

Posudek disertační práce Jana Fořtla, M.Sc. s názvem „Physical Modeling of Combustion Engine Process and Gas Exchange for Real-time Applications.“

Doktorand se ve své práci popsal tvorbu několika variant termodynamického modelu zážehového spalovacího motoru a zhodnotil jejich potenciál pro přímé využití v řídicích jednotkách vozidel.

Dosažení stanoveného cíle

Hlavním cílem disertační práce je tvorba detailního termodynamického modelu motoru obsahující kompletní geometrii motoru. Model je řešen v rozlišení jednoho stupně natočení klikového hřídele s detailní výměnou náplně válce, přestupem tepla a hořením. Geometrie sacího a výfukového potrubí s modely 1D dynamikou plynů umožňují výpočet okrajových podmínek pro jednotlivé válce motoru. Model turbodmychadla je založen na staticky naměřených mapách s momentem setrvačnosti, který umožňuje modelovat dynamické stavy kdekoliv v úplné charakteristice motoru. Celý model motoru je koncipován tak, aby mohl být použit pro prediktivní regulaci motoru v moderních (budoucích) řídicích jednotkách s tím, že tvorba a kalibrace tohoto modelu by byla výrazně kratší než kalibrace současných řídicích jednotek založených zejména na kalibračních mapách a jednoduchých korelacích.

Autor splnil stanovené cíle tím, že dokázal naprogramovat, postavit, zkalibrovat, upravovat jednotlivé komponenty motoru a finální systémový model motoru tak, aby dosáhl „real-time“ simulační rychlosti ve zvolené řídicí jednotce. Bohužel se ukázalo, že model musel být výrazně zjednodušený čímž utrpěla i výsledná přesnost modelu. Nicméně doktorand předeslal několik možností do budoucna, kde by detailnější model mohl dané požadavky splňovat.

Úroveň rozboru současného stavu řešené problematiky

Úroveň rozboru současného stavu řešené problematiky je na velmi dobré úrovni. Autor se zaměřil na nejpoužívanější komerčně dostupné softwarové nástroje a ukazuje, že dosažením podobných cílů se zabývají výrobci automobilů, softwarové a konzultační firmy. Rešerše nastiňuje, že pouze jeden softwarový nástroj disponuje daným potenciálem, a proto vývoj dalšího produktu by přineslo zdravou konkurenci do tohoto oboru. V rešerši by možná bylo vhodné více zdůraznit proč bychom rádi, aby řídicí jednotky automobilů obsahovaly takto vysoce přesné a prediktivní modely – například zmíněním několika konkrétních úspěchů v oblasti emisí, účinnosti atd. prezentovaných na konferencích.

Teoretický a praktický přínos

Teoretický přístup práce vidím v souhrnném popisu jednotlivých modelů a využití různých numerických řešení. V teorii bych osobně ocenil více detailů, tak aby čtenář mohl dané modely přímo aplikovat, nicméně rozumím snaze ochránit (nepublikovat) veškeré know-how. Tvorba, validace a různé varianty modelu poskytují velmi dobrý praktický přínos a dokazují, že není vůbec jednoduché postavit model, který dokáže počítat v reálném čase uvnitř řídicí jednotky motoru s uspokojivou přesností.

Vhodnost použitých metod řešení a jejich aplikace

Na práci velmi oceňuji a kladně hodnotím, že doktorand byl schopen naprogramovat úplně nový simulační nástroj schopný splnit dané cíle. Kalibrace a validace jednotlivých komponentů je provedena vhodně porovnáním s naměřenými daty. Výsledný model byl pak porovnáván v úplné charakteristice také s naměřenými statickými u dynamickými daty. V práci jsem pouze nenalezl, jak byly dané modely kalibrovány, zda automatickými statickými

optimalizacemi nebo nějakou jinou metodou. Kladně hodnotím i systematický přístup porovnání odchylky simulací od naměřených dat.

Prokázání odpovídající znalosti v daném oboru

Doktorand v práci dokazuje, že se výborně orientuje nejen v oboru termodynamiky spalovacích motorů, ale i v matematice a programování umožňující tvorbu nového simulačního programu.

Formální úroveň práce

Z formální stránky je práce srozumitelná a dobře strukturovaná. Je napsána v anglickém jazyce, a tudíž dostupná široké veřejnosti. Úroveň anglického jazyka je na velmi dobré úrovni s několika drobnými chybami nebo odkazy odkazující na neexistující rovnice.

Dorazy

1. Podařilo by se Vám uvést dva až tři případy, jak by výsledný simulační model mohl být konkrétně využit k prediktivnímu řízení spalovacího motoru?
2. Jaký programovací jazyk jste prosím použil a jaké kompilátory?
3. K přesnosti modelu je použita hodnota zachyceného vzduchu ve válci (air mass). Myslíte si, že by tato jedna hodnota stačila v komerční sféře? Je opravdu možné u daného motoru přesně změřit tuto hodnotu a s jakou chybou?
4. Má výsledný software uživatelské rozhraní a jak dlouho si myslíte, že by trvalo zkušenému uživateli postavit model jiného motoru a zkalibrovat ho?

Vyjádření k obhajobě

Tuto disertační práci **doporučuji k obhajobě**.

V Praze dne 29. srpna 2022

Jiří Navrátil