

## Posudek disertační práce

Název (v originále): **Hybrid Vehicle Powertrain with Range Extender**

Autor: Ing. Ivaylo Brankov

Program: Strojní inženýrství

Disertační práce se skládá z 8 kapitol, 1 přílohy a seznamu literatury - to vše celkem na 156 stranách, 96 obrázcích a 16 tabulkách. Seznam literatury obsahuje 80 položek. Je zde navíc ještě další seznam zdrojů, který se týká pouze obrázků (toto je neobvyklé). Naopak chybí seznam obrázků a tabulek.

Práce dle názvu budí zdání, že se bude zabývat hybridním pohonným řetězcem s prodlužovačem dojezdu (range extender... REX). Ovšem je spíše zaměřena na rychlý úvodní návrh právě tohoto prodlužovače dojezdu, což je v tomto případě spalovací motor se specifickými vlastnostmi. V práci je často užito slovo "design", což budí dojem, že budou řešeny konstrukční záležitosti s cílem dosáhnout požadovaných parametrů při minimalizaci dalších veličin (váha, cena, velikost, atp.). Ovšem není tomu tak. V kapitole 3 na str. 49 jsou uvedeny konkrétní cíle práce, které práci směřují spíše do oblasti použití různých SW nástrojů pro určení hlavních parametrů motoru během koncepční fáze jeho vývoje. Poslední cíl však směřuje k prvotnímu návrhu této pohonné jednotky.

Předložená práce je z hlediska svého obsahu členěna následovně. Úvodní kapitola bilancuje současný stav dopravy, a to z různých hledisek – hlavní pozornost je věnována emisím (škodliviny, skleníkové plyny) a přechodu k nízkoemisní mobilitě. Dále následuje popis stavu poznání (rešerše), a to od různých koncepcí hybridních pohonů až ke spalovacím motorům pro prodlužovače dojezdu. Další kapitola definuje cíle práce. Pak následuje poměrně rozsáhlá část věnující se převážně návrhu hlavních částí spalovacího motoru, na konci je pak obecný popis vývojového cyklu od úvodního návrhu až po sériovou výrobu. Další kapitola se věnuje simulaci elektrického vozidla s REX s cílem určit okrajové podmínky pro další aktivity. Následující kapitola je pak už zaměřena na vlastní spalovací motor jako REX – zde jsou provedeny různé citlivostní studie s ohledem na volbu hlavních konstrukčních parametrů a pracovních podmínek motoru. Další kapitola popisuje jak prakticky aplikovat/použít navržený postup, tj. jak rychle a efektivně přejít od návrhu základních parametrů motoru k úvodní konstrukční realizaci, kterou reprezentuje parametrický 3-D CAD model motoru, jenž je však silně zjednodušený, tj. je pouze základem pro detailní konstrukci dílů. Tato část by měla být (aspoň dle názoru oponenta) jádrem disertační práce, kde by měl doktorand přinést nové poznatky a ukázat svůj tvůrčí potenciál. Následuje pak závěr, za kterým je vložena ještě jedna příloha - ta je zaměřena na kinematiku a dynamiku klikového mechanismu.

Co se týká vlastního hodnocení předložené disertační práce, tak lze konstatovat následující. Mezi klady lze zařadit přehlednost textu i obrázků, docela dobře srozumitelnou angličtinu (to platí hlavně pro jednodušší tvrzení) - aspoň tedy pro někoho, kdo angličtinu nemá jako svůj rodný jazyk. I rešerši (kapitola 2) lze hodnotit kladně.

Popis nedostatků bude ovšem mnohem obsáhlejší. Po formální stránce je určitě velkým nedostatkem fakt, že rovnice nejsou číslovány – to naštěstí nemá zásadní vliv na srozumitelnost obsahu práce. Určité nedostatky lze najít i v seznamu literatury z hlediska zápisu daného zdroje (ty asi nejsou úplně zásadní) – možná je to jen nepozornost, ale jaký je rozdíl mezi odkazem [17] a [18]? Některé obrázky jsou umístěny nevhodně vůči textu – např. obrázek je umístěn dříve než je na něj v textu odkazováno. K některým obrázkům se autor vyjadřuje, ale chybí odkaz, takže čtenář se může jen domnívat, kterého obrázku se komentář vlastně týká. Ne úplně šťastné je pak použití stejných symbolů pro různé veličiny (např.  $\lambda$  je použit jak pro přebytek vzduchu na str. 55, tak pro ojniční poměr).

Co se týká obsahových chyb, tak zde budou uvedeny jen některé pro demonstraci kvality předložené práce. Typickou hrubou chybou je snaha zavádět jednotky do rovnic – příkladem je vztah pro plnicí účinnost na str. 53 (zde nelze odkázat na číslo rovnice), kde symbol  $n/2$  dává smysl jen pro 4-dobý motor s tím, že jeho jednotka

je [Hz], nikoliv [ $\text{min}^{-1}$ ]. Předposlední rovnice na str. 55 je špatně. Relace  $B > S$  přece neodpovídá  $B/S > 0$  (toto se v práci vyskytuje opakovaně). Nesedí popis v textu k informacím, které ukazují obrázky 64 a 65 (v textu je to asi správně, obrázky mají prohozený popis). Pokud je použita jednoduchá Vibeho funkce pro popis vývinu tepla během fáze hoření, tak ta má 3 stupně volnosti (nikoliv 2, jak uvádí autor). Vysvětlení tvrzení na str. 95 o prodloužení úhlu hoření u variant s větším vrtáním je poměrně nepřesné – spíše to vypadá, že autor hádá (toto je opět znalost na úrovni magisterského studia). U některých částí to vypadá na významné nepochopení problematiky – typicky je to část týkající se mechanických ztrát (zde vyjádřených pomocí FMEP), kde použití vztahu typu Chen-Flynn (poslední rovnice v DP, a to na str. 136) při změně geometrie klikového mechanismu je problematická. Dotazy k této části jsou položeny níže. Některá tvrzení na str. 101 (ve větě začínající "The results show that a higher  $B/S$  ratio (shorter  $S$ , bigger  $B$ ) results in a better...") jsou špatně. Na str.125 se 2x opakuje stejný text (2 odstavce a 1 rovnice).

Oponent požaduje zodpovězení následujících dotazů:

- V textu je tvrzení (str. 86; "The preliminary results indicate that an engine with an output power of about 20 kW to 30 kW has to be enough to ensure an acceptable extension for the vehicle segment."). Co se tím vlastně myslí? Text v této části naznačuje, že jde o dojezd vozidla. Jak tedy souvisí prodloužený dojezd s výkonem REx?
- Jaký model resp. SW nástroj byl použit pro výpočty v části 6? Toto není zřejmé. A je pravda tvrzení ze str. 91, že "The flow is assumed to be one dimensional, quasi steady and reversible." – tedy byl to opravdu 1-D model, který ovšem zároveň byl kvazistacionární a vratný (z hlediska termodynamických změn)?
- Tvrzení na str. 94 o tom, že rovnost středních pístových rychlostí (pro podobné motory) vede ke stejným působícím silám (co přesně znamená podmínka rovnosti  $c_s$ ?) a tím pádem zhruba stejnému opotřebení, vyžaduje další předpoklady nebo vysvětlení. Jaké?
- Proč chybí v modelu FMEP (poslední rovnice v DP, a to na str. 136) kvadratický člen? Má to nějaký význam? Obecně konstanty v použitém vztahu jsou dosti nízké (mimo doporučené rozsahy pro běžné automobilní motory) => proč a jak byly tyto konstanty vlastně získány?
- Jaký model FMEP je vlastně použit SW nástroji v části 6, na jehož základě byly získány výsledky v tabulkách 10 až 14? Pokud by vycházel z definice uvedené v DP poslední rovnice v DP, a to na str. 136), tak pro konstantní střední pístovou rychlost (za předpokladu stejného IMEP, a tedy stejného  $p_{max}$ ) by měl dávat stejnou hodnotu FMEP – a to evidentně není pravda. Na čem závisí třecí ztráty pístní skupiny? A na čem závisí třecí ztráty rotujících součástí (např. ložiska)?
- Proč je vůbec do práce vložena příloha (kapitola 9) o kinematice a dynamice klikového mechanismu? Její teoretická úroveň odpovídá tomu, jak je to na FS ČVUT přednášeno v magisterském studiu jako základní přístup k této problematice. A bylo toto nějak použito při řešení DP?
- Dále oponent požaduje zřetelnější vysvětlení diagramu/obrázku 72. Co z toho vše bylo uděláno v rámci předložené DP? Jak do tohoto schématu zapadá parametrický 3-D CAD model (obrázek 73), tj. kterému místu v tomto diagramu odpovídá tento CAD model?

Hodnocení předložené disertační práce je následující:

- Úroveň rozboru současného stavu problematiky je jednou ze světlejších stránek této DP a lze jej tedy považovat za dostatečný.
- Teoretický přínos práce je velmi malý – je obtížné zde najít nové myšlenky, metody, SW nástroje, atp., které by posouvaly obor spalovacích motorů zase o něco dopředu.
- Podobné lze konstatovat o praktickém přínosu práce – důležité pasáže v části 7 nejsou vůbec popsány, takže kromě dosti složitého diagramu (obrázek 72; který lze mimochodem obtížně posoudit – zde by bylo zapotřebí posouzení někoho, kdo se návrhem spalovacích motorů zabývá dlouhodobě, což jsou vlastně primárně velcí výrobci, např. automobilů) není snadné si udělat představu o tom, jak to vlastně celé funguje.



- Vhodnost použitých metod je asi v principu dobrá, ale konkrétní detailní znalosti doktoranda jsou v některých směrech nedostačující.
- S výše uvedeným pak souvisí způsob, jak byly metody aplikovány. Zde je nepochybně velký prostor pro zlepšení. Určitě se dalo udělat mnohem více – to mimochodem dokládá i malý počet odkazů na vlastní publikace. Oponent se nemůže ubránit dojmu, že práce vznikla ve spěchu (v časové tísní). Důležité části zůstávají nedořešeny (nebo aspoň nedostatečně popsány v DP) – to platí hlavně na kapitoly 6 a 7, které měly být asi tím hlavním, ovšem jsou svým rozsahem dosti krátké.
- Formální úroveň je uspokojivá a určitě není hlavní slabinou této DP, i když i zde je nemalý prostor pro zlepšení. Detailnější popis je uveden výše.
- Vzhledem ke všemu, co je uvedeno výše, asi nepřekvapí, že vyjádření se k tomu, zda byly splněny cíle práce, nebude snadné. I když jsou cíle poměrně obecně formulovány, oponent po přečtení práce rozhodně nenabyl dojmu, že cíle byly beze zbytku splněny. Je to spíše naopak – je jich tam několik, kde by se o tom dalo úspěšně pochybovat. Hlavní cíl práce (definovaný v prvním odstavci čísta 3.1, na str. 48) byl asi splněn, ale je to na hranici přijatelnosti.

I přes výše zmíněné nedostatky a po dlouhém váhání se oponent nakonec rozhodl práci doporučit k obhajobě. Pro úspěšnou obhajobu je však potřeba uspokojivě zodpovědět výše uvedené dotazy.

Při řešení doktorand prokázal teoretické znalosti a schopnost využití těchto poznatků při samostatném řešení inženýrských úloh. Práce po formální stránce splňuje nároky kladené na DP.

V Praze 1. července 2022

Doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.

