

Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.
Na Výšinách 443
460 05 Liberec V

Oponentský posudek disertační práce Ing. Petra Starého „Dynamika vstřikovacího systému Common Rail“.

Ing. Petr Starý předložil disertační práci k obhajobě před komisí doktorského studijního programu Stroje a zařízení v oboru Konstrukce strojů a zařízení na Fakultě strojní TU v Liberci. Celá práce je obsažena na 119 stranách. Vlastní (studijní a výzkumná) disertační práce je na 99 stranách textu, standardní náležitosti DDP (obsah, seznamy, literatura aj.) jsou na 20 stranách.

DDP se zabývá vyšetřováním dynamických vlastností vstřikovacího systému Common Rail. Úvod a studijní část DDP s rozбором současného stavu řešení vybraných problémů hlavních komponent CR ukazují přístupy k výpočtovému i experimentálnímu výzkumu a výsledky z těchto prací. Publikované výsledky prezentují i podrobnější studie vlivu řídicích a regulačních prvků na průběh vstřikování paliva. V závěru této kapitoly disertant zmiňuje, že posouzení vzájemných účinků funkčně nejvýznamnějších konstrukčních podskupin ve vstřikovači na dynamiku dějů v palivovém systému CR byla zatím věnována menší pozornost: tento poznatek vedl k rozhodnutí zaměřit disertační práci na podrobný výzkum vlivu provedení vstřikovače a jeho funkčních detailů na děje ve vysokotlakém systému CR.

Cíle disertační práce jsou stručně a srozumitelně definovány ve 3 základních bodech pro experimentální a výpočtový program výzkumu dynamiky dějů ve vstřikovači vysokotlakého systému CR. S řešením jednotlivých problémů tohoto výzkumného programu přitom byla spojena řada dalších tvůrčích aktivit disertanta, jejichž úspěšné zvládnutí bylo podmínkou pro postupnou realizaci jednotlivých kroků ke splnění cílů.

Disertant zvolil při řešení problémů pro doktorskou disertační práci postup, založený na kombinaci experimentů (kap. 4) a výpočtových simulací (kap. 5). První část 4. kapitoly vysvětluje uspořádání i technickou složitost realizované zkušební stanice pro experimentální výzkum vstřikovacího systému CR, kterou v základní podobě disertant vytvořil již svojí diplomovou prací a pro disertaci ji podstatně rozšířil. Koncepční i technické řešení stanice poskytují velmi kvalitní podmínky pro komplexní výzkum vlastností hlavních komponent (zejména vstřikovače a jeho jednotlivých funkčních skupin) systému CR (měření pohybu kotvy elektromagnetu a řídicího pístku, měření průběhů tlaků ve vysokotlakém systému CR a měření vstřikované i odpadní dávky paliva při různých nastaveních řídicího signálu vstřikovače). Disertační práce dokazuje, že Ing. Starý úspěšně zvládl řešení (technicky i technologicky) velmi složitých problémů při stavbě zkušební stanice a následně i v navazujícím experimentálním výzkumu. Kromě měření palivového systému CR na zkušební stanici disertant prováděl měření na palivovém systému CR i na přeplňovaném vznětovém motoru Cummins. Měření byla prováděna jak s čistou naftou, tak s palivy obsahujícími i různé podíly biosložek. Výzkumný program systému CR byl většinou se vstřikovačem Bosch, některé experimenty byly provedeny i s prototypem vstřikovače Motorpal.

V kapitole 5 je prezentován přístup disertanta k realizaci výpočtových simulací dějů ve vysokotlakém systému CR: modelový výpočet je vhodně založen na zjednodušujících předpokladech a pro zpřesnění výpočtů jsou využity jako vstupní hodnoty některé veličiny, získané z vyhodnocení měření ze zkušební stanice. Výpočtový model je v disertaci srozumitelně vysvětlen. Výsledky výpočtového modelování jsou porovnávány (graficky) s výsledky měření na zkušební stanici: relativně malé odchylky (cca do 5%) mezi průběhy

změřených a vypočtených průběhů sledovaných veličin svědčí o správnosti matematického popisu vyšetřovaných dějů ve vysokotlaké části systému CR.

Předložená disertační práce přesvědčivě dokládá, že stanovené cíle disertační práce byly splněny. Výsledky provedeného experimentálního výzkumu i výpočtového modelování poskytují informace jak pro orientaci v rozhodování o zvažovaných konstrukčních změnách na komponentech palivového systému CR, tak pro další výzkum v oboru. Význam disertace pro obor je v přímém využití v průmyslu i v akademické sféře.

Zpracované téma patří mezi aktuální problémy výzkumu a vývoje vozidlových vznětových motorů. Disertační práce Ing. Starého podává základní pohled na dosažitelné efekty možných konstrukčních změn především při technickém vývoji vstřikovače. Předloženou práci disertant prokazuje velmi dobré znalosti ve studovaném oboru a ukazuje, že ovládá vědecké metody i moderní prostředky pro řešení vědeckovýzkumných úloh v motorářské odbornosti: rozsah provedených prací současně dokládá, že je schopný realizovat i složitější výzkumný program.

V průběhu práce na disertaci se Ing. Starý aktivně podílel na výzkumných programech školicího pracoviště: je jedním ze spoluautorů 8 výzkumných zpráv, 8 funkčních vzorků a 2 patentů. Na odborných konferencích nebo v časopisech publikoval výsledky v celkem 17 příspěvcích (3x jako autor, u ostatních spoluautor): publikační aktivita doktoranda je velmi dobrá.

Disertační práce se vyznačuje logickou stavbou s vhodným uspořádáním textu i názorných grafických doplňků. Je psána vcelku dobrou češtinou, jednotlivé části práce jsou obsahově vyvážené a jako celek srozumitelně popisují významné souvislosti vyšetřovaného problému.

K celé práci mám následující připomínku a dotaz:

- V kap.3 jsou místy zaměňovány pojmy *spotřeba paliva/dávka paliva/průtok* a pro všechny tyto veličiny je stejný rozměr [mg/zdvih]. V označení veličin i textu jsou symboly napsané bez indexu, v rovnicích jsou symboly veličin s indexem. Označení pro stlačitelnost kapaliny v seznamu symbolů (str.14) a v textu (str.30) je rozdílné.
- V DDP se opakovaně používá nesmyslné *experimentální měření*.
- Výpočet průtoku paliva vstřikovací tryskou je komplikovaný problém, zejména ve fázi zdvihu a zavírání jehly trysky: kromě proměnlivého tlakového spádu na výstřikových otvůrcích (tlak paliva ve vstřikovači před otvůrkou a tlak náplně ve válci motoru) je proměnlivý i průtokový průřez mezi kuželem jehly a kuželovým sedlem v koncové partii uvnitř trysky před výstřikovými otvůrkou. Jak byly popsány průtokové vlastnosti trysky (proměnlivý průtokový průřez a průtokový součinitel v místě sedla jehly) ?
- U některých palivových systémů vznětových motorů s řadovým vstřikovacím čerpadlem se vyskytovala v jejich vysokotlaké části (zpětný-odlehčovací ventil, vstřikovací tryska) poškození kavitací: není takové riziko popsáno v literatuře i pro systém CR ?

Celkově hodnotím disertační práci pana Ing. Petra Starého jako kvalitní výsledek jeho doktorského studia. Disertační práci doporučuji postoupit k obhajobě a po jejím úspěšném průběhu doporučuji udělit panu Ing. P. Starému akademický titul Ph.D.

V Liberci, 12.11.2018

Oponentský posudok doktorandskej dizertačnej práce

Názov práce: **Dynamika vstřikovacího systému Common Rail**

Doktorand: **Ing. Petr Starý**

Školiace pracovisko: **Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní**

Študijný program: **P2302 – Stroje a zařízení**

Študijný odbor: **2302V010 – Konstrukce strojů a zařízení**

Školitel: **prof. Ing. Celestým Scholz, Ph.D.**

Oponent: **doc. Ing. Dalibor Barta, PhD.**, Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 1, 010 26 Žilina

1. Obsah, formálna úprava dizertačnej práce a jazyková úroveň

Predložená doktorandská dizertačná práca (DDP) sa zaoberá aktuálnou problematikou dynamiky vstrekovacieho systému Common Rail.

Práca pozostáva celkovo zo 119 strán, pričom text práce je uvedený na 96 stranách a je vhodne dopĺňaný tabuľkami, obrázkami a grafmi zväčša dobrej kvality, čím spĺňa požiadavky na rozsah prác tohto druhu. Ako použitú literatúru autor uvádza 16 zdrojov. Štruktúra práce, jej obsah, rozsah a umiestnenie jednotlivých častí je dané na základe stanovených cieľov.

Po obsahovej stránke je dizertačná práca členená na sedem kapitol. Prvá časť práce sa venuje prehľadu súčasnej problematiky s objasnením zmyslu celej práce a stanovením cieľov práce. Nasledujúca kapitola sa zaoberá vlastnými fyzikálnymi experimentmi, uvádza popis použitých meracích zariadení pre meranie sledovaných parametrov jednotlivých častí palivového systému Common Rail, pričom druhá časť tejto kapitoly z rôznych pohľadov analyzuje vstrekováč Bosch, ktorý bol jedným z hlavných predmetov výskumu. Ďalšia časť práce je venovaná matematickému modelovaniu palivovej sústavy a porovnaniu výsledkov modelovania s experimentálne získanými výsledkami, čo bol jeden z cieľov DDP. Zhodnotenie výsledkov a posúdenie možností ďalšieho výskumu v danej oblasti je predmetom posledných dvoch kapitol práce.

Po formálnej stránke možno povedať, že práca spĺňa všetky náležitosti. Vytknúť možno drobné jazykové nedostatky ako preklepy (v zozname obrázkov, v zozname skratiek a pod.), pravopisné chyby či štylistické nepresnosti, ktoré sú vyznačené v práci. Uvedené nedostatky sa však v práci nevyskytujú vo veľkej miere a neznižujú tak jej úroveň.

2. Aktuálnosť zvolenej témy DDP

Téma predloženej dizertačnej práce je vysoko aktuálna, a to ako z teoretického, tak aj z praktického hľadiska, o čom svedčí neustály tlak na výrobcov vznetrových spaľovacích motorov a stále sa sprisňujúca legislatíva posudzujúca ekologické následky využívania spaľovacích motorov s ohľadom na produkciu emisií. Jednou z efektívnych možností ako pomôcť vyriešiť tieto problémy je zameranie sa na zefektívnenie procesu prípravy palivovej zmesi a optimalizáciu parametrov vstrekovacieho systému vznetrových motorov.

3. Splnenie stanovených cieľov DDP

Doktorand si vo svojej dizertačnej práci stanovil hlavný cieľ „urobiť komplexnú analýzu dynamiky vstrekovacieho systému Common Rail, podloženú dôkladným popisom funkcie

jednotlivých komponentov vstrekača, sledovaním jeho charakteristických parametrov a vyhodnotením ich vplyvu na konečnú veľkosť vstrekovanej dávky paliva“ a následne 5 čiastkových cieľov, ktorých splnenie malo prispieť k dosiahnutiu celkového cieľa.

Môžem skonštatovať, že ciele uvedené na str. 18 boli stanovené metodicky správne a splnenie všetkých čiastkových cieľov v jednotlivých kapitolách práce viedlo k **splneniu celkového cieľa**.

4. Zvolené metódy spracovania DDP

Doktorand si zvolil vzhľadom na definované ciele vhodné vedecké metódy, ako aj bežne používané výpočtovo simulačné i experimentálne metódy, ktoré boli prirodzene limitované existujúcim vybavením školiaceho pracoviska. Doktorand preukázal schopnosti pracovať experimentálne i výpočtovo. Zvolené metódy práce ako pri vlastnom výskume tak aj pri spracovaní DDP preukazujú, že doktorand je schopný nie len dobrej práce na inžinierskej, ale aj vedeckej úrovni.

5. Výsledky DDP a nové poznatky

Dizertačná práca obsahuje rozsiahly teoretický rozbor problematiky, ktorý je následne doplnený o výsledky z experimentálnych skúšok na laboratórnom zariadení školiaceho pracoviska. V ťažiskovej časti sa práca zaoberá zisťovaním dynamicko-hydraulických konsekvencií pri prevádzke vstrekovacieho systému Common Rail, k čomu boli vytvorené špecializované experimentálne a matematické nástroje. Bola navrhnutá a zhotovená skúšobná stanica vstrekovacieho systému Common Rail s vlastnými riadiacimi a regulačnými členmi a meracím softvérom vytvoreným v LabView. K získaniu požadovaných parametrov bol konštrukčne upravený vstrekač a taktiež bol vytvorený matematický model odpovedajúci fyzikálnemu modelu skúšobnej stanice.

Ako uvádza autor, z výsledkov vyplynulo, že počiatočná veľkosť amplitúdy rázovej vlny pri otváraní ihly vstrekovacej dýzy (trysky) je o 50% menšia ako pri jej zatváraní. Pre zamedzenie rozdielu zdvihu ihly vplyvom deformácií riadiaceho piesta, ihly vstrekovacej dýzy a telesa vstrekača bol zavedený nový prístup k meraniu zdvihu ihly dýzy vrátane započítania deformácií od vysokého tlaku, čo prinieslo spresnenie merania zdvihu ihly dýzy vstrekača. S ohľadom na použitie biozložiek v palive boli zistené odlišnosti v hmotnostných prietokoch prepadových dávok cez guľičku elektromagnetického ventilu, nebol však dokázaný vplyv biozložky na konečnú hodnotu cyklovej dávky paliva. Zavedený bol nový prístup pre sledovanie netesností vstrekača pri zatvorenej dýze s rozlíšením netesností vo vedení riadiaceho piesta a vo vedení guľičkového ventilu. Z porovnania výsledkov experimentov a simulácií uskutočnených v novo-navrhnutom matematickom modeli realizovanom v prostredí Matlab Simscape sa ukázala veľmi dobrá zhoda nameraných a vypočítaných hodnôt.

Oceniť treba širokú škálu experimentálnej práce doktoranda, od príprav a zostavenia skúšobného stavu až po merania charakteristík jednotlivých častí vstrekovacieho systému.

6. Prínos pre rozvoj vedy a techniky

DDP obsahuje značne ucelený súbor poznatkov v tejto oblasti vychádzajúci z praktických experimentov a porovnaní s matematickým modelom a umožňujúci nadviazať v priemyselnej praxi na výsledky tohto výskumu. Prínosom pre rozvoj vedy sú najmä použité metódy skúmania správania sa jednotlivých častí vstrekača a poukázanie na nevhodnosť niektorých prístupov pri modelovaní palivovej sústavy s ohľadom na presnosť výsledkov a čo najlepšie sa priblíženie reality. Práca poukázala na potrebu pokračovania v experimentálnej práci so zameraním sa na vznik a tlmenie rázových vln vznikajúcich vo vstrekači, ale aj na vplyv

vlastností alternatívnych palív na účinnosť vysokotlakového vstrekovača. Celkovo je možné konštatovať, že získané výsledky sú prínosom pre priemyselnú prax, aj pre rozvoj v špecifickej oblasti študijného odboru Konštrukcia strojov a zariadení a sú okrem iného významné tým, že naznačujú, ktorým smerom sa výskum v oblasti hospodárnosti prevádzky a znižovania zaťaženia životného prostredia plynými emisiami môže uberať.

7. Publikačná činnosť doktoranda

Publikačná činnosť doktoranda obsahuje jeden patent, jeden úžitkový vzor, ktorých je doktorand spoluautorom, 16 spoluautorstiev na funkčných vzorkách, prototypoch, technických a výskumných správach, ako aj 10 konferenčných príspevkov a 3 príspevky vo vedeckých časopisoch. Vzhľadom na zaujímavosť témy DDP odporúčam v budúcnosti zvýšiť publikačnú činnosť na zahraničných konferenciách a v zahraničných časopisoch.

8. Pripomienky a otázky k dizertačnej práci

- Autor v texte práce nevyužíva funkcie dolný a horný index (viď. zoznam symbolov alebo napr. strana 22, 23, 24 – xh_{pv}, Cq_hpv, Sq_hpv, PRBS,...) čo v niektorých prípadoch zneprehľadňuje text práce. To sa týka aj zápisu jednotiek napr. [m³.s⁻¹].
- Kvalita niektorých scanovaných obrázkov by mohla byť lepšia a s českým prekladom popisiek (napr. obr. 10).
- Pre lepšiu prehľadnosť by bolo vhodné v obr. 22 uviesť názvy jednotlivých zobrazovaných častí, ktoré by korešpondovali s vyššie uvedeným textom.
- V rovniciach (16) a (18) na str. 54 chýbajú jednotky.
- Na str. 70 a 71 sa hovorí niekde o vstrekovači, niekde o injektore, napr. v názve obr. 67, 68. V texte práce by bolo vhodné používať jedno pomenovanie pre danú vec.
- Obr. 82 – z popisu pod obrázkom nie je jasné čo predstavuje hodnota 9°KH, že sa jedná o dobu otvorenia dýzy (trysky).
- V texte na str. 83 sa uvádza informácia o „zpoždění“ medzi privodom prúdu na elektromagnet a otváraním, resp. zatváraním guľčkového ventilu a trysky vstrekovača. Napriek tomu, že je k dispozícii obr. 82, uvítal by som v texte konkrétnu hodnotu tohto oneskorenia, ktorá by uviedla mieru oneskorenia pre vzájomné porovnanie.
- K obrázkom 82 až 85 nie je žiaden komentár k vplyvu obsahu biozložiek na priebeh tlaku. Je nejaké vysvetlenie prečo práve palivo B30 v obr. 82 vykazuje najvyššie hodnoty dynamického tlaku pred vstrekovačom, B100 najnižšie a v obr. 84 vykazuje najvyššie hodnoty palivo B50 a najnižšie B30?
- Bol nejakým spôsobom počas meraní posudzovaný vplyv obsahu biozložky v palive na životnosť častí daného palivového systému?
- V bode 3 záveru je uvedené, že zhoda matematického modelu s fyzikálnym je 5% a je veľmi uspokojivá. Je to správne?

9. Záver

Dizertačná práca Ing. Petra Starého je spracovaná na požadovanej úrovni, spĺňa podmienky kladené na práce daného charakteru v plnom rozsahu v zmysle § 47 Zákona o vysokých školách č. 111/98 Sb. a preto ju

- odporúčam -

k obhajobe pred komisiou a po úspešnom obhájení navrhujem udelenie akademického titulu „*philosophiae doctor* - PhD“.

V Žiline, 25. novembra 2018


doc. Ing. Dalibor Barta, PhD.
oponent dizertačnej práce



Prof. Ing. Jiří Stodola, DrSc.,

Univerzita obrany v Brně, Kounicova 65, 662 10 Brno

OPONENTSKÝ POSUDEK

doktorandské disertační práce Ing. Petra STARÉHO na téma „Dynamika vstřikovacího systému Common Rail“

(Dynamics of the Common Rail Injection System)

Předložená doktorandská disertační práce pana Ing. Petr STARÉHO má rozsah 119 stran. Práce je vhodně rozdělena kromě úvodu a cíle do čtyř základních částí, které zahrnují: relativně důkladný přehled současného stavu řešené problematiky, experimentální výzkum dynamiky vstřikovacího systému (zkušební stanice, vstřikovač), matematický model procesu vstřikování a zhodnocení získaných výsledků. Předložená dizertace je zaměřena především na matematický model a praktický experiment v oblasti dynamiky moderního vysokotlakého vstřikovacího systému.

Autor si stanovil hlavní cíl disertační práce, a to realizovat komplexní analýzu dynamiky vstřikovacího systému Common Rail. Hlavní cíl je realizován s využitím tří dílčích cílů a dvou nástrojů umožňujících měření experimentálních dat. Za rozhodující cíl dizertace pokládám vytvoření původního matematického modelu vstřikovače na základě navrženého a realizovaného experimentálního měření konkrétního vstřikovače. Konstatuji, že práce explicitně neobsahuje metody zpracování, i když použité metody následně plynou z uváděných experimentálních výsledků.

Autor velmi systematicky analyzoval současný stav problematiky, a to vlastní spalovací proces vznětového motoru se zaměřením na generování emisních složek výfukových plynů, spotřebu, zejména pak řízení tlaku paliva v tlakovém zásobníku a související problematiku.

V experimentální části dizertace jsou podrobné informace o originální zkušební stanici (měřicí stolici), umožňující vytvořit reálné podmínky pro vstřikovač ve spalovacím motoru. Autor uvádí problémy, které bylo potřebné vyřešit. Jedná se o tlakovou regulaci, řízení, ovládání a měření zdvihu a dalších parametrů ventilu. Vlastní experimentální měření zahrnuje analýzu konkrétního vstřikovače BOSCH. Experimentální část byla realizována systémově



s plánovaným programem měření, standardními způsoby vyhodnocování, zpracování a interpretace výsledků.

Podstatnou částí dizertace je matematický model, který s přijatelným zjednodušením odpovídá skutečnému (fyzikálnímu) modelu palivové soustavy Common Rail na měřicí stolici. Za původní výsledky dizertace lze pokládat analýzu rázových vln v závislosti na vstřikovacím tlaku, původní konstrukční návrh, umožňující zpřesnění měření zdvihu jehly vstřikovače, velmi dobrou shodu matematického modelu s fyzikálním modelem, vytvoření vlastních softwarových nástrojů aj.

Konstatuji, že rozhodující původní částí dizertační práce je vytvoření matematického modelu na základě realizovaných fyzikálních experimentů.

Dizertační práce je zcela aktuální a významná pro vědní obor, protože problematika optimalizace spalovacího procesu vznětového motoru umožní lepší energetické využití paliva a splnění permanentně se zpřísňujících emisních limitů.

Postup řešení pokládám za vhodný, použité metody zpracování umožnily splnění stanovených cílů.

Za zcela původní výsledky získané autorem považuji matematický model a rozsáhlou experimentální část, její vyhodnocení a interpretaci s možným přesahem do praxe. Vyhodnocení a získané informace z experimentů jsou zpracovány velmi systematicky a podrobně. Zcela konkrétním přínosem je systematická analýza dynamiky vstřikovače BOSCH, získání relevantních výsledků experimentů a matematického modelování. Využitelnost těchto výsledků spočívá v optimalizaci funkce moderních vstřikovacích systémů z hlediska účinnosti, snížení spotřeby, potlačení (tlumení) rázových vln, přesnosti ovládání vstřikovače aj.

Publikační činnost doktoranda pokládám za mimořádně významnou. Dizertant publikoval jako člen kolektivu autorů 35 významných publikací, byl členem kolektivu autorů 8 funkčních vzorků a 2 užitečných vzorů a patentů.

Dizertační práce je zpracována systematicky, na přijatelné formální i grafické úrovni, jazyková stránka je pouze průměrná. K dizertační práci mám následující dílčí připomínky, které však nesnižují výbornou odbornou úroveň:

- v práci je relativně mnoho gramatických chyb, např. nesouhlas podmětu a přísudku, chybějící čárky před přechodníky (str. 62, 70, 111, 112, 113), chybějící písmena, nesprávně napsaná slova např. působící, měřící (str. 9, 10, 13, 15, aj.) řídící (str. 9, 10, 14, 15, 18, 21, 22, aj.), sloužící (str. 22 aj.), škrťících (str. 18, 19), schématický, standartní (str. 31, 32)), vstřikovače, velké i malé první písmeno ve slově Rail i rail aj.),



- autor uvádí termín “běžná motorová nafta” (terminologii určuje ČSN EN 590 a v ní existují názvy standardní nafta a dále, směsná, letní, zimní, přechodová, arktická a dokonce městská a armádní),
- používání jednotky bar, která není jednotkou SI (bar se sice standardně užívá v technice, protože 1 bar je 100 000 Pa a přibližně odpovídá tlaku 1 atmosféry) - domnívám se, že ve vědecké publikaci by měly být důsledně používány jednotky SI (ČSN ISO 1000), popř. uvádět proč tomu tak není,
- na ilustračním obrázku 1 chybí emisní limit EU 3, resp. jeho označení,
- rozdílné (malé, popř. příliš velké) písmo v obrázcích: 6, 7, 10, 35, 88, 89, 90, 91 aj.
- anglický text v obrázcích: 2, 3, 4, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 67, 68, aj.
- česko-anglický text v obrázcích 69, 70, 74, 75, 76, aj.
- rozdílná velikost (a kvalita) rovnic (1), (2), (3), (9), (12), (20), aj.
- při objasňování jednotlivých členů některých rovnic autor používá tučné písmo (rovnice 14, aj.), což však lze použít pouze pro označování vektorů,
- tabulky 1, 2, 3 rozdílná velikost písma i formy zpracování tabulky, obvykle se název tabulky umísťuje nad tabulku,
- symboly proměnných se obvykle píše kurzivou (str. 14, 15),
- závěrem upozorňuji, že existuje dosud platná ČSN ISO 7144. *Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Praha 1997, Český normalizační institut.

Prosím, aby doktorand v průběhu obhajoby zodpověděl následující otázky:

1. Vysvětlíte stručně změny hodnot zdvihu jehly na obrázcích č. 58, 59, 60 a 61.
2. Jaké je Váš názor na další vývoj vstřikovacích systémů v souvislosti s problémy, které vznětové motory mají s plněním náročných limitů škodlivin ve výfukových plynech?
3. V současné době dosahují maximální tlaky vstřikovacího systému s tlakovým zásobníkem hodnot až 300 MPa. Proč jste ve svém výzkumu použil relativně „nízkotlaký“ systém, který byl vyvinut více než před 10 lety?

Předložená doktorandská disertační práce zcela jednoznačně splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 Zákona č. 111/1998 o vysokých školách. Pan Ing. Petr STARÝ prokázal, že ovládá vědecké metody, má potřebné teoretické znalosti a jednoznačně přispěl k novým poznatkům v oboru. Doktorandskou disertační práci **d o p o r u č u j i** k obhajobě a po úspěšné obhajobě navrhuji panu Ing. Petru STARÉMU udělit titul Ph.D.

V Brně 12. listopadu 2018



