

# 30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky



22.-24.6. 2011

Špindlerův Mlýn

*Jednotlivý příspěvek ze sborníku*



**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Vyhodnotenie meraní nelimitovaných škodlivín pri spaľovaní glycerínu v experimentálnom horáku

Marek PATSCH<sup>1</sup>, Ján LÁBAJ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ing. Marek Patsch, Žilinská univerzita, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, marek.patsch@fstroj.uniza.sk

<sup>2</sup> Doc. Ing. Ján Lábaj, PhD., Žilinská univerzita, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, jan.labaj@fstroj.uniza.sk

**Abstrakt:** V článku sú uvedené merania a vyhodnotenia koncentrácie nelimitovaných škodlivín pri spaľovaní glycerínu. Merané boli koncentrácie akroleínu a formaldehydu. Vypracované boli závislosti ich vzniku v závislosti na teplote v spaľovacej komore a v závislosti na množstve tangenciálneho vzduchu.

### 1. Úvod

Dokonalé a čisté spaľovanie glycerínu je zložité kvôli jeho vysokej viskozite, vysokej teplote samovznietenia, nízkemu tlaku pár a obáv z produkcie nebezpečných emisií. Pri dokonalom spaľovaní je glycerín schopný rozložiť sa na  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ , s veľmi nízkymi hodnotami emisií, typickými pre iné uhľovodíkové palivá. Pri nízkej účinnosti spaľovania však vznikajú nebezpečné a toxické produkty ako aldehydy a ketóny. Medzi tieto nebezpečné nelimitované škodliviny, ktoré vznikajú pri tepelnom rozpade glycerínu patria akroleín a formaldehyd. Akroleín je vysoko jedovatá, nestabilná látka, pre ľudský organizmus je toxický už vo veľmi malých koncentráciách. Formaldehyd je bezfarebný, štiplavo zápachajúci, jedovatý plyn. Organizáciou IARC bol klasifikovaný ako pravdepodobný karcinogén skupiny 2A. Tieto látky sú tepelne nestabilné, preto najúčinnnejším spôsobom ako ich odstrániť zo spalín je zvýšenie teploty v spaľovacej komore a zvýšenie zdržnej doby, aby sa stihli rozložiť.

### 2. Experimentálny horák

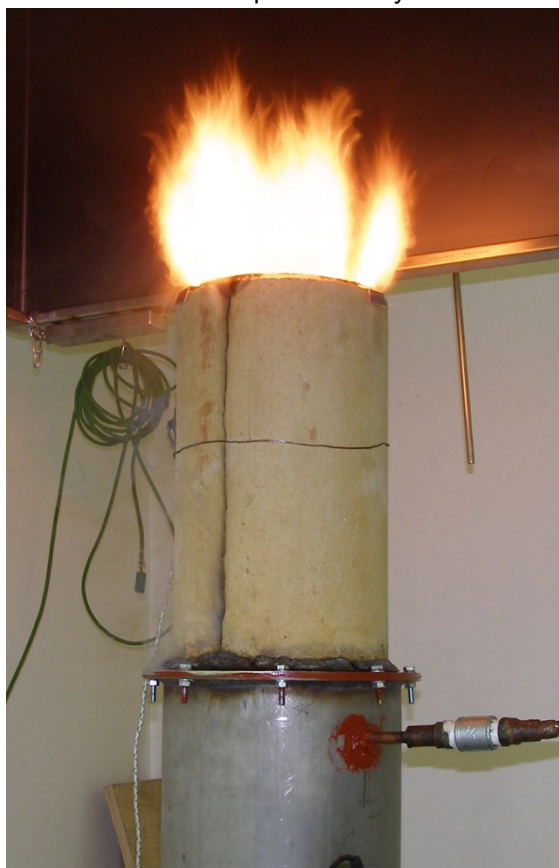
Experimentálne zariadenie je dvojpalivový axiálny vírivý horák (obr.1) s mechanickým atomizovaním paliva. Spaľovací vzduch sa do horáka dostáva axiálne zospodu a tangenciálne cez štyri vstupy na obvode horáka. Miešanie axiálneho a tangenciálneho vzduchu vytvára intenzívne vírenie v spaľovacej komore. Horák má dva palivové okruhy, jeden pre glycerín, druhý pre podporné palivo. Podporné palivo zabezpečuje predohrev spaľovacej komory na  $300^\circ\text{C}$  a počas spaľovania glycerínu zaisťuje stabilitu horenia glycerínu. Podporné palivo bol plynný propán – bután. Pre atomizovanie glycerínu bola použitá dýza Danfoss OD-H s kapacitou<sup>1</sup>  $4,45 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ , s uhlom lúča rozstrekovaného paliva  $45^\circ$ , tvar lúča rozstrekovaného paliva – dutý kužel.

---

<sup>1</sup> Kapacita dýz OD je určená pre referenčné palivo, vykurovací olej s hustotou  $840 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , s viskozitou  $3,4 \text{ cSt}$ , pri tlaku paliva  $1,0 \text{ MPa}$ .



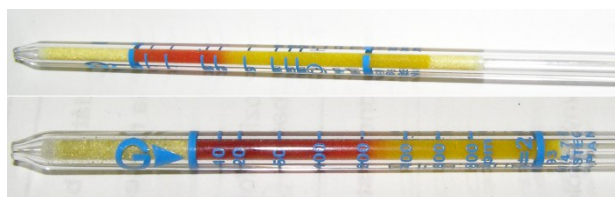
Obrázok 1: Experimentálny horák



Obrázok 2: Spaľovanie glycerínu

### 3. Nelimitované škodliviny

Meranie nelimitovaných škodlivín bolo zabezpečené odberovou pumpičkou GASTEC GV-100S spolu s chladenou odberovou sondou do horúceho prostredia a detekčnými trubicami. Detekčné trubice sú sklenené trubice, ktoré obsahujú detekčné činidlo, ktoré je senzitívne na konkrétnu látku a pri styku s touto látkou nastáva okamžitá zmena farby činidla, na stupnici je možné priame odčítanie koncentrácie danej látky vo vzorke plynu. Pre meranie koncentrácie akroleínu v spalinách bola použitá detekčná trubica GASTEC 93 s rozsahom merateľnej koncentrácie 10 až 800 ppm. Akroleín mení farbu činidla zo žltej na červenú (obrázok 3 – spodná trubica). Pre meranie koncentrácie formaldehydu v spalinách bola použitá detekčná trubica GASTEC 91M s rozsahom merateľnej koncentrácie 20 až 20000 ppm. Formaldehyd mení farbu činidla zo žltej na červenú (obrázok 3 – vrchná trubica).



Obrázok 3: Použité detekčné trubice

### 4. Vyhodnotenie meraní

Základným predpokladom pre vyhodnotenie tvorby nelimitovaných škodlivín je dosiahnutie stabilného spaľovacieho procesu. Stabilita spaľovania sa prejaví na dosiahnutí konštantnej teploty v spaľovacej komore (obr.4). Pri nestabilnom spaľovaní (obr.5) nastáva kolísanie teploty v spaľovacej komore

a dochádza k prudkému nárastu koncentrácie aldehydov.



Obrázok 4: Pribeh teploty v spaľovacej komore pri stabilnom spaľovaní



Obrázok 5: Pribeh teploty v spaľovacej komore pri nestabilnom spaľovaní

Grafy priebehov teploty v spaľovacej komore ukazujú štyri fázy. Prvá fáza je predohrev spaľovacej komory na teplotu 300°C, potom začne vstrekovanie glycerínu, čo sa prejaví poklesom teploty v dôsledku odparovania kvapiek. V tejto fáze je vysoké dymenie a vysoká tvorba škodlivín. Následné horenie glycerínu je nestabilné, ale podporné palivo ho stabilizuje. Vo fáze stabilného horenia je vykonané meranie akroleínu a formaldehydu. V poslednej fáze je opäť charakteristická nestabilita, spôsobená vypnutím palivového čerpadla, poklesom tlaku paliva a tým tvorbou väčších kvapiek paliva. Po uzatvorení ventilu za čerpadlom nastáva zhasnutie plameňa.

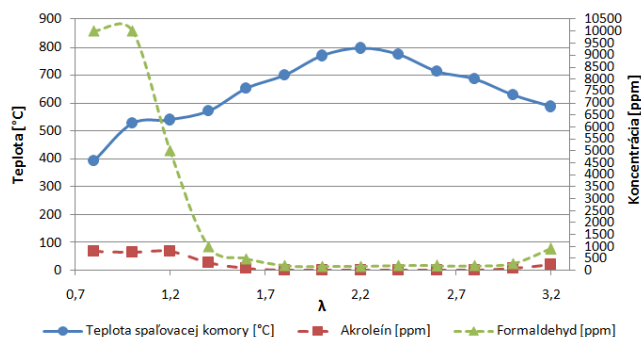
Meranie malo zistiť vplyv teploty na tvorbu a rozpad akroleínu a formaldehydu. Bolo robené pre konštantnú dávku paliva 4,899 l.h<sup>-1</sup>, pri konštantnom tlaku paliva 1,4 MPa. Prvé merania mali zistiť optimálny súčiniteľ prebytku vzduchu, pri ktorom sa dosiahne

najvyššia teplota v spaľovacej komore a zároveň najnižšia koncentrácia akroleínu a formaldehydu. Nastavenie prietoku vzduchu bolo 50% z celkového množstva prichádzalo axiálnym vstupom a 50% tangenciálnymi vstupmi. Hodnota teploty v spaľovacej komore je dôležitý faktor z pohľadu aktivačnej energie pre oxidačnú reakciu a pre tepelný rozklad vzniknutého akroleínu a formaldehydu. Ako ukazuje graf na obrázku 6, pri príliš chudobnej zmesi sú koncentrácie škodlivín príliš vysoké v dôsledku malého obsahu kyslíka potrebného pre oxidačnú reakciu a z toho vyplývajúcu nízku teplotu v spaľovacej komore. Reakcia horenia je v týchto prípadoch zabrzdená a spaliny obsahujú nezoxidované palivo. Zvyšovaním súčiniteľa prebytku vzduchu nad stechiometrický pomer narastá teplota v spaľovacej komore a klesajú koncentrácie škodlivín v spalinách. Optimálny súčiniteľ prebytku vzduchu pre dané nastavenie horáka sa javí v rozmedzí 2,0 až 2,2 kedy bola v spaľovacej komore dosiahnutá teplota okolo 800°C a koncentrácia akroleínu klesla až na 10 ppm. Koncentrácia formaldehydu zostávala pri týchto teplotách približne konštantná okolo 200 ppm. Spôsobené je to jeho vyššou teplotnou stabilitou. Ďalším zvyšovaním prebytku vzduchu už teplota nenarastá pretože prebytočný vzduch sa už nepodieľa na oxidačnej reakcii a len sa ohrieva na teplotu spalín a tým odoberá teplo zo spaľovacej komory. V týchto prípadoch opäť narastajú koncentrácie akroleínu a formaldehydu.

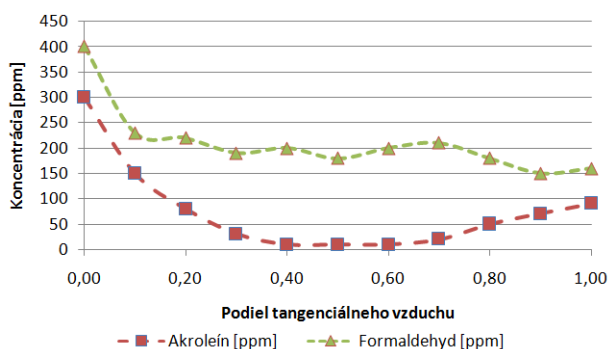
Ďalšie merania mali zistiť vplyv zdržnej doby na tvorbu a rozpad akroleínu a formaldehydu. Pri daných geometrických rozmeroch spaľovacej komory sa zdržná doba menila intenzitou vírenia v spaľovacej komore. Platí, že čím je vyššia intenzita vírenia v spaľovacej komore, tým je väčšia zdržná doba. Zmena intenzity vírenia sa dosahovala zmenou pomeru tangenciálneho prúdenia a axiálneho prúdu pri danom celkovom súčiniteli prebytku vzduchu. Meranie bolo robené pre konštantnú dávku paliva 4,899 l.h<sup>-1</sup>, pri konštantnom tlaku paliva 1,4 MPa a súčiniteli prebytku vzduchu 2,2. Keď je pomer rovný nule, vzduch sa do spaľovacej



komory dostáva len axiálne a keď je pomer rovný jednej, vzduch sa do spaľovacej komory dostáva len tangenciálnymi vstupmi. Obrázok 7 ukazuje priebeh koncentrácie akroleínu a formaldehydu v závislosti na tom koľko z celkového spaľovacieho vzduchu sa dodáva tangenciálne. Ak nie je tangenciálny prúd vzduchu, zdržná doba je krátka a chemická reakcia sa nestihne ukončiť v spaľovacej komore, čo má za následok zvýšenú tvorbu škodlivín a zníženie teploty v spaľovacej komore. Optimálny podiel tangenciálneho prúdu vzduchu je v rozmedzí 40 až 60% z celkového spaľovacieho vzduchu, kedy koncentrácia akroleínu bola 10 ppm. Koncentrácia formaldehydu klesla až pri vyššom podeli, čo je spôsobené jeho vyššou teplotnou stabilitou. Keď do horáka vstupoval všetok vzduch len tangenciálne koncentrácie akroleínu začali opäť narastať čo bolo spôsobené zlou tvorbou spaľovacej zmesi a výsledok merania bol ovplyvnený výraznou nestabilitou horenia.



Obrázok 6: Priebeh koncentrácie škodlivín a teploty



Obrázok 7: Priebeh koncentrácie škodlivín

## 5. Záver

Meraním bolo zistené, že pre dané podmienky je pre zníženie koncentrácie akroleínu a formaldehydu najvhodnejší prebytok vzduchu 2,0 až 2,2, kedy bola dosiahnutá najvyššia teplota v spaľovacej komore. Koncentrácia akroleínu bola 10 ppm a formaldehydu 200 ppm. Pre zlepšenie účinnosti spaľovania, zvýšenie vírenia v spaľovacej komore a zvýšenie zdržnej doby je vhodné rozdeliť spaľovací vzduch, 40 až 60% spaľovacieho vzduchu by malo byť do komory dodávaného tangenciálnymi vstupmi.

Koncentrácie produkovaného akroleínu a formaldehydu zatiaľ nie sú pod hranicou, ktorá by nebola zdraviu škodlivá. Ich koncentrácia v spalínach sa ďalej môže znížiť zmenou geometrie horáka, zmenou rozmerov spaľovacej komory, alebo zmenou palivovej dýzy. Tieto úpravy sú predmetom ďalšieho výskumu.

## Podakovanie

Práce sú finančne podporované agentúrou VEGA 1/0656/10 "Výskum stability plameňa v horákoch energetických zariadení".

## 6. Literatúra

- [1] PATSCH M., LÁBAJ J.: CFD SIMULÁCIA SPAĽOVANIA GLYCERINU V DVOJPALIVOVOM EXPERIMENTÁLNOHOM HORÁKU, XXIX. setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky = HYDRO/TERMO : mezinárodní konference : 23.-25.6.2010 Rožnov pod Radhoštěm. - Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2010
- [2] LÁBAJ J., PATSCH M.: NELIMITOVANÉ ŠKODLIVINY VO VÝFUKOVÝCH PLYNOCH VZNETOVÝCH MOTOROV PRI SPAĽOVANÍ ALTERNATÍVNYCH PALÍV, Motor Fuels 2010 - Motorové palivá 2010 : 9th international symposium June 14-17, 2010, Tatranské Matliare, Slovak Republic
- [3] LÁBAJ J., PATSCH M.: NÁVRH DVOJPALIVOVÉHO HORÁKA PRE SPAĽOVANIE GLYCERINU, Aplikácia experimentálnych a numerických metód v mechanike tekutín a energetike : XVII. medzinárodná vedecká konferencia : Žilina - Bojnice, Slovensko 28.4.-30.4.2010 : zborník referátov. - Žilina: Žilinská univerzita, 2010
- [4] PATSCH M., LÁBAJ J.: MOŽNOSTI SPAĽOVANIA GLYCERINU V ENERGETICKÝCH ZARIADENIACH, Acta Metallurgica Slovaca, 2009
- [5] LÁBAJ J., PATSCH M.: THE SIMULATION OF GLYCEROL COMBUSTION IN DIESEL ENGINE WITH CFD METHOD, The 1st International chemical engineering conference and chemical industrials exhibition : 10-12 February 2009, At Albaath University - Homs, Syria. - Homs: Albaath University, 2009.