

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Diagnostika a servis silničních vozidel

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Úprava vznětového motoru s využitím mechanického vstřikování

Autor: **Jan JAROŠ**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef FORMÁNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan JAROŠ**
Osobní číslo: **S14B0236K**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **Diagnostika a servis silničních vozidel**
Název tématu: **Zhodnocení využitelnosti mechanického vstřikování u vozidel**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Cílem je provést rozbor technických možností v náhradě elektronického vstřikovacího systému u vznětového motoru za systém s mechanickou regulací. Dále provést základní specifikaci požadavků s ohledem na funkčnost a technickou jednoduchost. Výsledným řešením je zhodnocení a provedení základního návrhu uspořádání technického řešení mechanického vstřikovacího čerpadla ve vozidle.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematické specifikace požadavků.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování variantních řešení.
4. Zhodnocení navrženého koncepčního technického řešení.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

VALA, M. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I.* Univerzita Pardubice, Pardubice, **2003**

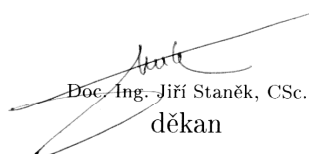
VLK, F. *Stavba motorových vozidel.* Brno: Vlk, **2005**

JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J. *Automobily III - Motory.* Avid s.r.o, Brno, **2007**

Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **22. září 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 22. září 2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Josefu Formánkovi, Ph.D. za rady spojené s metodickou stránkou práce a za usměřování myšlenek správným směrem.

Dále děkuji svému zaměstnavateli, který zohledňuje mé studium a vždy vyjde vstříc mé potřebě volna pro studijní účely.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Jaroš	Jméno Jan	
STUDIJNÍ OBOR	2341R001-60 - „Diagnostika a servis silničních vozidel“		
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. FORMÁNEK, Ph.D.	Jméno Josef	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Úprava vznětového motoru s využitím mechanického vstřikování		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	34	TEXTOVÁ ČÁST	34	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato bakalářská práce vykládá principy mechanického vstřikování u vznětových motorů. Hodnotí návrhy řešení pro využití mechanického vstřikování u reálného motoru. Dále dokumentuje provedenou realizaci nejvhodnějšího z analyzovaných řešení.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Vznětový motor, diesel, vstřikování, mechanická regulace, vstřikovací čerpadlo, vstřikovací trysky, hydraulický ventil, palivová soustava, pístové čerpadlo, odstředivá regulace</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Jaroš	Name Jan	
FIELD OF STUDY	2341R001-60 -“ Diagnostics and servicing of road vehicles“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. FORMÁNEK, Ph.D.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Adjusting diesel engine using a mechanical injection		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Department of machine Design	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	34	TEXT PART	34	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor sheet explains principles of the mechanical injection for diesel engines. Assess possible solutions for applying mechanical injection to factual engine. Further demonstrates implementation the most suitable from assessed solutions.
KEY WORDS	Diesel engine, injection, mechanical regulation, injection pump, injection nozzles, hydraulic valve, fuel system, piston pump, flyweight regulation

ÚVOD.....	9
1. HISTORIE VZNĚTOVÉHO MOTORU	10
2. PRINCIP VZNĚTOVÉHO MOTORU	10
2.1. PRACOVNÍ CYKLUS	10
2.1.1. Fáze sání	10
2.1.2. Fáze komprese	10
2.1.3. Fáze výbuchu	10
2.1.4. Fáze výfuku	11
3. VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA	11
3.1. NEPŘÍMÉ	11
3.1.1. Tlaková komůrka	11
3.1.2. Vírová komůrka	12
3.2. PŘÍMÉ	12
3.3. VSTŘIKOVAČE	13
3.3.1. Trysky čepové.....	13
3.3.2. Trysky víceotvorové	14
4. VSTŘIKOVACÍ ČERPADLO	15
4.1. ŘADOVÉ PÍSTOVÉ.....	15
4.2. RADIÁLNÍ PÍSTOVÉ	15
4.3. AXIÁLNÍ PÍSTOVÉ	17
4.3.1. Nízkotlaká část	17
4.3.2. Vysokotlaká část.....	17
4.3.3. Řízení předvstřiku	19
4.3.4. Regulace dávky paliva – odstředivá regulace.....	19
4.3.5. Turbokorekce	20
5. SPUŠTĚNÍ A ZASTAVENÍ MOTORU	22
6. PRAKTICKÁ ČÁST – ANALÝZA	23
6.1. NAVRHOVANÉ MOŽNOSTI	23
6.1.1. První možnost	24
6.1.2. Druhá možnost	25
6.1.3. Třetí možnost.....	27
6.2. ZHDNOCENÍ NAVRŽENÝCH MOŽNOSTÍ	27
6.2.1. První.....	27
6.2.2. Druhá.....	28
6.2.3. Třetí.....	28
7. REALIZACE KONSTRUKCE	29
7.1. PRVNÍ SESTAVENÍ.....	29
7.2. AKTUÁLNĚ PROVEDENÁ KONSTRUKCE	29
7.3. OSTATNÍ TECHNICKÉ ASPEKTY.....	32
8. ZÁVĚR.....	33
9. POUŽITÁ LITERATURA, ZDROJE	34

Seznam zkratek

HÚ	horní úvrať
DÚ	dolní úvrať
OT	oberen Totpunkt - <i>HÚ</i>
UT	unteren Totpunkt - <i>DÚ</i>
LDA	Fahrpedal Ladedruckabhängiger Vollastanschlag - <i>turbokorekce</i>
OHC	over head camshaft

Seznam obrázků

Obrázek 1: p-V diagram vznětového motoru [2].....	10
Obrázek 2: Vírová komůrka Ricardo Comet III pro motor osobního automobilu [1]	12
Obrázek 3: Komůrka v pístu u přímého vstříku [7].....	12
Obrázek 4: Vstříkovač [2]	13
Obrázek 5: Provedení čepových a víceotvorových trysek [1].....	14
Obrázek 6: Sestava píst-válec u řadového čerpadla [8].....	15
Obrázek 7: Radiálně pístové čerpadlo [10]	16
Obrázek 8: Aaxiální pístové čerpadlo Bosch VE [7]	17
Obrázek 9: Jednotlivé fáze pístu [7]	18
Obrázek 10: Regulace dávky paliva [7]	20
Obrázek 11: Turbokorekce [7]	21
Obrázek 12: Stopventil [7]	22
Obrázek 13: Originální čerpadlo Lucas.....	24
Obrázek 14: Čerpadlo Bosch VE z motoru Citroën	26
Obrázek 15: Schéma použití kapiláry [5].....	26
Obrázek 16: Víčko původního čerpadla	29
Obrázek 17: Rozdělovací hlava s pružinami	30
Obrázek 18: Popis soupáčí	30
Obrázek 19: Motor osazený hybridním čerpadlem	31
Obrázek 20: Automobil cestou do Velké Británie.....	32

Úvod

Vznětové motory lidstvo využívá už více než 100 let, setkáváme se s nimi v nákladních automobilech, osobních automobilech, v zemědělské a stavební technice, ale také jsou například využívány pro pohon záložních agregátů v nemocnicích.

Motory, které se v dopravě využívají dnes, už urazily dlouhou cestu vývojem, kde hlavním faktorem pro pokrok bylo vstřikování. Tato práce se nebude věnovat nejmodernějším systémům vstřikování, ale nabídne pohled na vstřikovací systémy z konce minulého tisíciletí. Z doby, kdy nástrojem pro řízení vstřikování byl hydraulický tlak samotného paliva

První část práce pojednává krátce o historii, na kterou úzce navazuje vysvětlení principu vznětového motoru. Dále jsou popsány jednotlivé způsoby vstřikování, po kterých následuje poměrně detailní popis jednotlivých komponentů vstřikovací soustavy.

Cílem této práce je na základě teoretických znalostí analyzovat možnosti využití čistě mechanického způsobu vstřikování na motor, který byl od výrobce osazen mechatronickým vstřikováním. Bude potřeba vyřešit problémy správné synchronizace vstřiku a množství paliva. Bude potřeba zvážit možnosti tvarové kompatibility jednotlivých komponentů.

Aby práce nezůstala jen v teoretické rovině, tak nakonec dojde i ke zdokumentované realizaci nejvhodnějšího způsobu řešení a pokusu o jeho uvedení do provozu.

1. Historie vznětového motoru

Historie vznětového motoru se váže ke jménu Rudolf Diesel (1858-1913), po kterém je motor také pojmenován. Rudolf Diesel sestrojil první prototyp vznětového motoru v roce 1893. Tento motor používal jako palivo uhelný prach. Druhý prototyp z roku 1896 zpočátku spaloval benzín, který byl později nahrazen petrolejem. V důsledku změny použitého paliva došlo k výraznému potlačení detonací a klidnějšímu chodu motoru. Třetí prototyp z konce roku 1896 už měl potřebné parametry pro praktické využití. Motor v pracovních otáčkách 170 min^{-1} poskytoval výkon $14,7 \text{ kW}$ a dosahoval účinnosti $\eta=0,26$. Doprava paliva do válce byla řešena jeho unášením v proudě stlačeného vzduchu, a proto musela kliková hřídel motoru pohánět nemalý vysokotlaký kompresor.

Roku 1910 podává James Kechni patent na hydraulické vstřikování paliva, které umožňuje kompaktnější rozměry a nižší váhu vhodnou i pro jiné využití než jako stacionární motory. V roce 1921 se hydraulickému vstřikování paliva začíná věnovat i Robert Bosch, po dvou letech vývoje jsou sestrojeny první funkční prototypy a po dalších 4 letech začíná Robert Bosch se sériovou výrobou. [2]

2. Princip vznětového motoru

Čtyřtaktní vznětový motor nasává do válců pouze čistý vzduch v maximálním možném množství, které umožňuje sací soustava motoru (*případně přeplňování neuvažujeme*). Vzduch je následně stlačen a vstříknutím paliva dojde k samovznícení.

2.1. Pracovní cyklus

Pro znázornění pracovního cyklu vznětového pístového motoru s vnitřním spalováním bude použit zjednodušený p-V diagram (Obrázek 1) vznětového motoru.

2.1.1. Fáze sání

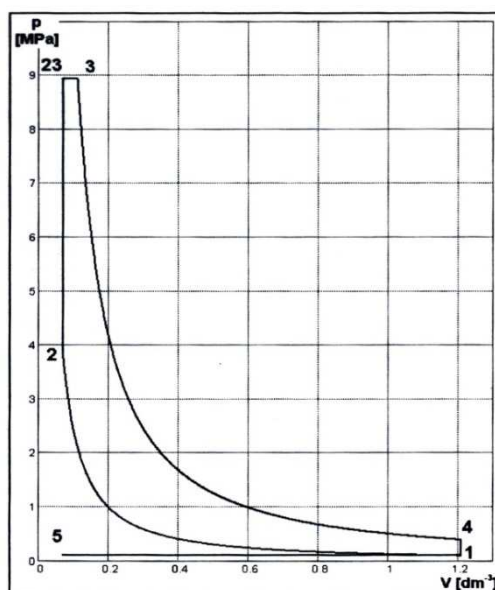
Během první fáze se pohybuje píst do DÚ při otevřeném sacím ventilu a tím dochází k izobarickému plnění válce vzduchem o atmosférickém tlaku. Na diagramu úsečka 5-1.

2.1.2. Fáze komprese

V bodě 1 na diagramu je uzavřen sací ventil a píst se začíná pohybovat k horní úvrati. Tím polytropicky stlačuje vzduch na vysoký tlak, který závisí na kompresním poměru ϵ_k . Kompresní poměr se pohybuje v rozmezí 14:1 až 24:1. Po stlačení vzduch dosahuje teploty až 1200 K . Ještě než píst dosáhne HÚ, tak začne vstřikování paliva. Prodleva mezi počátkem vstřiku paliva a HÚ se nazývá předvstřik.

2.1.3. Fáze výbuchu

V bodě 2 dochází ke vznícení paliva a izochorickému nárůstu tlaku, v ten moment je píst v HÚ až do bodu 23. Po přechodu bodu 23 se píst začíná pohybovat směrem k DÚ, a



Obrázek 1: p-V diagram vznětového motoru [2]

protože pořád pokračuje hoření, tak i přes nárůst objemu se drží tlak v konstantní hladině až do bodu 3. V bodě 3 začíná polytropická expanze, která končí v bodě 4 dosažením pístu DÚ.

2.1.4. Fáze výfuku

V bodě 4 se otevírá výfukový ventil, který uvolní zbytkový tlak z válce. Následně jsou izobaricky vytlačeny zbylé produkty hoření směsi. Na diagramu znázorněno úsekem 4-5. Následuje uzavření výfukového ventilu a cyklus začíná znovu sací fází. [1]

3. Vstřikování paliva

Za nejdůležitější systém u vznětového motoru je považován systém vstřikování paliva. Splňuje motoru jeho požadavky pro optimální chod, jako je dodávka správného množství paliva pod vysokým tlakem do vstřikovače, který umožní jeho jemné rozprášení a smísení se vzduchem za vzniku hořlavé směsi. Další neméně důležitou vlastností je správné načasování momentu vstřiku paliva - předvstřík. Všechny tyto aspekty ovlivňují výkon, emise a motorem vydávaný hluk.

Tím, jak je využití vznětových motorů různorodé, tak využívají i příslušných technologií. Od konvenčních systémů čerpadlo-potrubí-tryska k moderním systémům jako rotační čerpadla s rozdělovačem, sdružené jednotky typu čerpadlo-tryska, až po nejmodernější systémy common-rail. Kromě toho moderní elektronické řízení zvyšuje možnosti v optimalizaci průběhu spalování a jeho pružnou reakci na aktuální stav.

Spojením všech aspektů vzniknou motory s vysokým výkonem a nízkou hladinou hluku, které splňují přísné emisní požadavky. [7]

3.1. Nepřímé

Nepřímé vstřikování paliva se vyznačuje děleným spalovacím prostorem. První částí spalovacího prostoru je komůrka, do které je vyústěna tryska vstřikovače doplněná o žhavicí svíčku. Druhá část spalovacího prostoru už je v samotném válci a je tvořena mezerou mezi pístem a hlavou, případně je upravena tvarem pístu. Obě části jsou propojeny spojovacím kanálkem. Směs paliva se vzduchem je tvořena termicky. Tento způsob tvorby směsi funguje tak, že vstříknuté palivo do komůrky vytvoří na povrchu komůrky tenký film. Na tento film působí společně teplo vlastní komůrky a teplo vzniklé kompresí vzduchu. Působením tepla je palivo odpařeno, načež se mísí se vzduchem a hoří. Expandující směs následně proudí kanálkem do pracovního prostoru válce, kde působí na píst a koná práci. Díky zaškrncenému rozměru kanálku v komůrce vzniká velká teplota, která přispívá k lepšímu odpařování a následnému hoření. Proudící směs také předává velké množství tepla vlastní komůrce, které je využito při následujícím cyklu. Ve směsi vyfouknuté z kanálku dochází k sekundárnímu hoření, kde i přes chudou směs dochází ke spalování, které potlačuje tvorbu pevných částic.

Motory s nepřímým vstřikem používají dvě konstrukce komůrek - tlakové a vírové. [1]

3.1.1. Tlaková komůrka

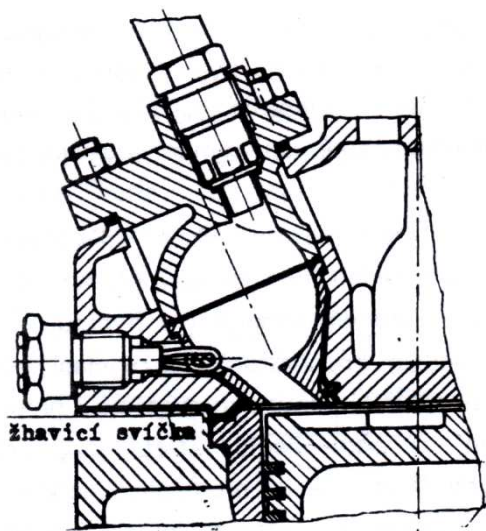
„Tlaková komůrka je tvořena 30 – 50% objemu kompresního prostoru. Využívá poměrně malý průřez spojovacích kanálů, který způsobuje, že po vstřiku a vznětu paliva stoupne v komůrce podstatně tlak (...). Primárně vytvořená směs, obsahující odpařené palivo,

kyslík (být v nedostatečném množství) a meziprodukty jejich reakcí se po vznětu vefoukne do hlavního pracovního prostoru válce, kde se smísí s přebytkem vzduchu a dohoří.“

[1, str.149]

3.1.2. Vírová komůrka

Vírová komůrka je oproti tlakové větší a to 50 – 80% objemu kompresního prostoru. V komůrce o přibližně kulovitém tvaru dochází k vířivému proudění. Toto proudění vzniká při kompresním zdvihu, dané kanálkem umístěným v tečném směru komůrky. Tento směr proudění utváří uvnitř komůrky vír. Vstřikovač je umístěn také tečně ke stěně komůrky a vstřikuje ve směru proudícího vzduchu. Tento druh spalování nabízí vyšší účinnost, a proto je možné přepouštěcí kanálek dimenzovat na menší rychlost, což snižuje ztráty škrcením. [1]

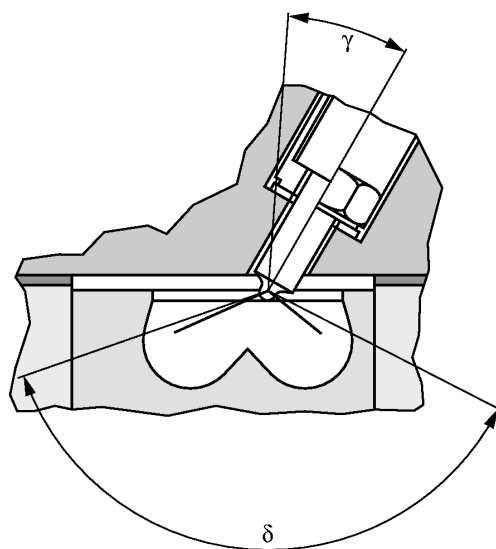


Obrázek 2: Vírová komůrka Ricardo Comet III pro motor osobního automobilu [1]

3.2. Přímé

V dnešní době je u vznětových motorů pro osobní a lehké dopravní automobily používáno výhradně přímé vstřikování. Jeho velkému rozmachu přispěl pokrok ve strojírenství, díky kterému lze vyrábět vstřikovače s dýzami o průměru od 0,1mm, dále také pokročilé materiálové znalosti a v neposlední řadě dokonalejší technologii vstřikovacích čerpadel, která dokáží produkovat dostatečný tlak paliva.

U přímého vstřikování je dýza vstřikovače vyústěna přímo do pracovního prostoru válce. Spalovací komora je součástí pístu, do které je před HÚ vstříknuto palivo. Kombinace vysokých tlaků a malého průřezu dýzy umožní palivu velice jemné rozprášení, díky kterému dochází k difúznímu hoření. Difúzní hoření je takové hoření, při kterém jemně rozprášené palivo vlivem vysoké teploty dodané kompresí, přejde do plynné fáze a utvoří směs se vzduchem. V ideálním případě palivo kompletně vyhoří v plynné fázi, kdy je hoření nejrychlejší. V reálném použití nedochází k čistě difúznímu hoření, ale palivo zůstává i v kapalné fázi. Kapka paliva ve spalovacím prostoru hoří na povrchu, uvnitř kapky je palivo bez přístupu vzduchu zahříváno na vysokou teplotu a tím dochází k tvorbě pevných částic – sazí. [7]



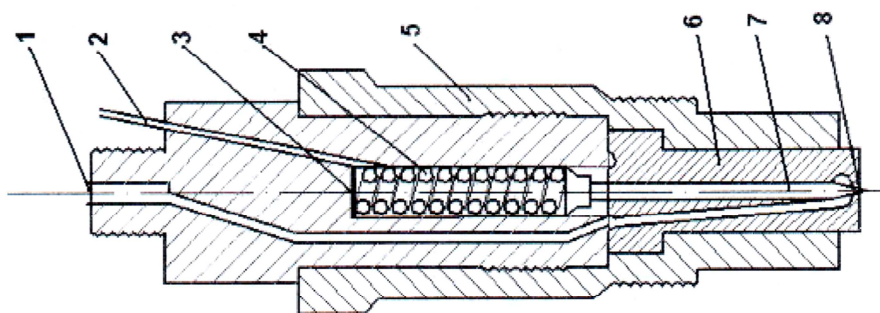
Obrázek 3: Komůrka v pístu u přímého vstřiku [7]

3.3. Vstříkovače

Vstříkovací trysky společně s příslušným držákem vstříkovače jsou životně důležité součásti umístěné mezi vstříkovacím čerpadlem a spalovacím prostorem. Mezi jejich charakteristické vlastnosti patří množství vstříkovaného paliva, které se přímo odvíjí od vstříkovacího tlaku a délky vstříku. Neméně důležitou vlastností je ochrana palivové soustavy před vniknutím horkých spalin.

Základ konstrukce všech druhů trysek je stejný. Tryska se fyzicky skládá ze dvou částí, těla a jehly. V těle trysky je přesně vrtaný otvor pro vedení jehly, na jehož konci je tlaková komůrka, do které ústí vstupní kanálek. Na konci těla už je vlastní dýza, která ústí do spalovací komory. Tato dýza má v klidovém stavu uzavřený přívod paliva jehlou. Požadované těsnosti mezi jehlou a tělem je při výrobě dosaženo lapováním sedla.

1 – přívod paliva, 2 – zpětný odtok paliva, 3 – seřizovací podložky, 4 – pružina, 5 – držák trysky, 6 – tryska, 7 – jehla trysky, 8 – špička trysky



Obrázek 4: Vstříkovač [2]

Držák trysky je minimálně dvoudílný obal, ve kterém je vložena samotná tryska, jejíž jehla je zatěžována pružinou. Správného předepnutí pružiny je dosaženo výměnnými podložkami. K otevření jehly dochází působením tlaku paliva na plochu mezikruží mezi průměrem otvoru vedení jehly a horní hranice těsnící lapované plochy. Mezi další vlastnosti patří připojovací šroubení pro tlakové palivo, vývody pro přepad paliva a také zajišťuje správný směr vyústění dýzy do spalovacího prostoru. [7]

3.3.1. Trysky čepové

Čepové trysky jsou využívány u motorů s nepřímým vstříkáváním. U těchto trysek plní jehla vstříkovače dvě hlavní funkce. První funkcí je, že působením tlaku paliva resp. předpětím pružiny otevírá a uzavírá dýzu. Druhou funkci plní konec jehly, který přesahuje za otvor dýzy do spalovacího prostoru. Konec jehly má tvar jednoho či více komolých kuželů. Tento kužel pomáhá tvořit správný tvar proudu vstříknutého paliva. Další funkcí čepu na konci jehly je mechanické čištění dýzy od pevných usazenin.

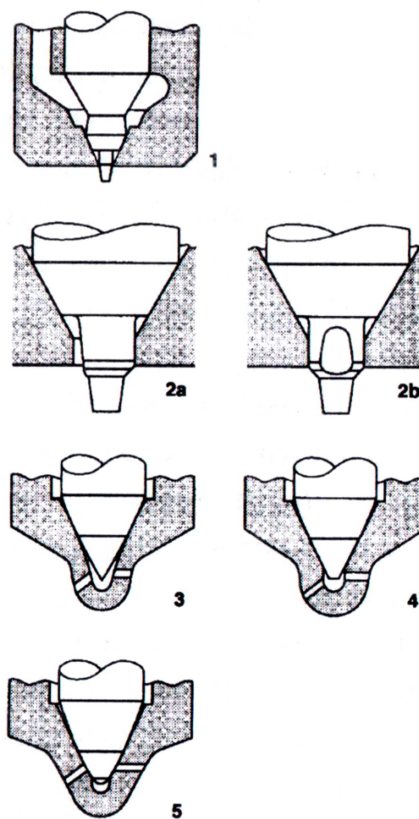
Čepové trysky existují ve dvou provedeních. Standardní osově souměrná jehla a jehla typu „flat-cut“. Jehla flat-cut má na části čepu, která je zasunuta v dýze, z jedné strany obrobenou rovnou plošku. Při počátku vstřiku, kdy jehla ještě nedosáhne maximálního zdvihu, je hlavní výstřikový průřez ve tvaru mezikruží nedostatečně otevřen a dochází k malé dodávce paliva, kterému brání čep jehly. Když se jehla zdvihne do konečné polohy, tak uvolní prostor pro průchod paliva a dojde rychlému nárůstu vstřikovaného množství. Jehla typu flat-cut tvoří sekundární dýzu, která v počáteční fázi vstřiku působí nejmenším odporem na palivo, které se touto dýzou ve tvaru kruhové úseče začíná rozprašovat. Jehla typu flat-cut dokáže dodat na jeden zdvih více paliva, ale hlavním přínosem pro motor je snížení jeho hlučnosti. [7]

3.3.2. Trysky víceotvorové

U motorů s přímým vstřikem, kde je potřeba jemnější rozprašení paliva se používají trysky víceotvorové. Tryska víceotvorová nemá ve spodku těla jeden otvor pro jehlu, ale nachází se zde vrchlík, kde jsou s vysokou přesností vytvořené jednotlivé dýzy. Jehla zde plní pouze funkci ventilu. Pod jehlovým ventilem v dutině vrchlíku dochází k dělení paliva do jednotlivých dýz. Výhodou tohoto provedení je, že není nutné montovat vstřikovač osou jehly ve směru osy spalovacího prostoru. Postačí díry vyvrtat z boční strany vrchlíku a je možné vstřikovač namontovat mimo osu spalovacího prostoru. Při tomto druhu montáže je nezbytně nutné zachovat správnou orientaci vstřikovače. Z toho vyplývá, že v tomto případě by bylo velice technicky složité používat vstřikovače šroubované do hlavy motoru. Namísto šroubování se používá pouhé vsunutí vstřikovače, který je následně přitlačován šroubem přes vahadlo. Pro zajištění správné pozice je sedlo vstřikovače pro vahadlo tvarované tak, že vstřikovač lze do vahadla vložit pouze ve správné orientaci. [8]

„Hmotnost jehly a s ní se pohybujících dílů musí být pro omezení setrvačných sil co nejmenší, avšak vedení musí být mimo oblast vysokých teplot tak, aby na jehle nevznikaly laky z teplotního rozkladu paliva. Proto se používají tzv. prodloužené trysky s vedením jehly oddáleným od sedla a otvůrků“.

[1, str.155]



Obrázek 5: Provedení čepových a víceotvorových trysek [1]

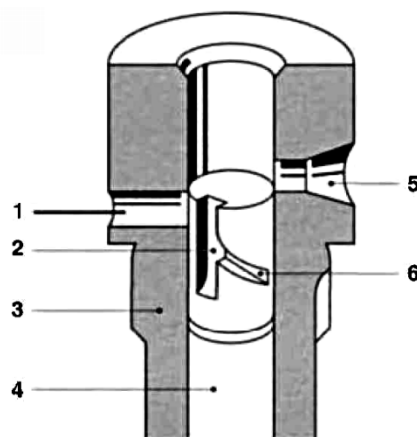
4. Vstřikovací čerpadlo

Existují dvě hlavní kategorie vstřikovacích čerpadel. Jejich hlavní rozdíl je v nutnosti mít synchronizovaný běh čerpadla s fází motoru – osazené rozdělovačem paliva. Čerpadla, u kterých na tomto faktoru nezáleží, jsou vysokotlaká čerpadla pro vstřikování common-rail, kde se o načasování vstřiku stará řídicí jednotka. Dále také čerpadla pro sdružené vstřikovače (PD), kde se o načasování vstřiku stará vačková hřídel poháněná rozvodem motoru.

Pro tuto práci jsou významná čerpadla se synchronizovaným během. Tyto čerpadla patří mezi pístová a využívají tři základních způsobů konstrukce. Pro použití v menších motorech, jako jsou motory pro osobní automobily, se jedná o tzv. čerpadla bloková, která tvoří jeden odmontovatelný celek, nejsou tedy integrovaná do bloku motoru. [8]

4.1.Řadové pístové

Řadové pístové je nejstarší používaná konstrukce čerpadla. Hlavním charakterizujícím rysem tohoto čerpadla je, že ke každému válci motoru přísluší jeden pístek (4) v čerpadle. Tyto písty jsou poháněné vačkovou hřídelí v těle čerpadla a o zpětný chod pístů se stará pružina. Vstřikovací jednotky jsou umístěny v jedné rovině podél osy vačkové hřídele. Díky použití vačkové hřídele je rozsah zdvihu pístu pevně daný, proto je nutné použít jiný způsob regulace dávky paliva. Pístek má proto jednu svislou drážku (2), která vede od vrchu pístu do vzdálenosti odpovídající zdvihu pístu. Druhá drážka je šroubovitá drážka (6) do svislé drážky napojená. Regulace probíhá natáčením pístu osazeného ozubeným věncem na jeho spodní části, na který přiléhá regulační ozubený hřeben. Při pohybu pístu dolů je svislá drážka natočena k sacímu kanálu



Obrázek 6: Sestava píst-válec u řadového čerpadla [8]

(1) a zaplňuje pracovní prostor palivem. V dolní úvrti se otočením pístu uzavře přívod paliva a probíhá stlačování. Natočením pístu se docílí správná poloha spirálové drážky oproti přepadovému kanálu (5), kam odvede drážkou nadbytečné palivo. [8]

4.2.Radiální pístové

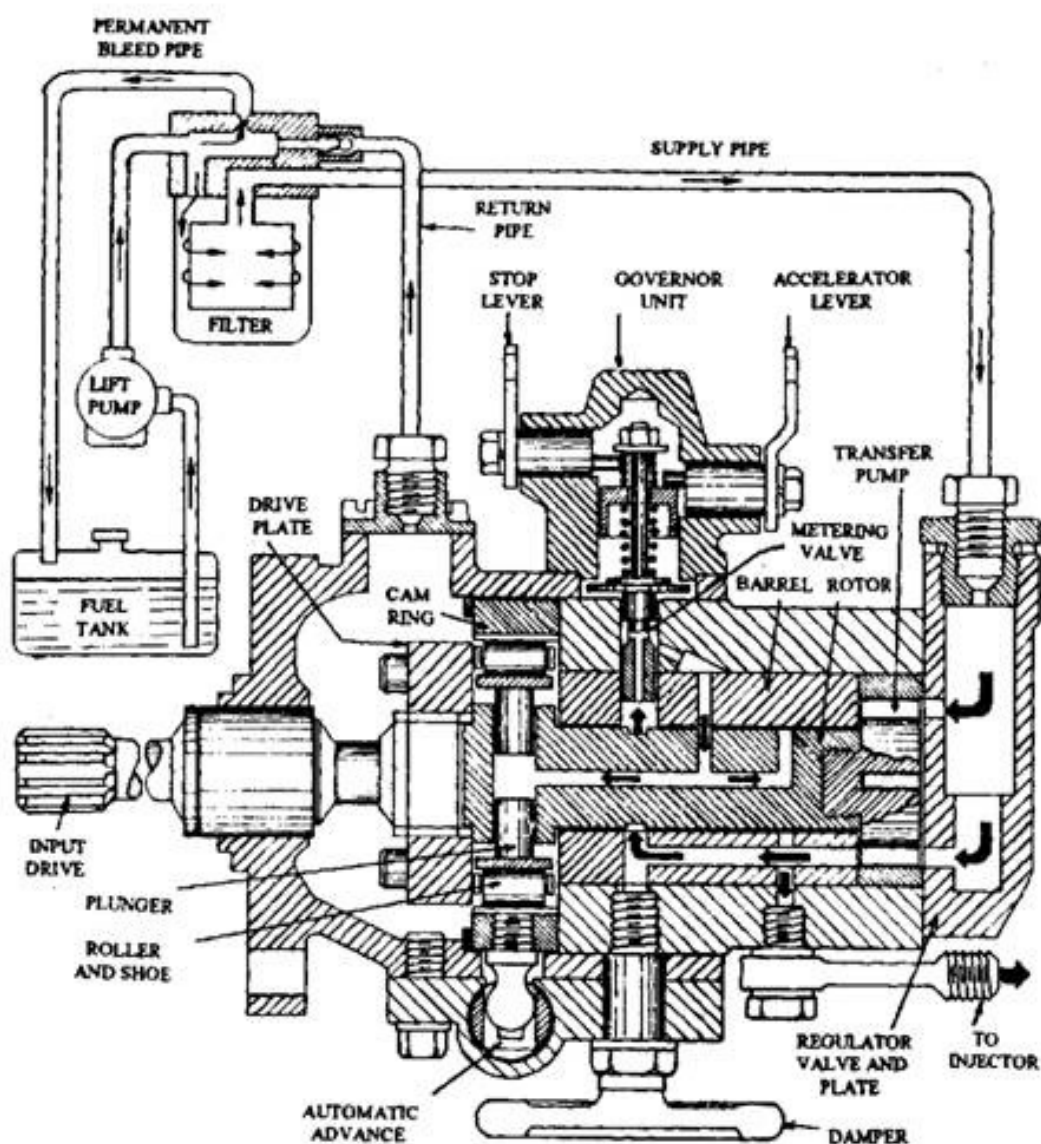
V technologii radiálních pístových čerpadel pro malé motory se nejvíce projevil výrobce Lucas. Bosch tuto technologii aplikoval až v devadesátých letech u čerpadel řady VP. Charakteristickým znakem této konstrukce je rozšířená hřídel, ve které je umístěn válec s protiběžnými písty i rozdělovač paliva.

Prvotním zdrojem paliva je podávací nízkotlaké čerpadlo, které si podtlakově nasává palivo přes palivový filtr z nádrže. Nízkotlaké čerpadlo bývá nejčastěji křídlové konstrukce. Vysokotlaká část je umístěna uvnitř rozšířené hřídele. Napříč hřídelí je vyvrtán válec s umístěnými protiběžnými písty. Písty jsou proti sobě stlačovány radiální prstencovou vačkou s vačkovým profilem na vnitřní straně. Zpětného pohybu pístů je docíleno díky odstředivé síle. Vysokotlaká část je spojena centrálním kanálem s rozdělovačnou částí hřídele. V ní je příslušný počet sacích kanálků (radiální vývrty vedoucí do centrálního kanálu), jejichž počet koresponduje s počtem válců motoru. Poslední

důležitou částí je výstupní kanálek (radiální vývrt do centrálního kanálu) který odvádí stlačené palivo dále směrem ke vstřikovači.

Každá čtvrt-otáčka čerpadla projde jedním cyklem stlačení pístů, kde při sacím zdvihu pístů je v zákrytu sací kanálek v hřídeli s přívodním kanálkem a celý prostor duté hřídele se plní palivem. Během fáze stlačování dochází k zákrytu výstupního kanálku s vysokotlakým kanálkem vedoucí přes tlakový ventil k potrubí a vstřikovači.

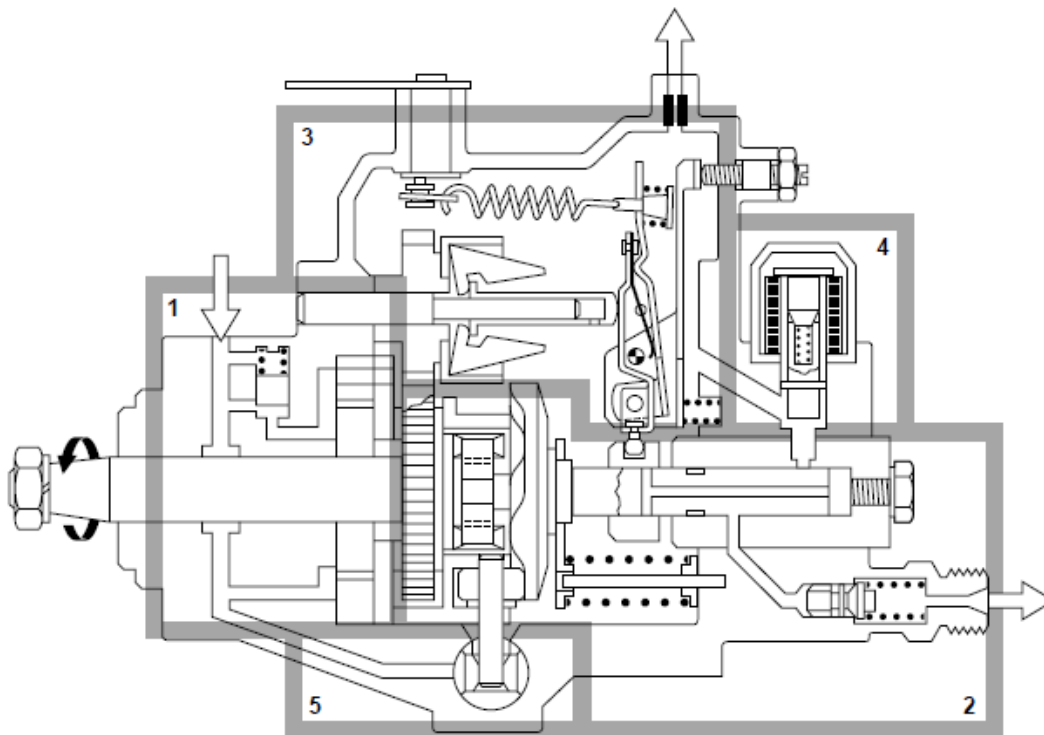
K regulaci předvstřiku se využívá otočně uložené vačky, která je v potřebném rozsahu (až 20°) unášena hydraulickou regulací, případně v moderním provedení solenoidem. Regulace vstřikovaného paliva je realizována škrcením přívodního kanálu ventilem, který lze ovládat mechanicky i elektronicky. [2]



Obrázek 7: Radiálně pístové čerpadlo [10]

4.3. Axiální pístové

Naprosto typickým představitelem vstřikovacího čerpadla využívajícího technologii axiálního pístu je čerpadlo Bosch řady VE. Tato řada čerpadel byla používána u vznětových motorů více než 10 let. Jedná se o čerpadlo, u kterého výrobce uvádí použitelnost pro motory do výkonu 25kW na válec. Proto jej bylo možné využít od nejmenších osobních automobilů, přes dodávky, až po 8 válcové motory používané v USA. [7]



Obrázek 8: Axiální pístové čerpadlo Bosch VE [7]

4.3.1. Nízkotlaká část

Nízkotlaká část (1) palivového systému se skládá z palivové nádrže, palivového potrubí, palivového filtru, křídlového podávacího čerpadla, regulátoru tlaku a restrikce vratného potrubí. Úkolem křídlového čerpadla je dopravit palivo z nádrže, což je realizováno podtlakem v palivovém potrubí, proto je celý systém náchylný na zavzdušnění. Pokud by z konstrukčního hlediska bylo nutné použít delší palivové vedení nebo použití motoru s vysokým výkonem, tak se systém doplňuje ještě o elektrické podávací čerpadlo v nádrži. Palivo dodávané čerpadlem prochází přes regulační ventil, který udržuje tlak 3-10bar a mění se v závislosti na otáčkách. Malá část dodávaného paliva se vrací vratným potrubím zpátky do nádrže. Protože je vyústění vratného potrubí umístěno v nejvyšším bodě čerpadla, tak plní odvzdušňovací funkci a zároveň odvádí ohřátým palivem teplo z čerpadla. Dodávané množství paliva odpovídá až pětinasobku paliva potřebného. [7]

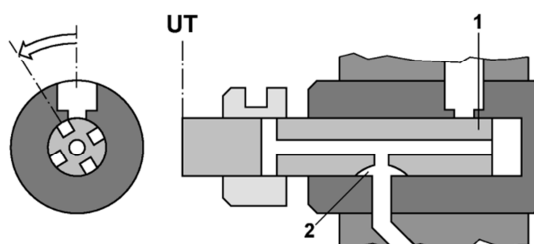
4.3.2. Vysokotlaká část

Tlak paliva nutný pro vstřikování vytváří vysokotlaká část čerpadla. Stlačené palivo proudí přes škrťací zpětný ventil, po kterém následuje vysokotlaké potrubí vedoucí ke vstřikovačům. Nejdůležitější článek celé vysokotlakého čerpadla je samotný píst. Ten

zahrnuje dvě funkce. První je samotné stlačování paliva, které je dáno jeho axiálním posuvem a druhou funkcí je rozdělovat palivo pro jednotlivé vstřikovače, což zajišťuje systém kanálků ve spojení s rotací pístu. Píst se pohybuje v rozdělovací hlavě v prostoru přesně obrobeneho válce, což zajišťuje dostatečné utěsnění a prolínající palivo plní funkci maziva. V rozdělovací hlavě je jeden přívodní kanálek pro palivo a příslušný počet vysokotlakých kanálků pro odvod paliva k jednotlivým vstřikovačům. O rotační pohyb pístu se stará přes čelní vačku hřídel čerpadla. Axiální posuv pístu je realizován přes pevně uložený nosič, ve kterém jsou uloženy válečky. Přes tyto válečky se odvaluje samotná vačka, která svým pevným spojením působí na pístek. Jednotlivé fáze pístu jsou vysvětleny na obrázku 9.

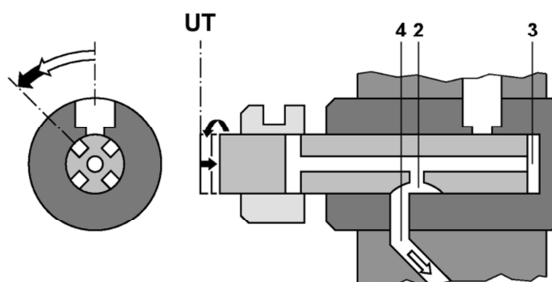
a) Uzavření vstupního kanálu

V DÚ pístek (1) uzavírá vstupní kanálek a výstupní drážka (2) otevírá výstupní kanálek



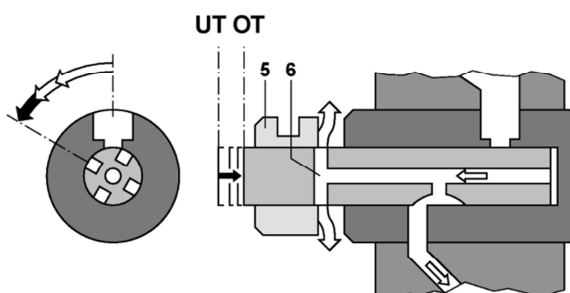
b) Dodávka paliva

Během pohybu pístku k HÚ se stlačuje palivo v pracovním prostoru (3) a výstupní drážkou je tlačeno do výstupního kanálku (4) v rozdělovací hlavě.



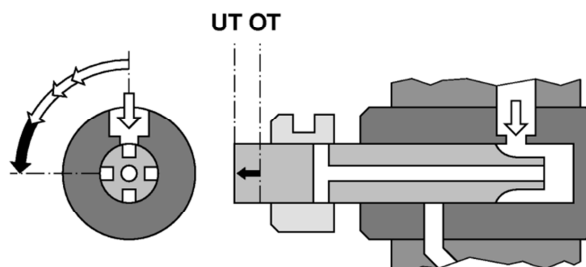
c) Konec dávky

Dodávka paliva končí v momentu, kdy je regulačním prstencem (5) otevřen regulační kanálek (6) a dojde k poklesu tlaku.



d) Nasání paliva

Krátce před HÚ se otevírá vstupní kanálek a pracovní prostor se plní palivem až do momentu DÚ, kde se kanálek uzavírá.



Obrázek 9: Jednotlivé fáze pístu [7]

Dalším důležitým prvkem vysokotlaké části je škrtkový zpětný ventil. Úkolem tohoto ventilu je udržet tlak v potrubí ke vstřikovači v těch fázích čerpadla, kde není palivo do potrubí tlačeno. Ventil je v klidové fázi uzavřen pružinou, případně ještě přitlačován tlakem paliva v potrubí. Proti této pružině působí palivo vtlačované do prostoru pístem čerpadla. Při dosažení definované meze tlak otevírá ventil a palivo začíná pod tlakem proudit do potrubí. Následně dojde k otevření vstřikovače a vstřiku až do doby než je ukončena dodávka paliva, kde se vstřikovač následkem poklesu tlaku paliva uzavírá. Při uzavření vstřikovače se od něj odráží tlaková vlna paliva a směřuje zpět ke škrtkovému ventilu. Ventil část paliva pustí zpátky do rozdělovací hlavy, tím zabrání dalšímu odrazení tlakové vlny od ventilu, která by při setkání se vstřikovačem ještě jednou uvolnila jehlu, a došlo by k nežádoucímu dostřiku. [7]

4.3.3. Řízení předvstříku

Předvstřík je dynamická veličina, která se odvíjí od otáček motoru, jeho zatížení a v neposlední řadě i teploty. Předvstřík se udává v úhlu klikové hřídele před dosažením HÚ (v HÚ 0°). Jeho stanovení se odvíjí od rychlosti vznícení paliva a dosažení maximálního tlaku, které se dá považovat za konstantu s hodnotou v rámci desítek milisekund. Pakliže je čas hoření konstantní, tak rychlost pístu se v různých otáčkách liší, proto je nutné s rostoucími otáčkami snižovat úhel předvstříku. O regulaci předvstříku se stará radiálně otočný nosič kladek pro čelní vačku. Otáčením nosiče kladek se mění fáze úvratí pístu, což má za následek odlišnou charakteristiku tlaku paliva do vstřikovače.

Nutnost regulovat předvstřík v závislosti na otáčkách využívá vlastnost nízkotlaké části, a tou je rostoucí tlak paliva dodávaný nízkotlakým čerpadlem s rostoucími otáčkami. Tento proměnlivý tlak působí na píst (obrázek 8, oblast 5) umístěný v dolní části čerpadla, který je udržován ve výchozí poloze pružinou. Zhruba v polovině pístu je vyvrtný otvor, do kterého ústí čep s kulovou plochou na konci, z druhé strany je tento čep pevně uložen do otočného nosiče kladek. Tím je docíleno převodu posuvného pohybu pístu na rotační pohyb pro nastavení předvstříku. [1]

4.3.4. Regulace dávky paliva – odstředivá regulace

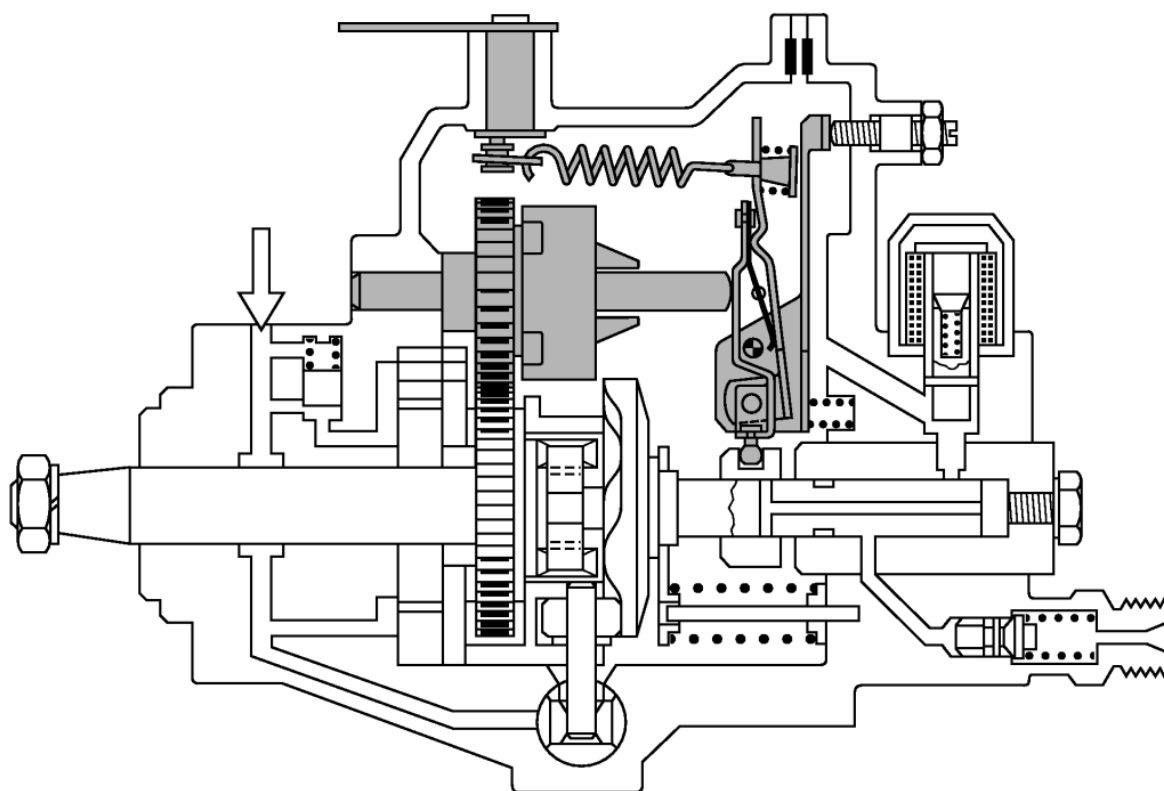
Z konstrukčního hlediska čerpadla nelze regulovat dávku paliva proměnnou délkou zdvihu pístu, bylo tedy nutné k regulaci přistoupit jinak. Řešením problému je regulační prstenec navlečený na píst, který v daný okamžik dávkování paliva otevře přepadový kanál a uvolní tlak paliva do nízkotlaké části.

O pohyb resp. polohu prstence se stará pákový mechanismus tzv. „soupáčí“. Soupáčí je otočně uloženo v těle čerpadla, v jeho spodní části je kulový čep zasunutý do drážky prstence, který se stará o samotnou regulaci jeho posuvem po pístu.

Celé soupáčí se skládá ze 3 pákových elementů doplněných o pružiny. První páka je uložena přímo do skříně čerpadla a má na starosti celkovou dávku paliva. Její polohu určuje napevno nastavený šroub. Druhá páka je excentricky uložena do první páky a je z jedné strany ovládána odstředivou regulací a přímo ovládá regulační prstenec – startování páka. Na její druhou stranu tlačí poslední páka, která je ovládána pedálem akcelérátoru.

Odstředivý regulátor plní dvě funkce. První funkcí je úplné otevření regulačního kanálku při brždění motorem, tedy stavu, kdy nepůsobí síla od akceleračního pedálu, ale motor pracuje ve zvýšených otáčkách. V tomto stavu vyvíjí odstředivý regulátor dostatečnou sílu, aby přetlačil sílu pružiny a posunul regulační prstenec. Druhou funkcí je omezovač

maximálních otáček, kdy při dosažení daných maximálních otáček je odstředivá síla působící na soupáči větší, než síla pružiny v táhle od akcelérátoru. [7]



Obrázek 10: Regulace dávky paliva [7]

4.3.5. Turbokorekce

Turbokorektor reaguje na tlak plnicího vzduchu tvořený turbodmychadlem nebo kompresorem a přizpůsobuje dávku paliva dodávanému množství vzduchu.

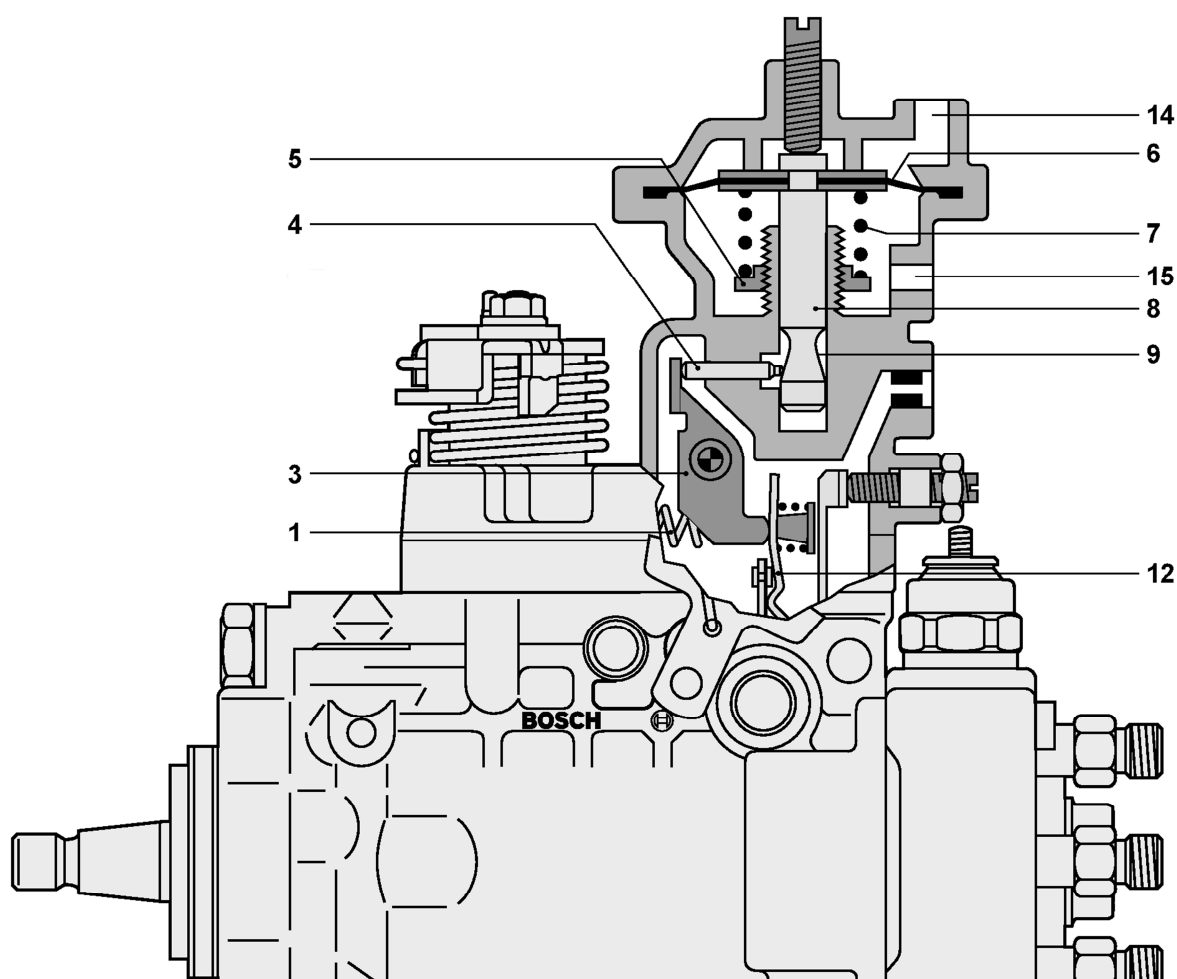
Turbokorektor se využívá u přeplňovaných vznětových motorů. U těchto motorů je množství vstřikovaného paliva přizpůsobeno zvýšenému plnicímu tlaku (během přeplňování). Pokud přeplňovaný vznětový motor pracuje s omezeným přeplňováním, tak se vstřikovaná dávka paliva musí přizpůsobit nižšímu množství vzduchu. To je zajištěno turbokorektorem (LDA), který na základě nižšího plnicího tlaku sníží dávku paliva.

LDA je umístěn na vrchu vstřikovacího čerpadla. Na vrcholu LDA je umístěn vstup pro připojení plnicího tlaku (14) a pod ním odvzdušňovací otvor (15). Vnitřek LDA je rozdělen na dvě vzduchotěsně oddělené části membránou (6), na kterou zesponu tlačí pružina (7). Na druhé straně pružiny je matice (5), kterou se nastavuje její předpětí. To slouží ke správnému nastavení maxima LDA pro nejvyšší tlak od turbodmychadla. Membrána je připojena na posuvný kolík (8), který je zúžen do řídicího kužele (9). Kužel je v kontaktu s řídicím kolíčkem (4), který přenáší posuvné pohyby kolíku na soupáči (12), přes které ovlivňuje dodávanou dávku paliva. Počáteční poloha membrány a posuvného kolíku je dána stavitelným šroubem na vrchu LDA.

Při nízkých otáčkách motoru je tlak, tvořený turbodmychadlem, působící na membránu nedostatečný pro překonání předpětí pružiny. Membrána zůstává ve výchozí pozici.

Jakmile tlak působící na membránu vzroste na určitou mez, tak už je síla, kterou působí membrána, větší než předpětí pružiny a celá sestava membrány s posuvným kolíkem se pohybuje proti pružině. Řídící kolíček se posouvá v závislosti na vertikálním pohybu kužele a působí na reverzní páku (3). Reverzní páka tvoří protisílu na pružinu táhla od akceleratoru (1), výsledkem pohybu řídicího kolíčku je tedy uvolňování zmiňované protisíly, což umožní větší škrcení přepadu pístu regulačním prstencem.

V případě, že by došlo k závadě na přeplňování, tak turbokorekce zůstane v základní poloze a bude omezovat dávku paliva v celém rozsahu otáček, což umožní provoz motoru bez nadměrné kouřivosti způsobené přebytkem paliva ve směsi. [7]

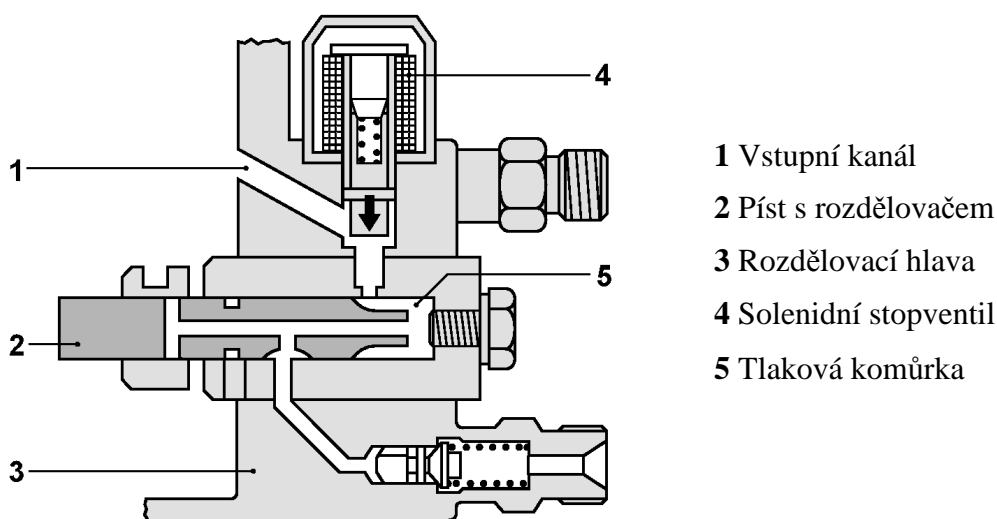


Obrázek 11: Turbokorekce [7]

5. Spuštění a zastavení motoru

Spouštění motoru je nejčastěji realizováno pomocí elektrického spouštěče, který otáčí klikovou hřídelí motoru přes ozubení na vnější straně setrvačnicku. Čerpadlo Bosch VE je pro stav při spouštění motoru uzpůsobeno několika prvky. Předvstřík na nosiči kladek je nastaven pevně do krajní (startovací) polohy pružinou. *Globální nastavení předvstříku určuje rozvod motoru, ten jej v první řadě stanovuje správným nastavením fáze čerpadla proti fázi motoru přesazením drážkovaného řemene (popř. řetězu nebo ozubených kol). Tím se dá nastavit poloha předvstříku podle počtu zubů rozvodového kola v krocích zhruba po 8-10°. Jemné doladění předvstříku se provádí otáčením celého těla čerpadla, případně se používá stavitelná řemenice.* Startovací dávka paliva je zajištěna startovací pákou soupáčí, která je ve startovací poloze držena slabou pružinou. Po startu je síla pružiny přetlačena odstředivým regulátorem a chod čerpadla už je řízen standardně. Dále bývá čerpadlo doplněno pákou pro zvýšení volnoběhu u studeného motoru.

Pro zastavení motoru se využívá nejčastěji elektromagnetický ventil (tzv. stopventil) (viz obrázek 8, oblast 4). Stopventil je cívka s uvnitř umístěnou volně pohyblivou jehlou, která je průtokem elektrického proudu vinutím cívky vtažena dovnitř ventilu. V klidové poloze je jehla s kuželovou těsnící plochou tlačena do uzavřeného stavu pružinou. Ventil uzavírá přívod paliva do vstupního kanálku pístu, tím zastaví vstříkávání a motor se zastaví. Při spouštění motoru je tento ventil otevírán už ve fázi žhavení. [7]



Obrázek 12: Stopventil [7]

Posledním důležitým komponentem pro start jsou žhavicí svíčky. Úkolem žhavicí svíčky je usnadnit spuštění studeného motoru. Konstrukce žhavicí svíčky je jednoduchá. Skládá se ze šroubení pro připojení elektrického vodiče, dále pak závitu společně s těsnící plochou pro montáž do hlavy motoru a nakonec samotného žhavicího tělesa. To je tvořeno kovovým tělem, uvnitř kterého je odporový drát. Při průchodu elektrického proudu se drát rozžhává a vytvořené teplo přechází na špičku kovového těla. Svíčka dosahuje teploty až 800°C. Funkcí žhavicí svíčky je usnadnit vznícení paliva. Toho je dosaženo vysokou povrchovou teplotou, a protože je umístěna uvnitř spalovací komory v cestě kuželu vstříknutého paliva, tak se na rozžhaveném povrchu okamžitě palivo odpaří a vytvoří vznětlivou směs potřebnou pro start. [1]

6. Praktická část – analýza

Úkolem této práce je zhodnotit možnosti v zástavbě přeplňovaného vznětového motoru do vozidla Ford Escort z roku 1990, který je osazen vznětovým atmosféricky plněným motorem.

Jedná se o motor Ford s označením Endura-D. Blok i hlava motoru jsou litinové odlitky. Hlava motoru využívá dvouventilovou konstrukci s rozvodem OHC. Kliková hřídel pohání dva rozvodové řemeny. Prvním je poháněna vačková hřídel, dále také olejové čerpadlo a vodní pumpa chladicího okruhu. Druhý ozubený řemen pohání pouze vstřikovací čerpadlo.

Motor je navržen pro systém komůrkového vstřikování. Později byl motor modernizován pro přímý vstřik a nakonec i v provedení se vstřikováním common-rail.

6.1. Navrhované možnosti

Stávající motor ve vozidle má označení RTH, atmosféricky plněný a poskytuje výkon 44kW. Motor je osazený vstřikovacím čerpadlem Bosch VE s plně mechanickou regulací. Z rozšiřujících elementů je čerpadlo doplněno o hydraulickou regulaci předvstřiku a páky pro zvýšený volnoběh studeného motoru. Tato páka je ovládána lankem od bimetalového elementu umístěného na domku termostatu v místech malého okruhu chlazení. Vstřikovače jsou osazeny tryskami typu flat-cut.

Motor, kterým je v plánu osadit vozidlo má označení RVA, který pochází z vozidla z roku 1997. Motor je přeplňovaný turbodmychadlem Garrett, kde plnicí tlak dosahuje ve špičce hodnoty 1bar a při stálé plné zátěži nabízí motoru tlak 0,9bar. [3]

Motor je osazen radiálním pístovým čerpadlem Lucas s elektronicky řízeným volnoběhem a předvstřikem. Na tělese čerpadla se také nachází pod mohutným krytem imobilizér ovládající stopventil. Elektronické prvky jsou řízeny řídicí jednotkou Ford EEC-V. Jednotka vyhodnocuje vstupní informace ze snímače otáček, měřiče množství nasávaného vzduchu, snímače polohy páky akcelérátoru, snímače rychlosti, čidla teploty motoru a snímače délky vstřiku. Na základě těchto informací a případných dalších aspektů (např. spuštění klimatizace) jednotka vyhodnotí vhodné nastavení předvstřiku, na niž je čerpadlo solenoidem nastaveno. Solenoid je řízen pulsně šířkovou modulací.

Tento motor není vybaven mezichladičem stlačeného vzduchu a jeho čerpadlo nedisponuje turbokorekcí, tím je dán nižší výkon 51kW. Silnější verze motorů byly doplněny o mezichladič i turbokorekci a ty nabízely výkon 66kW.

Posledním komponentem, jehož využití je možné pro řešení tohoto problému, je vstřikovací čerpadlo z vozu Citroën BX, 1,9TD. Jedná se o Čerpadlo výrobce Bosch řady VE. Hlavním důvodem pro volbu daného čerpadla bylo to, že čerpadlo disponuje turbokorekcí a pochází z motoru s nevelkým rozdílem ve zdvihovém objemu.

Protože oba motory vycházejí ze stejného odlitku, tak mají stejné i veškeré montážní otvory, jako jsou závity pro držáky motoru, závity pro držáky periferií (alternátor a hydraulické čerpadlo posilovače řízení) a stejné otvory pro spojení s převodovkou. Chlazení pístů je realizováno pomocí ostříku spodní strany pístu olejem.

Jediný rozdíl u přeplňovaného motoru je přidání tepelný výměník voda-olej na tělese olejového čerpadla. S tím se pojí pouze potřeba použití jiných hadic chladicího okruhu.

6.1.1. První možnost

První možností, která se nabízí je využít cílový motor kompletně osazený sériovými komponenty vstřikovací soustavy a bez dalších úprav jej použít do vozidla.

Z hlediska potřebných úprav na motoru se jedná o nejjednodušší řešení, protože nejsou potřeba žádné úpravy na mechanice motoru a vstřikování.

Hlavním problémem této varianty je nutnost použít příslušnou elektroinstalaci pro oživení motoru. Nezbytná elektroinstalace se skládá z kompletního kabelového svazku pro komunikaci mezi senzory a akčními členy s řídicí jednotkou. Řídicí jednotka je fyzicky umístěna v kabině pod palubní deskou na pravé straně. Kabelový svazek k jednotce vede pod palubní deskou na levou stranu, kde je napojený do pojistkové skříně a pokračuje průchodkou v přepážce do prostoru podběhu kola a následně do motorového prostoru, kde se už rozděluje na příslušné větve. Tedy nutnost demontovat palubní desku.



Obrázek 13: Originální čerpadlo Lucas

U připojení do pojistkové skříně by také mohl vzniknout problém, protože pojistkové skříně se během evoluce a napříč motorizacemi měnily. S malou pravděpodobností by stačilo pouze zapojit konektor a osadit příslušnou pojistku a relé. Nejpravděpodobněji by bylo potřeba přepínat konektor do jiné patice nebo dokonce použít pojistkovou skříně k příslušnému motoru. Při této variantě by se nabízela otázka, jestli by do pojistkové skříně pasovaly konektory ostatní palubní elektroinstalace (např. osvětlení), což by vyžadovalo důkladnou analýzu elektrických schémat obou vozidel.

Dalším problém nastává v otázce imobilizéru. Imobilizér funguje na principu čtení kódu z pasivního čipu v klíčku, který je porovnáván se záznamem v řídicí jednotce. Na základě shody hodnot umožní spuštění motoru. Samotný čip imobilizéru je v klíčku zalepený a při pokusu o vyjmutí obvykle dojde k jeho poškození. Bylo by tedy nutné vyměnit vložku

zámku v zapalování, aby mohl být použit klíč s příslušným imobilizérem a v tomto případě by bylo vhodné vyměnit i všechny ostatní zámky na vozidle – jeden klíč na celé auto. Dalším problémem je umístění snímací cívky imobilizéru, pro jejíž montáž je uzpůsobeno uložení zámku a volantové tyče. Tímto uložení cílový automobil nedisponuje a bylo by nutné jej také vyměnit. Varianta použití náhrady klíče vyrobeného s imobilizérem, ale podle původní vložky není zohledněna z důvodu finanční náročnosti - nutnost dopravit auto na podvalníku do autorizovaného servisu a tam naprogramovat do jednotky příslušný klíč.

6.1.2. Druhá možnost

Jako druhá zvažovaná možnost je osazení motoru kompletním čerpadlem z Citroën BX. Toto čerpadlo obsahuje pouze jediný elektricky ovládaný element, kterým je stopventil. Z tohoto důvodu by nebyly nutné žádné úpravy na elektroinstalaci.

Co se týče mechanické kompatibility, tak tady by bylo nutné se vypořádat s řadou problémů. Podpůrný držák čerpadla, který je přišroubovaný k rozdělovací hlavě, půjde bez problémů použít z čerpadla původního atmosférického motoru. Umožňuje to unifikované rozložení děr a závitů na rozdělovací hlavě. Jediné, co bude potřeba upravit je uchycení lanka od pedálu akcelérátoru, kde bude nutné jej uříznout a přivařit na druhou stranu, protože akcelerační páka je zde vyvedena na druhou stranu.

Uchycení čerpadla do jeho hlavního držáku na straně řemenice nebude problematické z hlediska roztečné kružnice děr – ty jsou stejné. Nastávají zde ale dva jiné problémy. Prvním je způsob uchycení, kde v originálním provedení jsou v těle čerpadla závity a za ně je čerpadlo přichyceno k držáku. V navrhovaném čerpadle nejsou závity, ale jsou zde oválné díry. Důvod oválných děr je, že se u výchozího motoru ladil předvstřík otáčením čerpadla. Tento problém je řešitelný, i přes horší přístupnost, použitím delších šroubů v odpovídající pevnosti, podložek a matek s příslušným jištěním. Druhým problémem je průměr středící díry čerpadla. Kde díra v hlavním držáku má průměr 67,9mm, ale středící válec na čerpadle má průměr 50mm. Tento problém lze vyřešit výrobou kovového redukčního kroužku, který vyřeší správné vystředění, ale naskýtá se otázka, jak kroužek zajistit v axiálním směru. Z konstrukčního hlediska čerpadla a držáku jej není možné jakkoliv mechanicky zajistit proti uvolnění do prostoru pod řemenicí. Jedinou možnou variantou je výroba kroužku s přesahem na straně čerpadla a na čerpadlo jej nalisovat a pojistit vhodným lepidlem.

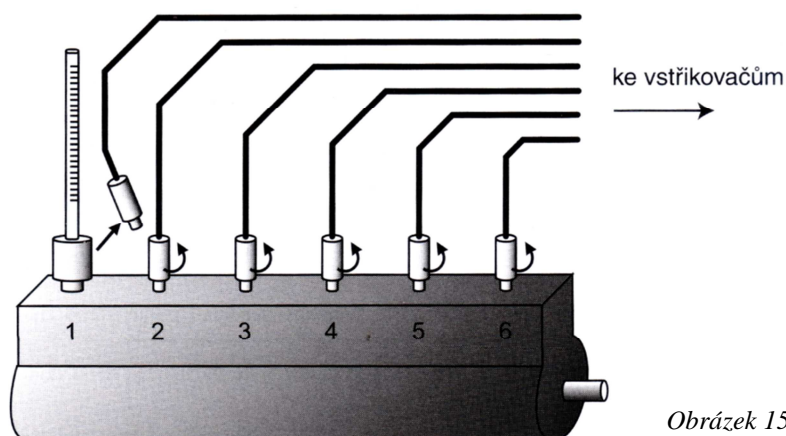
Největším konstrukčním problémem je délka hřídele čerpadla, která je o 13mm kratší. Po namontování unašeče rozvodového kola už nelze namontovat samotné kolo, protože to už koliduje s uložením čerpadla. Samotný řemen by nebyl veden celou svou šířkou na rozvodovém kole a pravděpodobně by došlo k jeho sklouznutí. Tady se nabízí dvě možná řešení. První je vymežovací prstenec o tloušťce 13mm vložený mezi unašeč a kolo nebo druhá možnost je výroba nového unašeče. Výroba nového unašeče by byla komplikovanější metoda, protože na hřídel čerpadla dosedá kuželovou plochou a k přenosu radiálních sil ještě napomáhá pero. Bylo by tedy nutné obrábět vnitřní kuželovou plochu a do ní následně drážku pro pero.



Obrázek 14: Čerpadlo Bosch VE z motoru Citroën

Z hlediska vstřikování by bylo potřeba upravit dávku paliva pro menší zdvihový objem, toto nastavení se provádí stavitelným šroubem na víčku čerpadla a samotné doladění by proběhlo při zkušebním provozu s ohledem na kouřivost. Další věc, která je odlišná je tlak, při kterém se otevírají vstřikovače. Motor Ford otevírá vstřikovače při tlaku 135bar a motor Citroën při 150bar. Bylo by tedy nutné demontovat vstřikovače a svěřit je na seřízení odborníkovi.

Samotné nastavení čerpadla do správné fáze by se také zkomplikovalo díky nemožnosti postupovat podle tovární příručky s využitím originálních aretačních otvorů. Bylo by nutné najít počátek vstřiku ručně pomocí číselníkového úchylkoměru, se kterým se zjišťuje HÚ pístu. Pro vstřik správného válce by se použila metoda s kapilárou místo trubky ke vstřiku, která umožní vysledovat do kterého vstřiku resp. válce je zrovna v dané fázi dodáváno palivo.



“Připojení kapiláry k vstřikovacímu čerpadlu. Odpojíme vedení k prvnímu válci a místo něj připojíme přípravek s kapilárou. Ostatní trubky povolíme.“ [5, str.46]

Obrázek 15: Schéma použití kapiláry [5]

6.1.3. Třetí možnost

Poslední navrhovanou možností je osazení motoru „hybridním“ čerpadlem. Pod pojmem hybridní čerpadlo je myšleno čerpadlo Bosch VE se spodní částí Ford a víčkem s turbokorekcí z čerpadla Citroën. Elektroinstalace by zůstala stejně jako v minulém řešení původní.

Problémy se zástavbou čerpadla do držáků by nebyly žádné, protože ta část čerpadla, ve které jsou připojovací otvory, zůstane z původního čerpadla atmosférického motoru a středící díra v držáku také koresponduje s čerpadlem. Otevírací tlak vstřikovačů není potřeba měnit, protože vysokotlaká část je použita bez úprav, takže koresponduje s nastavením vstřikovačů. To samé by platilo o nastavení rozvodů, kde bude možné postupovat podle výrobcem daných postupů. Jediný problém nastává v opoře vedení lanka od pedálu akcelérátoru, které bude nutné převařit na požadovanou stranu pomocného držáku.

Z hlediska nutných úprav je tato metoda nejsložitější, protože je nutné rozebrat dvě čerpadla a z jejich komponentů následně složit jedno, které bude mít požadované vlastnosti.

Z čerpadla Citroën bude použito celé víčko osazené turbokorekcí včetně páky akcelérátoru a pákou studeného volnoběhu. Toto víčko díky modularitě čerpadel řady VE bude pasovat na skříň čerpadla z vozu Ford. V originálním čerpadle zůstane nezměněný celý spodek (hlavní hřídel, axiální vačka, nosič kladek včetně regulace předvstřiku, pístek, regulační prstenec a rozdělovací hlava včetně zpětných ventilů). Zůstane také celý systém odstředivé regulace. Jedinou věcí, co je na spodní části nutné vyměnit je soupáčí. Soupáčí Citroën je nutné použít z důvodu jiného rozložení komponentů v samotném víčku čerpadla, kde jsou rozdílně umístěny ovládací prvky, navíc doplněné o páku vycházející z turbokorektoru. Spodní částí soupáčí, která pouze posouvá regulační prstenec, je rozložení v případě obou čerpadel stejné.

Po nastartování motoru bude potřeba během zkušebních jízd celé čerpadlo následně správně seřídít.

6.2. Zhodnocení navržených možností

6.2.1. První

První navrhované řešení (použití kompletně sériově osazeného motoru a do vozidla dodělat příslušnou elektroinstalaci) má výhodu v tom, že motor po zapojení elektroinstalace bude ihned použitelný k provozu bez nutnosti jakéhokoliv seřizování.

Nevýhodou tohoto způsobu by byla elektrická instalace kombinovaná ze dvou schémat, což by prakticky znemožňovalo využití schémat při případném pozdějším diagnostikování závad na elektroinstalaci.

Nevýhoda z pohledu zástavby je v nutnosti provádět úpravy na dvou odlišných elektroinstalacích s cílem vytvoření funkčního celku. Mezi další nevýhody řadím instalaci imobilizéru, který vzhledem k věku a využití vozidla považuji spíše za nepotřebnou součást, která může akorát způsobovat problémy.

Jako největší problém této varianty je samotné použití radiálně pístového čerpadla Lucas. Ačkoliv z konstrukčního hlediska je toto čerpadlo méně náchylné na vnitřní netěsnosti, tak z praktických zkušeností s těmito čerpadly vychází najevo, že výrobce nejspíše neměl

dostatečně zvládnuté technologie obrábění nebo použité materiály, což se podepisuje na stavu vstřikovací soustavy. Porovnáním dvou motorů se srovnatelným počtem ujetých kilometrů, z nichž je jeden osazen čerpadlem Lucas a druhý čerpadlem Bosch VE, vychází v případě studeného startu v zimním období jako úspěšnější motor s čerpadlem Bosch. Kdežto motor s čerpadlem Lucas má se startem větší problémy.

Z důvodu, že použité čerpadlo nedisponuje turbokorekcí a na základě výše uvedených argumentů je takto možnost hodnocena jako nejméně vhodná pro realizaci.

6.2.2. Druhá

Druhé navrhované řešení (osadit motor kompletním čerpadlem z vozu Citroën) už vylučuje z procesu řízení čerpadla elektroniku, což je bezesporu velkou výhodou a díky kompletní mechanické a nastavitelné regulaci umožňuje využití čerpadla i v případě dalších úprav na motoru.

Nevýhodou daného řešení je množství úprav, jejichž realizace by vyžadovala zakázkovou výrobu nových komponentů a práci určenou pro dobře vybavené odborníky (seřízení vstříků).

Dalším aspektem, který je třeba zohlednit je konstrukce čerpadla jako celku, kdy je navrženo pro jiný motor s odlišnými parametry (např. zdvihový objem a časování ventilů). Pro tento motor je navržena axiální vačka, regulace předvstříku a samotná vysokotlaká část. Nebylo by zaručeno, že se motor s takto nastaveným čerpadlem bude chovat ve všech jízdních režimech korektně.

Na základě zvážení všech aspektů je tato možnost hodnocena jako proveditelná, a také by nabídla dostatečné využití výkonového potenciálu motoru. Realizace možnosti by byla doporučena, ale s nutností zvážit finanční stránku věci, kde je nutné počítat se službami externích subjektů.

6.2.3. Třetí

Poslední navrhovanou možností bylo vytvoření hybridního čerpadla. Tato možnost je výhodná díky využití veškerých sériových držáků bez nutných úprav. Jedinou výjimkou je pouze nutná úprava uložení opory pro lanko akcelérátoru.

Další z výhod je, že není třeba zasahovat do nastavení vstřikovačů a mohou zůstat v sériovém provedení. Nastavení správného předvstříku na rozvodech bude také umožněno bez problémů pomocí servisní příručky od výrobce.

Přidanou hodnotu čerpadlo získá díky turbokorekci, která umožní naplno využít potenciál přeplňovaného motoru, ale díky širokým možnostem seřízení bude motor vhodně pracovat i z pohledu kouřivosti a emisí.

Tato možnost se jeví jako nejvhodnější z důvodu maximálně uzpůsobeného čerpadla pro daný motor. Dalším důležitým aspektem pro toto řešení je jeho transparentnost při opravách a pravidelném servisu. Jediné riziko, které se naskýtá, je při sestavování čerpadla, kdy bude otevřena vysokotlaká část a bude nutné dbát na čisté pracovní prostředí, aby se do ní prostoru čerpadla nedostaly pevné nečistoty, které by způsobily poškození čerpadla nebo vstřikovačů.

7. Realizace konstrukce

7.1. První sestavení

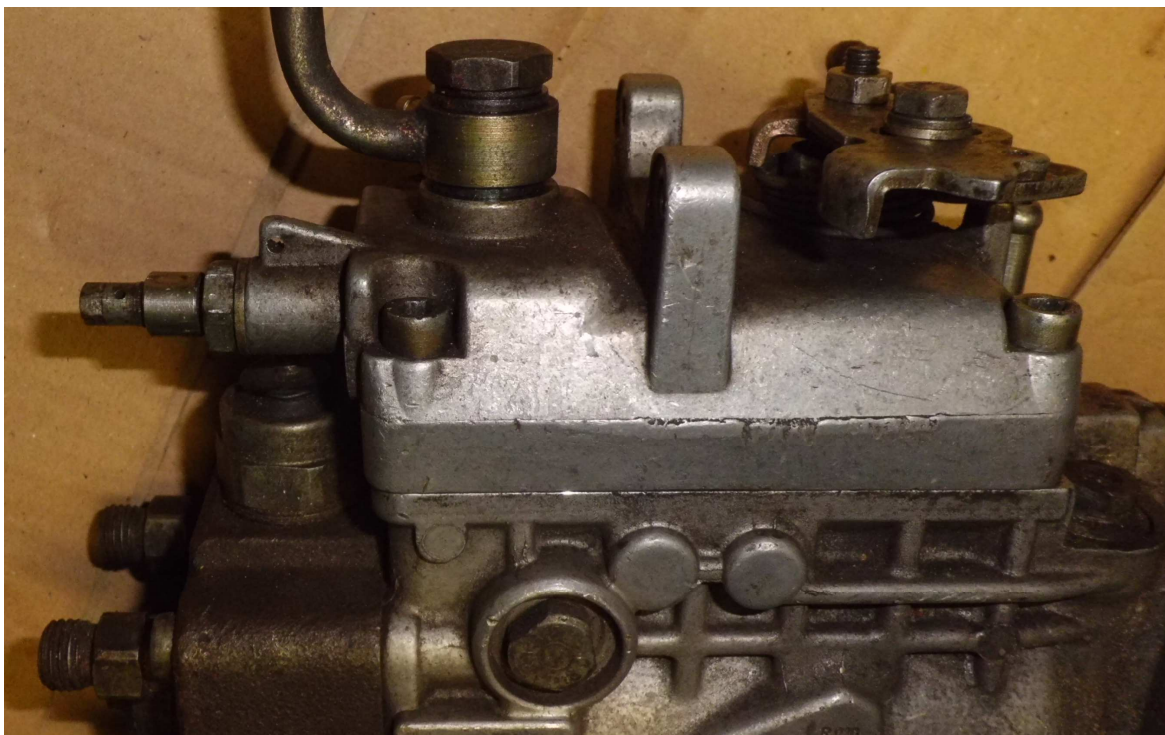
Nutno podotknout, že ke konstrukci s použitím hybridního čerpadla na automobil v minulosti už jednou došlo, a to v roce 2013. V té době, ještě bez řádných znalostí o vnitřní konstrukci čerpadla, vznikl pouze nápad na vytvoření hybridního čerpadla. Ten byl následně konzultován s odborníky v diesel-servisu. Těmi nebyla tato teorie vyvrácena a byla okomentována slovy „To by mohlo fungovat“. Následně jim byla práce svěřena.

Hybridní čerpadlo se podařilo složit a proběhla montáž na motor a následně celého agregátu do automobilu, který nikdy nebyl vyráběn s přeplňovaným motorem. Bylo potřeba několik hodin testovacích jízd spojených s neustálým odladováním čerpadla pro správný výkon motoru, při zachování nízké kouřivosti.

Automobil pouhý týden po prvním nastartování odjížděl na sraz do Velké Británie, kde i s cestou zpátky zvládl bez problémů ujet více než 3000km. Vozidlo jezdí bez problémů do dnes a má najeto bezproblémových více než 20 000km.

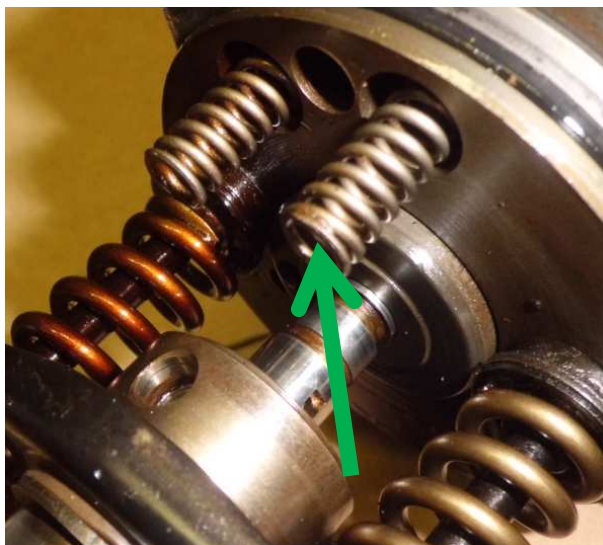
7.2. Aktuálně provedená konstrukce

Po předchozí úspěšné a odzkoušené aplikaci se naskytla další možnost pro stavbu. Tentokrát jsem se již došlo k hlubšímu nastudování problematiky a bylo rozhodnuto, že přestavba čerpadla bude realizována svépomocí. K dokonalejšímu porozumění principu čerpadla bylo použito zadřené čerpadlo, které mohlo být beze strachu několikrát rozebráno a složeno. Dále už nic nebránilo samotné realizaci.



Obrázek 16: Vičko původního čerpadla

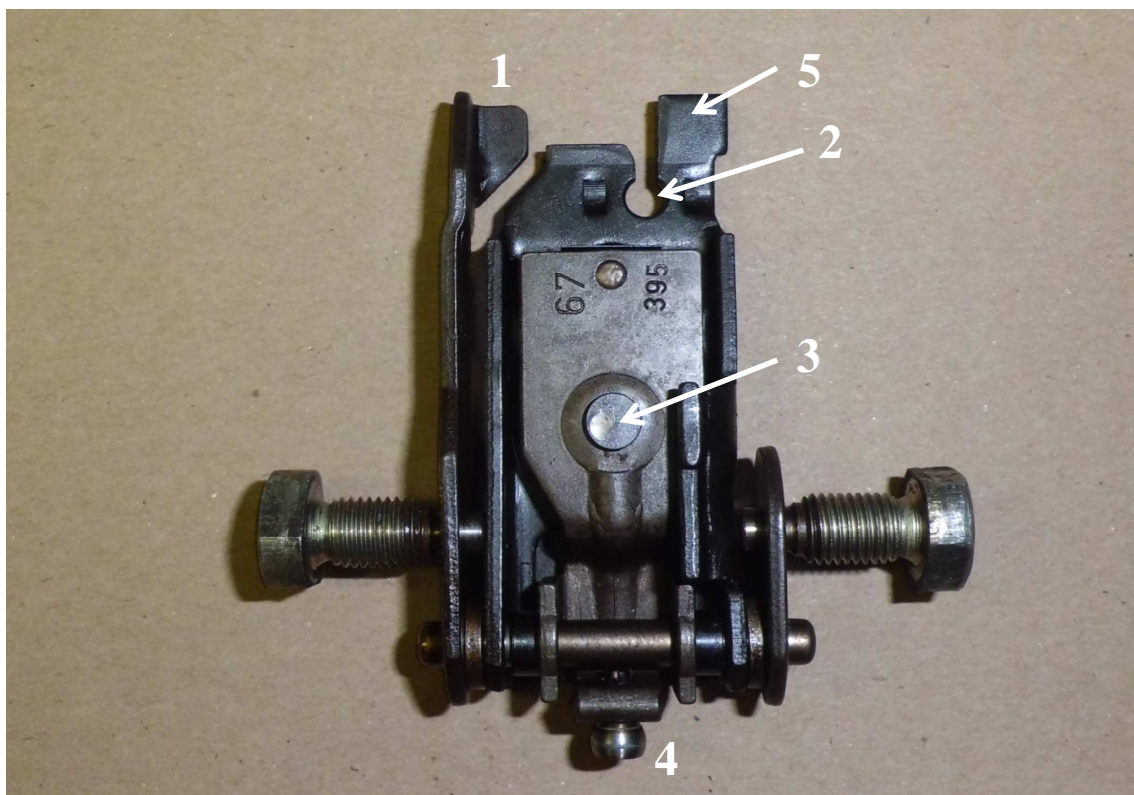
Jako první bylo potřeba odšroubovat páku akcelérátoru, kterou drží na hřídelce ozubení jištěné matkou a do klidové polohy je vracena pružinou. Dále je nutné povolit pojistnou matici šroubu regulace dávky paliva a ten vyšroubovat celý ven. Teď už nic nebrání odšroubování víčka čerpadla, které v rozích drží 4 šrouby M6. Při snímání víčka je potřeba tlačít na hřídelku akcelérátoru a vysunout jí z mosazného ložiska ve víčku, jinak může dojít k jejímu poškození. Víčko je dole a táhlo akcelérátoru už jde snadno odpojit.



Jako další krok pro vyjmutí soupáčí je odšroubování rozdělovací hlavy o kterou se opírají dvě silné pružiny, které tlačí na soupáčí. Rozdělovací hlavu na čerpadle drží 4 šrouby umístěné v rozích. Je třeba dávat pozor na zbylou naftu uvnitř čerpadla, která po sejmutí rozdělovací hlavy vyteče.

Obrázek 17: Rozdělovací hlava s pružinami

Posledním krokem pro vyjmutí soupáčí je povolení dvou šroubů se speciální trojhrannou hlavou. Šrouby jsou umístěny proti sobě na boku těla čerpadla. Tyto šrouby fungují jako hřídel, ve které je uložené soupáčí. Po vyšroubování obou šroubů už jde soupáčí vrchem vyjmout.



Obrázek 18: Popis soupáčí

1 – páka, do které se opírá regulační šroub dávky paliva, 2- otvor pro uchycení táhla akcelérátoru, 3 – opěrná plocha pro odstředivý regulátor, 4 – čep posouvající regulační prsteneček, 5 – plocha, na kterou působí turbokorektor

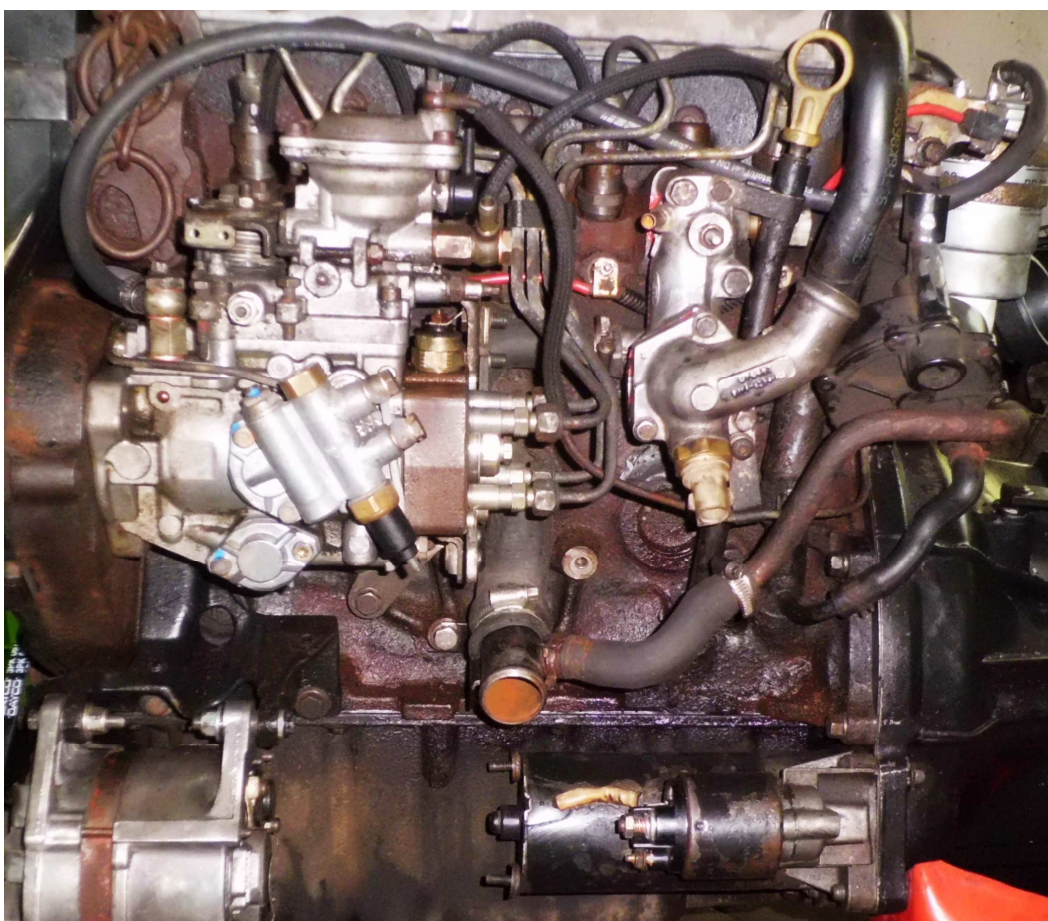
Více už není potřeba rozebírat, už se může skládat v opačném pořadí. Soupáčí a víčko se použije z čerpadla s turbokorekcí. Při skládání je vhodné použít nová těsnění. Po složení už je čerpadlo připraveno pro namontování na motor.

Samotná montáž na motor už je jednoduchá, kde díky konstrukci hybridního čerpadla, je možné pracovat podle výrobcem daných postupů. [3]

Prvně se umístí čerpadlo do středícího otvoru a zajistí šrouby. Další na řadu přichází podpůrný držák, který je v místech rozdělovací hlavy. Nyní je nutné všechny šrouby řádně dotáhnout. Následně lze namontovat na hřídel unašeč s řemenicí. Teď už je možné nasadit rozvodové řemeny (za předpokladu, že kliková a vačková hřídel jsou zaaretované ve správné poloze).

Před zapojením kompletního palivového vedení je nutné čerpadlo z vrchu zalít naftou, tím se zabrání poškození čerpadla z důvodu běhu na sucho. Teď je třeba ještě odvzdušnit vysokotlaké palivové vedení. Pro odvzdušnění stačí povolit převlečné matice potrubí na vstřikovačích a za pomoci startéru několikrát otočit motorem, dokud z potrubí nepůjde velké množství nafty.

Motor už je nyní připraven na nastartování.



Obrázek 19: Motor osazený hybridním čerpadlem

7.3. Ostatní technické aspekty

Jednou z otázek která se nabízí u této přestavby je bezpečnost, a to hlavně brzdy. V tomto případě bylo na potřebu vyššího brzdného účinku myšleno. Potřeba výkonných brzd se odvíjí od vyššího výkonu motoru. Přední nápravu brzdí 260mm vnitřně chlazené kotouče doplněné o velmi kvalitní brzdové destičky využívané i v motorsportu. Zadní nápravu brzdí bubnové brzdy, které jsou použity z vrcholné verze dané řady (Ford Escort RST s výkonem 92kW).

Podvozek je namontovaný tužšího charakteru se snížením 40mm od renomovaného výrobce. Obě nápravy jsou vybaveny příčným stabilizátorem. Pneumatiky o šířce 195mm nabízejí vozidlu dostatečnou adhezi a ovladatelnost i ve vyšších rychlostech.

Poslední konstrukční úpravou byla potřeba výměny výfukového potrubí. U atmosférické verze je použito potrubí o vnitřním průměru 40mm. Přepřítanová verze používá potrubí o vnitřním průměru 50mm. Bylo tedy nutné vyrobit výfukové potrubí o průměru 50mm.



Obrázek 20: Automobil cestou do Velké Británie

8. Závěr

Samotná realizace hybridního čerpadla byla prováděna vždy v poklidu, s rozvahou a se snahou promýšlet všechny možné stavy. Po dokončení stavby už bylo vše překontrolované a chybělo už jen otočit klíčkem. Motor po krátkém startování (než se ze vstřikovačů dostal poslední vzduch) chytil a hned se vytočil za ohromného hluku a valícího se černého kouře do plných otáček. Hned na to byl motor zastaven odpojením konektoru z jediné elektrické součástky – stopventilu. Nastala chvíle přemýšlení, nad tím, co to způsobilo. Závěrem bylo, že šroub pro nastavení dávky paliva, který byl zašroubovaný pouze podle citu, nebyl zašroubovaný dostatečně. Po úpravě dávky už se motor mohl provozovat v běžných otáčkách a mohlo se začít ladit na čisto.

Bylo tedy dokázáno, že tento způsob přestavby staršího vozidla, které už dnes spadá do kategorie „youngtimer“, je technicky proveditelný a výsledek je až překvapivě spolehlivý a výkonný. Ovšem tato technologie je v dnešní době už pro produkci nových automobilů nepoužitelná, protože už nedokáže nabídnout tak rychlou a zároveň jemnou adaptaci na provozní stavy. Díky tomu by taková vozidla už nesplňovala přísné emisní limity. Jediné případné využití, je pro armádní účely, kde by tato technologie byla absolutně odolná proti elektromagnetickému impulsu. Už jen zbývá doufat, že z onoho důvodu nebude tato technologie potřeba.

Při čtení literatury, jako zdroje informací pro psaní této práce jsem se dozvídal mnoho pro mě nových způsobů, využití jednoduchých věcí pro rozpohybování složitých celků. Nejednou jsem byl udiven lehkostí řešení problému, který by se mi zdál jinak neřešitelný. Často se jednalo o hluboké problémy, které by byly nad rozsah této práce.

Během formulování informací o konstrukci komponentů vstřikovací soustavy jsem si nejednou odběhl do dílny, kde jsem si je mohl fyzicky osahat. Protože díly, které se mi povedlo získat, byly vyřazené z oprav, tak jsem se nemusel bát, že se mi něco už nepovede složit zpátky, a tak jsem často trávil v dílně dlouhé hodiny představami a simulováním provozních situací.

Malé zkušenosti už jsem s těmito systémy měl, takže jsem se pohyboval v částečně známých vodách. Ačkoliv obohacený o nové informace se věci vždy zdály jasnější, ovšem ruku v ruce s tím jsem objevoval nové problémy.

Díky této práci jsem se dozvěděl mnohé o mechanické a hydraulické regulaci, jak obecně tak i ve spojení se vstřikováním. Poslední dobou se už mé myšlenky uchylují k zážehovým motorům, kde mě láká pravý opak - velké možnosti elektronické regulace a také návrh mého vlastního provedení.

9. Použitá literatura, zdroje

- [1] MACEK, Jan a Bohuslav SUK. *Spalovací motory I*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2003, 244 s. ISBN 80-010-2085-1.
- [2] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [3] ETZOLD, H.R. a [překlad Pavel Hlásek .. et] AL]. *Údržba a opravy automobilů Ford Escort/Orion Limuzína/Turnier/Express: [9/90-8/00] : zážehové motory .., vznětové motory ..*. 7. vyd. České Budějovice: Kopp, 2007, 296 s. ISBN 80-723-2309-1.
- [4] SCHWARZ, Christian a Gunter MERKER (ed.). *Combustion engines development: carburation, mixture formation, combustion, emission and simulation*. 1. vyd. Berlin: Springer, 2010. ISBN 978-364-2029-516.
- [5] PAPOUŠEK, Miroslav a Pavel ŠTĚRBA. *Diagnostika spalovacích motorů*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2007, 223 s. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 978-80-251-1697-5.
- [6] KAMEŠ, Josef. *Speciální motorová vozidla*. 2. vyd. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2010. ISBN 80-213-0895-8.
- [7] TSCHÖKE, Helmut, Horst BAUER (ed.) a Peter GIRLING (překl.). *Diesel-engine management: Diesel distributor fuel-injection pumps*. 4. Stuttgart: Robert Bosch GmbH, 1999.
- [8] BARANESCU, Rodica a Bernard CHALLEN (ed.). *Diesel engine reference book*. Vyd. 2. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999. ISBN 0750621761.
- [9] VLK, František. *Stavba motorových vozidel: [osobní automobily, autobusy, nákladní automobily, jízdní soupravy, ergonomie, biomechanika, struktura, kolize, materiály]*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, vii, 499 s. ISBN 80-238-8757-2.
- [10] Lucas DPA Distributor-type Injection Pump: Automobile. *What-when-how: In Depth Tutorials and Information*[online]. 2014 [cit. 2015-06-23]. Dostupné z: <http://what-when-how.com/automobile/lucas-dpa-distributor-type-injection-pump-automobile/>