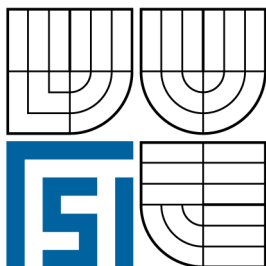


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SYSTÉM COMMON RAIL V OSOBNÍCH AUTOMOBILECH

COMMON RAIL SYSTEM IN PASSENGER CARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ADAM ŠIŠKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2009

ANOTACE BAKALÁRSKÉ PRÁCE

Příjmení a jméno: Šiška Adam

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Název práce: SYSTÉM COMMON RAIL V OSOBNÍCH AUTOMOBILECH

Vedoucí práce: Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Počet stran: 48

Počet příloh: 0

Počet titulů použité literatury: 18

Klíčová slova: Vznětové motory
Vstřikovací systémy
Emise výfukových plynů
Common Rail – prvky, princip činnosti, výhody, nevýhody,
diagnostika, použití, vývoj.
Sdružené vstřikovací jednotky

Keywords: Compression-ignition engines
Injection engines
Exhaust emissions
Common Rail - elements, principles of operation, advantages, disadvantages,
diagnostics, application, development
Combined injection unit

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na systém Common Rail. Z celé této bakalářské práce vyplývá, že systém Common Rail patří v automobilovém průmyslu mezi „top“ systém. Je tedy zřejmé, že daný systém vyhovuje všem dnešním požadavkům, které musíme brát v potaz při konstrukci automobilu. Proto je tato bakalářská práce zaměřena hlavně na popis prvků tohoto systému. Při bližším zkoumání této problematiky, jsem dále došel k závěru, že sdružené vstřikovací jednotky jako takové, jsou schopny se vyrovnat systému Common Rail.

ABSTRACT

Bachelor thesis is focused on the Common Rail system. On the whole this work shows that the Common Rail system is one of the top system in the automobile industry. It is thus clear that the system conforms to all current requirements, which must be taken into account when designing the car. Therefore, this bachelor thesis focuses mainly on the description of this system. When closer examination of this issue, I also concluded that the combined injection units as such are able to cope with the Common Rail system.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedených pramenů a literatury.

V Brně dne 27. 5. 2009

.....

Adam Šiška

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, za jeho rady, připomínky a čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu a zázemí, které mi pro studium vytvořili.

Děkuji.

V Brně dne 27. 5. 2009

OBSAH

1. ÚVOD.....	7
2. VZNĚTOVÉ MOTORY A VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY.....	8
2.1. Historie a princip vznětových motorů	8
2.2. Druhy vstřikovacích systémů.....	8
2.2.1. Systémy vstřikování nafty	10
3. VLIV PARAMETRŮ VSTŘIKOVACÍCH SYSTÉMŮ NA PARAMETRY	
MOTORU	12
3.1. Parametry motoru.	12
3.1.1. Emise výfukových plynů	12
3.1.2. Hluk motoru	13
3.2. Vliv vstřikování	13
3.2.1. Geometrie trysky a počet otvorů	13
3.2.2. Počátek a průběh vstřiku	14
3.2.3. Tlak a rozprašení paliva	14
4. VSTŘIKOVACÍ SYSTÉM COMMON RAIL.....	15
4.1. Historie.....	15
4.2. Vývoj	16
4.3. Princip činnosti	18
4.4. Popis prvků	21
4.4.1. Nízkotlaká část, zásobování palivem.....	21
4.4.1.1. Palivová nádrž.....	22
4.4.1.2. Palivová potrubí.....	22
4.4.1.3. Palivový filtr	22
4.4.1.4. Palivové čerpadlo.....	24
4.4.2. Vysokotlaká část	26
4.4.2.1. Vysokotlaké čerpadlo	26
4.4.2.2. Vysokotlaký zásobník (Rail)	27
4.4.2.4. Snímač tlaku v Railu.....	29
4.4.2.5. Omezovací tlakový ventil	29
4.4.2.6. Omezovač průtoku	30
4.4.2.7. Vstřikovač	30
4.4.2.8. Vysokotlaké přípojky.....	37
4.4.2.9. Vysokotlaké potrubí.....	38
4.4.3. Elektronická regulace EDC	39
4.5. Výhody a nevýhody	40
4.6. Diagnostika	40
4.6.1. Palubní	40
4.6.2. Externí.....	40
4.7. Použití a budoucnost.....	41
5. POROVNÁNÍ COMMON RAIL S DALŠÍM MODERNÍM VSTŘIKOVACÍM	
SYSTÉMEM.....	42
5.1. Vstřikovací systém se sdruženými vstřikovači.....	42
5.2. Porovnání obou způsobů vstřikování.....	44
6. ZÁVĚR	46
SEZNAM LITERATURY.....	47

1. ÚVOD

Celou mou bakalářskou prací jsem se měl za úkol zabývat systémem „Common Rail v osobních automobilech“ a specializovat se především na jeho součásti, stavbu a princip funkce. Dále se má práce zabývat diagnostikou a budoucností tohoto systému a srovnává ho s konvenčním vstřikovacím systémem „sdružené vstřikovací jednotky“. Jelikož jsem se rozhodl podívat se na téma trochu obecněji, zabrousil jsem i do historie.

Co to vlastně je systém Common Rail? V překladu tento název znamená SPOLEČNÉ POTRUBÍ nebo SPOLEČNÝ ZÁSOBNÍK. Common Rail je vstřikovací soustava, což je nepostradatelná část vznětového motoru. Tento systém zajišťuje činnost pracovních médií od prvního nasátí až po vstříknutí do válce motoru.

Proč je tento systém výjimečný? Neustálý nárůst požadavků na parametry motoru se již nedaly uskutečňovat starými typy vstřikovacích soustav a systémů. Proto bylo nutné vymyslet systém, který ještě zvýší vstřikovací tlaky, zpřesní průběh vstřikování a půjde dobře a snadno regulovat. Tohle všechno spolehlivě plní systém Common Rail, a to především díky již zmiňovanému společnému zásobníku, ve kterém je palivo pod tlakem neustále připraveno.

Systém Common Rail je v současné době jednoznačně nejpoužívanější systém vstřikování u osobních automobilů a vzhledem k tomu, že splňuje i ty nejpřísnější normy a požadavky a výrobci jej stále modernizují, je pravděpodobné, že jeho existence jen tak brzy neskončí.

2. VZNĚTOVÉ MOTORY A VSTŘIKOVACÍ SYSTÉMY

2.1. HISTORIE A PRINCIP VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

O vznětovém motoru se můžeme dočíst již v 19. stol. O těchto motorech se zmínil Rudolf Diesel, a to přesně na své přednášce v Mnichově. Jak napadl pana Diesela právě tento motor? Uvádí se, že příčinou je Malajská trubice. Tato trubice je vlastně výborně těsnící trubice s pístem, která na svém dně obsahuje hořlavinu.

Právě píst nám umožňuje velký tlak. Tohoto tlaku dosáhneme stlačením daného pístu. Vzduch, který je okolo, se velice rychle dostane na tak vysokou teplotu, že vznítí hořlavinu. Tomuto jevu, který právě nastal, se říká kompresní zapalování.

Jak již víme, každý motor má svůj princip. Tento princip se pokusím stručně popsat níže.

Do vzduchu, který je ve fázi stlačení vstříkneme hořlavinu. Díky teplému vzduchu se tato hořlavina ihned zapálí. Jako další fáze nastupuje vypouštění zplodin a opětovné nasátí vzduchu, který se opět stlačí.

Právě díky vznětovému motoru pan Diesel velice rychle zbohatl. Jako palivo v tehdejší době používal velice levné a dostupné zdroje (olej na svícení, atd.). U nafty zaznamenal velice dobré výsledky, a tak není divu, že nafta se používá až dodnes.

První opravdu velmi významnou podporu dostal Diesel od továrny MAN (sídlem v Německu), která se specifikovala na výrobu kamionů.

Velkou výhodnou vznětových motorů je:

- Vysoká tažná síla v nízkých otáčkách,
- Dvojnásobný poměr účinnosti, než-li mají parní stroje.

Pan Diesel věřil tomu, že motory využijí 73 % paliva. Pravda byla ale jiná. V době, kdy byl vznětový motor vynalezen, byla účinnost 20 %, dnes je to dokonce až 50 %.

Kde ale nemohly vznětové motory zabodovat delší dobu, byly USA, kde vedl FORD, který vyráběl benzínová auta. Pronikly jen díky ekonomické krizi, protože byly levnější. [14]

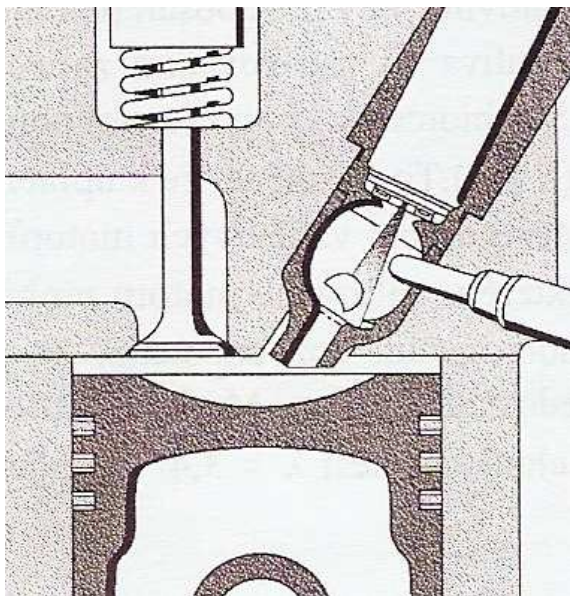
2.2. DRUHY VSTŘIKOVACÍCH SYSTÉMŮ

V dnešní době se dbá u vznětových motorů o zvýšení točivého momentu, což znamená zvýšit výkon a snížit spotřebu, hluk a škodliviny. Předpokladem k tomuto cíli je přímé vstřikování. Právě u přímého vstřikování jsou mnohem vyšší tlaky, než-li u nepřímého vstřikování.

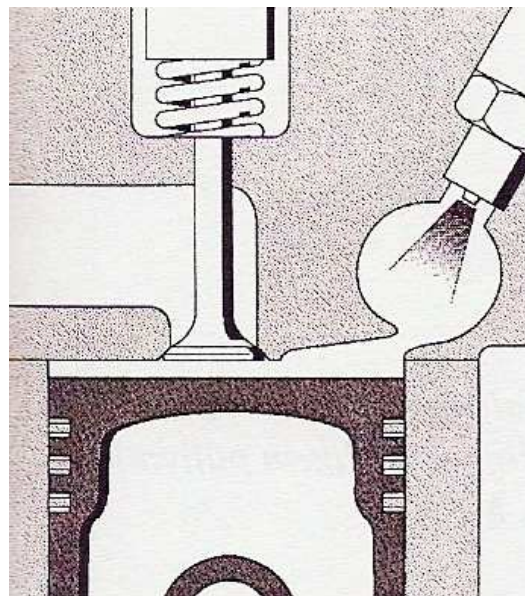
Vznětové motory jako takové se mohou dělit na:

- S nepřímým vstřikováním paliva,
- S přímým vstřikem paliva.

Mezi vznětové motory s nepřímým vstřikem paliva patří motory s předkomůrkou či vířivou komůrkou.

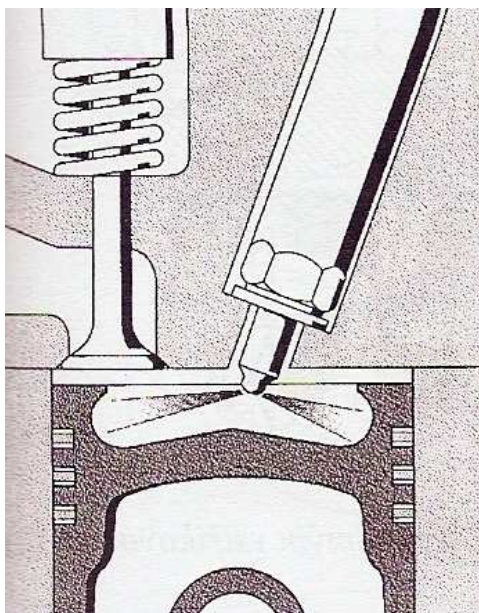


Obr. 2.1. – Spalovací prostor vznětového motoru s předkomůrkou [3]

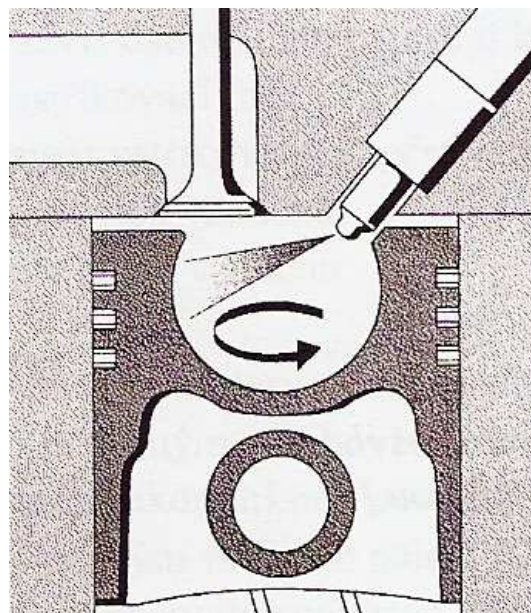


Obr. 2.2. – Spalovací prostor vznětového motoru s vířivou komůrkou [3]

Mezi vznětové motory s přímým vstřikem paliva patří nejčastěji motory s prstencovým a kulovitým spalovacím prostorem:

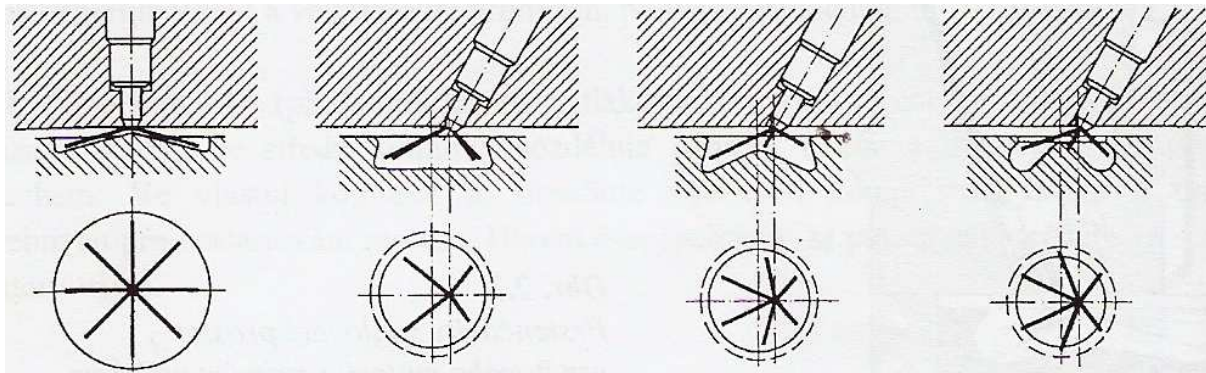


Obr. 2.3. – Prstencový spalovací prostor vznětového motoru s přímým vstřikem paliva [3]



Obr. 2.4. – Kulovitý spalovací prostor vznětového motoru s přímým vstřikem paliva [3]

Správným tvarem dna pístu lze dospět k uspokojivému víření, a tím i dostatečnému promísení paliva se vzduchem. Nejvíce používána je prohlubeň ve dně pístu, protože je výhodná z hlediska ekonomického i účelného.



Obr. 2.5. – Spalovací prostory ve dnu pístu vznětových motorů s přímým vstřikováním [3]

Výhody motoru s přímým vstřikováním:

- menší spotřeba paliva,
- lehčí spuštění motoru při nízkých teplotách,
- snadnější konstrukce hlavy motoru.

Nevýhody motoru s přímým vstřikováním:

- menší hodnota středního efektivního tlaku
- vyšší maximální tlak ($\Rightarrow$ namáhání součástí),
- větší požadavky na jakost paliva. [3]

2.2.1 SYSTÉMY VSTŘIKOVÁNÍ NAFTY

➤ ŘADOVÁ VSTŘIKOVACÍ ČERPADLA

Princip tohoto systému je již umístěn v názvu, tedy každý válec motoru má jedno svoje čerpadlo, které se pohybuje pomocí vačky a pístu. Tato čerpadla jsou srovnána v řadě.

➤ STANDARDNÍ ŘADOVÁ VSTŘIKOVACÍ ČERPADLA

➤ ŘADOVÁ VSTŘIKOVACÍ ČERPADLA SE ZDVIHOVÝMI ŠOUPÁTKY

Odlišuje se oproti klasickému řadovému čerpadlu tím, že na pístu čerpadla má zdvihové šoupátko, které umožňuje změnit počátek vstřiku.

➤ ROTAČNÍ VSTŘIKOVACÍ ČERPADLA

Mají regulátor otáček a regulátor s přesuvníkem vstřiku. Výhodou je pouze jedno čerpadlo pro všechny válce motoru.

➤ ROTAČNÍ VSTŘIKOVACÍ ČERPADLA S AXIÁLNÍM PÍSTEM

Pomocí vačkového kotouče se otáčí rozdělovací píst, který následně rozdává palivo pod tlakem do válců.

➤ ROTAČNÍ VSTŘIKOVACÍ ČERPADLO S RADIÁLNÍMI PÍSTY

Toto čerpadlo má dva až čtyři radiální písty a vačkový kroužek, jehož pootočením se mění počátek vstřiku. Čerpadlo vytváří požadovaný tlak a dodává palivo.

➤ SAMOSTATNÁ JEDNOVÁLCOVÁ VSTŘIKOVACÍ ČERPADLA

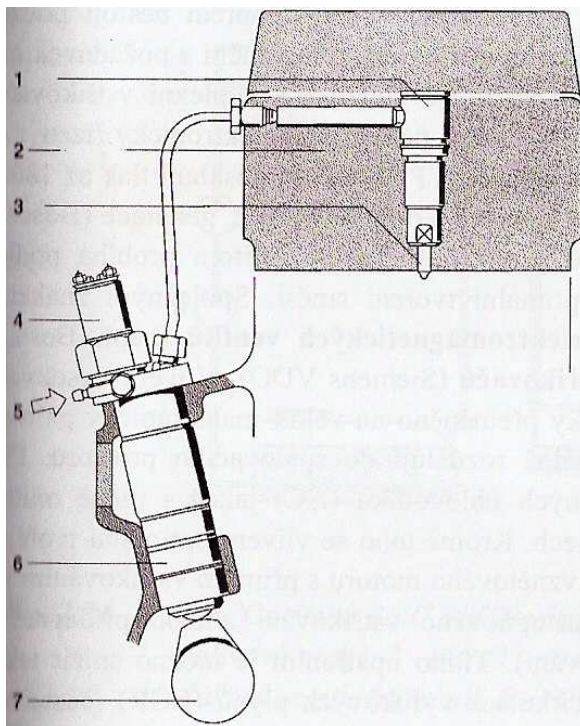
Mají podobný princip jako řadová vstřikovací čerpadla, avšak nemají svoji vačkovou hřídel. Změna počátku vstřiku lze provést přestavením mezičlenu.

➤ SDRUŽENÁ VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA

Tento systém si podrobně popíšeme v kapitole 5.1.

➤ ČERPADLO – VEDENÍ – TRYSKA

Činnost tohoto systému je principiálně stejná jako u sružené vstřikovací jednotky. Tryska a čerpadlo jsou propojeny krátkým vedením. Zde platí, že každý válec má jednu svoji jednotku. [2, 3]



Obr. 2.6. – Systém vstřikování nafty
čerpadlo – potrubí – vstřikovač [3]

- 1 – vstřikovač
- 2 – motor
- 3 – tryska
- 4 – elektromagnetický ventil
- 5 – přívod paliva
- 6 – vysokotlaké čerpadlo
- 7 – vačka

3. VLIV PARAMETRŮ VSTŘIKOVACÍCH SYSTÉMŮ NA PARAMETRY MOTORU

3.1. PARAMETRY MOTORU

Tato kapitola se zabývá vlivem vstřikování a jeho parametrů na nejdůležitější parametry motoru, tedy na jeho spotřebu, emise a hluk. Je jasné, že výrobci se snaží všechny tyto parametry snížit na minimum a nutí je k tomu jak přísné normy, tak i, v případě spotřeby, zákazníci.

3.1.1. EMISE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Nejzávažnější znečištění atmosféry se jednoznačně děje výfukovými plyny z osobních automobilů, konkrétně jejich motorů. Velké množství automobilů a různorodosti populantů je o to závažnější, že se vzniklé populanty usazují do vrstvy atmosféry, kterou dýcháme. To má negativní vliv jak na lidské zdraví, tak i na rostlinnou vegetaci a životní prostředí. Proto jsou také současné emisní limity velmi přísné. Již v roce 1992 byla zavedena první norma EURO 1 pro zážehové i vznětové motory a dodnes se stále zpříšňuje. V brzké době začne platit norma EURO 5, kterou schválil evropský parlament, což by pro představu znamenalo snížení pevných částic na 5mg/km (o 80 procent) a oxidů dusíku na 200mg/km (o 20 procent).

Složení výfukových plynů:

➤ CO – oxid uhelnatý

Toxický plyn bez barvy a zápachu. Jeho dlouhodobé vdechování může být smrtelné, protože na sebe v krvi váže hemoglobin a tělo nebude mít dostatek kyslíku. Vzniká jako produkt nedokonalého spalování. Hlavní vliv na jeho vznik má bohatost směsi.

➤ HC – nespálené uhlovodíky

Druhy nespálených uhlovodíků jsou: nasycené, nenasycené a aromatické. Všechny dráždí pokožku a mají narkotické účinky. Každý z nich má ale svůj charakteristický zápach. Vzniká opět jako produkt nedokonalého spalování.

➤ NO_x – oxidy dusíku

Vznikající oxidy: oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO₂) a oxid dusný (N₂O). Vznik těchto oxidů způsobují vysoké tlaky a teploty ve spalovacím prostoru. Oxidy dusíku mají negativní vliv na dýchací soustavu.

➤ CO₂ – oxid uhličitý

Není jedovatý a dává výpověď o technickém stavu motoru a jeho součástí. Jeho uvolňování do atmosféry má za příčinu skleníkový efekt.

➤ SO₂ – oxid siřičitý

Podíl tohoto oxidu v emisích stále klesá.

➤ PM (Particulate Matter) – pevné částice

Jsou karcinogenní a skládají se ze tří částí: saze, těžké uhlovodíky a sulfáty. [4, 15]

3.1.2. HLUK MOTORU

Z osobních automobilů vychází tři druhy hluku. Hluk motoru jeho chodem, hluk pneumatik vznikající třením o vozovku a hluk aerodynamický tvořící se prorážením vzduchu pohybem automobilu. Vstřikovací systém ovlivňuje hluk motoru, avšak emisní normy pro hluk jsou stanoveny pro celkový hluk, tedy ze všech tří druhů dohromady. [16]

3.2. VLIV VSTŘIKOVÁNÍ

Diesellové motory na rozdíl od benzínových pracují s hůře vypařitelnými palivy. Směs připravují v době mezi vstřikem a začátkem hoření a při spalování. Svou činnost tedy vykonávají vždy s přebytkem vzduchu. Čím nižší přebytek vzduchu je, tím vyšší jsou emise i spotřeba paliva.

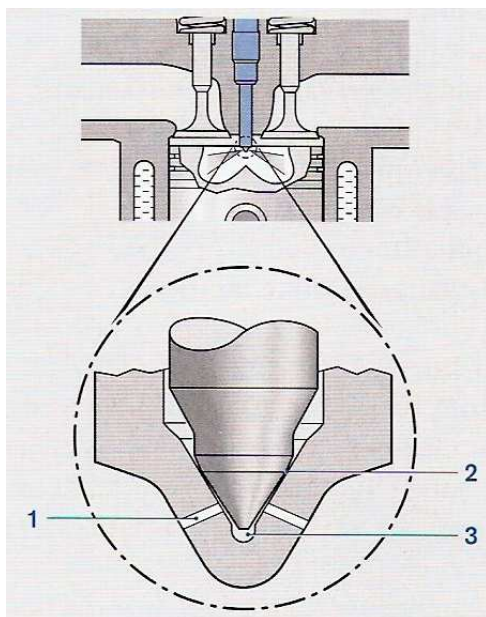
Na tvorbě směsi se podílí tyto faktory, které všechny ovlivňují spotřebu paliva, emise výfukových plynů i hluk motoru:

- tlak vstřikování
- počátek a průběh vstřiku
- pohyb vzduchu
- počet, průřez a směr paprsků

Aby bylo palivo zcela spáleno, je nutné dostatečné promísení vzduchu s palivem. To podporuje tvar spalovacího prostoru a vedení vzduchu, což zároveň ovlivňuje emise výfukových plynů. [2]

3.2.1. GEOMETRIE TRYSKY A POČET OTVORŮ

Vstřikovací tryska a počet otvorů v ní zcela zásadně působí na množství emisí motoru. Emise PM a NO_x závisí na geometrii vstřikovacího otvoru. Geometrie sedla ovlivňuje hluk motoru a geometrie slepého vývrtu emise HC. [1]



Obr. 3.1. – Důležitá místa geometrie trysky [1]

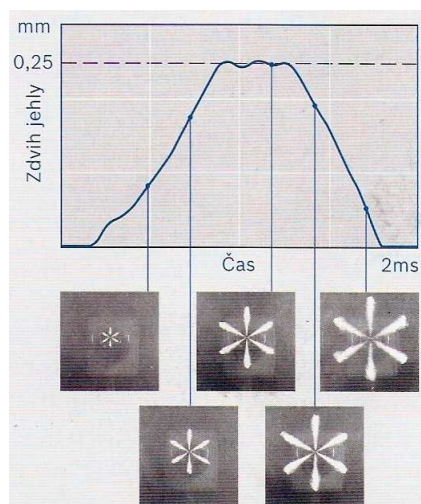
- 1 – vstřikovací otvor
- 2 – sedlo
- 3 – slepý vývrt

Z důvodu dostatečného rozprášení paliva je také potřeba se zabývat počtem otvorů ve vstřikovací trysce. V současné době bývá obvykle otvorů šest, ale je jasné, že při budoucím vývoji se jejich počet bude zvyšovat a naproti tomu jejich průměr snižovat. Blíže si otvorové trysky popíšeme v kapitole 4.4.2.7. [1]

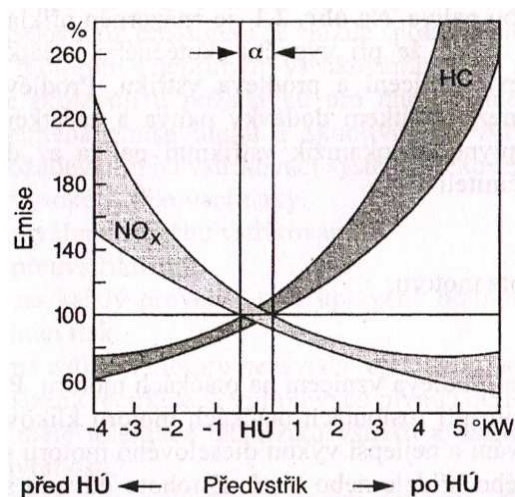
3.2.2. POČÁTEK A PRŮBĚH VSTŘIKU

Dřívější i pozdní počátek vstřiku výrazně ovlivňuje parametry motoru. Zatímco s pozdějším vstřikem narůstá především spotřeba a emise HC, při předčasném vstřiku dochází ke zvýšení tlaku ve válci a emisí NO_x .

Jako průběh vstřiku se označuje doba mezi počátkem a ukončením vstřiku. Nejprve množství vstřikovaného paliva pozvolna stoupá, protože se velmi rychle spálí. To není pozitivní zejména vůči emisím oxidů dusíku a hluku motoru. Při ukončení vstřikování je snahou prudce zastavit přísun paliva. Při nedostatečně rychlém ukončení dochází ke zvýšení emisí HC a především k vysoké spotřebě. [1, 2]



Obr. 3.2. – Záznam průběhu vstřikování [1]



Obr. 3.3. – Graf emisí HC a NO_x v závislosti na počátku vstřiku [4]

α – optimální počátek vstřiku

KW – úhel klikového hřídele

doleva od HÚ – dřívější začátek vstřiku

doprava od HÚ – pozdější začátek vstřiku

3.2.3. TLAK A ROZPRÁŠENÍ PALIVA

Při spalování paliva ve válci motoru požadujeme vždy co nejlepší promísení paliva se vzduchem. Tomu napomáhá zejména dostatečné rozprášení paliva vysoké vstřikovací tlaky. Oba jmenované faktory jsou závislé na emisích HC. [2]

4. VSTŘIKOVACÍ SYSTÉM COMMON RAIL

4.1. HISTORIE

V 60. letech Robert Hubert (původem Švýcar) vytvořil první prototyp systému Common Rail. Dalším pro nás velice významným nástupcem výroby Common Rail byla škola Swiss Federal Institute of Technology. Tato škola se nachází v Curychu a patří mezi nejvýznamnější školy v Evropě. Ta svými poznatky obohatila výrobu Common Rail systému v letech 1976 – 1992.

Čas i rozvoj systému Common Rail se však nezastavil. Ba naopak se neustále rozvíjel. V první polovině devadesátých let vznikl první Common Rail pro velká nákladní vozidla. Tento „nový“ systém vyvinuli Dr. Shohei Itoh a Masahiko Mijaki. Tito dva pánové pracovali ve velmi úspěšné firmě Denso. ECD-U2 Common Rail byl první prakticky použitelný systém, kterým byl vybaven vůz Hino Raising Ranger.

Mezi další pro nás velmi známé firmy, které se zabývali výrobou a rozvojem systému Common Rail patřily: Magneti Marelli, Centro Ricerche Fiat a Elasis, které nejvíce prosluly v devadesátých letech a skončily v roce 1994.

Rok 1993 se stal v oblasti systému Common Rail velice zásadní. Patenty totiž zakoupila firma Robert Bosch GmbH. Tato firma byla založena roku 1886 Robertem Boschem, tedy člověkem, který byl velmi významný podnikatel a hlavně vynálezce. Tato firma má po světě mnoho sesterských společností, které se pro radost jejich zakladatele ve světě velice dobře prosadily a dál nesou hrdě název Bosch, a to i přes změny, které nastaly nejen v podniku, ale i na trhu.

Právě Bosch uvedl Common Rail systém v sériové výrobě. A v roce 1997 přišly poprvé na svět trhu automobily Alfa Romeo 156 a Mercedes Benz E 320 CDI, který tento systém používaly. [7]



Obr. 4.1. – Nákladní vozidlo Hino Raising Ranger [18]



Obr. 4.2. – Osobní automobil Alfa Romeo 156 [17]

4.2. VÝVOJ

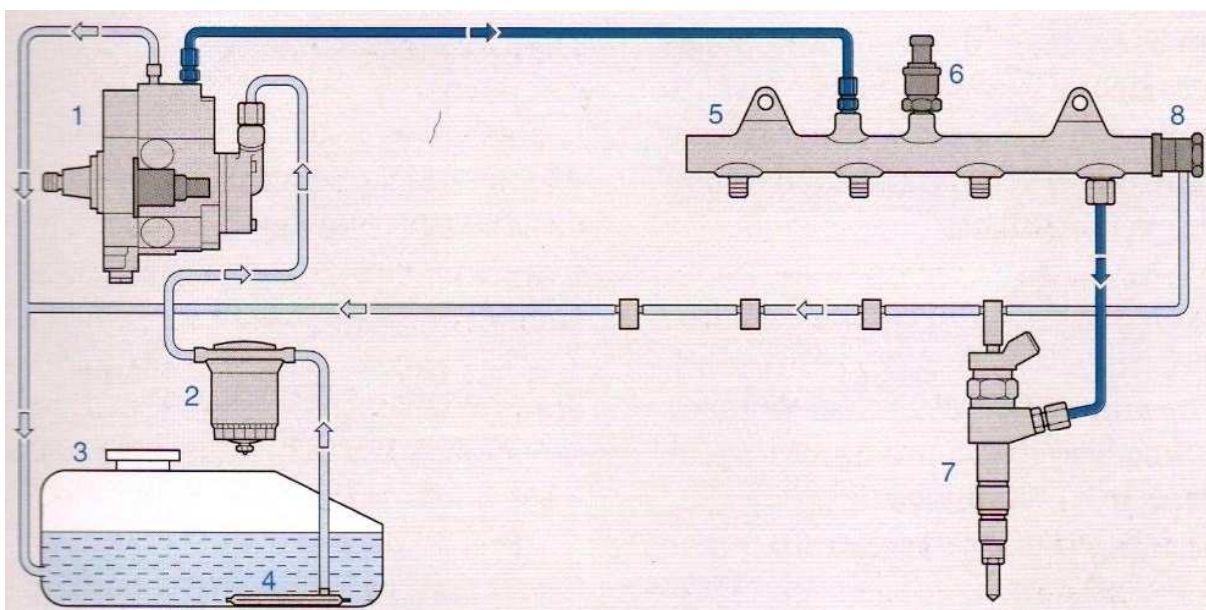
Vývoj systému Common Rail se dělí na čtyři fáze:

➤ PRVNÍ GENERACE

Tato generace vznikla roku 1997. Využívala tlak asi 1400 barů. Princip první generace spočívá v tom, že pracuje s vysokým tlakem při vstřiku paliva. Před tím, než-li dojde k hlavnímu vstřiku dochází ke vstřiku vedlejšímu, který je pro nás zanedbatelný. Snižuje množství využívaného paliva. První generace využívá vstřikovače s elektromagnetickými ventily.

➤ DRUHÁ GENERACE

Tato generace vznikla roku 2001. Využívala tlak 1600 barů. Pracuje tedy ještě s mnohem vyššími tlaky. Dále využívá třetí fáze. Tato fáze se nazývá „dostřik“. Tento dostřik nám stanovuje konečné množství paliva, které se dostane do válce. Druhá generace využívá stejně jako první vstřikovače s elektromagnetickými ventily.



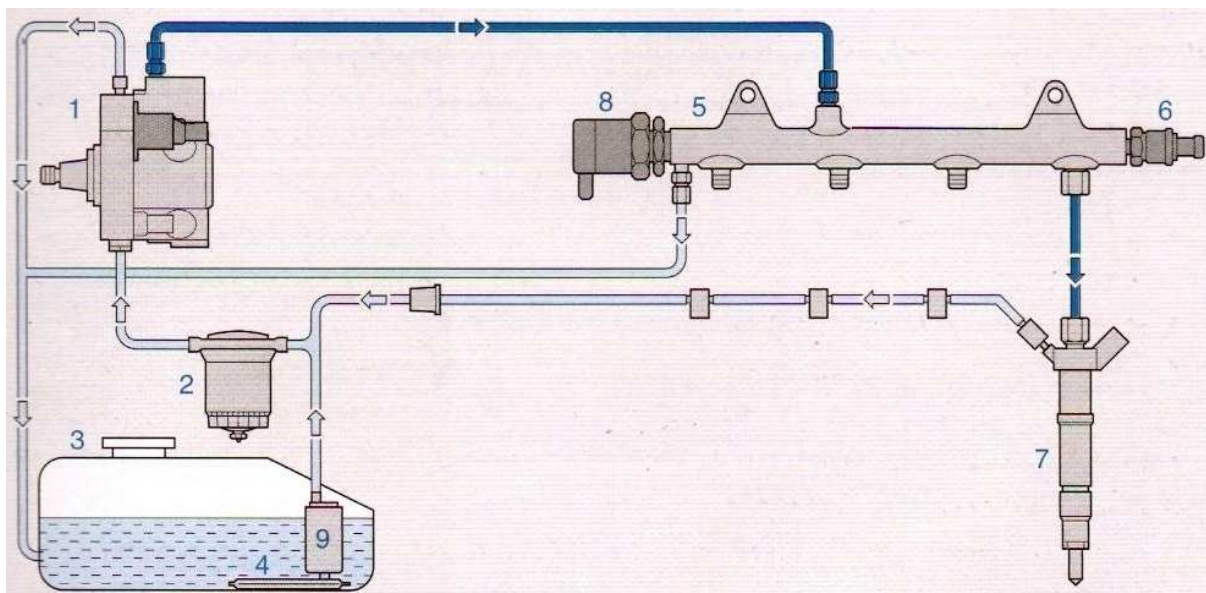
Obr. 4.3. – Systém Common Rail druhé generace pro čtyřválcový motor [1]

- 1 – vysokotlaké čerpadlo
- 2 – palivový filtr s odlučovačem vody
- 3 – palivová nádrž
- 4 – předřadný filtr

- 5 – vysokotlaký zásobník - RAIL
- 6 – snímač tlaku v zásobníku
- 7 – vstřikovač s elektromagnetickým ventilem
- 8 – omezovací tlakový ventil

➤ TŘETÍ GENERACE

Tato generace vznikla roku 2003. Využívala ještě vyšších tlaků 1600 – 2000 barů a byla i přesnější. Třetí generace se využívá v dnešní době. Co se týká emisí a spotřeby, obojí je mnohem nižší, než-li u předchozích generací. Třetí generace využívá pro osobní vozidla PIEZOELEKTRICKÝ vstřikovač INLINE.



Obr. 4.4. – Systém Common Rail třetí generace s dvojitým regulačním systémem pro čtyřválcový motor [1]

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 – vysokotlaké čerpadlo | 6 – snímač tlaku v zásobníku |
| 2 – palivový filtr s odlučovačem vody | 7 – piezoelektrický vstřikovač Inline |
| 3 – palivová nádrž | 8 – regulační tlakový ventil |
| 4 – předřadný filtr | 9 – elektrické palivové čerpadlo |
| 5 – vysokotlaký zásobník - RAIL | |

➤ ČTVRTÁ GENERACE

Tato generace vznikla roku 2008 u již nám známé firmy Bosch. Využívá tlak až 2500 barů. Tohoto tlaku dosáhne díky novým inovacím tohoto systému. Zde firma Bosch poprvé aplikovala hydraulický zesilující vstřikovač paliva. Vstřikovač používá převodový píst, který nám zajistí vysoký tlak. Je zde myšleno výrazně i na ekologii. Čtvrtá generace systému Common Rail je stále ještě ve vývojové fázi, a proto zatím stále není v dnešní době běžnou součástí osobních automobilů. [1, 7, 8, 9, 12]

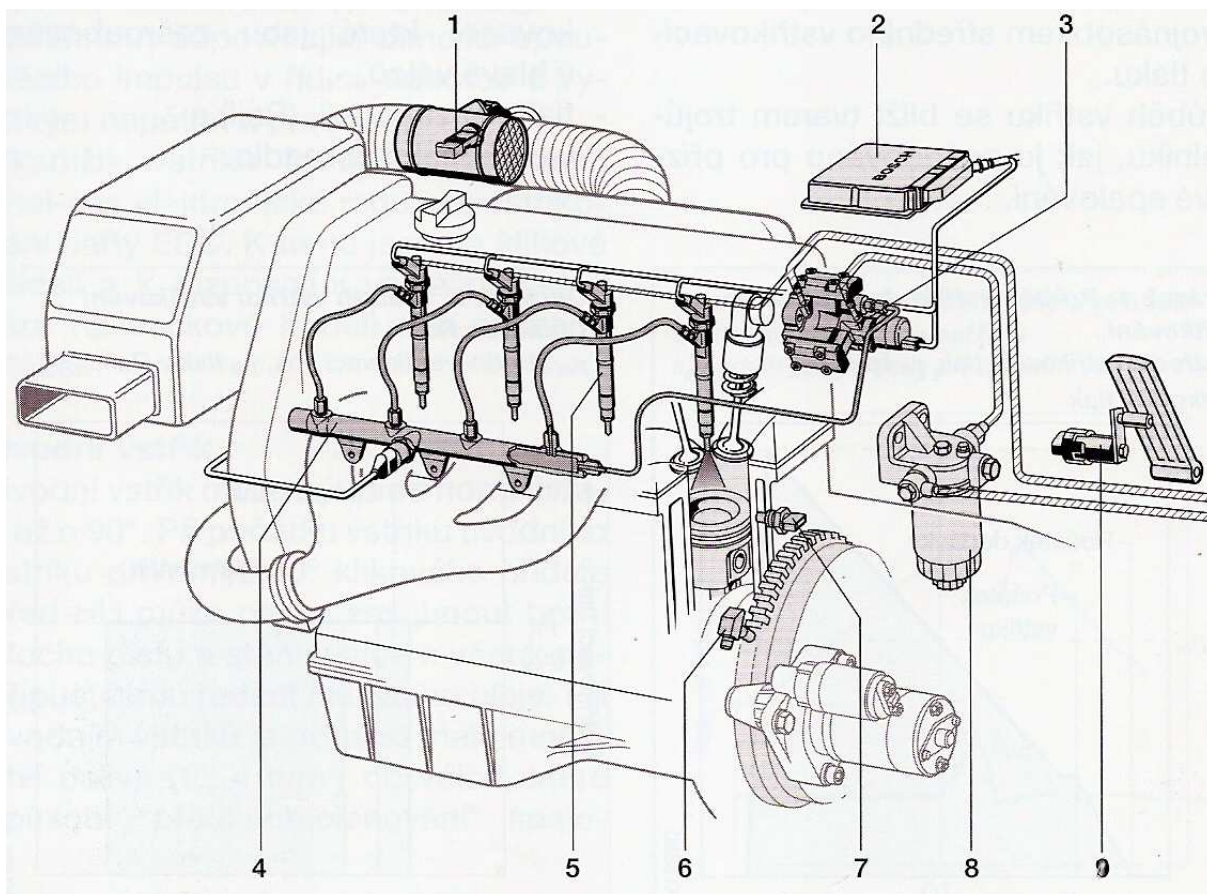
4.3. PRINCIP ČINNOSTI

Systém Common Rail má mnoho výhod. Jak toho ale dosáhl? Co proto museli udělat výrobci? Jaké má specifika? To vše by nám mohl objasnit princip činnosti systému Common Rail.

Systém Common Rail má mnoho zvláštností, z nichž jedna, a ta hlavní je, že vytváření tlaku je odděleno od vstřikování. Tento tlak je zcela nezávislý na ostatních elementech (otáčky motoru, vstřikovaná dávka). Palivo, které budeme potřebovat, je neustále přichystáno pod tlakem ve vysokotlakém zásobníku paliva (v RAILu). Jednotlivé složky systému řídí elektronická regulace EDC.

Části, řídicí jednotky a senzorky, vstřikovacího systému s tlakovým zásobníkem, obsahují:

- *řídicí jednotku* (snímá polohu pedálu a provozní podmínky),
- *snímače otáček klikového hřídele* (snímá otáčky motoru) *a vačkového hřídele* (snímá fázovou polohu – zajišťuje pořadí vstřiku),
- *snímač polohy pedálů neboli potenciometr* (snímá požadavky řidiče),
- *snímač plnicího tlaku*,
- *snímač tlaku v zásobníku*,
- *snímač teploty chladící kapaliny* (může přizpůsobit parametry jako například předstřík nebo vstřikovanou dávku pracovním podmínkám),
- *snímač hmotnosti nasávaného vzduchu* (snímá hmotnost vzduchu kvůli emisím).



Obr. 4.5. – Přehled systému Common Rail [2]

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 – snímač hmotnosti nasátého vzduchu | 6 – snímač otáček klikové hřídele |
| 2 – řídicí jednotka | 7 – snímač teploty chladící kapaliny |
| 3 – vysokotlaké čerpadlo | 8 – palivový filtr |
| 4 – vysokotlaký zásobník - RAIL | 9 – snímač polohy pedálu plynu |
| 5 – vstřikovač | |

VYTVÁŘENÍ TLAKU

Díky palivu, které je v zásobníku, vzniká oddělené vstřikování a tlak. Ten vytváří neustále pracující vysokotlaké čerpadlo, které si zde může dovolit menší rozměry než u konvenčních způsobů vstřikování. Tato čerpadla jsou většinou s radiálními písty.

REGULACE TLAKU

Možnosti pro regulaci tlaku se dělí dle použití vstřikovacího systému:

- Regulace na straně vysokého tlaku

Regulace pomocí regulačního tlakového ventilu, který posílá nevyužitý palivo do nízkotlaké části. Regulační tlakový ventil bývá zpravidla umístěn přímo na zásobníku. Tento systém regulace se užíval v první generaci Common Rail.

➤ Regulace množství na sací straně

Na této regulaci se podílí omezovací tlakový ventil a dávkovací jednotka. Ta zabezpečuje dodávání přesného množství paliva do zásobníku. Omezovací tlakový ventil hlídá, aby nebyl v zásobníku příliš vysoký tlak. Tento systém regulace je příznivý vůči spotřebě paliva a byl využíván u druhé generace Common Rail.

➤ Dvojité regulační systém

Kombinuje výhody obou předchozích regulací a je využíván ve třetí generaci systému Common Rail.

VSTŘIKOVÁNÍ

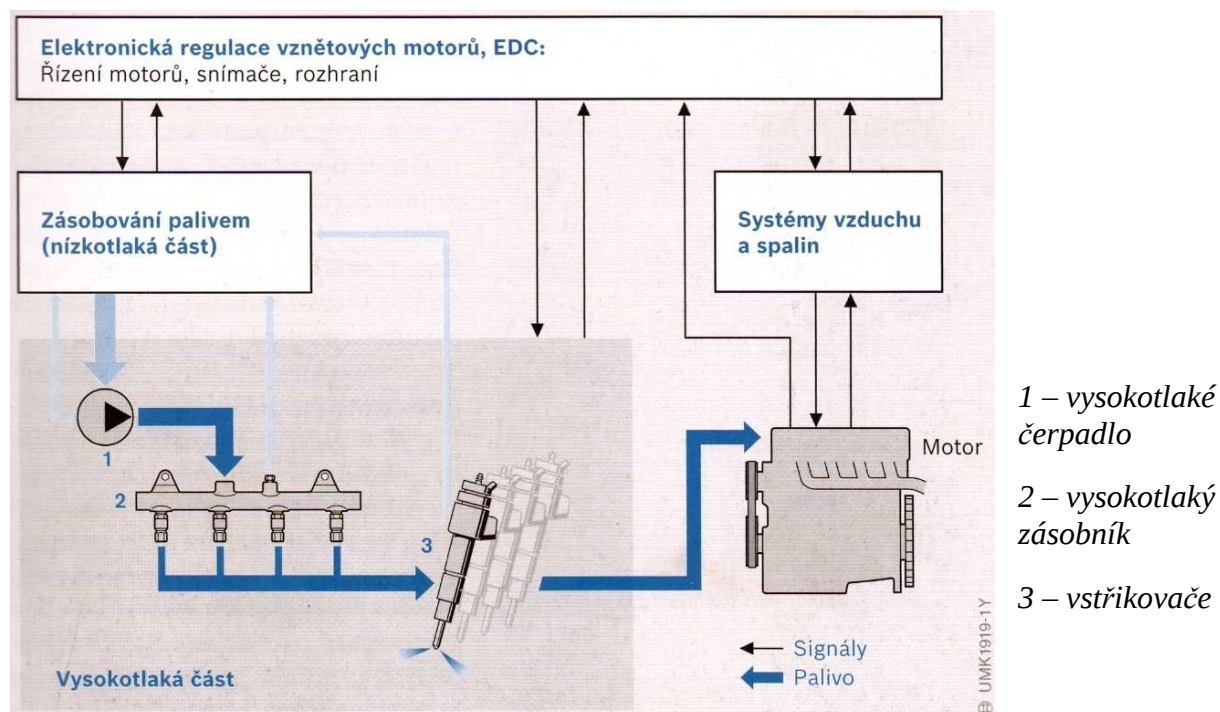
Vstřikování přímo do válců motorů zajišťují vstřikovače, které jsou spojeny se zásobníkem vysokotlakým palivovým potrubím. Vstřikovače řídí spínací ventil ovládáním trysky. Množství paliva dodaného do válce motoru určuje doba otevření trysky a tlak paliva.

KONSTRUKCE

Složení systému Common Rail je takové:

- Nízkotlaká část a zásobování palivem.
- Vysokotlaká část.

Elektronická regulace EDC. [1, 2]



Obr. 4.6. – Systémové bloky řízení Common Rail [1]

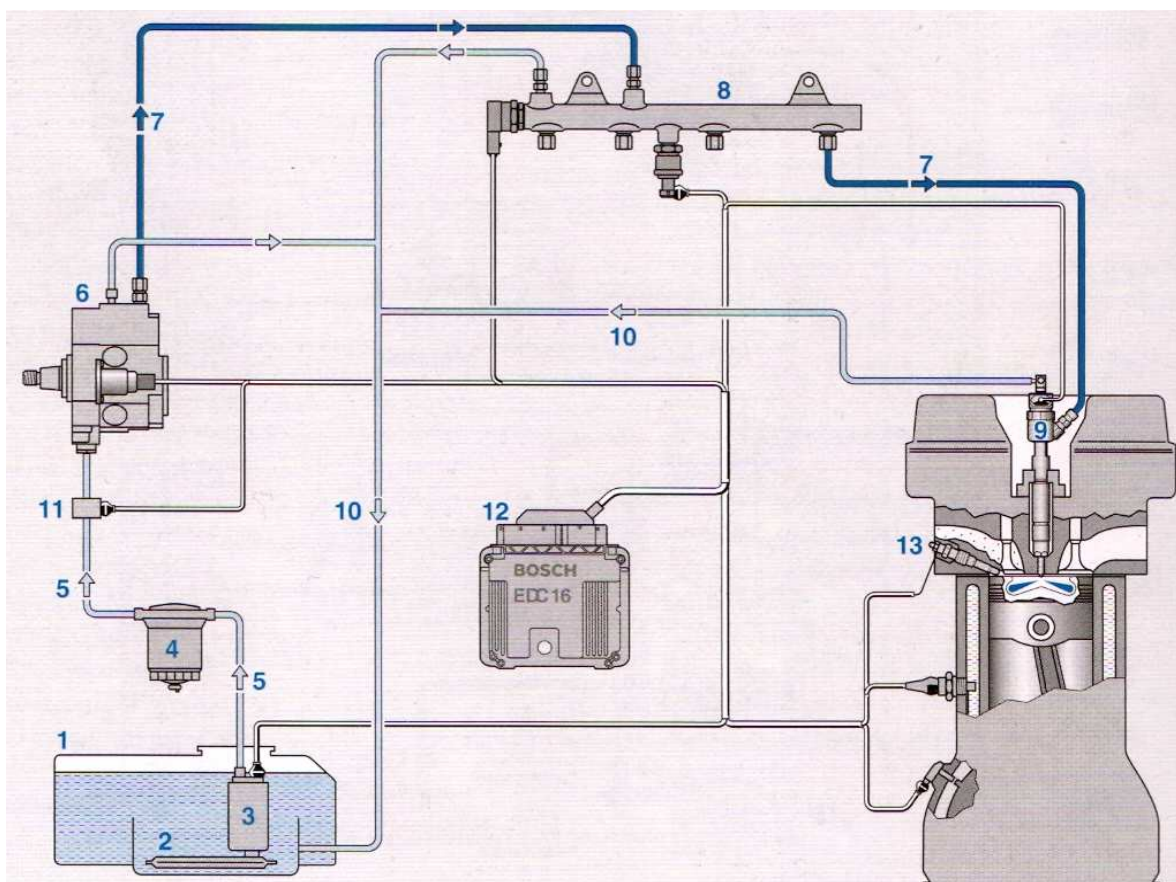
4.4. POPIS PRVKŮ

4.4.1. NÍZKOTLAKÁ ČÁST, ZÁSOBOVÁNÍ PALIVEM

Nízkotlaká část má za úkol akumulovat a filtrovat palivo a dodávat ho dostatek do vysokotlaké části. Některé aplikace mohou obsahovat chlazení paliva. Konstrukce nízkotlaké části se hodně rozlišuje dle vstřikovacího systému.

Součásti nízkotlaké části jsou:

- Palivová nádrž (obr. 4.7., pozice 1),
- Předřadný filtr (obr. 4.7., pozice 2),
- Chladicí řídicí jednotka,
- Podávací čerpadlo (obr. 4.7., pozice 3),
- Palivový filtr (obr. 4.7., pozice 4),
- Palivové čerpadlo,
- Regulační tlakový systém,
- Chladič paliva,
- Nízkotlaká palivová potrubí (obr. 4.7., pozice 5). [1, 2]



Obr. 4.7. – Palivová soustava systému Common Rail [1]

4.4.1.1. PALIVOVÁ NÁDRŽ

Hlavním úkolem palivové nádrže je uchovávat palivo. To je v nádrži pod tlakem asi 0,3barů. Z nádrže nesmí palivo v žádném případě unikat, a to ani při prudkém sklonu automobilu (prudké brzdění, průjezd zatáčkami, atd.). Proto musí být zaručena dostatečná těsnost. Z důvodu bezpečnosti, zejména při dopravních nehodách, je nutné oddělit palivovou nádrž od motoru. V opačném případě by hrozilo velké nebezpečí vzniku požáru nebo dokonce výbuchu. [1, 2]

4.4.1.2. PALIVOVÁ POTRUBÍ

Dva druhy palivového potrubí používané v osobních automobilech:

- Kovové trubky,
- Pružná vedení s kovovou výztuží.

Tato vedení musí mít ztíženou hořlavost a musí být dostatečně odolné vůči mechanickému poškození. Činnost palivového potrubí nesmí ovlivňovat žádné vnější vlivy jako například vibrace motoru. [1, 2]

4.4.1.3. PALIVOVÝ FILTR

Vstřikovací soustava vznětových motorů se skládá ze součástí, které jsou vyrobeny s velmi vysokou přesností. Proto i sebemenší nečistoty v palivu mohou způsobit vysoké škody především na vstřikovačích, ventilech nebo na čerpadle. Palivový filtr má dva základní úkoly:

- Filtrovat pevné částice,
- Odloučit vodu.

Filtrování pevných částic

Filtrování pevných částic je jeden z úkolů palivového filtru. Zajišťujeme tím ochranu komponentům vstřikovacího systému (nedojde k opotřebení). Musí zde být dostatečný prostor pro uchování pevných částic před výměnou filtru. V opačném případě by mohlo nastat ucpání filtru a z toho vyplývající snížení výkonu motoru. V motorových vozidlech je důležité používat správné, originální, filtry, jinak může dojít k velice drahým škodám.

Odlučování vody

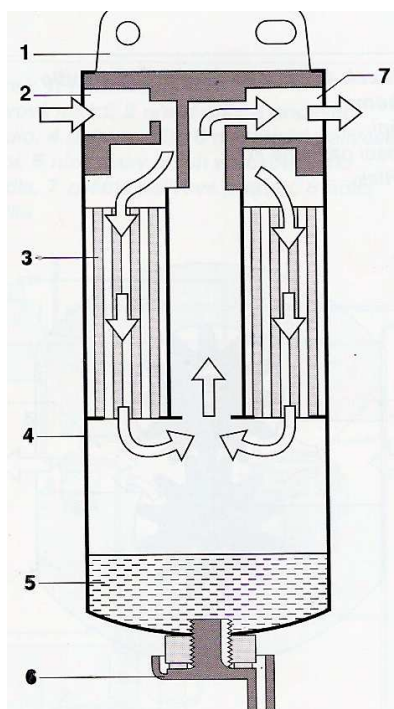
Odlučování vody je druhou funkcí palivového filtru. Palivo obvykle obsahuje vodu emulgovanou (vázanou) nebo volnou (nevázanou) vzniklou kondenzací. Voda se odstraňuje proto, aby se zabránilo vzniku koroze.

FILTRY MŮŽEME ROZDĚLIT NA:

- Hlavní filtr,
- Předřadný filtr,
- Odlučovač vody.

Hlavní filtr

Tento filtr je umístěn mezi elektrickým palivovým čerpadlem a vysokotlakým čerpadlem. Pro větší nároky je možno umístit k sobě dva filtry paralelně nebo sériově.



Obr. 4.8. – Schéma palivového filtru [2]

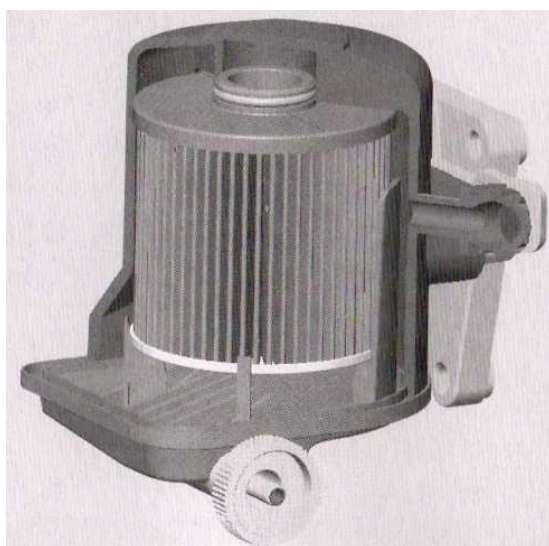
- 1 – víko filtru
- 2 – přívod paliva
- 3 – papírová filtrační vložka
- 4 – pouzdro
- 5 – prostor pro hromadění vody
- 6 – odvodňovací šroub
- 7 – vývod paliva

Předřadný filtr

Je umístěn na sací či výtlačné straně. Je určen pro velmi vysoké nároky a také se používá ve státech, kde je špatná kvalita motorové nafty.

Odlučovač vody

Využívá odlišného povrchového napětí u vody a paliva. Voda se po odloučení hromadí ve spodní části filtru. Odvodnění se uskutečňuje ručně, avšak již jsou ve vývoji plně automatické odvodňovací systémy. [1, 2]



Obr. 4.9. – Výměnný filtr pro vznětové motory s filtračním elementem skládaným hvězdicově [1]

4.4.1.4. PALIVOVÉ ČERPADLO

Palivové čerpadlo je určeno pro nasávání paliva z palivové nádrže. Následně má za úkol plynule zásobovat vysokotlaké čerpadlo dostatečným množstvím paliva, a sice:

- Při každém provozním stavu,
- Při co nejnižší úrovni hluku,
- Při dodržení požadovaného tlaku,
- Po celou dobu životnosti vozidla.

Tři typy konstrukce palivových čerpadel používané v dnešní době:

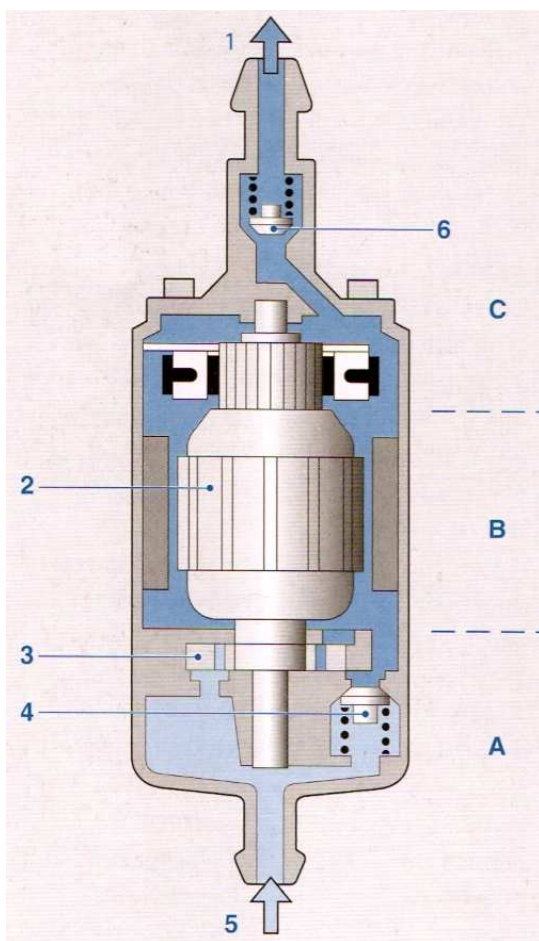
- Elektrická palivová čerpadla,
- Zubová palivová čerpadla,
- Tandemová palivová čerpadla.

Elektrické palivové čerpadlo

Toto čerpadlo se používá zpravidla pouze u osobních vozidel. Kromě toho, že dopravuje palivo má za úkol i přerušit dodávání paliva v případě potřeby. Mohou být pro vestavbu do nádrže či potrubí. Po nastartování motoru pracuje čerpadlo neustále a není závislé na otáčkách motoru.

Elektrické palivové čerpadlo se skládá z těchto částí:

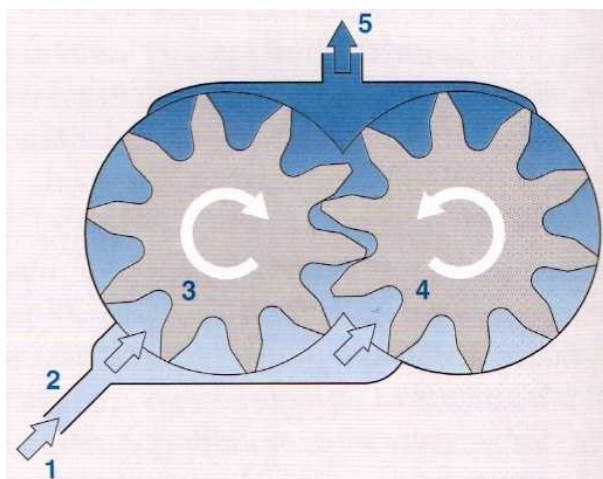
- Element čerpadla (různá provedení, většinou válečková lamelová čerpadla),
- Elektromotor (skládá se z permanentních magnetů a kotvy),
- Připojovací víko (obsahuje elektrické a tlakové přípojky, zabraňuje vyprázdnění palivového vedení při vypnutí).

**Obr. 4.10.** – Elektrické palivové čerpadlo [1]*A – element čerpadla**B – elektromotor**C – připojovací víko**1 – strana tlaku**2 – kotva motoru**3 – element čerpadla**4 – omezovač tlaku**5 – strana sání**6 – zpětný ventil*

Zubové palivové čerpadlo

Používá se pro zásobení vstřikovacího systému u všech druhů vozidel. Nachází se buď přímo na motoru či je integrované do vysokotlakého čerpadla. Jeho velkou výhodou je, že ho není nutné udržovat.

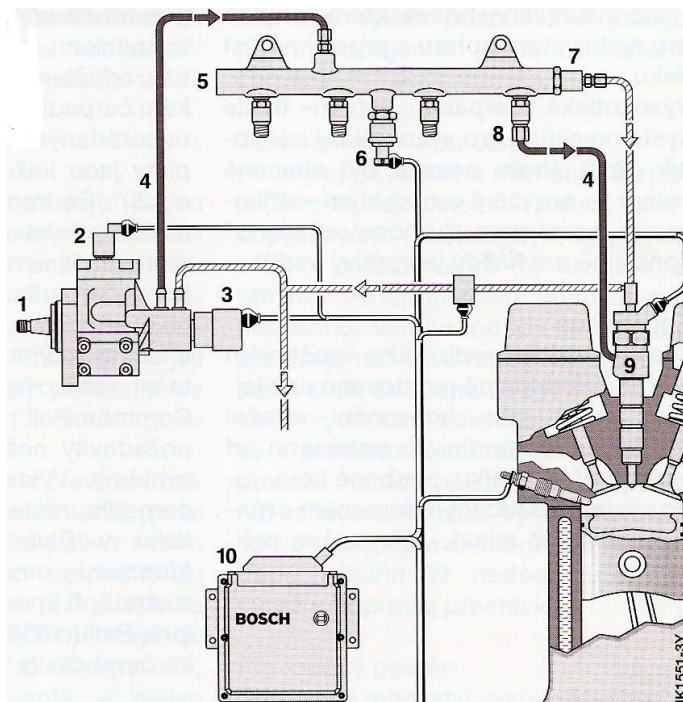
Podstata tohoto čerpadla je, že dvě ozubená spoluzabírající kola se otáčejí protiběžně a přepravují palivo v zubových mezerách. Dotyková plocha ozubených kol pak znemožňuje, aby se palivo nemohlo dostávat zpět. [1, 2]

**Obr. 4.11.** – Zubové palivové čerpadlo [1]*1 – přívod paliva**2 – škrčení paliva**3 – hnací kolo**4 – hnané kolo**5 – výtlak paliva*

4.4.2. VYSOKOTLAKÁ ČÁST

Tato část je rozdělena do tří hlavních oblastí:

- Vytváření tlaku (vysokotlaké čerpadlo),
- Udržování tlaku (vysokotlaký zásobník = Rail),
- Odměrování paliva (vstřikovač). [1]



Obr. 4.12. – Vysokotlaká část systému Common Rail [2]

- 1 – vysokotlaké čerpadlo
- 2 – odpojovací ventil elementu
- 3 – tlakový regulační ventil
- 4 – vysokotlaké palivové potrubí
- 5 – vysokotlaký zásobník (Rail)
- 6 – snímač tlaku v Railu
- 7 – pojistný ventil
- 8 – omezovač průtoku
- 9 – vstřikovač
- 10 – řídicí jednotka

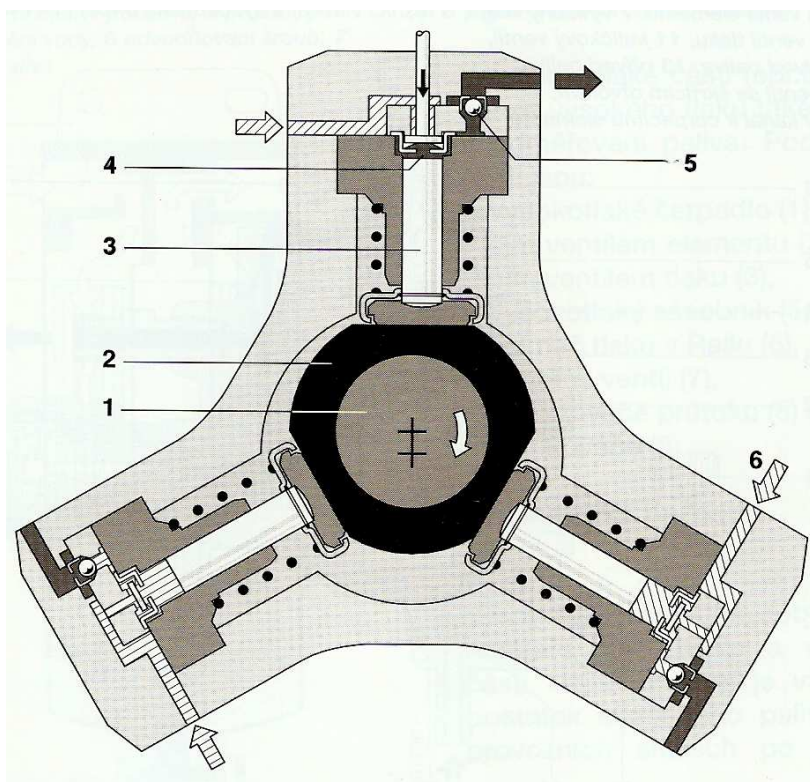
4.4.2.1. VYSOKOTLAKÉ ČERPADLO

Vysokotlaké čerpadlo je na rozmezí mezi vysokotlakou a nízkotlakou částí. Účelem je vytvoření tlaku a dodávání paliva do tlakového zásobníku pod tímto tlakem, a to nezávisle na průběhu vstřikování. Dále čerpadlo obsahuje palivo, které je nezbytné pro okamžité nastartování.

U osobních automobilů se obvykle využívají třípístová radiální čerpadla, která jsou mazána palivem. Ta jsou hnána přes spojku, ozubené kolo, ozubený řemen nebo řetěz. Z toho tedy vyplývá, že otáčky čerpadla jsou přímo úměrné otáčkám motoru.

Vysokotlaké čerpadlo stlačuje palivo pomocí třech radiálních pístů, které jsou vzájemně pootočený o 120°. Na hnacím hřídeli umístěný výstředník způsobí zpětný pohyb pístů.

Poté, co palivové čerpadlo dopraví palivo k pojistnému ventilu, pojistný ventil vysokotlakého čerpadla tlačí palivo do jeho okruhů. Hnací hřídel pomocí vačky hýbe s písty dolu a nahoru. [1, 2]



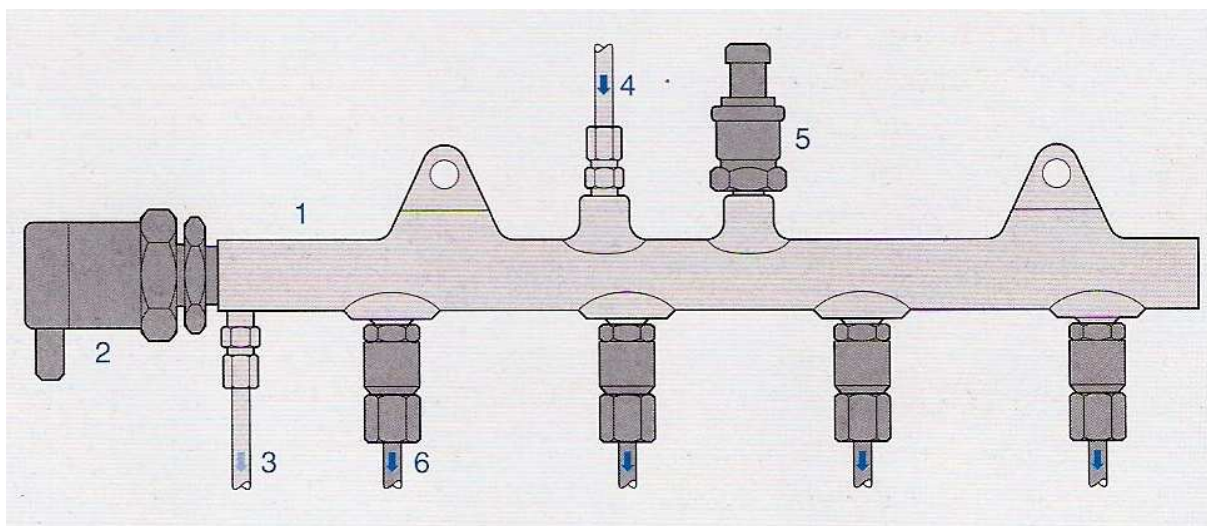
Obr. 4.13. – Příčný řez vysokotlakým čerpadlem [2]

- 1 – hnací hřídel
- 2 – excentrická vačka
- 3 – čerpací element s pístem
- 4 – sací ventil
- 5 – výtlačný ventil
- 6 – přívod paliva

4.4.2.2. VYSOKOTLAKÝ ZÁSOBNÍK (RAIL)

Vysokotlaký zásobník (Rail) má dva základní úkoly. První úkol je ukládat palivo pod vysokým tlakem. Zároveň musí být zeslabeny kmity, vznikající dopravou paliva od vysokotlakého čerpadla a od vstřikování. To zajišťuje přibližně konstantní tlak vstřikování. Druhý úkol Railu je distribuovat palivo do vstřikovačů.

Konstrukce tlakového zásobníku je velmi složitá záležitost. Hlavním problémem je zvolení správného objemu Railu. Ten musí být dostatečně malý, aby bylo možné rychle vytvořit tlak při startování motoru, avšak musí být uspokojivě velký, aby dokázal absorbovat kmity a držel tlak v Railu konstantní. Často se v tomto případě uplatňují možnosti simulace. Dalším konstrukčním faktorem je podoba Railu, tedy jeho tvar, který se obvykle volí dle montážních podmínek a schopnost montáže snímače tlaku nebo omezovacího a regulačního tlakového ventilu. [1, 2]



Obr. 4.14. – Společný vysokotlakový zásobník Common Rail [1]

1 – vysokotlaký zásobník (Rail)

2 – regulační tlakový ventil

3 – zpětný odvod od Railu k palivové nádrži

4 – přívod od vysokotlakého čerpadla

5 – snímač tlaku v Railu

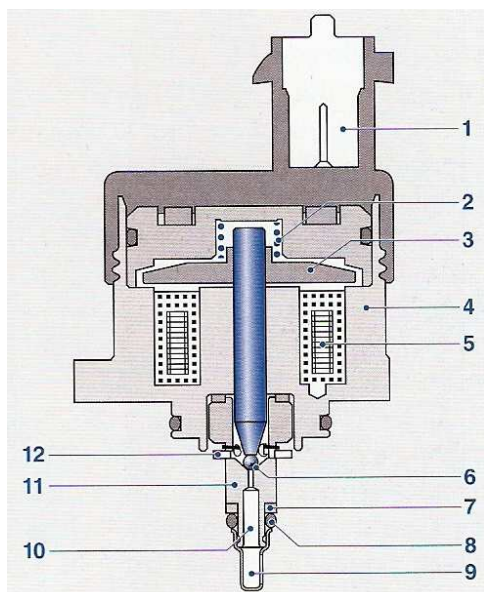
6 – vedení ke vstřikovači s omezovačem průtoku

4.4.2.3. REGULAČNÍ TLAKOVÝ VENTIL

Regulační tlakový ventil má za úkol upravovat tlak v Railu v závislosti na výkonu motoru. Při nadmíru vysokém tlaku se regulační tlakový ventil otevře a částečné množství paliva se přepustí zpět do palivové nádrže. Naopak při nižším tlaku v zásobníku se z ventilu stane těsnění mezi nízkotlakou a vysokotlakou částí.

Regulační obvody tlakového ventilu:

- Pomalejší elektrický – nastavení středního tlaku v zásobníku,
- Rychlejší mechanicko-hydraulický – vyrovnává tlakové kmitání. [1, 2]



Obr. 4.15. – Regulační tlakový ventil [1]

1 – hnací hřídel

2 – excentrická vačka

3 – čerpací element s pístem

4 – sací ventil

5 – hnací hřídel

6 – excentrická vačka

7 – čerpací element s pístem

8 – hnací hřídel

9 – excentrická vačka

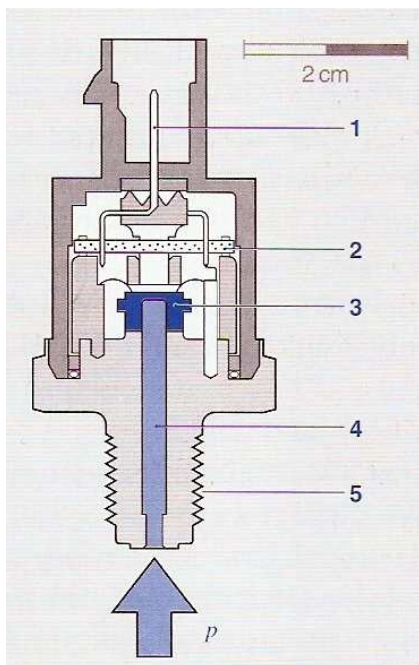
10 – čerpací element s pístem

11 – sací ventil

12 – sací ventil

4.4.2.4. SNÍMAČ TLAKU V RAILU

Snímač tlaku ve vysokotlakém zásobníku má za úkol s dostatečnou přesností ($\pm 2 \%$) v uspokojivém čase změřit momentální tlak a tuto informaci udělit řídicí jednotce ve formě napěťového signálu. Rozsah měření snímače je dán tloušťkou membrány, která je umístěna v jádře snímače. Tlak se měří pomocí prohnutí membrány. [1, 2]

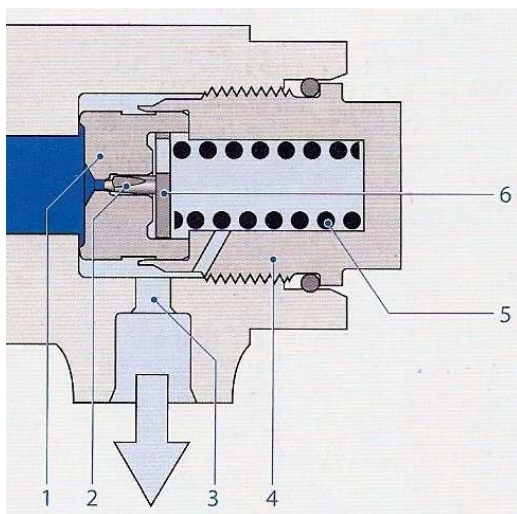


Obr. 4.16. – Vysokotlaký snímač [1]

- 1 – elektrická přípojka
- 2 – vyhodnocovací obvod
- 3 – ocelová membrána s napařenými elastickými rezistory
- 4 – tlaková přípojka
- 5 – upevňovací závit

4.4.2.5. OMEZOVACÍ TLAKOVÝ VENTIL

Omezovací tlakový ventil má za úkol omezovat tlak ve vysokotlakém zásobníku. Tuto činnost koná tak, že při hodně vysokém tlaku je odtačen píst tímto tlakem proti pružině a palivo se odvede zpět do palivové nádrže. Tím je tlak v Railu snížen. Do moderních omezovacích tlakových ventilů byla zabudována funkce nouzového chodu. To znamená, že v zásobníku se udrží jistý tlak a tím je dovolena omezená jízda. [1, 2]



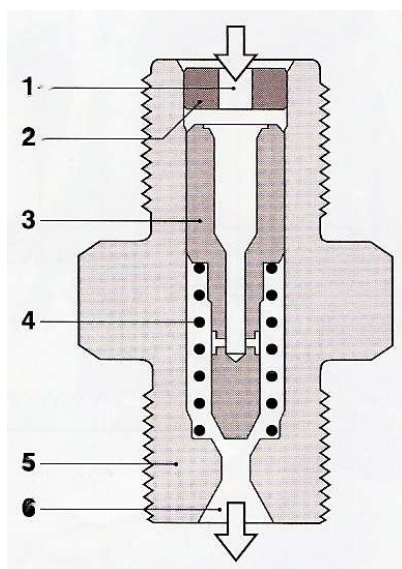
Obr. 4.17. – Omezovací tlakový ventil [1]

- 1 – vložka ventilu
- 2 – píst ventilu
- 3 – nízkotlaký okruh
- 4 – držák ventilu
- 5 – tlačná pružina
- 6 – talířová podložka

4.4.2.6. OMEZOVAČ PRŮTOKU

Omezovač průtoku zamezuje stálému vstřikování pouze jednoho vstřikovače. V případě, že si vstřikovač vezme větší množství paliva, než je určeno, omezovač průtoku uzavře přívod.

Před začátkem vstřiku je píst doražen na stranu Railu, je tedy v klidové poloze. Při vstřikování jde píst směrem ke vstřikovači vlivem nižšího tlaku. Zároveň s ukončením vstřikování se píst zastaví. Poté je pružinou tlačěn zpět do klidové polohy. [1, 2]



Obr. 4.18. – Omezovač průtoku [2]

- 1 – připojení k Railu
- 2 – uzavírací vložka
- 3 – píst
- 4 – tlačná pružina
- 5 – pouzdro
- 6 – připojení ke vstřikovači

4.4.2.7. VSTŘIKOVAČ

Vstřikovač je spojen s vysokotlakým zásobníkem krátkým vysokotlakým potrubím a připevněn k hlavě válců buď přímo nebo šikmo.

Jak již je nám známo, vytváření tlaku nezáleží na otáčkách motoru a na množství vstříknutého paliva. Vstřikování, tedy vstřikovaná dávka a počátek vstřiku, je plně řízeno vstřikovačem, který je ovládán elektronicky.

Pro snížení emisí a hlučnosti se musí připravit optimální směs. Dále vstřikovač činí předstřík a několikanásobný vstřík.

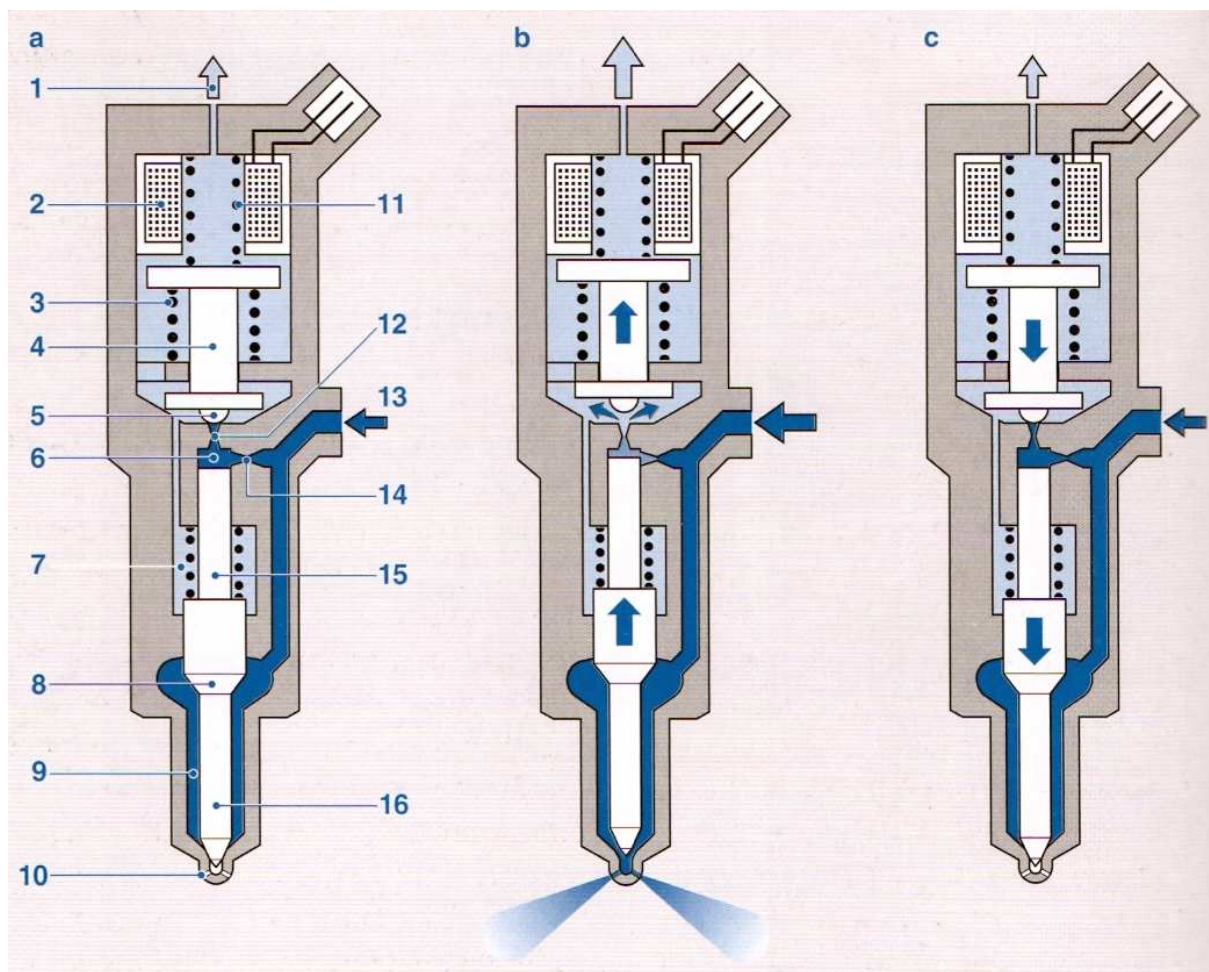
V dnešní době se běžně používají dva druhy vstřikovačů:

- Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem,
- Piezoelektrický vstřikovač Inline. [1, 2]

VSTŘIKOVAČ S ELEKTROMAGNETICKÝM VENTILEM

Je možno ho rozčlenit do třech bloků:

- Otvorová tryska,
- Hydraulický servosystém,
- Elektromagnetický ventil.



Obr. 4.19. – Způsob činnosti vstřikovače s elektromagnetickým ventilem [1]

a – KLIDOVÝ STAV; b – VSTŘIKOVAČ SE OTVÍRÁ; c – VSTŘIKOVAČ SE ZAVÍRÁ

1 – zpětné palivové potrubí
 2 – cívka elektromagnetu
 3 – pružina přeběhu
 4 – kotva
 5 – kulička ventilu
 6 – řídicí prostor ventilu
 7 – pružina trysky
 8 – tlačné mezikruží jehly trysky

9 – objem komory
 10 – vstřikovací otvor
 11 – pružina elektromagnetického ventilu
 12 – škrcení na odpadu
 13 – vysokotlaká přípojka
 14 – škrcení na přívodu
 15 – píst ventilu
 16 – jehla trysky

Provoz vstřikovače lze rozdělit do čtyř fází:

➤ Vstřikovač uzavřen (obr. 4.19. a)

V tomto provozním stavu není vstřikovač uveden do činnosti. Díky elektromagnetické pružině, která zavírá ventil, vznikne v řídicím prostoru a objemu trysky značný tlak. Rovnováha sil od pružin a paliva, které působí na píst ventilu, drží ventil v klidu a tím i jehlu trysky zavřenou.

➤ Vstřikovač se otvírá (obr. 4.19. b)

Tento stav se dá také označit jako počátek vstřikování. Aktivuje se cívka elektromagnetu, která velkými napětími a proudy (cca 50 V a 20 A), z důvodu krátkého času spínání, otevře tzv. přitahovacím proudem elektromagnetický ventil. Po úplném otevření se přitahovací proud minimalizuje na hodnotu, která postačuje na udržení tohoto ventilu v otevřeném stavu (cca 13 A). Ventil otvírá škrcení na odpadu. Škrcením je vedeno palivo z řídicího prostoru pryč (nakonec až do palivové nádrže). Tím vznikne v řídicím prostoru menší tlak než v objemu komory, což vyvolá otevření jehly trysky a vstřikování může začít.

➤ Vstřikovač otevřen

Je to stav, kdy se píst ventilu dostane na tzv. hydraulický doraz, tedy do horní koncové polohy vzniklé prouděním paliva mezi přívodem a odpadem. Při tomto stavu je palivo naprosto otevřenou tryskou vstřikováno do prostoru válce motoru pod tlakem jen o velmi málo menším než je tlak v Railu. Mezi množstvím paliva vstříknutém do válce motoru a zapnutím elektromagnetického ventilu je přímá úměrnost, a ta není závislá na otáčkách čerpadla ani motoru.

➤ Vstřikovač se zavírá (obr. 4.19. c)

Tento stav se dá také označit jako ukončování vstřikování. Do cívky elektromagnetu se přestane dodávat proud. Tím se uvolní kotva, a ta uzavře pomocí pružiny ventil u škrcení na odpadu. V řídicím prostoru se začne opět shromažďovat palivo pod tlakem až do doby, kdy se tento tlak postupně vyrovná s tlakem v objemu komory. Zároveň díky postupným rozdílům tlaků postupně klesá píst ventilu a jehla až do úplného uzavření trysky. Tím končí vstřikovací cyklus.

Dvě varianty provedení elektromagnetického ventilu:

- s jednopružinovým systémem (s jednodílnou kotvou),
- s dvoupružinovým systémem (s dvoudílnou kotvou).

Varianta s dvoudílnou kotvou je výhodnější, protože rychle dokáže kotvu dostat do klidové polohy. To umožňuje zkrátit interval mezi jednotlivými vstřiky. [1, 2]

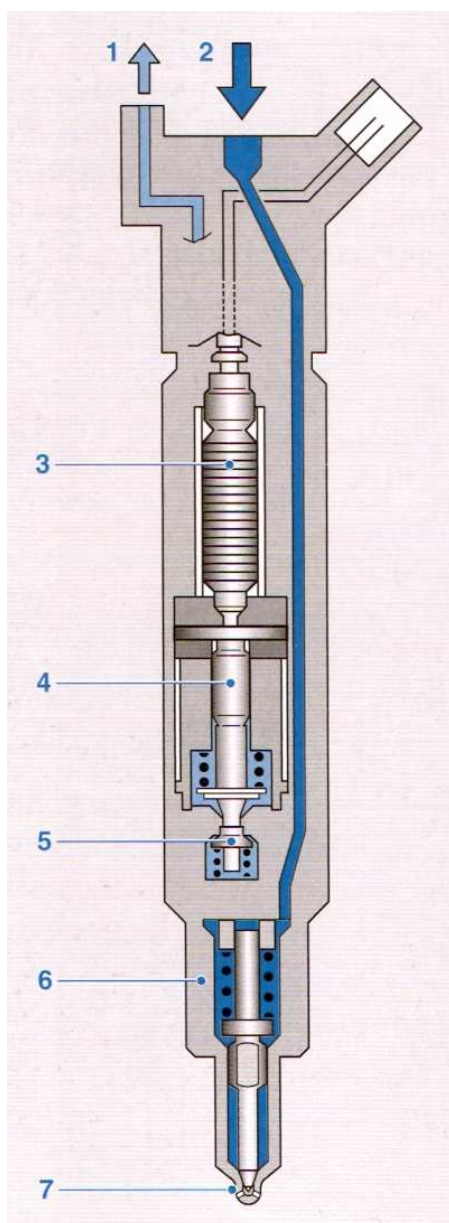
PIEZOELEKTRICKÝ VSTŘIKOVAČ INLINE

Tento vstřikovač je modernější než vstřikovač s elektromagnetickým ventilem a má oproti němu také mnoho výhod.

První velkou výhodou je až pětinasobný vstřik během jednoho cyklu s přizpůsobivým začátkem vstřiku a mezerami mezi vstřiky. Druhou důležitou výhodou je možnost vstříknutí dosti malého množství paliva při předvstřiku. Obě výhody jsou způsobeny díky blízké spojitosti řídicího ventilu tzv. servoventilu s jehlou trysky. Tím dochází k velmi dobrým reakcím systému.

Dobrou vlastností piezoelektrického vstřikovače je, že v něm nedochází k přímému unikání paliva o vysokém tlaku do oblasti s nízkým tlakem.

Další výhody tohoto vstřikovače oproti vstřikovači s elektromagnetickým ventilem jsou: menší rozměry a hmotnost, nižší hlučnost, spotřeba paliva a emise a vyšší výkon motoru.



Obr. 4.20. – Konstrukce piezoelektrického vstřikovače [1]

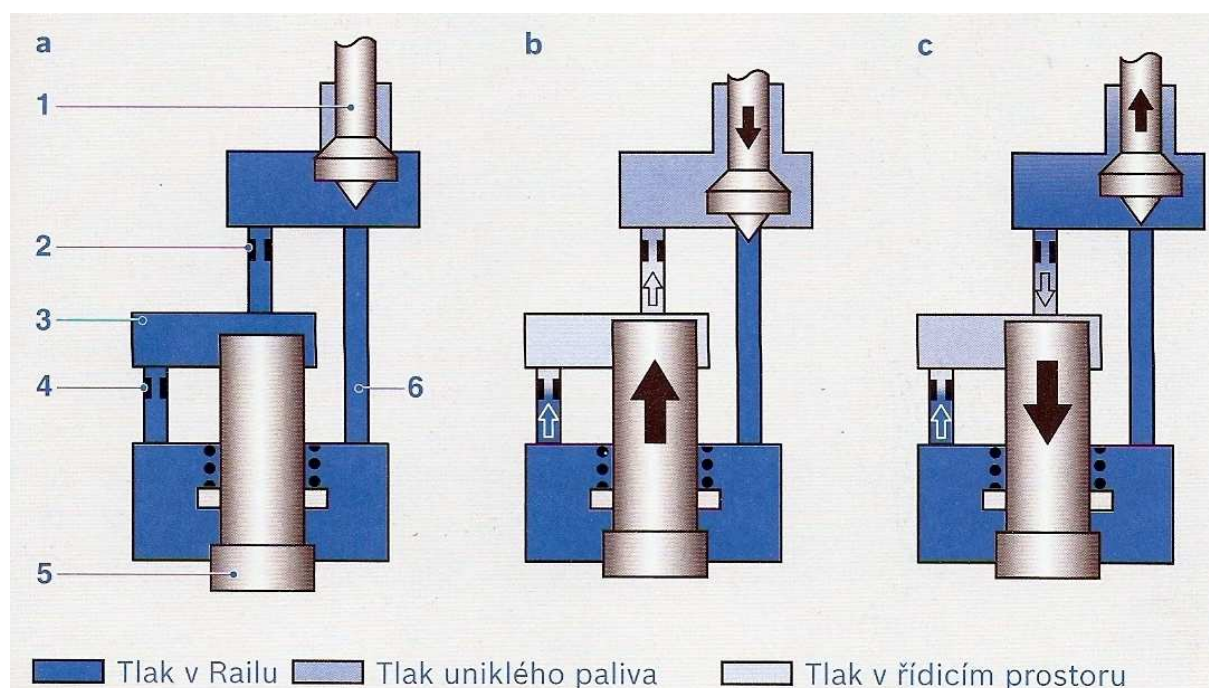
- 1 – zpětné palivové potrubí
- 2 – vysokotlaká přípojka
- 3 – piezoelektrický vstřikovací modul
- 4 – hydraulický vazební člen
- 5 – řídicí ventil (servoventil)
- 6 – modul trysky s jehlou trysky
- 7 – vstřikovací otvor

Funkce servoventilu (řídícího ventilu)

Jak jsem již zmínil, servoventil má blízkou spojitost s jehlou trysky, a to takovou, že ji nepřímo aktivuje.

Ve výchozí poloze odděluje zavřený řídící ventil část vysokotlakou a nízkotlakou. Řídící ventil je zavírán pomocí tlaku paliva, který je stejný jako tlak v tlakovém zásobníku. Otevření jehly trysky se provede tak, že se aktivuje pomocí piezoelektrického členu servoventil. Ten se otevře a zároveň uzavře obtok. Objem paliva v řídicím prostoru odteče do nízkotlaké části a tím v něm klesne tlak. Rozdíl tlaků působících na jehlu zařídí její otevření.

Při zavírání přestane být piezoelektrický člen aktivní. Servoventil se začne pohybovat zpět a tím se uvolní obtok. Do řídicího prostoru opět začne proudit palivo pod tlakem, a až je zde dostatečný tlak, jehla trysky se uzavře. [1]



Obr. 4.21. – Způsob činnosti servoventilu (řídícího ventilu) [1]

a – VÝCHOZÍ POLOHA; b – JEHLA TRYSKY SE OTVÍRÁ; c – JEHLA TRYSKY SE ZAVÍRÁ

1 – řídící ventil (servoventil)

4 – škrčení na přívodu

2 – škrčení na odpadu

5 – jehla trysky

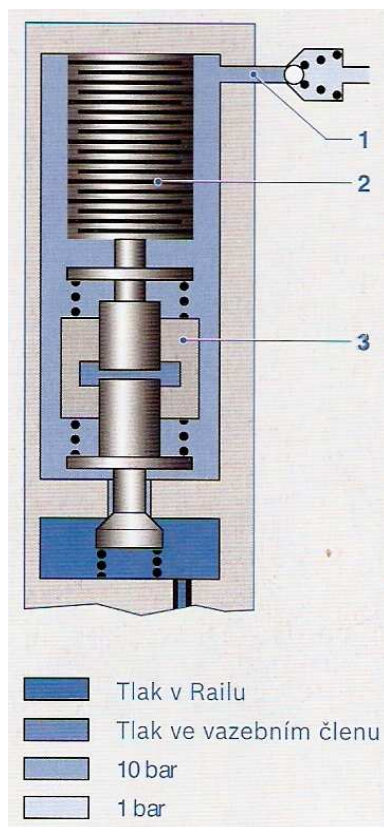
3 – řídicí prostor

6 – obtok

Funkce hydraulického vazebního členu

Hydraulický vazební člen má tři důležité úkoly. Zesilovat zdvih akčního členu, vyrovnávat vůle mezi servoventilem a akčním členem a vypnutí vstřikování z bezpečnostních důvodů při poruše.

Při počátku vstřiku je akční člen vystaven napětí asi 130 V. To způsobí nerovnováhu sil a ve vazebním členu vzroste tlak. Poté, co je vstřikování ukončeno, je potřeba doplnit palivo do hydraulického vazebního členu. To se provede díky rozdílu tlaků mezi vazebním členem a nízkotlakým okruhem, přičemž se tlaky opět dostanou zpět na své původní hodnoty.



Obr. 4.22. – Hydraulický vazební člen [1]

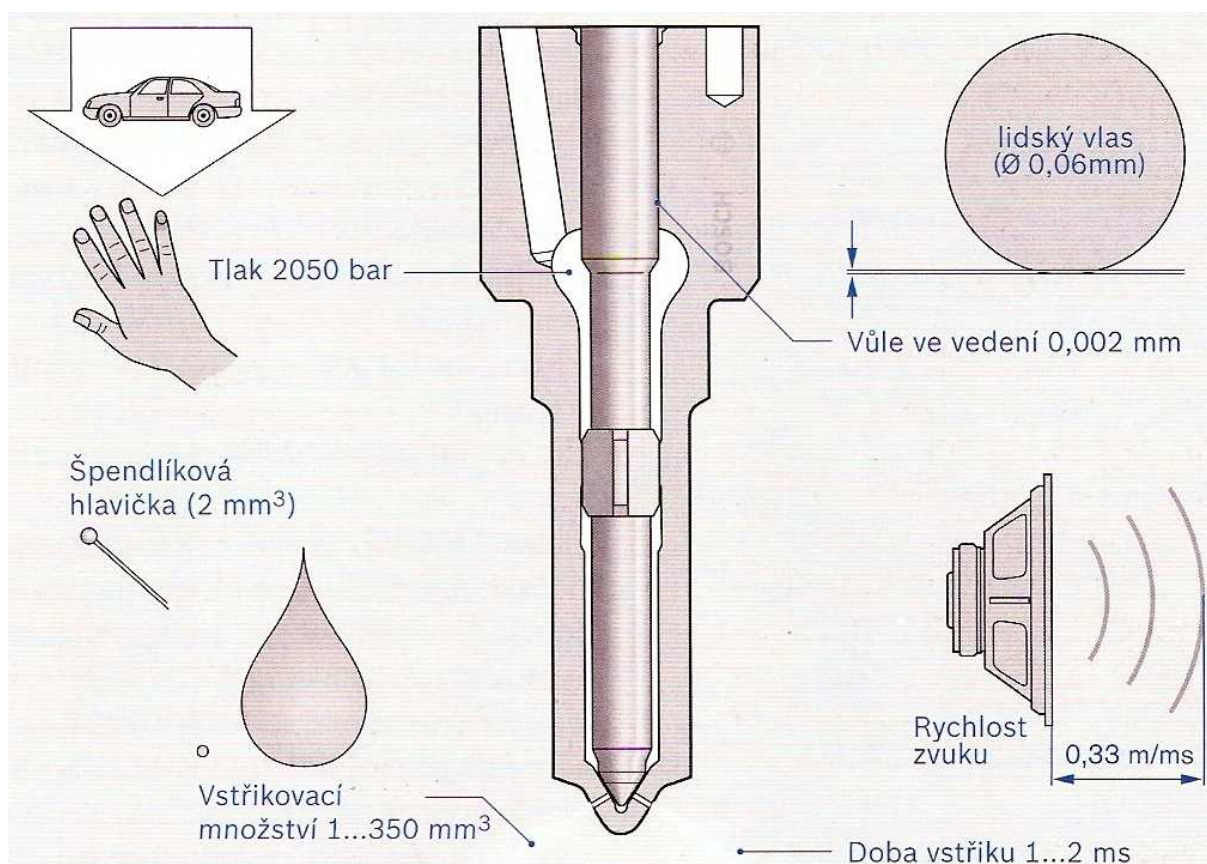
- 1 – nízkotlaký zásobník s ventilem
 2 – akční člen
 3 – hydraulický vazební člen

VSTŘIKOVACÍ OTVOROVÉ TRYSKY

Vstříkovací tryska je na hranici mezi vstříkovacím systémem a spalovacím prostorem. Je nezbytnou součástí jakéhokoli vstříkovače, tedy piezoelektrického i vstříkovače s elektromagnetickým ventilem. Spolu s dalšími částmi vstříkovacího systému rozhodují o přípravě paliva, rozprášení paliva, rozdělení paliva pomocí tvaru a počtu paprsků, době vstříku, vstříkovaném množství a v neposlední řadě o utěsnění proti spalovacímu motoru. Jak jsem se již zmínil v kapitole 3.2.1., vstříkovací tryska významně ovlivňuje emise, hlučnost a výkon motoru. Na rozdíl od konvenčních způsobů vstříkování je u systému Common Rail tryska integrována přímo do vstříkovače a není potřeba žádného jejího držáku.

Navržení a výroba vstříkovací trysky je velmi obtížná záležitost. Z pohledu konstrukce je tryska zatěžována jak mechanicky, tak hlavně i tepelně. Proto je nutné vybrat vhodný materiál a trysku dostatečně chladit. Z pohledu výroby se jedná o velmi přesnou mechaniku. O jak moc velkou přesnost se jedná, je ukázáno na obr. 4.23. Pro doplnění obrázku uvedu, že tryska je dimenzována na životnost více než jednu miliardu zdvihů.

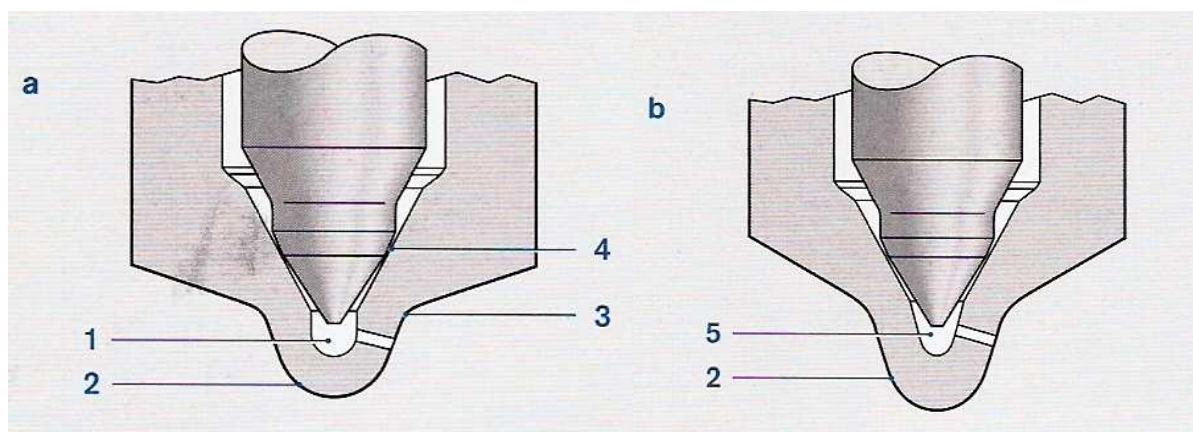
Vstříkovací otvorové trysky se vyrábí speciálními druhy obrábění jako je hydroerozivní, elektroerozivní a elektrochemické obrábění.



Obr. 4.23. – Dimenze vstřikovací techniky pro vznětové motory [1]

Hroty otvorových trysky se vyrábí ve dvou variantách:

- se slepým vývrtem (dělí se ještě na více variant, viz. obr. 4.24. a 4.25.),
- s otvorem do sedla.



Obr. 4.24. – Hroty otvorových trysek [1]

a – VÁLCOVÝ SLEPÝ VÝVRT A KUŽELOVÝ HROT

b – KUŽELOVÝ SLEPÝ VÝVRT A KUŽELOVÝ HROT

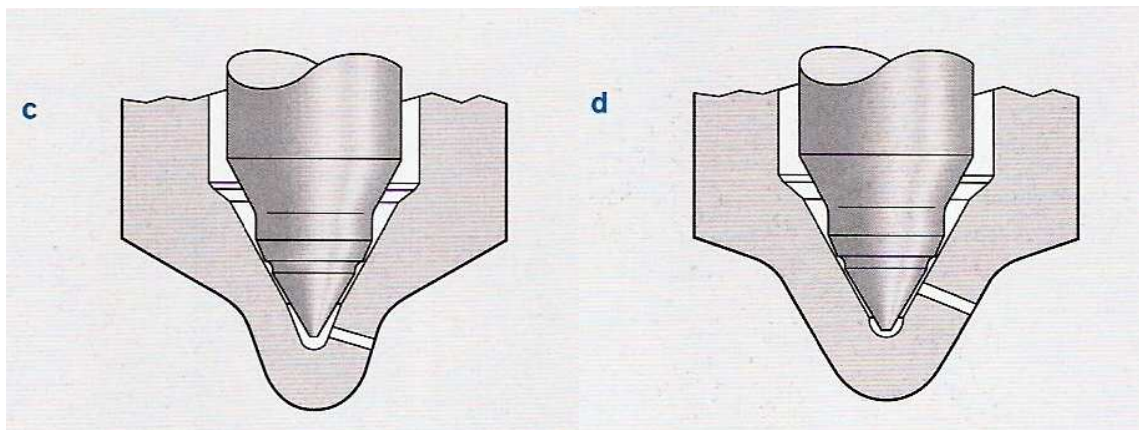
1 – válcový slepý vývrt

2 – kuželový hrot

3 – poloměr sedla

4 – dosedací plocha tělesa trysky

5 – kuželový slepý vývrt



Obr. 4.25. – Hroty otvorových trysek [1]

c – SLEPÝ MIKROVÝVRT

d – TRYSKA S OTVORY DO SEDLA

Pro systém Common Rail je nejvýhodnější varianta se slepým mikrovývrtem, protože má malý zbytkový objem a rovnoměrně rozděluje paprsek. [1, 2]

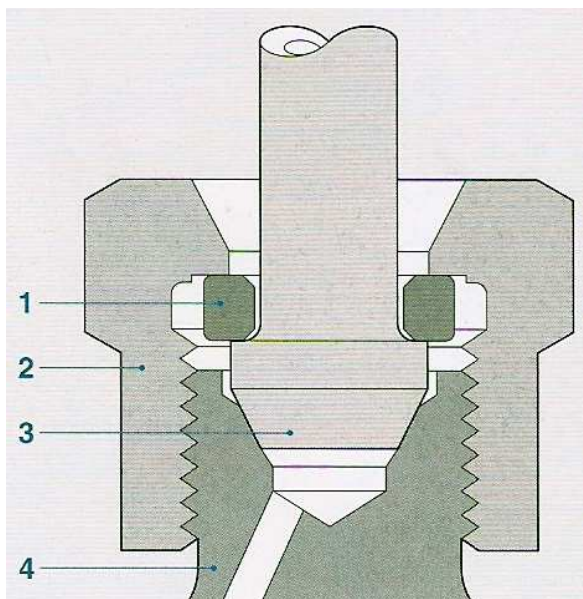
4.4.2.8. VYSOKOTLAKÉ PŘÍPOJKY

Hlavním úkolem vysokotlakých přípojek je spojení vysokotlakého potrubí a různých prvků vysokotlaké části vstřikovacího systému, přičemž je nutno zaručit velmi dobré těsnění i při nejvyšších tlacích dosahovaných ve vysokotlaké části.

Tři druhy spojení:

- Těsnící kužel s přesuvnou maticí

Jednoduché rozebíratelné spojení vyrobené ze základního materiálu. Těsnící kužel nalisovaný na vysokotlakém potrubí je přitlačován pomocí přesuvné matice.



Obr. 4.26. – Vysokotlaká přípojka s těsnícím kuželem a přesuvnou maticí [1]

1 – přítlačná podložka

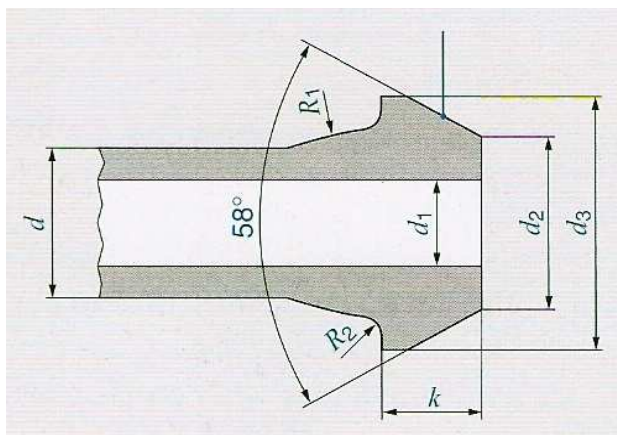
2 – přesuvná matice

3 – těsnící kužel

4 – tlaková přípojka

➤ Tlakové hrdlo

Používají se u nákladních vozidel. Jsou výhodné z hlediska možnosti použití kratších potrubí a snadné montáže.

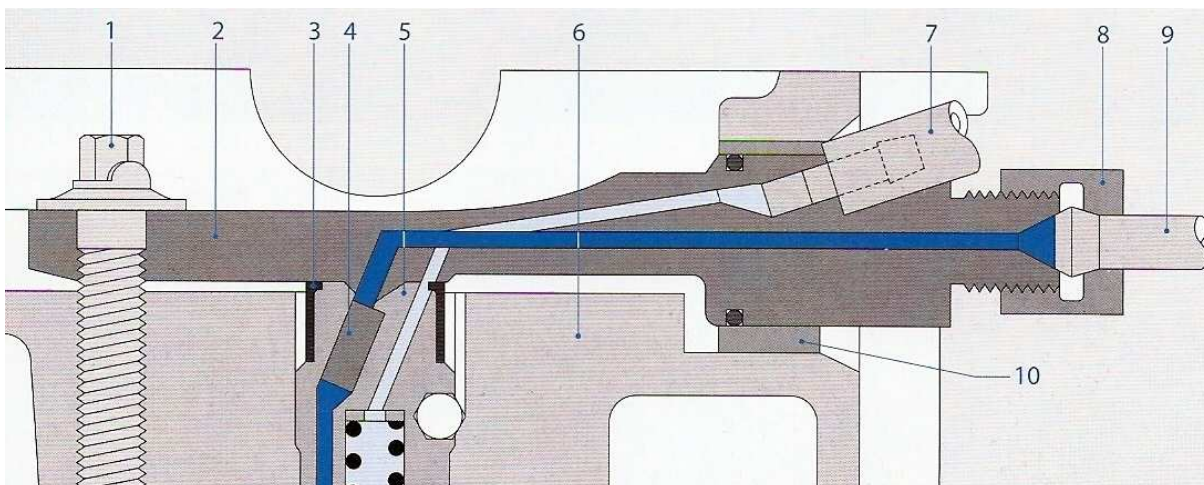


Obr. 4.27. – Příklad hrdla tlakové trubky [1]

d – vnější průměr potrubí
 d_1 – vnitřní průměr potrubí
 d_2 – vnitřní průměr kuželu
 d_3 – vnější průměr kuželu
 k – délka kuželu
 R_1, R_2 – poloměry

➤ Nosník

Používá se obvykle ve stísněných prostorových podmínkách. [1]



Obr. 4.28. – Příklad nosníku [1]

1 – upínací šroub
 2 – nosník
 3 – profilový těsnicí kroužek
 4 – tyčový filtr
 5 – držák trysky

6 – hlava válců
 7 – zpětné palivové potrubí
 8 – přesuvná matice
 9 – vysokotlaká palivová potrubí
 10 – upínací díl

4.4.2.9. VYSOKOTLAKÉ POTRUBÍ

Vysokotlaká palivová potrubí jsou vyrobena z ocelových trubek beze švů. Vzhledem k tomu, že potrubí musí odolávat vysokofrekvenčním kmitům a obrovským tlakům, je vyrobeno z uklidněných ocelí. Při výrobě je nutno dávat speciálně pozor na ohyby, protože mohou být při výrobě zúženy. Ohyby spolu s délkou a průřezem trubky ovlivňují vstřikování. Před montáží je potrubí vystaveno krátkodobému velmi vysokému tlaku pro jeho zpevnění. [1]

4.4.3. ELEKTRONICKÁ REGULACE EDC

Elektronická regulace EDC (Electronic Diesel Control) se dělí na tři systémové bloky:

1) *Snímače a čidla*

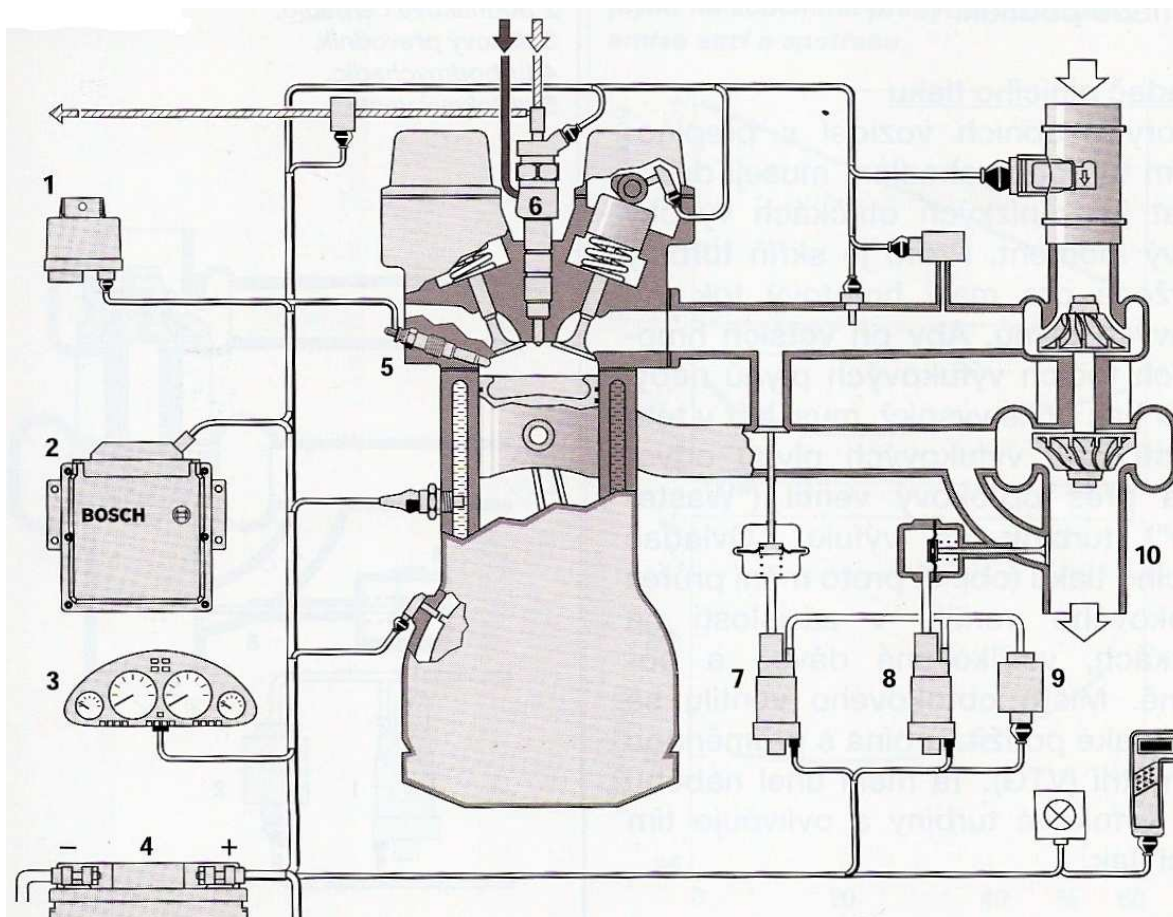
Snímají aktuální provozní podmínky a zpracovávají požadované hodnoty a všechny zjištěné veličiny převádí na elektrické vstupní signály.

2) *Řídicí jednotka*

Zpracovává informace dle řídicích a regulačních algoritmů na elektrické výstupní signály, kterými řídí akční členy. Dále řídicí jednotka provádí výměnu dat s jinými elektronickými systémy (ASR, EGS, ESP a další).

3) *Akční (ovládací) členy*

Transformuje elektrické výstupní signály od řídicí jednotky na mechanickou energii. Tuto energii vykonávají ovládací členy zobrazeny na obr. 4.29. [1, 2]



Obr. 4.29. – Ovládací členy a další součásti systému Common Rail [2]

- 1 – ovládací jednotka žhavení
- 2 – řídicí jednotka
- 3 – přístrojová deska
- 4 – akumulátor
- 5 – žhavicí svíčka

- 6 – vstříkovač
- 7 – ovladač recirkulace
- 8 – nastavovač plnicího tlaku
- 9 – podtlakové čerpadlo
- 10 – turbodmychadlo

4.5. VÝHODY A NEVÝHODY

Vzhledem k tomu, že je systém Common Rail v současné době nejpoužívanějším systémem vstřikování nafty, je jasné, že bude mít více kladných vlastností než záporných. O všech těchto výhodách a nevýhodách již bylo zmíněno v předchozím textu, proto teď bude provedeno jen shrnutí nejdůležitějších vlastností.

Výhody systému Common Rail:

- Výrazné snížení emisí díky jemnému rozprášení paliva ve válci motoru, čemuž napomáhá vysoký tlak vstřikování,
- Jednodušší konstrukce a menší požadavky na palivové potrubí zásluhou práce s nižším tlakem v nízkotlaké části,
- Snížení hluku motoru z důvodu přesného vstřikování s pilotním vstřikem, který předehtívá prostor válce motoru,
- Vícenásobné vstřikování přispívá ke snížení spotřeby paliva,
- Za výhodu se dá také považovat, že je palivo vstřikováno tlakem, který se pozvolna zvyšuje.

Nevýhody systému Common Rail:

- Snižuje účinnost motoru zásluhou stálého udržování vysokého tlaku v Railu,
- Pokud by byl vstřikovací ventil porouchán, mohlo by se stát, že palivo stále poteče do spalovacího prostoru.
- Relativně nižší životnost některých částí z důvodu nečistot v palivu. [1, 2, 9, 10, 13]

4.6. DIAGNOSTIKA

Diagnostika je cílená metoda, která směřuje k zjištění poruchy na vozidle či ke změně nastavení daných zařízení. Obecně se dělí na vnitřní (palubní) a vnější (externí). Grafické znázornění tohoto rozdělení je na obr. 4.30.

Vzhledem k tomu, že v osobních automobilech neustále přibývá elektronických zařízení a různých softwarů, jsou na diagnostické systémy kladeny stále větší požadavky. [5]

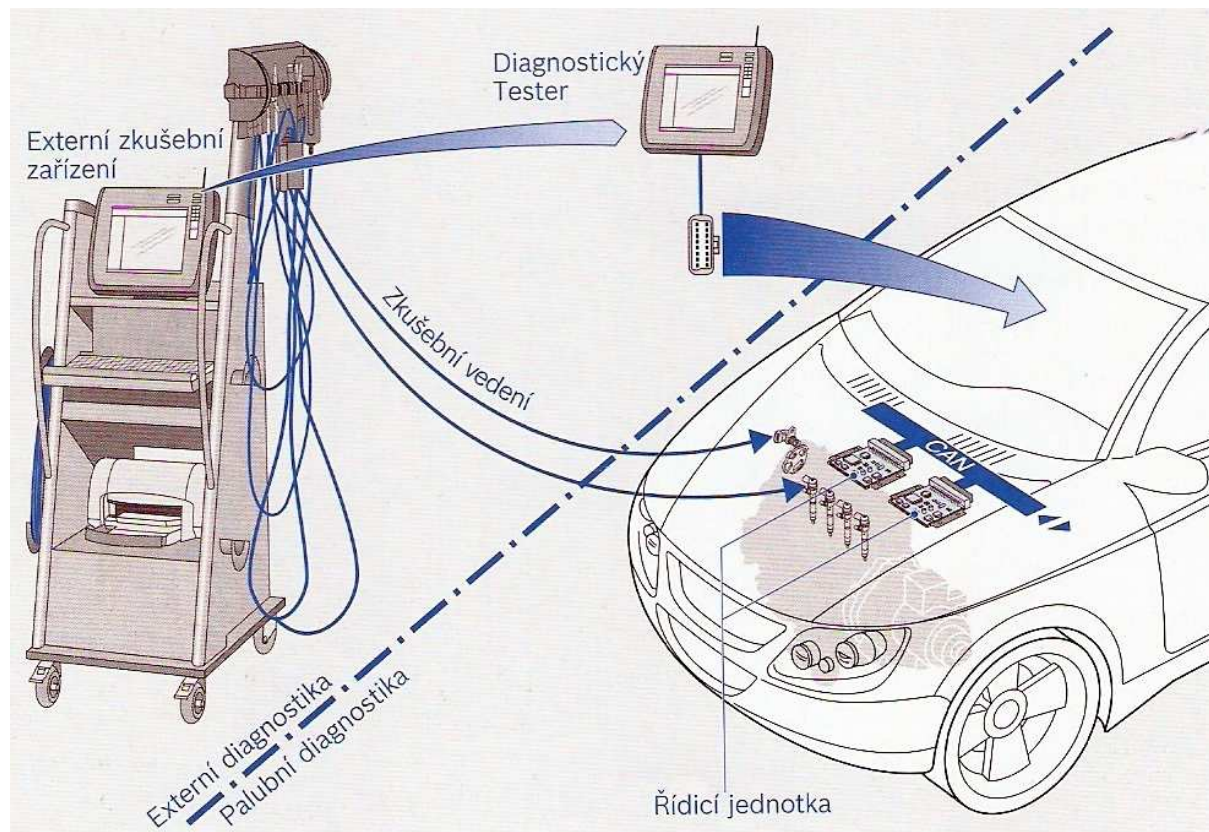
4.6.1. PALUBNÍ

Jedná se o diagnostiku spojenou s řídicí jednotkou. Má za úkol kontrolovat nejen řídicí jednotku a její komunikaci, ale i vstupní a výstupní signály. Dále palubní diagnostika umí identifikovat poruchy, vyhodnotit je a uložit do paměti pro pozdější načtení. Testy, které palubní diagnostika provádí, se dějí dle nastavení buď po zapnutí, během běžného provozu, v pravidelných intervalech nebo po vypnutí motoru. [1, 5]

4.6.2. EXTERNÍ

Tento druh diagnostiky se obvykle provádí v servisu a hledá závady, které nedokáže rozpoznat palubní diagnostika. Hlavními požadavky jsou rychlost a spolehlivost. Informace

od externích přístrojů a metod (diagnostika akčních členů) jsou spojeny s informacemi od palubní diagnostiky a předávány systému elektronických servisních informací ESI (Elektronische Service Information). Servisní technik poté dostane informace o druhu a kódu závady a o hodnotách naměřených při uložení závady. Po odstranění závady by měla být paměť vymazána. [1, 5]



Obr. 4.30. – Diagnostika vstřikovacího systému [1]

4.7. POUŽITÍ A BUDOUCNOST

V současné době se „tější“ vznětové motory stále větší oblibě. Dokazuje to fakt, že každý třetí osobní automobil prodaný v Evropě má naftový motor. To se děje díky až o 30 % menší spotřebě než u benzínových motorů. Dále má dieselový motor vyšší hnací sílu a menší emise. Většina těchto naftových motorů obsahuje systém Common Rail. Proto je potřeba vyvíjet tento moderní systém vstřikování stále kupředu.

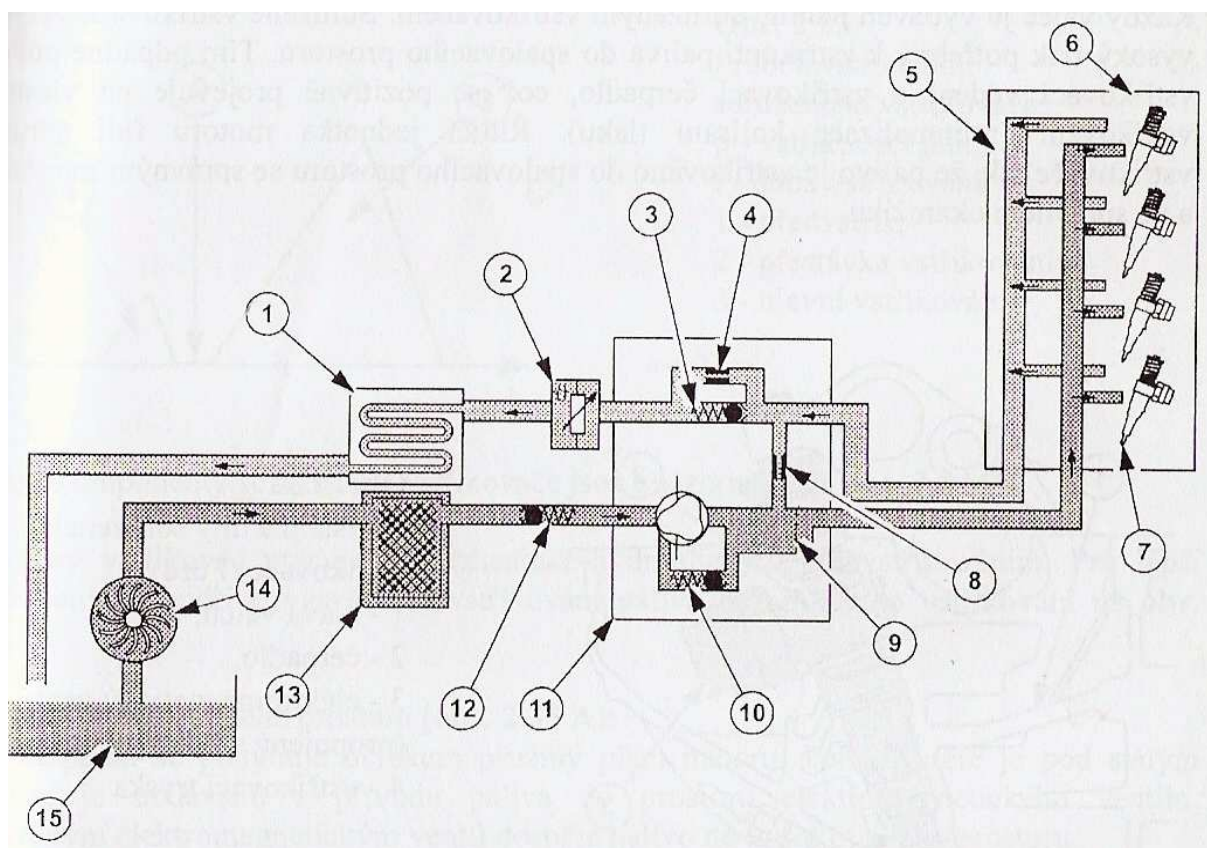
Common Rail nyní využívá svoji 3. generaci. Ta obsahuje moderní piezoelektrický vstřikovač, který jsme si již dříve popsali. Vývoj však jde dál. Právě vyvíjená 4. generace bude mít tu zvláštnost, že zde bude aplikován systém hydraulicky zesilující vstřikovač paliva HADI (Hydraulically Amplified Diesel Injector). Oproti ostatním vstřikovačům bude tento mít přidán převodový píst. Ten stupňuje tlak v systému, který se může zastavit až na hodnotě 2500 barů (250MPa). Tato modernizace umožňuje lepší přípravu směsi, čímž klesají emise a má výhodný průběh vstřikování, což zabraňuje nedokonalému spalování. [8, 9, 12]

5. POROVNÁNÍ COMMON RAIL S DALŠÍM MODERNÍM VSTŘIKOVACÍM SYSTÉMEM

5.1. VSTŘIKOVACÍ SYSTÉM SE SDRUŽENÝMI VSTŘIKOVAČI

Tento systém, běžně také označovaný jako „čerpadlo – tryska“, se skládá z jednotlivých časově řízených vstřikovacích čerpadel. Tato čerpadla jsou řízena vačkovým hřídelem motoru. Systém sružené vstřikovací jednotky vytváří tlak až 2050 barů. Právě díky vysokému tlaku paliva je zaručeno vhodné rozprášení paliva, a to působí výhodně na výkon, emise i spotřebu.

Právě prostřednictvím elektrického a poté mechanického palivového čerpadla se posílá palivo přes čistič, který chrání systém od znečištění a opotřebení, až k hlavě válců. Pro lepší vysvětlení poslouží obr. 5.1. V oblasti hlavy válců je dán rozdělovač, který rozdává palivo do sružených vstřikovacích jednotek. Palivo, které není potřebné se vrací do palivové nádrže prostřednictvím vratného vedení.



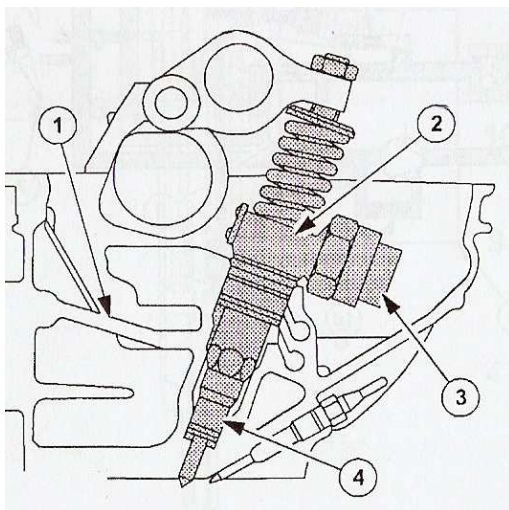
Obr. 5.1. – Vstřikovací systém se sruženými vstřikovacími jednotkami [4]

- | | |
|--|---|
| 1 – chladič paliva | 9 – síto |
| 2 – snímač teploty paliva ve zpětném toku | 10 – omezovací tlakový ventil v přívodu |
| 3 – omezovací tlakový ventil ve zpětném toku | 11 – mechanické palivové čerpadlo |
| 4 – obtok se škrticím otvorem | 12 – zpětný ventil |
| 5 – rozdělovač paliva | 13 – čistič paliva |
| 6 – hlava válců | 14 – elektrické palivové čerpadlo |
| 7 – sružený vstřikovač | 15 – palivová nádrž |
| 8 – škrticí otvor od přívodu paliva ke zpětnému toku | |

To, aby se nám palivo nevracelo z čerpadla do nádrže, zajišťuje zpětný ventil. Jako podpora mechanickému palivovému čerpadlu, které dopravuje palivo z nádrže ke sdruženým vstřikovacím jednotkám, pracuje čerpadlo elektrické. Palivo, které se vrací zpětným tokem do nádrže, je ohřáté. Proto, aby nedošlo k případným škodám, se musí palivo ochlazovat, což ještě kontroluje snímač teploty paliva.

Sdružený vstřikovač, který je posazen jedenkrát v každé hlavě válců, je ovládán přes vahadlo vačkou. Vzhledem k tomu, že vačka má strmý náběžný bok, je píst čerpadla rychle tlačěn směrem dolů. To má za následek značný vstřikovací tlak. Sdružený vstřikovač sjednocuje následující komponenty do jednoho bloku:

- Vstřikovací čerpadlo (vytváří tlak přímo ve sdruženém vstřikovači),
- Řídicí jednotku (ovládá řádný okamžik vstřiku a vstřikované množství),
- Vstřikovací trysku (vstřikuje palivo do spalovacího prostoru).



Obr. 5.2. – Umístění a komponenty sdruženého vstřikovače [4]

- 1 – hlava válců
- 2 – vstřikovací čerpadlo
- 3 – řídicí jednotka s elektromagnetickým ventilem
- 4 – vstřikovací tryska

PRŮBĚH VSTŘIKOVÁNÍ

- *Naplnění vysokotlakého prostoru (viz. obr. 5.3. A)*

Píst čerpadla jde díky pružině nahoru. Palivo se dopravuje pod tlakem do elektromagnetického ventilu. Poté se otevře elektromagnetický ventil a tím palivo dojde do vysokotlakého prostoru.

- *Vstupní zdvih (viz. obr. 5.3. B)*

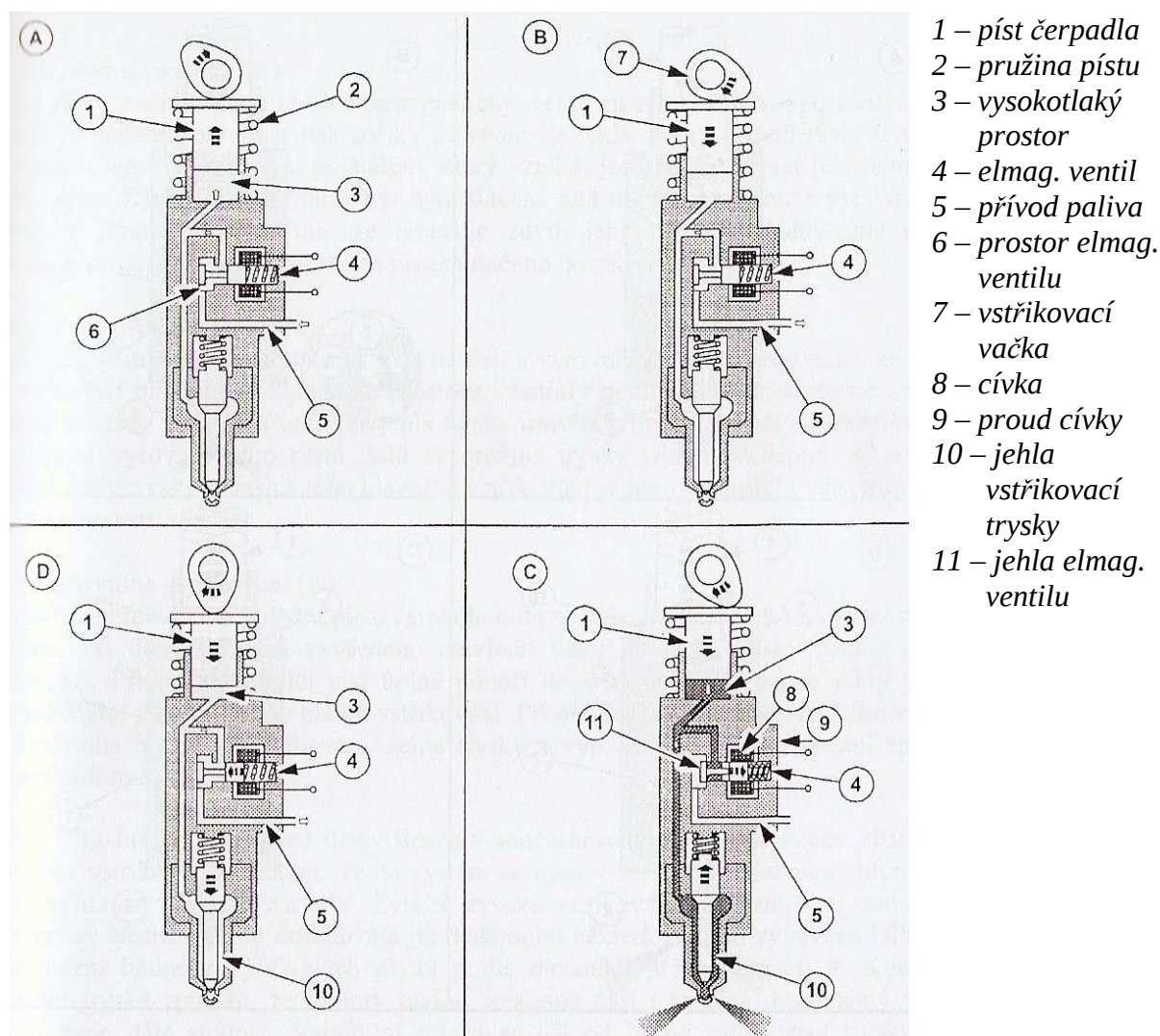
Díky vačce se píst začne hýbat dolů a tím sune palivo do nízkotlaké části systému.

- *Dodávkový zdvih (viz. obr. 5.3. C)*

V jisté chvíli, kterou určí řídicí jednotka se uzavře elektromagnetický ventil respektive přívod paliva. Díky tomu, že píst jde směrem dolů, vzrůstá tlak paliva, který pomůže otevřít jehlu trysky a palivo je vstřikováno.

- *Zbytkový zdvih (viz. obr. 5.3. D)*

Řídicí jednotka otevře elektromagnetický ventil, tím se obnoví styk s nízkotlakou částí a rychlý pokles tlaku zavře jehlu trysky. [4]



Obr. 5.3. – Průběh vstřikování sdruženého vstřikovače [4]

5.2. POROVNÁNÍ OBOU ZPŮSOBŮ VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikovací systémy Common Rail a sdružené vstřikovací jednotky si zcela „podmanily“ automobilový svět. V současné době jsou totiž instalovány do všech vyráběných motorových vozidel. Podařilo se jim tedy „setřást“ všechny ostatní nemoderní způsoby vstřikování a teď je čeká vzájemný „souboj“ o to, který systém bude více uplatňován v osobních automobilech. Zatím ho vede s velkým náskokem Common Rail hlavně díky tomu, že byl vynalezen dříve než sdružené vstřikovací jednotky. Oba systémy ovšem prochází neustále modernizací, a tak se může v nejbližších letech ledacos změnit.

V obou systémech má výrazně „namočené prsty“ firma Bosch. Systém Common Rail vyvinula prakticky sama poté, co převzala patent. Systém sdružené vstřikovací jednotky vyvinula společně s firmou Volkswagen, a proto právě tato automobilka začala systém využívat jako první.

Z dosavadních poznatků o obou systémech se dají vyčíst přednosti každého systému. Ty si právě teď shrneme.

V čem je lepší vstříkovací systém Common Rail?

- Nemá složitou konstrukci a poměrně jednoduše se vyrábí. Naopak díky spojení několika dílů u systému sdružené vstříkovací jednotky, které jsou u systému Common Rail zvlášť, je výroba, a také eventuální oprava, složitější a samozřejmě i dražší.
- Motor se systémem Common Rail vykazuje měkčí chod.

V čem je lepší vstříkovací systém se sdruženým vstříkovači?

- V dnešní době umí vytvořit vyšší vstříkovací tlak (2050 barů), Common rail zatím „jen“ 1800 barů, ale jeho 4. generace počítá s tlaky vyššími.
- Díky spojení vstříkovacího čerpadla, řídicího systému a vstříkovací trysky dochází k menším ztrátám tlaku. U Common Rail je palivo vedeno vysokotlakým palivovým potrubím, kde tyto ztráty tlaku mohou nastat.

Proč se oba staly tak žádanými systémy?

Oba systémy umí:

- Vícenásobné vstříkování,
- Jemně rozprášit palivo,
- Přesně dávkovat palivo,
- Vytvořit vysoký tlak vstříkování,
- Přesné vstříkování s předstříkem.

Proto se jim podařilo:

- Snížit emise výfukových plynů,
- Snížit spotřebu paliva,
- Zvýšit výkon motoru,
- Snížit hluk motoru,
- Zvýšit krouticí moment.

6. ZÁVĚR

Vstřikovací systém motoru by se dal významně přirovnat k lidskému srdci člověka. Tak jako lidské srdce zajišťuje oběh krve v těle, zajišťuje vstřikovací systém oběh paliva v motoru. Stejně jako by člověk nemohl bez srdce žít, nemohl by motor bez vstřikovacího systému vůbec běžet. A podobně jako je složité lidské srdce, je složitý i vstřikovací systém, a to ani ne tak svojí konstrukcí, ale tím, co je na něm ještě možno zlepšovat. Z toho plyne, že oblast systémů vstřikování je velmi spleť a obtížný problém.

Právě díky této náročnosti je toho ještě spousta, co je potřeba zlepšovat. A právě to je výzva pro všechny firmy, které se tímto systémem zabývají. Jak jsme se z předchozího textu dověděli, vývoj vstřikovacích systémů vyžaduje nejen konstruktérské znalosti, ale i zkušenosti z jiných odvětví jako je například elektronika a elektrotechnika, informatika a automatizace a částečně i hydro a termomechanika. Musí se tedy jednat o součinnost několika odborníků.

Hlavním průkopníkem ve vývoji vstřikovacích systémů je v současné době firma Bosch. Ta v podstatě vyvinula a nyní modernizuje mnou popisovaný systém Common Rail. A daří se jí to velice dobře. Nyní je ve značně pokročilé fázi vývoje čtvrtá generace tohoto systému, a pokud se firmě Bosch povede dotáhnout vývoj této generace do finálního konce, podmaní si systém Common Rail zcela svět osobních automobilů se vznětovými motory, což se již ve své podstatě stalo. Na trhu osobních automobilů se vznětovými motory je v dnešní době jen jeden systém, který systému Common Rail konkuruje, a tím je systém se sdruženými vstřikovači.

A právě srovnání těchto dvou vstřikovacích systémů, spolu s důkladným popisem systému Common Rail, bylo cílem mé bakalářské práce. Oba systémy jsou si ve své podstatě velmi podobné, avšak systém Common Rail má zřejmý náskok. Oba dva systémy jsou schopny vytvořit velmi vysoký tlak vstřikování, přesně dávkovat palivo, vícenásobně vstřikovat, provést předstřík a mít vysokou přesnost, tedy všechny kladné vlastnosti, které jsou po moderních vstřikovacích systémech požadovány. Tyto požadavky plynou především z nutnosti neustálého zlepšování parametrů motoru jako je například jeho spotřeba a výkon a ze zpřísnování legislativy pro emise a hluk. Všechny zmíněné požadavky dokážou oba porovnávané systémy splnit. Zůstává tedy otázkou, proč má systém Common Rail tak nápadný náskok. A odpověď je jednodušší než se na první pohled zdá. Systém Common Rail je ve všech podstatných vlastnostech lepší než sdružené vstřikovací jednotky a zvlášť se tato dominance potvrdí při nástupu čtvrté generace Common Rail.

Vstřikovací tlaky, konstrukce a údržba systému, chod motoru. To jsou vlastnosti, které se se začátkem čtvrté generace Common Rail stanou hlavní „propastí“ mezi oběma systémy. Jedinou výhodou bude mít však stále systém se sdruženými vstřikovači, a to takovou, že u něho nedochází ke ztrátám tlaku ve vysokotlakém potrubí. Tuto mezeru, kterou systém Common Rail má, se odstranit nepodaří nikdy. Lze ji jedině minimalizovat zkracováním vysokotlakého potrubí. Tento malý nedostatek v žádném případě nezabrání systému Common Rail v jeho dalším rozmachu. Proto je budoucnost vstřikovacích systémů jasná – COMMON RAIL.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Ing. HANÁK, S. *Systém vstřikování s talkovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory*. Robert Bosch odbytová spol. s.r.o., Praha – 2005. ISBN 80-903132-7-2
- [2] Ing. CHLUP, M. *Systém vstřikování nafty s tlakovým zásobníkem Common Rail*. Robert Bosch odbytová spol. s.r.o., Praha – 1999. ISBN 80-902585-6-5
- [3] VLK, F. *Příslušenství vozidlových motorů*. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno - 2002. ISBN 80-238-8755-6
- [4] VLK, F. *Automobilová elektronika 3: Systémy řízení motoru a převodů*. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno - 2006. ISBN 80-239-7063-1
- [5] VLK, F. *Diagnostika motorových vozidel*. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno - 2006. ISBN 80-239-7064-X
- [6] Dostupné z [www](http://www.bosch.cz/press/detail.asp?f_id=589):
<http://www.bosch.cz/press/detail.asp?f_id=589>
- [7] Dostupné z www:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Common_rail>
- [8] Dostupné z www:
<<http://www.tipcar.cz/tema--o-motorech-typu-common-rail-1377.html>>
- [9] Dostupné z www:
<<http://www.zavolantem.cz/clanky/common-rail-systemu-cerpadlo-tryska-odzvono>>
- [10] Dostupné z www:
<http://sk.wikipedia.org/wiki/Common_rail>
- [11] Dostupné z www:
<http://www.bosch.cz/press/detail.asp?f_id=271>
- [12] Dostupné z www:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/vstrikovaci-systemy-pro-moderni-vznetove-motory>>
- [13] Dostupné z www:
<http://www.valtra.cz/?page_id=211>
- [14] Dostupné z www:
<<http://maturita.cz/referaty/referat.asp?id=589>>
- [15] Dostupné z www:
<<http://snizovani-emisi.ic.cz/emise-a-normy.php>>

- [16] Dostupné z www:
<<http://hluk.eps.cz/index.php?section=hluk&page=hluk-z-motoru-a-pneumatik>>
- [17] Dostupné z www:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Alfa_Romeo_156>
- [18] Dostupné z www:
<<http://www.hino-global.com/dakar/racereports/racereports1997.html>>