



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO TESTOVÁNÍ VSTŘIKOVACÍCH VENTILŮ ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

DESIGN OF TEST BENCH FOR GASOLINE ENGINE INJECTORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZDENĚK PŘIBYL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN BERAN

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Zdeněk Příbyl

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh zařízení pro testování vstřikovacích ventilů zážehových motorů

v anglickém jazyce:

Design of Test Bench for Gasoline Engine Injectors

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Základní rešerše vstřikovacích systémů současných automobilů a možnosti diagnostiky a kalibrace jejich vstřikovacích ventilů. Konstrukční návrh zařízení sloužícímu k diagnostice a kalibraci-(zjištění skutečného průtoku paliva při zadaných podmínkách) vstřikovacího ventilů.

Cíle bakalářské práce:

1. Proved'te základní rešerši stávajících elektronických vstřikovacích systémů používaných v současných osobních automobilech a porovnejte hlavní rozdíly a požadavky kladené na vstřikovací ventily těchto systémů.
2. Pojednejte o principu funkce zadaného vstřikovacího ventilu
3. Na základě provedené rešerše zhodno'te možnosti diagnostiky a kalibrace zadaného typu vstřik. ventilu.
4. Proved'te konstrukční návrh zařízení pro kalibraci zadaného typu vstřik.ventilu a sestavte jeho 3-D CAD model.

Seznam odborné literatury:

- [1] Rauscher, J.: Vozidlové motory, studijní opory, FSI VUT Brno 2003
- [2] Vlk, F.: Vozidlové spalovací motory, Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno 2003
- [3] International Engine of the Year Awards, web page [online], 2012, poslední revize 12.10.2012.
Dostupné z: <http://www.ukipme.com/engineoftheyear/>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Beran

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 26.10.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je provést základní rešerši v oblasti současných elektronických vstřikovacích systému, s ohledem na konstrukci a nároky kladené na samotné vstřikovací ventily, další částí je návrh zařízení pro testování vstřikovacích ventilů pro nepřímé vstřikování benzínu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Motor, vstřikovací ventil, diagnostika a měření ventilu, vstřikovací systémy, přímý vstřik paliva, nepřímý vstřik paliva

ABSTRACT

The aim of this thesis is perform basic research in the field of contemporary electronic injection system with respect to the structure and demands on the actual injection valves, and perform the design of test bench for indirect fuel injection injectors testing.

KEYWORDS

Engine, injector, injector diagnostic and testing, injection systems, direct injection, undirect injection



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PŘIBYL, Z. *Návrh zařízení pro testování vstřikovacích ventilů zážehových motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 41 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Beran.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Berana a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2013

.....

Zdeněk Příbyl



PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Beranovi za vstřícné a cenné rady ohledně vypracování této práce, dále bych pak rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu během celé doby mého studia.



OBSAH

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	1
Úvod	9
1 Vstřikovací systémy pro vznětové motory	10
1.1 Vstřikovací systémy s nepřímým vstřikem paliva	11
1.2 Vstřikovací systémy s přímým vstřikem paliva.....	12
1.2.1 Vstřikovací systémy s rotačním čerpadlem	13
1.2.2 Vstřikovací systémy common rail	13
1.2.3 Vstřikovací systémy čerpadlo-tryska.....	16
2 Vstřikovací systémy pro zážehové motory.....	19
2.1 vstřikovací systémy s nepřímým vstřikem paliva	19
2.2 vstřikovací systémy s přímým vstřikem paliva.....	20
3 Princip funkce vstřikovacího ventilu	23
4 Návrh zařízení pro testování vstřikovacích ventilů	25
4.1 Konstrukce nosného rámu	30
4.2 Konstrukce umístění ventilů a odměrných válců.....	31
4.3 Konstrukce příslušenství	34
Závěr.....	38
Seznam použitých zkratk a symbolů	41
Seznam příloh	41



ÚVOD

S dnešní moderní civilizací je neodmyslitelně spojena potřeba mobility, tu zajišťují od začátku 20. století dopravní prostředky, především automobily, většinou poháněné spalovacími motory, ať už zážehovými nebo vznětovými motory. Princip funkce motorů je od začátku stejný, je potřeba dopravit palivo do válců a co nejlépe využít jeho energii, z počátku vývoje automobilů bylo hlavním účelem dosažení co nejvyššího výkonu, ostatní ohledy, především spotřeba a obsah škodlivin ve výfukových plynech byly často opomíjeny, zlom nastal s postupným zaváděním emisních norem a s celkovým zvýšením všeobecného povědomí o ochraně životního prostředí, z toho vyplynul požadavek na čistější a efektivnější spalovací motory. Tento proces začal instalací katalizátorů a tím potřebnou přesnější regulací vstřikování paliva, kterou již mechanické vstřikovací systémy nedokázaly zajistit, postupně se proto začalo přecházet k elektronicky řízeným vstřikovacím systémům, nejprve s nepřímým vstřikem, v poslední době pak vzhledem k dalšímu zvyšování nároků na efektivitu fungování a emise motoru došlo k postupnému zavádění systémů s přímým vstřikováním paliva. Stále přísnější emisní normy se promítly i do zavádění pokročilejších technologií jako je například proměnný zdvih a časování ventilů, vícestupňové přeplňování, dále je maximální snaha o přizpůsobení funkce jednotlivých komponent motoru, vzhledem k jeho aktuálnímu provoznímu motoru, nebo např. zařízení pro dodatečnou úpravu spalin jako je filtr pevných částic nebo třícestný katalizátor.

V této bakalářské práci se zaměřím na rozbor a přehled současných elektronických vstřikovacích systémů používaných ve spalovacích motorech v osobních a lehkých užitkových vozech.

V druhé části práce se zaměřím na popis funkce zadaného vstřikovací ventilu s ohledem na možnosti jeho diagnostiky a měření jeho vlastností.

Ve třetí části práce se zaměřím na návrh zařízení pro testování vlastností vstřikovacích ventilů nepřímého vstřikování, které má sloužit zejména ke zjišťování jeho vstřikovacích charakteristik – jaké množství paliva je ventil schopen dopravit do sání za daný časový úsek při daném tlaku paliva.



Elektronické vstřikovací systémy používané ve spalovacích motorech můžeme rozdělit do několika základních skupin a to podle principu funkce motoru, ve kterém jsou použity na systémy pro motory vznětové a zážehové a dále pak podle toho zda-li dopravují palivo do spalovacího prostoru nebo do sání motoru na systémy s přímým a nepřímým vstřikováním paliva. V této rešerši se zaměřím na základní popis nejrozšířenějších systémů vstřikování paliva a to jak pro vznětové tak i zážehové motory.

1 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY PRO VZNĚTOVÉ MOTORY

U naftového motoru je výkon motoru řízen kvantitativně – množstvím dodávaného (spalovaného) paliva, toto množství paliva stejně jako doba, kdy je dávkováno je řízeno právě vstřikovacími systémy. Vstřikovací systémy vznětových motorů mají zásadní podíl na jejich hospodárnosti, hlučnosti i na tom že tyto motory zvládají plnit přísné emisní normy, velkou roli hraje nejen množství dodávaného paliva ale také přesnost načasování a umístění vstřiku paliva, zejména u systémů s přímým vstřikováním. V moderních vznětových motorech jednoznačně převažují systémy s přímým vstřikováním paliva a to převážně s použitím systému common rail vyvinutého firmou Bosch v roce 1997. Velké oblibě se do dnešní doby těší motory s přímým vstřikem paliva s rotačním čerpadlem, používané v motorech s označením TDI koncernu Volkswagen od roku 1995 do roku 2009 – v pozdějších letech už používaného pouze u výběhových modelů v kombinaci s filtrem pevných částic, jejichž použití omezilo postupné zavádění emisních norem EURO 3 (rok 2001) a EURO 4 (rok 2005). Tyto systémy byly v portfoliu koncernu Volkswagen postupně od roku 2000 nahrazovány systémy se sdruženými vstřikovacími jednotkami označovanými čerpadlo-tryska (zkratka PD – z německého Pumpe-Duse), tento byl vyvíjen přímo pro koncern Volkswagen a měl za cíl konkurovat právě systému common rail, který používali ostatní výrobci. Systém čerpadlo-tryska přestal vyhovovat emisním normám po zavedení normy EURO 5 v roce 2009. Od té doby se používá takřka výhradně systém common rail. Emisní normy nařizují zejména obsah škodlivin zejména množství oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x) a pevných částic (PČ), tyto hodnoty jsou udávány v gramech na ujetý kilometr vozidla. Emisní normy se neustále zpřísnují, aktuálně platná norma EURO 5 bude v roce 2014 nahrazena přísnější normou EURO 6. [1]; [2]

Rok/norma		CO(g/km)		NO _x (g/km)		HC + NO _x (g/km)		HC (g/km)	PČ (g/km)
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,180
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70	-	0,080
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,050
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

ZÁŽEHOVÉ MOTORY , VZNĚTOVÉ MOTORY

Obr.1.1 - Tabulka emisních norem [11]

Dalším velmi důležitým parametrem moderních vznětových motorů je spotřeba paliva, spotřeba paliva je závislá zejména na celkové účinnosti, s kterou motor pracuje, na účinnost má značný vliv právě systém vstřikování paliva a to přesným dávkováním paliva které je ovlivněno dobou, za kterou lze zahájit vstřikování, dalším faktorem, jež ovlivňuje kvalitu

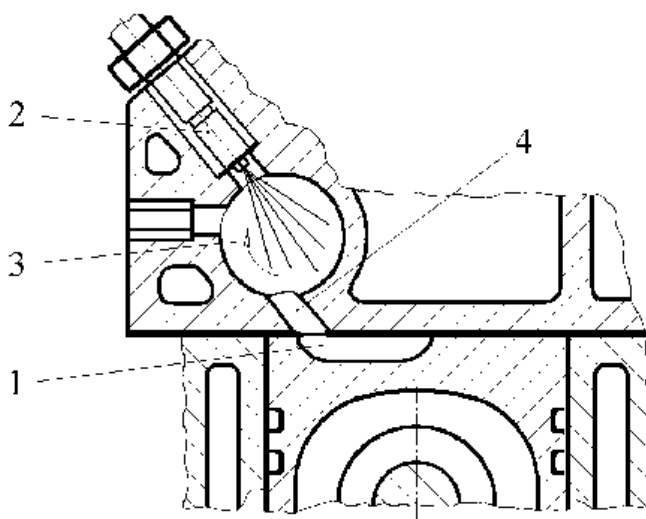


hoření a tím celkovou účinnost je správné rozprášení paliva, které úzce souvisí s tvarem válce motoru, umístěním trysky ve spalovacím prostoru a také s tlakem jakým je palivo rozprašováno ve spalovacím prostoru. Snahou je vytvoření homogenní směsi rozprášeného paliva se vzduchem, která přesně odpovídá aktuálním potřebám dané jízdní situace. U moderních vznětových motorů se celková účinnost motoru pohybuje kolem 40%.

Vstřikovací systémy vznětových motorů obecně rozdělujeme na systémy s přímým a nepřímým vstřikováním paliva, můžeme se setkat i s rozdělením spalovacích prostor na systémy s děleným spalovacím prostorem (nepřímým vstřikem paliva) a na systémy s jednotným spalovacím prostorem (přímým vstřikem paliva). [1]

1.1 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY S NEPŘÍMÝM VSTŘIKEM PALIVA

Vstřikovací systémy s nepřímým vstřikem paliva se u vznětových motorů v současné době prakticky nepoužívají, tyto systémy byly již počátkem devadesátých let nahrazovány vstřikovacími systémy s přímým vstřikem paliva. Systémy s nepřímým vstřikem paliva měly malou účinnost, která souvisela s velmi jednoduchou konstrukcí palivového ústrojí (tyto systémy nepoužívaly vstřikovací ale pouze nízkotlaká dopravní čerpadla pro přesun paliva z nádrže do vstřikovače). Výhodou těchto systému je mechanická odolnost a nenáročnost na údržbu, stejně jako necitlivost na kvalitu paliva. Nároky na vstřikovací ventily jsou nižší než u systému s přímým vstřikem paliva, jak z hlediska vstřikovacích tlaků tak i reakční doby otevření a zavření ventilů. Nejpoužívanějším systémem s nepřímým vstřikováním je takzvaný komůrkový systém, využívající dělených spalovacích prostor, který je tvořen dvěma objemy spojenými jedním nebo více kanálky. Palivo je vstřikováno do komůrky v hlavě motoru. Komůrky mohou být buď vířivé (Peugeot, Ford), nebo tlakové (Mercedes-Benz). Dodávka paliva je zajišťována mechanickými pístovými čerpadly, pouze s minimálním množstvím řídicí elektroniky. Proti systému s přímým vstřikem je palivo hůře rozptýleno a hůře hoří, to má negativní vliv na kouřivost, emise i hlučnost motoru. Právě stále přísnější emisní normy zapříčinily nahrazování nepřímého vstřikování systémy s přímým vstřikováním. Motory s tímto systémem byly nejčastěji označovány podle způsobu plnění písmeny D a TD, D pro motory s atmosférickým plněním a TD pro motory s přeplňováním výfukovým turbodmychadlem. [1]; [3]



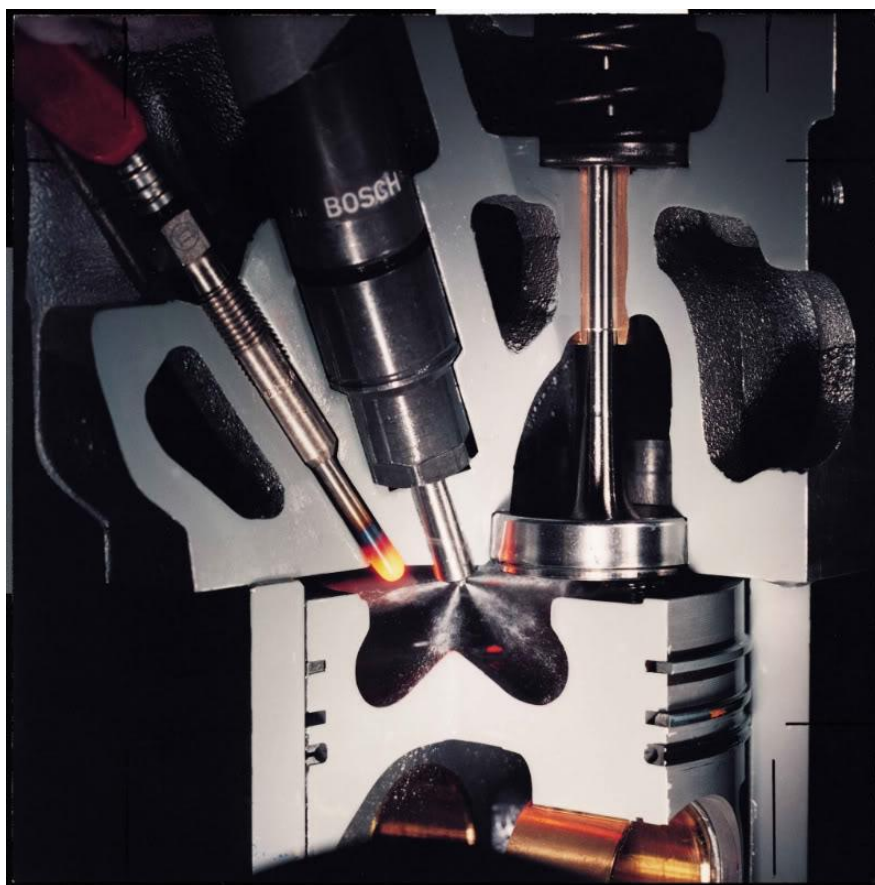
Obr. 1.2 – náčrtek vířivé komůrky[12]

1 – spalovací prostor, 2- vstřikovač, 3 – vířivá komůrka, 4 – kanálek spojující komůrku se spalovacím prostorem



1.2 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY S PŘÍMÝM VSTŘIKEM PALIVA

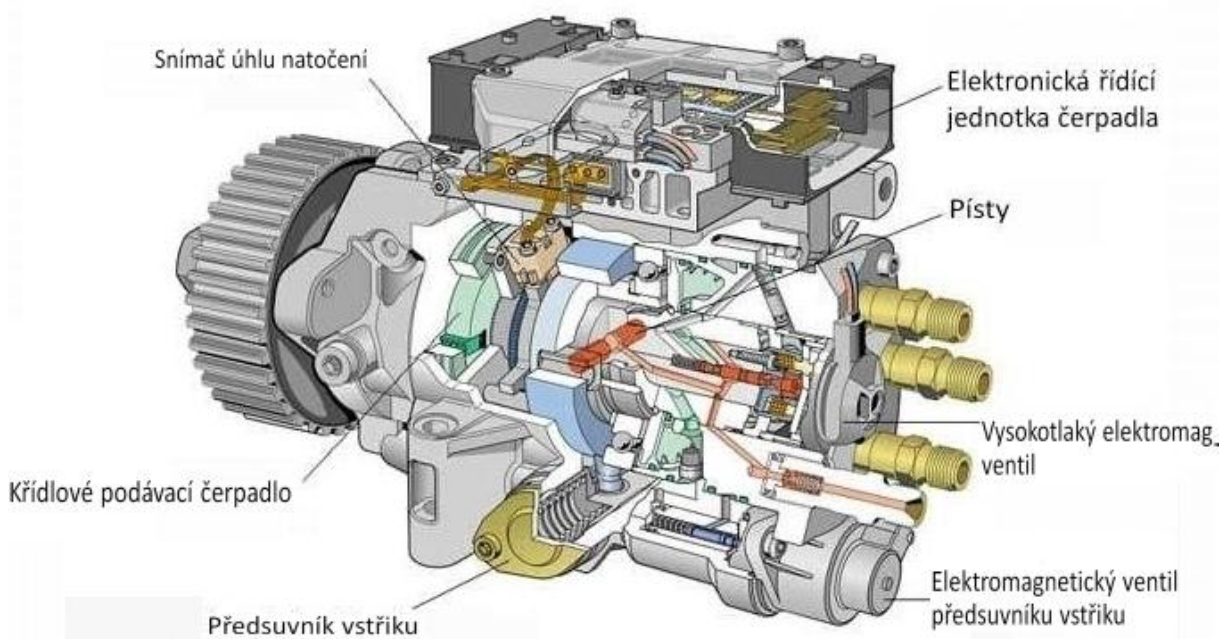
Vstřikovací systémy s přímým vstřikem paliva vstřikují palivo přímo do spalovacího prostoru nad pístem. Konstrukce motoru, například tvaru dna pístu musí být uzpůsobena právě tomuto faktu. Správné načasování vstřiku paliva má rozhodující vliv na kvalitu hoření paliva, na výkon motoru, jeho hlučnost i na složení emisí, u přeplňovaných motorů je navíc velmi důležitým parametrem i teplota výfukových spalin, které roztáčí lopatky turbodmychadla, jejich teplotu rovněž můžeme ovlivnit právě vhodným vstřikem paliva. Vstřikování paliva může u moderních motorů probíhat vícekrát za jeden pracovní cyklus, přičemž dílčí dávky paliva mají za cíl snížit hlučnost motoru, nebo například úpravu teploty výfukových plynů. Vstřikovací ventily systémů s přímým vstřikem paliva jsou ovládány elektronickou řídicí jednotkou motoru, v případě přímého vstřikování je používáno napětí kolem 100V (u systémů s nepřímým vstřikem se ovládací napětí pohybuje kolem 12V), důležitým parametrem je doba, za kterou lze ventil otevřít a zavřít a také průtoková charakteristika ventilu – množství paliva, které ventilem proteče při daném tlaku paliva za danou dobu. Samotná konstrukce vstřikovacích ventilů se liší podle konstrukce celého vstřikovacího systému. Na moderní vznětové motory jsou kladeny vysoké nároky z hlediska plnění emisních norem. Postupným zvyšováním vstřikovacích tlaků paliva docházelo k lepšímu rozprášení a následnému prohoření paliva, což má za následek vylepšení účinnosti i snížení obsahu škodlivin ve výfukových plynech. Další zlepšení plnění emisních norem přinesla dodatečná úprava spalin, například s pomocí fitru pevných částic (dnes běžná součást všech automobilů se vznětovými motory) nebo použitím oxidačních katalyzátorů. [1]



Obr. 1.3 – řez motorem VW se systémem common rail[13]

1.2.1 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY S ROTAČNÍM ČERPADLEM

Tyto systémy vstřikování využívají elektronicky řízené čerpadlo s rotačními písty, rotační čerpadla jsou využívána díky svým menším rozměrům a nižší hmotnosti oproti pístovým čerpadlům. Palivo je dopravováno podávacím čerpadlem k vysokotlakému a odtud následně do vstřikovacích ventilů umístěných v hlavě motoru. Pro různé modifikace tohoto systému bylo využíváno několik typů rotačních čerpadel, okrajově byla využívána i řadová vstřikovací čerpadla. Rotační čerpadla se podle konstrukce rozdělují na radiální – vybavené jedním pístem a na axiální – vybavené dvěma až čtyřmi písty. Radiální čerpadla dosahují díky své konstrukci vyšších vstřikovacích tlaků, proto jsou používanější. Regulace tlaku a množství vstřikovaného paliva je řízena vysokotlakými elektromagnetickými ventily, celý systém je řízen řídicí jednotkou motoru. Odměrování množství paliva je možné samostatně pro každý vstřikovací ventil, díky elektromagnetickému rozdělovacímu pístu. U systémů s rotačními čerpadly jsou veškeré signály řídicího systému zpracovávány ve dvou řídicích jednotkách (motoru a čerpadla), mezi nejpoužívanější typy čerpadel patřily systémy VP30 a VP 44 od firmy Bosch. Výhodou systému je nízká spotřeba paliva a mechanické spolehlivost rotačního čerpadla, rotační čerpadlo není na rozdíl od systému common rail nebo čerpadlo tryska, citlivé na kvalitu paliva. Právě díky těmto vlastnostem si motory Volkswagen TDI prosluly svojí spolehlivostí a životností. Nevýhodou je hrubý chod motoru a horší emise, tyto motory vyhovovaly normám Euro 2 a 3.[1]

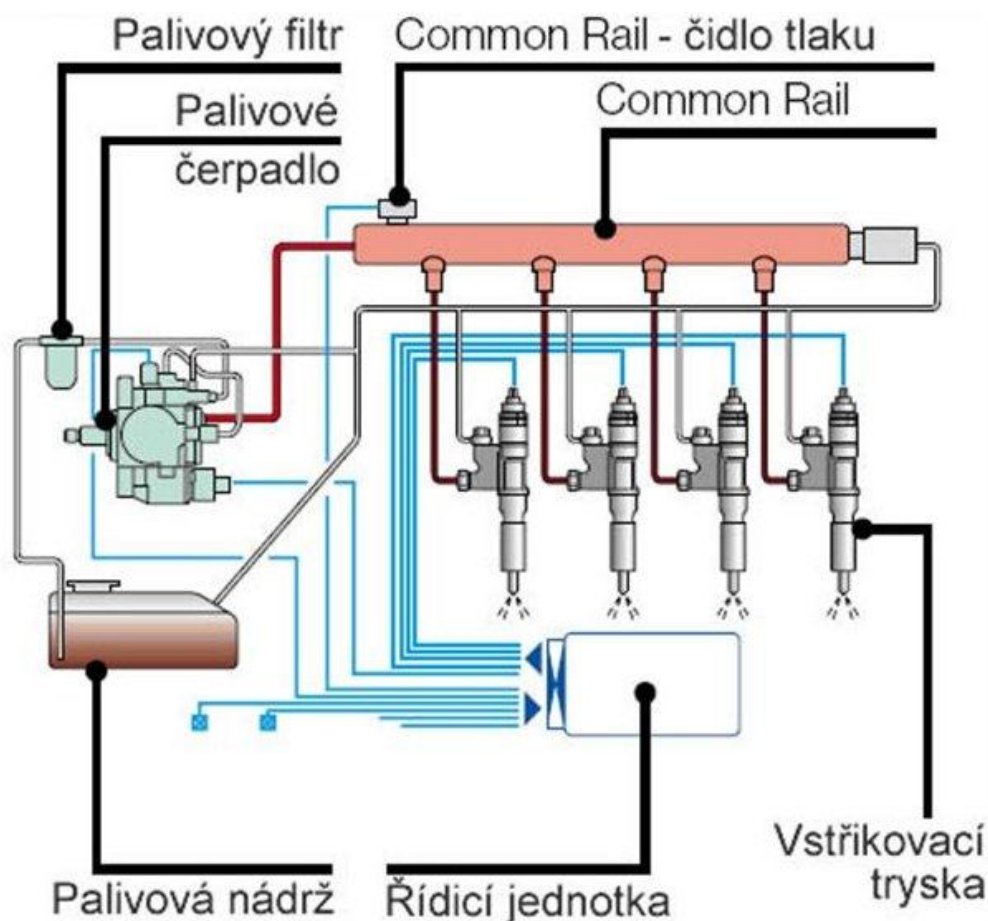


Obr. 1.4 – řez rotačním vstřikovacím čerpadlem s axiálními písty VP44 [14]

1.2.2 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY COMMON RAIL

Systém common rail je elektronický systém vysokotlakého přímého vstřikování nafty, jehož charakteristickou částí je zásobník stlačeného paliva (rail), jeho použití má zásadní vliv na charakteristiku celého systému, díky jeho použití je tlak paliva nezávislý na otáčkách motoru a má konstantní hodnotu pro všechny vstřikovače. Podstatou systému je, že je odděleno vytváření tlaku a vstřikování, to systému umožňuje pružněji reagovat oproti

systémům např. s radiálním čerpadlem. První prototyp tohoto systému vyvinul koncem 60. let švýcar Robert Huble, v roce 1994 odkoupila patenty tohoto systému společnost Bosch, která v roce 1997 rozběhla první motor právě s tímto systémem vstřikování, který je v současnosti nejvíce rozšířen, vedle společnosti Bosch se vývojem a výrobou tohoto systému zabývají také další společnosti, např. Denso, Magneti-Marelli, Siemens-VDO a další. Systém common rail je v neustálém vývoji v současnosti se používá již 4. generace tohoto systému. Systém common rail se skládá z nízkotlaké, vysokotlaké části a z řídicí elektroniky. Nízkotlaká část má za cíl přivést palivo z nádrže před palivový filtr k vysokotlakému čerpadlu, kde je tlak vytvářen nezávisle na běhu motoru, odtud je pak palivo dopravováno vysokotlakým potrubím do zásobníku (railu) a přímo do vstřikovačů. Množství vstřikovaného paliva je řízeno sešlápnutím plynového pedálu přes elektronickou řídicí jednotku, která určuje okamžik vstřiku a vstřikovací tlak podle řídicích map uložených v jednotce. Řídicí jednotka vyhodnocuje a během jízdy ovládá množství dalších údajů, např. plnicí tlak turbodmychadla, údaje o teplotě oleje, tlak oleje atd. a tím zajišťuje optimální spotřebu paliva i dynamiku motoru. [4],[5]



Obr. 1.5 Schéma vstřikovacího systému common rail [15]

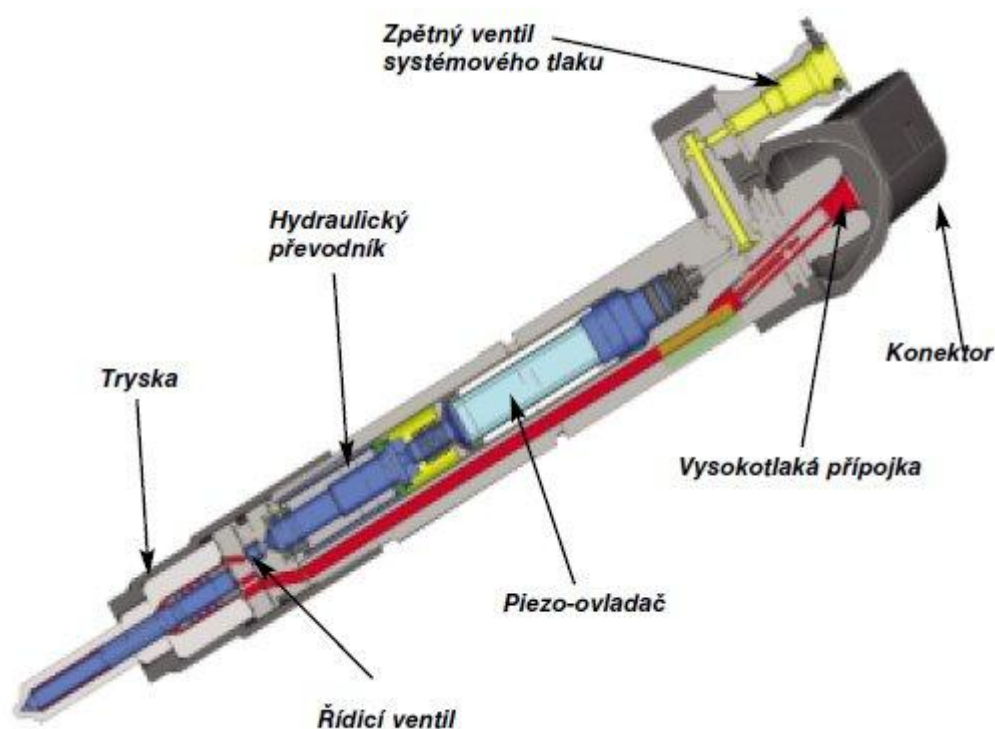
Prvního použití v sériové výrobě se systém common rail dočkal v roce 1999 v motorech automobilky Fiat s označením JTD, v dnešní době je rozšířen jak v osobních tak i nákladních vozech se vznětovými motory. První generace systému common railu začínala při sériové výrobě na tlaku 145 MPa (1450bar), jako vysokotlaké čerpadlo bylo použito čerpadlo s radiálními písty ve hvězdicovém uspořádání s označením CP1, specialitou těchto čerpadel bylo, že při nižší zátěži byly schopny vypnout některé písty a tím zefektivňovat celý systém



tlakování paliva. K ovládání vstřikování byly použity solenoidové (elektromagnetické) vstřikovače. V roce 2001 byla do výroby zavedena 2. generace systému common rail, která dosahovala maximálního provozního tlaku 160 MPa (1600bar), pro stlačování paliva se používala zdokonalená verze vysokotlakého čerpadla CP1 označovaná jako CP2, která bylo byla napojena na měřicí systém palivové soustavy a tak docházelo ke stlačování přesně potřebné dávky paliva, čímž došlo k dalšímu zlepšení účinnosti celého systému. U této generace se poprvé objevil vícenásobný vstřik paliva během jednoho pracovního cyklu. K ovládání vstřikování byly využívány elektromagnetické vstřikovače jako u 1. generace tohoto systému. V roce 2003 byla představena 3. generace tohoto systému, poprvé s piezoelektrickými vstřikovacími ventily, které měli reakční dobu cca 0.1ms (zhruba poloviční doba proti elektromagnetickým ventilům), tyto vstřikovače dále přinesly úsporu hmotnosti. V tomto systému byla rovněž použita další evoluce vysokotlakého čerpadla s názvem CP3, jež dosahovalo maximálního tlaku paliva 180 MPa (1800bar). Piezoelektrické vstřikovací ventily mají v porovnání s klasickými elektromagnetickými ventily výrazně rychlejší odezvy a zvládají i vyšší tlaky paliva, jejich zásadní nevýhodou je však cena, která je několikanásobně oproti elektromagnetickým ventilům, ovládání piezoelektrických ventilů probíhá napětím 150V – pro srovnání u nepřímého vstřikování je ovládací napětí 12V, u přímého kolem 100V. V roce 2008 byla představena zatím poslední 4. generace systému common rail, s max. pracovním tlakem 220 MPa(2200bar), tato generace znamenala návrat ke klasickým elektromagnetickým ventilům pro nižší výkonové řady, u vyšších se zůstalo u piezoelektrických vstřikovačů. Další inovací prošlo i vysokotlaké pístové čerpadlo, označované jako CP4. Vývoj systému common rail neustále běží, pro připravovanou pátou generaci se počítá se vstřikovacími tlaky kolem 220 až 230 MPa (2200 až 2300bar). Vstřikovací tlak paliva má zásadní vliv na rozprášení a následné hoření paliva ve spalovacím prostoru, což má zásadní vliv na výkon motoru, jeho účinnost, plnění emisí i na jeho hospodárnost a celkový komfort a bezpečnost cestování. Testování vstřikovacích ventilů se zaměřuje zejména na rychlost a přesnost odezvy ventilu na povel řídicí jednotky .[5];[6]



Obr. 1.6 Řez vysokotlakým čerpadlem Bosch CP3[16]



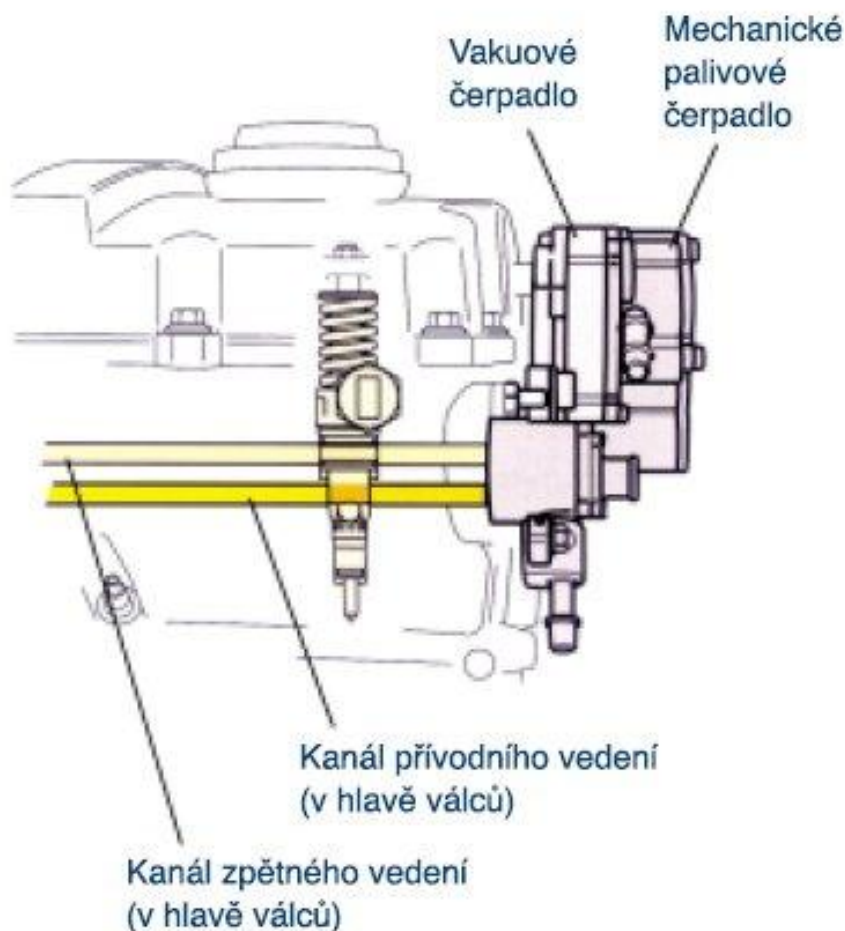
Obr. 1.7 – řez piezoelektrickým vstřikovacím ventilem Bosch[17]

1.2.3 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY ČERPADO-TRYSKA

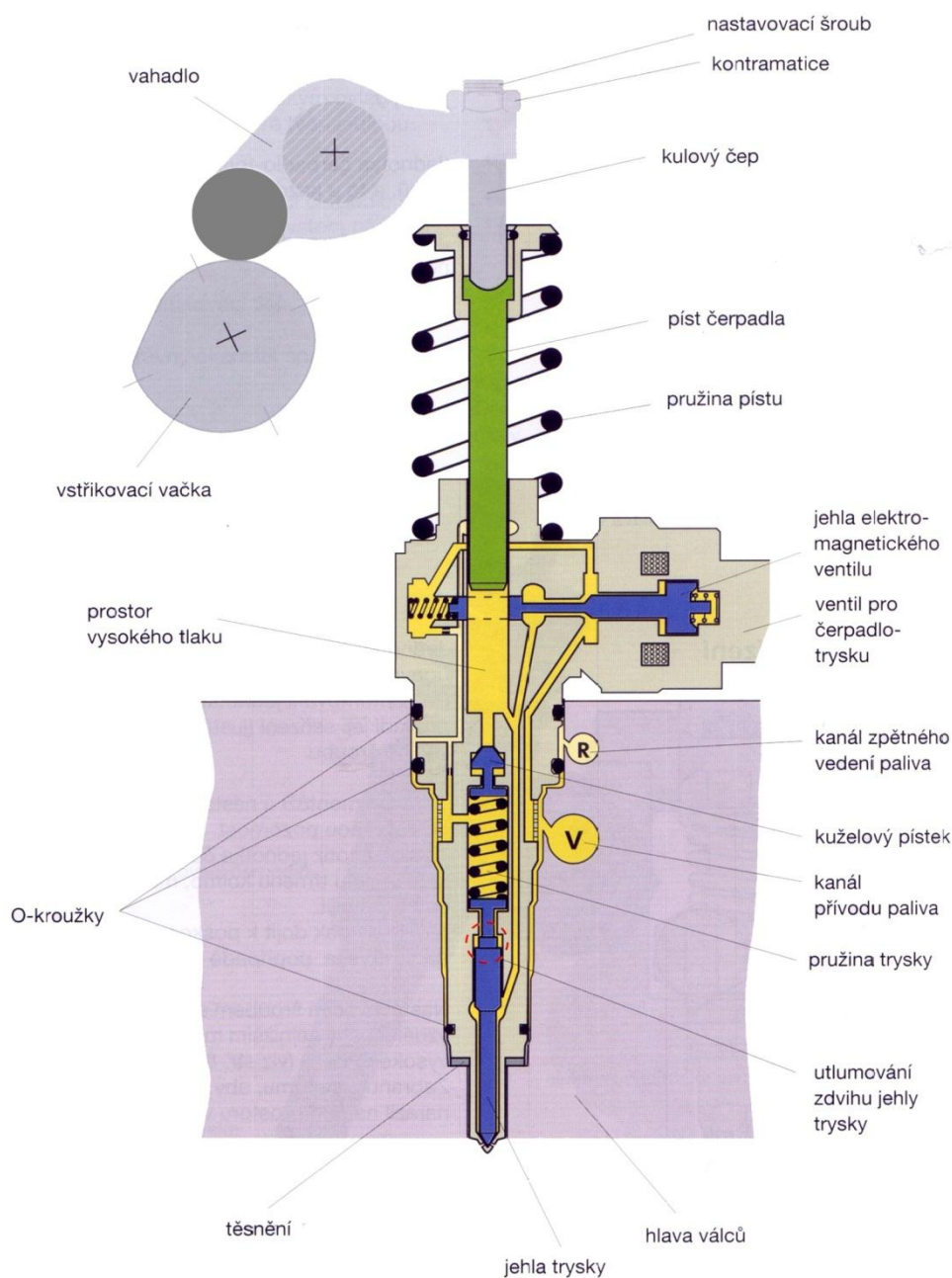
Jednotka čerpadlo-tryska, německy PDE (Pumpe-duse-unit), anglicky UIS (Unit-injection-system) je systém vstřikování nafty, který byl patentován již v roce 1905 Rudolfem Dieselem. Systém se dočkal jakési renesance koncem devadesátých let, kdy byl používán nejprve u nákladních a později i osobních vozidel koncernu zejména VW se vznětovými motory. Tento systém vstřikování kombinuje v jedné jednotce vysokotlaké čerpadlo a vstřikovací trysku, samostatně pro každý válec, tyto komponenty spolu tvoří tzv. sdruženou vstřikovací jednotku. Výhodou tohoto řešení je, že odpadá vysokotlaké vedení paliva z čerpadla do trysky (u systému common-rail z čerpadla do railu a následně do trysky), tento systém je schopen pracovat s maximálními tlaky paliva kolem 200 MPa a tím zlepšovat rozprášení paliva, následné hoření a tím pádem i výkon a emise motoru. Celý systém má několik zvláštností, které jej odlišují od ostatních vstřikovacích systémů. Palivo je z nádrže dopravováno do takzvaného tandemového čerpadla umístěného na zadní straně vačkového hřídele. Tandemové čerpadlo je složeno z mechanického palivového čerpadla s plovoucími lamelami, které jsou odtlačovány pružinkami na rotor (dosahuje tlaku i při minimálních otáčkách) a z podtlakového čerpadla. Vstřikovací jednotka je poháněná od vačkového hřídele motoru, přísun paliva je zajištěn trubicí integrovanou v hlavě válců (kvůli rovnoměrnému ohřátí paliva). Každá jednotka má rovněž integrovaný filtr paliva. Samotný vstřikovací ventil je ovládán spolu s čerpadlem elektromagneticky, to klade značné nároky na řídicí elektroniku vstřikovacího systému, která se musí vypořádat se strmými křivkami proudových impulsů. Vstřikování paliva můžeme rozdělit do dvou fází: předvstřik a hlavní vstřik. Předvstřik je nutný pro rovnoměrný a klidný chod motoru, snahou je, aby byl co nejkratší, zejména s ohledem na spotřebu. Předvstřik je řízen hydromechanicky, řídicí jednotka určuje pouze jeho počátek. Vstřikovací tlak roste úměrně s výkonem motoru. Motory se systémem čerpadlo



tryska mají při volnoběžných otáčkách vyšší vstřikovací tlaky než systémy common rail, což způsobuje hrubší chod motorů. Systémy čerpadlo tryska byly koncipovány pro plnění emisních norem EURO 3 a 4, pro plnění EURO 5 musely být dovybavovány dodatečnými systémy pro úpravu výfukových splodin – fitry pevných částic a oxidačními katalyzátory. V současné době jsou systémy čerpadlo-tryska využívány jen minimálně, přibližně od roku 2008 jsou postupně nahrazovány vstřikovacími systémy common rail. [7]



Obr. 1.8 Schéma umístění komponent systému čerpadlo-tryska[18]



Obr. 1.9 náčrtek sdružené vstřikovací jednotky systému čerpadlo tryska[19]

Výhodou systému čerpadlo tryska je, že tento systém je méně citlivý na kvalitu paliva, to že systém dostahuje velmi vysokých vstřikovacích tlaků a motory s tímto vstřikovacím systémem mají velmi dobrý průběh výkonu a točivého momentu, v neprospěch tohoto systému hovoří konstrukční složitost hlavy válců, horší možnosti ovládání vstřiku paliva, vyšší hlučnost a s tím spojený méně kultivovaný chod motoru. Systém common rail má výhodu v konstantní vstřikovací tlaku paliva, má lepší ovládání vstřikovaného paliva, motory s tímto systémem mají kultivovanější chod i nižší emise. Proto je tento systém v současnosti nejpoužívanější.



2 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY

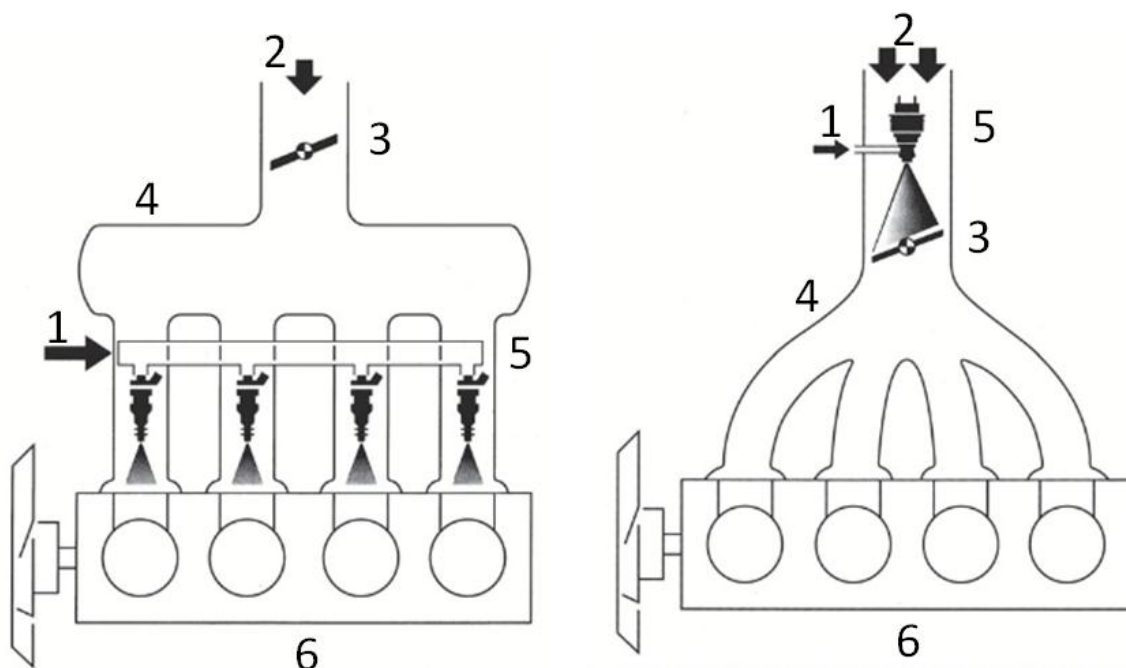
Zážehové motory využívali na počátku svého vývoje k přípravě palivové směsi mechanické systémy – takzvané karburátory, což byly v podstatě nádoby, ve kterých docházelo k promíchání přiváděného paliva se vzduchem, z karburátoru následně tato směs putovala přímo do válců. Množství přiváděného paliva bylo ovládáno nejčastěji posuvem jehly karburátoru, která byla mechanicky spojena s plynovým pedálem nebo rukojetí – tyto systémy jsou dodnes využívány v malých spalovacích motorech například u skútrů nebo zahradní techniky, které nejčastěji pracují jako dvoutaktní. Se zvyšujícími se nároky na hospodárnost a plnění emisních norem začal vznikat tlak na optimalizaci spalovacího procesu a dávkování paliva a to jak z hlediska množství tak i načasování dávkování, těmto nárokům přestaly karburátorové systémy vyhovovat, proto byly postupně nahrazovány systémy s elektronickým vstřikováním paliva – nejprve s nepřímým vstřikováním a později systémy s přímým vstřikováním. Motory s elektronickým vstřikováním dosahují v důsledku lepšího plnění spalovacích prostor motoru vyššího měrného výkonu a lepší charakteristiky točivého momentu. [1]

Vzhledem k celkově jinému principu fungování zážehových motorů nejsou na vstřikovací systémy kladeny tak vysoké nároky jako je tomu u motorů vznětových, zejména z hlediska tlaku paliva, se kterým systém pracuje, dnešní nejmodernější přímovstřikové motory například se systéme FSI (fuel stratified inject) od Volkswagenu pracují s tlakem do 10 MPa, což je hodnota řádově nižší oproti vstřikovacím systémům vznětových motorů. U zážehových motorů není zapotřebí vstřikovat palivo během jednoho cyklu více než jednou. Vzhledem ke zmíněným odlišnostem je odlišná jak konstrukce celého palivového systému, tak i vstřikovacích ventilů. V současné době rozeznáváme tři druhy vstřikování paliva: jednobodové nepřímé vstřikování, vícebodové nepřímé vstřikování a přímé vstřikování. Ještě cca do roku 2004 byla naprostá většina zážehových motorů vybavena systémy s nepřímým vstřikováním paliva do sacího potrubí, prudký rozvoj nastal až s příchodem systému s přímým vstřikováním paliva (systémy FSI, TSI- od Volkswagenu, nebo systém HPI od BMW), které přinesly vyšší účinnost, lepší výkonnost i emise motoru. [8], [9]

2.1 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY S NEPŘÍMÝM VSTŘIKEM PALIVA

Systémy s nepřímým vstřikem paliva vstřikují palivo do sacího potrubí, kde po smísení se vzduchem vzniká palivová směs. Základní rozdělení těchto systémů je na systémy s jednobodovým, neboli centrálním (označované zkratkou CPI – Central Place Inject) vstřikováním, kdy je palivo vstřikováno do hlavy válců v jednom místě a následně rozváděno do jednotlivých válců a na systémy s vícebodovým vstřikováním (označované zkratkou MPI – Multi Place Inject), u kterých je palivo vstřikováno zpravidla pro každý válec zvlášť. Z uvedeného rozdělení vyplývají charakteristiky jednotlivých systémů. Jednobodové vstřikování je nenáročné na řízení množství vstřikovaného paliva, vhodné pro motory s výkonem do 80kW a max. počtem válců 4. Vstřikování probíhá přerušovaně, jeho nevýhodou je možný rozdíl v bohatosti směsi pro každý válec a z toho plynoucí nelineární charakteristika motoru – to se snažíme odstranit vhodným umístěním centrálního vstřikovacího ventilu (zpravidla bývá umístěn ve střední části sacího potrubí nad škrtkou), výhodou je jednoduché řízení celého systému, ve které je ovládán pouze jeden ventil pro celý motor. Tento systém je nevhodný a v současnosti se prakticky nepoužívá. Vícebodové vstřikování je modernější a účinnější než vstřikování jednobodové, dávkování

paliva je řízeno pro každý válec a může být kontinuální nebo přerušované, což umožňuje správně nastavit bohatost směsi. Nevýhodou tohoto systému je složitější ovládání. Tyto systémy vstříkují palivo jednou za pracovní cyklus motoru. Palivo z nádrže bývá dopravováno podávacím čerpadlem (u vícebodového vstřikování přes palivovou rampu) přímo do vstřikovacího ventilu. Celý vstřikovací systém pracuje s nízkými tlaky paliva (do 1 MPa). Ventily bývají nejčastěji řízeny elektromagneticky z řídicí jednotky, u starších motorů mechanicky. Příkladem použití tohoto systému je L-Jetronic od firmy Bosch. [8]



Obr. 2.2 – schéma vícebodového a jednobodového nepřímého vstřikování [20]

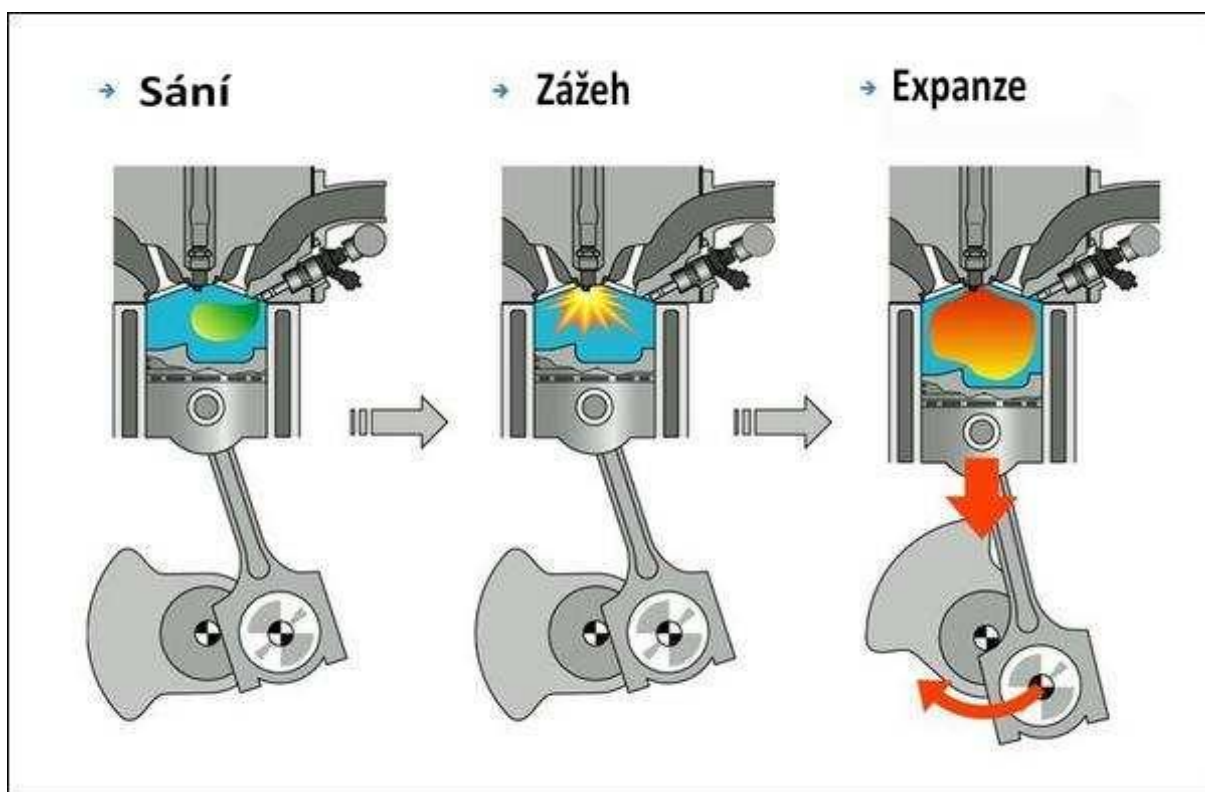
1 – přívod paliva, 2 – přívod vzduchu, 3 – škrticí klapka, 4 – sání, 5 – vstřikovač, 6 – válce motoru

2.2 VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY S PŘÍMÝM VSTŘIKEM PALIVA

Vysoké nároky kladené na hospodárnost, výkon a nízký obsah škodlivin ve spalínách dnes nejlépe splňují motory s elektronicky řízeným přímým vstřikováním benzínu. U motorů s těmito systémy je benzín vstřikován přímo do spalovacího prostoru. První systém s přímým vstřikem vyvinula v roce 1997 automobilka Mitsubishi pod názvem GDI (Gasoline Direct Injection). Masivnějšího rozšíření se tento systém dočkal v roce 2004, kdy automobilka VW zavedla systém FSI – systém přímého vstřikování s vrstveným spalováním. Zavedením tohoto systému došlo ke zlepšení dynamických vlastností motoru (výkonu a točivého momentu), ke snížení spotřeby v závislosti na podmínkách provozu v rozmezí od 5 do 40% a k trvalému snížení emisí CO_2 a obsahu škodlivin ve spalínách. Obdobné systémy dnes nabízejí prakticky všechny automobilky pod různými názvy, např. u BMW jde o systém HPI. Přímé vstřikování zároveň zlepšilo možnosti optimalizace dávkování paliva do válců v závislosti na provozních podmínkách motoru oproti systémům s nepřímým vstřikováním, kdy regulace probíhá právě přes množství vstřikovaného paliva, tím lze ovlivnit i bohatost směsi a průběh hoření paliva. Z výše uvedené charakteristiky vyplývá, že na vstřikovací ventily přímého vstřikování a jejich ovládání jsou kladeny vyšší nároky než na systémy s nepřímým vstřikem a to zejména v oblasti správného tlaku vstřikovaného paliva, přesném dávkování množství, správného

načasování vstřiku a přesného umístění ve spalovacím prostoru. Pro dodávku paliva se používá klasické podávací zubové čerpadlo, které dopravuje palivo k vysokotlakému nejčastěji radiálnímu pístovému čerpadlu. Dlouhou dobu se nedařilo spojit systémy s přímým vstřikem s přeplňováním, kdy vznikal problém se špatným poměrem paliva a množství vzduchu ve válci. [8]

Motory se systémem FSI pracují ve 3 provozních režimech rozdělených dle bohatosti směsi. Bohatost směsi je upravována podle aktuální jízdní situace – je-li motor v nízkých otáčkách a není potřeba plného výkonu pracuje systém s tzv. vrstvenou směsí v tomto uspořádání jsou uzavřeny ovládací klapky v sání tak, aby došlo k urychlení proudění vzduchu a palivo je vstřikováno těsně před zážehem. Speciálně tvarované dno pístu zajišťuje vytvoření oblaku směsi paliva (kompresní poměr 14,7:1) a vzduchu vzhledem k zapalovací svíčce, hoření probíhá v tomto oblaku, který zabraňuje tepelným ztrátám a tak zlepšuje celkovou účinnost. S rostoucí potřebou výkonu systém plynule přechází do systému homogenního spalování (při vyšších otáčkách by nebylo dost času na vytvoření správné směsi palivového oblaku a došlo by k zhoršení emisí motoru). Při homogenním spalování zůstávají ovládací klapky v sání otevřené a palivo je vstřikováno v průběhu sacího taktu (kompresní poměr 12:1). Jako přechodný režim je používán režim homogenního spalování s chudou směsí. [9]



Obr. 2.3 Přehled cyklů zážehového motoru s přímým vstřikováním paliva. [21]



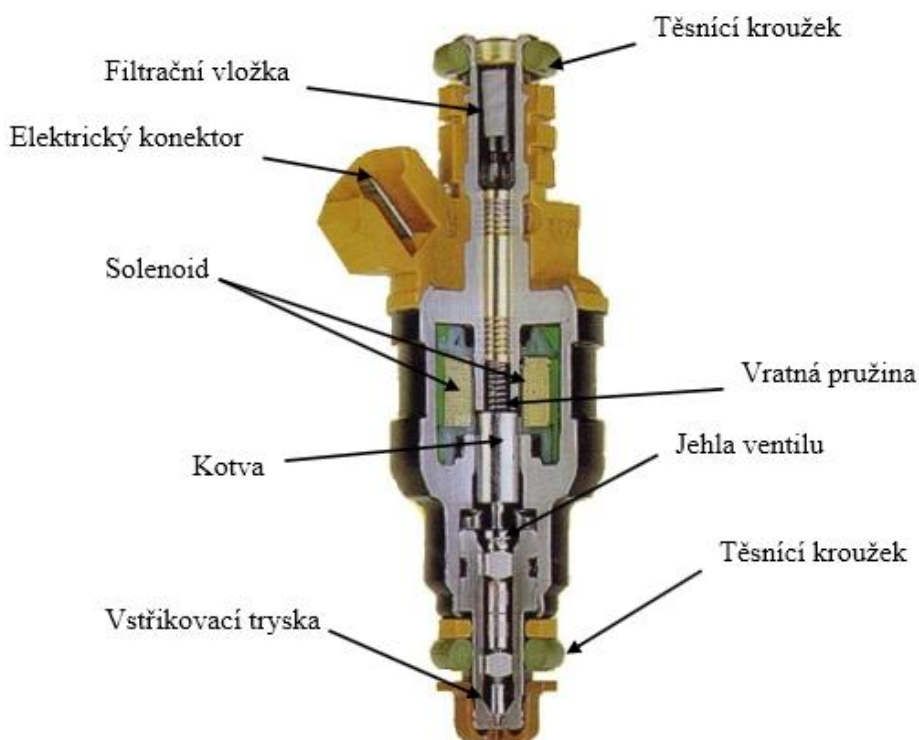
Obr. 2.4 – Princip vrstveného spalování v porovnání s homogenním.[22]

Rozdíly mezi vstřikovacími ventily pro přímý a nepřímý vstřik jsou zejména ve tvaru trysky, kdy u nepřímého vstřiku máme jiný tvar palivového kužele než u přímého vstřiku, další rozdílem je tlak se který musí palivový systém i ventil zvládnout, zatím co u nepřímého vstřikování se jedná řádově o jednotky baru (0,1 MPa), tak u přímého vstřikování např. u vznětových motorů se setkáváme s tlaky kolem 2000 barů (200MPa). Ventily pro přímý a nepřímý vstřik se liší také svým umístěním v motoru. Dalším rozdílem je náročnost ovládání, ta je výrazně vyšší u motorů s přímým vstřikem paliva, u těchto systémů je rovněž zapotřebí vyššího napájecího napětí (pracovní napětí je kolem 100V, pro porovnání nepřímý vstřik pracuje s napětími kolem 12V).

3 PRINCIP FUNKCE VSTŘIKOVACÍHO VENTILU

Pro různé systémy elektronického vstřikování jsou kladeny rozdílné nároky z hlediska přesnosti dávkování paliva, počtu dávkování paliva během pracovního cyklu a z hlediska rozdílných vstřikovacích tlaků. Vstřikovací ventily pro zážehové motory rozdělujeme na ventily pro vícebodové a přímé vstřikování a na ventily pro nepřímé jednobodové vstřikování. Jak vyplývá z konstrukce jednotlivých systémů, systémy pro vícebodové nepřímé a přímé vstřikování mají pro každý válec motoru vlastní vstřikovací ventil, v případě nepřímého vícebodového vstřiku dopravují tyto ventily přesně určené množství paliva do sacího potrubí blízko sacího ventilu, to je důležité pro správné promísení směsi a dobré hoření palivové směsi ve válci. Pro nepřímé vstřikování benzínu se používají dva základní typy vstřikovacích ventilů a to typ s přívodem paliva shora (tzv. top-fleed) a s přívodem paliva zespodu (tzv. bottom-fleed). Vstřikovací ventily pro přímé vstřikování dopravují palivo přímo do spalovacího prostoru v daný okamžik a to jak u zážehových tak u vznětových motorů. [1]; [10]

Zaměříme se na rozbor principu funkce vstřikovacího ventilu pro nepřímé vícebodové vstřikování u zážehového motoru. Vstřikovací ventil je ovládán elektronicky z řídicí jednotky motoru (popř. řídicí jednotky vstřikování). V případě nepřímého vstřikování je k ovládání vstřikovacího ventilu použito palubní napětí kolem 12V. Otevření ventilu je realizováno sepnutím elektrického obvodu (záporné strany na kostru), při tomto procesu začne v těle ventilu vznikat el. proud, generující magnetické pole, která nadzdvihne jehlu ventilu o 60 až 100 μm a tím umožní průtok paliva přes kalibrovaný vstřikovací otvor do sacího potrubí, při rozpojení tohoto obvodu dojde k uzavření ventilu. V závislosti na pracovním režimu motoru (otáčkách, zatížení) se doba otevření ventilu pohybuje v intervalu 1,5 až 18ms. Ventily jsou takto ovládány s vysokou frekvencí, která je přímo úměrná otáčkám motoru s ohledem na

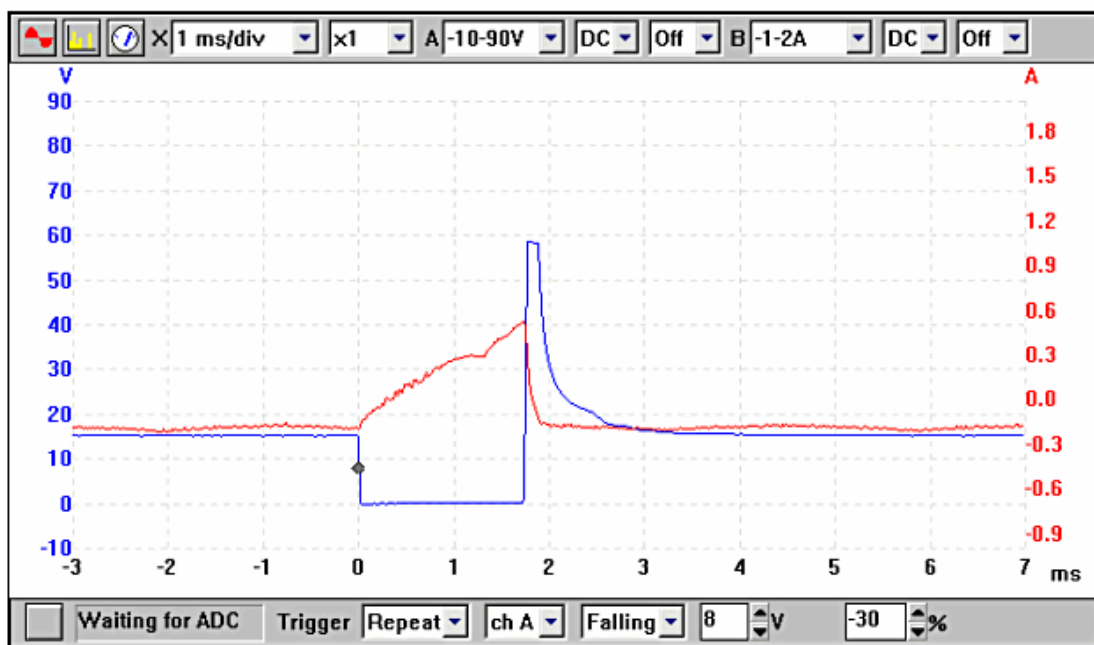


Obr. 3.1 – řez vstřikovacím ventilem nepřímého vstřikování [23]



konstrukci (počet ventilů). Tyto systémy se při deceleraci (brždění motorem) samočinně vypínají – motor má nulovou spotřebu. [1]; [10]

Množství vstřikovaného paliva je řízeno dobou, po kterou je ventil otevřen, začátek vstřiku je pevně dán, mění se délka jeho trvání. Průtok paliva během vstřiku není konstantní, je udáván vstřikovací charakteristikou ventilu, která má zásadní vliv na vstřikovací charakteristiku celého systému. Z tohoto hlediska je velmi důležité zvolit optimální vstřikovací systém v závislosti na požadovaných vlastnostech. Velmi důležitým parametrem při testování vstřikovacích ventilů je proudová a napěťová charakteristika (signál), se kterým ventil pracuje. Proudovou a napěťovou charakteristiku během jednoho pracovního cyklu nejlépe zachycuje oscilogram – viz. obr. 3.2. [24]



Obr. 3.2 – Proudová a napěťová charakteristika vstřikovacího ventilu[24]

Červená linka ukazuje závislost proudu na čase, na začátku vstřikovacího cyklu je prakticky konstantní, začne rust až v okamžiku sepnutí ventilu, tedy když ventil zareaguje na signal řídicí jednotky, v tom okamžiku dochází ke generování elektromagnetického pole a k postupnému otevírání jehly ventilu, v tomto úseku dochází k elektronickému vstřikování paliva. Zhruba ve $\frac{3}{4}$ této doby dochází ke konci pohybu jehly (čára je na malou dobu konstantní), poté dochází k rozpojení el. obvodu, začíná slábnout magnetické pole. Postupně dochází k ustálení proudové křivky na původní hodnotu. Modrá linka zobrazuje závislost napětí na čase, při otevření ventilu dochází k poklesu napětí, které se vrací na původní hodnotu při ukončení otevírání ventilu (resp. pohybu jehly), následuje napěťová špička, vzniklá v důsledku zániku elektromagnetického pole. Po dosažení napěťové špičky dochází k postupnému poklesu napětí na původní hodnotu. Při tomto poklesu dochází k vytvoření induktivního výkyvu v poklesu, který je způsoben zastavením pohybu jehly ventilu. [10]

Možnosti diagnostiky vstřikovacích ventilů jsou vymezeny jejich použitím, velmi důležitým parametrem je tzv. vstřikovací charakteristika ventilu – jaké množství paliva je ventil schopen



vstříknout při daném tlaku, tato charakteristika je velmi důležitá, zejména měníme-li tlak paliva v palivové soustavě. Další důležitou vlastností je tvar palivového kužele, ve kterém je palivo rozprašováno. Pro měření těchto vlastností se používají testovací stolice.

4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO TESTOVÁNÍ VSTŘIKOVACÍCH VENTILŮ

Úkolem bylo vytvoření návrhu zařízení, které by sloužilo pro testování, diagnostiku a zejména zjišťování průtokových charakteristik daného ventilu v závislosti na tlaku paliva a době otevření vstřikovacího ventilu pro systémy nepřímého vstřikování benzínu. Bylo nutné navrhnout zařízení, které by splňovalo výše popsané úkoly a přitom bylo nenáročné na pořízení, obsluhu i případnou modifikaci, například pokud se rozhodneme testovat jiný typ vstřikovacích ventilů. Využití těchto zařízení je především pro experimentální účely při návrhu, případně ověření parametrů vstřikovacích systémů a také pro diagnostiku vstřikovacích ventilů v servisech. Taktéž důležitou vlastností vstřikovacího ventilu je tvar paprsku paliva (palivového kužele), který je důležitý pro co nejlepší promísení paliva se vzduchem. Špatně fungující vstřikovací ventil výrazně zhoršuje funkčnost celého palivového systému a tím pádem i celého motoru, nesprávná funkce vstřikovacího ventilu má za následek zvýšení spotřeby paliva, nerovnoměrnost chodu motoru a především zhoršení emisí a v neposlední řadě může vést i k poškození motoru.

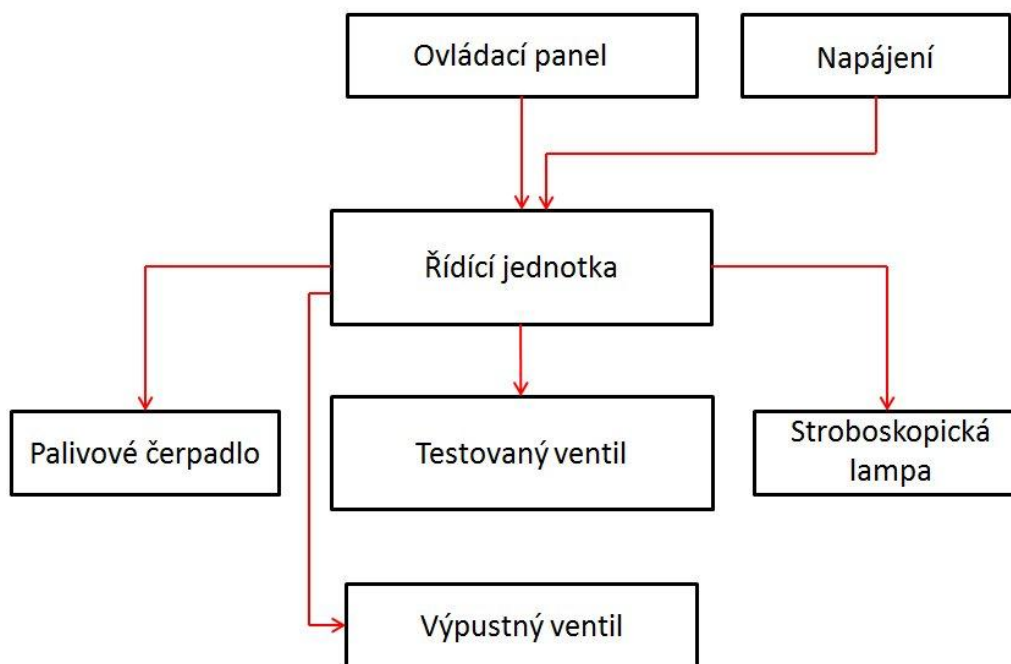


Obr. 4.1 Vstřikovací ventil Bosch pro motory s nepřímým vstřikem benzínu[25]

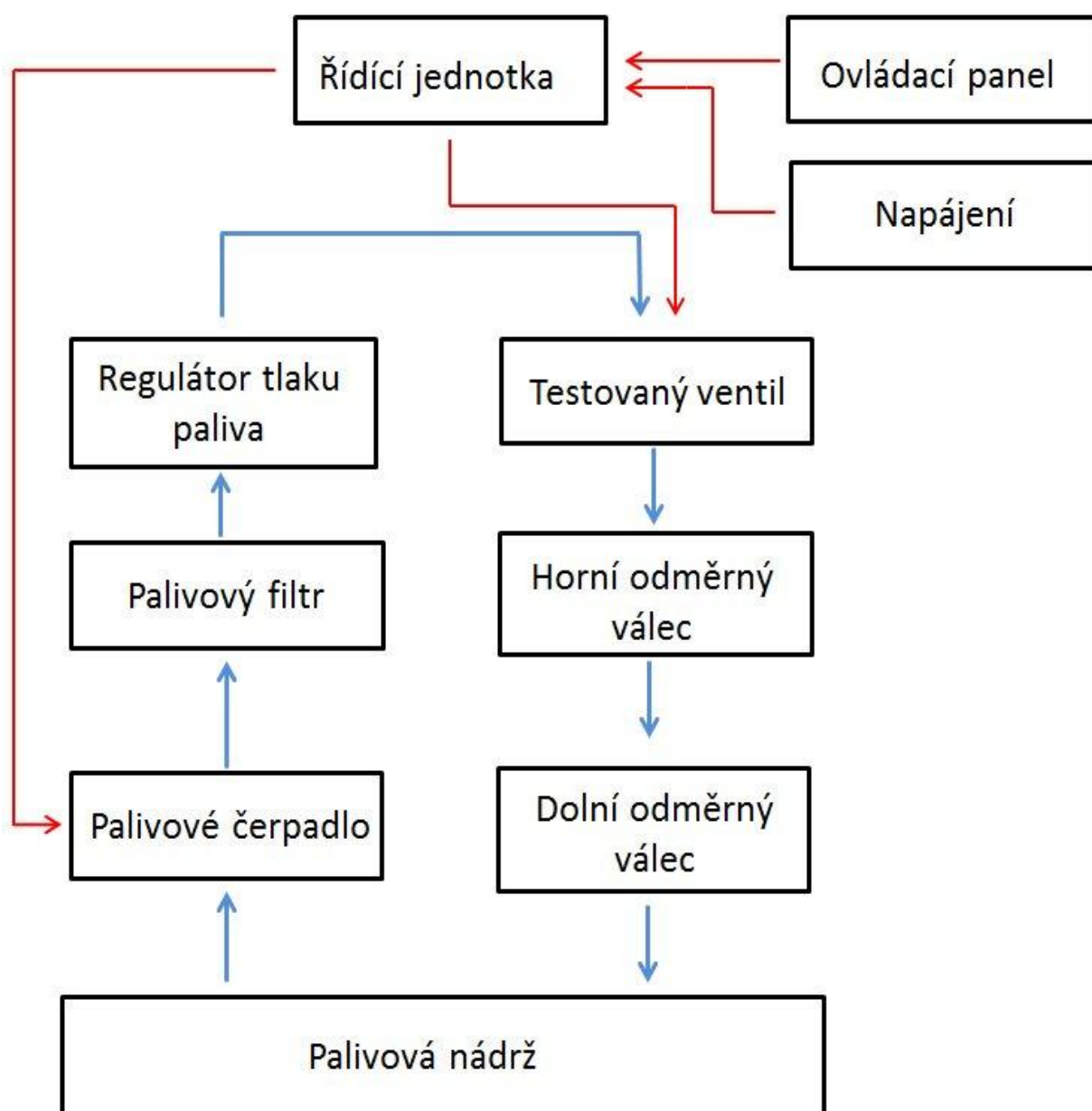
Samotné zařízení pro testování vstřikovacích ventilů by mělo simulovat reálné podmínky provozu vstřikovacího ventilu, Současně by mělo umožňovat změnu jeho ovládacích parametrů a sledování vlivu těchto úprav na tvar a kvalitu palivového paprsku (palivového kužele). Tato data nám umožní získat přehled o vlastnostech vstřikovacího ventilu pro zadané parametry (např. změna kvality rozprašení vstřikovacího kužele pro dané hodnoty tlaku a průtoku). Zařízení by se mělo skládat z palivové soustavy, která je tvořena



nádrží na palivo (resp. testovací kapalinu se stejnými vlastnostmi jako má skutečné palivo), palivovým čerpadlem, palivovým filtrem, mechanickým regulátorem tlaku paliva, dále pak lištou, na kterou jsou upevněny samotné vstřikovací ventily, které se opírají o opěrnou lištu. Další částí jsou odměrné válce, v horním odměrném válci, jež je osvětlen stroboskopickou lampou, díky které sledujeme tvar palivové kužele, ve spodním odměrném válci, jež je opatřen cejchováním pak měříme množství paliva, které ventil vstříknul za daný časový úsek při určitém tlaku, pod odměrnými válci se nacházejí elektromagnetické ventily, které mají na starost vypouštění kapaliny z válců. Kapalina se pak samospádem vrací do nádrže. Důležitou součástí celého zařízení je řídicí jednotka, která ovládá spínání ventilů a chod palivového čerpadla dle diagramu (obr. 4.2) Všechny komponenty jsou umístěny na nosném rámu z hliníkových profilů. Palivová lišta s ventily a odměrné nádoby jsou umístěny na hlavních nosných profilech a je možné je vertikálně posouvat, například chceme-li testovat ventil s jinými rozměry. Zařízení má 6 pozic pro testovací ventily a funguje dle schématu (obr. 4.3) Hlavní funkcí řídicí jednotky je napájet ovládat samotné vstřikovací ventily a to v automatickém a sekvenčním módu, při automatickém módu je ventil spínám samočinně na danou dobu s danou frekvencí, při sekvenčním módu je ventil spínám tlačítkem na ovládacím panelu, jednotka dále musí ovládat délku otevření ventilu (šířku pulsu). Další funkcí jednotky je ovládání stroboskopické lampy, ta je ovládána tlačítkem na ovládacím panelu a je možné ji trvale vypnout. Jednotka rovněž zajišťuje napájení palivového čerpadla a ovládání elektromagnetických výpustných ventilů, které jsou spínány tlačítkem na ovládacím panelu. Jednotka pracuje podle schématu viz. obr. 4.2

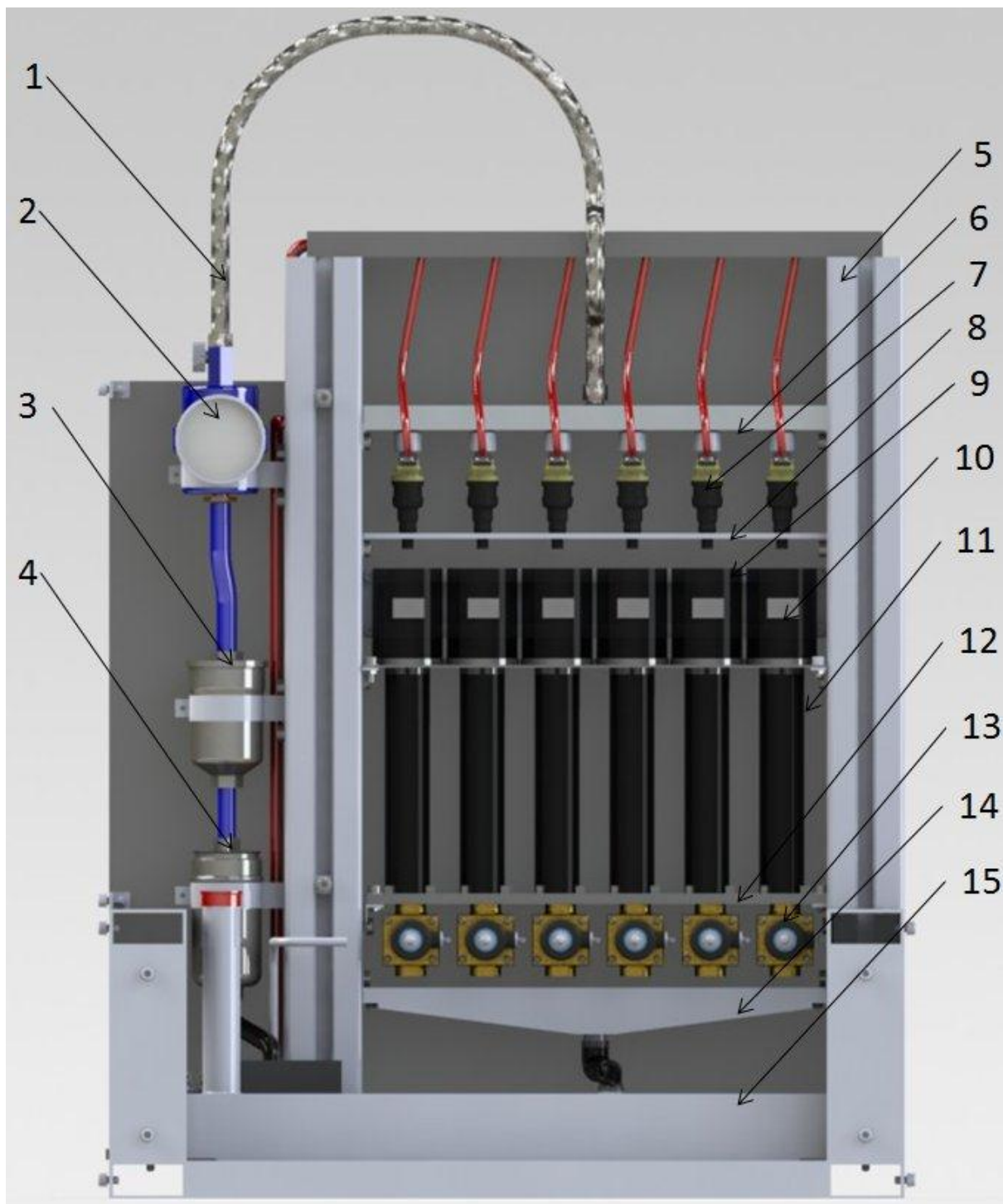


Obr. 4.2 Schéma řídicí elektroniky



Obr. 4.3 schéma zařízení pro testování vstřikovacích ventilů

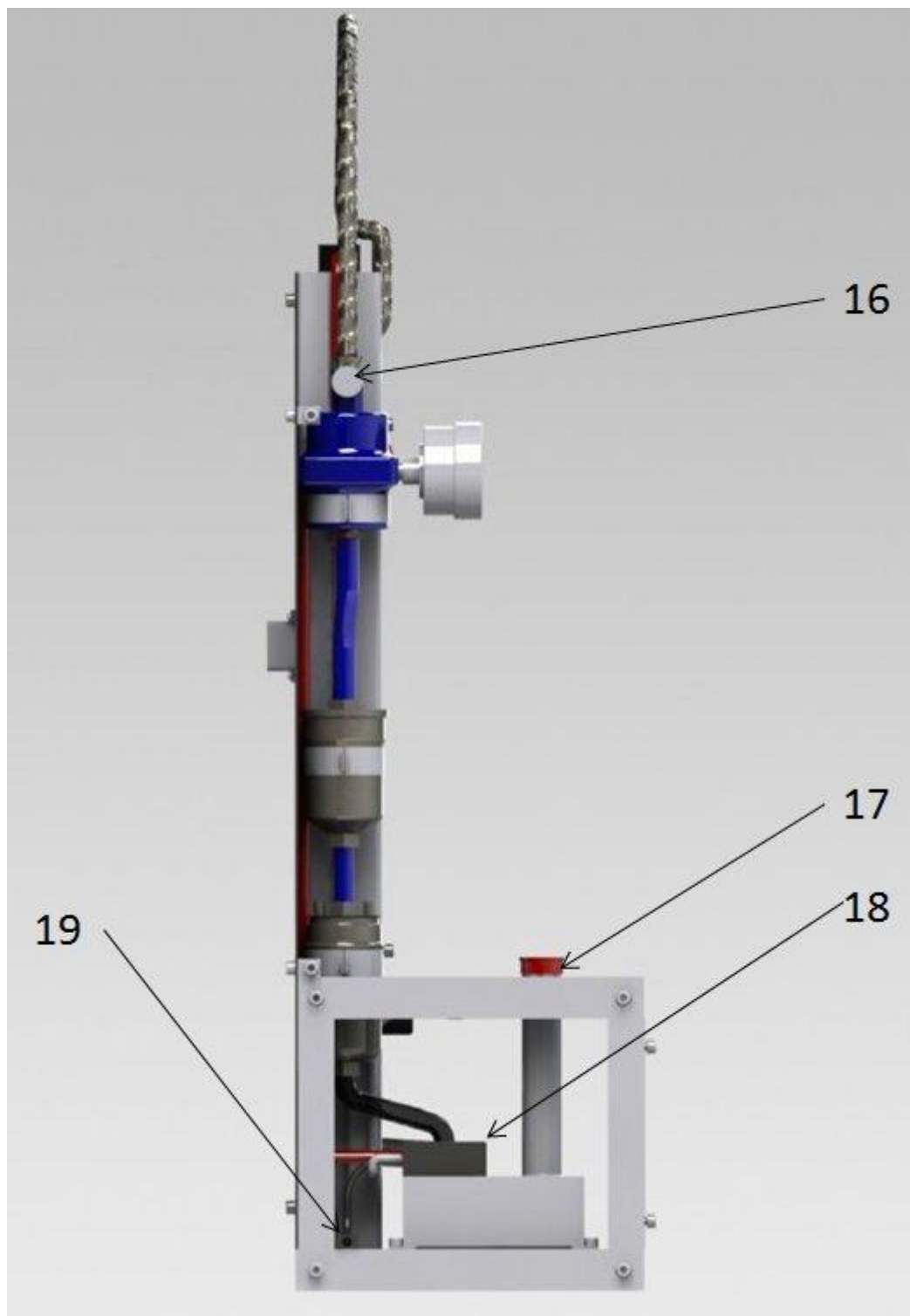
modré čáry – palivo, červené – napájení, el. ovládání



Obr. 4.4 Celkový pohled na sestavu (bez krytů)

Pozice: 1 – přívod paliva k palivové liště, 2 – regulátor tlaku paliva, 3 – palivový filtr, 4 – palivové čerpadlo, 5 – nosný rám, 6 – palivová lišta, 7- testovaný ventil, 8 – opěrná lišta, 10 – stroboskopická lampa, 9 – horní odměrný válec, 11 – spodní odměrný válec. 12 – držák odměrných válců, 13 – výpustné ventily, 14 – odtok, 15 – nádrž

Obr. 4.5 – Boční pohled na sestavu



Obr. 4.5 – Boční pohled na sestavu

Pozice: 16 – ovladač regulátoru tlaku paliva, 17 – hrdlo nádrže, 18 – řídicí jednotka, 19 - konektor pro napájení

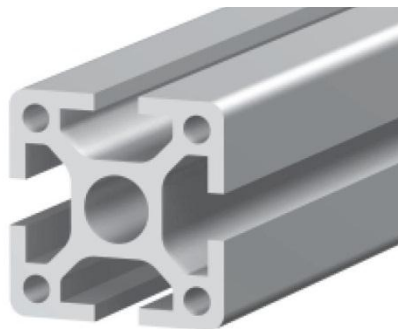


4.1 KONSTRUKCE NOSNÉHO RÁMU

Hlavním požadavkem při konstrukci rámu bylo, aby měl vysokou tuhost, při zachování rozumné hmotnosti a ceny, zároveň bylo důležité, aby byl celý rám modulární – aby se s na něm umístěnými komponenty dalo bez problémů manipulovat. První návrh celé konstrukce byl smontovat hlavní nosnou konstrukci, na které jsou umístěny vstřikovací ventily a další komponenty ze standardních ocelových plechů, spodní část pak z hliníkových profilů, od tohoto řešení jsem po konzultaci s vedoucím odstoupil, protože by rám byl těžký a obtížně smontovatelný. Rozhodl jsem se vytvořit celou nosnou konstrukci z hliníkových profilů, byly použity 2 typy profilů. Pro spodní část konstrukce, ve které je umístěna nádrž na testovací palivo, odtoková soustava s výpustnými ventily a další příslušenství jsem zvolil profil EN 755-9, rozměr 60x30x3 z katalogu společnosti Feron. Pro hlavní nosnou část, na které jsou umístěny nejdůležitější komponenty celého zařízení jsem zvolil konstrukční hliníkový profil společnosti MayTec s charakteristickým modulem 60. Pro tyto profily hovoří to, že jsou lehké, pevné a mají velmi univerzální použití. Tuhost celé konstrukce dále zvyšují kryty, které jsou uchyceny pomocí šroubů, kryty jsou z oceli, tloušťky 1.5mm. Jako spojovací materiál pro celé zařízení byly zvoleny šrouby M6 a M8 s vnitřním šestihranem v délkách 10 a 20mm, normy DIN 912/A4. Samotný nosný rám bude svařovaný z výše uvedených profilů.



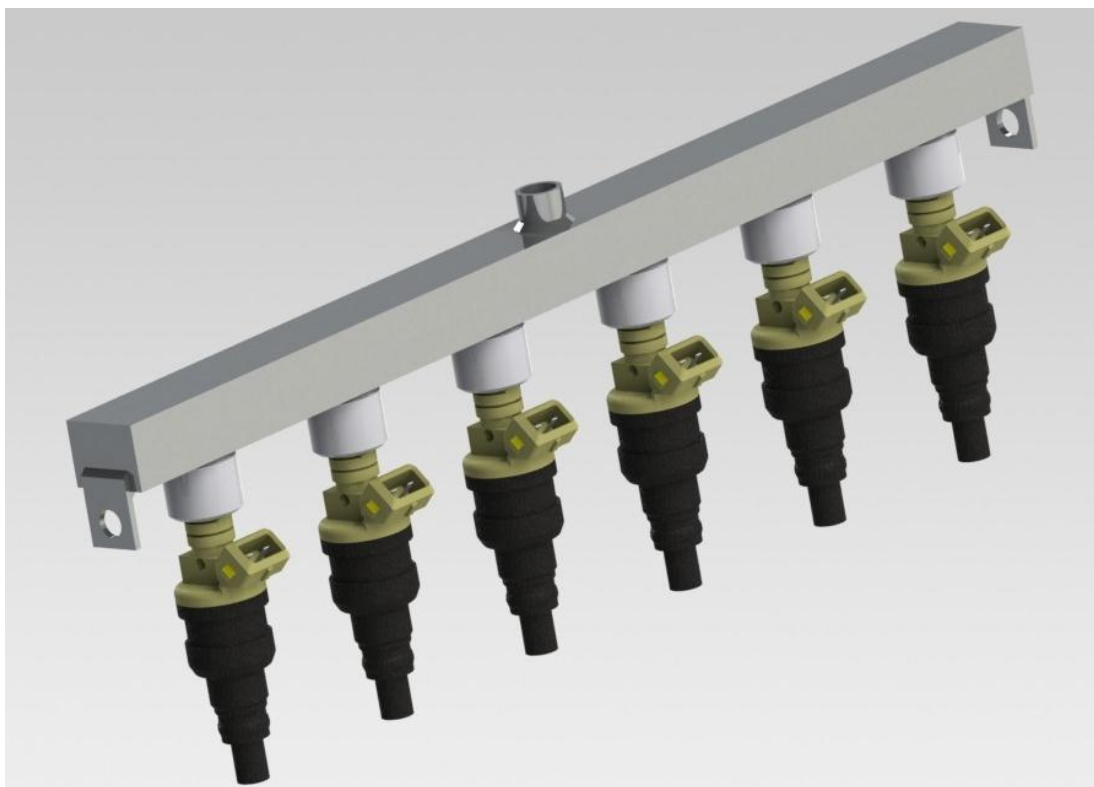
Obr 4.6 nosný rám



Obr. 4.7 Hliníkový profil MayTec [25]

4.2 KONSTRUKCE UMÍSTĚNÍ VENTILŮ A ODMĚRNÝCH VÁLCŮ

Umístění ventilů (pozice 7) se ukázalo být klíčovou částí celého zařízení, požadavkem bylo, aby byl k ventilům dobrý přístup, daly se rychle namontovat, aby k nim byl zajištěn přísun paliva i elektronického ovládání z řídicí jednotky. Další požadavkem bylo, aby zařízení umožňovalo testovat více typů vstřikovacích ventilů. Tyto požadavky nejlépe plní řešení s výměnnou palivovou lištou (pozice 6). Palivová lišta je vyrobena z hliníkového profilu a vybavena úchyty, které pasují do drážek v nosném profilu (viz. obr. 4.6), to umožňuje aby byla lehce vyměněna za jinou lištu určenou pro jiný typ ventilů. Upevnění lišty zároveň umožňuje její vertikální posuv v drážkách nosného profilu.



Obr.4.8 Umístění vstřikovacích ventilů v palivové liště

Ventily jsou umístěny v palivové liště, do které je přiváděno testovací palivo z palivové soustavy umístěné na boku celého zařízení, poloha ventilů v liště je zajištěna dotažením matice, která zabezpečuje, že palivo nebude prosakovat, dále jsou ventily opřeny o



spodní lištu (pozice 8), která zajišťuje jejich přesné vystředění vůči odměrkám. Palivová lišta vč. opěrné lišty jsou uloženy v drážkách nosných profilů a zajištěny šrouby. Odměrné nádoby jsou dvě pro každý testovaný ventil. V horní širší nádobě (pozice 10) s vnějším průměrem 55mm je možno díly výbojům stroboskopické lampy (pozice 9) umístěné na úrovni horního odměrného válce pozorovat tvar kužele rozprašovaného paliva. Průměr válce byl navržen tak, aby se do něj vešel palivový kužel s úhlem 30° při vzdálenosti ventilu 80-90mm. Z tohoto válce palivo odtéká do spodního odměrného válce (pozice 11) o vnějším průměru 35mm opatřeného cejchováním pro přesné měření objemu vstřikovaného paliva. Všechny odměrné válce jsou vyrobeny ze skla. Přesná poloha a těsnost celé soustavy je zajištěna pomocí adaptérů s těsněními a držáků, přes něž je celá souprava přišroubována k nosným profilům.



Obr.4.9 – Příklad tvaru palivové kužele vstřikovacího ventilu[26]



4.10 Detail umístění stroboskopických lamp - zesvětlit

Pro vyprazdňování odměrných válců byla původně navržena mechanická šoupátka, kterými by se otáčelo páčkou na boku celé soustavy, vzhledem k požadavku na těsnost celé soustavy i na jednoduchost výroby byly zvoleny elektromagnetické solenoidové ventily (pozice 14) s průměrem 20mm, které jsou přes elektrický obvod spojený s řídicí jednotkou ovládány tlačítkem z čelního panelu na ve spodní části konstrukce. Toto řešení se ukázalo

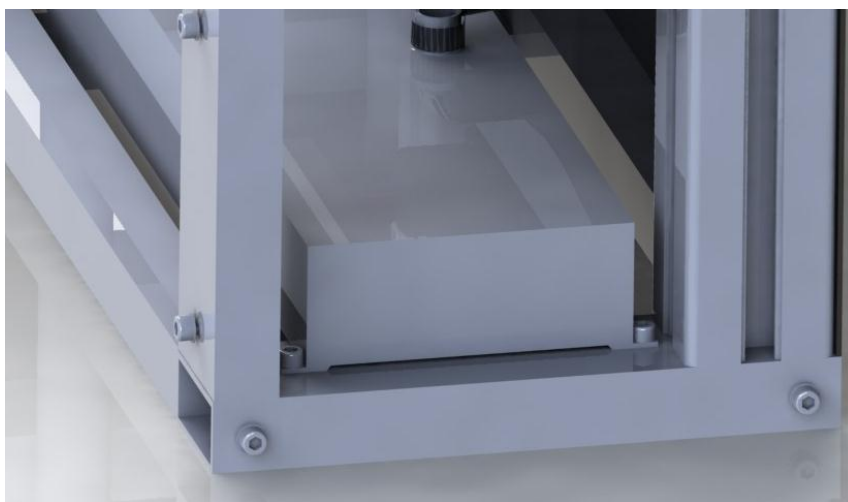


jako nejvhodnější i díky ceně ventilů, která se pohybuje kolem 20USD, elektromagneticky ovládaných ventilů existuje široké množství druhů, pro dané konstrukční řešení jsem zvolil ventily z katalogu společnosti aliexpress (aliexpress.com). Odměrné válce jsou tedy vyprazdňovány přes elektromagnetické ventily do odtoku vyrobeného ze svařených plechů a dále pak samospádem do nádrže, která je umístěna ve spodní části celé konstrukce. Nádrž je vyrobena ze svařovaných hliníkových plechů tloušťky 2mm a její objem je 4,5 litru, kapalinu do nádrže je možné nalít přes hrdlo, které ústí na krytu konstrukce, nádrž je dále opatřena výpustným šroubem a přišroubována ke spodní části konstrukce.



Obr. 4.11 Elektromagnetický dvupolohový ventil[27]

Samotné výpustné ventily jsou přes závit našroubovány k tělu soustavy odtokových nádob. Toto řešení zajistí těsnost celého systému i rychlé vyprazdňování nádob. Tělo soustavy nádob s ventily i odtok samotný jsou uchyceny do drážek hlavních nosných profilů celého zařízení, jejich poloha tak může být horizontálně upravena. Z odtoku teče palivo samospádem do nádrže.



Obr. 4.12 Upevnění nádrže v nosném rámu



Obr. 4.13 Umístění výpustných ventilů

4.3 KONSTRUKCE PŘÍSLUŠENSTVÍ

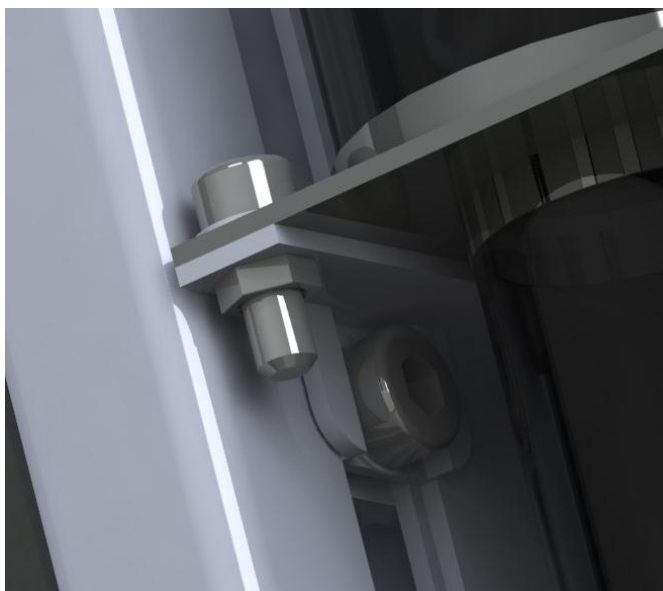
Do příslušenství patří palivová soustava dodávající palivo do lišty, ve které jsou upevněny ventily, dále pak řídicí elektronika a napájení. Důležitým prvkem celého zařízení je elektronika s řídicí jednotkou ovládání vstřikovacích ventilů. Řídicí jednotka ovládá dále palivové čerpadlo a elektromagnetické výpustné ventily. Samotná jednotka je upevněna ve spodní části nosného rámu na nádrži. Kabeláž k vstřikovacím ventilům je vedena podél levého nosného profilu a dále pak do horní lišty, kde se kabely dělí pro každý ventil samostatně, kabeláž ovládání solenoidových ventilů je vedena lištou přímo ke každému ventilu samostatně. Přívod napětí do jednotky je přes adaptér 12V, jehož zásuvka je umístěna na levém boku zařízení. Pracovní napětí pro ovládání celé soustavy je 12V. Ovládání palivového čerpadla a odtokových ventilů je možné přímo přes tlačítka na čelním krytu.



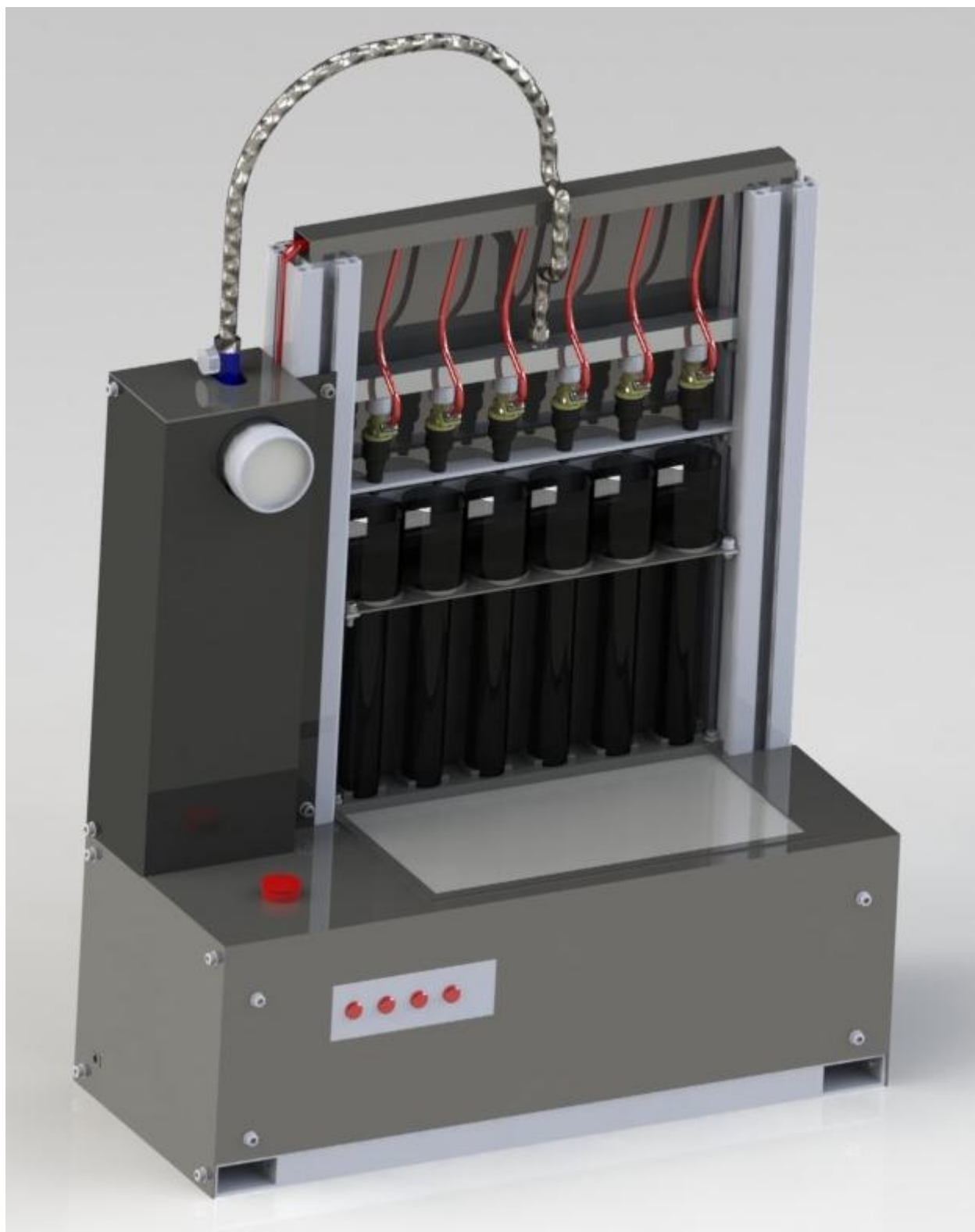
Obr. 4.14 –Kabeláž k ovládání vstřikovacích ventilů



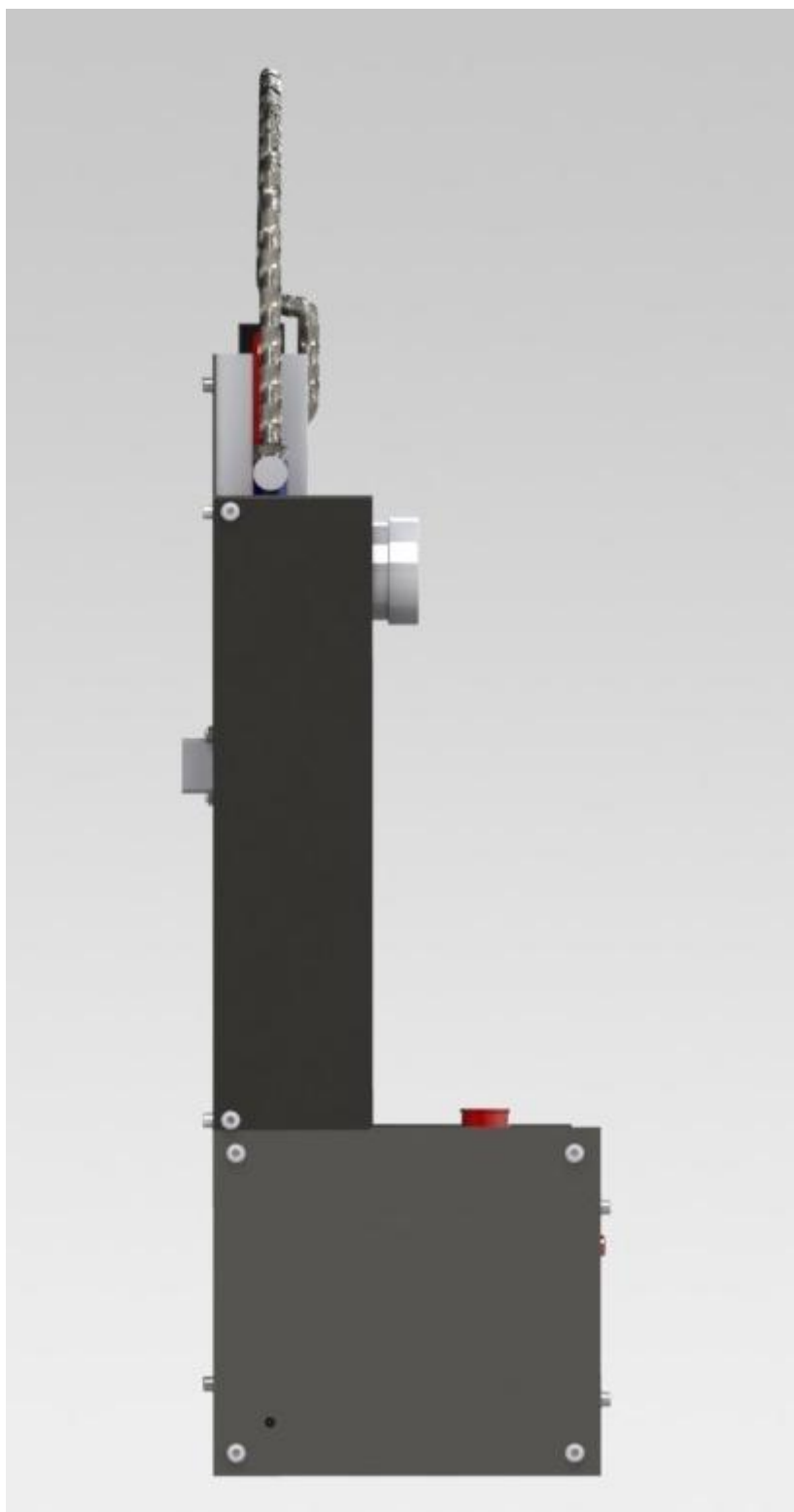
Palivová soustava je tvořena palivovým čerpadlem (pozice 4), které jsem zvolil z katalogu společnosti Bosch, hned za čerpadlem je umístěn palivový filtr (pozice 3), rovněž od výrobce Bosch (jedná se o díly běžně používané v automobilech). Poslední částí, jež zajišťuje dodávku paliva je regulátor tlaku paliva s manometrem značky Race-Tech R (pozice 2), jež má rozsah regulace tlaku paliva 7 bar, regulace je možná jak mechanicky kolečkem umístěným na boku regulátoru (na levé horní straně), tak podtlakem – pro dané použití je vhodnější mechanická regulace. Tyto součástky jsou upevněny na hlavním nosném rámu pomocí držáků zajištěných šrouby a zakrytovány. Palivové hadičky mají průměr 16mm. Z palivové soustavy je palivo vedeno do lišty k testovaným vstřikovacím ventilům přes přívod paliva (pozice 1) Celé zařízení je zakrytováno kryty z ocelového plechu tloušťky 1,5mm. Tyto kryty jsou k rámu upevněny šrouby M6 dle normy DIN 912/A4. Upnutí nádob i dalších komponent k nosným profilům je řešeno přes upínku, která se dotahuje šroubem M6 nebo M8 výše uvedené normy. Šrouby M8 jsou použity pro upevnění palivové rampy, opěrné rampy, nádob a odtoku, ostatní komponenty jsou upevněny šrouby M6.



Obr. 4.15 Detail upevnění odměrných válců na nosných profilech



Obr. 4.16 Celkový pohled na zařízení



4.17 Boční pohled na zařízení



ZÁVĚR

V této práci jsem provedl rešerši v oblasti elektronických systémů vstřikování paliva, které jsou v dnešní době prakticky jediným používaným palivovým systémem ve spalovacích motorech, mechanické systémy se uplatňují jen u malých dvou a čtyřtákních motorů. V poslední době jsou velmi rozšířené systémy s přímým vstřikováním a to jak u zážehových tak i u vznětových motorů. Zejména systémy pro vznětové motory prošly za posledních 10 let značným vývojem, co se týče pokročilosti technologií se dostaly před zážehové (ještě před pár lety tomu bylo naopak). Zážehové motory chytily dech až s nástupem systémů přímého vstřikování v kombinaci s přeplňováním, které však po dlouhou dobu trápily problém zejména se spolehlivostí, podobné problémy však zažívaly i například první systémy s technologií common rail. Z hlediska účinnosti jsou z principu účinnější dieselové motory. Oba druhy motorů však mají svá specifika. Důležitým krokem pro vývoj palivových systému a motorů obecně bude zavedení normy pro složení emisí EURO 6, která přijde v příštím roce. Jednou z cest ke splnění přísnějších norem je další vývoj palivového systému, který by zajistil dokonalejší rozprášení paliva a tím vylepšil složení výfukových plynů i celkovou účinnost motoru. V další části práce jsem se zaměřil na rozbor funkce zadaného vstřikovacího ventilu s ohledem na možnosti měření jeho průtokových charakteristik. Nejdůležitějším bodem celé práce je návrh zařízení pro testování vstřikovacích ventilů pro nepřímé vstřikování benzínu, samotný návrh je proveden s ohledem na celkovou funkčnost celého systému, tak i s ohledem na finanční stránku celé konstrukce. Při prvotním návrhu vzniklo několik koncepcí zařízení, z nichž byla vybrána výsledná koncepce, která byla nejvýhodnější z hlediska modifikace použitých komponent a celkové funkčnosti. Například použitý regulátor tlaku paliva je možné nahradit jiným typem s odpovídajícími parametry, to samé platí i pro palivové čerpadlo. Pro testování jiného typu vstřikovacích ventilů stačí vyměnit palivovou lištu, ve které jsou ventily upnuty za jiný kus. Další možností při optimalizaci konstrukce je možnost nahradit elektromagnetické ventily ovládající odtok například mechanickými kohouty nebo šoupátky. Pro finální výrobu by bylo nutné navrhnout svařovací sestavu nosného rámu, výrobní výkresy nádrže, palivové lišty a dalších komponent, nakoupit spojovací materiál a ostatní komponenty.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, F.. *Vozidlové spalovací motory*. Prof. Ing, František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [2] Emisní norma EURO. *cs.autolexicon.net* [online]. 2013 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [3] KLEPETKO, D. Optimalizace kovaných vysokotlakých elementů zásobníku paliva systému common rail, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009, 84 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Ramík
- [4] Common Rail. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Common_rail
- [5] Formule Bosch: Komponenty systému Common Rail [online]. Praha: Robert Bosch Odbytová s.r.o., 2002 [cit. 2013-05-13], ISSN 1804. Dostupné z: http://aa.bosch.cz/download/formule/formule_2002_01
- [6] Milestones in Common Rail Development. Milestones in Common Rail Development [online]. 2009 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: http://www.boschdieselcenter.com.sg/mam/boaa/master/docs/artikel_meilensteine-der-cre_eng.pdf
- [7] Formule Bosch: Systém vstřikování vznětového motoru čerpadlo tryska [online]. Praha: Robert Bosch Odbytová s.r.o., 2003 [cit. 2013-05-13]. ISSN 1804. Dostupné z: http://aa.bosch.cz/download/formule/formule_2003_02
- [8] VLK, František, Soudní inženýrství, Přímé vstřikování benzínu, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Odbor dopravní techniky, 2004
- [9] Časopis Formule Bosch, článek Motory FSI, vydání 2/2002, Robert Bosch odbytová spol. s r.o., Divize Automobilová technika, <http://aa.bosch.cz/ostatni-informace/casopis-formule-bosch.html>
- [10] BERAN, M. Optimalizace provozních režimů zážehového motoru, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. Vedoucí diplomové práce Ing. David Svída

Použité obrázky:

- [11] Tabulka emisních norem. In: *Cs.autolexicon.net* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>.



- [12] Náskres vířivé komůrky. In: *forum.ladaklub.com* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://forum.ladaklub.com/viewtopic.php?p=331020>
- [13] Řez motorem VW se systémem common rail. In: *l197.photobucket.com* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://s197.photobucket.com/user/vwaldon/media/TDI-cutaway.jpg.html>
- [14] Řez vstříkovacím čerpadlem VP44 In: *www.opelclubrenbau.cz/* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.opelclubrenbau.cz/e107_files/public/1334289244_1221_FT94214_bomba-vp44.jpg
- [15] SKRUTEK, Ivo. *Systém vstřikování vznětových motorů Common Rail*. Brno: UADI FSI v Brně, Bosch, 2011. [cit. 2013-05-22].
- [16] Řez vysokotlakým čerpadlem Bosch CP3. In: *www.cumminsforum.com* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.cumminsforum.com/forum/3rd-gen-performance-parts-discussion/246972-inner-workings-cp3-high-pressure-pump.html>
- [17] Řez piezoelektrickým vstříkovacím ventilem Bosch. In: *Aa.bosch.cz* [online]. 2002 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://aa.bosch.cz/download/formule/formule_2002_01.pdf
- [18] Schéma komponent systému čerpadlo - tryska. In: *Aa.bosch.cz* [online]. 2003 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://aa.bosch.cz/download/formule/formule_2003_02.pdf
- [19] Náskres sdružené jednotky systému čerpadlo – tryska. In: *Sossoukyjov.cz* [online]. 2003 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CGQQFjAG&url=http%3A%2F%2Fwww.sossoukyjov.cz%2Fstudovna%2Fsoubory%2F4%2FUIS-text%2520s%2520obr%25C3%25A1zky.doc&ei=dZCSUdv4LYmO4AS-yYGQCg&usg=AFQjCNGv9Ls6XQB_yiFDKNWnMagHwWUt1Q&sig2=KiqqmsUg7ILfb1iTI0GVIQ&bvm=bv.46471029,d.bGE
- [20] VLK, František. Schéma vícebodového a jednobodového nepřímého vstřikování benzínu. In: *www.sinz.cz* [online]. 2004 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-01-67-71.pdf>
- [21] Přehled cyklů zážehového motoru s přímým vstřikováním paliva. In: *www.autospeed.com* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://us1.webpublications.com.au/static/images/articles/i1078/107830_3lo.jpg
- [22] Princip vrstveného spalování v porovnání s homogenním. In: *www.kfztech.de* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/otto/fsi/fsischicht.jpg>
- [23] Řez vstříkovacím ventilem nepřímého vstřikování. In: *www.vutbr.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=8398



- [24] Proudová a napěťová charakteristika vstřikovacího ventilu. In: *Www.pc-oscilloscopes.com* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.pc-oscilloscopes.com/fuel-injection.html>
- [25] Hliníkový profil MayTec. In: *www.amtek.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.amtek.cz/images/stories/MayTec/Profily/Profil_hladky.jpg
- [26] Příklad tvaru palivové kužele vstřikovacího ventilu. In: *www.southbayfuelinjectors.com* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.southbayfuelinjectors.com/afterfront.jpg>
- [27] Elektromagnetický dvoupolohový ventil. In: *www.aliexpress.com* [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.aliexpress.com/item-img/Free-Shipping-5PCS-20mm-Bore-2-Way-2-Position-Pneumatic-Solenoid-Valve-3-4-DC-12V/531096303.html>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

bar *[$\times 10^5 \text{Pa}$]* *tlak paliva*

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha této práce obsahuje CD s digitální verzí tohoto dokumentu ve formátu .pdf a 3D model sestavy zařízení pro měření vlastností vstřikovacího ventilu zpracovanou v programu SolidWorks verze 2011.