

## Optimalizácia spaľovania glycerínu v experimentálnom horáku

Marek Patsch<sup>1</sup>, Peter Pilát<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Žilinská univerzita, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky, Univerzitná 1, Žilina, peter.pilat@fstroj.uniza.sk

**Abstrakt** Spaľovanie glycerínu je veľmi problematické a ťažko realizovateľné kvôli jeho nepriaznivým fyzikálnym a chemickým vlastnostiam. Predchádzajúce pokusy ukázali, že jeho spaľovanie je možné, ak sú v horáku nastavené optimálne aerodynamické a termodynamické podmienky. Príspevok sa zaoberá optimalizáciou spaľovania glycerínu správnou voľbou palivovej dýzy a jej vplyvom na spaľovací proces glycerínu v experimentálnom horáku. Vplyv voľby palivovej dýzy bol posudzovaný meraním škodlivých a nelimitovaných emisií.

### 1 Úvod

Spaľovanie je z chemického hľadiska oxidácia paliva, ktorá môže prebiehať pri hocijakej teplote. Glycerín je vedľajší produkt výroby bionafty. Tento technický glycerín obsahuje zvyšky katalyzátora, vodu, metanol a iné chemické prvky, ktoré pochádzajú z reakcie preesterifikácie. Preesterifikácia je reakcia výroby bionafty z rastlinného oleja alebo živočíšnych tukov. Technický glycerín teda nemá presne stanovené chemické zloženie, preto bol pre experimenty použitý čistý glycerín. Spaľovanie glycerínu môže byť cesta ako ho zužitkovať a využiť jeho energetický potenciál. Spaľovanie glycerínu je však veľmi problematické a komplikované pre jeho vysokú viskozitu, nízky tlak pár, vysokú teplotu samovznietenia a obáv z produkcie nebezpečných emisií. Hlavnými nebezpečnými emisiami, ktoré môžu vzniknúť pri nedokonalom spaľovaní glycerínu sú aldehydy a ketóny. Hlavnými zástupcami aldehydov, ktoré môžu vzniknúť pri nedokonalom spaľovaní glycerínu sú formaldehyd a akroleín. Predchádzajúce pokusy ukázali, že spaľovanie glycerínu je možné s použitím horáka, ktorý však musí byť modifikovaný, aby bol schopný efektívne pracovať s týmto typom alternatívneho paliva. Dôležité je dosiahnuť také aerodynamické a termodynamické podmienky v spaľovacej komore, aby bol glycerín schopný horenia s nízkymi výslednými emisiami.

Najdôležitejším procesom počas spaľovania kvapalných palív v horáku je atomizovanie paliva v palivovej dýze. Voľba palivovej dýzy a viskozita paliva najviac vplyvajú na proces atomizácie paliva, tvorbu palivovej zmesi a stabilitu plameňa. Pri voľbe palivovej dýzy je možnosť výberu dýzy s rôznou normovanou kapacitou, s rôznym uhlom lúča rozstrekovaného paliva a s rôznym tvarom kužeľa lúča rozstrekovaného paliva. Spôsob ako ovplyvniť viskozitu kvapalného paliva je jeho predohrev. Viskozita glycerínu klesá s rastúcou teplotou. Keď je viskozita paliva príliš vysoká, palivové čerpadlo nie je schopné nasávať palivo z palivovej nádrže do palivovej dýzy a palivová dýza nie je schopná atomizovať palivo do malých kvapiek, čo spôsobuje nestabilné pulzujúce horenie plameňa. Keď je plameň nestabilný, tvorba palivovej zmesi je nevyhovujúca, horák produkuje veľa škodlivín a narastá hluk od spaľovania, jeho účinnosť je nízka.

### 2 Experimentálny horák

Experimentálny horák pre spaľovanie glycerínu je dvojpalivový axiálny vírivý horák s mechanickým princípom atomizovania glycerínu. Obsahuje dve oddelené palivové sústavy,

prvú pre glycerín alebo iné kvapalné palivo a druhú pre plynné podporné palivo. Podporné palivo je plynný propán-bután. Podporné palivo musí nahriať spaľovaciu komoru pred začatím vstrekovania glycerínu a stabilizuje horenie glycerínu v počiatočných fázach spaľovania.

Predohrev paliva znižuje jeho viskozitu a zlepšuje tvorbu palivovej zmesi. Palivová sústava pre glycerín obsahuje dva predhrievače paliva. Prvý predhrievač je umiestnený v palivovej nádrži a druhý predhrievač je pred palivovou dýzou. Druhý predhrievač je integrovaný do kompaktného držiaka palivovej dýzy a má výkon 2x50 W. Prvý predhrievač má výkon 600 W a predhrieva palivo na teplotu 70°C, pretože palivové čerpadlo nie je schopné nasávať studený glycerín pre jeho vysokú viskozitu. Teplota prvotného predohrevu je limitovaná maximálnou prevádzkovou teplotou paliva, s ktorou dokáže pracovať palivové čerpadlo.

Experimentálny horák má jeden axiálny a štyri tangenciálne vstupy spaľovacieho vzduchu. Zdrojom axiálneho vzduchu je radiálny ventilátor, zdrojom tangenciálneho vzduchu je stlačený vzduch z kompresora. Táto konštrukcia vstupov vzduchu, konštrukcia tela horáka a geometria spaľovacej komory poskytuje veľkú zónu vírenia a zónu recirkulácie v spaľovacej komore. V zóne recirkulácie sú spáliteľné plyny z vonkajšej strany vtáňované späť do zóny plameňa kde nastáva ich dohárание. Spaľovacia komora je valcová, vyrobená z nehrdzavejúcej ocele, jej rozmery boli získané z empirických rovníc.

Palivové čerpadlo má daný maximálny prietok paliva 42 l.h<sup>-1</sup> a maximálny tlak paliva dosahuje hodnotu 20 barov. Tlak paliva je regulovateľný pomocou obtoku. Použité palivové dýzy boli od výrobcu Danfoss, s normovanou kapacitou 4,45 kg.h<sup>-1</sup> a s rovnakým uhlom lúča rozstrekovaného paliva 45°. Tvar kužeľa lúča rozstrekovaného paliva sa menil, dýzy mali dutý (OD-H), poloplný (OD-B) a plný (OD-S) tvar kužeľa rozstrekovaného paliva. Dýzy sú konštruované pre atomizovanie palivového oleja s nižšou viskozitou ako glycerín, ich kapacita je určená pre referenčné palivo, vykurovací olej s hustotou 840 kg.m<sup>-3</sup>, s viskozitou 3,4 cSt, pri tlaku paliva 1,0 MPa

### 3 Metóda merania emisií

Emisie boli merané pomocou kontinuálneho analyzátora spalín MADUR GA-40 T. Merané boli koncentrácie CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, celkové NO<sub>x</sub> a nespálené podiely. Koncentrácie formaldehydu a akroleínu boli merané pomocou odberovej pumpy s chladenou odberovou sondou do horúceho prostredia. Odberová pumpa používa detekčné trubičky pre akroleín a formaldehyd. Detekčné trubičky sú sklenené trubice, ktoré obsahujú detekčné činidlo, ktoré reaguje s konkrétnou chemickou látkou a pri styku s touto látkou nastáva okamžitá zmena farby činidla. Trubičky majú stupnicu, na ktorej je možné priamo odčítať koncentráciu danej látky vo vzorke plynu. Táto metóda je veľmi rýchla a jej presnosť je postačujúca pre túto aplikáciu.

### 4 Podmienky merania

Podmienky merania boli: použité palivo bol čistý glycerín s chemickým zložením min. 99,0% glycerínu, ťažké kovy max. 0,0001%, síranový popol max. 0,1%, arzén max. 0,0001%. Pre meranie vplyvu tvaru kužeľa rozstrekovaného paliva boli použité palivové dýzy s dutým (OD-H), poloplným (OD-B) a plným (OD-S) tvarom kužeľa, s normovanou kapacitou 4,45 kg.h<sup>-1</sup> a s rovnakým uhlom lúča rozstrekovaného paliva 45°, teplota glycerínu bola 90°C. Pre všetky merania bol nastavený prietok paliva 5,8 l.h<sup>-1</sup>, tlak paliva 1,5 MPa, súčiniteľ prebytku spaľovacieho vzduchu 2,2, rozdelenie spaľovacieho vzduchu bolo: 50% celkového vzduchu bolo dodávané tangenciálnymi vstupmi a 50% axiálnymi vstupom, spaľovací vzduch nebol predhriaty.

## 5 Výsledky meraní

Výsledky meraní vplyvu tvaru kužela rozstrekovaného paliva sú v **Tab. 1**. Najstabilnejší spaľovací proces bol dosiahnutý s palivovou dýzou OD-H s dutým kuželom a to aj napriek tomu, že teplota v spaľovacej komore bola nižšia. Táto dýza poskytovala krátky plameň vhodný pre daný typ spaľovacej komory (**Obr.1.**). Dýzy s poloplným (**Obr.2.**) a plným kuželom (**Obr.3.**) poskytovali príliš dlhý plameň. Dĺžka plameňa vplývala na meranú teplotu spalín, pretože plameň sa posúval zo spaľovacej komory, bližšie k bodu merania teploty. Vyššie hodnoty zostatkového O<sub>2</sub>, vyššie hodnoty CO a nižšie hodnoty CO<sub>2</sub> poukazujú na nedokonalý proces spaľovania s dýzami OD-B a OD-S. Nárast koncentrácie NO<sub>x</sub> súvisí s nárastom teploty v spaľovacej komore.

**Tab. 1** Výsledky merania zloženia spalín

	Dýza OD-H, 45°, 4,45 kg.h <sup>-1</sup>	Dýza OD-B, 45°, 4,45 kg.h <sup>-1</sup>	Dýza OD-S, 45°, 4,45 kg.h <sup>-1</sup>
Priemerná teplota v spaľovacej komore [°C]	692,2	786,0	805,7
Teplota spalín [°C]	633,7	660,6	786,5
O <sub>2</sub> [%]	8,06	12,20	10,28
CO <sub>2</sub> [%]	7,58	6,48	6,28
CO [%]	0,92	1,80	1,61
NO [ppm]	68	47	42
NO <sub>2</sub> [ppm]	11	124	106
NO <sub>x</sub> [ppm]	79	171	148
λ [-]	2,17	2,2	2,01
Akroleín [ppm]	50	400	200
Formaldehyd [ppm]	400	prekročený max. rozsah	1500
Tlak paliva [MPa]	1,53	1,51	1,52



**Obr. 1** Dýza OD-H



**Obr. 2** Dýza OD-B



**Obr. 3** Dýza OD-S

Najnižšia objemová koncentrácia akroleínu a formaldehydu bola dosiahnutá pri použití dýzy OD-H. Koncentrácia akroleínu a formaldehydu narastala pri použití iných dýz. Dýza s poloplným

kuželom sa ukázala ako absolútne nevhodná, pretože koncentrácia formaldehydu v spalinách prekročila maximálny rozsah detekčnej trubičky, plameň bol nestabilný a pulzoval, čo spôsobilo nárast hluku od spaľovania a veľké vibrácie testovacieho zariadenia. Výsledky meraní ukazujú, že najvhodnejšou dýzou pre spaľovanie glycerínu je dýza s dutým kuželom.

## 6 Záver

Najstabilnejší spaľovací proces bol dosiahnutý s palivovou dýzou OD-H s dutým kuželom. S týmto typom dýzy sme dosiahli najlepšiu stabilitu plameňa a nízke emisie. Ďalšie palivové dýzy neposkytovali dostatočnú kvalitu atomizovania, spaľovací proces neprebíhal s požadovanou kvalitou a merané emisie boli vyššie. Dýza s poloplným tvarom kužela sa prejavila ako absolútne nevhodná pre atomizovanie glycerínu. Koncentrácie akroleínu a formaldehydu klesli pri použití dýzy s dutým kuželom avšak tieto koncentrácie sú naďalej zdraviu škodlivé, preto musí byť horák ďalej upravovaný a modifikovaný.

**Poděkování** Práce sú finančne podporované agentúrou VEGA 1/0656/10 “Výskum stability plameňa v horákoch energetických zariadení”.

## Literatura

- [1] PATSCH M., LÁBAJ J.: CFD SIMULÁCIA SPAĽOVANIA GLYCERÍNU V DVOJPALIVOVOM EXPERIMENTÁLNOH 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 GLYCERÍNU, 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 GLYCERÍNU 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.