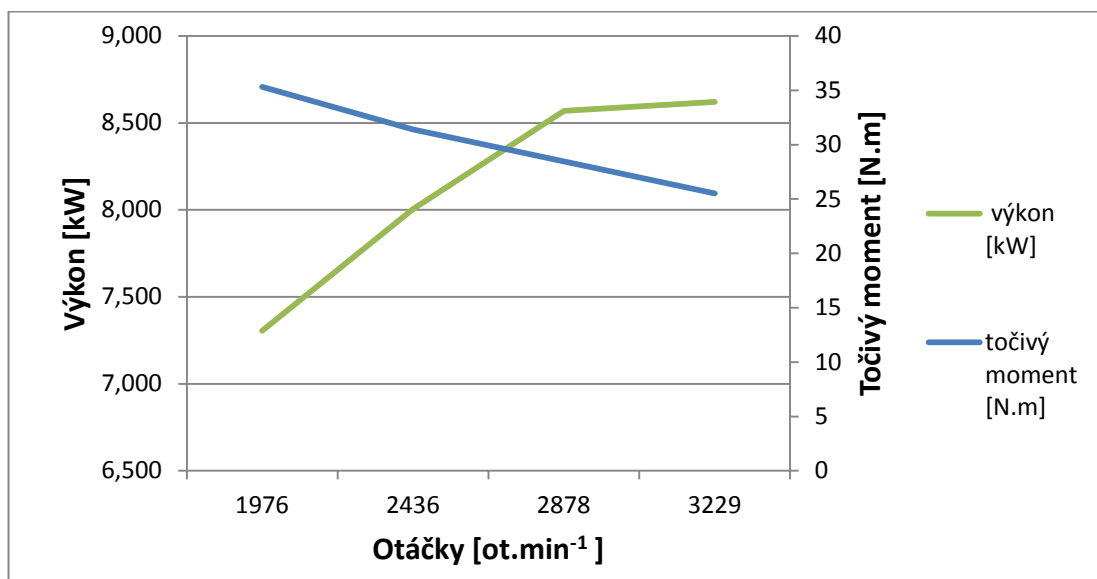
Podmínky stejné jako u předchozího měření.

Nejvyšší dosažený výkon 9,5 kW při 3200 ot/min

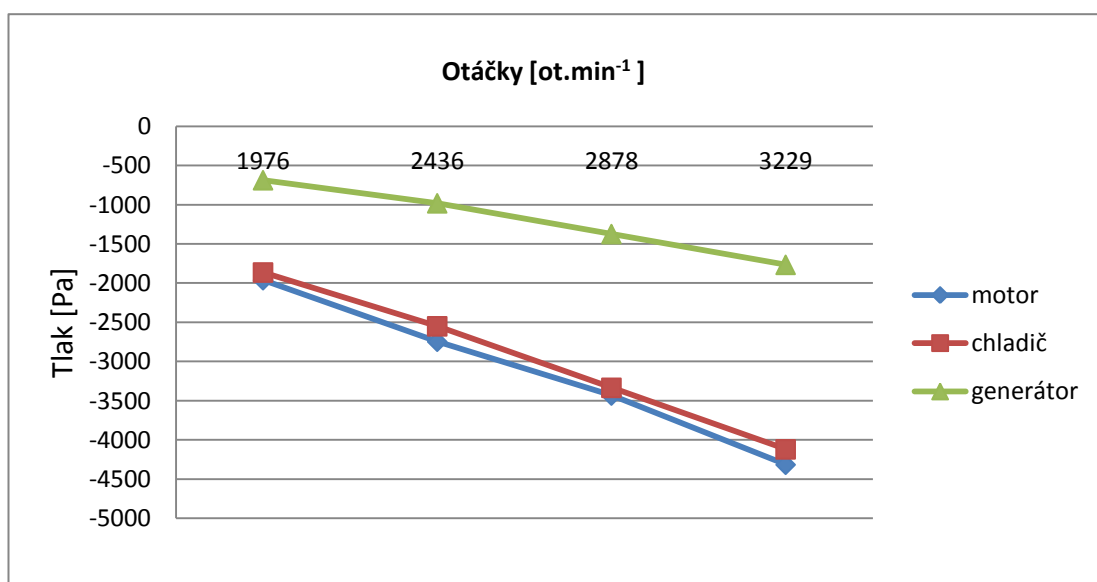
Nejvyšší dosažení točivý moment 38 N.m při 1900 ot/min

Nejvyšší tlaková ztráta celého zařízení 4300 Pa

Průměrná ztráta tlaku ve filtru 1800 Pa (obrázek 5.24 a 5.25)



Obrázek 5.24 Průběh tlaků při měření č.6



Obrázek 5.25 Průběh tlaků při měření č.6

5.6 Vyhodnocení měření

Výsledky zjištěné při měření mě velmi překvapily, zejména pak velmi malý výkon motoru oproti výkonu, který udává výrobce při pohonu na benzín. Nejvyšší naměřený výkon byl 13,5 kW, což je výkon naměřený přímo na motorové brzdě, pokud připočteme účinnost všech tří převodovek, kterou jsem stanovil na hodnotu 95 %, je skutečný výkon motoru větší. Tedy $13,5 * 1,05 * 1,05 * 1,05 = 15,6$ kW. Ve srovnání s hodnotou výrobce (77 kW) se jedná o ztrátu na výkonu 79 %. Důvody takto vysoké ztráty na výkonu si vysvětluji velmi malým koeficientem plnění motoru, nedokonalé seřízeným předstihem, a nedokonalou regulací poměru vzduchu a dřevoplynu.

Velmi malý koeficient plnění motoru je způsoben dvěma faktory. Prvním je velká tlaková ztráta filtru dřevoplynu. Tlakovou ztrátou filtru (popř. jiného zařízení) se rozumí rozdíl tlaků naměřených v potrubí před filtrem a za filtrem. Celková průměrná tlaková ztráta ve filtru činila 2885 Pa při nejvyšších měřených otáčkách motoru. Při použití originální filtrační výplně („tráva“) byla průměrná tlaková ztráta 1700 Pa, při použití skelné vaty jako výplně filtru byla průměrná ztráta 3350 Pa. Takto vysoká tlaková ztráta se neslučuje s provozem na dřevoplyn. Filtr použitý na měřeném zařízení je naprosto nedostačující jak z hlediska velké tlakové ztráty, tak z hlediska nízké filtrační účinnosti která je spojená s nutností častého čištění filtru jednou až dvakrát za den (mechanické „vyklepání“ originální vložky či výměna skelné vaty). Nízká filtrační účinnost se projevuje nečistotami v chladiči a ostatních komponentech zapojených za filtrem. Znečištěný plyn proudí do motoru a způsobuje jeho nadměrné opotřebení. Řešení vidím v náhradě stávajícího filtru za skrubr, který má podstatně menší tlakovou ztrátu, vyšší účinnost filtrace a jeho údržba, krom občasné výměny filtrační vody, je nulová.

Dalším problémem který způsobuje nízký výkon motoru je vysoká tlaková ztráta v generátoru, která se při nejvyšších měřených otáčkách a plném zatížení pohybovala průměrně okolo 2000 Pa. Je zajímavé sledovat jak se tlaková ztráta generátoru mění v závislosti na použitém palivu. Při použití kusového dřeva, tedy „bukových špalíků“ se tlaková ztráta průměrně pohybovala okolo 1400 Pa. Při použití dřevní štěpky se tlaková ztráta generátoru pohybovala okolo 2300 Pa. To si vysvětluji příliš malým

průměrem zúžení v žárové části generátoru. Při měření byl průměr zúžení 85 mm. Po předběžném vyhodnocení výsledků byl otvor zvětšen na průměr 130 mm. Výkon motoru se podstatně zvýšil (subjektivně). Při použití kusového paliva velkých rozměrů „bukové špalíky“ je volný prostor mezi jednotlivými kusy paliva mnohem větší než u dřevní štěpky a těmito většími mezerami může tvořící se plyn volněji proudit s nižší tlakovou ztrátou. Z hlediska požadavku co nejvyššího výkonu je v daném typu generátoru výhodnější používat kusové dřevo, které se ale bohužel velmi obtížně vyrábí. Dřevní štěpka svými malými částmi „ucpává“ generátor a tím snižuje koeficient plnění motoru a tím i dosažitelný výkon. Možným řešením by bylo prosívání dřevní štěpky pro odstranění nejmenších částí. Další nevýhodou zejména náletové štěpky je poměrně vysoký podíl kůry, která tvoří více popela než samotné dřevo. Tato okolnost spolu s drobnými částicemi dřevěného uhlí působí ucpávání roštu a tím snižuje odvod popela. V praxi je tedy nutné častěji „roštovat“.

Regulace směšovacího poměru probíhá u měřeného zařízení pouze „ručně“ běžným vodovodním kohoutem, který ovládá škrcením množství vzduchu přisáté k plynu. Regulace probíhá pouze subjektivně, tak aby bylo dosaženo zdánlivě nejvyššího výkonu. Tento způsob regulace je naprosto nedostačující pro motor, který pracuje s proměnlivým zatížením, za jízdy je nutno téměř neustále měnit nastavení škrtícího kohoutu podle momentální potřeby výkonu a podle toho jak se mění celková tlaková ztráta v zařízení vlivem zanášení filtru a proměnlivého odporu generátoru. I přes neustálou korekci nastavení není obsluha schopna dosáhnout v daný okamžik ideálního směšovacího poměru. Pro tento způsob využití generátorového plynu bych raději volil elektronickou regulaci směšovacího poměru se zpětnou vazbou na lambda sondu umístěnou ve výfukovém potrubí. Řídící jednotka s jednoduchým algoritmem by na základě napětí na lambda sondě pomocí servomotoru (či jinak) určovala nastavení škrtící klapky pro přisávání vzduchu.

Nevhodně nastavený předstih zapalování může značným způsobem snížit výkon jakéhokoliv motoru ať už je palivo plynné či kapalné. U měřeného zařízení jsem skutečnou hodnotu předstihu nikdy nezjišťoval a v průběhu používání stroje nikdy neseřizoval. Při prvních zkouškách jsem hodnotu předstihu určil pouze podle subjektivní domněnky, chod motoru se zdál plynulý a klidný, tudíž nebylo potřeba

nastavení rozdělovače nikterak měnit. Není tedy jisté zdali současné nastavení rozdělovače odpovídá nejvyššímu výkonu. Další problémem může být rozdělovač sám. Původní rozdělovač s halovým snímačem nahradil mechanický rozdělovač z vozu Škoda 125. Odstředivá regulace předstihu tohoto rozdělovače zřejmě neodpovídá motoru Mazda poháněného dřevoplynem a předstih zřejmě není v daných otáčkách a při daném zatížení nastaven zcela správně.

Porovnání dřevoplynu s ostatními palivy je velmi obtížné a lze ho provést pouze z konkrétních hledisek

Souhrnné porovnání

Z hlediska ekonomického je využití diskutabilní a značně závisí od ceny použitého dřeva jako paliva. Pro porovnání uvedu příklad osobního automobilu s benzínovým motorem se spotřebou 6 l/100 km a osobního automobilu vybaveného generátorovým zařízením o spotřebě 1 m³ volně skládaného tvrdého dřeva na 1000 km. (hodnota spotřeby 1 m³/1000 km převzata z [10]). Náklady na 1000 km u benzínového vozu činí 6*10*35 = 2100 Kč (při ceně benzínu 35 Kč/l). Náklady na suché palivové dřevo potřebné jakosti se pohybují okolo 1500 až 1600 Kč/m³, nutno však ještě připočíst náklady na úpravu dřeva na potřebnou velikost, náklady na zvýšenou údržbu a náklady na odpis generátorového zařízení. Po sečtení všech nákladů odhaduji celkový náklad na 1000 km na 2500 Kč. Při nákupu dřeva z běžné obchodní sítě se pohon na dřevoplyn nevyplatí. Jiná situace nastává v případě že vozidlo bude provozováno na odpad z výroby nebo bude pocházet z jiných zdrojů. Připustím-li že vozidlo bude provozováno na dřevní štěpku dostatečné kvality o ceně 2,5 Kč kg a při odhadované spotřebě 40 kg/100 km, budou náklady na palivo na 1000 km 1000 Kč bez nákladů na obsluhu. Z ekonomického hlediska se vyplatí provozovat strojní zařízení poháněné dřevoplynem pouze při zajištěném přísunu paliva za nízkou cenu případně pouze za cenu jeho výroby.

Stran obsluhy jsou klasická paliva nesrovnatelně praktičtější oproti dřevoplynu. Pomineme-li bezpečnostní rizika při nakládání s kapalnými palivy, skládá se celá obsluha z dolití paliva a nastartování. Při pohonu na dřevoplyn je nutno udržovat celé zřízení v provozuschopném stavu což zahrnuje časté přikládání (podle velikosti

násypky), vybírání popela, vypouštění kondenzátu, čištění zásobníku cyklonu a zdlouhavé roztápění. To sebou nese značnou časovou náročnost a nízkou pohotovost k provozu. U měřeného zařízení trvá údržba před každou jízdou (studený start) přibližně 15 minut bez doby potřebné k roztopení. Měřené zařízení je schopno za dobrého počasí (20°C, nízká vzdušná vlhkost) výjezdu za 6 minut. Za chladného a vlhkého počasí se doba roztápění může protáhnout až na jednu hodinu. Dřevo a dřevěné uhlí je silně hygroskopické, tedy velmi dobře pohlcuje vzdušnou vlhkost, takto vlhké dřevo a dřevěné uhlí v generátoru potřebuje delší čas k prohřátí a vysušení, tak aby bylo schopno vytvořit kvalitní plyn. Dalším problémem je dehet, který se tvoří v horní části vyvíječe. Při přikládání paliva nebo při prorážení případné klenby v palivu snadno dojde k potřísnění oděvu.

6. Závěr

Hlavní závěry z provedených měření a pozorování mohou být shrnuty do několika bodů:

- U měřeného zařízení se pohybovala ztráta výkonu motoru při pohonu na dřevoplyn okolo 83 % oproti údají výrobce při pohonu na benzín. Tato ztráta je způsobena především nízkým koeficientem plnění motoru, který je způsoben vysokou tlakovou ztrátou filtru a generátoru, dále nevhodnou regulací bohatosti směsi a zřejmě nevhodným zastavením předstihu.
- Možnosti uplatnění dřevoplynu jako paliva pro mobilní stroje jsou velmi malé. Při použití v dopravě vidím překážky hlavně v oblasti legislativy. Problém dřevoplynu obecně je zejména velmi náročná obsluha, obtížná manipulace s poměrně objemným palivem a nízký výkon motoru. K řešení těchto problémů nepříspějí zatím poměrně nízké ceny kapalných paliv.
- Při přestavbách pracovních strojů je problém zejména s obtížnou a nákladnou přestavbou vznětových motorů, které často lze jen obtížně přestavět zpět na pohon kapalným palivem - naftou.
- Při nákupu dřeva pro výrobu dřevoplynu z běžné obchodní sítě je finanční výhoda po přičtení všech dalších nákladů spojených se zvýšenou obsluhou velmi malá nebo nulová.
- Přestavby motorových vozidel a pracovních strojů jsou v současnosti možné jen přičiněním nadšenců bez vidiny zisku či výrazného profitu.
- Výhodu dřevoplynu lze spatřovat v možnosti využití přírodního paliva z obnovitelných zdrojů v jeho přírodní formě, bez nutnosti dovozu s možností samovýroby.

7. Seznam literatury

[1] POHOŘELÝ.: zplyňování biomasy, Chemické Listy 106, 264–274 (2012)

[2] DRGA, Miroslav.: *Zplyňování biomasy*. 2009. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

[3] Mráz. V., Mráz, J.: Dřevoplynové generátory. 1954;

[4] MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J.: Energie z biomasy. ERA, Brno, 2008. ISBN 978-80-7366-115-1;

[5] RICHTER, M.: Technologie ochrany životního prostředí. Část II, technologie ochrany ovzduší. FŽP UJEP, Ústí nad Labem 2003

Internetové zdroje

[6] www.zbynekmlcoch.cz

[7] [www. Drivenonwood.com](http://www.Drivenonwood.com)

[8] www.tbz-info.cz

[9] www.mazdaclub.cz

[10] www.gengas.nu

[10] www.drevoplyn.wz.cz. (v průběhu vypracování práce stránky zrušeny)