



HODNOTENIE EFEKTÍVNOTI ČISTENIA DREVNÉHO PLYNU ADSORPČNÝMI NÁPLŇOVÝMI FILTRAMI

Erika Sujová

Abstract

The paper is concerned with the evaluation of filter effectiveness evaluation by means of the adsorption cartridge filters. The evaluation carried out on the basis of ingoing and outgoing concentration change of content solid particles in wood gas during continual 4 – hours loading. The evaluating criterion was acceptable value of contaminants in wood gas for its utilization in combustion engines.

Key words: *wood gas, contaminants, adsorption cartridge filter, filter efficiency, effectiveness of filtration*

ÚVOD

Súčasný vývoj ľudskej spoločnosti je charakterizovaný neustále sa zvyšujúcimi požiadavkami na energiu, ktorá je vo svojej podstate základným predpokladom ľudskej existencie. Jednou z možností riešenia narastajúceho deficitu klasických fosílnych palív je hľadanie alternatívnych zdrojov energie ako aj zdokonaľovanie a hospodárnejšie využívanie aktuálnych energetických zdrojov. Z hľadiska perspektívy je biomasa považovaná za kľúčový obnoviteľný zdroj energie a to tak na úrovni malých ako i veľkých technologických celkov. Už dnes sa podieľa asi 14 % na celosvetovej spotrebe primárnych energetických zdrojov.

V posledných rokoch sa dostáva do popredia splynovanie biomasy, ktoré je jedným z efektívnych spôsobov jej premeny na biopalivo. Pritom splynovanie nie je novodobou technológiou, ale výroba horľavých plynov z materiálov obsahujúcich uhlík sa praktizuje už veľmi dávno. Po období dostatku fosílnych tekutých palív sa záujem o splynovanie rozšíril až v 70-tych rokoch 20. storočia, v období prvej ropnej krízy. Tento záujem pretrval až doteraz, keď sa intenzívne pracuje na vývoji efektívnych splynovacích technológií, ktoré bude možné využiť vo veľkých elektrárnach. V súčasnosti sa aj vo vyspelých krajinách začínajú objavovať v pokusných i komerčných prevádzkach splynovače s výkonmi od niekoľko desiatok kW, až po niekoľko 100 MW jednotky (BTG, 2000).

Splynovanie je proces, pri ktorom sa horľavý podiel pevného (tuhého) paliva mení na palivo plyné. Tento proces prebieha vplyvom vysokej teploty a pri obmedzenom prístupe kyslíka. Výsledkom splynovania dreva je plyné palivo – drevný (generátorový) plyn s výhrevnosťou 4,5 – 6,9 MJ.m⁻³, pričom z 1 kg suchého dreva získame 1,6 – 1,9 m_n³

generátorového plynu. Vznikajúca zmes plynov má vysokú energetickú hodnotu a môže byť použitá rovnako ako iné plynné palivá, tak pri výrobe tepla a elektriny ako aj v motorových vozidlách.

Zloženie drevného plynu je značne premenlivé a závisí od množstva faktorov. Podiel horľavých plynov v drevnom plyne predstavuje zhruba 40 %. Je to hlavne oxid uhoľnatý CO (17 – 22 %), vodík H₂ (12 – 20 %) a metán CH₄ (2- 3%). Podiel nehorľavých plynov je celkovo 60 %, z toho je prevažujúci dusík N₂ (50 – 54 %), ďalej oxid uhličitý CO₂ (9 – 15%). Okrem uvedených zložiek obsahuje surový drevný plyn aj nežiadúce prímеси, ako sú vodná para, vyššie uhľovodíky – dechty, kyselina octová a aj tuhé znečisťujúce látky. Hlavnou prekážkou brániacou rozšíreniu splynovacích technológií je splnenie požiadavky na čistotu produkovaného plynu. Vyrobený drevný plyn obsahuje veľké množstvo prachových častíc a dechtov, t.j. kontaminantov, ktoré je nutné z plynu odstrániť. Obsah kontaminantov v drevnom plyne je závislý od splynovacej technológie (typu splynovacieho generátora a média) a od vlastností paliva (Kržin, 2005).

Existuje niekoľko overených systémov čistenia drevného plynu. V podstate možno jeho čistenie rozdeliť na odstraňovanie tuhých znečisťujúcich látok – popolčeka zo spaľovania dreva a dechtu – ťažkých uhľovodíkov vznikajúcich v procese splynovania. Čistenie od uvedených nežiadúcich zložiek prebieha súbežne, nemožno ich oddeliť. Spôsobov čistenia drevného plynu od dechtov je veľa a ich použitie závisí na parametroch prevádzky reaktora, jeho veľkosti, ekonomických možnostiach prevádzkovateľa a na konečnom použití plynu. V súčasnosti sa pre účely čistenia drevného plynu uprednostňuje používanie bariérových filtrov s rôznou náplňou. Problém pri filtrácii drevného plynu robí upchávanie filtrov sadzami, ktoré sa tvoria pri tepelnom rozklade dechtov v plynnej fáze na povrchu filtra. Tento problém môže byť potlačený schladením plynu pred filtráciou pod teplotu 500 °C a znížením rýchlosti prechodu plynu cez filter (Sujová, 2002).

METODIKA

Zisťovanie účinnosti a efektívnosti filtrácie počas čistenia drevného plynu náplňovými filtrami bolo založené na metodike merania hmotnostnej koncentrácie tuhých častíc v drevnom plyne pred jeho čistením a po čistení. Merania hmotnostnej koncentrácie a experimentálne overenia efektívnosti navrhovaného systému čistenia drevného plynu sa uskutočnili v experimentálnom laboratóriu firmy VIMAR, s.r.o., Slovenská Lupča. Pre meranie hmotnostnej koncentrácie tuhých častíc v drevnom plyne sme použili gravimetrickú metódu. Postup pre jednorázové meranie emisií (TZL) zo stacionárneho zdroja znečisťovania ovzdušia, na preukázanie emisného limitu, uvádza STN ISO 9096 – gravimetrická metóda. Je to metóda s jednorázovým odberom vzorky z prúdiacej vzdušiny a jej následným gravimetrickým vyhodnotením. Vyhodnocuje sa vážením vzorky tuhých častíc, ktoré sa zachytili na papierovom filtri z odobratého prúdu plynu.

Merania prebiehali pri dvoch variantoch zapojenia meracej linky:

- zisťovanie koncentrácie kontaminantov v surovom drevnom plyne – v meracej aparatúre bol zapojený vyhrievaný filter pre odber plynu pred jeho schladením a kondenzáciou, k linke neboli pripojené zariadenia pre čistenie drevného plynu – cyklón a náplňový filter,
- zisťovanie koncentrácie kontaminantov vo vyčistenom drevnom plyne, po prechode cez kompletnú meráciu a čistiacu linku (obr. 1).

Experimentálna meracia linka (obr.1) pozostávala z generátora drevného plynu, cyklónu pre odlučovanie prachu, náplňového filtra, častí gravimetrickej aparatúry MU-5-

OT ORGREZ, plynomeru, redukčného ventilu a vývevy. Pre úpravu a čistenie drevného plynu od kontaminantov boli navrhnuté dve zariadenia: vírový odlučovač – cyklón, ktorý mal slúžiť pre odlúčenie tuhých častíc a náplňový filter, ktorého účelom bolo dočistenie drevného plynu a zachytenie dechtov. Do náplňového filtra boli použité tri filtračné náplne: aktívne uhlie, typ NORIT RB 3W; drevené uhlie, výrobca SLZ Chémia, a.s. Hnúšťa a zeolit (molekulové sito) Y – sit V 15, výrobca Slovnaft VÚRUP, a. s.

Pri výpočte koncentrácie tuhých látok v drevnom plyne sme vychádzali z nameraných hodnôt a z výpočtu stavových veličín plynu normálnych podmienok. Pred začiatkom meraní boli zaznamenané nasledovné údaje: hmotnosť a vlhkosť paliva; druh, hmotnosť a vlhkosť filtračnej náplne; hmotnosť papierového filtra m_1 ; ktorý sme potom vložili do odlučovača TZL; počiatočný stav plynomera V_p a čas začiatku merania. Potom sme zapli zdroj podtlaku – vývevu a začali sme s odbermi. Počas kontinuálnych 4 – hodinových meraní bolo po každých 60 minútach meranie prerušené a bol vymenený papierový filter kontrolného odlučovača TZL, nachádzajúceho sa na konci čistiacej linky, za chladičom.

Počas odberov boli priebežne každých 15 min. sledované a zapisované nasledovné hodnoty: statický tlak v potrubí p_a ; teplota plynu v potrubí T_a ; teplota plynu v meracej aparátúre T_g ; efektívny tlak plynu v plynomery p_{ep} ; koncentrácia CO_2 , CO a O_2 .

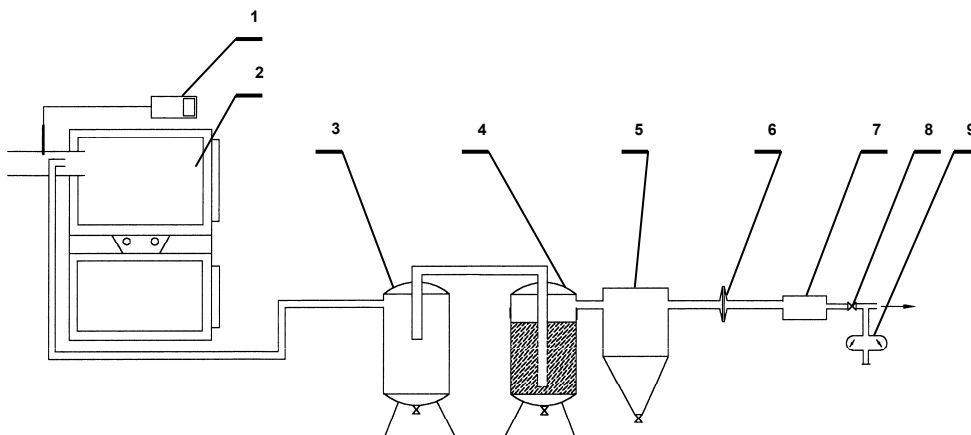
Po ukončení odberu plynu sme zaznačili konečný stav plynomeru V_k , hmotnosť zanesenej filtračnej náplne a hmotnosť kondenzátu m_w . Hmotnosť papierového filtra z odlučovača TZL sme odvážili na presných analytických váhach po jeho vysušení. Po ukončení meraní sme robili výpočty celkového objemu odsatého plynu za prevádzkových a normálnych podmienok a výsledným výpočtom bol výpočet koncentrácie c_n znečisťujúcich látok v drevnom plyne za normálnych podmienok (p_0 , T_0):

$$c_n = \frac{m_{TZL}}{V_n} [\text{mg} \cdot \text{m}_n^{-3}] \quad (1)$$

Kde:- m_{TZL} je hmotnosť znečisťujúcich látok v plyne zistená diferenčným vážením filtra pred a po odbere : $m_{TZL} = m_2 - m_1$ [mg] (2)

- V_n je objem zmesi plynu za normálnych podmienok (p_0 , T_0):

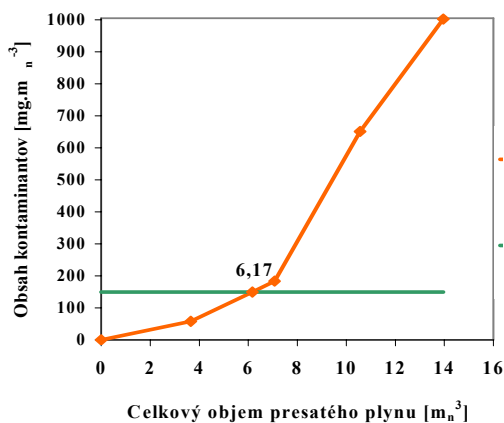
$$V_n = V_o \cdot \frac{p_{ep}}{T_g} \cdot \frac{T_0}{p_0} [\text{m}_n^3] \quad (3)$$



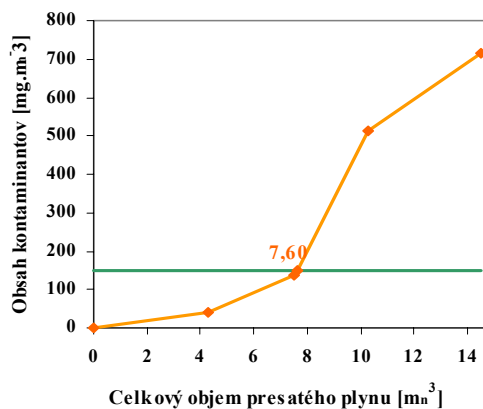
Obr.1 Schéma experimentálnej meracej linky. 1- TESTO 300 XL, 2- splynovací kotol VIGAS 25, 3- vírový odlučovač tuhých častíc, 4- náplňový filter, 5 - rúrkový chladič, 6 - odlučovač TZL s papierovým filtrom, 7 - plynomer, 8 - redukčný ventil, 9 - odsávacie zariadenie – výveva

VYHODNOTENIE EFEKTÍVNOSTI FILTRÁCIE

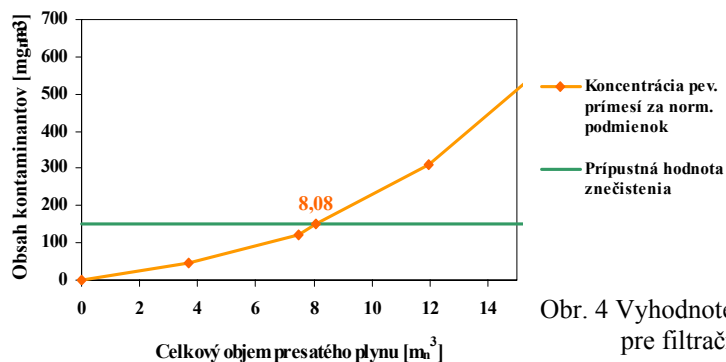
Na základe našich meraní sme vyjadrili celkový objem vyčisteného drevného plynu prefiltrovaného cez testovanú filtračnú náplň, ktorý spĺňa prípustnú hodnotu znečistenia. Grafy na obr. 2, 3 a 4 znázorňujú nárast koncentrácie kontaminantov v prefiltrovanom drevnom plyne v závislosti od jeho celkového objemu s vyznačením celkovej prípustnej hodnoty znečistenia a kritického objemu vyčisteného drevného plynu.



Obr.2 Vyhodnotenie efektívnosti filtrácie pre filtračnú náplň – drevené uhlie



Obr. 3 Vyhodnotenie efektívnosti filtrácie pre filtračnú náplň – aktívne uhlie



Obr. 4 Vyhodnotenie efektívnosti filtrácie pre filtračnú náplň – zeolit

Podrobné metodiky, výpočty a výsledky meraní koncentrácie znečisťujúcich látok v surovom drevnom plyne a vo vyčistenom drevnom plyne sa nachádzajú v dizertačnej práci autorky (Sujová, E., 2006).

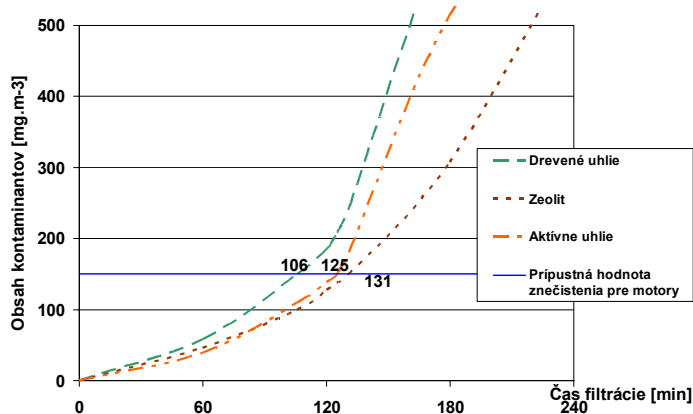
DISKUSIA

Pri vyhodnotení efektívnosti filtrácie sme vychádzali z prípustného znečistenia drevného plynu pre spaľovacie motory. Literatúra (Stassen, H.E. – Harrie, K., 2004) udáva pre použitie v spaľovacích motoroch celkový prípustný obsah tuhých kontaminantov v drevnom plyne 150 mg.m^{-3} . Na základe našich meraní sme vyjadrili celkový objem

vyčisteného dreveného plynu presateho cez testovanú filtračnú náplň, ktorý spĺňa prípustnú hodnotu znečistenia. Táto hodnota v podstate udáva životnosť filtračnej náplne, pretože pri pokračovaní filtrácie nad stanovenú hodnotu objemu plynu, tento plyn už nespĺňa kritérium čistoty – obsahu kontaminantov pre použitie v spaľovacom motore.

Z výsledkov nameraných na laboratórnom experimentálnom zariadení vo firme VIMAR Slovenská Ľupča možno konštatovať, že pri drevenom uhli sa efektívnosť filtrácie stráca po vyčistení $6,17 \text{ m}_n^3$ dreveného plynu (obr. 2), aktívne uhlie je schopné uspokojivo vyčistiť $7,6 \text{ m}_n^3$ (obr. 3) dreveného plynu a zeolit až $8,08 \text{ m}_n^3$ dreveného plynu (obr. 4). Pritom je potrebné brať do úvahy aj samotný objem filtračnej náplne (v tomto prípade $0,0032 \text{ m}^3$), ktorý je smerodajný pre veľkosť aktívneho povrchu filtra. Najpriaznivejší výsledok bol dosiahnutý pri použití zeolitu ako filtračnej náplne. Zeolit ako filtračná náplň pre čistenie dreveného plynu je schopný uspokojivo vyčistiť o 33,6 % dreveného plynu viac ako drevené uhlie a o 6 % dreveného plynu viac ako aktívne uhlie.

Na obr. 5 je znázornené porovnanie efektívnosti filtrácie pre filtračné náplne použité na čistenie dreveného plynu v závislosti od času činnosti filtra. Po prekročení efektívnej doby filtrácie je čistenie dreveného plynu nedostatočné pre použitie v spaľovacom motore, vtedy je potrebné filtračnú náplň vymeniť, príp. regenerovať. Pre náplň drevené uhlie bola doba efektívnej filtrácie 106 minút, pre aktívne uhlie 125 min. a pre zeolit 131 min. Najlepší výsledok bol zistený pri filtrácii dreveného plynu cez náplň zeolit, kde čas efektívnej filtrácie bol o 19 % vyšší ako pre drevené uhlie. Rozdiel medzi zeolitom a druhým v poradí – aktívnym uhlím je 6 min., čo predstavuje 4,6 %.



Obr. 5 Porovnanie efektívnosti filtrácie pre vybrané filtračné náplne

Myslíme si, že, „efektívnosť filtrácie“ je významná hodnota z hľadiska prevádzkovania filtra. Na základe tohto údaja a množstva dreveného plynu vyprodukovaného splynovačom napr. za 1 h, môžeme odhadnúť, po akej dobe bude potrebné filtračnú náplň vymeniť. Výsledný čas efektívnej filtrácie nášho experimentálneho zariadenia cca 120 min. je veľmi malý a pre praktické využitie v systéme čistenia dreveného plynu nevyhovujúci. Je si však treba uvedomiť, že išlo len o malé experimentálne zariadenie, určené k overeniu účinnosti a efektívnosti využitia vybraných filtračných materiálov pre čistenie dreveného plynu od tuhých kontaminantov. Výsledky namerané na malom experimentálnom zariadení je možné preaplikovať na veľké zariadenie, na väčšie prietoky dreveného plynu. Ohraničujúcimi podmienkami by v prípade nami zistených údajov o efektívnosti filtrácie boli:

- vstupná koncentrácia kontaminantov dreveného plynu,
- rýchlosť plynu počas filtrácie.

Počas našich meraní bola priemerná vstupná koncentrácia kontaminantov v drevenom plyne (tuhé prímеси - surový drevený plyn) 1448 mg.m_n^{-3} . Rýchlosť plynu vyjadrená rýchlosťou prietoku dreveného plynu cez bola $0,03 - 0,05 \text{ m.s}^{-1}$.

ZÁVER

Alternatívou klasickej technológie výroby tepla spaľovaním dreva je technológia využívajúca jeho splynovanie, tzn. produkciu plynného paliva pri obmedzenom prístupe vzduchu. Drevený plyn vzniknutý splynovaním je možné následne priamo spáliť, alebo ho využiť v ďalších systémoch, napr. pri výrobe elektrickej energie. Touto možnosťou sme sa v práci zaoberali aj my a snažili sme sa drevený plyn prispôbiť požiadavkám spaľovacích motorov z hľadiska obsahu tuhých kontaminantov. Systém čistenia dreveného plynu, ktorý sme v práci navrhli a vyskúšali bol funkčný a filtrácia prebiehala efektívne v určitom časovom intervale. Na základe našich meraní sme mohli vysloviť odporúčania pre konštruktérov filtračných jednotiek určených pre čistenie dreveného plynu a aj pre prevádzkovateľov filtrov.

LITERATÚRA

BTG, s.r.o., 2000 : Technologie pro energetické využití biomasy. Splynování biomasy. Slavičín, máj, 2000. s. 20 – 26. Zdroj FAO (1986).

KRŽIN, I., 2005: Čištění plynu ze zplyňování biomasy. In. Energetika a životní prostředí 2005. Ostrava, VŠB – TU Ostrava, 2004. str. 53 - 56. ISBN 80 – 248 – 0909 – 5.

STASSEN, H.E. – HARRIE, K., 2004: Theoretical and practical aspects on the use of LCV – gas from biomass gasifier in internal combustion engines. BTG biomass technology group, The Netherlands. www.gasnet.uk net, 2004.

SUJOVÁ, E., 2002 : Systémy čistenia dreveného plynu. In. Zborník referátov z kolokvia Environmentálna technika a energetika. Zvolen, október 2002. str. 29 – 34.

SUJOVÁ, E., 2006: Technické zariadenia úpravy dreveného plynu pre jeho aplikáciu v spaľovacích motoroch. Doktorandská dizertačná práca. FEVT, 2006.

Článok vznikol ako súčasť riešenia grantového projektu VEGA 1/1335/04 „Optimalizácia tvaru a veľkosti kúreniska pre spaľovanie drobnej dezintegrovanej lesnej dendromasy s vplyvom na vznik emisií.“