

Vyřešení problému s přítomností dehtu v dřevoplynu

Varování: Při výrobě dřevoplynu vzniká velmi jedovatý oxid uhelnatý (CO), který je navíc výbušný! Za jakékoli poškození majetku, zdraví či smrt v důsledku experimentů podle zde uvedených informací, nenese autor zodpovědnost! Pokusy jsou pouze na Vaše vlastní riziko!

Abstract – Solve the tar problem in woodgas

Warning: Wood gas contains toxic carbon monoxide (CO) which is also an explosive!

Based on the comparison of advantages and disadvantages of fuels for the woodgas production, which are charcoal and wood, a mixture of these substances was tested. The gasification mixture of 1:1 charcoal and wood in a very simple device brought surprisingly positive results. The produced wood gas was very clean and its calorific value was better than results achieved when operating a generator only with charcoal because the combination of both fuel types has below listed advantages:

1) charcoal is almost completely free of volatile flammable substance which otherwise causes the tar problem;

2) wood adds chemically bound water which, after decomposition in the generator (by the reaction with carbon to CO and H₂), increases the calorific value of woodgas. Simultaneously, the volatile matter of wood provides the needed sufficient conditions to decompose their tar substances (and again increases the calorific value of woodgas) in an environment with a higher content of charcoal embers (in blended fuel).

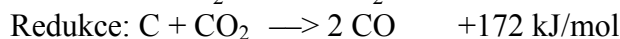
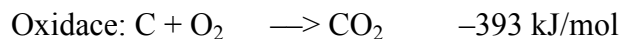
The fuel for generators, that have better design than the ones we used, will contain a charred biomass component certainly of less than 50% but probably not less than 1/3 of mixed fuel.

Author: Peter Zavadilík (Gorvin); gorvin(a)centrum.cz; Brno, April 2012.

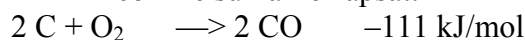
Key words: woodgas, tar, cogeneration, biomass.

Vzhledem k faktu, že dřevo je (nejen) z chemického hlediska poměrně složitá substance a obsahuje vysoký podíl prchavé hořlaviny, dochází při tepelném rozkladu (pyrolýze) ke značnému vývinu dehtu. To je obecně známá věc. Tento dehet se však při zplyňování dřeva za účelem výroby dřevoplynu často nestačí všechen rozložit a větší či menší množství, podle konstrukce generátoru a dalších podmínek, skoro vždy přechází do plynu, z kterého se pak ovšem velmi obtížně odstraňuje. Právě proto se mnoho badatelů zaměřilo na technické řešení zplyňovače nebo spíše na konstrukci různých zařízení, které vyčistí dřevoplyn např. vysokoteplotní katalýzou a pod. Hledal se problém ve zdokonalení technického řešení; podle mého názoru jsme však zatím **asi trochu podcenili chemickou podstatu problému s čistotou dřevoplynu**. Právě a především na tuto část jsem se v posledních několika letech zaměřil a ve volných chvílích se snažil chemismus rozkladu dřeva a jeho zplyňování co nejvíce teoreticky rozpitvat. Jednoduše řečeno, místo na konstrukci jsem se spíše zaměřil na palivo. Těší mě, že mé úsilí přineslo velmi pozitivní výsledky, s kterými Vás hned rád seznámím.

Mou základní myšlenkou bylo, aby čistý plyn byl produkován přímo samotným generátorem, což je mnohem výhodnější než produkovat dřevoplyn se spoustou dehtu a pak jej obtížně, složitě a nákladně čistit. Právě proto už dávno vznikaly generátory, u nichž se jako paliva používalo buďto dřevěného uhlí nebo koksů či antracitu, tedy paliv prakticky dehtu-prostých s vysokým obsahem uhlíku. Při zplyňování tohoto paliva pak dochází především k oxidaci uhlíku na oxid uhelnatý, který je skoro výhradně zdrojem energie spalovacího motoru. V generátoru probíhají tyto hlavní reakce:



což lze sumárně zapsat:

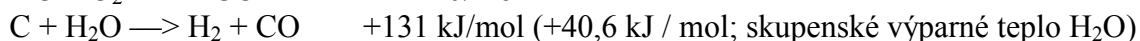


Při těchto reakcích se tedy uvolňuje přebytek energie, přibližně -111 kJ na mol uhlíku (12 g), tedy asi $2,56 \text{ kWh}$ na 1 kg uhlíku, což není málo. Tuto vzniklou tepelnou energii musíme odebrat při chlazení plynu, čímž se snižuje energetická účinnost při zplyňování (energie paliva v generátoru se takto částečně maří a nelze jí využít v motoru). Už dřívější konstruktéři si této daně za čistotu plynu byli vědomi, proto se snažili využít přebytku tepla k zvýšení energetické výhřevnosti plynu pomocí reakce uhlíku s vodní parou, která je endotermní:



Vznikající vodík a oxid uhelnatý nezanedbatelně zvyšuje energetický obsah plynu. Vynalézali se tedy různé systémy ejektorů nebo vhodné způsoby jak dostat vodu do zplyňovacího procesu v generátoru. Řešení optimálního dávkování vody jsou vždy problematická vzhledem k proměnným faktorům, jako jsou zejména: roztápění generátoru, rozehřívání generátoru po rozběhu, proměnný výkon spalovacího motoru (změna množství odebíraného plynu) a dalších.

Optimální poměr souběžných reakcí



vychází přibližně $1,2 : 1$ pro vodní páru a asi $1,6 : 1$ pro vodu (nutno dodat teplo ke změně skupenství vody $40,6 \text{ kJ / mol}$). Ideální energeticky neutrální reakci pro kapalnou vodu lze tedy přibližně vyčíslit takto:



V praxi se na každý kg dřevěného uhlí či koksu doporučovalo použít $0,7$ litru vody (Fr. Tureček; Motory spalovací, str. 90). Podle rovnice vychází přírůstek $0,52$ litru vody u paliva s obsahem uhlíku 90% .

Další nevýhodou dřevěného uhlí jakožto paliva je nutnost jeho výroby, tedy vyšší cena oproti vstupní surovině – dřevu. Navíc při zuhelnňování se z dřeva uvolňuje a odstraňuje nemalé množství hořlavých látek, které zvyšují výhřevnost plynu. Avšak na druhou stranu právě tyto těkavé látky dřeva jsou, jak víme, zdrojem dehtu, jenž činí nemalé potíže při využití plynu ve spalovacím motoru.

Mé úvahy o zlepšení procesu zplyňování

Otázka zní, jak zkombinovat výhody obou druhů paliv (dřevo / dřevěné uhlí) a získat tak čistý výhřevný plyn? Napadlo mě jednoduché řešení: směs dřevěného uhlí a dřeva, zuhelnatělého a nezuhelnatělého paliva, by mohla mít úspěch. Nevím proč jsem se s touto jednoduchou možností nikde nesešel. Při rozkladu dřeva se uvolňuje voda i chemicky vázaná, čímž se vyřeší problémy s dávkováním vody. Zvýšený obsah uhlíku směsného paliva zase umožňuje výrazně lepší rozklad dehtu.

Teoretické důvody zlepšení kvality plynu při kombinaci paliv

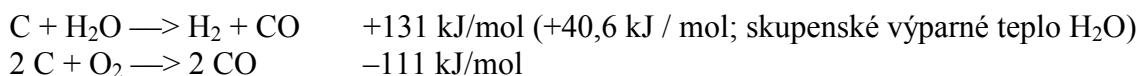
Proč při zplyňování dřeva vznikají problémy s dehtem? Prostudujme složení dřeva a energetickou bilanci zplyňování, což nám může poskytnout odpověď na tuto otázku.

Abs. suché dřevo má průměrný obsahu uhlíku 50% , kyslíku 42% , vodíku 6% hmotnostních.

Při rozkladu abs. suchého dřeva vnika v průměru asi 22% vody. Pak tedy získáme tyto hodnoty:

Dřevo (obsah vody)	0% H ₂ O	5% H ₂ O	10% H ₂ O
Obsah uhlíku [%]	50,0	47,5	45,0
Voda (rozkladná+ vlhk.) [%]	22,0	25,9	29,8

Nyní spočítáme energetickou bilanci dřeva o různém obsahu vlhkosti a porovnáme základní reakce.



Podle těchto rovnic vypočítáme množství uhlíku C potřebné k rozkladu vody, kolik se reakcí spotřebuje energie a zjistíme jaké množství energie uvolní zbylý uhlík při oxidaci na CO. Součet těchto energií dává energetickou bilanci. Záporné hodnoty znamenají přebytek energie, kladné nedostatek – nutno energii dodat z vnějšku.

Dřevo (obsah vody)	Celkový C	Celk. H ₂ O	C k rozkl. H ₂ O	Energie k rozkladu	Zbylý C	Energie z oxidace	Energetická bilance	
	%	%	%	MJ	%	MJ	MJ/kg	kWh/kg
0% H ₂ O	50,0	22,0	14,7	+2,101	35,3	-3,254	-1,153	-0,320
5% H ₂ O	47,5	25,9	17,3	+2,473	30,2	-2,784	-0,311	-0,086
10% H ₂ O	45,0	29,8	19,9	+2,846	25,1	-2,314	+0,532	+0,148

Jde samozřejmě o hrubé výpočty. Tyto teoretické výsledky platí pouze pro 100% účinnost při zplyňování, dále nejsou ve výpočtech zahrnuty energetické nároky potřebné k rozkladu a přeměně ostatních organických látek (dehtu) a také se zde neuvažuje, že část kyslíku je již ve dřevě vázána, proto nemůže být veškerý uhlík oxidován na CO dodaným kyslíkem. Pokud dosadíme i tyto parametry, pak vychází, že ani dřevo absolutně suché nemá rovnovážnou energetickou bilanci, abychom teoreticky při 100% účinnosti získali pouze CO a žádný CO₂. S každým dalším procentem obsahu vody se zvyšuje potřebné množství energie, které je nutné dodat pro rozklad dřeva (vody v něm obsažené) a nedostatek této energie se projevuje snížením teploty v generátoru, což má za následek také snížení obsahu CO (viz obrázek zcela na konci tohoto dokumentu) a nedostatečný rozklad dehtu. Aby se teplota v generátoru zvýšila, je pak nevyhnutelně nutné část plynu spálit ještě v generátoru, čímž ovšem roste obsah CO₂ a vodních par v plynu, které pak nelze využít ve spalovacím motoru.

Jednoduše řečeno, ani dřevo abs. suché nemá dostatečný obsah uhlíku, aby se autotermně (bez vnějších dodávek tepla) zplynilo na co nejvýhřevnější plyn bez obsahu CO₂ a vodních par. Proto je také úspěšný dánský dvoustupňový generátor (vyvinutý na DTU Kodaň), neboť k pyrolýze, která probíhá v prvním stupni, se využívá energie spalín motoru (energetická dotace) a teprve v druhé fázi jsou tyto pyrolýzní produkty parciální oxidací zplyňovány.

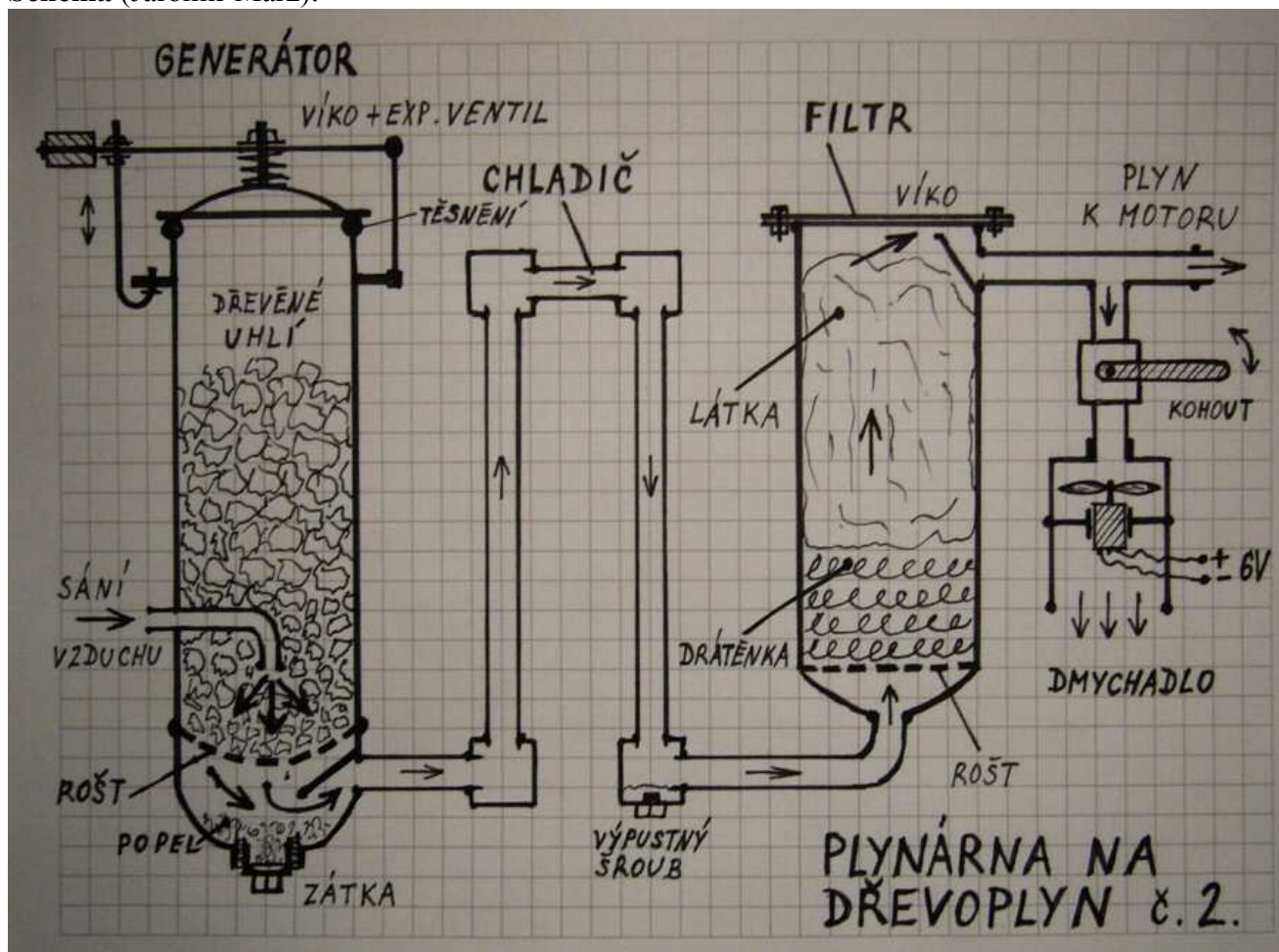
Zvýšením obsahu uhlíku ve směsném palivu nejen zmenšujeme procentní obsah vody, ale zároveň zvyšujeme množství energie, která je při zplyňování potřebná k rozkladu jak vody tak i dehtu a proto tak vytváříme dobré podmínky pro vznik čistého plynu.

Testování nápadu a teoretických výpočtů

Testování prováděl Jaromír März – Jaryk, na svém generátoru, který konstruoval se záměrem, že bude provozován pouze na dřevěné uhlí. Konstrukci a provoz lze vidět na jeho videu:

http://www.youtube.com/watch?v=g_7hsrxzGdE

Schéma (Jaromír März):



Parametry generátoru: výkon: 1-5 HP; palivo: náplň 1 kg dřevěného uhlí; chlazení: okolním vzduchem (na ca 35°C); filtrace plynu: drátěnka, textil (látka)

Zde uvádím Jarykovy poznatky:

První testovaná směs paliv 2:1 dřevěné uhlí (dva hmot. díly) a malé dřevěné smrkové špalíčky (standardní vlhkosti cca 20% – jeden díl). Motor běžel na vyšší otáčky oproti čistému dřevěnému uhlí, regulační kohout na přívod vzduchu se musel víc otevřít, to znamená, že směs obsahovala více hořlavých plynů a dehet nikde: průhledná hadice od generátoru byla čistá. Jen na víku generátoru se usadila nepatrná vrstva dehtu. Odhaduji, že chod motoru na náplň generátoru byl o něco delší.

Druhý test: 1:1 pelety (600g), dřev. uhlí (600g).

Použité pelety byly světlé, bez kůry, lisované z měkkého dřeva, průměr 6 mm. Rozdíl ve stabilitě výkonu motoru se nijak nelišil od poměru 2:1. Do generátoru se vešlo hmotnostně více paliva, protože pelety mají zhruba poloviční objem než dřev. uhlí stejné hmotnosti, z toho vyplýval delší chod motoru: 65 minut do poklesu paliva k hladině přístupu vzduchu do generátoru (u 1 kg dřev. uhlí 45 až 50 min.) Možná by běžela centrála ještě o několik minut déle, pokud bych ji nezatěžoval čtyřmi H4 (4*14V*5A = 280W), ale jen dvěma (140W), jako minulý test. Průhledná hadice na dřevoplyn, která vede do motoru, byla čistá, žádné stopy po dehtu, jen v horní části generátoru se usadila nepatrná vrstvička dehtu, ale na čištění to není.

Výsledky obou testů:

1. Na směs paliv dřev. uhlí a dřevo či pelety 2:1 a 1:1 motor běžel s mnohem stabilnějším výkonem než pouze na dřevěné uhlí (Pokles výkonu způsobuje uvíznutí dřev. uhlí a vzniklá vyhořelá mezera; u směsi paliv se to neprojevovalo. Jak se pelety či dřevo postupně vysušují a zuhelnatují, tak zmenšují výrazně

svůj objem a pravděpodobně právě díky tomu dochází k rovnoměrnému sesuvu směsného paliva v generátoru, nedochází k vyhořelým kapsám a poklesu výkonu.).

2. Se smíšeným palivem nebyl problém s dehtem v dřevoplynu. Malé množství dehtu se vytvářelo pouze na stěnách a víku v horní části generátoru.

3. Delší doba chodu elektrocentrály na jednu náplň (větší energetická hustota oproti čistě dřev. uhlí);

4. Dřevoplyn vyrobený ze směsi paliv vykazoval o něco více hořlavých plynů než na dřev. uhlí (více otevřený kohout na přívod vzduchu do motoru).

5. Řekl bych také, že byl o něco snazší start studeného motoru.

Třetí test: dřevěné uhlí a pelety 1:2

Dřevné pelety před vysušením 666g po vysušení 586g, doplnil jsem peletami na 666g a smíchal s 333g dřev. uhlí, celkem 1 kg paliva.

Poznátky z třetího testu:

1. Směs paliv díky velké hustotě zaujímala v generátoru 1/2 násypky oproti samotnému dřev. uhlí, při kterém byla násypka plná (1 kg).

2. V hadici bylo už znát, že se tam usadila tenká vrstvička dehtu (nažloutlá lepkavá látka).

3. Zapalovací svíčka se zbarvila oproti předchozím testům do tmavší barvy.

4. V horní části generátoru se při nízké hladině paliva vytvořilo větší množství dehtu, který po otevření generátoru tek l po víku.

5. Motor běžel stejně jako u předchozího testu.

6. Doba běhu motoru na směs 1 kg byla 45 min a pokud jsem používal pouze 1 kg dřev. uhlí, tak doba byla tak nastejno, možná 50 min.

Dále jsme testovali možnost zuhelnování pomocí tepla spalin motoru a soudržnost zuhelněných plet. Výsledky pokusů jsou uvedeny v závěru.

Závěr

Při testování se potvrdilo, že směs zuhelnatělého a nezuhelnatělého paliva poskytuje relativně velmi čistý plyn (stačí pouze jednoduché čištění), protože se kombinují výhody obou typů paliv:

1) dřevěné uhlí je takřka bez obsahu prchavé hořlaviny, ze které vzniká problematický dehet;

2) dřevo poskytuje chemicky vázanou vodu, která po rozložení v generátoru (při reakci s uhlíkem na H₂ a CO) zvyšuje energetický obsah plynu a dřevná prchavá hořlavina má v prostředí s vyšším obsahem žhavého uhlí ve směsném palivu potřebné podmínky se dostatečně rozložit (a opět tím zvyšuje výhřevnost plynu).

S velkou pravděpodobností jsou možné další kombinace zpracované energetické biomasy (nejen dřevo, dřevní štěpka, ale také pelety – pilinové, slaměné i řepkové a pod.) se zuhelnatěným palivem (dřevěné uhlí, zuhelnatělé pelety všech druhů). Tyto všechny různé kombinace jsme zplyňovat nezkoušeli.

Dále je teoretická možnost přidávat nějaký odpadní uhelný prach (dehtu-prostý, například i koksový) do pelet při jejich výrobě, nejsou však testovány mechanické vlastnosti takového paliva.

Optimální váhový poměr zuhelnatělé a nezuhelnatělé části paliv byl 1:1 v testovaném generátoru jednoduché konstrukce. Teoreticky je možné, že v generátorech lepší konstrukce může být ve směsném palivu přítomen zvýšený podíl nezuhelnatělé části, pravděpodobně však ne více jak 2/3.

Zkoumali jsme také možnost přípravy zuhelnatělého paliva přímými výfukovými plyny motoru. Toto se neosvědčilo, vzhledem k velkému vývinu dýmu a částečnému uhořívání uhelnatělého paliva vlivem

zbytkového kyslíku ve spalinách. Nepřímý ohřev poskytuje mnohem lepší výsledky. Zuhelňování paliva je proto výhodné provádět právě nepřímým ohřevem spalinami motoru a je tak možné vyrábět palivo generátoru v místě jeho spotřeby. Je vhodné také zvážit využití vedlejších produktů rozkladu (dehet, surový dřevní ocet, hořlavý plyn) například spalováním nebo jinak.

Také jsme testovali zuhelnatění pelet pilinových a z řepkové slámy (odpad po výrobě řepkového oleje). Pelety po zuhelnatění vykazovaly dobrou mechanickou soudržnost. Řepkové lepší, avšak i pilinové držely dobře pohromadě a domnívám se, že se mohou bez problému využít do směsných paliv, například zuhelnatělé a nezuhelnatělé pelety v hmotnostním poměru 40/60.

Autor: Petr Zavadilík (Gorvin); gorvin(a)centrum.cz; v Brně 21.4.2012

Dodatek; Proč jsem si tento nápad nepatentoval

- 1) Řešení problému s dehtem je svým způsobem příliš jednoduché :-)
- 2) Informace se dostane snadněji ke všem zájemcům o výrobu dřevoplynu v malém množství – drobní zemědělci, živnostníci, fandové... ;
- 3) Mnohem zajímavější je generátor, kterému se nemusí předmíchat zuhelnatělé a nezuhelnatělé palivo, který by dokázal snížit spotřebu zuhelnatělého podílu na naprosto nutné minimum a který by dokázal zplynit i nepeletizovanou biomasu.

Složení plynu v přítomnosti C

