

Injection of liquid LPG into the inlet manifold of the engine.

Autor: Ing. Nguyen Thanh Tuan

Autor se v předložené disertační práci zabývá problematikou vstřiku kapalného LPG do sacího potrubí pístového spalovacího motoru. Vstřik kapalného LPG je spojen s odpařováním paliva za současného spotřebovávání výparného tepla, takže lze očekávat problémy s kondenzací a následným tvořením ledu ze vzdušné vlhkosti. Hlavní cíle práce lze shrnout do třech bodů:

- Vytvoření matematického modelu popisujícího fyzikální děje probíhající na výstupu ze vstřikovače paliva.
- Kalibrace a validace matematického modelu porovnáním s experimentem.
- Využití matematického modelu pro zhodnocení vlivu geometrických rozměrů vstřikovače a provozních parametrů motoru.

Bohužel, mezi tyto cíle nepatří optimalizace vstřikovače kapalného LPG a jeho konstrukční úprava s cílem vyřešit problémy s jeho namrzáním. Celá práce byla psána v anglickém jazyce.

Úvod práce je věnován přehledu fyzikálních vlastností LPG a popisu používaných palivových systémů pro vstřikování kapalného LPG v současném automobilovém průmyslu. Jsou zde naznačeny praktické problémy v reálných podmínkách provozu motoru při užití kapalného LPG jako paliva. Některé kapitoly (např. 4.2) jsou zbytečné, ba dokonce svým obsahem zavádějící. Text této části práce je psán spíše populární formou s občasným výskytem gramatických nedostatků komplikujících srozumitelnost. Výčet fyzikálních vlastností by měl být dle mého názoru více orientován na použití ve spalovacích motorech, uváděné hodnoty jsou často nesprávné a v textu se objevují vzájemně protichůdná tvrzení.

Hlavní část práce je orientována na tvorbu, validaci a užití matematického modelu popisujícího chování vstřikovaného paliva do sacího potrubí motoru. Pro potřeby kalibrace a validace modelu byla provedena měření tlaku uvnitř koncové části vstřikovače na zařízení, které bylo vyrobeno v rámci předchozích výzkumů. Tato část práce je mnohdy značně nesrozumitelná kvůli špatné anglické gramatice. Autor zbytečně používá dlouhá souvětí, v textu chybějí slovesa a předložky, takže čtenář si musí domýšlet význam vět. Hlavním nedostatkem předložené práce je špatná úvaha při tvorbě bilanční rovnice popisující chování dvoufázového systému uvnitř kanálku vstřikovače. Entalpie plynné a kapalné fáze pak nejsou vztaženy ke stejné energetické hladině, takže je výsledek výpočtu nesprávný. Tato problematika by si zasloužila použití propracovanějšího modelu založeného na energetické bilanci popisující nestacionární chování otevřeného systému (kanálku vstřikovače). Použité vztahy pro výtok mokré páry z kanálku by bylo vhodné experimentálně ověřit. I kdyby z kanálku vytékal pouze plyn, navrhovaný Saint-Venantův vztah nelze použít, protože v této podobě je vhodný pouze pro vyjádření průtoku přes značně škrcený kanálek. Celkově lze říci, že výpočtový model je až příliš zjednodušen, takže jeho vypovídací schopnost je značně omezena – např. při vyšších teplotách vstřikovaného LPG výpočet naprosto selhává (lze vyzkoušet v příloženém XLS programu). Jako velký nedostatek vidím rovněž fakt, že v závěru práce nejsou žádná doporučení, jakým způsobem minimalizovat namrzání vstřikovače paliva. Pouhé konstatování, že je nutné použít elektrické vyhřívání konce vstřikovače, se mi zdá dosti neodborné.

Po formální stránce je předložena disertační práce na nízké úrovni. Je zřejmé, že neprošla žádnou jazykovou korekturou, v uváděných tabulkách jsou chybné údaje, některé vzorce obsahují překlepy. Vybrané konkrétní chyby uvádím v detailu:

- str.16, tab.1.1 – nesprávné hodnoty hustot plynu i kapaliny
- str.20, tab.1.3 – zaměněné hodnoty oktanových čísel MON a RON
- str.42, vzorec (4.8) – místo $t_{LPG/V}$ by mělo být $F_{LPG/V}$
- str.51, vzorec (6.2) – mělo by se jednat o hmotnosti nebo parciální hustoty
- str.54, vzorec (6.12) – přehozený číselník a jmenovatel v argumentu přirozeného logaritmu, špatné jednotky u L
- str.59, obr.6.6 – špatně označená spodní isobara, snížení teploty vytékajícího plynu z trysky do sacího potrubí neprobíhá podle uvedeného schématu
- str.75, obr.7.14 – křivka 1000rpm-reg.5C neodpovídá údajům v předchozích grafech
- str.76, obr.7.17 – popisy křivek jsou zavádějící - teplota nebyla regulována na 5°C

Vzhledem k výše uvedeným nedostatkům bych byl rád, kdyby se autor vyjádřil k následujícím dotazům:

- Proč v energetické bilanční rovnici (6.14) vystupují měrné tepelné kapacity při konstantním tlaku? Děje probíhající v kanálku se přece odehrává při proměnném tlaku.
- Vysvětlete disproporci mezi změřenými teplotami koncové části vstřikovače pro různé doby vstřiku při otáčkách motoru 5000 min⁻¹ (obr.7.11) – 2ms: -20.9°C, 6ms: -24.4°C, 10ms: -21.8°C.
- Jaké navrhuje praktické řešení pro odstranění nebo alespoň potlačení namrzání vstřikovače?

Předložená disertační práce je svým obsahem aktuální. Vstřikování kapalného LPG je z hlediska emisních a výkonových parametrů motoru výhodnou alternativou ke konvenčním palivům. Nicméně, v praxi přináší tato technologie jisté obtíže. Zvládnutí problematiky vstřikování kapalného LPG by chtěl autor využít ve své zemi – ve Vietnamu, kde sledává velký problém ve znečištění městského ovzduší vlivem hustého provozu v automobilové dopravě. Předložená disertační práce je spíše mezistupněm v této problematice, než aby přinášela konkrétní řešení problému. Přes všechny výtky

disertační práci doporučuji k obhajobě.

14. listopadu 2013



Ing. Karel Páv, Ph.D.

Posudek disertační práce

Autor: Ing. Nguyen Than Tuan

Název: Injection of liquid LPG into the intake manifold of the engine

Oponent: Prof. Ing. Karel Adámek, CSc.
VÚTS Liberec, a.s.

Práce se zabývá řešením aktuálního problému přímého vstřikování kapalného paliva LPG do sacího potrubí spalovacího motoru. Takto vstřikované kapalné palivo nesnižuje objemovou účinnost motoru, při svém odpařování se ale silně ochlazuje, takže vlhkost, vysrážená z nasávaného vzduchu, namrzá na ochlazovaných součástech sacího potrubí. Odlamování námrazy působí provozní potíže - nepravidelný chod motoru apod.

Předložená práce má rozsah 102 stran, s uvedením 41 citovaných odkazů a 16 prací autora, částečně jako spoluautora. Celek je přehledně a logicky členěný. Nevýhodou je však anglický text, který je místy nesrozumitelný. Je tedy možné, že jsem vše nepochopil tak, jak to autor myslel a řešil.

Poměrně rozsáhlá rešeršní část (44 strany) popisuje v kapitole 1 základní vlastnosti použitého paliva LPG, v kapitole 2 používané palivové systémy motorů spalujících LPG, v kapitole 3 parametry motorů spalujících LPG a v kapitole 4 tvorbu směsi v systému se vstřikováním LPG a s tím spojené problémy.

Hlavní cíl disertace je v kapitole 5 definovaný jako teoretický a experimentální výzkum ve výstupním kanálu vstřikovače LPG.

Výsledky disertace jsou uvedené v následujících kapitolách.

Kap. 6: Teoretický popis procesů v kanálu vstřikovače - vychází se ze základních bilančních rovnic, z nichž byl nakonec sestaven použitý výpočetní model.

Dotaz: odpovídá tvar izobar v T-s diagramu na obr. 6.6 expanzi syté páry LPG? Resp. jak vypadá statické škrcení kapaliny na mezi sytosti na nižší tlak? Předpokládám, že ventil dává kapalně palivo, které se v nižším tlaku za ventilem částečně odpaří, tj. přemění na mokrou páru.

Kap. 7: Experimentální výzkum vstřikovací části - návazně na popis měřicího zařízení jsou uvedeny diagramy naměřeného průběhu tlaku v jednom místě výstupního kanálu vstřikovače LPG (tj. podle obr. 7.4), zabudovaného do sacího potrubí, v závislosti na úhlu natočení hlavní hřídele, pro různé parametry (trvání vstřiku, otáčky motoru, vyhřívání ústí vstřikovače,...). Na průhledném modelu se současně demonstuje místo a velikost oblasti tvorby ledu z vysrážené vzdušné vlhkosti.

Dotaz: Tvar a umístění topného tělíska podle obr. 7.19 asi nebude nejúčinnější - velká část topného příkonu asi uniká bez užitku do okolního prostoru, místo aby ohřívala ústí kanálu vstřikovače.

Kap. 8: Aplikace zjednodušeného výpočtového modelu. Na základě popisu procesů v kap. 6 se pro řadu zadaných rozměrů systému a parametrů paliva (tlak, teplota a trvání vstřiku) v tabulce Excel počítá řada dalších parametrů proudu (tlak, teplota, hustota, hmotový tok,...). Výsledky jsou konfrontované s naměřenými hodnotami z předchozí kapitoly, shoda je dobrá - viz např. obr. 8.4. V závěru kapitoly se konstatuje, že jak střední efektivní tlak, tak i výkon je pro LPG mírně vyšší než pro naftu.

Disertace ukázala na problémy, které jsou spojené se vstřikováním kapalného LPG do sání spalovacího motoru, aby se tak dostalo kapalné palivo o malém objemu co nejbliž k pracovnímu válci. Bylo naznačeno cílové řešení a je vhodné v něm pokračovat. Na příklad by bylo vhodné numericky simulovat, konstrukčně navrhnout a experimentálně ověřit nějaké konkrétní provedení studovaného systému s ohřevem ústí vstřikovače, které by prokazatelně vedlo ke zlepšení, tj. k potlačení či odstranění vzniku námrazy. Na příklad vhodnější konstrukce a umístění ohřívacího tělíska, které bude ohřívát právě ústí vstřikovače a ne okolí.

Domnívám se, že v současné době je již možné i vhodné aplikovat standardní model simulace proudění vzduchu spolu s odpařujícím se kapalným palivem, především s přihlédnutím ke vznikajícím nízkým teplotám. Aplikací efektivního ohřevu přilehlých stěn a vhodného tvaru nástavby vstřikovače by se dalo simulací prokázat, že úpravy mohou zabránit poklesu teploty povrchu pod bod mrazu, čímž by se vyloučil vznik ledu z vysrážené vzdušné vlhkosti. Teprve takové provedení, které by se na základě výsledků numerické simulace dalo považovat za vhodné, by se pak experimentálně ověřilo, bez velkého počtu náročných experimentů.

Přes uvedené výhrady lze konstatovat, že předloženou disertační práci autor prokázal, že má hluboké teoretické znalosti a že je schopen samostatné vědecké práce, která přinesla nové poznatky v oboru, jež ukazují směr ke konečnému řešení konkrétního problému. Proto

doporučuji připustit disertační práci k obhajobě.

Karel Adámek
Liberec, říjen 2013



Oponentní posudek doktorské disertace:

Autor: **Ing. Nguyen Thanh Tuan**

Název: Injection of Liquid LPG into the Intake Manifold of the Engine

Rekapitulace: Práce se zabývá teoretickým a experimentálním popisem poměrů při vstřikování zkapalněného ropného plynu, přiváděného na vstup injektorů v kapalně fázi. Pro získání experimentálních dat pro kalibraci a verifikaci matematického modelu použil disertant jednoúčelový experimentální přípravek s jednoznačně definovanou geometrií, optickým přístupem a vlastním řídicím systémem. To umožnilo nastavit poměry ve fyzikální realitě způsobem, relativně snadno dostupným modelovému zkoumání. V práci jsou uvedeny výsledky experimentů a simulací a jejich porovnání, které vykazuje dobrou shodu.

Poznámky a komentář: Kompilační část práce je celkově zbytečně rozvláčná. Některá tvrzení se uvádějí opakovaně, ovšem bez jakéhokoli pokusu o analýzu, zdůvodnění a prokázání (pokud se za takové nepovažuje příležitostný odkaz na referenci). Příkladem je údajné příznivější složení spalin při provozu na LPG (v porovnání s provozem na benzin), nebo tendenční popis uspořádání a vlastností palivové aparatury vozidel na LPG (obsahující sentenci „aftermarket installers such as ourselves“). Čitelnost kompilace dost poškozuje i špatná angličtina (nevhodné slovesné tvary, nezvyklý výběr synonym, špatný slovosled). Nečitelnost verbálních popisů až do stavu nesrozumitelnosti významu je slabým místem i v kapitolách, zabývajících se vlastním přínosem disertanta. Ke srozumitelnosti nepřispívají ani grafické doplňky (např. schéma uspořádání stanoviště na obr. 7.1, nebo fotografická dokumentace vzhledu počítačových monitorů a klávesnic na obr. 7.3. Na obr. 7.5 postrádám zdroj synchronizačních a vzorkovacích impulsů a jeho propojení s Indimetrem). Údajné zpracování signálu z piezorezistivního snímače nábojovým zesilovačem je zřejmě omylem.

Bylo by účelné, kdyby disertant do prezentace v rámci obhajoby zařadil popis simulačního přístupu např. formou vývojového diagramu a popis experimentálního stanoviště a postupu se znázorněním fyzikálních a informačních toků formou vhodného grafického zobrazení.

Uvedené výhrady se týkají způsobu a kvality prezentace. Pokud jde o věcnou náplň, hodnocení je výrazně pozitivnější. Zejména oceňuji, že v práci je implementována strategie postavení fyzikálního modelu zkoumaného jevu, jehož parametry jsou snadno přenositelné do prostředí matematické simulace. Tato strategie je často zvažována ve fázi koncepčního plánování postupu v rámci různých výzkumných projektů, ale málokdy dovedena do stadia uskutečnění (protože nemá přímo zhodnotitelné výstupy).

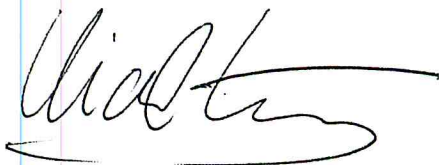
Zhodnocení:

Globální a dílčí cíle práce jsou v příslušné kapitole korektně deklarovány a jsou nepochybně neinflační. Splnění cílů je demonstrováno dobrou (i kvantitativní) shodou experimentálních a simulačních výsledků.

Použité postupy jsou vhodné pro řešení partikulárních problémových okruhů i jako obecný přínos k rozvoji metod, kombinujících experiment a simulaci.

Práce obsahuje nové poznatky, jejichž podstatná část byla publikována.

Práci doporučuji k obhajobě



prof. Ing. Michal Takáts, CSc.